



2,75

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000300556

10/1008

# Mitteilungen der Forschungsarbeiten

auf dem Gebiete des Ingenieurwesens

herausgegeben von den Laboratorien  
der technischen Hochschulen

Verlag deutscher Ingenieure

Heft 39: 45-77

*Handwritten title:*  
Beitrag zur ...  
v. Bach

*Handwritten number:*  
21737



Berlin 1907

XXX  
243



7.X.19/1907

*73*

# Mitteilungen

über

# Forschungsarbeiten

auf dem Gebiete des Ingenieurwesens

insbesondere aus den Laboratorien  
der technischen Hochschulen

herausgegeben vom

**Verein deutscher Ingenieure.**

Heft 39 <sup>n</sup> 45-47.

*Handprüfung mit Zylinderbohrer.*

*von  
C. Bach.*

*F. No. 28434*



Berlin 1907.

Kommissionsverlag von Julius Springer

*719*

*xxx  
273*



709/1907



7-X.19/1907



nr inw. 1759

~~17647~~

Akc. Nr.

~~100/52~~

# Inhaltsverzeichnis.

## Erster Teil.

(In Heft 39 der Mitteilungen über Forschungsarbeiten.)

	Seite
I. Bauart, Material und Zusammensetzung der Versuchskörper (Fig. 1 bis 5) . . . . .	1
II. Herstellung der Versuchskörper . . . . .	4
III. Durchführung der Versuche im Allgemeinen und ins Einzelne erläutert am Balken Nr. 16 (Bauart nach Fig. 2) . . . . .	7
IV. Zusammenfassung der Versuchsergebnisse für Balken Nr. 16 (Bauart nach Fig. 2) . . . . .	26
V. 6 Balken mit Bauart nach Fig. 1 . . . . .	30
VI. 6 Balken mit Bauart nach Fig. 2 . . . . .	33
VII. 3 Balken mit Bauart nach Fig. 3 . . . . .	35
VIII. 3 Balken mit Bauart nach Fig. 4 . . . . .	38
IX. 3 Balken mit Bauart nach Fig. 5 . . . . .	40
X. Zusammenfassung der Ergebnisse von sämtlichen Balken . . . . .	42

## Anlagen.

Anlage 1: Untersuchung des zur Herstellung der Versuchskörper verwendeten Zements (Zement A) . . . . .	44
Anlage 2: Untersuchung des zur Herstellung der Balken Nr. 1 bis 11 verwendeten Sand- und Kiesmaterials . . . . .	45
Anlage 3: Untersuchung des zur Herstellung der Balken Nr. 12 und folgende verwendeten Sand- und Kiesmaterials . . . . .	47
Zusammenstellungen: 1 bis 8.	

## Zweiter Teil.

(Vorliegender Teil des Berichtes.)

### A) Balken mit rechteckigem Querschnitt.

XI. Bauart der Versuchskörper Fig. 66 bis 92 . . . . .	2
XII. Material und Zusammensetzung der Versuchskörper . . . . .	10
XIII. Herstellung und Lagerung der Versuchskörper. Temperaturerhöhung der Balken während des Abbindens. Verlauf der Balkentemperatur während der ersten 30 Stunden . . . . .	12
XIV. Durchführung der Versuche im Allgemeinen . . . . .	12

### Versuchsergebnisse.

XV. 3 Balken mit Bauart nach Fig. 66: Nr. 40, 43 und 45 . . . . .	13
XVI. 3 » » » » » 67: Nr. 18, 21 und 28 . . . . .	22
XVII. 3 » » » » » 68: Nr. 95, 96 und 97 . . . . .	23

XVIII.	Zusammenfassung der Ergebnisse von den Balken nach Fig. 66 bis 68 und Vergleich derselben mit den Ergebnissen der Balken nach Fig. 2 bis 5 . . . . .	26
XIX.	3 Balken mit Bauart nach Fig. 69: Nr. 25, 27 und 33 . . . . .	29
XX.	Zusammenfassung der Ergebnisse von den Balken Nr. 25, 27 und 33 (Fig. 69, Eisen bearbeitet, mit Haken) und Vergleich derselben mit den Ergebnissen der Balken nach Fig. 1 (Eisen bearbeitet, gerade) . . . . .	34
XXI.	3 Balken mit Bauart nach Fig. 70: Nr. 31, 35 und 36 . . . . .	37
XXII.	Zusammenfassung der Ergebnisse von den Balken Nr. 31, 35 und 36 (Fig. 70, mit Haken, Walzhaut) und Vergleich derselben mit den Ergebnissen der Balken nach Fig. 2 (ohne Haken, Walzhaut) und Fig. 69 (mit Haken, Eisen bearbeitet) . . . . .	43
XXIII.	3 Balken mit Bauart nach Fig. 71: Nr. 23, 26 und 30 . . . . .	45
XXIV.	3 » » » » » 72: » 41, 44 » 46 . . . . .	48
XXV.	3 » » » » » 73: » 29, 32 » 37 . . . . .	53
XXVI.	3 » » » » » 74: » 34, 38 » 39 . . . . .	56
XXVII.	4 » » » » » 75: » 91 bis 94 . . . . .	59
XXVIII.	3 » » » » » 76: » 49, 51 und 53 . . . . .	61
XXIX.	3 » » » » » 77: » 48, 52 » 56 . . . . .	63
XXX.	3 » » » » » 78: » 59, 60 » 63 . . . . .	68
XXXI.	3 » » » » » 79: » 58, 61 » 62 . . . . .	70
XXXII.	3 » » » » » 80: » 64, 65 » 68 . . . . .	77
XXXIII.	3 » » » » » 81: » 42, 47 » 50 . . . . .	82
XXXIV.	3 » » » » » 82: » 54, 55 » 57 . . . . .	85
XXXV.	Zusammenfassung der Ergebnisse der Balken nach Fig. 79 bis 82 . . . . .	88
XXXVI.	4 Balken mit Bauart nach Fig. 83: Nr. 98 bis 101 . . . . .	90
XXXVII.	3 » » » » » 84: » 66, 67 und 69 . . . . .	97
XXXVIII.	Versuche zur Ermittlung der Druckfestigkeit, sowie der Druckelastizität des Betons. Größe der Zahl $n$ (Verhältnis des Dehnungskoeffizienten von Beton zu demjenigen des Eisens) mit steigender Druckspannung . . . . .	99
XXXIX.	Versuche zur Ermittlung der Zugelastizität und Zugfestigkeit des Betons. Vergleich des Dehnungskoeffizienten $\alpha$ für Zug und Druck . . . . .	102

**B) Balken mit T-förmigem Querschnitt.**

XL.	Bauart der Versuchskörper Fig. 223 bis 236 . . . . .	105
XLI.	Material und Zusammensetzung der Versuchskörper . . . . .	109
XLII.	Herstellung und Lagerung der Versuchskörper. Temperaturerhöhung der Balken während des Abbindens . . . . .	110
XLIII.	Durchführung der Versuche im Allgemeinen . . . . .	111

Versuchsergebnisse.

XLIV.	3 Balken mit Bauart nach Fig. 223: Nr. 71, 72 und 87 . . . . .	113
XLV.	3 » » » » » 224: » 74, 75 » 88 . . . . .	122
XLVI.	3 » » » » » 225: » 76, 77 » 89. Vergleich der Ergebnisse mit denen der Balken nach Fig. 223 und 224 . . . . .	123

	Seite
XLVII. 3 Balken mit Bauart nach Fig. 226: Nr. 79, 80 und 81. Vergleich der Ergebnisse mit denen der Balken nach Fig. 223 . . . . .	127
III. 3 Balken mit Bauart nach Fig. 227: Nr. 82, 83 und 84. Vergleich der Ergebnisse mit denen der Balken nach Fig. 226 . . . . .	130
II. 3 Balken mit Bauart nach Fig. 228: Nr. 85, 86 und 90. Vergleich der Ergebnisse mit denen der Balken nach Fig. 227 . . . . .	132
L. 3 Balken mit Bauart nach Fig. 229: Nr. 70, 73 und 78. Vergleich der Ergebnisse mit denen der Balken nach Fig. 226 . . . . .	138
LI. Versuche zur Ermittlung der Druckfestigkeit, sowie der Druckelastizität des Betons. Vergleich mit den Ergebnissen unter XXXVIII	140
LII. Versuche zur Ermittlung der Zugelastizität und Zugfestigkeit des Betons. Vergleich des Dehnungskoeffizienten $\alpha$ für Zug und Druck	142

**C) Zusammenfassung der Versuchsergebnisse des ersten und zweiten Teils.**

LIII. Einfluß der Anzahl der geraden Eiseneinlagen . . . . .	143
LIV. Einfluß der Haken an den Enden der geraden Eiseneinlagen . .	145
LV. Einfluß der Bügel . . . . .	145
LVI. Schräge Abbiegungen der Eiseneinlagen (Aufgebogene Einlagen)	147
LVII. Größe des Gleitwiderstandes . . . . .	148
LVIII. Dehnungsfähigkeit des Betons mit und ohne Eiseneinlagen . . .	149
LIX. Druckspannungen des Betons . . . . .	149
LX. Zugspannungen der Eiseneinlagen . . . . .	151
LXI. Durchbiegungen . . . . .	151

**Anlagen.**

Anlage 4: Untersuchung des zur Herstellung der Balken Nr. 48 bis 69 und 95 bis 97 verwendeten Zements (Zement »A«) . . . . .	153
Anlage 5: Untersuchung des zur Herstellung der Balken Nr. 70 bis 94 verwendeten Zements (Zement »B«) . . . . .	154
Anlage 6: Zur Frage der Dehnungsfähigkeit des Betons mit und ohne Eiseneinlagen . . . . .	156
Zusammenstellungen: 9 bis 59.	

---



# Versuche mit Eisenbetonbalken.

## Erster Teil.

### Wasserflecken als Vorläufer der Risse. Rißbildung. Verfolgung des Gleitens des Eisens durch Messung. Gleitwiderstand.

### Gesamte, bleibende und federnde Verlängerungen auf der gezogenen, gesamte, bleibende und federnde Zusammendrückungen auf der gedrückten Seite des Balkens. Spannungen im Eisen bei entlastetem Balken. Durchbiegung.

Von C. Bach.

Die Untersuchungen, über welche im Folgenden berichtet wird, gehören zu denjenigen, die gemäß dem vom Eisenbetonausschuß der Jubiläumsstiftung der deutschen Industrie aufgestellten Programm vorzunehmen waren und deren Ausführung der Ausschuß der Materialprüfungsanstalt der Königl. Technischen Hochschule in Stuttgart übertragen hatte<sup>1)</sup>.

Die umfassenden Vorarbeiten sowie die Durchführung der Versuche lagen unter meiner Leitung Hrn. Ingenieur Graf ob, der sich ihnen mit Hingebung gewidmet hat.

#### 1) Bauart, Material und Zusammensetzung der Versuchskörper.

Die Bauart der Versuchskörper ist aus den Fig. 1 bis 5 zu ersehen.

Um das Gleiten des Eisens durch Messung zuverlässig verfolgen zu können, war an den Enden der Balken die aus Fig. 6 und 7 ersichtliche Einrichtung, gezeichnet für 25 mm Dmr. des einbetonierten Eisens, getroffen worden. Am Ende des Eisens ist ein Stift *n* eingeschraubt, oder, wenn es sich um schwache Eisen handelt, angedreht, Fig. 8 und 9, der die Platte *m* durchdringt. Diese Platte wird unmittelbar vor der Untersuchung durch Klebewachs an dem Balken so befestigt, daß ihre bearbeitete freie Stirnfläche senkrecht zum Stift *n* steht. Durch Messung der Größe *y* mittels einer Mikrometerschraube, wie solche in Fig. 10 und 11 dargestellt ist (Steigung der Schraube 0,5 mm), kann die Bewegung des Eisens auf 0,005 mm ausreichend genau verfolgt werden.

Für die Aussparung *o*<sup>2)</sup> sowie für die Vertiefung, in welche sich die Platte *m* legt, war in den hölzernen Formen, die zur Herstellung der Körper dienten, das Erforderliche vorgesehen, wie Fig. 12 bis 14 erkennen lassen.

<sup>1)</sup> Vergl. C. Bach, Versuche über den Gleitwiderstand einbetonierten Eisens, Berlin 1905, oder auch Mitteilungen über Forschungsarbeiten, Heft 22; sowie C. Bach, Druckversuche mit Eisenbetankörpern, Versuche A, Berlin 1905, oder Mitteilungen über Forschungsarbeiten Heft 29.

<sup>2)</sup> Ueber den Zweck dieser Aussparung vergl. das Seite 19 und 20 in Bezug auf die Berechnung des Gleitwiderstandes Gesagte.

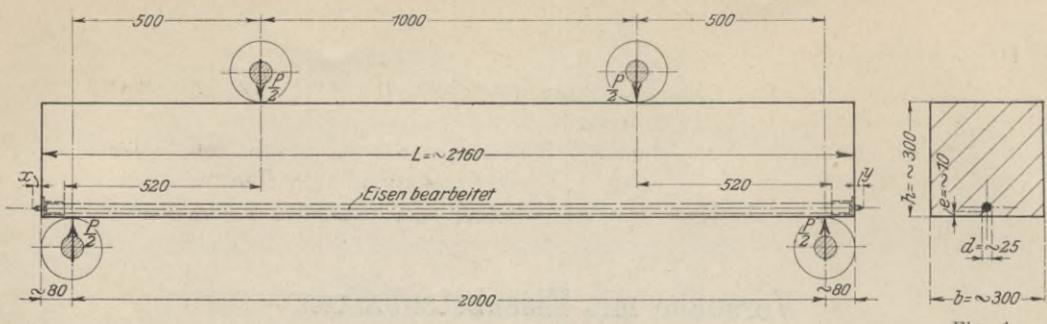


Fig. 1.

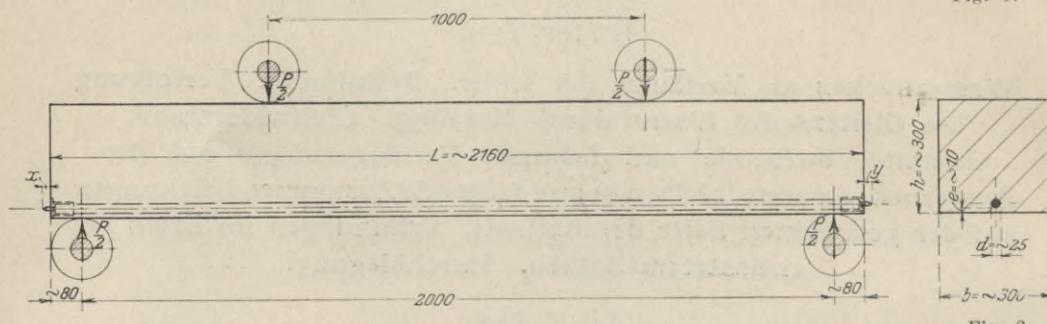


Fig. 2.

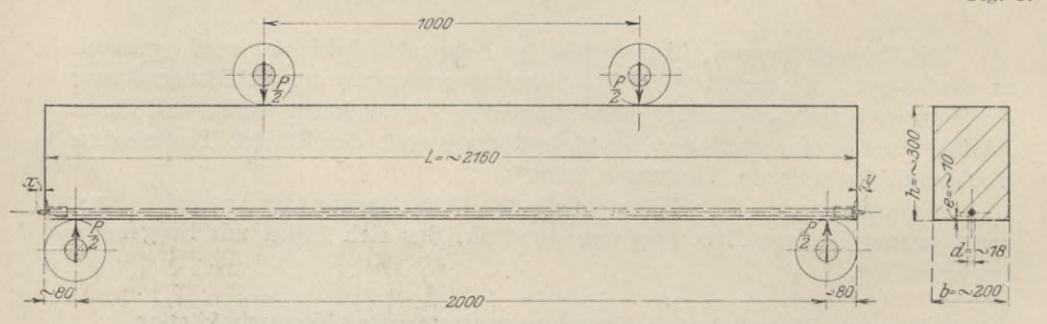


Fig. 3.

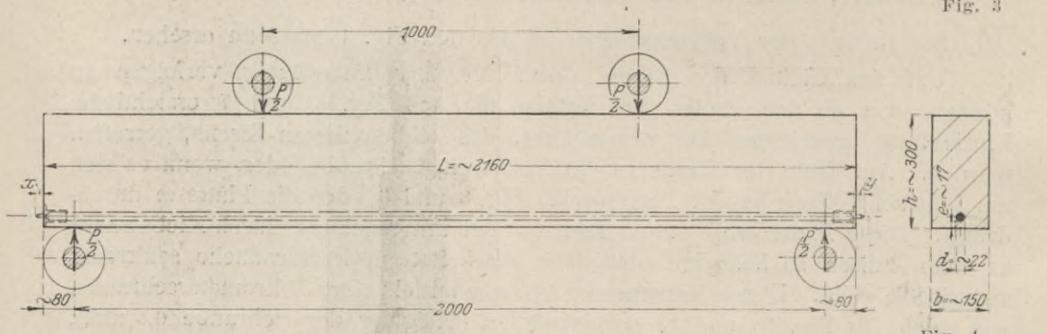


Fig. 4.

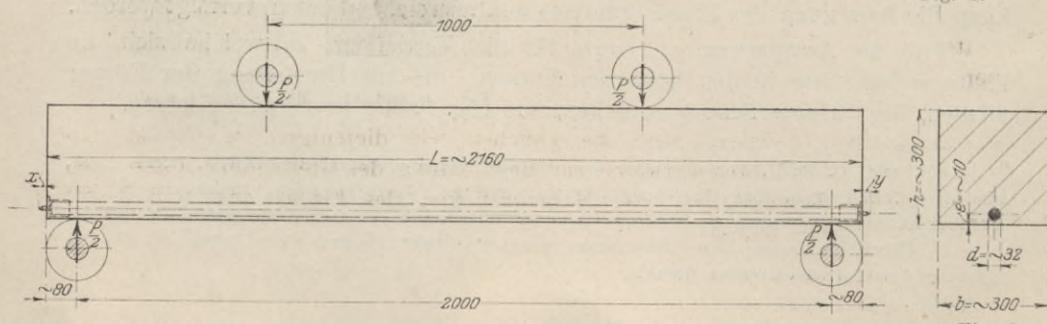


Fig. 5.

Die Materialien:

Zement von den Portlandzementwerken Heidelberg und Mannheim A.-G. in Heidelberg,  
 Sand und Kies (nach Angabe Rheinkies aus der Nähe von Speyer<sup>α</sup>)  
 von Wayß & Freytag A.-G. in Neustadt an der Haardt,

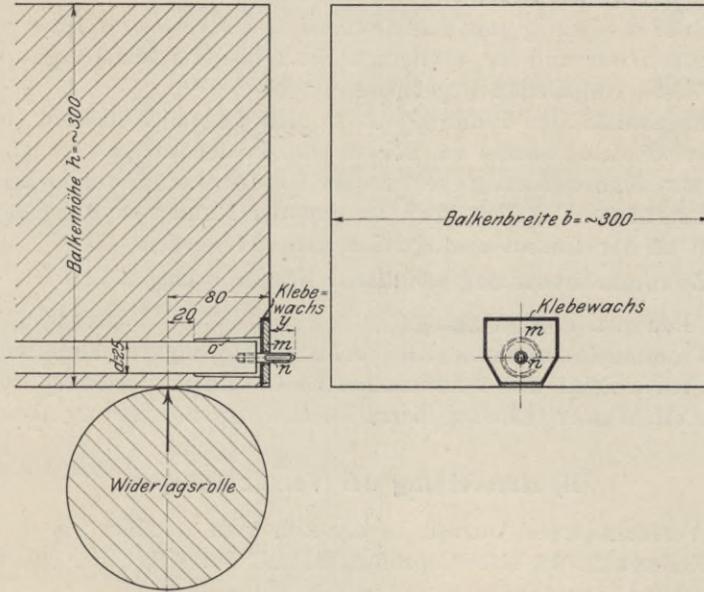


Fig. 6 und 7. Einrichtung zum Messen des Gleitens der Eiseneinlagen.

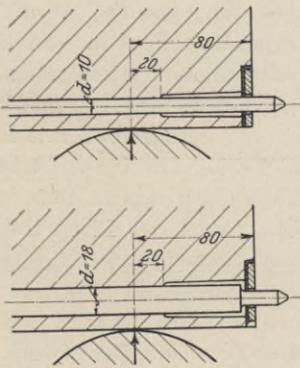


Fig. 8 und 9.

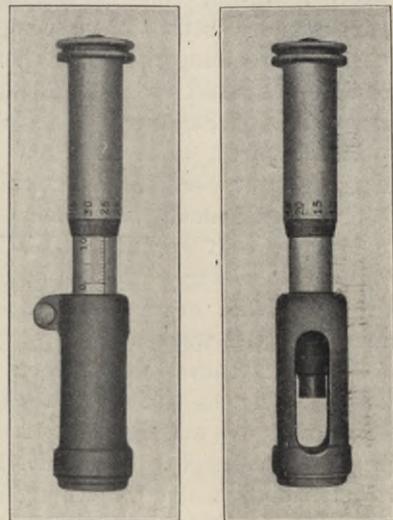


Fig. 10 und 11. Mikrometerschraube.

je unentgeltlich geliefert, sind die gleichen wie diejenigen, welche zu den Körpern für die früheren Versuche zur Bestimmung des Gleitwiderstandes<sup>1)</sup>, ermittelt durch Herausziehen oder Herausdrücken des Eisens aus dem Beton, verwendet worden waren.

<sup>1)</sup> Vergl. Fußbemerkung S. 1.

Die Untersuchung des Portlandzements hatte seinerzeit die Ergebnisse geliefert, welche in der Schrift »Versuche über den Gleitwiderstand einbetonierten Eisens« (Fußbemerkung S. 1) veröffentlicht worden sind.

Da inzwischen eine längere Zeit verstrichen, der Zement somit erheblich älter geworden war, so wurde die Prüfung wiederholt. Ihre Ergebnisse sind in der Anlage 1, S. 44, enthalten.

Die Untersuchung des Sandes und des Kieses, welcher von früher noch vorhanden war und für die Balken Nr. 1 bis 11 reichte, ergab die in der Anlage 2, S. 45, enthaltenen Ergebnisse.

Die Ergebnisse der Prüfung des zu den folgenden Balken (Nr. 12 und folgende) verwendeten Sandes und Kieses sind in der Anlage 3, S. 47, enthalten.

Das zur Einbetonierung verwendete Eisen war gewöhnliches Handeisen. Der größere Teil desselben ist von der Firma Wayß & Freytag A.-G. in Neustadt an der Haardt unentgeltlich geliefert worden.

Die Zusammensetzung sämtlicher Körper betrug

- 1 Raumteil Portlandzement,
- 4 Raumteile Sand und Kies in dem Mischungsverhältnis von 3 Raumteilen Sand und 2 Raumteilen Kies, beides vollständig trocken, und
- 15 vH Wasser (näheres hierzu siehe Anlagen 2 und 3, Abs. c).

## II) Herstellung der Versuchskörper.

Die Versuchskörper wurden in der Zeit vom 19. März bis 20. April 1906 in einem Kellerraum der Materialprüfungsanstalt durch Arbeiter, die unter steter Aufsicht standen, hergestellt.

Während dieser Zeit herrschte in dem Raum, der auch als Lagerraum für die Körper diente, eine Temperatur von 13,0 bis 17,5° C. In der folgenden Zeit, im Sommer, betrug diese Temperatur bis rd. 20° C.

Die Verarbeitung der Materialien, je für 1 Balken ausreichend (das Gewicht der Balken schwankt zwischen 230 und 470 kg), war die folgende: viermaliges Umschaukeln von Sand und Kies, sodann viermaliges Umschaukeln von Sand, Kies und Zement, beim nächsten Umschaukeln allmähliches Hinzugeben des Wassers; hierauf viermaliges Umschaukeln, je mit anschließendem Durchstechen, Ausbreiten und Zusammenschaufeln auf einen Haufen, der zum Schluß mit feuchten Säcken bedeckt wurde. Das Mischen erfolgte gleichzeitig durch zwei Arbeiter.

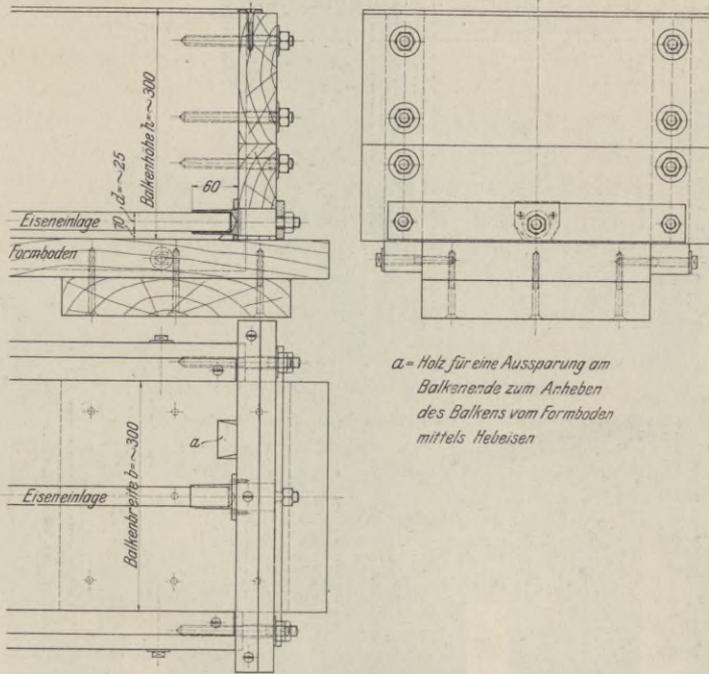
Die Eiseneinlagen wurden vor dem Einbetonieren mit einem Zementsack kräftig abgerieben und darauf geachtet, daß die Oberfläche der Eisen frei von Schmutz und Oel war.

Zur Herstellung der Balken dienten wagrecht liegende Formen aus Tannenholz, Fig. 15 und 16. Die Eiseneinlagen sind an den Enden in Büchsen lose gelagert, wie aus den Fig. 12, 13 und 14 ersichtlich ist. Der Zweck der Büchsen wurde bereits oben (unter I, S. 1) angegeben<sup>1)</sup>. Durch diese Lagerung ließ sich außerdem die Entfernung der Staboberfläche von der Unterfläche des Balkens an den Enden auf rd. 1 cm festlegen.

Das Stampfen des Materials erfolgte in fünf gleich hohen Schichten. Vor dem Feststampfen der ersten Schicht wurde die Eiseneinlage sorgfältig unterstopft. Das Einstampfen geschah gleichzeitig durch 2 Arbeiter. Die Stampfer sind rd. 12 kg schwer und besitzen eine quadratische Fläche von 12 cm Seite. Die zum Einstampfen erforderliche Zeit betrug je nach Größe der Balken 45 bis 70 min.

<sup>1)</sup> Vergl. auch Fußbemerkung S. 20.

Das Material wurde kräftig gestampft, solange bis Wasseraustritt deutlich festgestellt werden konnte; in den oberen Stampfschichten erlangte es dabei eine weiche, d. h. plastische Beschaffenheit.



*a = Holz für eine Aussparung am Balkenende zum Anheben des Balkens vom Formboden mittels Hebeisen*

Fig. 12 bis 14. Form zur Herstellung der Balken.

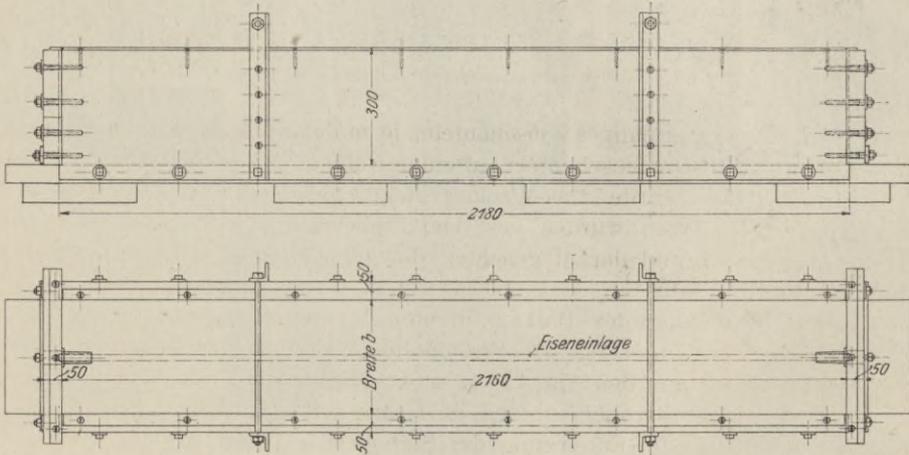


Fig. 15 und 16. Form zur Herstellung der Balken.

