



Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000300746

Heft 13.

**Versuche über den Einfluß von Kälte und Wärme auf die Erhärtungsfähigkeit von Beton.** Ausgeführt im Königlichen Materialprüfungsamt zu Groß-Lichterfelde-West im Jahre 1911. Bericht erstattet von Professor **M. Gary**, Abteilungsvorsteher im Königlichen Materialprüfungsamt.

Mit 15 Textabbildungen.

1912.

Geheftet Preis 1,60 M.

Heft 14.

**Versuche mit Eisenbeton-Balken zur Ermittlung der Widerstandsfähigkeit von Stoßverbindungen der Eiseneinlagen.** Ausgeführt in der Königl. Mechanisch-Technischen Versuchsanstalt in Dresden. Bericht erstattet von Professor **H. Scheit**, Geh. Hofrat, Direktor der Versuchsanstalt und Privatdozent Dipl.-Ing. **O. Wawrziniok**, Adjunkt der Versuchsanstalt.

Mit 144 Textabbildungen.

1912.

Geheftet Preis 4 M.

Heft 15.

**Versuche über den Einfluß der Elektrizität auf Eisenbeton.** Ausgeführt in der Großl. Materialprüfungs-Anstalt an der Technischen Hochschule zu Darmstadt in den Jahren 1909 bis 1911. Bericht erstattet von Professor **O. Berndt**, Geh. Baurat, Vorstand der Materialprüfungs-Anstalt, Professor **Dr. K. Wirtz**, Geh. Hofrat, unter Mitwirkung von Privatdozent **Dr.-Ing. E. Preuß**.

Mit 214 Textabbildungen.

1912.

Geheftet Preis 4,60 M.

Heft 16.

**Versuche über die Widerstandsfähigkeit von Beton und Eisenbeton gegen Verdrehung.** Ausgeführt in der Materialprüfungsanstalt der Königlich Technischen Hochschule zu Stuttgart in den Jahren 1910 und 1911. Bericht erstattet von **Dr.-Ing. C. Bach**, K. Würt. Baudirektor, Professor des Maschineningenieurwesens, Vorstand des Ingenieurlaboratoriums und der Materialprüfungsanstalt und **O. Graf**, Ingenieur der Materialprüfungsanstalt.

Mit 114 Textabbildungen und 14 Zusammenstellungen.

1912.

Geheftet Preis 4,60 M.

Heft 17.

**Versuche mit Stampfbeton.** Ausgeführt im Königlichen Materialprüfungsamt zu Groß-Lichterfelde-West in den Jahren 1905 bis 1910. Bericht erstattet von Geheimem Regierungsrat Professor **M. Rudeloff**, Direktor, und Professor **M. Gary**, Abteilungsvorsteher im Königlichen Materialprüfungsamt.

Mit 71 Textabbildungen und 64 Tabellen.

1912.

Geheftet Preis 9,60 M.

Heft 18.

**Die Beziehung zwischen Formänderung und Biegemoment bei Eisenbetonbalken** (abgeleitet aus den bis Ende 1911 durchgeführten Versuchen). Bericht erstattet von Professor **Dr.-Ing. E. Mörsch**.

Mit 12 Textabbildungen.

1912.

Geheftet Preis 1,20 M.

Heft 19.

**Prüfung von Balken zu Kontrollversuchen.** Ausgeführt in der Materialprüfungsanstalt der Königlich Technischen Hochschule zu Stuttgart in den Jahren 1910 und 1911. Bericht erstattet von **Dr.-Ing. C. Bach**, K. Würt. Baudirektor, Professor des Maschineningenieurwesens, Vorstand des Ingenieurlaboratoriums und der Materialprüfungsanstalt, und **O. Graf**, Ingenieur der Materialprüfungsanstalt.

Mit 26 Textabbildungen und 10 Zusammenstellungen.

1912.

Geheftet Preis 2,40 M.

xxx  
233



Heft 20.

**Versuche mit Eisenbeton-Balken zur Ermittlung der Widerstandsfähigkeit verschiedener Bewehrung gegen Schubkräfte.**

DRITTER TEIL. Ausgeführt in der Materialprüfungsanstalt der Königlich Technischen Hochschule zu Stuttgart in den Jahren 1910 bis 1912. Bericht erstattet von Dr.-Ing. **C. Bach**, K. württ. Baudirektor, Professor des Maschineningenieurwesens, Vorstand des Ingenieurlaboratoriums und der Materialprüfungsanstalt und **O. Graf**, Ingenieur der Materialprüfungsanstalt.

Mit **188** Textabbildungen und **29** Zusammenstellungen.

1912.

Geheftet **Preis 10,60 M.**

Heft 21.

**Untersuchungen über den Einfluß der Köpfe auf die Formänderungen und Festigkeit von Eisenbeton-Säulen.**

Ausgeführt im Königlichen Materialprüfungsamt zu Berlin-Lichterfelde-West im Jahre 1912. Bericht erstattet von Professor **M. Rudeloff**, Geheimer Regierungsrat, Direktor im Königlichen Materialprüfungsamt.

Mit **44** Textabbildungen und **64** Tabellen.

1912.

Geheftet **Preis 6 M.**

III 2293/12

HEFT 21

DEUTSCHER AUSSCHUSS FÜR EISENBETON

UNTERSUCHUNGEN

ÜBER DEN

EINFLUSS DER KÖPFE AUF DIE FORMÄNDERUNGEN  
UND FESTIGKEIT VON EISENBETON-SÄULEN

AUSGEFÜHRT IM

KÖNIGLICHEN MATERIALPRÜFUNGSAMT

ZU

BERLIN-LICHTERFELDE-WEST

IM JAHRE 1912

BERICHT ERSTATTET VON

PROFESSOR M. RUDELOFF

GEHEIMER REGIERUNGSRAT

DIREKTOR IM KÖNIGLICHEN MATERIALPRÜFUNGSAMT

MIT 44 ABBILDUNGEN UND 64 TABELLEN



BERLIN 1912

VERLAG VON WILHELM ERNST & SOHN

519a  
75.



III - 307241



Alle Rechte vorbehalten.



VERLAG VON WILHELM BERTH & SOHN  
BRUNNEN 1913

088-0248/2018

# Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Einleitung . . . . .	I
<b>Versuchsreihe A.</b>	
I. Arbeitsplan . . . . .	7
II. Die verwendeten Baustoffe . . . . .	7
III. Die Herstellung der Säulen . . . . .	8
IV. Die Prüfung des Betons . . . . .	11
V. Festigkeitsversuche mit den Säulen.	
1. Einrichtungen zum Messen der Formänderungen . . . . .	11
2. Die Längenänderungen und Querdehnungen der Säulen bei wachsener Belastung . . . . .	15
3. Die Festigkeit der Säulen . . . . .	18
<b>Versuchsreihe B.</b>	
I. Arbeitsplan . . . . .	55
II. Die Herstellung der Säulen . . . . .	56
III. Festigkeitsversuche mit den Säulen.	
1. Die Querdehnungen und Längenänderungen der Säulen bei wachsener Belastung . . . . .	57
2. Die Festigkeit der Säulen . . . . .	59
IV. Versuche an den Würfeln mit Eiseneinlage . . . . .	66
<b>Versuchsreihe C.</b>	
I. Arbeitsplan . . . . .	83
II. Die Herstellung der Säulen . . . . .	83
III. Festigkeitsversuche mit den Säulen.	
1. Die Querdehnungen und Längenänderungen der Säulen bei wachsener Belastung . . . . .	83
2. Die Festigkeit der Säulen . . . . .	86
Zusammenfassung der Versuchsergebnisse . . . . .	94





# Bericht

über die

## Untersuchungen über den Einfluss der Köpfe auf die Formänderungen und Festigkeit von Eisen-Beton-Säulen.

Ausgeführt im Königl. Materialprüfungsamt zu Berlin-Lichterfelde im Jahre 1912.

### Einleitung.

Der Umstand, daß bei den früheren Versuchen<sup>1)</sup> mit eisenbewehrten Säulen rein prismatischer Form der Bruch der Säulen mit wenigen Ausnahmen an dem zuletzt gestampften Ende unter Entstehung der bekannten Pyramide über der Druckfläche eingetreten war, und zwar gleichgültig, ob dieses Ende beim Versuch nach oben oder nach unten lag, brachte in dem Deutschen Ausschuß für Eisenbeton die Ansicht zur Vorherrschaft, daß es notwendig sei, den Probesäulen eine solche Form zu geben, die die Entstehung von Brüchen an den Enden zu verhindern vermöge.

Die Erstrebung von Brüchen in einiger Entfernung von den Endflächen erschien um so notwendiger, als die Anschauung Vertreter fand, daß die Brüche über den Endflächen durch Nebenumstände bedingt seien, die zugleich auch die Bruchfestigkeit der Säulen beeinträchtigten, derart, daß die Wirkung der Bewehrung nicht voll zur Geltung kommen könne. Unter diesen Nebenumständen wurde in erster Linie immer wieder hervorgehoben, daß die Mörtelschicht, die bei den Säulen ohne Kopf zwischen den Endflächen der Längseisen und der Endfläche (Druckfläche) der Säule sich befindet, zuerst zerstört würde und dabei trotz ihrer geringen Dicke Sprengwirkungen auf den umliegenden Beton ausübe.

Als geeignetstes Mittel zur Erreichung des genannten Zweckes wurde die Anbringung von Köpfen an beiden Enden der Säulen erachtet. Ueber die zweckmäßigste Form und Bewehrungsart der Köpfe herrschte jedoch keine übereinstimmende Anschauung. Der Deutsche Ausschuß für Eisenbeton setzte daher am 10. Februar 1911 einen Unterausschuß ein mit der Aufgabe, Vorschläge für die Säulenform und für einen Arbeitsplan zur Untersuchung des Einflusses der Köpfe auf die Festigkeit der Säulen aufzustellen. Diesem Unterausschuß gehörten neben den Vertretern des Amtes an:

1. Herr Direktor Reg.-Baumeister a. D. Dr. Koenen,
2. Herr Alfred Hüser,
3. Herr Professor Dr.-ing. Moersch,
4. Herr Direktor Reg.-Baumeister a. D. Gehler.

Man kam überein, den folgenden Versuchsplan zur Ausführung in Vorschlag zu bringen:

Zur Prüfung sollen gelangen Säulen mit quadratischem Querschnitt von 30 cm Seitenlänge und mit 4 Längseisen von 3 cm Durchmesser in den Ecken (s. Abb. 1).

<sup>1)</sup> s. Rudeloff, Versuche mit Eisenbetonsäulen, ausgeführt im Königl. Materialprüfungsamt zu Groß-Lichterfelde, Deutscher Ausschuß für Eisenbeton, Heft 5.

Die Kanten der Ecken sollen abgefaßt sein, so daß die Katheten des Abfassungsdreiecks 1 cm Länge besitzen. Die Querbewehrung soll aus einfachen Umfangsbügel von 7 mm Eisendurchmesser bestehen. Die beiden Enden desselben Bügels sind um dasselbe Längsisen zu haken. Bei Herstellung der Säulen ist besonders darauf zu achten, daß die Querbügel an den Längsisen gut anliegen.

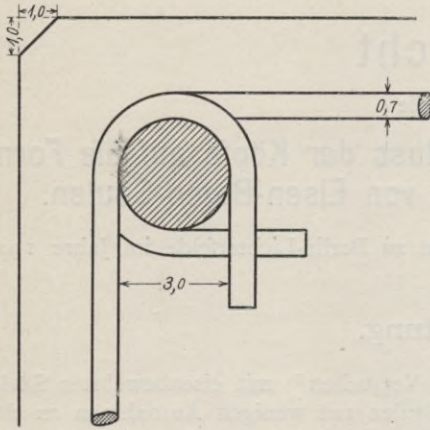


Abb. 1.  
Anordnung der Endhaken an den Querbewehrungen.

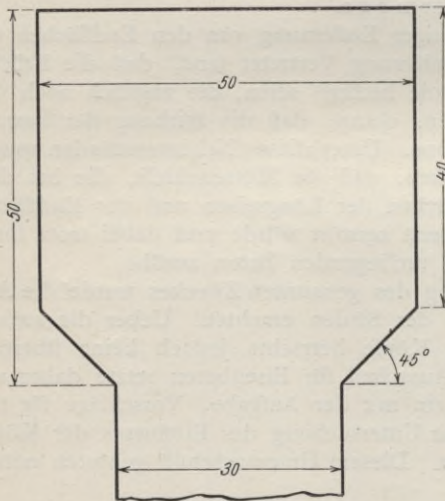


Abb. 2.  
Kopfform der unbewehrten Säulen.

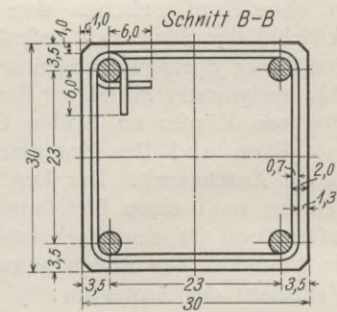
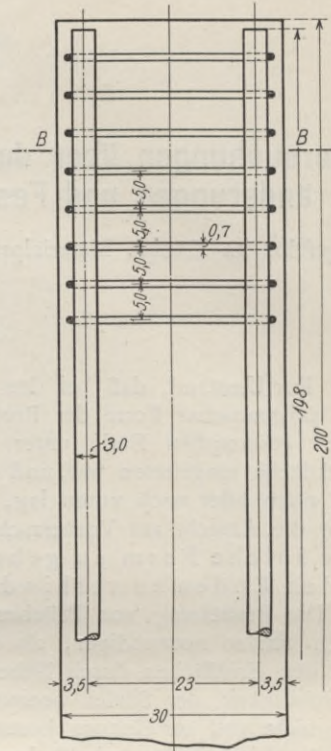


Abb. 3.  
Bewehrung der Säulen ohne Kopf.

Der Abstand der Bügel voneinander soll 5 cm betragen. Die Bügel sind durch Bindedraht an den Längsisen zu befestigen. Die Mischung des Betons soll wie bisher im Raumverhältnis 1 : 4 mit 8,2 % Wasserzusatz hergestellt werden. Die Säulen werden im geschlossenen Raum gestampft, nach 2 Tagen ausgeschalt, vom 3. bis 8. Tage täglich einmal angenäßt (überbraust), im geschlossenen Raume stehend aufbewahrt und bei 90 Tagen Alter geprüft. Anzufertigen sind für jede Reihe drei Säulen, und zwar:

### 1. Säulen ohne Bewehrung.

- a) von 1 und 2 m Länge ohne Kopf, beide aus zwei<sup>1)</sup> Materialien, nämlich:  
 α) aus Kies, wie bisher,  
 β) aus Kalksteinschotter, annähernd gleicher Körnung,  
 b) von 2 m Länge mit Kopf. Der Kopf erhält die aus Abb. 2 ersichtliche Form.

### 2. Säulen 2 m lang mit Bewehrung.

- a) Ohne Kopf, wie bisher (s. Abb. 3).  
 b) mit Kopf, und zwar:  
 α) Kopf nach Köenen (Abb. 4 a und b) mit 45° Anschluß, wie Abb. 2.  
 β) Kopf nach Moersch (Abb. 5 a u. b<sup>2)</sup>); die Längseisen sollen bei beiden Kopfarten α und β einmal 1 cm unter den Druckflächen glatt abgeschnitten (Abb. 4 a u. 5 a), das andere Mal (bei einer zweiten Reihe) umgebogen (Abb. 4 b u. 5 b) sein.  
 γ) Kopf: Oesterreich (Abb. 6).

### 3. Säulen wie zu 1b und 2bα, zu drücken zwischen Platten von der Fläche des Säulenquerschnittes.

Die Spiralen für die Umschnürung der Köpfe liefert die Firma Wayß & Freytag.

Die Eisengerippe werden von der Firma Aktiengesellschaft für Beton- und Monierbau dem Amt fertig geliefert und die Säulen vom Amt gestampft. Die Beschaffung der Formen übernimmt gleichfalls die Firma Aktiengesellschaft für Beton- und Monierbau. —

Im einzelnen möge zu dem vorstehenden Plan zunächst noch folgendes bemerkt sein.

Von den zur Ausführung in Aussicht genommenen Kopfformen entspricht die Form Fig. 4 dem Vorschlage des Herrn Dr. Köenen, die Form Fig. 5 dem Vorschlage des Herrn Prof. Dr.-Ing. Moersch. Die Form Abb. 6 verdankte der Unterausschuß der Liebenswürdigkeit des Oesterreichischen Ausschusses für Eisenbeton. Die Form Abb. 6 hatte sich nach Mitteilung des Herrn Baudirektor Haberkalt bei den österreichischen Untersuchungen bereits bewährt, so daß es zweckmäßig erschien, sie mit zu untersuchen.

Die einheitliche Länge der Säulen war zu 2 m festgesetzt, weil zunächst Knickbeanspruchungen außer acht bleiben sollten. Außer den Säulen mit Kopf mußten zur Lösung der Frage nach dessen Einfluß naturgemäß auch Säulen ohne Kopf, d. h. von rein prismatischer Form aus demselben Beton wie die bewehrten Säulen wieder mit untersucht werden. In Frage kamen hierbei zunächst prismatische Säulen von ebenfalls 2 m Länge, daneben aber auch solche von 1,3 m und 1,0 m Länge, gleich der Schaftlänge der Säulen mit Kopf, da es nicht ausgeschlossen schien, daß die durch Anbringen der Köpfe etwa erzielten Festigkeitssteigerungen dadurch veranlaßt sein konnten, daß die freie Drucklänge durch die Köpfe von 2 m auf 1,0 bzw. 1,3 m vermindert war.

Der vorgelegte Plan wurde von dem Arbeitsausschuß des Deutschen Ausschusses für Eisenbeton in seiner Sitzung am 31. Mai 1911 im allgemeinen angenommen, indessen wurde aus Sparsamkeitsrücksichten beschlossen, die Reihe 1aβ (unbewehrte Säulen aus Kalksteinschotter) ganz fallen zu lassen und von den drei in Vorschlag gebrachten Kopfformen für die bewehrten Säulen zunächst nur eine Form zu prüfen, die weiteren Formen aber nur dann nacheinander heranzuziehen, wenn die zuvor untersuchten nicht zu dem erstrebten Ziel (Brüche in einiger Entfernung vom Ende des Säulenschaftes) geführt haben sollten. Die Wahl der Reihenfolge blieb dem Unterausschuß überlassen.

<sup>1)</sup> Alle weiteren Säulen werden nur aus Kiesbeton gefertigt (s. a. α).

<sup>2)</sup> Abb. 5b zeigt die später unter Reihe B zur Ausführung gelangte Form (s. S. 56). Die Zahl der Querbügel ist hierbei gegen die ursprünglich beabsichtigte Anordnung (s. Abb. 5a) in jedem Kopf um zwei vermehrt (s. a. Abb. 26).

Da nun mit dem Umstande gerechnet werden mußte, daß mehrere Formen nacheinander zu erproben waren, so wurde von dem Deutschen Ausschuß ferner beschlossen, daß zwecks Zeitersparung die Prüfung nicht, wie ursprünglich geplant, an 90 Tage alten Säulen, sondern bereits 28 Tage nach Anfertigung der Proben erfolgen sollte.