Die Balken verblieben in der Regel rd. 2 Tage in der Form; alsdann wurden die Seitenwandungen entfernt und nach weiteren 4 Tagen der Formboden herausgezogen. Bis zur Prüfung lagerten sämtliche Balken auf feuchtem Sand und waren mit Sackeln bedeckt, die dauernd feucht gehalten wurden,

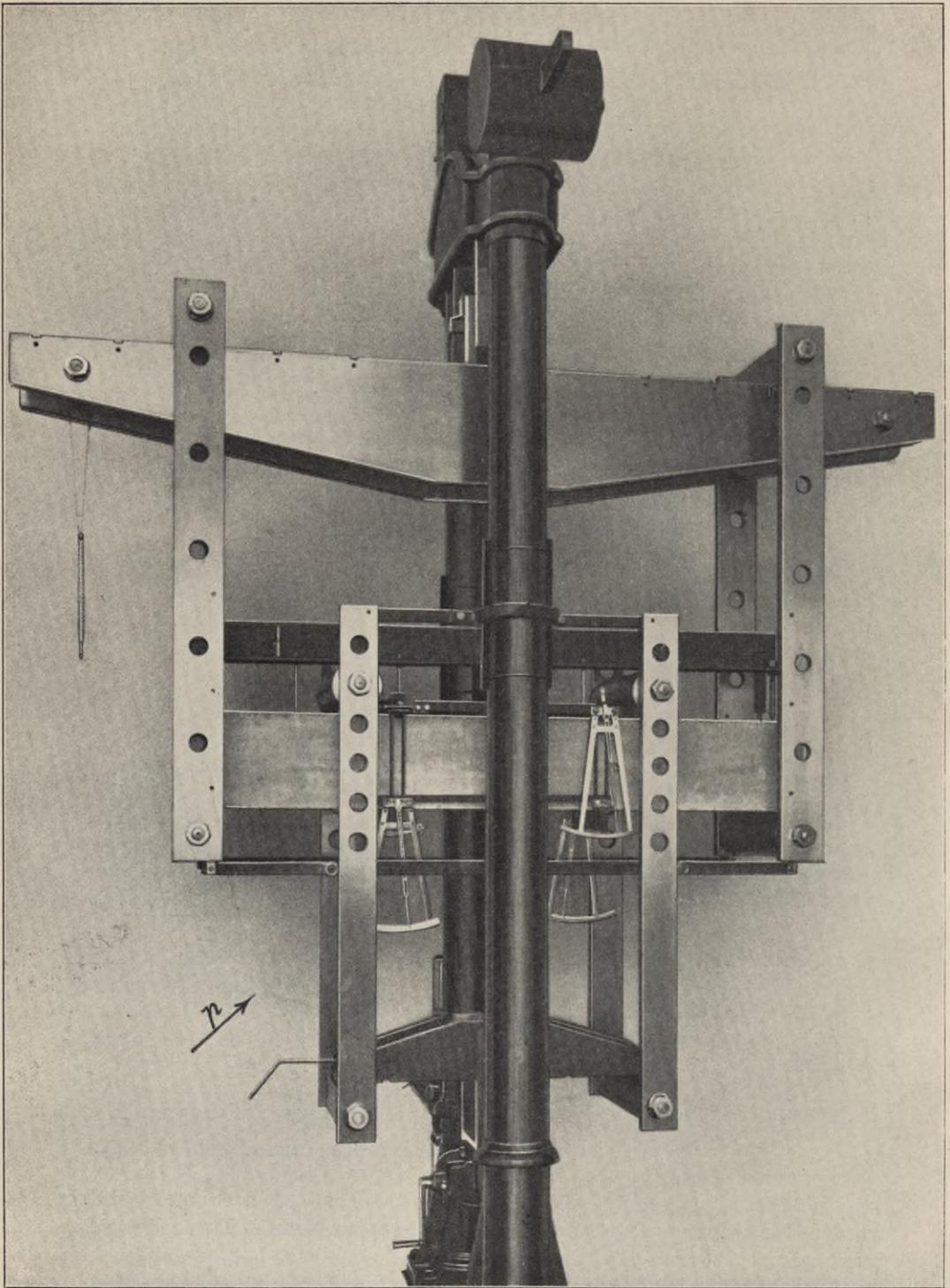


Fig. 17. Prüfungsmaschine.

### III) Durchführung der Versuche im Allgemeinen und ins Einzelne erläutert am Balken Nr. 16 (Bauart nach Fig. 2).

Die Prüfungsmaschine<sup>1)</sup> mit eingebautem Balken und den angesetzten Meßinstrumenten zeigt Fig. 17.

Der Balken ist an den Enden auf Rollen gelagert und wird durch zwei nach innen gelegene Rollen belastet, wie die Fig. 1 bis 5 deutlich erkennen lassen.

Der Abstand der Widerlagerrollen beträgt 2000 mm (bei 2160 mm Balkenlänge) und derjenige der Belastungsrollen 1000 mm, so daß in der Mitte des Balkens eine Meßstrecke von etwa 700 mm gewählt werden konnte. Die Einrichtung gestattet, bei ausreichender Länge der Balken, den ersteren Abstand der Balken bis auf 3000 mm zu vergrößern.

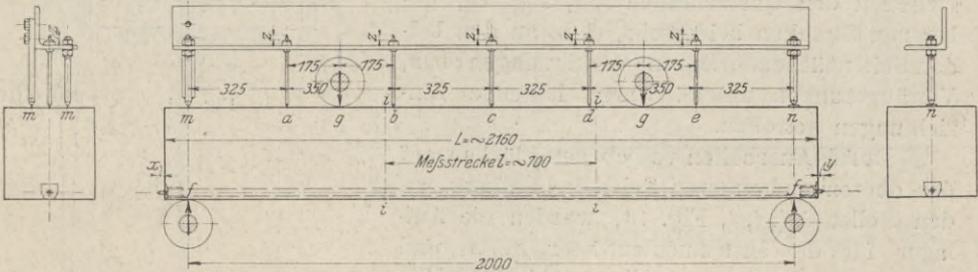


Fig. 18.

Fig. 19.

Fig. 20.

Hiernach wird der Balken, sofern von dem Einfluß des Eigengewichtes (vergl. S. 11) abgesehen wird, im mittleren Teile auf die Erstreckung von 1000 mm nur durch das biegende Moment

$$0,5 P \ 50 \text{ kgem}$$

beansprucht, während in den beiden äußeren Teilen außer dem Biegemoment, das sich von Querschnitt zu Querschnitt ändert und zwischen  $0,5 P \ 50 \text{ kgem}$  (im Querschnitt 500 mm vom Auflager) und null (im Auflagerquerschnitt) schwankt, noch die Querkraft  $0,5 P$  wirksam ist<sup>2)</sup>.

<sup>1)</sup> Stehende Maschine von Mohr & Federhaff in Mannheim. Die Biegungseinrichtung ist für Versuche der vorliegenden Art in der Anstalt entworfen worden. Sie wird seit 1902 benutzt (vergl. Fußbemerkung S. 8).

<sup>2)</sup> Bei der Wahl des Unterschiedes der Größen:

Entfernung der Belastungsrollen . . . . .	1000 mm
Meßstrecke . . . . .	700 »

waren folgende Erwägungen maßgebend:

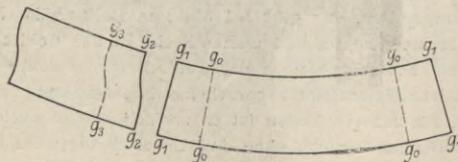


Fig. B.

Fig. A.

Die Formänderung der mittleren Balkenteile, innerhalb der beiden durch die Belastungsrollen bei  $g g$ , Fig. 19, bestimmten Querschnitte wird infolge Unveränderlichkeit des Biegemomentes nach einem Kreisbogen erfolgen mit ebenbleibenden Querschnitten, wie in Fig. A in übertriebenem Maßstabe dargestellt ist. Hierin seien  $g_1 g_1$  die Querschnitte, in denen die Be-

Vor dem Einbauen des Balkens in die Prüfungsmaschine wurden dessen untere und obere Fläche an den Stellen, gegen welche sich die Widerlags- bzw. Belastungsrollen zu legen hatten, d. h. bei  $f, f$  und  $g, g$ , Fig. 19, durch Bearbeiten mit ebenen und parallelen Flächen versehen.

Ferner erhielten die Balken vor dem Einbau zum Zwecke der Erleichterung beim Beobachten des Eintretens von Rissen einen dünnen Anstrich von Schlemmkreide.

Zur Messung der Längenänderungen, welche die im mittleren Teile des Balkens zwischen den Querschnitten  $i, i$ , Fig. 19, gelegenen Strecken beiderseits, d. h. an den beiden Seitenflächen, erfahren (Verkürzungen oben, Verlängerungen unten), waren folgende Einrichtungen getroffen.

Durch Anarbeiten von ebenen Flächen auf der oberen und unteren Seite des Balkens, an den Stellen  $i, i, i, i$ , Fig. 19, wurden die Auflager für die Instrumententräger  $A_1 A_2$  und  $B_1 B_2$  geschaffen, vergl. Fig. 21 bis 25. Wie ersichtlich, sind diese Träger, welche im mittleren Teil den in Fig. 23 dargestellten Querschnitt besitzen, also gegenüber dem Balken eine Berührungsfläche von 5 mm Breite bieten, durch Anpressen an den Balken befestigt. Die anpressenden Schrauben sind an ihren Enden abgerundet und ruhen auf ebenen Flächen.

Die Einrichtung der Meßinstrumente ist aus Fig. 21, 22, 24 und 25 zu ersehen<sup>1)</sup>.

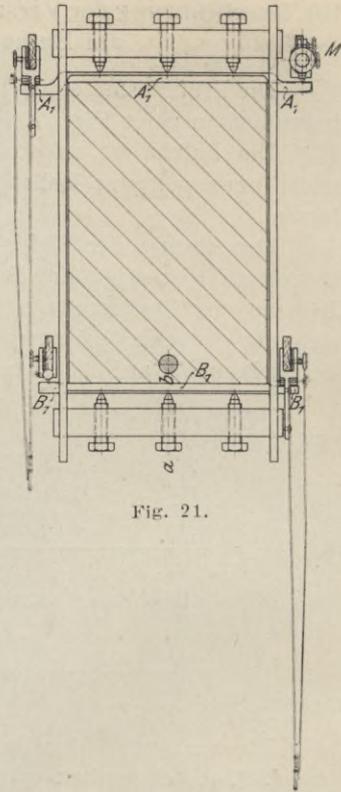


Fig. 21.

lastungsrollen wirken. Die Gestaltung des Balkens außerhalb der Belastungsrollen wird unter Einwirkung der Schubkraft  $0,5 P$  und des biegenden Momentes etwa nach Fig. B vor sich gehen, unter Wölbung des Querschnittes nach der S-Form (vergl. »Elastizität und Festigkeit«, § 52, Ziff. 2).

Hiernach müßte der Querschnitt des Balkens unmittelbar unter den Belastungsrollen einmal die ebene Form  $g_1 g_1$  und ein zweites Mal die gewölbte Form  $g_2 g_2$  besitzen. Das ist unmöglich. In Wirklichkeit wird sich ein Uebergang nach beiden Seiten vollziehen derart, daß die Wölbung des Querschnittes, wie sie der Schubkraft entspricht, nach außen etwa erst bei  $g_3 g_3$  eintritt und daß die Wölbung sich innen fortsetzt und etwa bei  $g_0 g_0$  in eine Ebene übergeht.

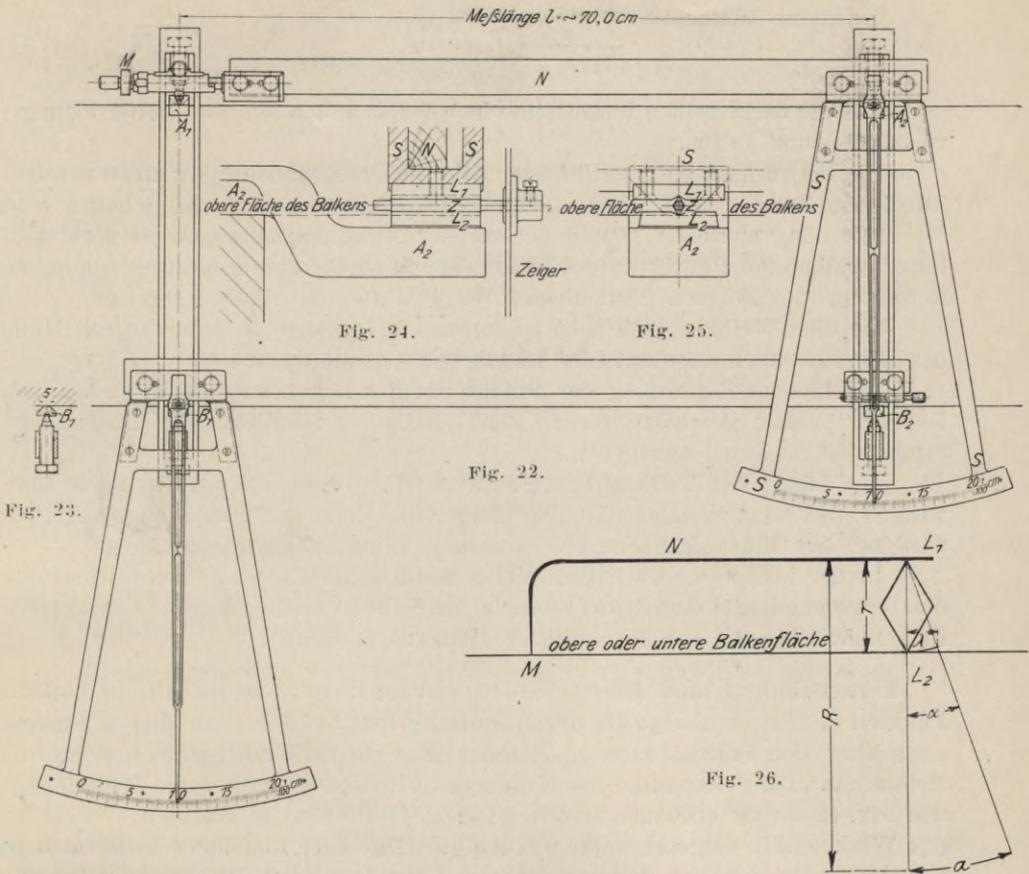
Die Meßstrecke ist mit Rücksicht hierauf innerhalb  $g_0 g_0, g_0 g_0$  zu wählen. Nach meinen Erfahrungen reicht es aus, wenn diese Strecke um die Balkenhöhe kleiner genommen wird, als der Abstand der Belastungsrollen, das gibt bei 300 mm Balkenhöhe 700 mm Meßstrecke

Wählt man die Meßstrecke so, daß man mit ihr in das Gebiet  $g_1 g_1, g_0 g_0$  gelangt, so wird man notwendigerweise auf Nichteckenbleiben der Querschnitte stoßen.

Bei der Verschiedenartigkeit der besprochenen Formänderung der Querschnitte des Balkens im mittleren Teil und in den äußeren Teilen ist es erklärlich, daß auch Risse im Beton namentlich in der Zone  $g_0$  bis  $g_3$  auftreten können, ohne daß Ueberwindung des Gleitwiderstandes stattfindet.

(Vergl. auch das Auftreten solcher Risse ohne Ueberwindung des Gleitwiderstandes, besprochen S. 16 und dargestellt in Fig. 30.)

<sup>1)</sup> Sie sind 1902 von Haberer konstruiert und wurden unter anderem zu den Versuchen verwendet, welche Kleinlogel in der Materialprüfungsanstalt der Königl. Technischen Hochschule in Stuttgart angestellt hat (Forscherarbeiten auf dem Gebiete des Eisenbetons, Heft 1), und auch zu denen, welche Mörsch in seinem Buche »Der Eisenbetonbau, seine Theorie und Anwendung« 2. Aufl., Seite 58 und 93, anführt.



Auf den Instrumententräger  $A_1$ , Fig. 21 und 22, stützt sich mit einer Körnerspitze die Mikrometerschraube  $M$  derart, daß die Spitze in ihrer Körnervertiefung auf der Höhe der Balkenoberfläche liegt. Die Mikrometerschraube  $M$  steht durch die Holzschiene  $N$  mit dem Bogensegment  $S$  in fester Verbindung. An  $S$  ist das Schneidenlager  $L_1$  angeschraubt (vergl. Fig. 24 und 25, welche in größerem Maßstab gezeichnet sind). Auf dem Instrumententräger  $A_2$  befindet sich ein zweites Schneidenlager  $L_2$ . Zwischen  $L_1$  und  $L_2$  ist die Doppelschneide  $Z$  eingelegt, welche außen einen Zeiger trägt. Das Lager  $L_2$  ist derart befestigt, daß die untere Schneide von  $Z$  in die Ebene der oberen Balkenfläche zu liegen kommt.

Der Meßvorgang ist der folgende:

Erfährt der Balken innerhalb der Strecke  $i$ ,  $i$  (Fig. 19) eine Längenänderung  $\lambda$ , so ändert sich damit auch die Entfernung der Instrumententräger. Da die Spitze der Mikrometerschraube  $M$  ihre Lage beibehält, so dreht sich die Schneide  $Z$  um die Grundlinie des Schneidenlagers  $L_1$ .

Unter Bezugnahme auf Fig. 26 ist

$$\lambda = r \sin \alpha.$$

Auf dem Bogen legt der Zeiger den Weg  $a$  zurück, somit ist das Uebersetzungsverhältnis

$$\frac{\lambda}{a} = \frac{r \sin \alpha}{R a}.$$

d. i. für kleine Winkel  $\alpha$

$$\frac{\lambda}{a} = \infty \frac{r}{R}$$

Für die dargestellten Instrumente ist  $r = 4$ ,  $R = 400$  mm, das Übersetzungsverhältnis rund 1:100.

Die Bogenskala ist mit Hilfe der Mikrometerschraube  $M$  gewonnen worden. Zu diesem Zwecke wird die Entfernung zwischen  $M$  und  $L_2$  festgehalten und die Entfernung zwischen  $M$  und  $L_1$  mit der Mikrometerschraube  $M$  verändert. Einer bestimmten Bewegung der Schraube entspricht eine hierdurch bestimmte Bewegung des Zeigers. Auf diesem Wege wurde die Skala festgelegt.

Wie ohne weiteres ersichtlich, können die Instrumente jederzeit mit Hilfe der Mikrometerschraube auf ihre Richtigkeit geprüft werden.

Die kleinste Entfernung der Striche auf der Bogenskala beträgt rd. 1 mm. Da noch  $\frac{1}{10}$  mm geschätzt werden kann, so ist es möglich, die Längenänderungen auf  $\frac{1}{1000}$  mm anzugeben.

Die Länge der Teilung beträgt rd. 20 cm, somit können bis zu 2 mm Dehnungen gemessen werden. Ist der Zeiger am Ende der Skala angelangt, so wird mit der Mikrometerschraube eine neue Einstellung vorgenommen.

In der hieraus ersichtlichen Weise wurden mittels vier Meßinstrumenten die Zusammendrückungen der oberen und die Verlängerungen der unteren Balkenfläche, je auf beiden Seiten des Balkens, bestimmt.

Ferner sind ermittelt worden die Durchbiegungen des Balkens an 3 oder 5 Punkten  $a, b, c, d, e$ , Fig. 19, durch Messung der Größen  $z$  an diesen Stellen, gegenüber den Stützpunkten  $m, m, n$  des aus einem Winkeleisen bestehenden Meßtisches. Die Stützpunkte des Meßtisches befinden sich über den Widerlagern wie Fig. 18 bis 20 erkennen lassen. Die Meßstifte sind in Büchsen, welche in das Winkeleisen eingeschraubt wurden, lose geführt und legen sich unten in Körnervertiefungen der Balkenoberfläche. Die Messung der Größen  $z$  erfolgte durch das Instrument Fig. 10 und 11.

Zusammenfassend sei bemerkt, daß beobachtet wurden, an allen Balken:

- 1) die Aenderung der Strecken  $x$  und  $y$ , Fig. 19, d. i. die Verschiebung der aus den Stirnflächen der Balken hervorragenden Eiseneinlagen gegenüber den Balkenenden (vergl. das unter I Gesagte, sowie Fig. 6 bis 9),
- 2) die Belastung, unter welcher die Erscheinung von Wassertflecken, vergl. S. 13, und die Bildung von Rissen beobachtet wurden; ferner das Fortschreiten dieser Risse bei Steigerung der Belastung,
- 3) die Höchstbelastung.

An der Mehrzahl der Balken wurden ferner ermittelt:

- 4) die Durchbiegungen der oberen Fläche des Balkens an 3 oder 5 Punkten der Mittelebene (Fig. 19),
- 5) die gesamten, bleibenden und federnden Zusammendrückungen des Betons an der oberen Fläche des Balkens auf die Erstreckung von rd. 700 mm (vergl. Fig. 19),
- 6) die gesamten, bleibenden und federnden Verlängerungen des Betons an der unteren Fläche des Balkens auf dieselbe Erstreckung.

Um vollen Einblick in die Versuchsdurchführung zu gewähren, sei das Vorgehen bei der Untersuchung eines Balkens, wozu wir No. 16 der Bauart Fig. 2, herausgreifen wollen, mit allen Einzelheiten angeben.

Balken Nr. 16.

Herstellungstag: . . . 3. April 1906,

Prüfungstag: . . . 12. Oktober 1906,

Alter: . . . . . 192 Tage.

Querschnittabmessungen des Balkens, genommen an 8 Stellen:

Breite  $b = \frac{30,04 + 30,01 + 29,93 + 29,92 + 30,90 + 30,13 + 30,13 + 30,14}{8} = 30,06 \text{ cm},$

Höhe  $h = \frac{30,97 + 30,85 + 30,74 + 30,88 + 30,90 + 30,77 + 30,82 + 30,71}{8} = 30,83 \text{ cm},$

Länge des Balkens  $L = 215,8 \text{ cm},$

Gewicht » »  $G = 462,1 \text{ kg}.$

Die Einlage ist ein gerades Rundeisen mit Walzhaut. Die Abmessungen desselben sind:

Durchmesser  $d = \frac{2,49 + 2,48 + 2,48 + 2,49 + 2,50 + 2,49 + 2,49 + 2,49}{8} = 2,49 \text{ cm},$

Querschnitt  $f_e = \frac{\pi}{4} \cdot 2,49^2 = 4,87 \text{ qcm},$

Umfang  $u_e = \pi \cdot 2,49 = 7,82 \text{ cm},$

Gewicht  $G_e = 8,05 \text{ kg}.$

Hieraus berechnet sich das Gewicht der Raumeinheit des Betons zu

$$\frac{462,1 - 8,05}{3,006 \cdot 3,083 \cdot 21,58 - \frac{8,05}{7,8}} = 2,28,$$

sofern das spezifische Gewicht des Eisens mit 7,8 in Rechnung gesetzt wird.

Der Querschnitt der Eiseneinlage in Hundertteilen des Gesamtquerschnitts des Balkens ergibt sich zu

$$100 \cdot \frac{f_e}{bh} = 100 \cdot \frac{4,87}{30,06 \cdot 30,83} = 0,53 \text{ vH}.$$

Vor Beginn der Versuche trägt der Balken eine Belastung, welche nach Fig. 19 besteht

- 1) aus dem Eigengewicht des Balkens = . . . . . 462,1 kg,  
wovon auf die Länge  $L = 2000 \text{ mm}$  entfallen  $462,1 \cdot \frac{2000}{2158} = . . . 428,3 \text{ »}$
- 2) aus dem Gewicht der 4 Instrumente zur Bestimmung der Längenänderungen samt den zugehörigen Trägern, angreifend in den Punkten  $i, i . . . . . 14,8 \text{ »}$
- 3) aus dem Meßtisch zur Ermittlung der Durchbiegungen. Die Stützpunkte desselben liegen über den Widerlagern . . . . . 62,2 »
- 4) aus den fünf Meßstiften zur Bestimmung der Durchbiegungen des Balkens; die Stifte ruhen in den Punkten  $a, b, c, d, e$ . zusammen 0,4 «

Die Belastung im Anfangszustand durch diese Gewichte wird erforderlichenfalls dadurch zum Ausdruck gebracht werden, daß die Anfangsbelastung mit  $P_0$  bezeichnet wird zum Unterschied von  $P$ , womit die Belastung durch die Maschinenkraft bezeichnet werden soll. Dabei ist zu beachten, daß  $P_0$  sich aus gleichmäßig verteilten Belastungen und aus Einzelkräften zusammensetzt. In der Mehrzahl der Fälle wird bei höherer Belastung des Balkens  $P_0$  als weit zurücktretend angesehen werden können.

Die Belastung des Balkens geschah folgendermaßen. Im Anfangszustand, d. h. Maschinenkraft  $P = 0$  kg, wurden sämtliche Instrumente abgelesen und der Stand der Meßstifte bestimmt. Dann erfolgte die Belastung durch Maschinenkraft  $P = 1000$  kg. Nachdem diese Last rund 3 Minuten gewirkt hatte,

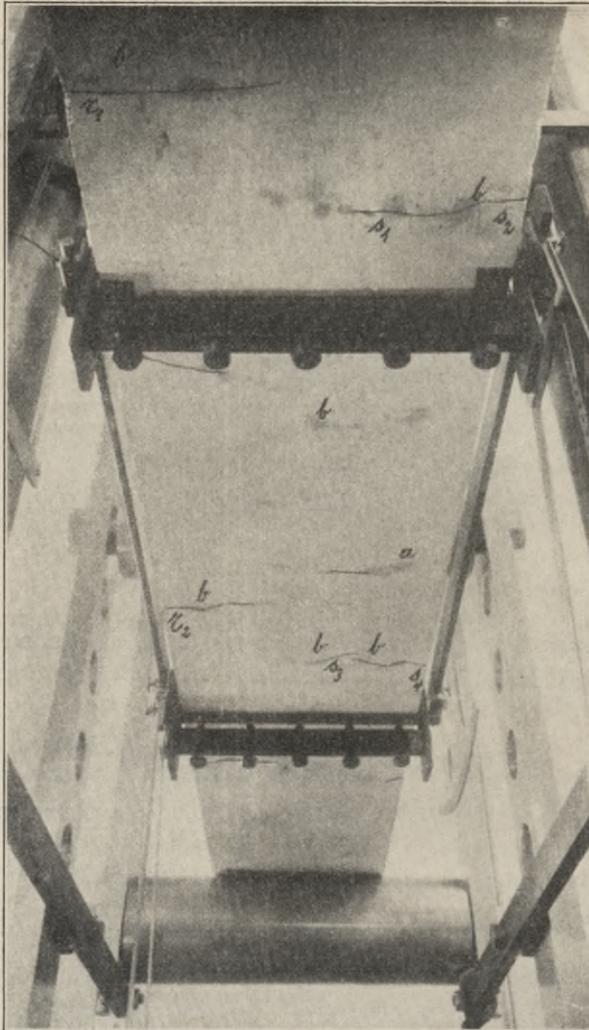


Fig. 27. Untere Fläche des Balkens Nr. 16 (Bauart nach Fig 2).

wurden die Ablesungen vorgenommen, die Balkenunterfläche nach Rissen und dergl. sorgfältig abgesucht und sodann der Balken auf den Anfangszustand entlastet und nach 3 Minuten die Instrumente abgelesen. Dann folgte in derselben Weise  $P = 2000$  kg u. s. f.<sup>1)</sup>. Wenn die Ribbildung oder die Höchst-

<sup>1)</sup> Belastung und Entlastung wurden demnach nicht so oft gewechselt, wie es erforderlich ist, wenn auf derselben Belastungsstufe die gesamten, bleibenden und federnden Dehnungen sich nicht mehr ändern, also einen bestimmten Grenzwert erreichen sollen. Näheres in dieser Hinsicht findet sich in Zeitschrift der Vereines deutscher Ingenieure 1895 S. 489 u. f. »Versuche über die Elastizität von Beton«, oder auch später in »Mitteilungen über Forschungsarbeiten« 1905 Heft 29 Seite 6 und 28.

belastung zu erwarten standen, so wurde die Belastung in kleineren Stufen von 100 bis 250 kg gesteigert.

Zunächst muß hier auf eine besondere Erscheinung aufmerksam gemacht werden. Unter steigender Belastung zeigten sich zuerst vereinzelt an der Balkenunterfläche kleine feuchte Flecke<sup>1)</sup>, die sich mit Zunahme der Belastung vergrößerten und deren Zahl durch Entstehen solcher Wasserflecke an anderen Stellen vermehrt wurde. Fig. 27<sup>2)</sup>, welche das photographische Bild der Balkenunterfläche wiedergibt, läßt diese Flecke bei stärkerer Belastung (Aufnahme unter  $P = 6000$  kg erfolgt) erkennen. Traten bei Steigerung der Belastung Risse auf, so fielen sie jedesmal auf solche Wasserflecke; aber nicht an allen Wasserflecken entstanden Risse.

Diese Erscheinung läßt sich auf folgende Weise erklären. Mit steigender Belastung findet an einzelnen Stellen der Unterfläche, die auf Zug beansprucht wird, eine Lockerung des Gefüges statt, Feuchtigkeit tritt von innen nach außen und liefert den Wasserfleck. Bei Erhöhung der Belastung geht die Lockerung an dem einen oder andern Fleck in einen Riß über, wobei an der einen oder andern benachbarten Stelle, die gleichfalls Wasserflecke zeigt, eine Verminderung der Spannung herbeigeführt wird, wodurch es sich erklärt, daß nicht an allen Stellen mit Wasserflecken Risse auftreten. Auch der Umstand kann hierbei wirksam werden, daß der Grad der Lockerung an verschiedenen Stellen verschieden ist.

Bei der Natur des Betons erklärt es sich ganz von selbst, daß von einer gleich großen Zugfestigkeit des Materiales an allen Stellen der Balkenunterfläche nicht wohl die Rede sein kann, weshalb das Auftreten von Lockerungen in dem Gefüge an einzelnen Stellen ganz begreiflich erscheint<sup>3)</sup>.