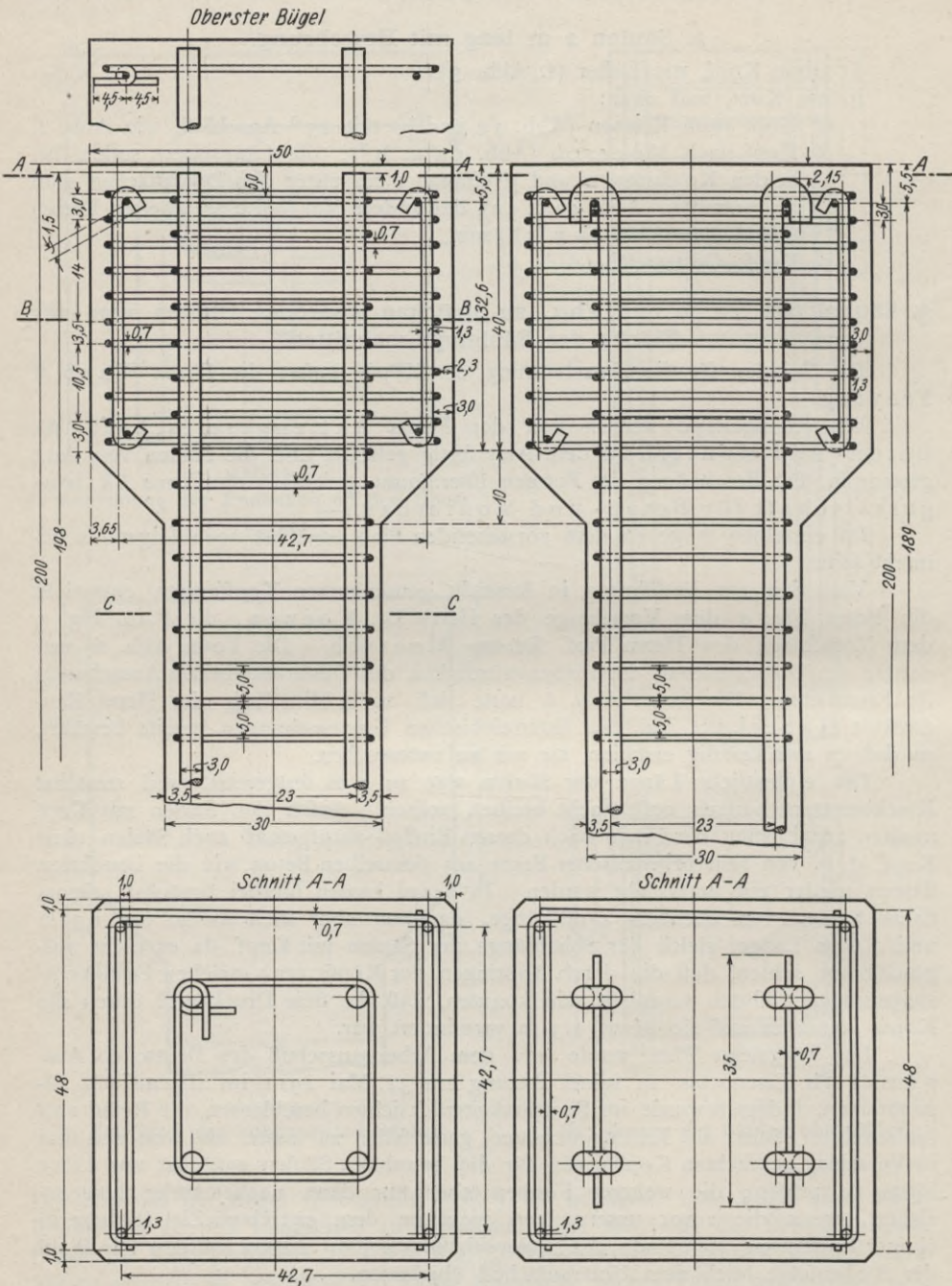
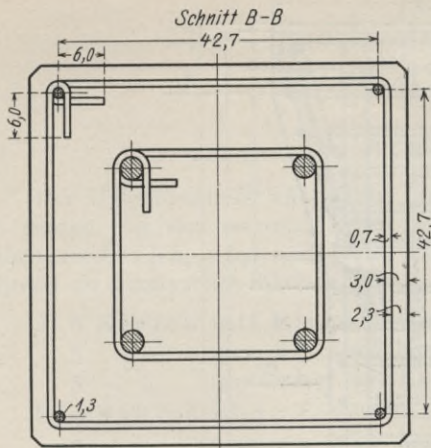


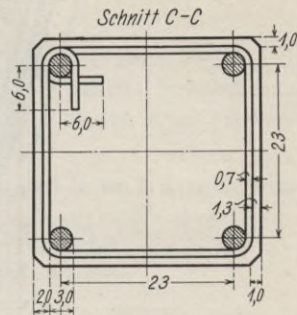
Abb. 4 a.  
Längsseiten mit ebenen Endflächen.

Abb. 4 b.  
Längsseiten an den Enden umgebogen.

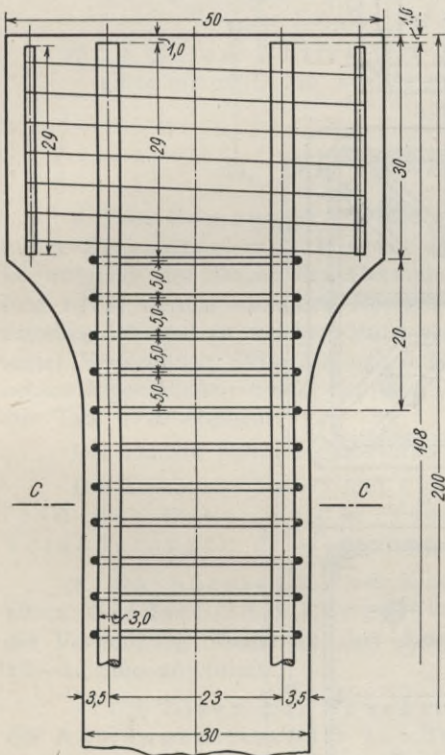
Abb. 4. Ausbildung der Säulenköpfe nach Koenen.  
(s. Schnitt B—B und C—C Seite 5.)



Zu Abb. 4a.



Zu Abb. 4a.



Schnitt C-C

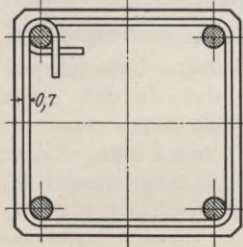
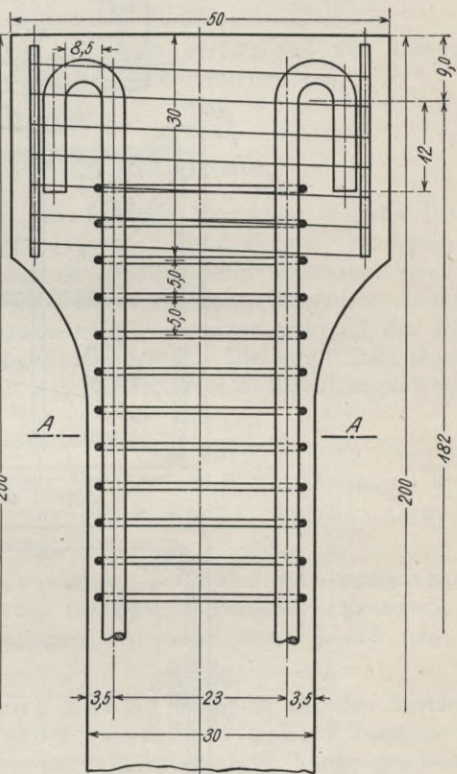


Abb. 5a.  
Längseisen mit ebenen Endflächen.



Schnitt A-A

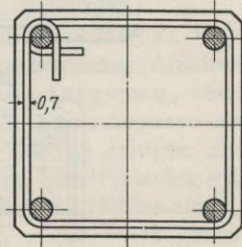


Abb. 5b.  
Längseisen an den Enden umgebogen.

Abb. 5. Ausbildung der Säulenköpfe nach Moersch.



## Versuchsreihe A.

### I. Arbeitsplan.

Der Unterausschuß wählte als erste Kopfform die nach Fig. 6, da diese, wie gesagt, bei den österreichischen Versuchen sich bereits bewährt hatte. Die Reihen 1 a  $\beta$ , 2 b  $\alpha$ , 2 b  $\beta$  und 3 des Arbeitsplanes schieden somit einstweilen aus, während zu untersuchen blieben:

- a) 6 Säulen mit Eisenbewehrung bei 2 m Länge, hiervon
  - 3 „ (gez. 2 a) ohne Kopf und
  - 3 „ (gez. 2 b  $\gamma$ ) mit Kopf;
- b) 9 Säulen ohne Eisenbewehrung, hiervon
  - 3 „ (gez. 1 a) ohne Kopf } 2 m lang, wie die bewehrten,
  - 3 „ (gez. 1 b) mit Kopf } 2 m lang, wie die bewehrten,
  - 3 „ (gez. 1 a') ohne Kopf; 1,3 m lang, entsprechend der Länge des Schaftes der Säulen mit Kopf.
- c) 15 Beton-Würfel mit 30 cm Kantenlänge, von denen je einer mit einer der 15 Säulen gleichzeitig herzustellen war.

### II. Die verwendeten Baustoffe.

1. Der Zement ist wie der zu den früheren Versuchen von der Portland-Zementfabrik, Lossius-Dellbrück zu Züllichow, bezogen. Er ist während der Dauer der Herstellung der Säulen (vom September 1911 bis Juni 1912) viermal nach den Normen vom Dezember 1909 untersucht, um festzustellen, ob und in welchem Maße etwa seine Eigenschaften während der Dauer seiner Verwendung beim Lagern sich geändert hatten. Die ermittelten physikalischen Eigenschaften des Zementes sind aus Tab. 1, seine Festigkeitseigenschaften aus Tab. 2 zu ersehen.

Der Zement genügte den Normen.

Die Ergebnisse Tab. 1 und 2 lassen erkennen, daß der Zement während der Dauer seiner Verarbeitung keine nennenswerten Veränderungen erlitten hat.

2. Der Kiessand und Kies war wie der früher verwendete von der Firma Windschild & Langelott zu Cossebaude bezogen. Er wurde vor der Verwendung wieder in drei Körnungen von 0—8 mm, 8—18 mm und 18—24 mm gesondert.

3. Das Eisen zur Bewehrung der Säulen ist aus den Beständen der Aktiengesellschaft für Beton- und Monierbau bezogen und zwar die Längseisen von 3 cm Durchmesser auf erforderliche Länge geschnitten, die Querbügel fertig gebogen; ferner einige Abschnitte zur Bestimmung der Festigkeitseigenschaften durch Zug- und Druckversuche.

Die Ergebnisse dieser Versuche enthalten die Tab. 3 und 4.

Geprüft sind außer den vorgenannten besonderen Abschnitten (s. Versuche 19 und 20, Tab. 4) auch noch Abschnitte von Längseisen, die den Säulen 2 a<sub>2</sub> und 2 a<sub>3</sub> nach deren Prüfung auf Druckfestigkeit entnommen sind. Die Prüfung der letztgenannten Eisen (Versuche 11—18, Tab. 4) erfolgte, um festzustellen, ob etwa die Unterschiede in den Druckfestigkeiten dieser beiden gleichartigen Säulen (s. S. 18) auf Unterschiede in den Festigkeitseigenschaften der Längseisen zurückzuführen seien. Diese Nachprüfung erschien um so mehr geboten, als beim Be-

arbeiten der Endflächen an den Stangen für die zu prüfenden Gerippe (s. Punkt 3 des Arbeitsplanes zu Reihe B, Seite 55) eine Stange sich härter erwies als die übrigen. Von dieser härteren Stange sind dann nach Prüfung des Gerippes ebenfalls noch Proben zur Prüfung auf Zug- und Druckfestigkeit des Materials entnommen. Beim Bearbeiten der Endflächen dieser Proben erwies die Stange sich im Kern als unganzz (s. Abb. 7), und zwar zeigten sich die gleichen Erscheinungen sowohl an beiden Enden dieser Stange, als auch an den Proben 15 u. 16 (Tab. 4), die der Säule 2 a<sub>3</sub> entstammten.

Die Bruchdehnung ist bei den Stangen mit unganzzem Kern etwas geringer als bei den übrigen Stangen, dagegen sind weder die Festigkeiten beider noch die Elastizitätszahlen wesentlich verschieden. Hiernach ist nicht anzunehmen, daß die Unterschiede in den Festigkeiten der Säulen durch die Verschiedenartigkeit in den Eigenschaften der Bewehrungen veranlaßt sind.

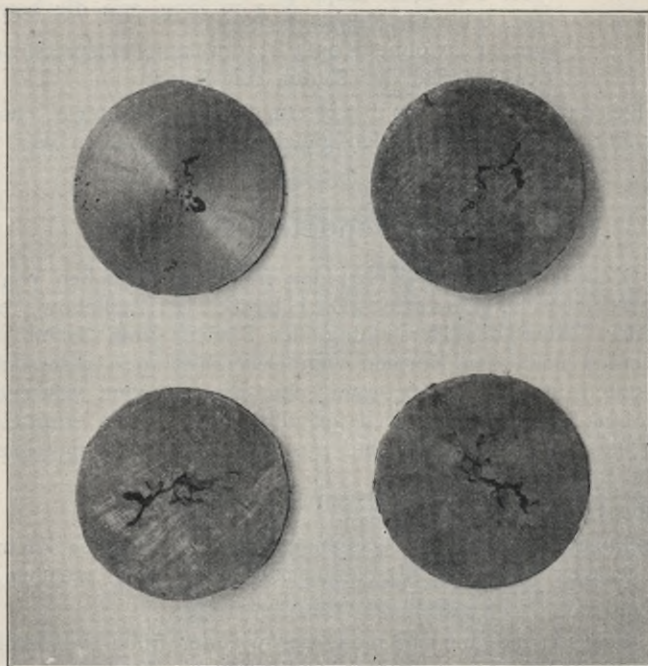


Abb. 7. Querschnitte der Längseisen mit unganzzem Stellen.

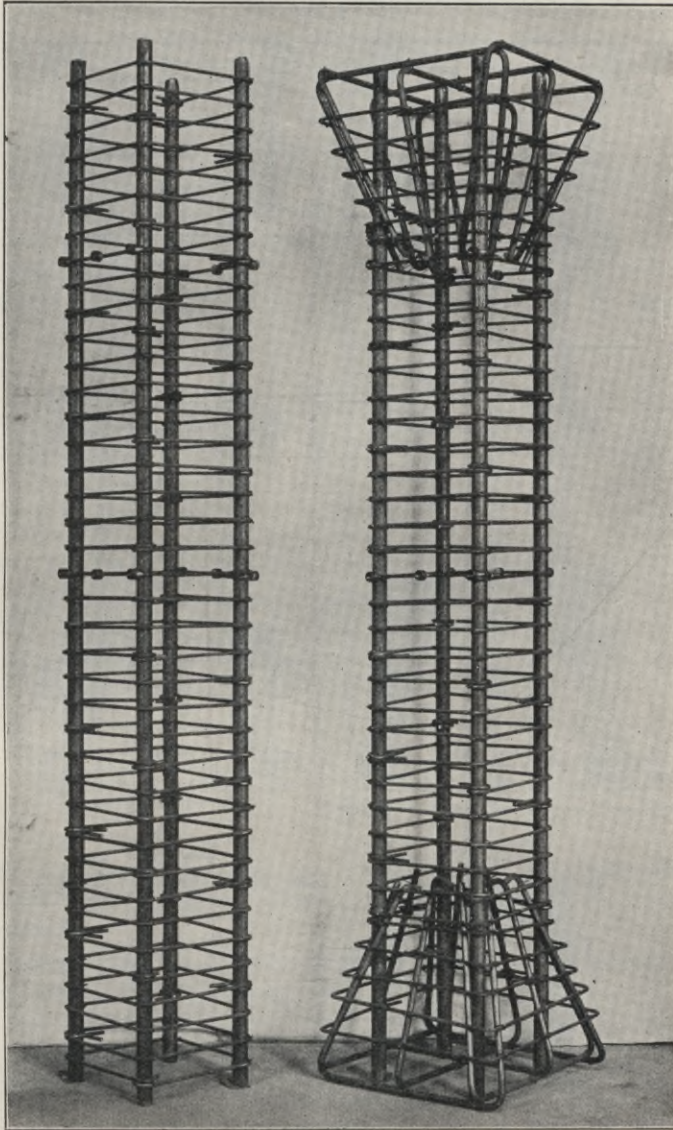
### III. Die Herstellung der Säulen.

Nachdem die zu den Querbewehrungen bestimmten Bügel mit Hilfe einer Lehre auf die Richtigkeit ihrer Abmessungen (Seitenlängen) überprüft und, soweit erforderlich, nachgerichtet waren, sind die Eisengerippe, s. Abb. 8 a und 8 b, von einem in derartigen Arbeiten geübten Arbeiter der Firma Aktiengesellschaft für Beton- und Monierbau im Amt hergestellt. Hierbei sind die Bügel mit Bindendraht von 1 mm Durchmesser an den Längseisen festgelegt und, wie Fig. 8 zeigt, so angeordnet, daß die Bügelecken, welche die zu Haken umgebogenen Enden der Eisen enthalten, auf einer um die Längseisen herumlaufenden Spirale zu liegen kamen; bei jedem fünften Bügel liegt also diese Ecke an demselben Längseisen.



Der Beton bestand aus 1 Rtl. Zement und 4 Rtl. Kiesgemisch<sup>1)</sup>. Das Kiesgemisch hatte folgende Zusammensetzung:

2 Rtl. der Körnung	0—8 mm,
1 „ „ „	8—18 „ „
1 „ „ „	18—24 „ „



a) ohne Kopf.                      b) mit österreichischem Kopf.

Abb. 8. Eisenbewehrungen der Säulen.

Der Wasserzusatz, bezogen auf die trockene Mischung, ist im Einvernehmen mit dem Vertreter der Aktiengesellschaft für Beton- und Monier-

<sup>1)</sup> Die zu mischenden Teile wurden abgewogen, wobei folgende zuvor ermittelten Raumgewichte zugrunde gelegt sind: 1 Rtl. Zement = 1,239 kg; 1 Rtl. Kiesgemisch = 1,660 kg.

bau gleich  $10\%$  gewählt, weil der Beton mit dem früher angewendeten und auch hier wieder ursprünglich beabsichtigten (s. S. 2) Wasserzusatz von  $8,2\%$  im Hinblick auf die starke Eisenbewehrung sich als zu trocken erwies.

Die Wärme des zuzusetzenden Wassers wurde auf etwa  $18\text{ C}^0$  gehalten.

Das Mischen des Betons erfolgte in einer Mischmaschine, Bauart Eirich, eine halbe Minute lang trocken und 2,5 Minuten lang nach dem Zusetzen des Wassers. Zu jeder Mischung sind  $18,585\text{ kg}$  Zement und  $99,6\text{ kg}$  Kies verwendet.

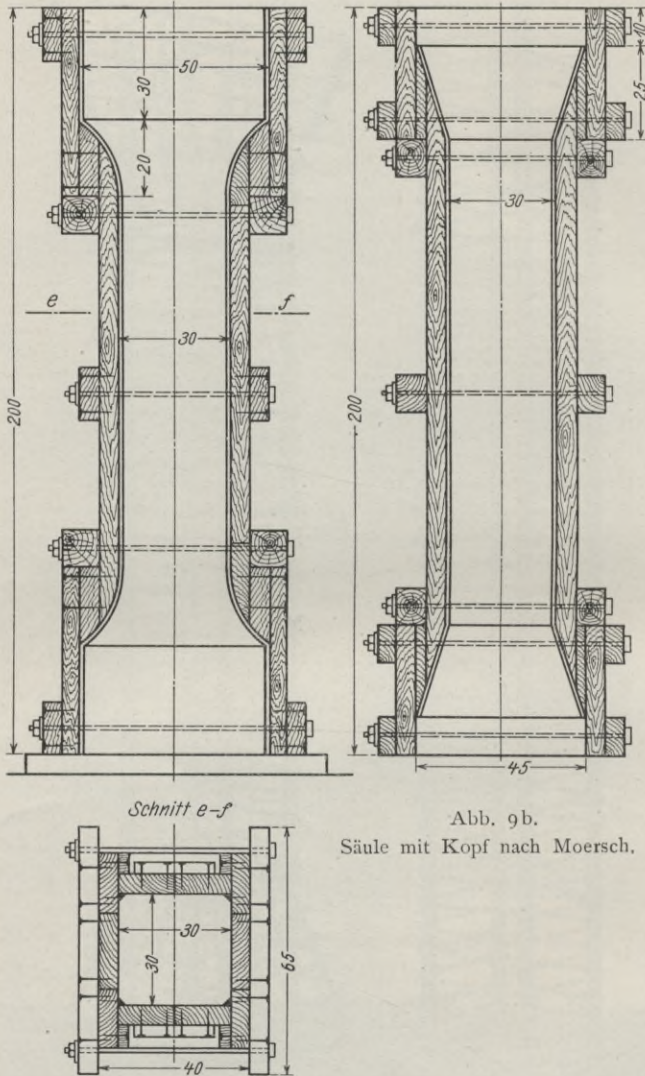


Abb. 9a. Säule mit österreichischem Kopf.

Abb. 9. Formen zur Anfertigung der Säulen.

Jede einzelne Mischung lieferte beim Einstampfen in Schichten von etwa  $15\text{--}20\text{ cm}$  Höhe eine Säulenlänge von etwa  $0,5\text{ m}$ , so daß zu den  $2\text{ m}$  langen Säulen ohne Kopf 4 Mischungen erforderlich waren.

Die Säulen wurden stehend gestampft in Formen aus Kiefernholz, die für die Säulen ohne Kopf ebenso eingerichtet waren wie die früher verwendeten; die Formen für die Säulen mit Kopf zeigt Abb. 9. Die Säulen erhärteten 2 Tage in der Form und dann bis zur Prüfung bei 28 Tagen Alter im geschlossenen Raum an der Luft, wobei sie bis zum achten Tage täglich einmal angehaßt wurden.