Es sollen nun die Beobachtungen an der Unterfläche in ihrer Aufeinanderfolge besprochen werden.

Unter  $P = 3500$  kg zeigte sich auf der Unterseite des Balkens bei  $a$ , Fig. 27, ein Wasserfleck, zunächst weit kleiner als ihn Fig. 27 wiedergibt. Unter  $P = 4000$  kg wurden 6 weitere Wasserflecke bei  $b, b, b, b, b, b$  bemerkt. Bei höherer Belastung vergrößerten sich die Wasserflecke, außerdem vermehrten sie sich. Fig. 27 zeigt den Balken unter  $P = 6000$  kg mit einer großen Zahl solcher Flecke.

Unter  $P = 5250$  kg wurden zwei etwa 3 cm lange, äußerst feine, schwer sichtbare Risse an der Balkenkante bei  $r_1$  und  $r_2$ , Fig. 27, festgestellt. Unter  $P = 5100$  kg konnte hiervon noch nichts bemerkt werden. Bei der nächstfolgenden Belastungsstufe unter  $P = 5500$  kg hatten sich diese beiden Risse gegen die Balkenmitte etwas verlängert, ferner wurden die Anfänge von 4 neuen Rissen  $s_1$  (Nichtkantenriß),  $s_2$  (Kantenriß),  $s_3$  (Nichtkantenriß),  $s_4$  (Kantenriß), Fig. 27, entdeckt. Die gefundenen Risse waren etwa 3 bis 4 cm lang. Die Risse  $s_1$  und  $s_2$  liefen unter  $P = 5500$  kg noch nicht in einen Riß zusammen. Unter  $P = 6000$  kg zeigten sich weitere Risse, an den früheren Rissen konnten bedeutende Verlängerungen festgestellt werden, insbesondere hatten sich  $s_1$  und  $s_2$  zu einem Riß vereinigt. Den Zustand unter  $P = 6000$  kg zeigt Fig. 27. Die

<sup>1)</sup> Die Balken lagerten bis zur Prüfung auf feuchtem Sand und waren stets mit nassen Säcken bedeckt (vergl. unter II).

<sup>2)</sup> Fig. 27 ist in der Richtung von  $p$ , Fig. 17, aufgenommen worden.

<sup>3)</sup> Wie sich nachträglich herausstellte, sind diese Wasserflecken auch von Turneaure beobachtet worden (Engineering News 1904 Vol. LII S. 213).

Abbildung läßt erkennen, daß sämtliche Risse an Stellen auftreten, wo Wasserflecke vorhanden sind.

Sämtliche beobachteten Risse an der Balkenunterfläche sind in Fig. 28 eingetragen. Die jeweils gefundenen Rißstrecken sind durch wagerechte, gestrichelte Begrenzungslinien bezeichnet; die zugehörige Belastung ist zwischen diesen Begrenzungslinien eingetragen.

Die Risse sind auf Fig. 28 in der Reihenfolge von links nach rechts mit Zahlen bezeichnet.

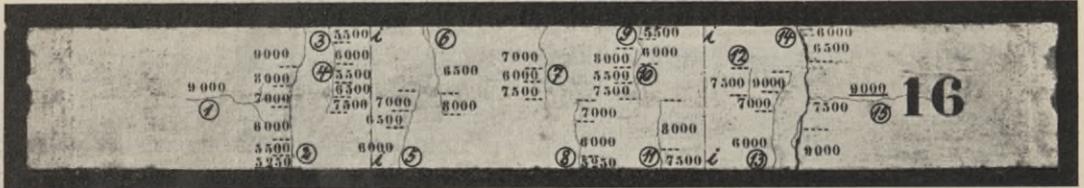


Fig. 28. Untere Fläche des Balkens Nr. 16 (Bauart nach Fig. 2).

Hiernach zeigte sich bei den einzelnen Belastungen Folgendes:

$$P = 5250 \text{ kg:}$$

Bildung der beiden Kantenrisse 2 und 8, bis zur ersten gestrichelten Linie reichend (in Fig. 27  $r_1$  und  $r_2$  genannt).

$$P = 5500 \text{ kg:}$$

Fortschreiten des Kantenrisses 2 bis zur zweiten gestrichelten Linie.

Neue Kantenrisse auf der andern Seite des Balkens (Fig. 28 oben) bei 3 und 9, sowie in der Mitte bei 4 und 10 (in Fig. 27 sind diese Risse mit  $s_2$  und  $s_4$  sowie  $s_1$  und  $s_3$  bezeichnet).

$$P = 6000 \text{ kg:}$$

Riß 2 verlängert sich bis zur dritten gestrichelten Linie, Riß 8 und 9 bis zur zweiten gestrichelten Linie. Die Risse 3 und 4 vereinigen sich. Neue Risse bilden sich, und zwar 13 und 14 an den Kanten, 7 in der Mitte.

$$P = 6500 \text{ kg:}$$

Riß 3 und 4 schreitet vorwärts bis zur vierten gestrichelten Linie, die Risse 5 und 14 bis zur zweiten gestrichelten Linie. Neuer Kantenriß 6 wird beobachtet.

$$P = 7000 \text{ kg:}$$

Riß 2 verlängert sich bis zur vierten Begrenzungslinie, die Risse 5 und 8 bis zur dritten gestrichelten Linie. Diese Länge behält Riß 5 und 8 auch unter den späteren größeren Belastungen bei. Riß 13 reicht bis zur zweiten gestrichelten Linie. Der Mittelriß 7 wird bis zur Kante sichtbar.

$$P = 7500 \text{ kg:}$$

Der Riß 3, 4 erscheint bis zur letzten, fünften gestrichelten Linie, Riß 7 bis zur letzten, dritten Begrenzungslinie. Riß 10 hat sich ebenfalls verlängert. Riß 14 ist bedeutend länger geworden, bis zur dritten Begrenzungslinie. Neuer Kantenriß 11 und Mittelriß 12 werden beobachtet.

$$P = 8000 \text{ kg:}$$

Riß 2 reicht bis zur fünften gestrichelten Linie, Riß 6 und 11 bis zur zweiten Begrenzungslinie; Riß 10 ist gegen die Kanten etwas länger geworden. An den Rissen 6, 10 und 11 sind später, unter höherer Belastung, keine Verlängerungen mehr beobachtet worden.

$P = 9000 \text{ kg}$ :

Die Risse 2 und 14 reichen über die ganze Breite des Balkens, Riß 13 hat sich bis zur dritten Begrenzungslinie verlängert. Die Längsrisse 1 und 15 wurden beobachtet, nachdem sich das Gleiten der Eiseneinlagen<sup>1)</sup> eingestellt hatte. Für den ersten Augenblick wird man geneigt sein, sie lediglich als eine Folge der Aufspaltung des Betons durch das gleitende Eisen anzusehen. Betrachtet man den Vorgang genauer, so zeigt sich noch eine weitere Ursache für die Bildung von Längsrissen. Nach Eintritt des Gleitens werden die Risse 2 und 14 (wie z. B. Fig. 49, S. 33, erkennen läßt) unten immer weiter, entsprechend einer Drehung des äußeren Balkenteiles um die obere Kante des Bruchquerschnittes. Damit ist ein Pressen der Eiseneinlage gegen den Beton nach unten verbunden, wodurch die verhältnismäßig dünne Betonschicht aufgesprengt wird.

Wenden wir uns sodann zu der in Fig. 29 dargestellten Seitenfläche. Diese Abbildung stellt die in Fig. 28 oben gelegene Fläche in dem Zustand nach Ueberschreitung der Höchstlast dar.

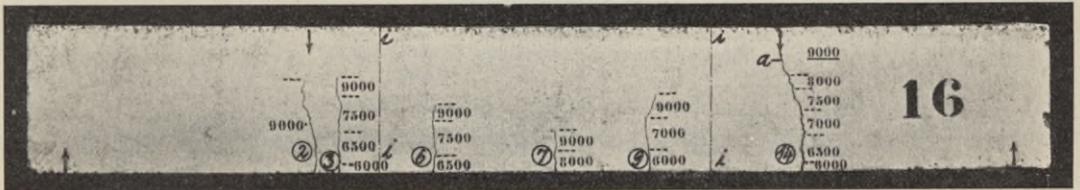


Fig. 29. Seitenfläche des Balkens Nr. 16 (Bauart nach Fig. 2).

$P = 6000 \text{ kg}$ :

Die Risse 3, 9 und 14 treten auf. (Auf der gegenüberliegenden Seitenfläche, welche photographisch nicht aufgenommen worden ist, zeigte sich unter  $P = 5500 \text{ kg}$  der Riß 8, vergl. Fig. 28, auf eine Erstreckung von rund 5 mm.)

$P = 6500 \text{ kg}$ :

Die Risse 3 und 14 werden bis zur zweiten gestrichelten Linie beobachtet. Riß 6 erscheint und reicht bis zur ersten Begrenzungslinie.

$P = 7000 \text{ kg}$ :

Riß 9 ist bis zur zweiten Begrenzungslinie sichtbar, Riß 14 bis zur dritten Linie.

$P = 7500 \text{ kg}$ :

Riß 3 wird bis zur dritten Begrenzungslinie beobachtet, Riß 6 geht bis zur zweiten Begrenzungslinie. Riß 14 wird ebenfalls länger und ist bis zur vierten gestrichelten Linie wahrzunehmen.

$P = 8000 \text{ kg}$ :

Riß 7 kommt zum Vorschein. Riß 14 reicht bis zur fünften gestrichelten Linie.

$P = 9000 \text{ kg}$ :

Sämtliche Risse, 3, 6, 7, 9 und 14, sind länger geworden. Insbesondere Riß 14 ist bis nahe zur Balkenoberfläche hin gewachsen. Riß 2, der auf der Unterfläche schon sehr frühzeitig beobachtet worden war (vergl. Fig. 28), wird auf eine große Erstreckung auch auf der dargestellten Seitenfläche sichtbar.

Ueberblickt man das Vorstehende, so zeigt sich, daß an den Seitenflächen der Balken die Risse erst unter etwas höherer Belastung bemerkt wurden als an der Balkenunterfläche. Es erscheint deshalb hier für die Auffindung der ersten Risse geboten, in erster Linie die Unterfläche des Balkens zu beobachten.

<sup>1)</sup> Näheres hierüber siehe S. 16.

Ferner zeigt sich, daß die Ribbildung des Betons zunächst vorwiegend an den Kanten des Balkens eintritt, d. h. an denjenigen Stellen der Unterfläche, welche von dem Eisen, das die Zugspannungen aufnimmt, am weitesten abliegen. Die Ribbildung vollzieht sich zunächst etwa nach der Linie  $a, b, c, d$ , Fig. 30, unter der Belastung von  $P = 6000$  bis  $6500$  kg. Mit steigender Belastung rückt die Bruchlinie nach  $a_1, b_1, c_1, d_1$ , unter ungefähr  $P = 7000$  kg, und erst unter etwa  $7500$  kg dürfte sie an das Eisen heranrücken<sup>1)</sup>.

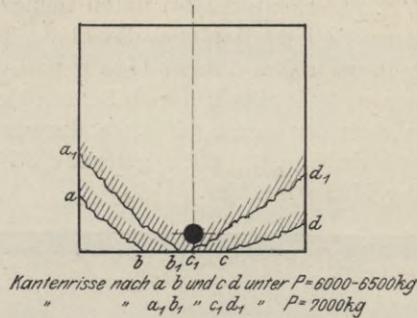


Fig. 30. Ribbildung bei Balken Nr. 16 (mit Bauart nach Fig. 2).

Die Erscheinung, daß die zum Bruche führenden Risse (vergl. Fig. 29) nahe dem Querschnitt einer Belastungsrolle liegen, erklärt sich aus der eigenartigen und in der Fußbemerkung 2 S. 7 erläuterten Beanspruchung ohne weiteres.

Die Beobachtung der Strecken  $x$  und  $y$ , Fig. 2 (vergl. auch Fig. 6 und 7) hat Folgendes ergeben:

Die Belastung, unter welcher eine Aenderung von  $x$  und  $y$  noch nicht festzustellen war, betrug  $P = 8500$  kg.

Die erste Aenderung wurde gemessen unter  $P = 8750$  kg, und zwar

	bei $x$	bei $y$
nachdem die Belastung 2 min gewirkt hat . . . . .	0,010	0,020 mm
nach 6 min . . . . .	0,010	0,020 » :

eine weitere Bewegung ist somit nicht mehr zu verzeichnen gewesen.

Die Belastung wurde nun auf  $P = 9000$  kg gesteigert. Dabei ergaben sich folgende Aenderungen (vom Anfangszustand, d. h.  $P = 0$  aus betrachtet):

	bei $x$	bei $y$
nach 2 min . . . . .	0,030	0,035 mm
» 10 » . . . . .	0,050	0,050 »
» 20 » . . . . .	0,070	0,065 »
» 25 » . . . . .	0,075	0,070 »
» 30 » . . . . .	0,075	0,070 » .

<sup>1)</sup> Die äußere Kraft  $0,5 P$  (vergl. Fig. 1, S. 2), welche die Biegung der einen Balkenhälfte verursacht, wirkt zunächst auf den Beton, von dem wir nur die äußere Strecke von 500 mm Länge in Betracht ziehen wollen; in dem Maße, wie sich der Balken durchbiegt, also seine unterhalb der Nullachse gelegenen Betonfasern (wenn dieser Ausdruck vorübergehend gestattet ist) dehnt und die oberhalb gelegenen zusammendrückt, wird das Eisen durch den Beton zur Uebertragung der Zugkräfte herangezogen. Hieraus erkennt man — bei Annahme eines spannungslosen Zustandes beider Materialien vor der Belastung — ohne weiteres, daß die Formänderung des Betons eine voreilende und diejenige des Eisens eine nachfolgende ist, derart, daß die von dem Eisenstab seitlich gelegenen Querschnitt-Flächenelemente des Betons um so mehr aus der ursprünglichen Querschnittebene hervortreten, je größer ihre Entfernung von dem Eisenstab ist. Die dem Stab am nächsten gelegenen Betonteile, die diesen gewissermaßen mitzunehmen, d. h. die Zugkräfte auf ihn zu übertragen haben, müssen zurückbleiben. Daraus folgt, daß der Querschnitt des Balkens nicht eben bleiben kann, sondern sich wölben muß.

Nach 30 min ist somit Stillstand der Bewegung eingetreten. Dabei hatte der Riß 14, Fig. 29, ungefähr die Stelle  $a$  erreicht.

Die Belastung wurde nun auf  $P = 0$  erniedrigt; nach 3 min ergab die Messung nachstehende bleibende Änderungen:

bei $x$	bei $y$
0,075	0,070 mm.

Die Größen  $x$  und  $y$  haben sich also bei Entlastung des Balkens nicht vermindert. Hieraus folgt, daß sie die eingetretene Verschiebung des Eisens gegen den Beton, d. h. das Maß des Gleitens, angeben.

Nun folgte erneute Belastung des Balkens mit  $P = 9000$  kg, wobei Folgendes gefunden wurde:

	bei $x$	bei $y$
nach 2 min . . . . .	0,115	0,120 mm
» 10 » . . . . .	0,130	0,150 »
» 15 » . . . . .	0,140	0,170 »
» 20 » . . . . .	0,145	0,180 »
» 25 » . . . . .	0,150	0,220 » gesamte Verschiebung.

Nach 28 min gleitet das Eisen bei  $y$ , Fig. 2, so rasch, daß die Wage der Prüfungsmaschine nicht mehr zum Einspielen gebracht werden kann. Der Riß 14, Fig. 28 und 29, öffnet sich entsprechend dem Gleiten des Eisens immer mehr. Zum Schluß geht der Riß annähernd bis zur oberen Balkenfläche.

Nach dem Vorstehenden hat das am Balkenende gemessene Gleiten des Eisens gegenüber dem Beton sicher noch nicht begonnen bei  $P = 8500$  kg; unter  $P = 8750$  kg wird eine kleine Verschiebung von 0,01 mm bei  $x$  und 0,02 mm bei  $y$  festgestellt, die sich jedoch nicht mehr ändert. Unter der wiederholten Belastung  $P = 9000$  kg vollzieht sich das Gleiten auf beiden Seiten, der Balken reißt an der Unterfläche (vergl. Fig. 28) vollständig durch bei Riß 14 und bei Riß 2; an der Seitenfläche (vergl. Fig. 29, in welcher die Stellen der Kraftangriffe durch Pfeile bezeichnet sind) setzt sich der Riß 14 nach oben fort, die Unterfläche, Fig. 28, wird rechts (bei 15) und links (bei 1) aufgesprengt.

Die Widerstandsfähigkeit des Balkens war erschöpft mit dem unter  $P = 9000$  kg eintretenden Gleiten des Eisens.

Werden die Untersuchungsergebnisse in Vergleich gestellt mit den amtlichen Bestimmungen für die Ausführung von Konstruktionen aus Eisenbeton bei Hochbauten<sup>1)</sup>, so ergibt sich Folgendes:

Die Bestimmungen besagen unter Bezugnahme auf Fig. 31:

Bei einfacher Eiseneinlage vom Querschnitt  $f_e$  auf die Balkenbreite  $b$  ergibt sich, wenn das Verhältnis der Elastizitätsmaße des Eisens und des Betons mit  $n$

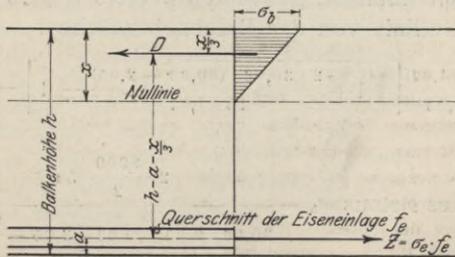


Fig. 31. Nach den amtlichen Bestimmungen.

<sup>1)</sup> Erlaß des kgl. preußischen Ministers der öffentlichen Arbeiten vom 16. April 1904.



bezeichnet wird, der Abstand der Nulllinie von der Oberkante aus der Gleichung der statischen Momente der Flächenelemente für die Nulllinie:

$$\frac{b x^2}{2} = n f_e (h - a - x)$$

zu

$$x = \frac{n f_e}{b} \left[ \sqrt{1 + \frac{2 b (h - a)}{n f_e}} - 1 \right] \dots \dots \dots (1).$$

Aus der Gleichsetzung der Momente der äußeren und inneren Kräfte folgt dann

$$M = \sigma_b \frac{x}{2} b \left( h - a - \frac{x}{3} \right) = \sigma_e f_e \left( h - a - \frac{x}{3} \right),$$

worin  $\sigma_b$  die größte Betondruckspannung und  $\sigma_e$  die mittlere Eisenzugspannung bedeutet.

Hieraus folgt

$$\sigma_b = \frac{2 M}{b x \left( h - a - \frac{x}{3} \right)} \dots \dots \dots (2)$$

$$\sigma_e = \frac{M}{f_e \left( h - a - \frac{x}{3} \right)} \dots \dots \dots (3),$$

Wird die Querkraft am Auflager mit  $V$  bezeichnet, so ist die Schubspannung im Beton in den äußeren Teilen  $m_g$  und  $n_g$  (vergl. Fig. 19) des Balkens

$$\tau_0 = \frac{V}{b \left( h - a - \frac{x}{3} \right)} \dots \dots \dots (4),$$

während die auf Gleiten des Eisens im Beton hinwirkende Spannung für die Flächeneinheit der Eisenoberfläche, d. h. die Gleitspannung an der Eiseneinlage beträgt

$$\tau_1 = \frac{b \tau_0}{\pi d} = \frac{V}{\left( h - a - \frac{x}{3} \right) \pi d} \dots \dots \dots (5),$$

wenn  $d$  den Durchmesser des Rundeisens bedeutet.

Der Abstand der Oberfläche der Eiseneinlage von der unteren Balkenfläche wurde im Bruchquerschnitt (Riß 14, Fig. 28 und 29) ermittelt zu

$$e = 0,80 \text{ cm.}$$

Damit wird der in Fig. 31 eingetragene Abstand  $a = \frac{2,49}{2} + 0,80 = 2,05$  cm.

Hiernach ergibt sich für den Balken Nr. 16, ohne Rücksicht auf den Einfluß der Eigengewichte (vergl. S. 11) für  $P = 9000$  kg, unter Zugrundelegung des in den amtlichen Bestimmungen gewählten Wertes  $n = 15^1$ ):

der Abstand  $x$  der Nulllinie von der Balkenoberfläche

$$x = \frac{15 \cdot 4,87}{30,06} \left[ \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 30,06 \cdot (30,83 - 2,05)}{15 \cdot 4,87}} - 1 \right] = 9,65 \text{ cm,}$$

und hiermit

$$\text{die Druckspannung des Betons } \sigma_b = \frac{2 \cdot \frac{9000}{2} \cdot 50}{30,06 \cdot 9,65 \left( 30,83 - 2,05 - \frac{9,65}{3} \right)} = 60,7 \text{ kg/qcm,}$$

<sup>1</sup>) Daß sich gegen diesen Wert Einwendungen erheben lassen, soll nicht unerwähnt bleiben; es ist jedoch hier nicht der Ort, näher auf diese Frage einzugehen.

$$\text{die Spannung des Eisens } \sigma_e = \frac{\frac{9000}{2} \cdot 50}{4,87 \left( 30,83 - 2,05 - \frac{9,65}{3} \right)} = 1808 \text{ kg/qcm},$$

$$\text{die Schubspannung des Betons } \tau_0 = \frac{\frac{9000}{2}}{30,06 \left( 30,83 - 2,05 - \frac{9,65}{3} \right)} = 5,9 \text{ kg/qcm},$$

$$\text{der Gleitwiderstand } \tau_1 = \frac{30,06 \cdot \tau_0}{7,82} = \mathbf{22,5 \text{ kg/qcm}^1}.$$

Dieser Widerstand kann auch unmittelbar aus der Zugkraft des Eisens, d. i.

$$Z = \frac{M}{h - a - \frac{x}{3}} = \frac{\frac{9000}{2} \cdot 50}{30,83 - 2,05 - \frac{9,65}{3}} = 8803 \text{ kg},$$

abgeleitet werden, wenn als Länge des Eisens, das an der Uebertragung beteiligt ist, 50 cm (Abstand des Kraftangriffes vom Auflager) eingeführt wird. Dann ergibt sich

<sup>1)</sup> Die in den amtlichen Bestimmungen durch Gl. (5) definierte Größe  $\tau_1$  wird daselbst als »Haftspannung« bezeichnet. Nach Maßgabe dieser Gleichung bedeutet  $\tau_1$  diejenige Kraft, mit welcher die Oberfläche des einbetonierten Eisens Widerstand gegen das Gleiten leistet, wenn die Vertikalkraft  $V$  übertragen wird, bezogen auf die Flächeneinheit.

Um sich ein Urteil über die zulässige Größe von  $\tau_1$  zu verschaffen, kann in folgender Weise vorgegangen werden.

1) Man bestimmt die Kraft, welche zum Herausziehen oder Hinausdrücken des einbetonierten Eisenstabes erforderlich ist, und dividiert diese Kraft durch die im Beton liegende Eisenoberfläche. Der Quotient ist der Widerstand, der sich dem Gleiten des einbetonierten Eisens entgegensetzt, bezogen auf die Einheit der Staboberfläche. In dieser Weise wurde der Gleitwiderstand durch die Versuche bestimmt, über welche die in der Fußbemerkung S. 1 genannte Schrift berichtet;

2) oder man führt Biegungsversuche mit Balken durch, wie oben besprochen ist, und berechnet  $\tau_1$  gemäß den amtlichen Vorschriften nach Gl. (5) — oder auch in anderer Weise, wenn man sich den Voraussetzungen, auf denen diese Gleichung beruht, nicht anschließen will — und erhält dann, mit der Genauigkeit, welche der Gl. (5) innewohnt, in  $\tau_1$  den Widerstand, der sich dem Gleiten des einbetonierten Eisens im gebogenen Balken entgegensetzt, bezogen auf die Einheit der Staboberfläche.

Ob man den Widerstand, der sich dem Gleiten des Eisens entgegensetzt, in der einen oder andern Weise ermittelt, in beiden Fällen erweist er sich abhängig von der Oberflächenbeschaffenheit des Eisens und von der Vollkommenheit der prismatischen Form desselben derart, daß er z. B. größer ist, wenn sich auf dem Eisen noch der Zunder vom Walzen her befindet und wenn die Form des Eisens von der prismatischen Gestalt abweicht usw.

Hierin liegt der Grund für die Verwendung von Eisen, das verwunden (Ransome-Eisen) oder sonst mit Unebenheiten oder Knoten (Johnson-, Thacher-Eisen) versehen worden ist.

Von dem nach Ziff. 1 oder 2 ermittelten Gleitwiderstand wird man einen Bruchteil als zulässig in die Rechnung einführen.

Mit Rücksicht auf die vorstehend geschilderten Verhältnisse habe ich diesen Widerstand gegen Gleiten als Gleitwiderstand bezeichnet. Diese Bezeichnung bringt deutlich zum Ausdruck, um was es sich handelt. Ich glaube deshalb, auch daran festhalten zu müssen trotz des Widerspruches, der von denjenigen erhoben worden ist, von denen die Bezeichnung »Haftfestigkeit« bzw. »Haftspannung« herrührt oder welche für Beibehaltung derselben sind. Nicht um das »Anhaften« handelt es sich, sondern um den Widerstand gegen das Herausziehen des Eisens, gegen das Gleiten desselben gegenüber dem Beton.

Im Maschinenbau, in welchem bei Befestigung von Maschinen usw. vielfach Schraubenbolzen mit Zement vergossen angewendet werden, wird es niemand einfallen, bei der zulässiger Belastung solcher Schraubenbolzen im Beton oder Mauerwerk von »Haftfestigkeit« oder »Haftspannung« zu sprechen.

$$\tau_1 = \frac{8803}{50 \pi 2,49} = 22,5 \text{ kg/qcm.}$$

In Wirklichkeit ist an der Uebertragung jedoch nicht die Eisenlänge 50 cm, sondern, wie die Fig. 1 und 6 erkennen lassen, die Länge 52 cm beteiligt<sup>1)</sup>. Mit diesem Wert wird

$$\tau_1 = \frac{8803}{52 \pi 2,49} = 21,6 \text{ kg/qcm,}$$

das sind 4 vH weniger.

Werden die Eigengewichte des Balkens und der Meßinstrumente (vergl. S. 11) berücksichtigt, so findet sich für die Vertikalkraft  $V$  im Widerlagerquerschnitt ein Mehr von

$$\frac{1}{2} \cdot 428,3 + \frac{1}{2} \cdot 14,8 = 221,5 \text{ kg,}$$

somit bei  $P_{\max} = 9000 \text{ kg}$  eine Zunahme der Vertikalkraft um

$$\frac{221,5}{4500} \cdot 100 = 4,9 \text{ vH.}$$

Der Gleitwiderstand würde sich mit diesem Wert von 22,5 auf

$$\tau_1 = 22,5 \cdot 1,049 = 23,6 \text{ kg/qcm}$$

erhöhen.

Für den Belastungsquerschnitt bei  $g$ , Fig. 19, ergibt sich die zusätzliche Vertikalkraft zu

$$\frac{1}{4} \cdot 428,3 + \frac{1}{2} \cdot 14,8 = 114,5 \text{ kg,}$$

d. s.

$$\frac{114,5}{4500} \cdot 100 = 2,5 \text{ vH,}$$

und hiermit

$$\tau_1 = 22,5 \cdot 1,025 = 23,1 \text{ kg/qcm.}$$

Die Ergebnisse der Dehnungsmessungen und die ermittelten Durchbiegungen finden sich in der Anlage 4 zusammengestellt.

In Fig. 32 sind zu den Belastungen als senkrechten Ordinaten die gesamten, bleibenden und federnden Verlängerungen an der unteren Balkenfläche als wagrechte Abszissen aufgetragen. Bis gegen  $P = 3000 \text{ kg}$  verlaufen die Linienzüge annähernd nach einer Geraden; in Wirklichkeit wachsen die Dehnungen etwas rascher als die Belastungen, so daß die Dehnungslinien von Anfang an ein wenig hohl gegen die Achse der Verlängerungen, d. i. gegen die wagrechte Achse erscheinen.

Zwischen  $P = 3000 \text{ kg}$  und  $P = 6000 \text{ kg}$  ist die verhältnismäßige Zunahme der Dehnungen gegenüber den Belastungen weit größer, während von der Belastung  $P = 6000 \text{ kg}$  an die Dehnungslinie sich abermals einer geraden Linie nähert, etwas hohl bleibend gegen die wagrechte Achse.

<sup>1)</sup> Um den Unterschied, welcher zwischen dem Abstand des Kraftangriffs vom Auflager (50 cm in Fig. 1) und der einbetonierten Länge des Eisens besteht, möglichst gering zu erhalten, wurde die aus Fig. 6 ersichtliche Aussparung  $o$  angeordnet. Würde das nicht geschehen sein, d. h. wäre der Eisenstab bis zur Stirnfläche des Balkens einbetoniert worden, so würde der Unterschied  $58 - 50 = 8 \text{ cm}$ , d. h. 16 vH betragen haben. Der Gleitwiderstand, in der üblichen Weise aus Gl. (5) berechnet, würde dann um 16 vH zu groß ermittelt worden sein. Das zu vermeiden, wurde die bezeichnete Aussparung ausgeführt. Mit dieser bis genau über das Auflager zu gehen, erschien nicht zweckmäßig.