Zehn Tage vor der Prüfung wurden beide Druckflächen zwischen möglichst parallel gestellten, sauber bearbeiteten Eisenplatten mit Zementmörtel (1 : 1) abgeglichen.

#### IV. Die Prüfung des Betons.

Die gleichzeitig mit den Säulen gefertigten Betonwürfel von 30 cm Kantenlänge wurden in eisernen Formen gestampft, und zwar in zwei Schichten von 15 cm Höhe. Sie erhärteten zwei Tage in der Form und standen dann bis zur Prüfung, die an demselben Tage mit der Prüfung der zugehörigen Säule erfolgte, neben der letzteren an der Luft. Sie wurden ebenfalls vom dritten bis zehnten Tage wiederholt angefaßt.

Die Bestimmung der Druckfestigkeit der Betonwürfel erfolgte in der Abt. 2 für Baumaterialprüfung auf der 400-t-Maschine, Bauart Martens. Die Krafrichtung war senkrecht zur Stampfrichtung.

Die Ergebnisse sind in Tab. 5 zusammengestellt. Die Bruchfestigkeit des Betons schwankt hiernach zwischen 199 und 250 kg/qcm; im Mittel beträgt sie 237 kg/qcm.

#### V. Festigkeitsversuche mit den Säulen.

Die Säulen wurden stehend auf der 600-t-Maschine geprüft. Die untere Druckplatte war verstellbar. Sie wurde zum Versuch so ausgerichtet, daß die obere Druck(End-)fläche der auf ihr stehenden Säule parallel zur oberen Druckfläche der Maschine lag. Zwischen diesen beiden Flächen ist dann eine Stahlplatte von 4 cm Dicke mit parallelen Flächen eingeschaltet (s. Abb. 10).

Zur Erzielung möglichst gleichmäßiger Kraftübertragung auf die obere Endfläche der Säulen sind drei verschiedene Verfahren a — c angewendet.

- a) Bei den Versuchen 3, 4, 7, 8 und 13 (s. Tab. 30) lag die vorgenannte Zwischenplatte unmittelbar gegen die Druckfläche der Maschine;
- b) bei den Versuchen 1, 2, 11, 12 und 15 war auf die Zwischenplatte noch eine dünne Gipsschicht aufgebracht, um etwaige Mängel in der vorerwähnten Einstellung der unteren Druckplatte und die hierdurch bedingte ungleichmäßige Anlage der Zwischenplatte an die obere Druckfläche der Maschine auszugleichen;
- c) bei den Versuchen 5, 6, 9, 10 und 14 war die Gipsschicht auf die mit wasserdichtem Papier belegte, obere Druckfläche der Säule selbst aufgetragen.

Bei Besprechung der Versuchsergebnisse wird auf den etwaigen Einfluß der Versuchsverfahren zurückzukommen sein.

##### 1. Einrichtungen zum Messen der Formänderungen.

Die Ermittlung der Formänderungen erstreckte sich wie früher auf die Längenänderungen und die Querdehnungen. Abb. 11 gibt das Bild einer 1,3 m langen Säule, ausgerüstet mit den Apparaten für beide Messungen.

Die Längenänderungen sind auf 0,5 m Meßlänge mit Martensschen Spiegelapparaten bestimmt.

Zur Ermittlung der Querdehnung diente die Einrichtung Abb. 12, die es gestattet, gleichzeitig drei parallele Messungen in demselben Querschnitt der Säule für die Durchmesser A, B und C (s. Abb. 13) vorzunehmen. Das Meßverfahren bestand im wesentlichen darin, daß ein geschlossener Rahmen um die Säule gelegt, s. Abb. 13, und in der Mitte einer Seite bei *a* gegen die Säulen gestützt wurde. Aus den Aenderungen der Abstände 1 und 3, sowie 2 und 5 sind dann die Aenderungen der Längen (Durchmesser) A und B berechnet, während die

Beobachtungen des Abstandes  $4$  die Aenderungen der Länge  $C$  unmittelbar ergaben. Die Meßpunkte lagen auf kleinen Stahlzylindern, die in die Säule eingelassen und bei den eisenbewehrten Säulen an die Querbügel angelötet waren (s. Abb. 8).

Der Rahmen  $A$  (Abb. 12) war zweiteilig aus Holz gefertigt, und zwar zur Erzielung eines möglichst geringen Gewichtes hohl. Zum sicheren Zusammenhalt

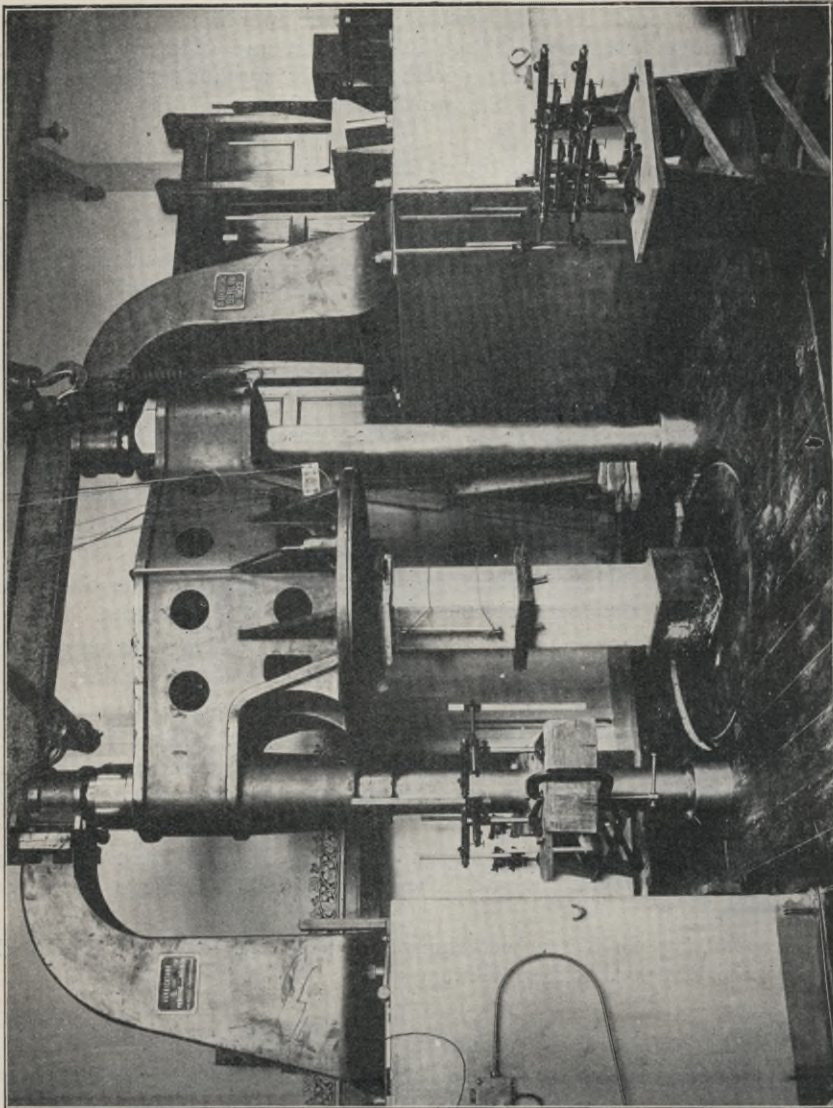


Abb. 10. Anordnung der Druckversuche mit den Säulen auf der 500 t-Maschine.

der beiden Teile diente der Keilverschluß  $B$ . Die in Abb. 13 mit  $a$  bezeichnete feste Anlagestelle des Rahmens bildete der Zylinder  $C$ ; gegen ihn stützte sich die mit dem Rahmen verschraubte Schreide  $D$ . Für sichere Anlage sorgte das Druckstück  $E$  mit den beiden Spannfedern  $F$ . Diese Anordnung war gewählt, um durch die Haltevorrichtung keine Biegungsspannungen in dem Rahmen zu erzeugen. Der Stützstelle gegenüber war der Rahmen durch die Pendelstütze  $G$  getragen. Ihr Widerlager  $G_1$  war mit dem Zapfen  $a$  verbunden, der in den in die Probe eingelassenen Zylinder  $b$  eingeschraubt war. Gegen das Ende des Zapfens stützte sich

in einer Nut der kleine Stab *c*, dessen schneidenförmiges Ende durch die Federn *d* fest gegen das Widerlager gepreßt wurde. Zwischen dem Stab *c* und den mit dem Rahmen verbundenen Federn *e* wurden Martenssche Spiegelapparate eingesetzt. Die letzteren zeigten somit, abgesehen von etwa eintretenden Formänderungen des Rahmens und der übrigen Teile des Apparates, die Bewegung des Zylinders *b* gegen den Rahmen, also die Aenderungen der Meßlänge (Durchmesser) *C* (Abb. 13) an. In gleicher Weise wurden die Bewegungen der übrigen vier Meßstellen 1, 2, 3 und 5 gegen den Rahmen mit Spiegelapparaten gemessen.

Zur Erprobung der Querdehnungsmesser sind einige Versuchsreihen mit einem zu diesem Zweck besonders angefertigten Betonprisma von  $30 \times 30$  cm Querschnitt und 1,0 m Länge und 14 Tage Alter angestellt.

Vor allem galt es, den Einfluß festzustellen, den die unvermeidlichen Aenderungen der Luftwärme im Versuchsraum auf die Anzeigen des Apparates ausübten. Hierzu wurde der Apparat an das vorerwähnte Betonprisma angesetzt und 69,5 Stunden lang beobachtet, ohne daß das Prisma belastet wurde. Die Ergebnisse sind in Tab. 6 zusammengestellt. Vergleicht man die Aenderungen der Ablesungen am Dehnungsmesser mit den Aenderungen der Zimmerwärme bei wachsender Versuchsdauer, so erkennt man, daß die Wendepunkte der Dehnungsmessung mit den Wendepunkten der Wärmemessung zeitlich nicht zusammenfallen. Es ist dies ohne weiteres damit zu erklären, daß die Aenderungen der Zimmerwärme sich in Längenänderungen derjenigen Teile des Apparates, die die Formänderungen der Probe auf die Spiegelapparate übertragen, deren geringen Querschnitte wegen schneller bemerkbar machen als in Formänderungen der Betonprobe mit großem Querschnitt.

Schon aus diesem Grunde war es nicht möglich, die Wärmeeinflüsse auf die Beobachtungen rechnerisch zu verfolgen und die Beobachtungswerte für die Formänderungen, falls erforderlich, hiernach richtigzustellen. Um diesem Uebelstande tunlichst zu begegnen, ist bei Durchführung der Versuche wie folgt ver-

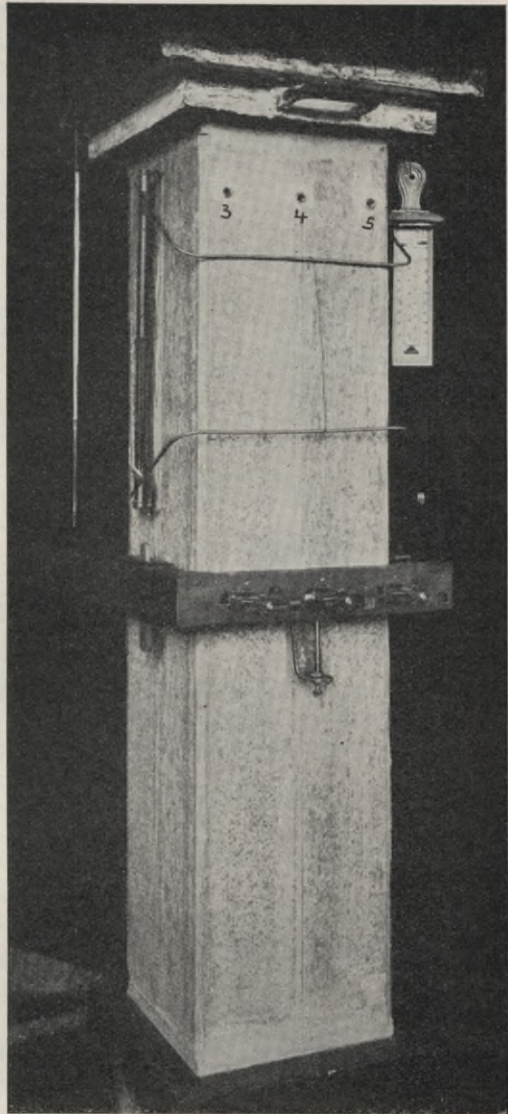
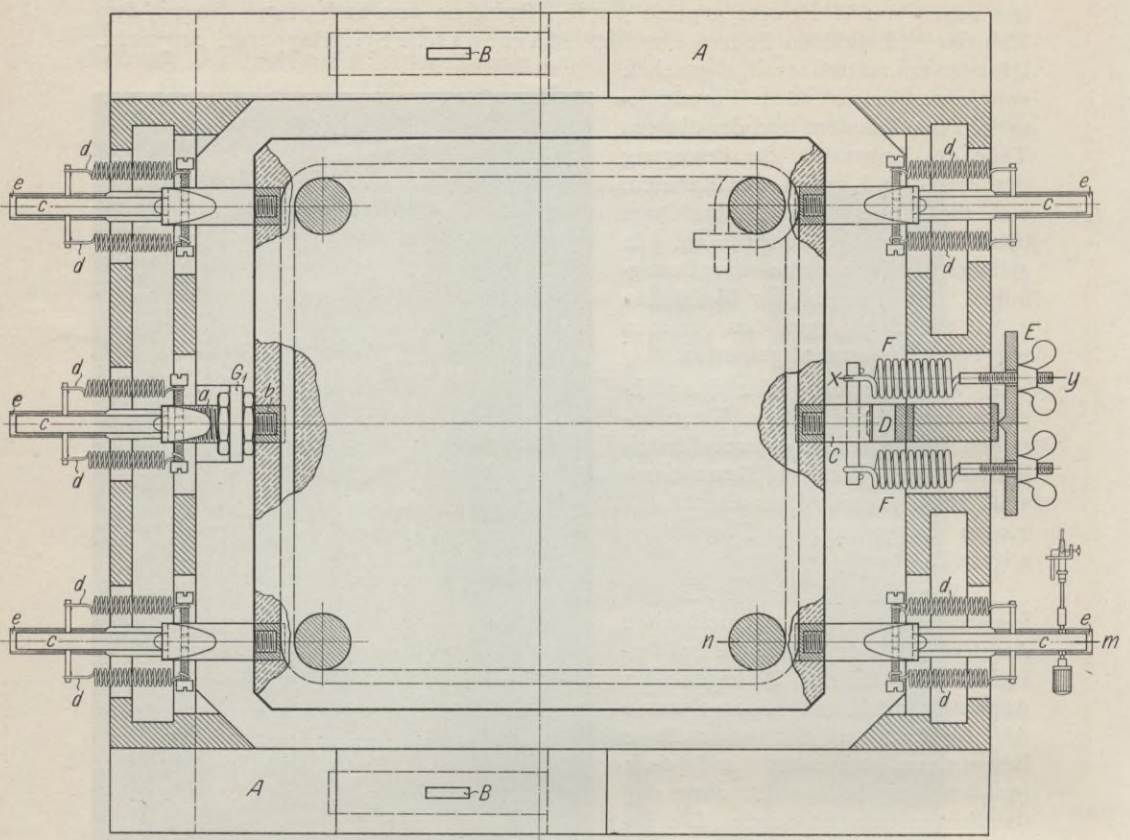


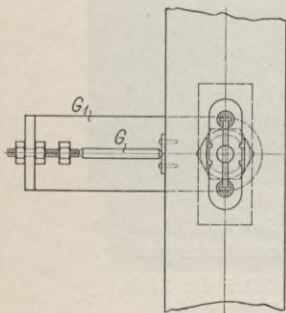
Abb. 11. 1,3 m lange Säule mit den Vorrichtungen zur Bestimmung der Formänderungen.

Querdehnungsmesser in der Mitte der Säule,  
Verkürzungsmesser am oberen Ende.

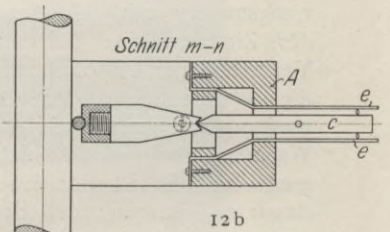
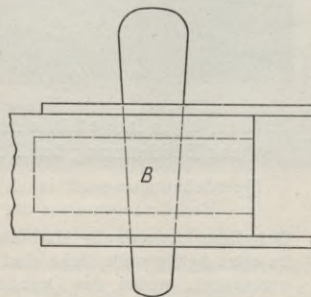
Bei dieser Anordnung sind die Säulen zunächst bis zu etwa 63 t geprüft, dann sind die Meßvorrichtungen vertauscht, wobei der Querdehnungsmesser an den Meßstellen 3, 4, 5 angelegt wurde.



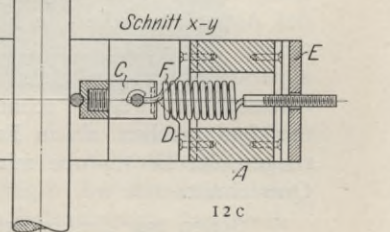
12 a.



12 d



12 b



12 c

Abb. 12 a—d. Querdehnungsmesser.

fahren. Die Apparate wurden am Tage vor Beginn der Messungen an die in die Maschine eingebaute Säule (s. Abb. 10) angesetzt und dann wurde am nächsten Tage mit den Belastungen erst begonnen, nachdem die Anzeigen der Apparate mindestens zwei Stunden lang in Pausen von je 30 Minuten an der unbelasteten Säule beobachtet waren und während der letzten 30 Minuten keine wesentlichen Änderungen mehr gezeigt hatten. Vollständig ließ sich der Wärmeeinfluß auch hierdurch nicht ausschalten. Daß der Einfluß aber nicht groß war, zeigen die in Tab. 7 zusammengestellten Ergebnisse aus wiederholten Belastungen an derselben Probe.

## 2. Die Längenänderungen und Querdehnungen der Säulen bei wachsender Belastung.

Die meisten Säulen sind bei 27 Tagen Alter mit geringer Belastung vorgeprüft, wobei die Querdehnung in der Mitte und die Längenänderung am Ende gemessen wurden (s. Abb. 11). Die Apparate wurden dann ausgetauscht und am nächsten Tage, d. h. bei 28 Tage Alter, die Querdehnung am oberen Ende und die Längenänderung in der Mitte gemessen. Diese doppelte Messung erfolgte, um Vergleichswerte zur Berechnung des Verhältnisses zwischen Längenänderungen längs und quer tunlichst an derselben Stelle der Säule zu erhalten, s. Tab. 29.

Sowohl bei der Vorprüfung als auch am zweiten Versuchstage sind mehrere Belastungsreihen ausgeführt. Sämtliche Einzelbeobachtungen an den Meßapparaten und die gleichzeitig festgestellten Zimmertemperaturen sind aus den Tab. 8—22 zu ersehen.

Die Tabellen enthalten ferner die aus den Beobachtungen berechneten Werte für die Querdehnungen der Meßstrecken  $A$  und  $B$  an den Rändern und für die Krümmung der Seitenflächen. Die auf die Querdehnungen bezüglichen Werte sind in  $\frac{1}{150000}$  cm, die Längenänderungen in  $\frac{1}{100000}$  cm angegeben.

Aus den Werten für  $A$ ,  $B$  und  $C$  sind für die einzelnen Laststufen und Reihen die Querdehnungen  $\lambda$  in  $\frac{1}{100000}$  cm nach der Gleichung

$$\lambda = \left( \frac{A + B}{2} + C \right) \frac{10}{2.15} = \left( \frac{A + B}{2} + C \right) \frac{1}{3}$$

berechnet und in den Tab. 23 und 24 zusammengestellt. In gleicher Anordnung enthalten die Tab. 25 und 26 die prozentuellen Längenabnahmen der Säulen.

Die aus den wiederholten Belastungsreihen sich ergebenden Mittelwerte für die einzelnen Säulen sind der besseren Uebersichtlichkeit wegen in Tab. 27 und 28 gegenübergestellt und hier schließlich immer die Werte für die drei gleichartigen Säulen zu Gesamtmittelwerten zusammengefaßt. Hierbei sind die Querdehnungen ebenfalls in Prozentwerte umgerechnet, bezogen auf die Länge  $l = 27,0$  cm. Diese Länge ist statt der Querschnittskante der Säulen von 30 cm gewählt, weil sie dem Abstände der einander zugewendeten Stirnflächen der Metallzylinder  $C$  (Abb. 12) entspricht, die in die Säulen einbetoniert oder eingegipst waren und von deren nach außen gelegenen Flächen aus die Querdehnungen gemessen sind. Es ist also angenommen, daß diese Metallzylinder selbst beim Belasten der Säulen keine Längenänderungen erlitten.