Daß das Reichen des einbetonierten Eisens ohne Aussparung des Betöns bis an das Balkenende, also über das Auflager hinaus, eine Erhöhung der Sicherheit gegen Gleiten bedeutet, ist selbstverständlich.

Hierbei ist bemerkenswert, daß unter  $P = 3500$  kg der erste Wasserfleck und unter  $P = 4000$  kg sechs weitere Wasserflecke beobachtet wurden (vergl. oben S. 13). Unter  $P = 5250$  kg zeigten sich die ersten Risse (2 und 8 in Fig. 28).

Hiernach fällt die Entstehung der ersten »Wasserflecke« und der ersten Risse in das Gebiet, in welchem die Dehnungslinien die stärksten Krümmungen aufweisen. Diese Feststellungen deuten

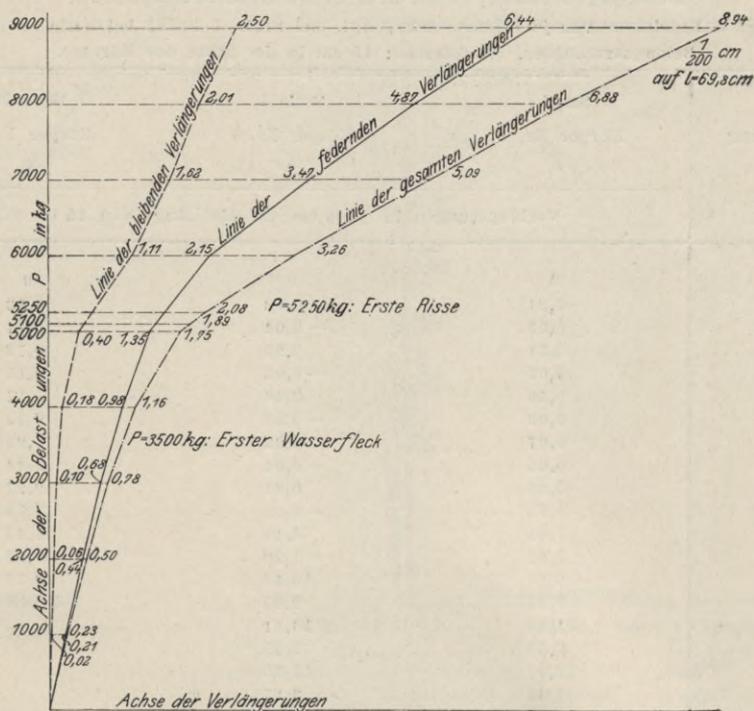


Fig. 32. Balken Nr. 16 (Bauart nach Fig. 2).  
Ver längerungen des Betons, gemessen an der unteren Balkenfläche.

darauf hin, daß bis  $P = 3000$  kg und noch etwas darüber der Balken als Ganzes wirkt, d. h. daß bis dahin die Zugspannungen des Betons mit wirksam sind; von da ab wird die Uebertragung der Zugkräfte im Balken mehr und mehr an das Eisen abgegeben. Schon vor  $P = 6000$  kg ist die Beteiligung des Betons innerhalb der Meßstrecke an der Uebertragung der Zugkräfte recht klein geworden; das Eisen hat diese Uebertragung zum großen Teile übernommen und besorgt sie bis zum Eintritt des vollständigen Gleitens unter  $P = 9000$  kg.

Es ist hier der Ort festzustellen, daß bei allen untersuchten Balken nicht bloß die ersten Wasserflecke, sondern auch die ersten Risse immer in das Gebiet der stärksten Krümmung der Dehnungslinien fallen, daß also die ersten Risse entdeckt wurden, kurz bevor die Dehnungslinien zum zweiten Male den einer Geraden sich nähernden Verlauf nehmen, wie solcher in Fig. 32 oben zu sehen ist.

Bei dieser Sachlage liegt es nahe, zu schließen, daß in den Fällen, bei denen Risse erst später beobachtet werden, d. h. nachdem bereits die Dehnungslinien das Gebiet der größten Krümmung hinter sich hatten und wieder nahe

zu in einer Geraden verliefen, die ersten Risse nicht rechtzeitig von dem Beobachter wahrgenommen worden sind<sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> In dieser Hinsicht ist es von Interesse, die Zahlen zu verfolgen, welche in Veröffentlichungen aus neuester Zeit über die Dehnungsfähigkeit von Beton bekannt gegeben worden sind, ohne daß Risse eingetreten sein sollen. So macht die wertvolle Arbeit Schüles: »Resultate der Untersuchung von armiertem Beton auf reine Zugfestigkeit und auf Biegung unter Berücksichtigung der Vorgänge beim Entlasten«, Zürich 1906, S. 19 und 21 folgende Angaben:

**Dehnungsmessungen an armierten Betonzugkörpern.**

Armierung: 4 Rundseisen von je 8 mm Stärke, d. i. bei Serie I 1 vH, bei Serie II 1,6 vH des Betonquerschnittes. Meßstrecke: 15 cm in der Mitte des Körpers.

Belastung <i>P</i>	Serie I	Serie I	Serie II
	Körper Nr. 5 <i>a</i>	Körper Nr. 6 <i>b</i>	Körper Nr. 9 <i>c</i>
<i>t</i>	Verlängerungen in $\frac{1}{1000}$ cm auf die Länge von 15 cm		
$\frac{1}{4}$	0	0	0
$1\frac{1}{4}$	-0,21	0,18	0,43
$\frac{1}{4}$	0,01	-0,04	0,11
$1\frac{3}{4}$	0,34	0,29	0,73
$\frac{1}{4}$	0,00	-0,03	0,15
$2\frac{1}{4}$	0,50	0,46	1,17
$\frac{1}{4}$	0,03	-0,03	0,13
$2\frac{3}{4}$	0,67	0,62	6,85
$\frac{1}{4}$	0,05	-0,04	2,64
$3\frac{1}{4}$	5,33	0,81	9,27
$\frac{1}{4}$	1,70	-0,02	2,78
$3\frac{3}{4}$	7,61	4,44	11,45
$\frac{1}{4}$	2,07	+1,20	2,95
$4\frac{1}{4}$	9,14	10,43	20,75
$\frac{1}{4}$	2,22	2,80	Bruch
$4\frac{3}{4}$	11,13	13,11	
$\frac{1}{4}$	2,52	2,99	
$5\frac{1}{4}$	12,97	15,65	
$\frac{1}{4}$	2,63	3,17	
$5\frac{3}{4}$	14,92	16,22	
$\frac{1}{4}$	2,75	3,01	
—	Riß am Körperkopfe	Riß am Körperkopfe	

Die größten gemessenen Dehnungen des Betons sind hiernach, umgerechnet auf 1 m Länge, (vergl. S. 8 der genannten Schrift)

$$\left| \begin{array}{l} 14,92 \frac{100}{15 \cdot 100} = 0,995 \text{ mm} \\ 16,22 \frac{100}{15 \cdot 100} = 1,08 \text{ mm} \\ 20,75 \frac{100}{15 \cdot 100} = 1,38 \text{ mm} \end{array} \right.$$

Sie werden daselbst als diejenigen größten Dehnungen aufgefaßt, welche vor dem Eintritt der Risse gemessen wurden.

Werden die zugehörigen Dehnungslinien gezeichnet, so erhalten wir Fig. *a*, *b* und *c*.

Deutlich sprechen diese Figuren dafür, daß sich nach Ueberschreiten der Belastungen von  $2\frac{3}{4}$  t,  $3\frac{1}{4}$  t und  $2\frac{1}{4}$  t Risse eingestellt haben werden, ohne daß sie entdeckt worden sind.

Es ist nicht einzusehen, wodurch sich die plötzliche Zunahme der Dehnung

von 0,67 auf  $5,33 \frac{1}{1000}$  cm, d. i. auf das 8 fache, Fig. *a*

» 0,81 »  $4,44 \frac{1}{1000}$  » » » »  $5\frac{1}{2}$  » Fig. *b*

» 1,17 »  $6,85 \frac{1}{1000}$  » » » » 6 » Fig. *c*

erklären sollte, wenn nicht Rißbildung stattgefunden hätte.

Werden die zu den Belastungen  $2\frac{3}{4}$  t,  $3\frac{1}{4}$  t und  $2\frac{1}{4}$  t gehörigen Dehnungen auf 1 m Meßlänge zurückgeführt, d. i.

$$\begin{array}{l} \text{für Körper Nr. 5 bei } 2\frac{3}{4} \text{ t Belastung} \quad \frac{0,67}{100} \cdot \frac{100}{15} = 0,045 \text{ mm} \\ \text{» » » 6 » } 3\frac{1}{4} \text{ t »} \quad \frac{0,81}{100} \cdot \frac{100}{15} = 0,054 \text{ »} \\ \text{» » » 9 » } 2\frac{1}{4} \text{ t »} \quad \frac{1,17}{100} \cdot \frac{100}{15} = 0,071 \text{ »} \end{array}$$

so ergeben sich für die Dehnungen Werte, welche mit denjenigen übereinstimmen, die durch Zugversuche mit nichtarmiertem Beton in der Materialprüfungsanstalt der Technischen Hochschule Stuttgart unmittelbar vor Eintritt der Ribbildung festgestellt worden sind, und wie sie ähnlich auch von Schüle für sehr schwach armierte Zugkörper (0,1 vH Eisenquerschnitt) selbst ermittelt

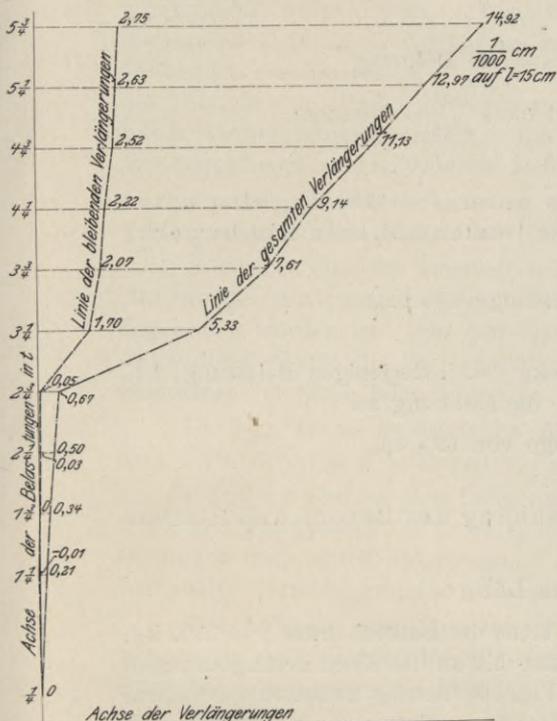


Fig. a. Serie I, Körper Nr. 5.

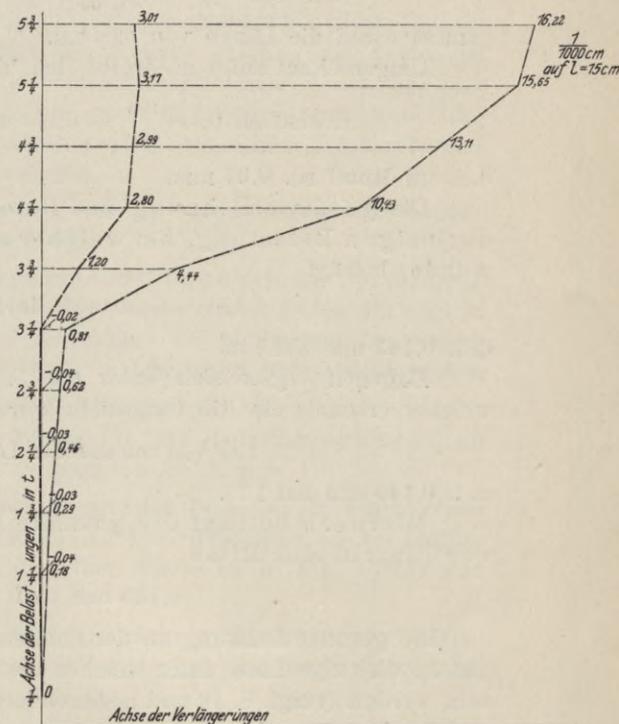


Fig. b. Serie I, Körper Nr. 6.

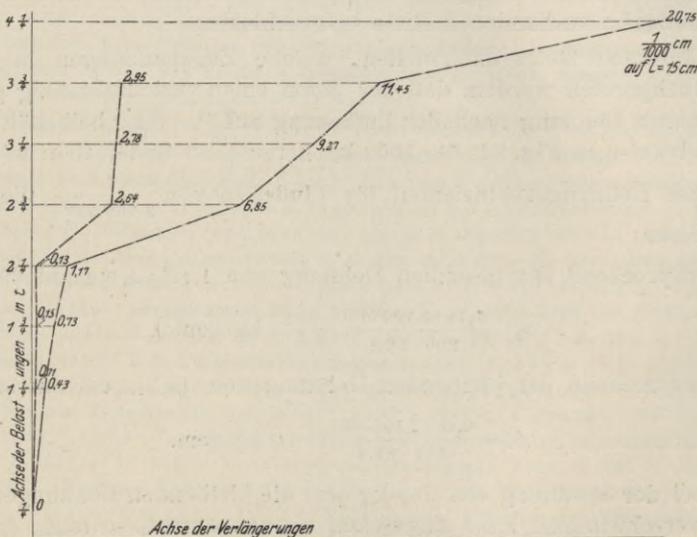


Fig. c. Serie II, Körper Nr. 9.

worden sind. S. 8 der genannten Schrift finden sich die Angaben: 0,031 bis 0,039 und 0,031 bis 0,047 mm auf 1 m Länge. Hiernach würde derselbe Beton an sich bei der Eiseneinlage von 0,1 vH des Querschnittes eine Dehnung bis 0,047 mm auf 1 m Länge vertragen haben, ehe er reißt, bei der Eiseneinlage von 1,6 vH des Querschnittes dagegen eine Dehnung von 1,38 mm auf dieselbe Länge, d. i. 29mal mehr, was ausgeschlossen erscheint.

Die gesamte Dehnung des Betons bei Beobachtung der ersten Wasserfleck unter  $P = 3500$  kg liegt zwischen

$$0,78 \frac{1}{200} \text{ cm} = 0,0039 \text{ cm unter } P = 3000 \text{ kg} \\ \text{und } 1,16 \frac{1}{200} \text{ » } = 0,0058 \text{ » » } P = 4000 \text{ » ,}$$

gemessen auf die Länge von 69,8 cm.

Umgerechnet auf 1 m, ergibt sich hieraus die Dehnung

$$\text{zwischen } 0,039 \frac{100}{69,8} = 0,056 \text{ und } 0,058 \frac{100}{69,8} = 0,083 \text{ mm,}$$

d. i. im Mittel rd. **0,07** mm.

Die gesamte Dehnung des Betons unter  $P = 5100$  kg, also unter derjenigen Belastung, bei welcher zum letztenmal kein Riß bemerkt wurde, beträgt

$$1,89 \frac{1}{200} \text{ cm auf die Meßlänge } 69,8 \text{ cm,}$$

d. i. **0,135** mm auf 1 m.

Dagegen ergibt sich unter  $P = 5250$  kg, d. i. derjenigen Belastung, bei welcher erstmals ein Riß festgestellt wurde, die Dehnung zu

$$2,08 \frac{1}{200} \text{ cm auf die Länge von } 69,8 \text{ cm,}$$

d. i. **0,149** mm auf 1 m.

Hiernach beträgt die gesamte Dehnung des Betons unmittelbar vor Eintritt der Risse

$$\mathbf{0,135 \text{ mm auf 1 m Länge.}}$$

Die gesamte Dehnung an der unteren Fläche des Balkens unter  $P = 7500$  kg, das ist diejenige Last, unter welcher die Risse bis an das Eisen herangedrungen sein werden (vergl. S. 16 und insbesondere Fig. 30), beträgt zwischen  $5,09 \frac{1}{200}$  cm und  $6,88 \frac{1}{200}$  cm, also etwa  $5,9 \frac{1}{200}$  cm = 0,0295 cm auf 69,8 cm Meßlänge, dies gibt rd. 0,4 mm auf 1 m Länge. Hierbei sind natürlich die unter  $P = 7500$  kg in der Meßstrecke vorhandenen Risse eingeschlossen.

Von Interesse ist zu untersuchen, welche Zugspannungen in dem Eisen dadurch wachgerufen werden, daß der Beton einen verhältnismäßig großen Teil seiner gesamten Dehnung nach der Entlastung auf  $P = 0$  kg beibehält<sup>1)</sup>. Greifen wir beispielsweise in Fig. 32  $P = 5000$  kg heraus, so findet sich bei Zugrundelegung eines Dehnungskoeffizienten für Flußeisen von  $\frac{1}{2\,100\,000}$  die Zugspannung im Eisen:

1) entsprechend der gesamten Dehnung von  $1,75 \frac{1}{200}$  cm auf 69,8 cm

$$\sigma_1 = \frac{1,75 \cdot 2\,100\,000}{200 \cdot 69,8} = 263 \text{ kg/qcm}^2),$$

2) entsprechend der bleibenden Dehnung von  $0,4 \frac{1}{200}$  cm auf 69,8 cm

$$\sigma_2 = \frac{0,40 \cdot 2\,100\,000}{200 \cdot 69,8} = 60 \text{ kg/qcm.}$$

Da bei der Spannung von 263 kg/qcm die bleibenden Dehnungen von Flußeisen als verschwindend klein angesehen werden dürfen, so folgt, daß die Entlastung von  $P = 5000$  kg auf  $P = 0$  kg mit einer Zugspannung von rd. 60 kg/qcm

<sup>1)</sup> Weiches Gußeisen verhält sich ähnlich.

<sup>2)</sup> Hierbei ist vorausgesetzt, daß das Eisen die gleiche Dehnung wie der Beton an der unteren Balkenfläche erfährt. In Wirklichkeit sind die Dehnungen des Eisens etwas kleiner.

im Eisen endigt, so daß also der Beton unterhalb der Nullachse durch das gespannte Eisen eine Druckbelastung erfährt, Spannungslosigkeit im ursprünglichen Zustand vorausgesetzt<sup>1)</sup>. Die bleibenden Verlängerungen des Betons würden infolgedessen noch größer sein, wenn die Zugspannungen des Eisens nicht wachgerufen worden wären. Diese Rückwirkung des gespannten Eisens auf die bleibenden Dehnungen des Betons erklärt den Knick, welchen die Linie der bleibenden Dehnungen in Fig. 32 bei  $P = 6000$  kg zeigt. Dazu kommt, daß nach dem Eintritt von Rissen im Beton dieser nur noch in beschränktem Maße bleibende Verlängerungen erfährt. Infolgedessen muß die Linie der bleibenden Verlängerungen vergleichsweise steil verlaufen.

Aus dem Vorstehenden ist zu ersehen, daß die Ermittlung der bleibenden Verlängerungen von erheblichem Werte ist<sup>2)</sup>.

In Fig. 33 sind die ermittelten Zusammendrückungen an der oberen Fläche des Balkens dargestellt, in gleicher Weise wie dies früher für Fig. 32 angegeben worden ist. Auf den Verlauf der Linien der bleibenden Zusammendrückungen nimmt die Zugspannung Einfluß, welche nach Maßgabe des oben Bemerkten im Eisen beim Entlasten zurückbleibt.

Die Fig. 34 bis 38 enthalten die Werte für die Durchbiegungen an den 5 Punkten  $a, b, c, d$  und  $e$ , Fig. 19 (vergl. auch Anlage 4).

In Fig. 39 sind zu den Längenabmessungen des Balkens als wagerechten Abszissen die gesamten Durchbiegungen an den fünf Meßstellen als senkrechte Ordinaten nach unten aufgetragen. In derselben Weise ist in Fig. 40 mit den bleibenden Durchbiegungen verfahren.

Eine aufmerksame Betrachtung zeigt das stärkere Wachstum der Durchbiegungen nach Eintritt der Wasserflecke ( $P = 3500$  kg) und noch mehr nach Auftreten von Rissen ( $P = 5250$  kg).

<sup>1)</sup> Diese Voraussetzung, obgleich sie bei den Berechnungen gemacht zu werden pflegt, wird im allgemeinen nicht zutreffen, denn der Zementmörtel pflegt sich beim Erhärten an der (trocknen) Luft zusammenzuziehen, beim Erhärten unter Wasser auszudehnen. Infolgedessen werden sich im ersten Falle im Eisen Druck- und im Beton Zugspannungen einstellen, während im zweiten Falle im Eisen Zug- und im Beton Druckspannungen auftreten.

<sup>2)</sup> Diese Feststellung macht auch Schüle in seiner bereits S. 22 erwähnten Schrift »Resultate der Untersuchung von armiertem Beton auf reine Zugfestigkeit und auf Biegung unter Berücksichtigung der Vorgänge beim Entlasten« Heft 10 der Mitteilungen d. Eidgen. Materialprüfungsanstalt am Schweiz. Polytechnikum, Zürich 1906, S. 15 u. f., sowie S. 57 u. f. Wenn daselbst S. 17 gesagt wird, daß Außerachtlassen der bleibenden Dehnungen usw. »bis jetzt allgemein der Fall war«, so ist darauf hinzuweisen, daß das in dieser Allgemeinheit nicht zutreffend ist. Die Ermittlung der gesamten, bleibenden und federnden Dehnungen (positiver und negativer) und die Verwendung der Ergebnisse hat Verfasser seit 1886 in ausgedehntem Maße geübt. Vergl. Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure 1887 S. 221 u. f., S. 241 u. f. (Leder), 1888 S. 193 u. f., S. 221 u. f. (Gußeisen), 1893 S. 489 u. f., S. 526 u. f. (Wasserkammerplatten), 1894 S. 341 u. f., S. 373 u. f. (flache, durch Anker oder Stehholzen unterstützte Kesselwandungen), 1895 S. 489 u. f. (Beton), 1896 S. 1381 u. f. (Zement, Zementmörtel und Beton), 1897 S. 241 u. f. (Granit), 1897 S. 1157 u. f., 1191 u. f., 1218 u. f. (flache Kesselböden), 1898, S. 35 (Zug- und Druckelastizität an demselben Körper), 1899 S. 321 u. f., 346 u. f. (Flanschenverbindungen), 1899 S. 694 u. f. (Stahlguß), 1899, S. 857 u. f. (Hartguß), 1899, S. 1585 u. f., 1613 u. f. (gewölbte Kesselböden), 1900, S. 409 u. f. (Gußeisen), 1902 S. 333 u. f., 375 u. f. (kugelförmige Kesselwandungen), 1902 S. 985 u. f. (Leder), 1902 S. 1536 u. f. (verschiedene Eisensorten), 1904 S. 1227 u. f., 1905 S. 2062 u. f. (Wellrohre).

Die Rückwirkung, die nach Obigem zwischen Beton und Eisen besteht, ist bekanntlich auch vorhanden in Konstruktionen, bei denen Gußeisen einerseits und schmiedbares Eisen oder Stahl andererseits verbunden sind. Zähes Gußeisen erfährt schon bei verhältnismäßig kleinen Belastungen bleibende Formänderungen und verhält sich auch sonst ähnlich wie Beton.

Unter der Voraussetzung, daß die Querschnitte des Balkens während des Versuchs innerhalb der Strecke *ii* (Fig. 19) eben bleiben, kann mit Hilfe der ermittelten gesamten Zusammendrückungen (oben) und Verlängerungen (unten) die Lage der Nulllinie unter den verschiedenen Belastungen festgestellt werden. In Fig. 41 ist dies zeichnerisch für  $P = 1000, 2000, 3000$  kg u. s. f. geschehen

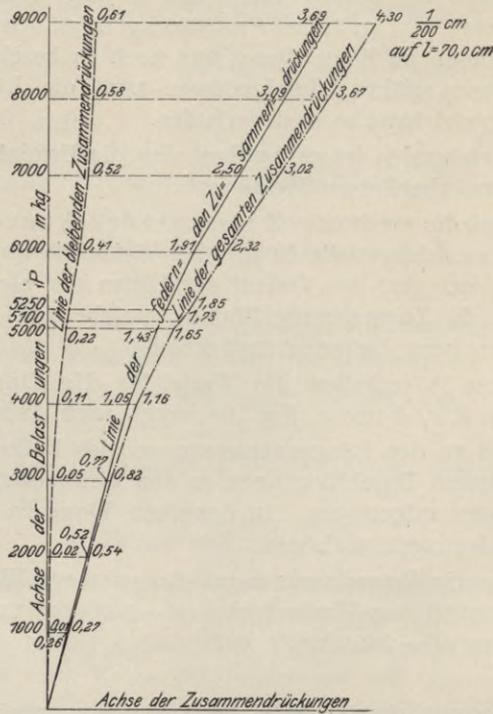


Fig. 33. Balken Nr. 16 (Bauart nach Fig. 2).

Zusammendrückungen des Betons, gemessen an der oberen Balkenfläche.

(unter Außerachtlassung des Unterschiedes der Meßstrecken oben 700 mm und unten 698 mm), wobei allerdings nach erfolgtem Einreißen des Betons auf der Zugseite eigentlich nur davon gesprochen werden kann, daß der Eisenquerschnitt in der zugehörigen Ebene des gedrückten Betonquerschnitts liegt.

In Fig. 42 sind zu den Belastungen als wagerechten Abszissen die Entfernungen der Nulllinie von der unteren Balkenfläche als senkrechte Ordinaten aufgetragen. Diese Abbildung gibt ein anschauliches Bild über die Wanderungen der Nullachse nach der gedrückten Seite hin. Sie zeigt allmähliches Steigen der Nulllinie bis  $P = 5000$  kg. Mit Eintritt der Ribbildung verschiebt sich die Nulllinie rasch nach oben. Unter  $P = 9000$  kg rückt der Linienzug mit 20,8 cm Abstand von unten nahe an die wagerechte Linie, welche die nach den amtlichen Bestimmungen (vergl. S. 18) im Abstand 21,18 cm ermittelte Lage der Nullachse angibt.

#### IV) Zusammenfassung der Versuchsergebnisse für Balken No. 16 (Bauart Fig. 2).

1) Unter steigender Belastung beginnen zunächst Wasserflecke, d. s. die Vorläufer der Risse, auf der Unterseite des Balkens bei  $P = 3500$  kg aufzutreten (vergl. S. 13 u. f.).

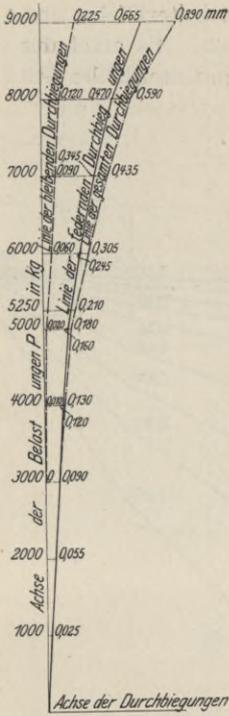


Fig. 34.

Balken Nr. 16 (Bauart nach Fig. 2). Durchbiegungen an der Meßstelle a (Fig. 19).

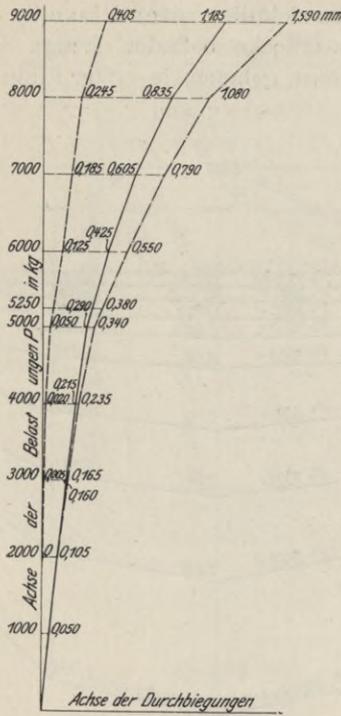


Fig. 35.

Balken Nr. 16 (Bauart nach Fig. 2). Durchbiegungen an der Meßstelle b (Fig. 19).

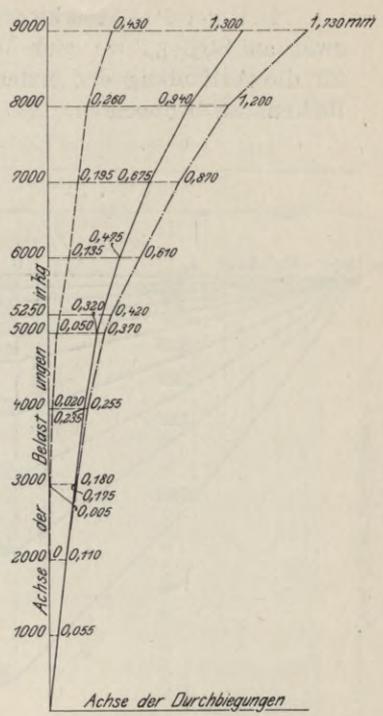


Fig. 36.

Balken Nr. 16 (Bauart nach Fig. 2). Durchbiegungen an der Meßstelle c (Fig. 19) (in der Mitte der Balkenlänge).