Zum besseren Vergleich der verschiedenartigen Säulen hinsichtlich der Formänderungen bei gleichen Belastungen sind die Gesamtmittel Tab. 27 für die Quer-

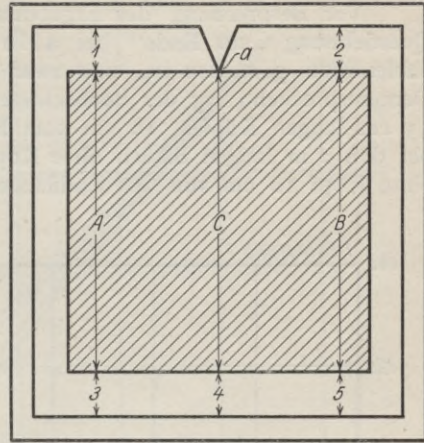


Abb. 13. Meßstrecken zu Bestimmung der Querdehnung.

dehnungen an den Säulendenen in Abb. 14 und die Gesamtmittel Tab. 28 für die Längenabnahmen in den Säulen mitten in Abb. 15 zu Schaulinien aufgetragen. In beiden Figuren gelten die vollausgezogenen Linien für die bewehrten und die gestrichelten Linien für die unbewehrten Säulen.

Vor Besprechung der Ergebnisse möge darauf hingewiesen sein, daß die Querdehnung „am Ende“ bei allen Säulen in dem gleichen Abstände von Säulenmitte gemessen ist, und zwar betrug dieser Abstand 55 cm (s. Abb. 16). Dementsprechend lag der beobachtete Querschnitt bei den 2 m langen Säulen mit 35 cm langen Köpfen 10 cm vom Ende des 1,3 cm langen Schaftes entfernt, bei den 2 m langen Säulen ohne Kopf 45 cm und bei den 1,3 m langen Säulen ohne Kopf 10 cm von der Endfläche entfernt.

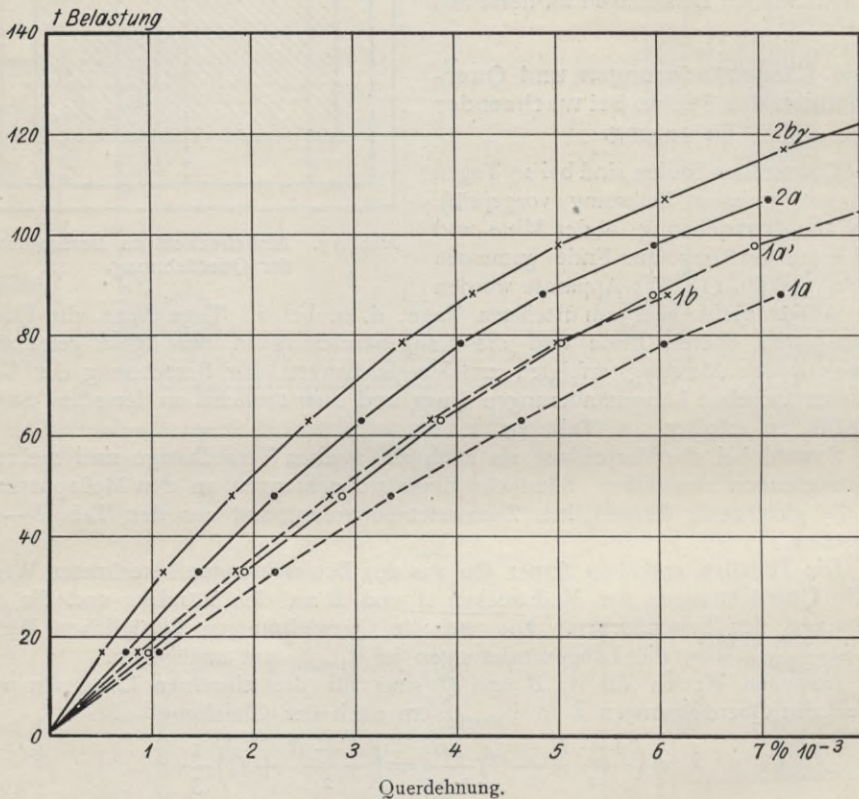


Abb. 14. Querdehnung der Säulen am oberen Ende. (Reihe A.)

— bewehrte Säulen, - - - unbewehrte Säulen; ● ohne Kopf; × mit Kopf (sämtlich 2 m lang).  
○ — ○ unbewehrte Säule ohne Kopf, 1,3 m lang.

Aus der Lage der Linien (Abb. 14 und 15) zueinander folgt nun:

1. Sowohl die Querdehnungen als auch die Längenänderungen der bewehrten Säulen 2a und 2by waren geringer als die der unbewehrten 1a und 1b.
2. Die Querdehnungen (s. Abb. 14) waren bei den 2 m langen Säulen 2by und 1b mit Kopf geringer als bei den 2 m langen Säulen 2a und 1a ohne Kopf und zwar sowohl bei den bewehrten als auch bei den unbewehrten Säulen.



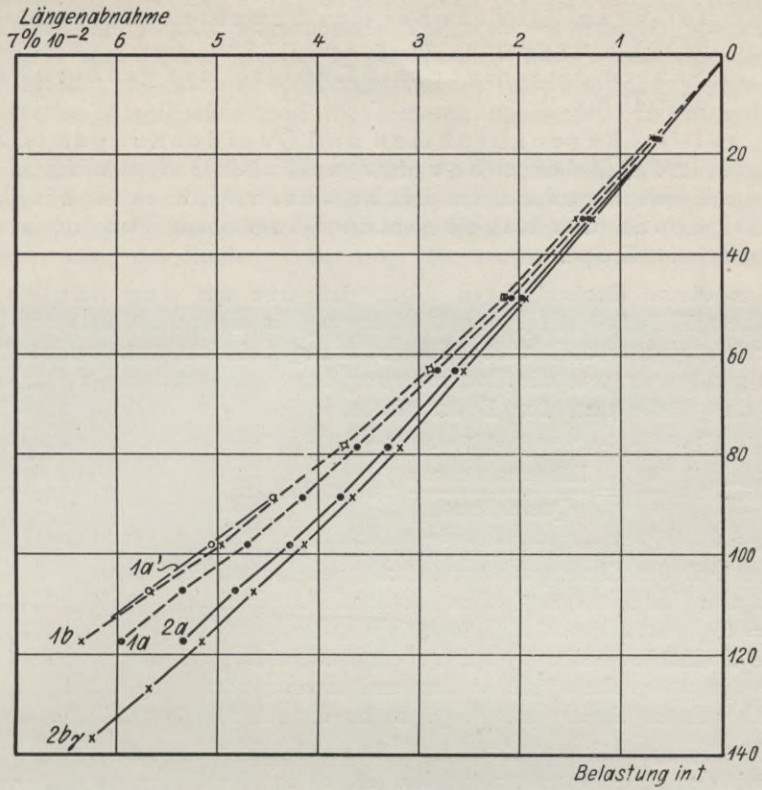


Abb. 15. Längenabnahme der Säulen in der Mitte. (Reihe A.)

— bewehrte Säulen; - - - unbewehrte Säulen; ● ohne Kopf; × mit Kopf (sämtlich 2 m lang).  
 ○ — ○ unbewehrte Säule ohne Kopf, 1,3 m lang.

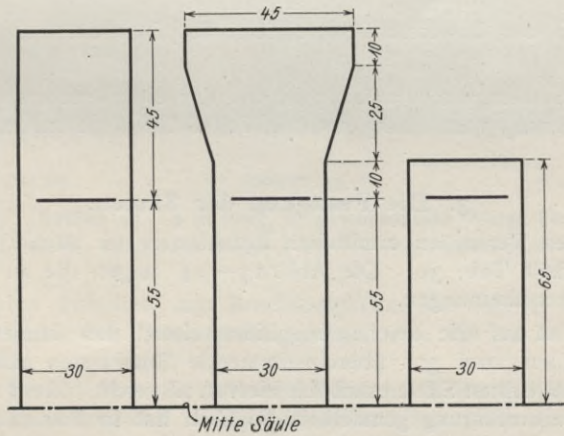


Abb. 16. Anordnung der Meßstrecken zur Bestimmung der Querdehnung.

3. Die Längenabnahmen in Säulenmitte (s. Abb. 15) waren bei den bewehrten Säulen 2bγ mit Kopfebenfalls geringer als bei den bewehrten Säulen 2a ohne Kopf; dagegen zeigten unter den unbewehrten Säulen diejenigen mit Kopf (1b) die größere Längenabnahme.
4. Die Längenabnahmen und Querdehnungen (s. Abb. 14 und 15) der unbewehrten Säulen 1a<sup>1</sup> von 1,3 m Länge ohne Kopf waren nicht wesentlich verschieden von denen der unbewehrten Säulen 1b von 2,0 m Länge mit Kopf.

Aus diesen Beobachtungen folgt, daß die an den Säulen angebrachten Köpfe die Formänderungen der Säulenschäfte behinderten und daß diese Behinderung bei den unbewehrten Säulen ebenso groß war, wie die Behinderung durch die Reibung zwischen Endfläche der Säule und der Druckplatte.

Die für die ersten drei Laststufen (bis 48 150 kg) berechneten Werte für das Verhältnis  $\frac{\epsilon_l}{\epsilon_q} = \frac{\text{Längenabnahme}}{\text{Querdehnung}}$  bringt Tab. 29.

Bei den drei unbewehrten Säulenarten stimmen die Werte von  $m$  für den mittleren Teil der Säule gut überein und nehmen mit wachsender Belastung um wenig ab; im Mittel aus allen neun Werten ist hier  $m = 6,6$ . Fast ebenso groß ( $= 6,3$ ) ist  $m$  bei den 2 m langen unbewehrten Säulen ohne Kopf 45 cm von der Endfläche entfernt. Bei 10 cm Entfernung von der Endfläche dagegen ist  $m = 8,2$  und nahezu übereinstimmend hiermit, nämlich gleich 8,4, ist  $m$  bei den unbewehrten Säulen mit Kopf in 10 cm Abstand vom Ende des Säulenschafes.

Bei den eisenbewehrten Säulen ist  $m$  in der Mitte der Säulen ohne Kopf gleich etwa  $10 = 10,3$  und bei den Säulen mit Kopf gleich 7,4. Dieser auffallende Unterschied läßt sich m. E. nur damit erklären, daß die Längseisen bei den Säulen mit Kopf in der Mitte sich zufällig mehr nach außen verbogen als bei den Säulen ohne Kopf. Der Mittelwert aus beiden Beobachtungen ist  $= \frac{10,3 + 7,4}{2} = \frac{17,7}{2} = 8,9$ . Hiermit stimmt überein der Wert von  $m$  bei der bewehrten Säule ohne Kopf 45 cm von der Druckfläche entfernt.