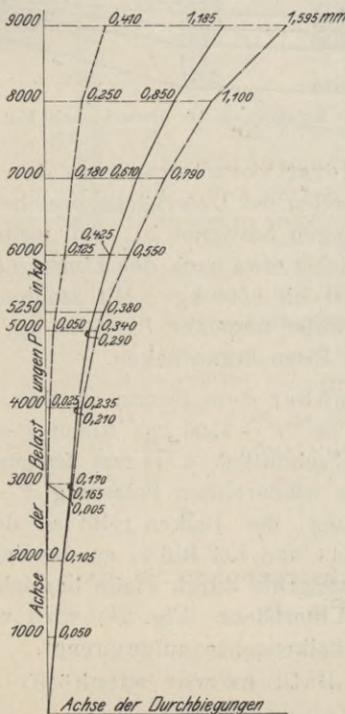


Fig. 37. Balken Nr. 16 (Bauart nach Fig. 2). Durchbiegungen an der Meßstelle d (Fig. 19).

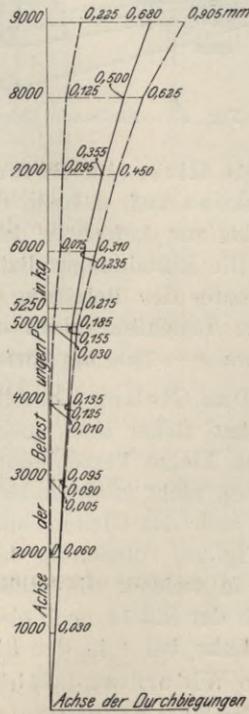


Fig. 38. Balken Nr. 16 (Bauart nach Fig. 2). Durchbiegungen an der Meßstelle e (Fig. 19).

2) Unter  $P = 5250$  kg zeigen sich die ersten Risse an der Unterfläche, und zwar an Stellen, wo sich Wasserflecke befinden (vergl. S. 13). Es erscheint für die Auffindung der ersten Risse geboten, in erster Linie die Unterfläche des Balkens zu beobachten.

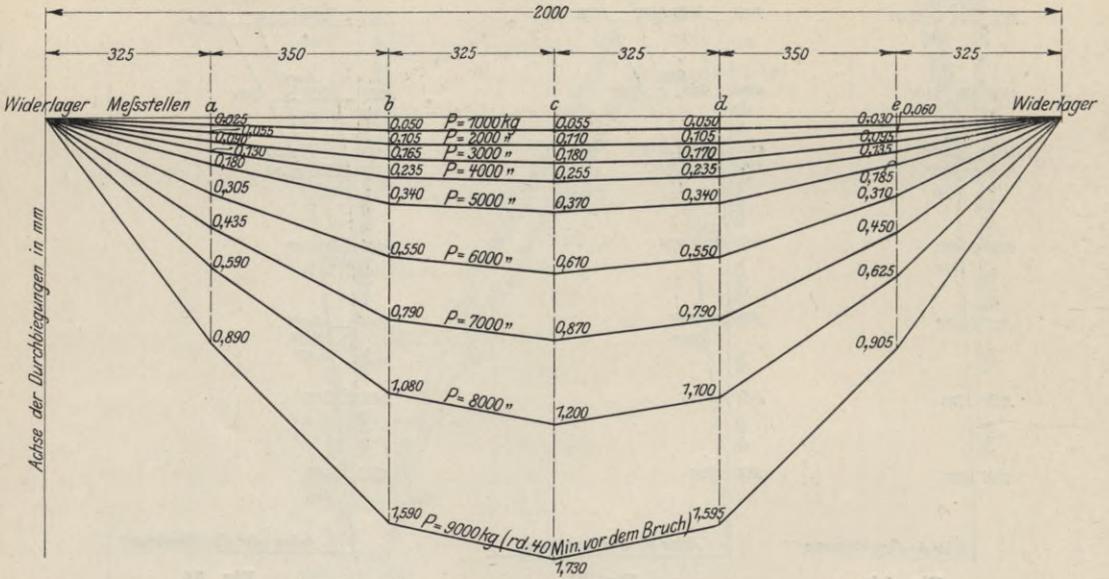


Fig. 39. Gesamte Durchbiegungen des Balkens Nr. 16 (Bauart nach Fig. 2).

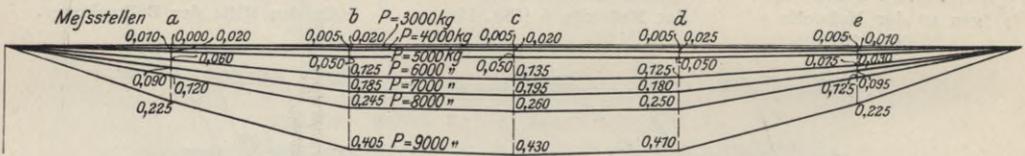


Fig. 40. Bleibende Durchbiegungen des Balkens Nr. 16 (Bauart nach Fig. 2).

3) Die Risse im Beton treten zuerst vorwiegend an den Kanten des Balkens auf, d. h. an denjenigen Stellen der Unterfläche, welche von dem Eisen, das zur Aufnahme der Zugspannungen bestimmt ist, am weitesten abliegen. Die Ribbildung vollzieht sich zunächst etwa nach den Linien  $a b$  und  $c d$ , Fig. 30, unter der Belastung von  $P = 6000$  bis  $6500$  kg. Mit steigender Last rückt die Bruchlinie nach  $a_1, b_1, c_1, d_1$  unter ungefähr  $P = 7000$  kg, und erst unter etwa  $P = 7500$  kg dürfte sie an das Eisen heranrücken.

4) Das Gleiten des Eisens gegenüber dem Beton an den Balkenden hat sicher noch nicht begonnen bei  $P = 8500$  kg; unter  $P = 8750$  kg wird eine kleine Verschiebung von durchschnittlich  $0,015$  mm festgestellt, die sich jedoch nicht mehr ändert. Unter der wiederholten Belastung  $P = 9000$  kg vollzieht sich das Gleiten auf beiden Seiten, der Balken reißt an der Unterfläche (Fig. 28) vollständig durch bei Riß 14 und bei Riß 2; an der Seitenfläche (Fig. 29, in welcher die Stellen der Kraftangriffe durch Pfeile bezeichnet sind) setzt sich der Riß 14 nach oben fort; die Unterfläche (Fig. 28) wird rechts bei 15 und links bei 1 in der Richtung der Balkenachse aufgesprengt.

Die Widerstandsfähigkeit des Balkens war erschöpft mit dem unter  $P = 9000$  kg eintretenden Gleiten des Eisens.

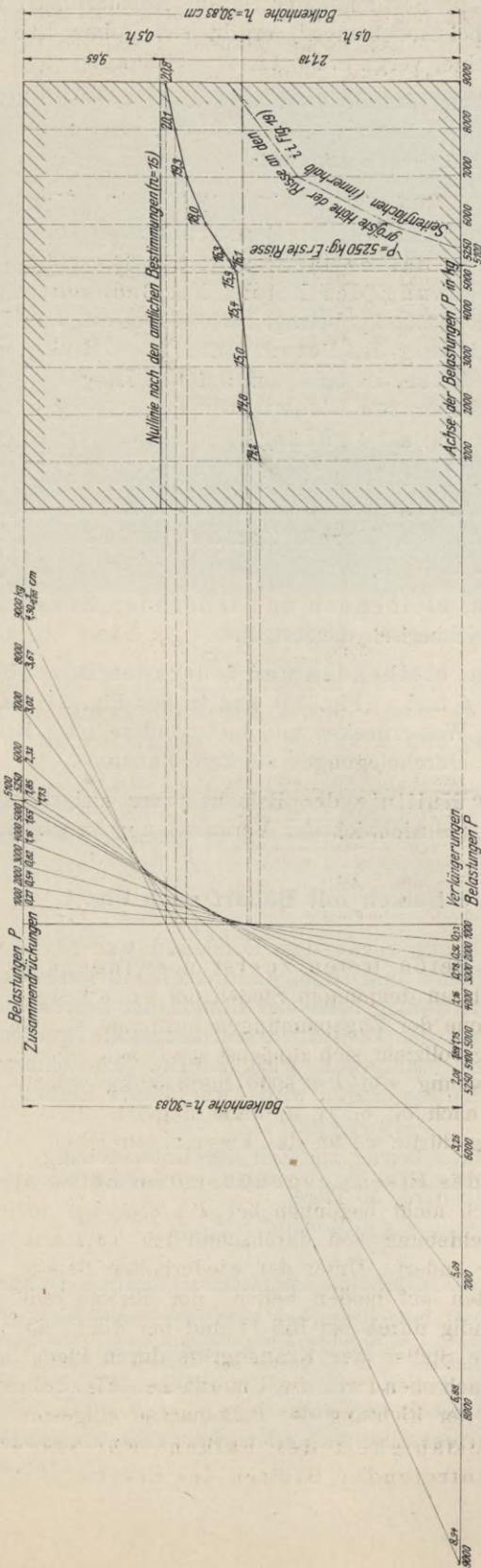


Fig. 41.

Lage der Nulllinie mit steigender Belastung für Balken Nr. 16 (Banart nach Fig. 2).

Fig. 42.

Nach den amtlichen »Bestimmungen für die Ausführungen von Konstruktionen aus Eisenbeton bei Hochbauten<sup>1)</sup> ergibt sich (ohne Rücksicht auf den Einfluß der Eigengewichte, vergl. S. 20) für  $P = 9000$  kg:

die Druckspannung des Betons . . . . .	$\sigma_b = 60,7$ kg/qcm
die Spannung des Eisens . . . . .	$\sigma_e = 1808$ »
die Schubspannung des Betons . . . . .	$\tau_0 = 5,9$ »
der Gleitwiderstand . . . . .	$\tau_1 = 22,5$ »

5) Die Linien der gesamten, bleibenden und federnden Verlängerungen an der unteren Balkenfläche zeigt Fig. 32.

Die gesamte Dehnung des Betons bei Beobachtung des ersten Wasserflecks unter  $P = 3500$  kg beträgt rd. 0,07 mm auf 1 m Länge.

Die gesamte Dehnung des Betons unter  $P = 5100$  kg, d. i. unmittelbar vor Eintritt der Risse, ist 0,135 mm auf 1 m Länge.

Nach Eintritt der ersten Risse unter  $P = 5250$  kg beträgt die gesamte Dehnung 0,149 mm auf 1 m Länge.

6) Durch die verhältnismäßig großen bleibenden Dehnungen, welche der Beton erfährt, bleiben bei der Entlastung Zugspannungen im Eisen zurück, die in diesem Zustand drückend auf den Beton zurückwirken (vergl. Seite 24)<sup>2)</sup>.

7) Die gesamten, bleibenden und federnden Zusammendrückungen sind in Fig. 33 zeichnerisch dargestellt.

8) Die gesamten, bleibenden und federnden Durchbiegungen an den 5 Punkten *a, b, c, d* und *e* (Fig. 19) sind in den Fig. 34 bis 40 enthalten.

Nach Eintritt von Wasserflecken und insbesondere nach Beobachtung der ersten Risse zeigen die Durchbiegungen stärkere Zunahme.

9) Die Lage der Nulllinie des Balkens unter steigender Belastung ist in Fig. 42 dargestellt. (Hinsichtlich der Voraussetzung vergl. S. 26.)

### V) 6 Balken mit Bauart nach Fig. 1.

Das zur Einbetonierung verwendete Rundeisen war rd. 25 mm stark, gezogen, sorgfältig geschlichtet und abgeschmirgelt, besaß somit eine glatte Oberfläche. Durch seine Verwendung sollte der Einfluß der Beschaffenheit der Oberfläche des Eisenstabes auf den Gleitwiderstand festgestellt werden, wie er beim Balken, der auf Biegung beansprucht wird, auftritt. Für einbetoniertes Eisen, welches aus Prismen herausgezogen wird, war dieser Einfluß bereits früher bestimmt worden<sup>3)</sup>.

Das Alter der Balken betrug zur Zeit der Untersuchung

- 1) für 2 Balken rd. 50 Tage,
- 2) » 4 » » 6 Monate.

<sup>1)</sup> Erlaß des kgl. preuß. Ministers der öffentlichen Arbeiten vom 16. April 1904.

<sup>2)</sup> Wenn der Beton unter Wasser oder doch unter feuchter Umhüllung erhärtet, so würden nach Maßgabe der Fußbemerkung 1 S. 25 solche Zugspannungen bezw. Druckspannungen bereits im ursprünglichen Zustand des Balkens, d. h. vor Beginn der Versuche vorhanden gewesen sein. Diese Verhältnisse müssen bei Beurteilung der Streitfrage, ob sich armerter Beton mehr dehnt, ohne zu reißen, als nichtarmerter, berücksichtigt werden.

<sup>3)</sup> Vergl. C. Bach, Versuche über den Gleitwiderstand einbetonierten Eisens, Berlin 1905, S. 35 u. f.

Die Ergebnisse der Prüfung unter 1) sind in Zusammenstellung 1, diejenigen der Prüfung unter 2) in Zusammenstellung 2 niedergelegt.

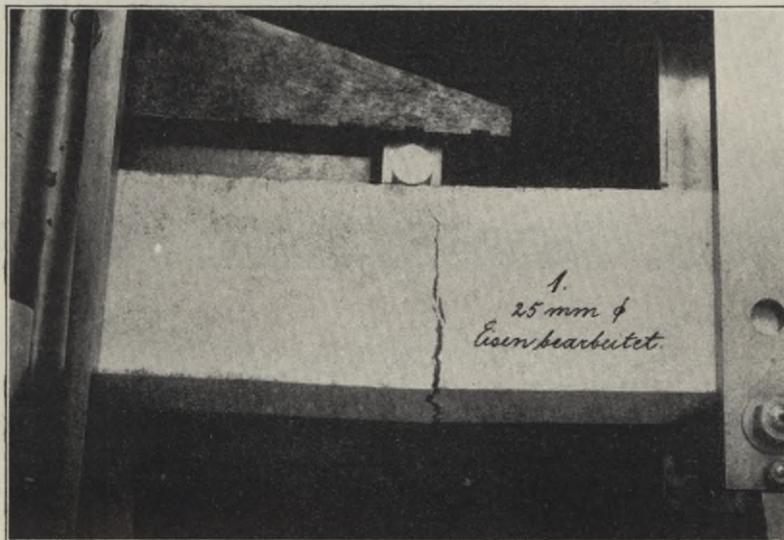


Fig. 43. Balken Nr. 1 (Bauart nach Fig. 1), Zusammenstellung 1.

Die Fig. 44 und 45 zeigen die unteren Flächen bzw. die Seitenflächen der Balken 10, 11 und 15 (nach dem Bruch). Ueber die Zusammengehörigkeit der auf den Fig. 44 und 45 angegebenen Zahlen und Striche vergl. das S. 14 Gesagte.

In Fig. 46 bis 48 sind für Balken 10 die Ergebnisse der Dehnungsmessungen (vergl. S. 10 unter Ziffer 5 und 6) und die ermittelten Durchbiegungen in der Mitte der Balkenlänge (vergl. S. 10 Ziffer 4) zeichnerisch dargestellt.

#### Zusammenfassung.

Die Zerstörung erfolgte bei sämtlichen 6 Balken infolge Ueberwindung des Gleitwiderstandes, dessen Größe ohne Rücksicht auf die Eigengewichte (vergl. Zusammenstellung 1 Spalte 13) sich ergibt

- 1) für die Balken im Alter von rd. 50 Tagen zu

$$\frac{11,0 + 9,7}{2} = 10,3 \text{ kg/qcm,}$$

- 2) für die Balken im Alter von rd. 6 Monaten zu

$$\frac{13,8 + 13,7 + 14,3 + 16,1}{4} = 14,5 \text{ kg/qcm.}$$

Bei den Balken Ziffer 1 wurden Risse vor der Zerstörung nicht entdeckt.

Bei den Balken Ziffer 2 wurden vorher Kantenrisse beobachtet unter Belastungen, welche mehr oder minder erheblich unterhalb der Zerstörungslast liegen (vergl. Zusammenstellung 2 Spalte 40). Von Interesse ist, daß diese Risse zunächst im mittleren Teile, d. h. zwischen den Belastungsrollen (vergl. Fig. 44) auftraten und daß sich die Risse unter den Belastungsrollen erst später einstellten (vergl. Fußbemerkung 2 S. 7).

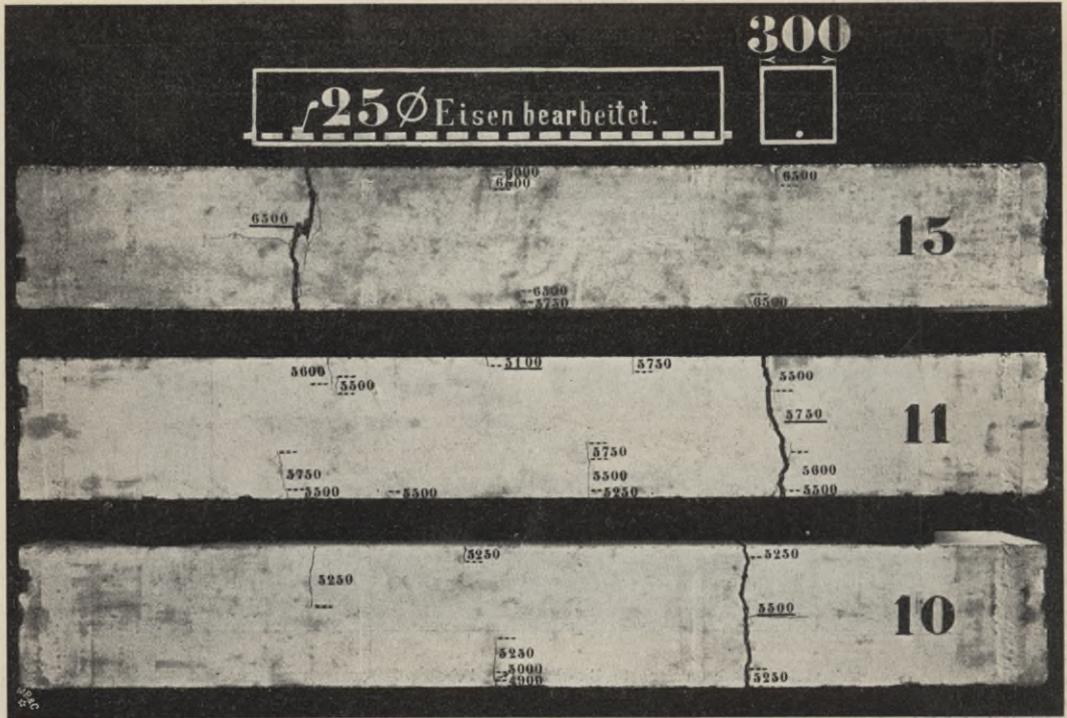


Fig. 44. Untere Flächen der Balken (Bauart nach Fig. 1). Zusammenstellung 2.

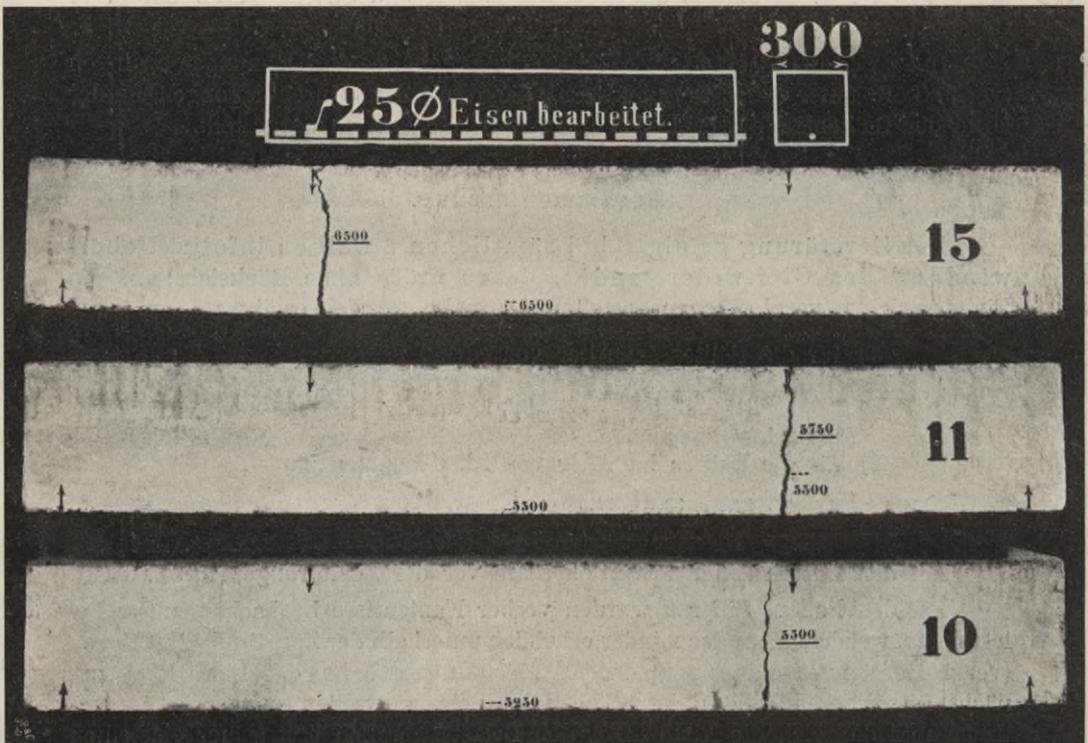


Fig. 45. Seitenflächen der Balken (Bauart nach Fig. 1). Zusammenstellung 2.

Ueber die beobachteten Formänderungen geben die Zusammenstellung 2 sowie Fig. 46 bis 48 Auskunft.

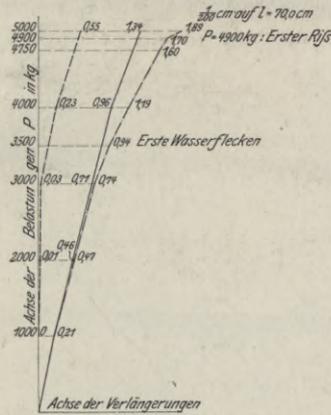


Fig. 46.

Balken Nr. 10 (Bauart nach Fig. 1). Zusammenstellung 2.

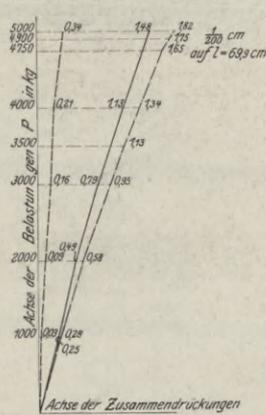


Fig. 47.

Balken Nr. 10 (Bauart nach Fig. 1). Zusammenstellung 2.



Fig. 48.

Balken Nr. 10 (Bauart nach Fig. 1). Zusammenstellung 2.

### VI) 6 Balken mit Bauart nach Fig. 2.

Diese Balken unterscheiden sich von den unter V besprochenen dadurch, daß hier die Eiseneinlage die Walzhaut, also raue Oberfläche besaß.

Das Alter der Balken betrug zur Zeit der Untersuchung

- 1) für 2 Balken rd. 50 Tage,
- 2) » 4 » » 6 Monate.

Die Ergebnisse der Prüfung unter 1) sind in Zusammenstellung 3, diejenigen der Prüfung unter 2) in Zusammenstellung 4 niedergelegt.

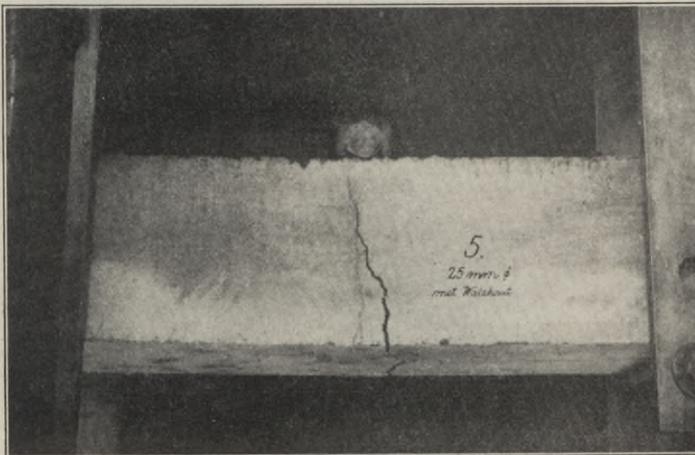


Fig. 49. Balken Nr. 5 (Bauart nach Fig. 2). Zusammenstellung 3.

In Fig. 50 sind die unteren Flächen, in Fig. 51 die Seitenflächen der Balken 9, 16, 17 und 19 (Zusammenstellung 4) abgebildet. Ueber die Zusammen-

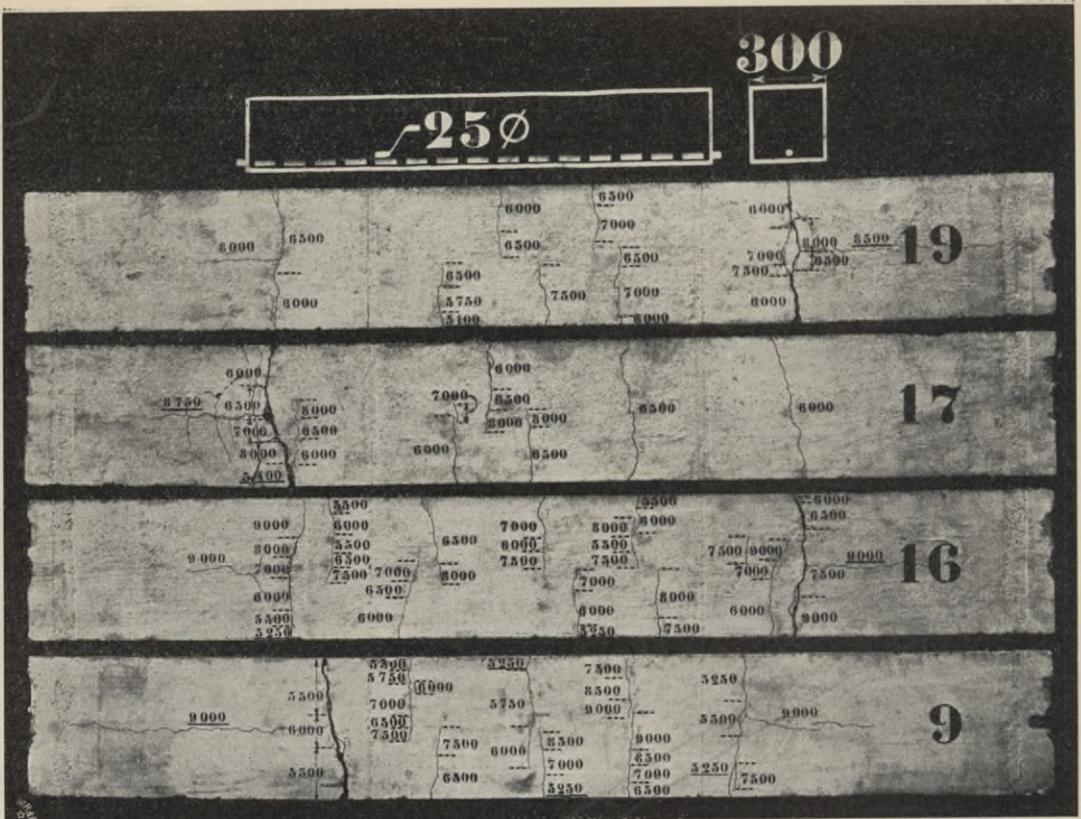


Fig. 50. Untere Flächen der Balken (Bauart nach Fig. 2). Zusammenstellung 4.

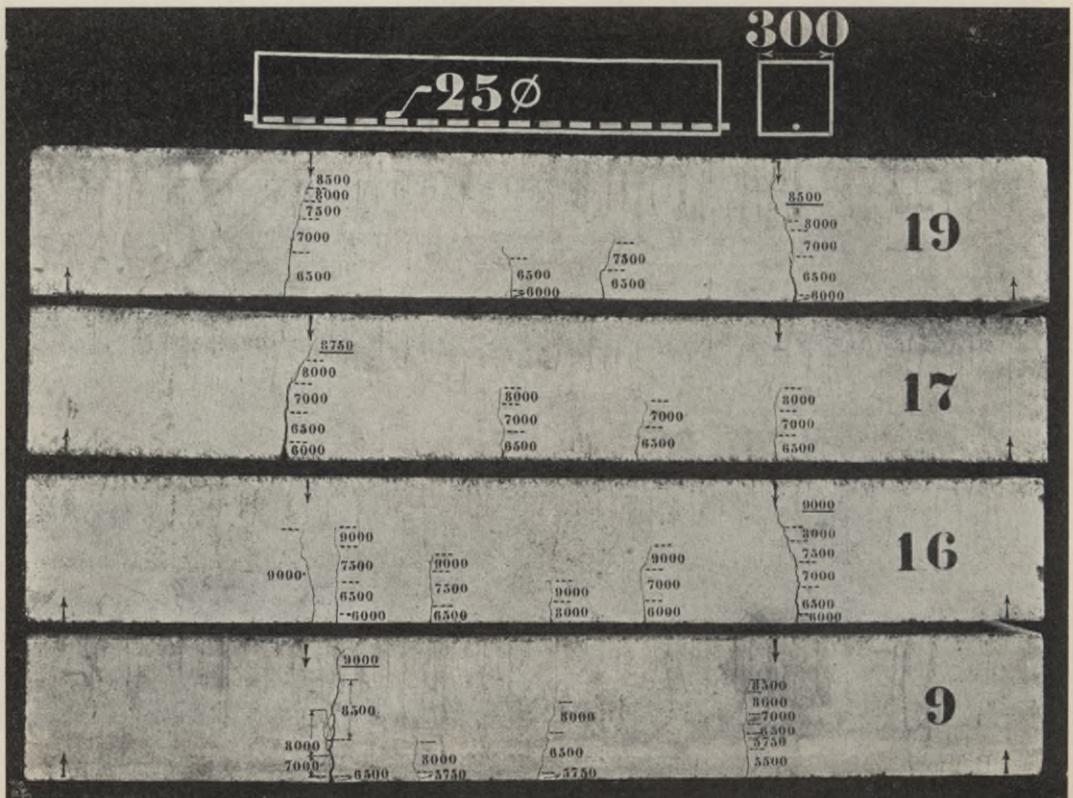


Fig. 51. Seitendflächen der Balken (Bauart nach Fig. 2). Zusammenstellung 4.

gehörigkeit der in den Fig. 50 und 51 angegebenen Zahlen und Striche vergl. das S. 14 Gesagte.

Die Versuchsdurchführung und die Ergebnisse der Untersuchung sind für Balken Nr. 16 unter III S. 11 u. f. eingehend besprochen worden.

### Zusammenfassung.

Die Zerstörung erfolgte bei allen Balken infolge Ueberwindung des Gleitwiderstandes.

Die Größe des Gleitwiderstandes ergibt sich

- 1) für die Balken im Alter von rd. 50 Tagen zu

$$\frac{19,2 + 16,6}{2} = 17,9 \text{ kg/qcm,}$$

- 2) für die Balken im Alter von rd. 6 Monaten zu

$$\frac{22,7 + 22,5 + 21,7 + 21,0}{4} = 22,0 \text{ kg/qcm.}$$

Wird der hier erlangte Gleitwiderstand verglichen mit demjenigen, welcher sich für die Einlagen mit glatter Oberfläche ergab (Zusammenstellung 1 und 2), so findet sich

bei den rd. 50 Tage alten Balken:

- 1) mit Eiseneinlagen von glatter Oberfläche . . . . . 10,3 kg/qcm,  
2) » » , welche noch die Walzhaut besaßen 17,9 » :

bei den rd. 6 Monate alten Balken:

- 1) mit Eiseneinlagen von glatter Oberfläche . . . . . 14,5 » ,  
2) » » , welche noch die Walzhaut besaßen 22,0 » ,

d. h. bei den rd. 50 Tage alten Balken ergab sich der Gleitwiderstand um rd. 74 vH höher, wenn das Eisen seine Walzhaut behält. Bei den rd. 6 Monate alten Körpern beträgt dieser Unterschied rd. 52 vH.<sup>1)</sup>

Hiernach scheint der Einfluß der Oberflächenbeschaffenheit der Eiseneinlagen mit wachsendem Alter abzunehmen. Zur zuverlässigen Beantwortung dieser Frage ist jedoch die Zahl der Versuchskörper nicht hinreichend.

Ueber die beobachteten Formänderungen geben die Zusammenstellung 4 sowie die Fig. 32 bis 40 (für Balken Nr. 16) Auskunft (vergl. hierzu unter III die eingehende Erläuterung).

### VII) 3 Balken mit Bauart nach Fig. 3.

Diese Balken unterscheiden sich von den bisherigen unter V und VI besprochenen dadurch, daß die Balken statt rd. 30 cm nur rd. 20 cm breit sind und als Eiseneinlage ein Rundeisen mit Walzhaut von rd. 18 mm Stärke besitzen.

<sup>1)</sup> Die Versuche, bei denen der Gleitwiderstand durch Herausziehen der Eisen bestimmt wurde, lieferten diesen Unterschied noch größer; er betrug rd. 75 vH bei der einbetonierten Länge des Stabes  $l = 150$  mm und rd. 110 vH bei  $l = 300$  mm. Zu einem Teil dürfte dieses Mehr darauf zurückzuführen sein, daß die Stäbe bei den soeben genannten Versuchen gedreht waren und damit eine größere Vollkommenheit der prismatischen Form aufweisen als die gezogenen Eiseneinlagen der Balken.

Das Alter der Balken betrug, wie bei allen folgenden Versuchen, rd. 6 Monate.

Die Ergebnisse der Prüfung sind in Zusammenstellung 5 enthalten.

Fig. 52 zeigt die unteren Flächen, Fig. 53 je eine Seitenfläche der Balken.

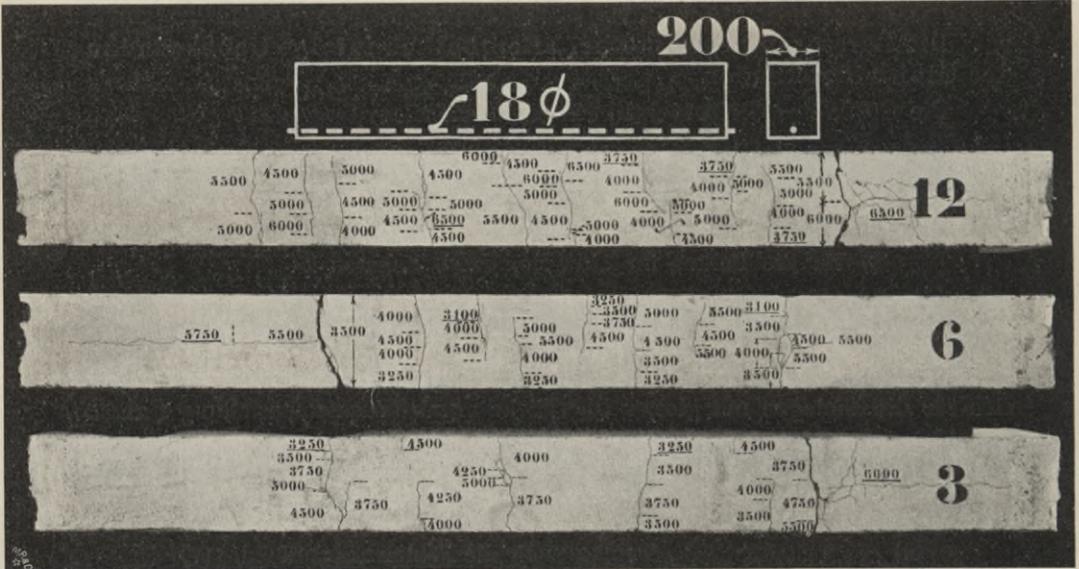


Fig. 52. Untere Flächen der Balken (Bauart nach Fig. 3). Zusammenstellung 5.

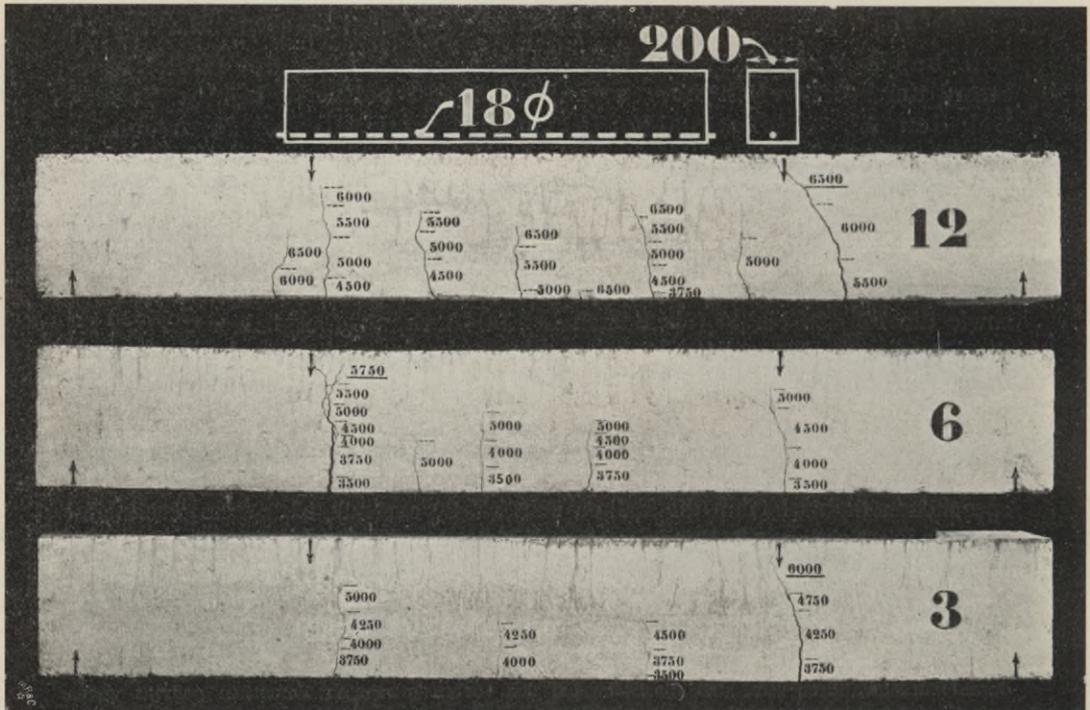


Fig. 53. Seitenflächen der Balken (Bauart nach Fig. 3). Zusammenstellung 5.

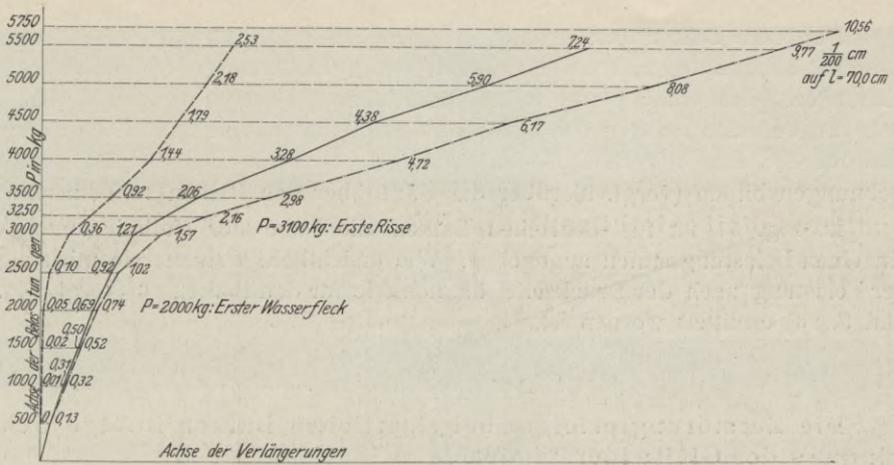


Fig. 54. Balken Nr. 6 (Bauart nach Fig. 3). Zusammenstellung 5.

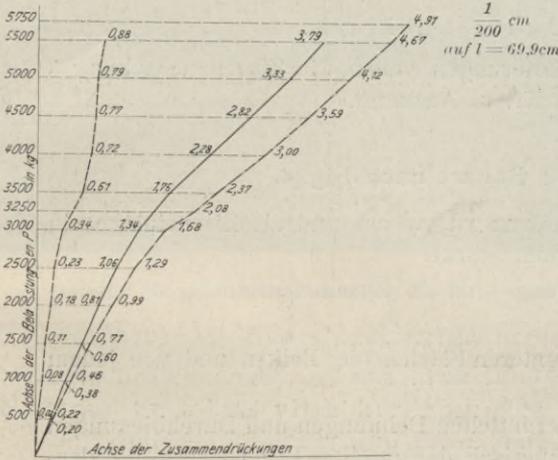


Fig. 55. Balken Nr. 6 (Bauart nach Fig. 3). Zusammenstellung 5.

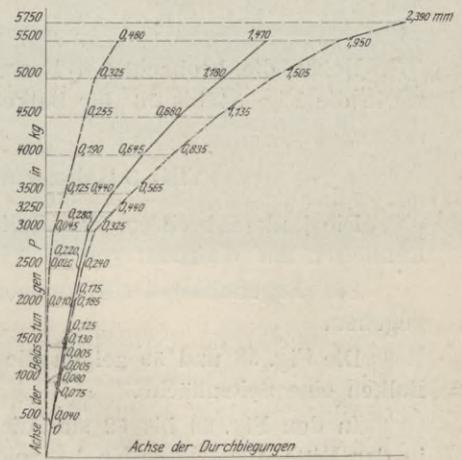


Fig. 56. Balken Nr. 6 (Bauart nach Fig. 3). Zusammenstellung 5.

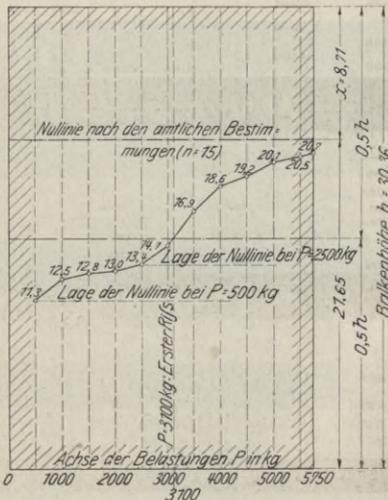


Fig. 57. Lage der Nulllinie mit steigender Belastung für Balken Nr. 6 (Bauart nach Fig. 3). Zusammenstellung 5.

Für den Balken Nr. 6 sind in den Fig. 54 bis 56 die Ergebnisse der Dehnungsmessungen und die für die Mitte der Balkenlänge ermittelten Durchbiegungen zeichnerisch dargestellt. Die Linienzüge lassen erkennen, daß die Belastungen beim Auftreten von Wasserflecken und Rissen ungefähr die untere und obere Grenze der stärksten Krümmungen der Linienzüge für die gesamten Dehnungen bilden (vergl. hierüber das S. 21 über den Balken 16 Bemerkte).

In Fig. 57 ist für denselben Balken die Lage der Nulllinie unter den einzelnen Belastungsstufen angegeben. Wie ersichtlich, wandert sie mit steigender Belastung nach der Druckseite, ähnlich wie für den Balken 16 (vergl. Fig. 42 und S. 26) ermittelt worden ist.

Zusammenfassung.

Die Zerstörung erfolgte bei sämtlichen Balken infolge Ueberwindung des Gleitwiderstandes.

Die Größe des Gleitwiderstandes berechnet sich zu

$$(21,1 + 19,9 + 22,8) : 3 = 21,1 \text{ kg/qcm.}$$

Ueber die beobachteten Formänderungen geben die Zusammenstellung 5 sowie die Fig. 54 bis 56 (für Balken Nr. 6) Auskunft.

VIII) 3 Balken mit Bauart nach Fig. 4.

Die Balken besitzen eine Breite von rd. 15 cm und als Eiseneinlage ein Rundeisen mit Walzhaut von rd. 22 mm Stärke.

Die Ergebnisse der Untersuchung sind in Zusammenstellung 6 wiedergegeben.

Die Fig. 58 und 59 zeigen die unteren Flächen der Balken und von jedem Balken eine Seitenfläche.

In den Fig. 60 bis 62 sind die ermittelten Dehnungen und Durchbiegungen in der Mitte, für Balken Nr. 13, zeichnerisch dargestellt. Fig. 63 zeigt für denselben Balken die Wanderungen der Nulllinie unter steigender Belastung. (Hinsichtlich der hierzu gemachten Voraussetzungen s. S. 26.)

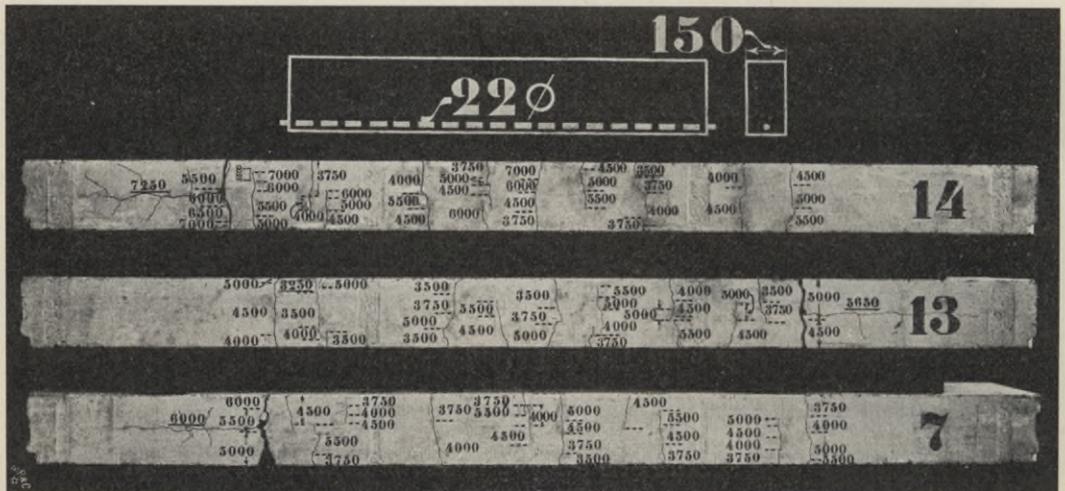


Fig. 58. Untere Flächen der Balken (Bauart nach Fig. 4). Zusammenstellung 6.

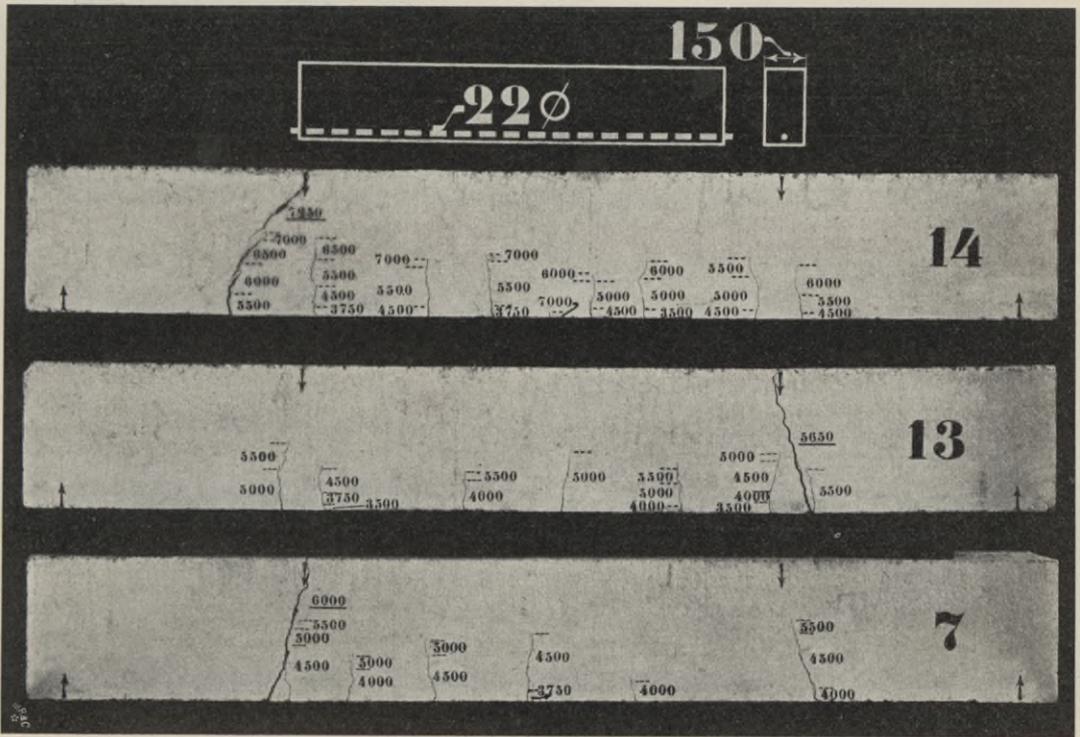


Fig. 59. Seitenflächen der Balken (Bauart nach Fig. 4). Zusammenstellung 6.

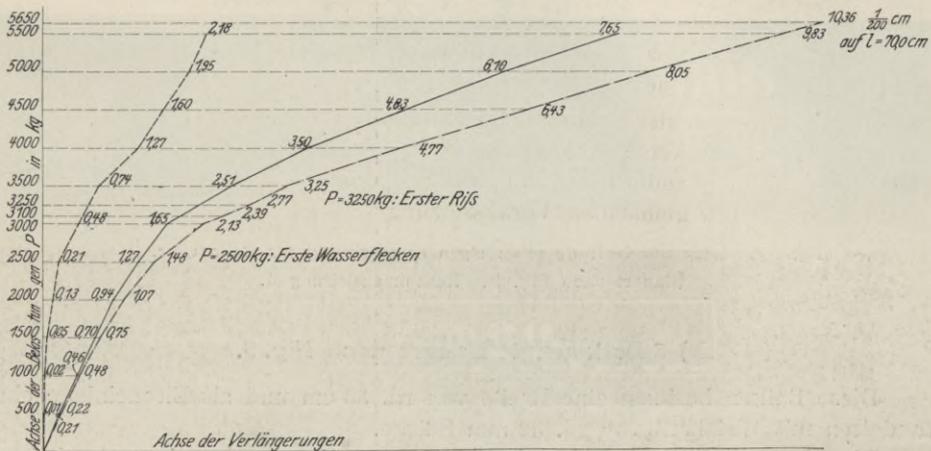


Fig. 60. Balken Nr. 13 (Bauart nach Fig. 4). Zusammenstellung 6.

### Zusammenfassung.

Die Zerstörung der Balken erfolgte infolge Ueberwindung des Gleitwiderstandes.

Für die Größe des Gleitwiderstandes ergibt die Rechnung

$$(18,5 + 17,0 + 21,7) : 3 = 19,1 \text{ kg/qem.}$$

Ueber die beobachteten Formänderungen geben die Zusammenstellung 6 sowie die Fig. 60 bis 62 (für Balken Nr. 13) Auskunft.

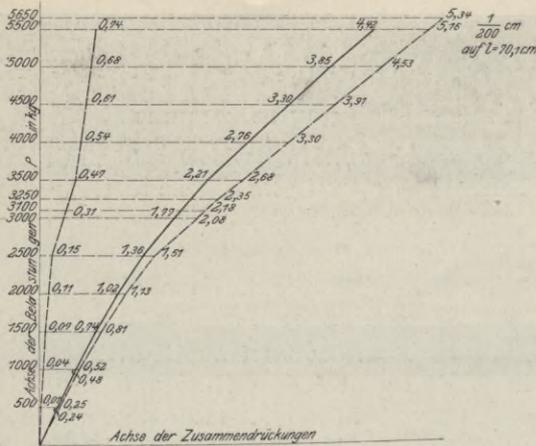


Fig. 61. Balken Nr. 13 (Bauart nach Fig. 4).  
Zusammenstellung 6.

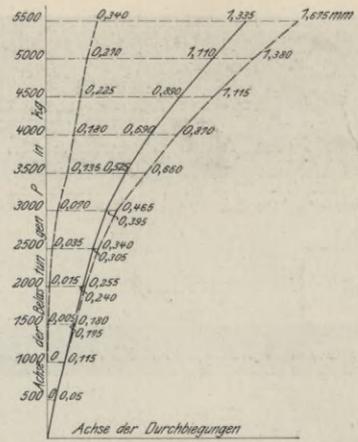


Fig. 62. Balken Nr. 13 (Bauart nach Fig. 4).  
Zusammenstellung 6.

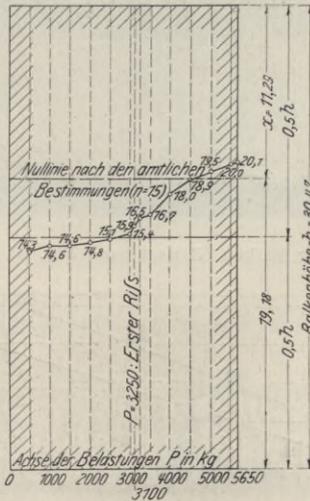


Fig. 63. Lage der Nulllinie mit steigender Belastung für Balken Nr. 13  
(Bauart nach Fig. 4). Zusammenstellung 6.

### IX) 3 Balken mit Bauart nach Fig. 5.

Diese Balken besitzen eine Breite von rd. 30 cm und als Eiseneinlage ein Rundeisen mit Walzhaut von rd. 32 mm Stärke.

Die Ergebnisse der Untersuchung sind in Zusammenstellung 7 niedergelegt.

Fig. 64 gibt die Abbildungen der unteren, Fig. 65 je einer Seitenfläche der Balken wieder.

#### Zusammenfassung.

Die Zerstörung erfolgte bei allen Balken infolge der Ueberwindung des Gleitwiderstandes.

Die Größe des Gleitwiderstandes ergibt sich zu

$$(17,0 + 22,1 + 20,3) : 3 = 19,8 \text{ kg/qcm.}$$

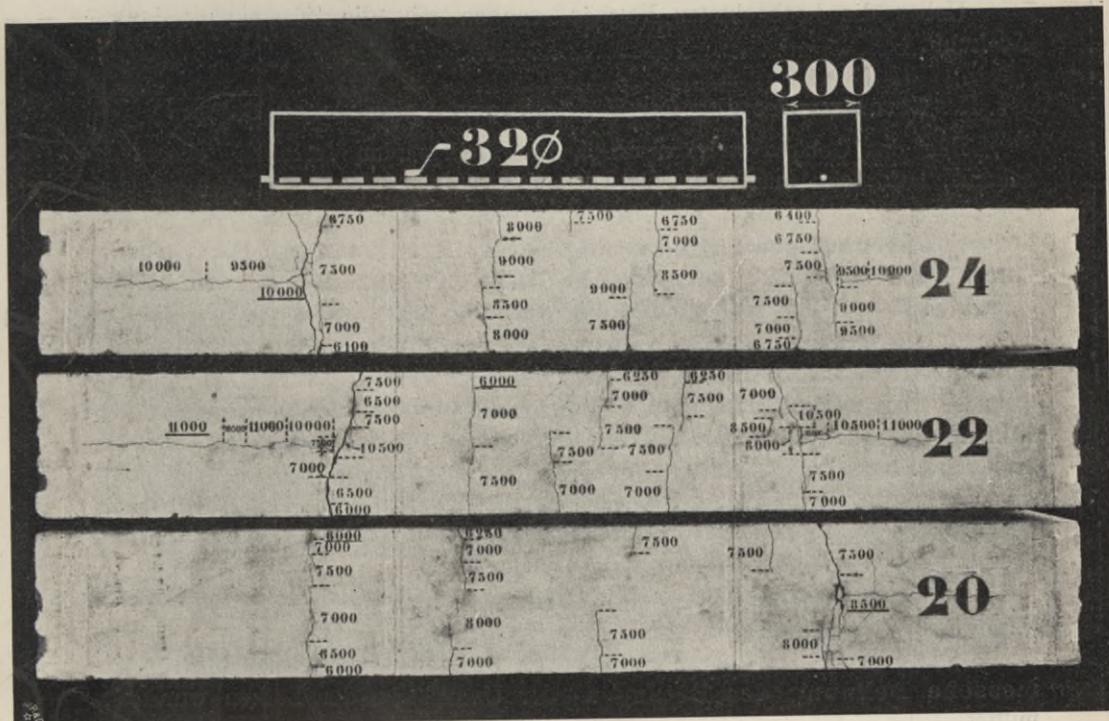


Fig. 64. Untere Flächen der Balken (Bauart nach Fig. 5). Zusammenstellung 7.

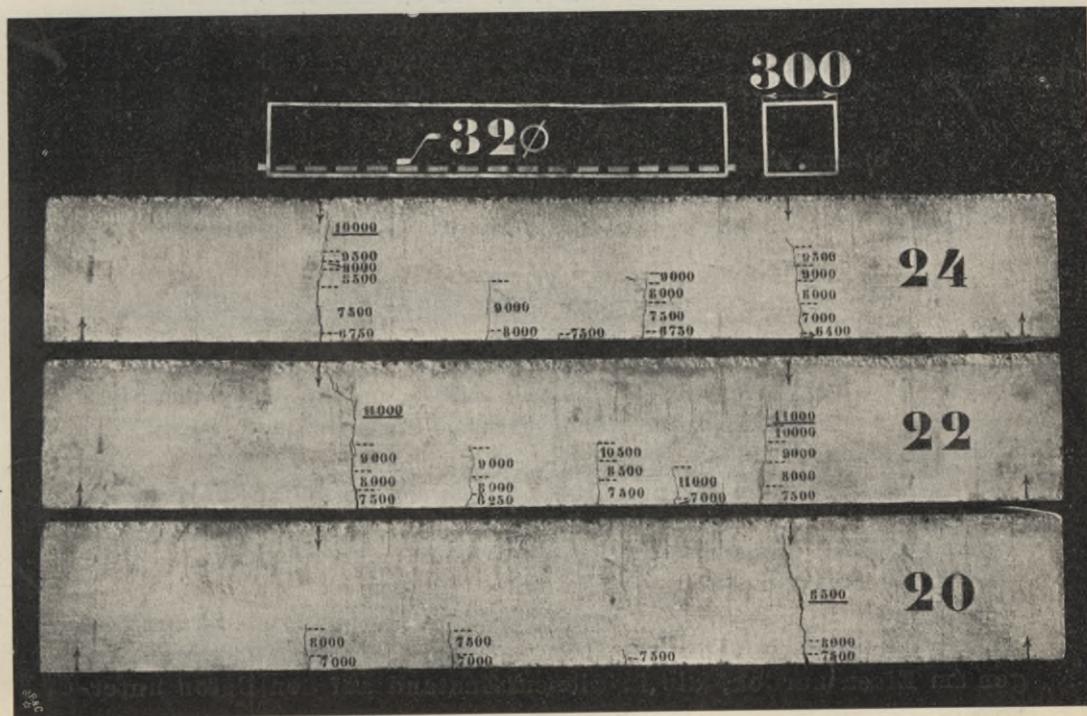


Fig. 65. Seitenflächen der Balken (Bauart nach Fig. 5). Zusammenstellung 7.

Ueber die beobachteten Formänderungen gibt die Zusammenstellung 7 Auskunft.

### X. Zusammenfassung der Ergebnisse von sämtlichen Balken.

Für das Gebiet, welches durch die vorliegenden Versuche gedeckt erscheint, läßt sich, unter Bezugnahme auf Zusammenstellung 8, Folgendes aussprechen:

1) Unter steigender Belastung der Balken treten auf ihrer Unterfläche Wasserflecke auf, welche die Vorläufer von Rissen bilden (vergl. S. 13 u. f. und insbesondere Fig. 27).

2) Die Risse im Beton zeigen sich zunächst vorwiegend an den Kanten der Balken, d. h. an denjenigen Stellen der Unterfläche, welche von dem Eisen, das zur Aufnahme der Zugspannungen bestimmt ist, am weitesten abliegen, wie S. 16 für den Balken Nr. 16 näher angegeben ist.

Der Querschnitt des Balkens kann da, wo der Gleitwiderstand des Eisens wirksam wird, nicht eben bleiben, er muß sich wölben (vergl. Fußbemerkung S. 7 und 16).

Ueber die später sich zeigenden Längsrisse an der Unterfläche des Balkens vergl. das S. 15 Gesagte.

3) Die über die ganze Breite des Balkens (vergl. S. 8 bis 10) gemessene Dehnung des Betons an der Unterfläche der Balken wurde ermittelt

#### a) bei Eintritt der ersten Wasserflecke

bei den Balken mit Bauart nach Fig. 1 zu 0,07 mm auf 1 m Länge														
»	»	»	»	»	»	»	2	»	0,07	»	»	1	»	»
»	»	»	»	»	»	»	3	»	0,06	»	»	1	»	»
»	»	»	»	»	»	»	4	»	0,10	»	»	1	»	»
»	»	»	»	»	»	»	5	»	0,08	»	»	1	»	»

#### b) unmittelbar vor Beobachtung der ersten Risse

bei den Balken mit Bauart nach Fig. 1 zu 0,127 mm auf 1 m Länge														
»	»	»	»	»	»	»	2	»	0,132	»	»	1	»	»
»	»	»	»	»	»	»	3	»	0,123	»	»	1	»	»
»	»	»	»	»	»	»	4	»	0,176	»	»	1	»	»
»	»	»	»	»	»	»	5	»	0,136	»	»	1	»	» <sup>1)</sup>

Hiernach zeigten die Balken nach Bauart Fig. 4 die größte Dehnung des Betons. Diese Erscheinung findet in dem Umstand, daß die Balken mit Bauart nach Fig. 4 die geringste Breite besitzen (150 mm gegen 200 und 300 mm) ihre Erklärung (vergl. Fig. 30).

4) Ueber die Form der Linienzüge, welche die gesamten, bleibenden und federnden Verlängerungen darstellen, gibt Fig. 32, gültig für Balken Nr. 16, allgemeine Auskunft (vergl. hierzu das S. 20 u. f. Gesagte.)

Für die übrigen Balken gelten die Fig. 46, 54 und 60.

5) Durch die verhältnismäßig großen bleibenden Dehnungen, welche der Beton erfährt, bleiben bei der Entlastung Zugspannungen im Eisen zurück, die in diesem Zustand auf den Beton unter-

<sup>1)</sup> In bezug auf die anderwärts angegebenen Werte für die Dehnung bei Eintritt der Ribbildung vergl. das S. 21 und 22 Gesagte.

halb der Nullachse drückend zurückwirken (vergl. S. 24). Daß zwischen Beton und Eisen von vornherein spannungsloser Zustand nicht vorhanden zu sein pflegt, ergibt sich aus dem Fußbemerking 1, S. 25 Bemerkten.

6) Ueber die Form der Linienzüge, welche die gesamten, bleibenden und federnden Zusammendrückungen darstellen, geben die Fig. 33, 47, 55 und 61 Auskunft.

7) Die gesamten, bleibenden und federnden Durchbiegungen in drei oder fünf Punkten des Balkens sind in den Zusammenstellungen 2, 4, 5, 6 und 7 niedergelegt und für einige Balken in den Fig. 34 bis 40, 48, 56 und 62 wiedergegeben (vergl. S. 25).

8) Die Lage der Nulllinie rückt gemäß den Darlegungen auf S. 26, zu denen Fig. 42 gehört, unter steigender Belastung nach der Druckseite hin. Für die Balken 6 und 13 sind die Fig. 57 und 63 gezeichnet worden.

9) Der Gleitwiderstand berechnet nach Gl. (5) S. 18, hängt bei Vollkommenheit der prismatischen Form des einbetonierten Eisens von der Beschaffenheit der Oberfläche desselben ab.

a) Gezogenes, abgeschlichtetes und geschmirgeltes Rundeisen in der Stärke von 25 mm ergab:

nach rd. 50 Tagen im Durchschnitt  $\tau_1 = 10,3$  kg/qcm  
» » 6 Monaten » »  $\tau_1 = 14,5$  » ,

b) gewöhnliches Rundeisen mit Walzhaut in der Stärke von rd. 25 mm lieferte

nach rd. 50 Tagen im Durchschnitt  $\tau_1 = 17,9$  kg/qcm  
» » 6 Monaten » »  $\tau_1 = 22,0$  » ,

d. i. um rd. 74 vH bzw. 52 vH höher als im Falle a) (vergl. hierzu Fußbemerking S. 35).

10) Die Einzelwerte des Gleitwiderstandes, berechnet nach Gl. (5) S. 18, schwanken für gewöhnliches Rundeisen mit Walzhaut bei 6 Monate alten Körpern

bei den Balken nach Fig. 2 (25 mm Rundeisen) zwischen 21,0 und 22,7 kg/qcm  
» » » » » 3 (18 » » ) » » 19,9 » 22,8 »  
» » » » » 4 (22 » » ) » » 17,0 » 21,7 »  
» » » » » 5 (32 » » ) » » 17,0 » 22,1 »

Stuttgart, Ende Oktober 1906.

## A n l a g e n.

### Anlage 1.

#### Untersuchung des zur Herstellung der Versuchskörper verwendeten Zements.

Erhärtungsbeginn, Bindezeit. (Mittel aus 3 Versuchen.)

Der Zement begann nach durchschnittlich  $5\frac{1}{2}$  st zu erhärten. Die Bindezeit betrug durchschnittlich  $13\frac{1}{2}$  st.

Volumenbeständigkeit.

Die normengemäßen Kuchen auf Glasplatten zeigten nach 90 Tagen weder Kantenrisse noch Verkrümmungen.

Feinheit der Mahlung.

Die angestellte Siebprobe ergab im Mittel aus 3 Versuchen auf dem Siebe von 900 Maschen auf 1 qcm . . . 1,8 vH Rückstand,  
 » » » » 4900 » » 1 » . . . 17,7 » »

Gewicht des Zementes.

Es wiegt 1 ltr im eingesiebten losen Zustand . . . . 1,064 kg  
 » » 1 » » vollständig eingerüttelten Zustand . . 1,802 »

Druckfestigkeit.

Zusammensetzung der mittels des Hammerapparates hergestellten Probekörper:  
 1 kg Zement, 3 kg Normsand, 0,34 kg Wasser.

Bezeichnung	Gewicht <i>G</i> kg	Abmessungen			Volumen <i>a b h</i> ccm	Raumgewicht 1000 <i>G</i> <i>a b h</i>	Querschnitt <i>a/b</i> qcm	Bruchbelastung	
		Seite <i>a</i> cm	Seite <i>b</i> cm	Höhe <i>h</i> cm				beobachtet kg	auf 1 qcm kg
Alter: 1 Tag an der Luft, 6 Tage unter Wasser.									
1	0,792	7,10	7,11	7,09	358	2,21	50,5	10 150	201
2	0,795	7,08	7,12	7,11	358	2,22	50,4	10 400	206
3	0,796	7,10	7,13	7,09	359	2,22	50,6	10 150	201
4	0,792	7,08	7,11	7,09	357	2,22	50,3	10 150	202
5	0,794	7,09	7,14	7,09	359	2,21	50,6	10 300	204
Durchschnitt						2,22			<b>203</b>
Alter: 1 Tag an der Luft, 27 Tage unter Wasser.									
1	0,800	7,14	7,10	7,09	359	2,23	50,7	13 300	262
2	0,798	7,11	7,10	7,08	358	2,23	50,5	13 150	260
3	0,795	7,09	7,09	7,09	357	2,23	50,3	13 400	266
4	0,795	7,11	7,09	7,10	358	2,22	50,4	13 200	262
5	0,799	7,11	7,09	7,11	358	2,23	50,4	13 250	263
Durchschnitt						2,23			<b>263</b>
Alter: 1 Tag an der Luft, 89 Tage unter Wasser.									
1	0,803	7,14	7,09	7,09	359	2,24	50,6	16 500	326
2	0,802	7,09	7,14	7,09	359	2,23	50,6	16 700	330
3	0,807	7,16	7,10	7,10	361	2,24	50,8	17 100	337
4	0,806	7,16	7,11	7,10	361	2,23	50,9	17 000	334
5	0,805	7,09	7,17	7,08	360	2,24	50,8	16 700	329
Durchschnitt						2,24			<b>331</b>
Alter: 1 Tag an der Luft, 89 Tage auf feuchtem Sand und mit feuchten Säcken bedeckt.									
1	0,795	7,14	7,11	7,09	360	2,21	50,8	17 200	339
2	0,794	7,13	7,10	7,09	359	2,21	50,6	17 100	338
3	0,793	7,11	7,10	7,09	358	2,22	50,5	16 900	335
4	0,792	7,11	7,09	7,11	358	2,21	50,4	17 300	343
5	0,794	7,11	7,11	7,09	359	2,21	50,6	17 200	340
Durchschnitt						2,21			<b>339</b>

Zugfestigkeit.

Zusammensetzung und Herstellung der Probekörper wie oben.

Alter: 1 Tag an der Luft, 6 Tage unter Wasser.

(23,5 + 24,5 + 24,0 + 24,0 + 26,0 + 23,5 + 23,0 + 25,0 + 24,0 + 24,0) : 10  
Durchschnitt **24,2** kg/qcm.

Alter: 1 Tag an der Luft, 27 Tage unter Wasser.

(31,5 + 31,5 + 33,0 + 32,5 + 30,5 + 31,0 + 32,0 + 30,5 + 31,0 + 32,0) : 10  
Durchschnitt **31,6** kg/qcm.

Alter: 1 Tag an der Luft, 89 Tage unter Wasser.

(38,5 + 37,5 + 35,5 + 35,5 + 37,5 + 38,5 + 38,5 + 36,5 + 38,5 + 39,0) : 10  
Durchschnitt **37,6** kg/qcm.

Alter: 1 Tag an der Luft, 89 Tage auf feuchtem Sand und mit feuchten Säcken bedeckt.

(35,0 + 35,5 + 35,0 + 38,0 + 37,0 + 36,5 + 38,0 + 35,0 + 36,0 + 35,0) : 10  
Durchschnitt **36,1** kg/qcm.

Die Untersuchung desselben Zementes, wie er zu den Betonkörpern verwendet wurde, an denen der Gleitwiderstand durch Herausziehen oder Herausdrücken ermittelt wurde, hatte früher ergeben<sup>1)</sup>:

	Druckfestigkeit	Zugfestigkeit
nach 7 Tagen . . . .	212 kg/qcm	18,8 kg/qcm
» 28 » . . . .	281 »	24,4 »
» 90 » . . . .	359 »	32,2 »

Hiernach hat die Druckfestigkeit ein wenig abgenommen. Die Zugfestigkeit dagegen ist erheblich größer geworden.

Anlage 2.

**Untersuchung des zur Herstellung der Balken Nr. I bis II verwendeten Sand- und Kiesmaterials.**

a) Sand.

Die Wägung ergab im lose eingefüllten Zustand für 1000 ltr

(1632 + 1646 + 1658 + 1643) : 4 = 1645 kg.

Die Hohlräume, durch Einfüllen von Wasser in den trockenen Sand bestimmt, fanden sich zu

(33,3 + 33,6) : 2 = 33,5 vH

des Volumens<sup>2)</sup>.

<sup>1)</sup> Vergl. C. Bach. Versuche über den Gleitwiderstand einbetonierten Eisens. Berlin 1905 S. 3.

<sup>2)</sup> Diese Zahlen wurden auf folgende Weise ermittelt.

Ein Blechgefäß von rd. 300 mm Durchmesser und rd. 610 mm Höhe, dessen Rauminhalt vorher durch Einfüllen von Wasser zu 42,9 ltr bestimmt worden war, wurde mit Sand gefüllt und eben abgestrichen. Das Gewicht dieser Sandfüllung betrug 71,4 kg.

Hierauf wurde in das Gefäß noch Wasser gefüllt, bis der Wasserspiegel in die Höhe der oberen Stirnfläche des Gefäßes stieg. Dazu war 14,3 kg Wasser erforderlich. Wird diese Wasser-

Das spezifische Gewicht des Sandes, durch Abwägen unter Wasser bestimmt, wurde ermittelt zu

$$(2,56 + 2,55 + 2,55) : 3 = 2,55.$$

Die angestellte Siebprobe ergab auf dem Siebe von

900 Maschen auf 1 qcm	(92,9 + 93,8 + 93,2) : 3 . . . . .	=	<b>93,3</b>	vH Rückstand
0,34 mm Maschenweite	(71,4 + 74,6 + 72,6) : 3 . . . . .	=	<b>72,9</b>	» »
0,6 » »	(50,3 + 54,7 + 52,3 + 53,1 + 45,0			
	+ 43,1 + 40,4 + 42,7 + 41,1) : 9 . . . . .	=	<b>47,0</b>	» »
1,0 mm Maschenweite	(26,4 + 26,1 + 28,5 + 31,8 + 31,5			
	+ 28,9 + 27,5 + 23,5 + 23,7 + 23,7) : 10 . . . . .	=	<b>27,2</b>	» »
2,5 mm Maschenweite	(8,9 + 9,6 + 9,9 + 10,0 + 10,1 + 11,7			
	+ 11,4 + 9,8 + 9,0 + 8,2) : 10 . . . . .	=	<b>9,9</b>	» »
5,3 mm Maschenweite	(0,2 + 0,2 + 0,1 + 0,3 + 1,0 + 0,5			
	+ 0,9 + 0,6 + 0,1) : 9 . . . . .	=	<b>0,5</b>	» »

Zu den Proben wurden jeweils 1000 g Sand verwendet.

b) Kies.

Die Wägung ergab im lose eingefüllten Zustand für 1000 ltr

$$(1632 + 1612 + 1608 + 1617) : 4 = 1617 \text{ kg.}$$

Die Hohlräume, durch Einfüllen von Wasser bestimmt, fanden sich zu

$$(37,0 + 38,0) : 2 = 37,5 \text{ vH}$$

des Volumens.

(Hieraus ergab sich das spezifische Gewicht zu  $(2,56 + 2,59) : 2 = 2,58$ .)

Das spezifische Gewicht des Kieses, durch Abwiegen unter Wasser bestimmt, wurde ermittelt zu

$$(2,57 + 2,59 + 2,59) : 3 = 2,58^1).$$

menge zu 14,3 ltr angenommen, so betragen die durch das Wasser ausgefüllten Hohlräume in Hundertteilen des Gesamtvolumens des Gefäßes

$$\frac{14,3}{42,9} \cdot 100 = 33,3 \text{ vH.}$$

Dieser Versuch wurde in einem zweiten Gefäß wiederholt und lieferte

$$\frac{14,5}{43,2} \cdot 100 = 33,6 \text{ vH Hohlräume.}$$

Daß vom Sande verdrängte Volumen beträgt im ersten Falle

$$42,9 - 14,3 = 28,6 \text{ ltr}$$

und im zweiten Falle

$$43,2 - 14,5 = 28,7 \text{ ltr.}$$

Hieraus berechnet sich das spezifische Gewicht des Sandes zu

$$71,4 : 28,6 = 2,50,$$

bezw. zu

$$70,8 : 28,7 = 2,47.$$

Das oben angegebene spezifische Gewicht, ermittelt durch Abwägen von 0,5 kg Sand unter Wasser, ist etwas größer, in der Hauptsache eine Folge davon, daß die Hohlräume im ersten Falle nicht in dem Maße vom Wasser ausgefüllt wurden als im zweiten Falle.

<sup>1)</sup> Daß hier eine Abweichung zwischen beiden Ermittlungen des spezifischen Gewichts nicht besteht, dürfte seine Erklärung darin finden, daß bei dem großen Volumen, welches die Kieskörner besitzen, die Ausfüllung der Hohlräume in beiden Fällen übereinstimmend erzielt wird.

Die angestellte Siebprobe ergab auf dem Siebe von

1,0 mm Maschenweite	(99,6 + 99,8 + 99,8 + 99,7 + 99,7 + 98,0): 6	=	<b>99,4</b>	vH Rückstand
2,5 mm Maschenweite	(99,5 + 99,6 + 98,7 + 99,7 + 99,7 + 99,6 + 97,5 + 98,1 + 98,1 + 95,6 + 99,0 + 96,2): 12	=	<b>98,4</b>	» »
5,3 mm Maschenweite	(92,3 + 94,3 + 90,7 + 87,2 + 87,7 + 90,3 + 72,9 + 74,4 + 78,7 + 85,0 + 87,8 + 78,4): 12	=	<b>85,0</b>	» »
8,0 mm Maschenweite	(76,1 + 76,2 + 71,2 + 60,9 + 62,1 + 67,8 + 41,1 + 44,9 + 45,7 + 63,5 + 69,0 + 52,5): 12	=	<b>60,9</b>	» »
9,7 mm Maschenweite	(60,0 + 55,4 + 59,3 + 46,4 + 47,8 + 53,4 + 25,8 + 28,3 + 28,0 + 44,4 + 51,2 + 38,3): 12	=	<b>44,9</b>	» »
13,5 mm Maschenweite	(5,7 + 8,8 + 9,1 + 14,8 + 24,8 + 12,3): 6	=	<b>12,6</b>	» »

Zu den Proben wurden jeweils 1000 g Kies verwendet.

c) Gemisch aus Sand und Kies, sowie aus Sand, Kies und Zement.  
Bestimmung des Wasserzusatzes.

Sand und Kies wurden im Mischungsverhältnis von 3 Raumteilen Sand und 2 Raumteilen Kies verwendet. Die Wägung ergab für 1000 ltr des trockenen Gemisches im lose eingefüllten Zustand

$$(1820 + 1825) : 2 = 1823 \text{ kg} = \infty 1825 \text{ kg.}$$

Mit 1400 kg als Gewicht von 1000 ltr Zement findet sich für das Mischungsverhältnis 1:4 der erforderliche Zement aus

$$\begin{aligned} \text{Zement: Sand und Kies} &= 1 \cdot 1400 : 4 \cdot 1825 \\ &= 1 : 5,21 \end{aligned}$$

Dieser Zementzusatz, mit Sand und Kies gemischt, lieferte für 1000 ltr  
(1915 + 1903 + 1889 + 1908) : 4 = 1904 kg =  $\infty$  1900 kg.

Somit wird später bei Bestimmung der hinzuzufügenden Wassermenge

$$1 \text{ Raumprozent} = \frac{1}{1,9} = 0,526 \text{ Gewichtprozent}$$

und 15 » = 7,89 »  
entsprechen.

Anlage 3.

**Untersuchung des zur Herstellung der Balken Nr. 12 und folgende verwendeten Sand- und Kiesmaterialies.**

a) Sand.

Die Wägung ergab im lose eingefüllten Zustand für 1000 ltr

$$(1760 + 1753 + 1772 + 1768 + 1741 + 1779) : 6 = 1762 \text{ kg.}$$

Die Hohlräume, durch Einfüllen von Wasser bestimmt, fanden sich zu

$$(28,9 + 28,4) : 2 = 28,7 \text{ vH}$$

des Volumens.

(Hieraus ergab sich das spezifische Gewicht des Sandes zu

$$(2,46 + 2,47) : 2 = 2,47^1).$$

<sup>1)</sup> Vergl. hierzu Fußbemerkung 2, S. 45.

Das spezifische Gewicht, durch Abwiegen unter Wasser bestimmt, wurde gefunden zu

$$(2,55 + 2,54 + 2,55) : 3 = 2,55^1).$$

Die angestellte Siebprobe ergab auf dem Siebe von

900 Maschen auf 1 qcm	(88,0 + 89,8 + 88,6 + 89,3 + 89,9 + 89,7 + 90,2 + 90,0 + 89,8 + 90,4) : 10 . . . . .	= 89,6 vH Rückstand
0,34 mm Maschenweite	(77,1 + 75,6 + 78,0 + 75,9 + 75,0 + 75,4 + 74,8 + 76,8) : 8 . . . . .	= 76,1 » »
0,6 mm Maschenweite	(54,9 + 53,5 + 53,2 + 52,1 + 58,4 + 55,5 + 59,9 + 57,1 + 54,5 + 55,1 + 55,0 + 54,7) : 12 . . . . .	= 55,3 » »
1,0 mm Maschenweite	(44,7 + 43,1 + 43,1 + 42,3 + 48,6 + 45,3 + 50,7 + 47,3 + 44,7 + 45,4 + 44,5 + 44,3) : 12 . . . . .	= 45,3 » »
2,5 mm Maschenweite	(31,6 + 29,5 + 30,6 + 30,2 + 35,8 + 34,7 + 38,2 + 34,5 + 32,6 + 32,7 + 31,8 + 31,5) : 12 . . . . .	= 32,8 » »
5,3 mm Maschenweite	(9,5 + 7,5 + 9,9 + 9,4 + 11,7 + 11,2 + 13,0 + 10,9 + 9,9 + 10,5 + 10,8 + 9,5) : 12 . . . . .	= 10,3 » »
8,0 mm Maschenweite	(0,8 + 1,2 + 1,2 + 1,6 + 1,3 + 1,1 + 1,4 + 1,2 + 1,1) : 9 . . . . .	= 1,2 » »

Zu den Proben wurden jeweils 1000 g Sand verwendet.

b) Kies.

Die Wägung ergab im lose eingefüllten Zustand für 1000 ltr

$$(1636 + 1620 + 1679 + 1634) : 4 = 1642 \text{ kg.}$$

Die Hohlräume, durch Einfüllen von Wasser bestimmt, fanden sich zu

$$(35,4 + 34,7) : 2 = 35,1 \text{ vH des Volumens.}$$

(Hieraus ergab sich das spezifische Gewicht zu

$$(2,52 + 2,53) : 2 = 2,53).$$

Das spezifische Gewicht des Kiesel, durch Abwiegen unter Wasser bestimmt, wurde ermittelt zu

$$(2,57 + 2,56 + 2,56) : 3 = 2,56.$$

Die angestellte Siebprobe ergab auf dem Siebe von

0,34 mm Maschenweite	(95,4 + 89,0 + 90,6 + 99,6 + 96,8 + 92,4 + 94,0 + 95,1 + 96,6) : 9 . . . . .	= 94,4 vH Rückstand
0,6 mm Maschenweite	(93,4 + 84,3 + 86,5 + 99,4 + 95,5 + 88,0 + 91,2 + 92,7 + 95,0) : 9 . . . . .	= 91,8 » »
1,0 mm Maschenweite	(96,0 + 95,9 + 93,4 + 92,6 + 82,7 + 85,2 + 99,4 + 95,1 + 86,9 + 90,2 + 91,8 + 94,4) : 12 . . . . .	= 92,0 » »
2,5 mm Maschenweite	(95,1 + 94,9 + 92,4 + 90,0 + 81,1 + 83,6 + 98,2 + 94,4 + 85,8 + 88,6 + 89,7 + 93,6) : 12 . . . . .	= 90,6 » »
5,3 mm Maschenweite	(85,1 + 84,6 + 80,4 + 74,8 + 69,9 + 70,6 + 81,8 + 80,7 + 75,0 + 74,2 + 74,5 + 82,0) : 12 . . . . .	= 77,8 » »
8,0 mm Maschenweite	(53,0 + 53,9 + 49,3 + 44,0 + 43,2 + 42,4 + 41,1 + 44,6 + 40,7 + 46,0 + 42,3 + 51,9) : 12 . . . . .	= 46,0 » »
9,7 mm Maschenweite	(25,6 + 27,1 + 27,6 + 26,1 + 23,7 + 23,4 + 14,7 + 22,5 + 23,4 + 26,1 + 23,4 + 31,6) : 12 . . . . .	= 24,5 » »
13,5 mm Maschenweite	(1,7 + 1,3 + 1,9 + 0 + 0,9 + 1,4 + 0 + 0 + 2,0) : 9 . . . . .	= 1,0 » »

Die zu einer Siebprobe verwendete Kiesmenge betrug 1000 g.

1) Vergl. hierzu Fußbemerkung 2, S. 45.

c) Gemisch aus Sand und Kies sowie aus Sand, Kies und Zement.  
Bestimmung des Wasserzusatzes.

Sand und Kies wurden im Mischungsverhältnis von 3 Raumteilen Sand und 2 Raumteilen Kies verwendet. Die Wägung ergab für 1000 ltr des trockenen Gemisches im lose angefüllten Zustand

$$(1846 + 1839 + 1853 + 1836 + 1835 + 1840) : 6 = 1841 \text{ kg} = \text{rd. } 1840 \text{ kg.}$$

Mit 1400 kg als Gewicht von 1000 ltr Zement findet sich für das Mischungsverhältnis 1:4 der erforderliche Zement aus

$$\begin{aligned} \text{Zement : Sand und Kies} &= 1 \cdot 1400 : 4 \cdot 1840 \\ &= 1 : 5,26. \end{aligned}$$

Dieser Zementzusatz, mit Sand und Kies gemischt, lieferte für 1000 ltr  
(1895 + 1901 + 1896 + 1900 + 1896) : 5 = 1898 kg = rd. 1900 kg.

Somit wird später bei Bestimmung der hinzuzufügenden Wassermenge

$$\begin{aligned} 1 \text{ Raumprozent} &= \frac{1}{1,9} = 0,526 \text{ Gewichtprozent} \\ \text{und } 15 \text{ } & \text{ » } = 7,89 \text{ } \text{ » } \\ & \text{entsprechen.} \end{aligned}$$

d) Vergleich der Siebproben aus Anlage 2 und 3.

Würden 3 ltr Sand und 2 ltr Kies gemischt, so berechnet sich nach den Ergebnissen der Anlage 2 der Rückstand auf dem Siebe von

$$\begin{aligned} 0,34 \text{ mm Maschenweite zu } & \frac{3 \cdot 1,645 \cdot 72,9 + 2 \cdot 1,617 \cdot 100}{3 \cdot 1,645 + 2 \cdot 1,617} = 83,6 \text{ vH Rückstand} \\ 2,5 \text{ } & \text{ » } \text{ » } \text{ » } \frac{3 \cdot 1,645 \cdot 9,9 + 2 \cdot 1,617 \cdot 98,4}{3 \cdot 1,645 + 2 \cdot 1,617} = 44,9 \text{ } \text{ » } \text{ » } \\ 8,0 \text{ } & \text{ » } \text{ » } \text{ » } \frac{3 \cdot 1,645 \cdot 0 + 2 \cdot 1,617 \cdot 60,9}{3 \cdot 1,645 + 2 \cdot 1,617} = 24,1 \text{ } \text{ » } \text{ » } \end{aligned}$$

Nach Anlage 3 ergibt sich auf dem Siebe von

$$\begin{aligned} 0,34 \text{ mm Maschenweite: } & \frac{3 \cdot 1,762 \cdot 76,1 + 2 \cdot 1,642 \cdot 94,4}{3 \cdot 1,762 + 2 \cdot 1,642} = 83,1 \text{ vH Rückstand} \\ 2,5 \text{ } & \text{ » } \text{ » } \text{ » } \frac{3 \cdot 1,762 \cdot 32,8 + 2 \cdot 1,642 \cdot 90,6}{3 \cdot 1,762 + 2 \cdot 1,642} = 55,0 \text{ } \text{ » } \text{ » } \\ 8,0 \text{ } & \text{ » } \text{ » } \text{ » } \frac{3 \cdot 1,762 \cdot 1,2 + 2 \cdot 1,642 \cdot 46,0}{3 \cdot 1,762 + 2 \cdot 1,642} = 18,4 \text{ } \text{ » } \text{ » } \end{aligned}$$



Anlage 4.

Ermittlung der Dehnungen und Durchbiegungen am Balken Nr. 16 (Bauart nach Fig. 2).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
Be- lastung <i>P</i>  kg	Verlängerungen auf der unteren Balkenfläche						Zusammendrückungen auf der oberen Balkenfläche						Durchbiegungen in mm, vergl. Fig. 19										Tempe- ratur im Versuchs- raum  °C	Bemerkungen	
	Ableseungen		Summe der Ab- lesungen	Verlängerungen in $\frac{1}{200}$ cm auf die Meßlänge $l=69,8$ cm			Ableseungen		Summe der Ab- lesungen	Zusammendrückungen in $\frac{1}{200}$ cm auf die Meßlänge $l=70,0$ cm			Ableseungen an den Punkten					Durchbiegungen an den Punkten							
	links	rechts		gesamte	bleibende	federnde	links	rechts		gesamte	bleibende	federnde	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>			
0	13,82	13,87	27,69				14,08	13,88	27,96				6,130	5,295	4,790	2,600	1,105								
1000	13,71	13,75	27,46	0,23			13,94	13,75	27,69	0,27			6,105	5,245	4,735	2,550	1,075	0,025	0,050	0,055	0,050	0,030		15,6	
0	13,81	13,86	27,67		0,02	0,21	14,07	13,88	27,95		0,01	0,26	6,130	5,295	4,790	2,600	1,105	0	0	0	0	0			
2000	13,58	13,61	27,19	0,50			13,81	13,61	27,42	0,54			6,075	5,190	4,680	2,495	1,045	0,055	0,105	0,110	0,105	0,060			
0	13,80	13,83	27,63		0,06	0,44	14,07	13,87	27,94		0,02	0,52	6,130	5,295	4,790	2,600	1,105	0	0	0	0	0			
3000	13,43	13,48	26,91	0,78			13,68	13,46	27,14	0,82			6,040	5,130	4,610	2,430	1,010	0,090	0,165	0,180	0,170	0,095			
0	13,78	13,81	27,59		0,10	0,68	14,06	13,85	27,91		0,05	0,77	6,130	5,290	4,785	2,595	1,100	0	0,005	0,005	0,005	0,005			Unter $P=3500$ kg wurde der erste Wasserfleck beobachtet (bei <i>a</i> , Fig. 27)
4000	13,24	13,29	26,53	1,16			13,51	13,29	26,80	1,16			6,000	5,060	4,535	2,365	0,970	0,130	0,235	0,255	0,235	0,135			
0	13,73	13,78	27,51		0,18	0,98	14,03	13,82	27,85		0,11	1,05	6,120	5,275	4,770	2,575	1,095	0,010	0,020	0,020	0,025	0,010			
5000	12,92	13,02	25,94	1,75			13,27	13,04	26,31	1,65			5,950	4,955	4,420	2,260	0,920	0,180	0,340	0,370	0,340	0,185			
0	13,60	13,69	27,29		0,40	1,35	13,98	13,76	27,74		0,22	1,43	6,110	5,245	4,740	2,550	1,075	0,020	0,050	0,050	0,050	0,030			
5100	12,84	12,96	25,80	1,89			13,23	13,00	26,23	1,73															[Beton auf der Unterfläche (vergl. Fig. 27 u. 28)
5250	12,74	12,87	25,61	2,08			13,18	12,93	26,11	1,85			5,920	4,915	4,370	2,220	0,890	0,210	0,380	0,420	0,380	0,215			Unter $P=5250$ kg zeigten sich die ersten Risse im
6000	12,10	12,33	24,43	3,26			12,95	12,69	25,64	2,32			5,825	4,745	4,180	2,050	0,795	0,305	0,550	0,610	0,550	0,310			Unter $P=6000$ kg erfolgte die Aufnahme der Fig. 27.
0	13,21	13,37	26,58		1,11	2,15	13,88	13,67	27,55		0,41	1,91	6,070	5,170	4,655	2,475	1,030	0,060	0,125	0,135	0,125	0,075			Nachdem die Belastung rd. 30 Minuten gewirkt hatte, wurden die Ableseungen vorgenommen.
7000	11,10	11,50	22,60	5,09			12,61	12,33	24,94	3,02			5,695	4,505	3,920	1,810	0,655	0,435	0,790	0,870	0,790	0,450			
0	12,94	13,13	26,07		1,62	3,47	13,83	13,61	27,44		0,52	2,50	6,040	5,110	4,595	2,420	1,010	0,090	0,185	0,195	0,180	0,095			
8000	10,14	10,67	20,81	6,88			12,30	11,99	24,29	3,67			5,540	4,215	3,590	1,500	0,480	0,590	1,080	1,200	1,100	0,625			
0	12,73	12,95	25,68		2,01	4,87	13,81	13,57	27,38		0,58	3,09	6,010	5,050	4,530	2,350	0,980	0,120	0,245	0,260	0,250	0,125			
9000	9,07	9,68	18,75	8,94			11,98	11,68	23,66	4,30			5,240	3,705	3,060	1,005	0,200	0,890	1,590	1,730	1,595	0,905			Die Ableseungen erfolgten, nachdem die Last $P=9000$ kg 25 Minuten gewirkt hatte.
0	12,48	12,71	25,19		2,50	6,44	13,79	13,56	27,35		0,61	3,69	5,905	4,890	4,360	2,190	0,880	0,225	0,405	0,430	0,410	0,225			

Unter der wiederholten Belastung  $P=9000$  kg wurden die Ableseungen für die Dehnungsmessungen und die Durchbiegungen nicht vorgenommen.

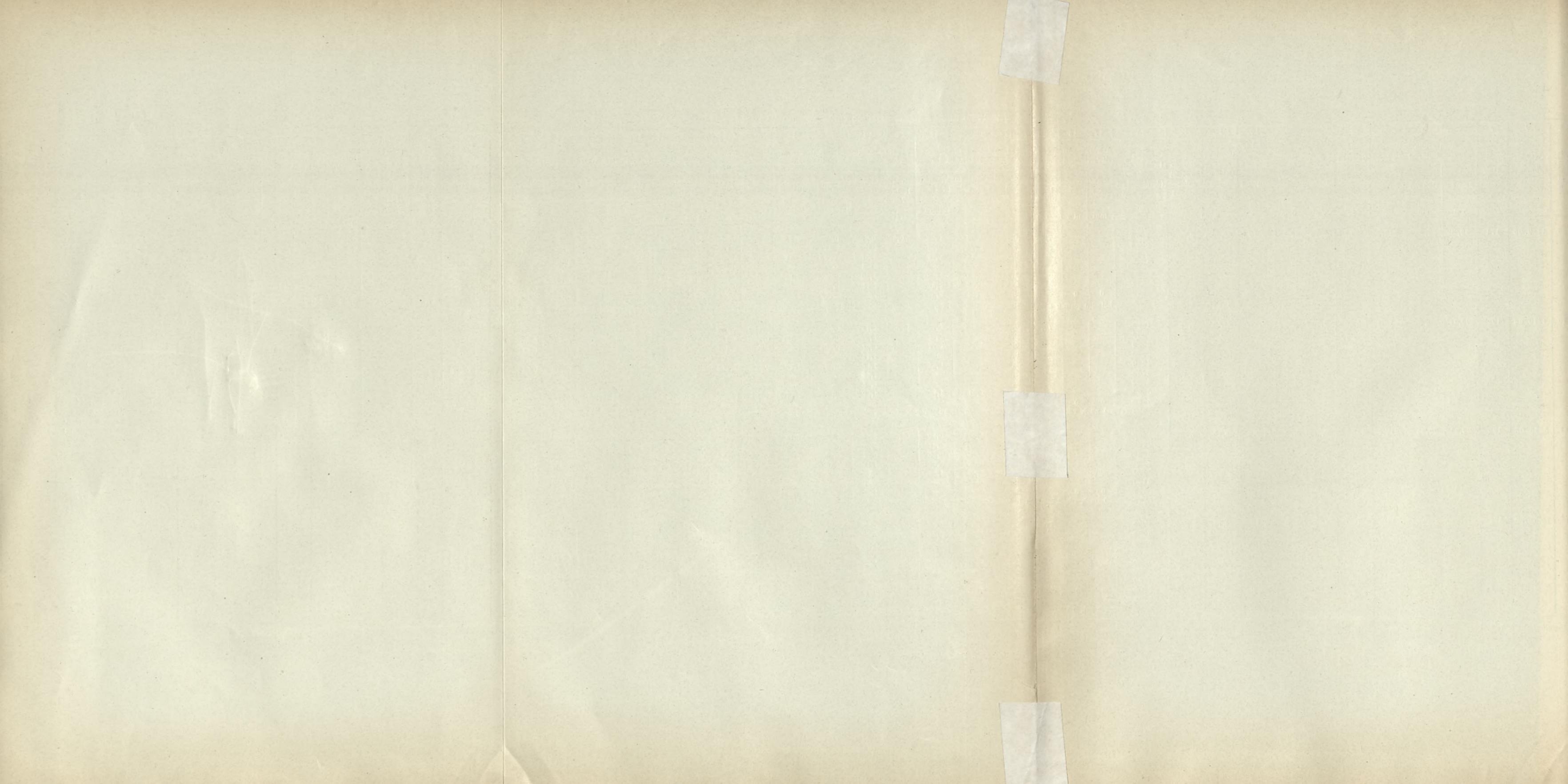


Zusammenstellung 1. Balken mit Bauart nach Fig. 1. Alter: rd. 50 Tage.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Bezeichnung	Prüfungstag	Alter Tage	Abmessungen des Balkens			Gewicht des Balkens kg	Abmessungen der Eiseneinlagen			Gewicht der Eisen- einlagen $G_e$ kg	Raum- gewicht des Betons	Bemerkungen
			Breite $b$ cm	Höhe $h$ cm	Länge $L$ cm		Dmr. $d$ cm	Quer- schnitt $f_e$ qcm	Umfang $u_e$ cm			
1	11. 5. 06	53	29,87	30,06	215,8	443,3	2,50	4,91	7,85	8,20	2,26	<p>Die Messung der Größen <math>x</math> und <math>y</math> (vergl. auch Fig. 1 und Seite 1) ergab vor Eintritt des unter <math>P_{\max} = 4240</math> kg erfolgten Bruches keine Verschiebung. Der Bruch trat auf der einen Seite plötzlich ein und ist in Fig 43 (photographische Aufnahme von der Rückseite) dargestellt.</p> <p>Nach Eintritt des Bruches ergab sich die Verschiebung des Eisens durch Messung der Größe <math>x</math> zu 0,795 mm; auf der anderen Seite war eine Veränderung der Größe <math>y</math> nicht festzustellen. Bei weiterem Durchbiegen des Balkens gleitet das Eisen bei <math>x</math> weiter, wobei die Belastung fortwährend sinkt.</p> <p>Die Zerstörung des Balkens ist demnach erfolgt infolge des Gleitens des Eisens auf der einen Seite unter der Belastung von <math>P = 4240</math> kg.</p> <p>Dieser Kraft entsprechen nach Seite 18 u. f., ohne Rücksicht auf das Eigengewicht, die Werte</p> <p><math>\sigma_b = 30,5</math> kg/qcm, <math>\sigma_e = 879</math> kg/qcm, <math>\tau_0 = 2,9</math> kg/qcm, <math>\tau_1 = 11,0</math> kg/qcm (Gleitwiderstand).</p> <p>Wird das Eigengewicht des Balkens im Auflagerquerschnitt mit <math>\frac{1}{2} \cdot 443,3 - 16,2 = \text{rd. } 205</math> kg berücksichtigt, so wird <math>\tau_1</math> um <math>\frac{205}{2120} \cdot 100 = 9,7</math> vH größer, d. h. <math>\tau_1 = 12,0</math> kg/qcm.</p> <p>Im Belastungsquerschnitt beträgt diese Zunahme 4,9 vH, d. h. <math>\tau_1 = 11,5</math> kg/qcm.</p>
2	11. 5. 06	52	29,77	29,86	215,9	436,3	2,50	4,91	7,85	8,15	2,24	<p>Die Messung der Größen <math>x</math> und <math>y</math> ergab unter <math>P = 3500</math> kg noch keine Verschiebung. Unter <math>P_{\max} = 3750</math> kg erfolgte auf der einen Seite plötzlich der Bruch, nachdem die Last rd. 1 Minute gewirkt hatte. Die Messung der Größe <math>y</math> ergab eine Verschiebung des Eisens von 0,660 mm. Bei <math>x</math> war keine Veränderung festzustellen. Bei weiterem Durchbiegen des Balkens gleitet das Eisen rasch, die Belastung sinkt fortgesetzt. Die Zerstörung des Balkens erfolgte somit auch hier infolge Gleitens des Eisens.</p> <p>Der Kraft <math>P = 3750</math> kg entsprechen, ohne Rücksicht auf das Eigengewicht, die Werte</p> <p><math>\sigma_b = 26,8</math> kg/qcm, <math>\sigma_e = 773</math> kg/qcm, <math>\tau_0 = 2,5</math> kg/qcm, <math>\tau_1 = 9,7</math> kg/qcm (Gleitwiderstand).</p> <p>Bei Berücksichtigung des Eigengewichtes wird die Querkraft <math>V</math> im Auflagerquerschnitt um <math>\frac{1}{2} \cdot 436,3 - 16,6 = \text{rd. } 202</math> kg größer, d. i. <math>\frac{202}{1750} \cdot 100 = 11,5</math> vH. Damit wird <math>\tau_1 = 10,8</math> kg/qcm. Im Belastungsquerschnitt beträgt diese Zunahme 5,8 vH, d. h. <math>\tau_1 = 10,2</math> kg/qcm.</p>

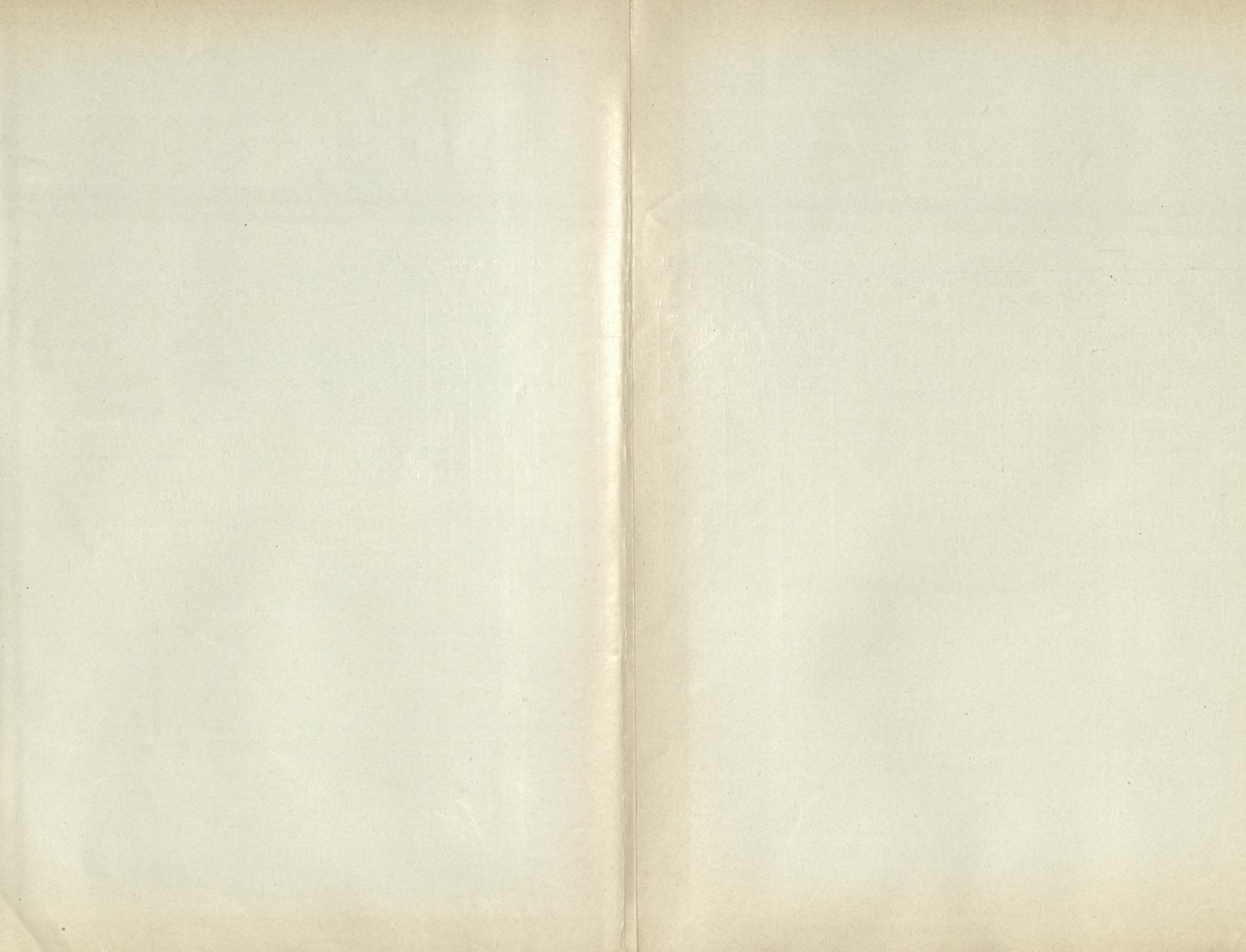






Zusammenstellung 3. Balken mit Bauart nach Fig. 2. Alter: rd. 50 Tage.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Bezeichnung	Prüfungstag	Alter Tage	Abmessungen des Balkens			Gewicht des Balkens kg	Abmessungen der Eiseneinlagen			Gewicht der Eiseneinlage kg	Raumgewicht des Betons	Rißbildung		Messungen an den Enden der Eiseneinlagen			Bemerkungen	
			Breite <i>b</i> cm	Höhe <i>h</i> cm	Länge <i>L</i> cm		Dmr. <i>d</i> cm	Querschnitt <i>f<sub>c</sub></i> qcm	Umfang <i>u<sub>e</sub></i> cm			letzte Belastung, unter welcher kein Riß gefunden wurde kg	Belastung, unter welcher der erste Riß entdeckt wurde kg	Belastung <i>P</i> kg	Änderung bei			Dauer der Belastung min
															<i>x</i> mm	<i>y</i> mm		
5	14. 5. 06	53	29,61	30,45	216,0	445,5	2,49	4,87	7,82	8,02	2,26	4000	4250	6500	0	0	3	<p>Nachdem die Belastung <math>P=7500</math> kg rd. 2 min gewirkt hatte, gleitet das Eisen auf der Seite bei <i>y</i> sehr rasch. Die Zerstörung des Balkens erfolgte infolge Gleitens des Eisens auf einer Seite unter der Belastung <math>P=7500</math> kg (Fig. 49). Dieser Kraft entsprechen nach Seite 18, ohne Rücksicht auf das Eigengewicht, die Werte:</p> <p><math>\sigma_b = 52,9</math> kg/qcm, <math>\sigma_c = 1539</math> kg/qcm, <math>\tau_0 = 5,1</math> kg/qcm, <math>\tau_1 = 19,2</math> kg/qcm (Gleitwiderstand).</p>
														7000	0	0,035	3	
															0	0,045	6	
															0	0,045	9	
														0	0,045	3		
														7500	0,005	0,665	2	
8	15. 5. 06	50	29,89	30,28	215,8	449,9	2,50	4,91	7,85	8,12	2,27	4150	4250	5000	0	0	3	<p>Nachdem die Belastung <math>P=6500</math> kg rd. 5 min gewirkt hatte, gleitet das Eisen auf der Seite von <i>y</i> sehr rasch. Die Belastung sinkt, auch bei fortgesetztem Durchbiegen des Balkens. Die Zerstörung erfolgte somit infolge Gleitens des Eisens. Der Kraft <math>P=6500</math> kg entsprechen, ohne Rücksicht auf das Eigengewicht, die Werte</p> <p><math>\sigma_b = 45,8</math> kg/qcm, <math>\sigma_c = 1330</math> kg/qcm, <math>\tau_0 = 4,4</math> kg/qcm, <math>\tau_1 = 16,6</math> kg/qcm (Gleitwiderstand).</p>
														6000	0,010	0,035	3	
															0,010	0,055	6	
															0,010	0,055	9	
														0	0,010	0,055	3	
														6500	0,025	0,145	2	
															0,070	0,345	4	







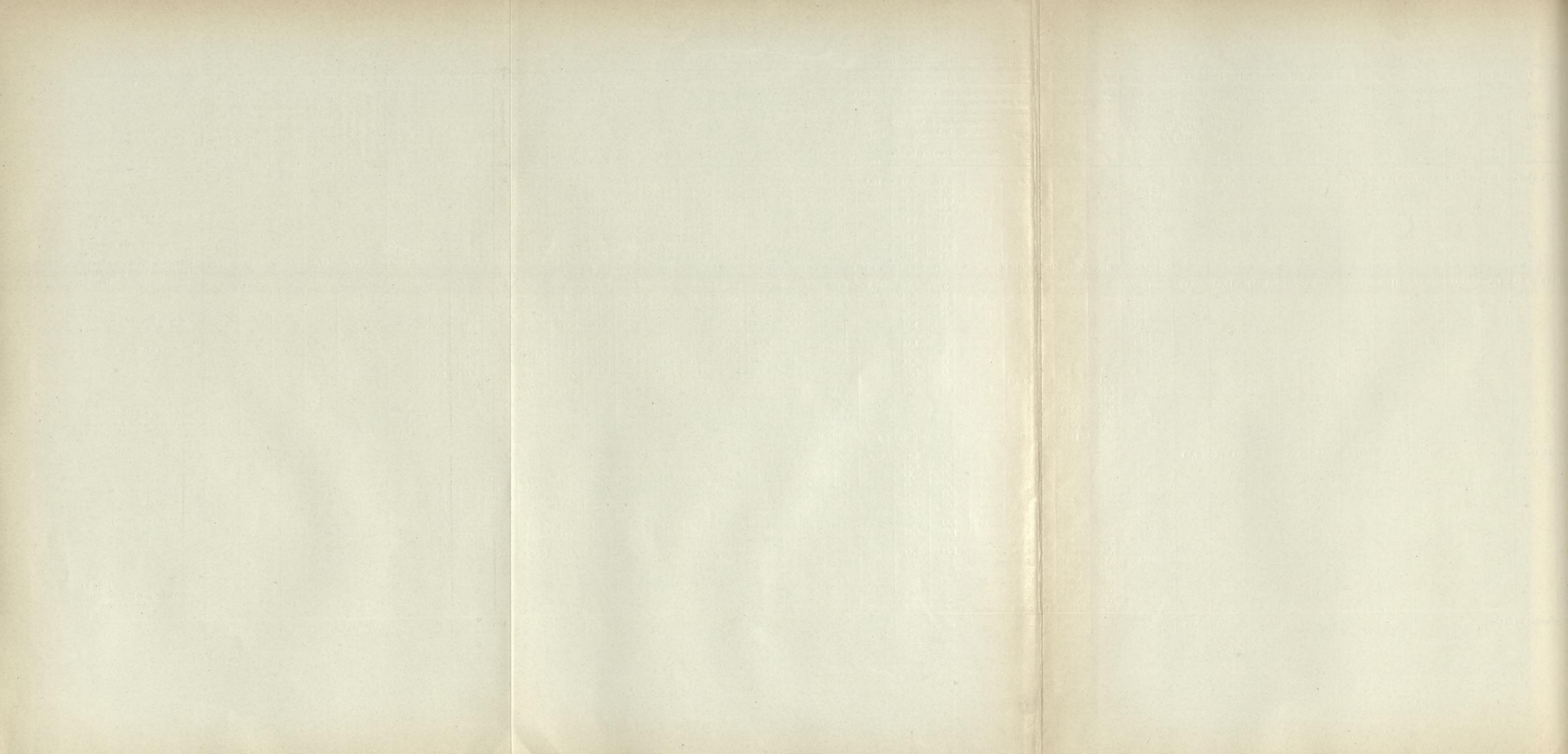












Zusammenstellung 8.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Bezeichnung	$f_c \cdot 100$ bh	Wasserflecke		erste Risse							Belastung $P_{max}$	Spannungen unter $P_{max}$ , berechnet nach den Gleichungen Seite 18 <sup>1)</sup>			
		Belastung, unter welcher die Wasserflecke zuerst beobachtet wurden	gesamte Dehnung des Betons unter der Belastung Spalte 3	Belastung,		gesamte Dehnung des Betons unter der Belastung von Spalte 5	Spannungen unter der Belastung in Spalte 5), berechnet nach den Gleichungen Seite 18 <sup>1)</sup>								
				unter welcher zum letztenmal kein RiB beobachtet wurde	unter welcher der erste RiB beobachtet wurde		$\sigma_b$	$\sigma_e$	$\tau_0$	Gleit- spannung $\tau_1$		$\sigma_b$	$\sigma_e$	$\tau_0$	Gleit- wider- stand $\tau_1$
vH	kg	mm/m	kg	kg	kg	kg/qcm	kg/qcm	kg/qcm	kg/qcm	kg	kg/qcm	kg/qcm	kg/qcm	kg/qcm	

6 Balken mit Bauart nach Fig. 1.

1) 2 Balken geprüft im Alter von rd. 50 Tagen. (Zusammenstellung 1.)

1	0,55	—	—	4000	4240	—	—	—	—	—	4240	30,5	879	2,9	11,0
2	0,55	—	—	3500	3750	—	—	—	—	—	3750	26,8	773	2,5	9,7
Durchschnitt	0,55	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3997	28,7	826	2,7	<b>10,3</b>

2) 4 Balken geprüft im Alter von rd. 6 Monaten. (Zusammenstellung 2.)

4	0,56	—	—	4000	4000	0,115	28,9	832	2,7	10,4	5290	38,3	1100	3,6	13,8
10	0,53	3500	0,07	4750	4900	0,114	32,1	948	3,1	11,8	5500	37,2	1097	3,6	13,7
11	0,54	3750	0,07	5000	5100	0,124	33,8	992	3,3	12,4	5750	38,9	1141	3,8	14,3
15	0,53	3800	0,07	5500	5750	0,154	36,7	1082	3,6	13,6	6500	43,4	1278	4,2	16,1
Durchschnitt	0,55	—	0,07	—	—	0,127	32,9	963	3,2	<b>12,0</b>	5760	39,4	1154	3,8	<b>14,5</b>

6 Balken mit Bauart nach Fig. 2.

1) 2 Balken geprüft im Alter von rd. 50 Tagen (Zusammenstellung 3.)

5	0,54	—	—	4000	4250	—	28,2	821	2,7	10,2	7500	52,9	1539	5,1	19,2
8	0,54	—	—	4150	4250	—	29,2	849	2,8	10,6	6500	45,8	1330	4,4	16,6
Durchschnitt	0,54	—	—	—	—	—	28,7	835	2,7	<b>10,4</b>	7000	49,3	1434	4,7	<b>17,9</b>

2) 4 Balken geprüft im Alter von rd. 6 Monaten. (Zusammenstellung 4.)

9	0,53	3000	0,05	5000	5250	0,117	34,1	1006	3,3	12,6	9000	61,5	1811	5,9	22,7
16	0,53	3500	0,07	5100	5250	0,135	34,4	1024	3,3	12,8	9000	60,7	1808	5,9	22,5
17	0,53	4000	0,08	5250	5400	0,148	35,0	1040	3,4	13,0	8750	58,3	1733	5,7	21,7
19	0,52	4100	0,09	5000	5100	0,127	33,1	992	3,2	12,3	8500	56,3	1686	5,5	21,0
Durchschnitt	0,53	—	0,07	—	—	0,132	34,1	1015	3,3	<b>12,7</b>	8813	59,2	1760	5,7	<b>22,0</b>

3 Balken mit Bauart nach Fig. 3. (Zusammenstellung 5.) Alter: rd. 6 Monate.

3	0,42	2500	0,08	3000	3250	0,119	34,5	1178	3,0	10,6	6000	69,1	2355	5,9	21,1
6	0,42	2000	0,05	3000	3100	0,112	33,7	1155	2,9	10,4	5750	64,6	2214	5,6	19,9
12	0,41	2500	0,06	3600	3750	0,139	39,7	1371	3,5	12,3	6500	71,7	2475	6,3	22,3
Durchschnitt	0,42	—	0,06	—	—	0,123	36,0	1235	3,1	<b>11,1</b>	6083	68,5	2348	5,9	<b>21,1</b>

3 Balken mit Bauart nach Fig. 4. (Zusammenstellung 6.) Alter: rd. 6 Monate.

7	0,81	2500	0,09	3250	3500	0,167	41,1	933	4,5	10,0	6000	75,9	1722	8,4	18,5
13	0,85	2500	0,11	3100	3250	0,171	38,5	842	4,4	9,3	5650	70,3	1535	7,9	17,0
14	0,80	2500	0,11	3400	3500	0,191	41,5	939	4,7	10,2	7250	88,5	2003	9,9	21,7
Durchschnitt	0,82	—	0,10	—	—	0,176	40,4	905	4,5	<b>9,8</b>	6300	78,2	1753	8,7	<b>19,1</b>

3 Balken mit Bauart nach Fig. 5. (Zusammenstellung 7.) Alter: rd. 6 Monate.

20	0,87	4000	0,08	5750	6000	0,130	33,0	716	3,9	11,5	8500	48,8	1058	5,7	17,0
22	0,85	4000	0,07	5900	6000	0,141	33,9	743	4,0	11,8	11000	63,1	1384	7,4	22,1
24	0,85	5250	0,10	6000	6100	0,136	34,9	765	4,0	12,2	10000	58,1	1274	6,7	20,3
Durchschnitt	0,86	—	0,08	—	—	0,136	33,9	741	4,0	<b>11,8</b>	9833	56,7	1239	6,6	<b>19,8</b>

<sup>1)</sup> Ohne Rücksicht auf den Einfluß der Eigengewichte, vergl. S. 20.









Biblioteka PK

**J.X.19**

/ 1907

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000309556