Der größte Wert von  $m = 11,3$  ist bei der eisenbewehrten Säule mit Kopf in 10 cm Entfernung vom Endquerschnitt des Schafes gefunden.

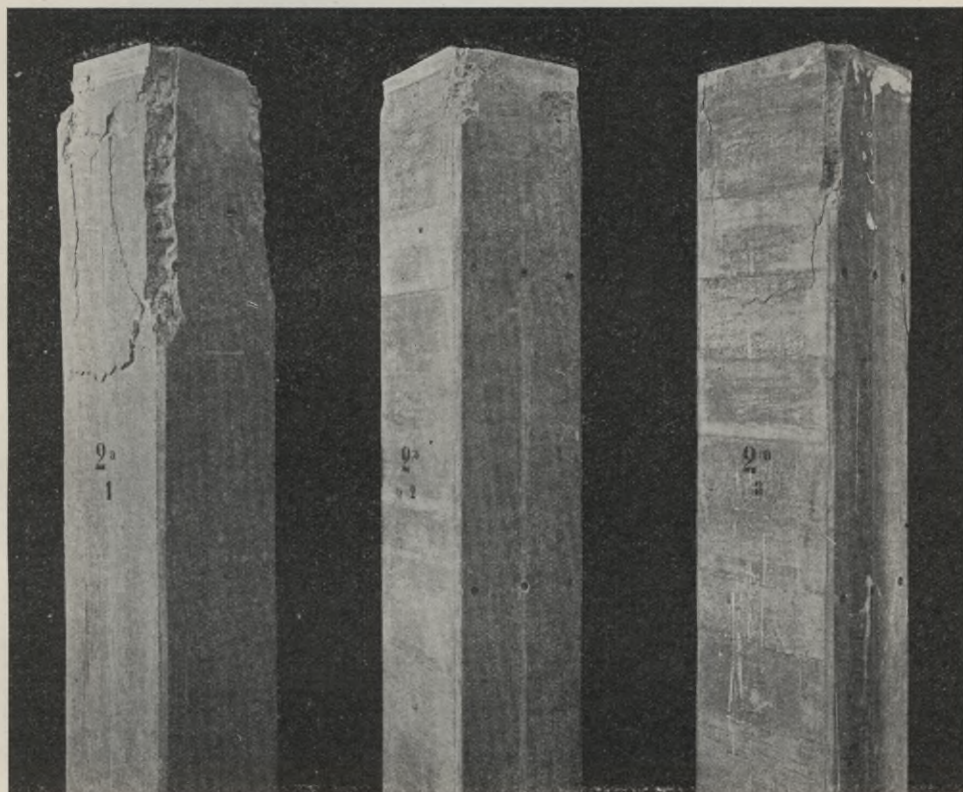
### 3. Die Festigkeit der Säulen.

Die bei den Versuchen ermittelten Bruchlasten der Säulen und zugehörigen Betonwürfel enthält Tab. 30. Die Abb. 17—24 zeigen die an den Säulen aufgetretenen Brucherscheinungen.

Zunächst ist auf die Erscheinung hinzuweisen, daß immer von den drei gleichartigen Säulen zwei gut übereinstimmende Bruchlasten aufweisen, während die Festigkeit der dritten Säule erheblich hiervon abweicht. Zieht man die Seite 11 über die Versuchsausführung gemachten Angaben mit in Betracht, so ergibt sich folgendes: Unter den Säulen 2bγ mit Eiseneinlagen und mit Kopf lieferte Versuch 2 bei dem oben beschriebenen Verfahren b eine auffallend hohe Bruchlast, unter den Säulen 2a mit Eiseneinlage ohne Kopf lieferte Versuch 5 nach dem Verfahren c eine auffallend geringe Bruchlast und bei den anderen drei Reihen mit den Säulen 1a, 1b und 1a<sup>1</sup> lieferte immer der nach dem Verfahren a aus-

geführte Versuch (Nr. 7, 8 und 13) die geringste Bruchlast. Nach diesen Ergebnissen können die Unterschiede in den Bruchlasten der gleichartigen Proben nicht ohne weiteres dem jeweilig angewendeten Verfahren zugeschrieben werden. Da nun bei allen fünf Reihen immer je ein Versuch nach einem der drei Verfahren ausgeführt ist, so sind jedenfalls etwaige Einflüsse des Verfahrens in den Mittelwerten ausgeglichen und die letzteren unmittelbar untereinander vergleichbar.

Zu berücksichtigen bleiben ferner noch die Unterschiede in den Festigkeiten der einzelnen Betonmischungen. Sie sind zwar nach den ermittelten Würfel Festigkeiten nicht erheblich, immerhin dürften aber die zuverlässigsten Vergleichswerte für die Beurteilung des Einflusses der „Art der Säulen“ auf deren Festigkeit in



Bruchlast = 204 500 kg

= 206 700 kg

= 179 100 kg

Abb. 17. Säulen 2a. 2 m lang, in gewöhnlicher Weise bewehrt.  
Die Endflächen der Längseisen liegen 1 cm von den Druckflächen entfernt.

den Verhältniszahlen zwischen den Bruchfestigkeiten der Säulen und den Bruchfestigkeiten der zugehörigen Betonwürfel gegeben sein, wie solche in Tab. 30 mit aufgenommen sind.

In meinem Bericht über die früheren Versuche (Reihe I) hatte ich geglaubt, darauf hinweisen zu sollen, daß die Luftwärme und besonders die Luftfeuchtigkeit während der Anfertigung der Säulen deren Bruchfestigkeit derart zu beeinflussen scheint, daß die bei geringerem Feuchtigkeitsgehalt der Luft gefertigten Säulen höhere Bruchfestigkeiten liefern als die bei feuchtem Wetter gefertigten<sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Rudeloff: Versuche mit Eisenbetonsäulen Reihe I und II, ausgeführt im Königlichen Materialprüfungsamt zu Groß-Lichterfelde. S. 51 und 71.

Im Hinblick hierauf sind bei den vorliegenden Versuchen die Zimmerwärme und Luftfechtigkeiten während der Probenfertigung mit beobachtet und in Tab. 30 mit angegeben. Die Werte für die Zimmerwärme sind nicht derart verschieden, daß man Unterschieden hierin einen Einfluß auf die Festigkeit der Säulen zuschreiben kann. Anders liegen die Verhältnisse hinsichtlich der relativen Luftfeuchtigkeit. Letztere schwankt besonders bei den beiden Säulenarten 2a und 2b $\gamma$  mit Eisenbewehrung ganz erheblich (zwischen 27 und 54 %) und in Uebereinstimmung mit den früheren Versuchen finden sich auch hier wieder bei geringerem Feuchtigkeitsgehalt immer erheblich höhere Bruchlasten der Säulen als bei höherem Feuchtigkeitsgehalt. Die Werte sind zur besseren Uebersichtlichkeit nachstehend nochmals gegenübergestellt:

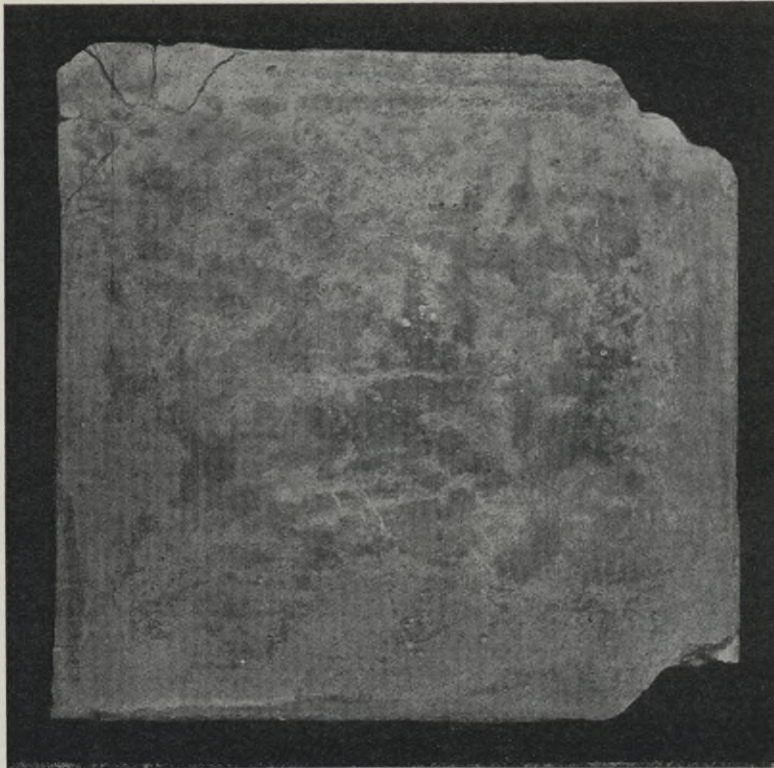


Abb. 18. Obere Druckfläche der Säule 2a<sub>3</sub>, bewehrt, ohne Kopf.  
Risse in den Ecken, von den Druckstellen der Längseisen ausgehend.

Säulen 2a:	Luftfeuchtigkeit = 27 und 28 %;	Bruchlast = 204,5 und 206,7 t.
	„ = 54 %;	„ = 179,1 t.
Säulen 2b $\gamma$ :	„ = 28 %;	„ = 265,9 t.
	„ = 47 und 50 %;	„ = 219,7 und 218,8 t.

Die unbewehrten Säulen sind fast durchweg bei höherer und weniger schwankenden Luftfeuchtigkeit gefertigt und die Bruchlasten der Parallelversuche stimmen hier besser überein als bei den bewehrten.

An den Bruchfestigkeiten der mit den Säulen gleichzeitig gefertigten Betonwürfel macht sich der Einfluß der Probenfertigung bei verschiedener Luftfeuchtigkeit nicht bemerkbar. Eine bestimmte Erklärung für das verschiedenartige Verhalten der Säulen und Würfel ließe sich nur durch einschlägige systematische

Versuche erbringen. Solche liegen nicht vor. Daher soll hier nur darauf hingewiesen werden, daß die Erklärung vielleicht in folgendem Umstande gefunden werden kann.

Die Säulen sind in Holzformen, die Würfel aber in eisernen Formen gestampft.

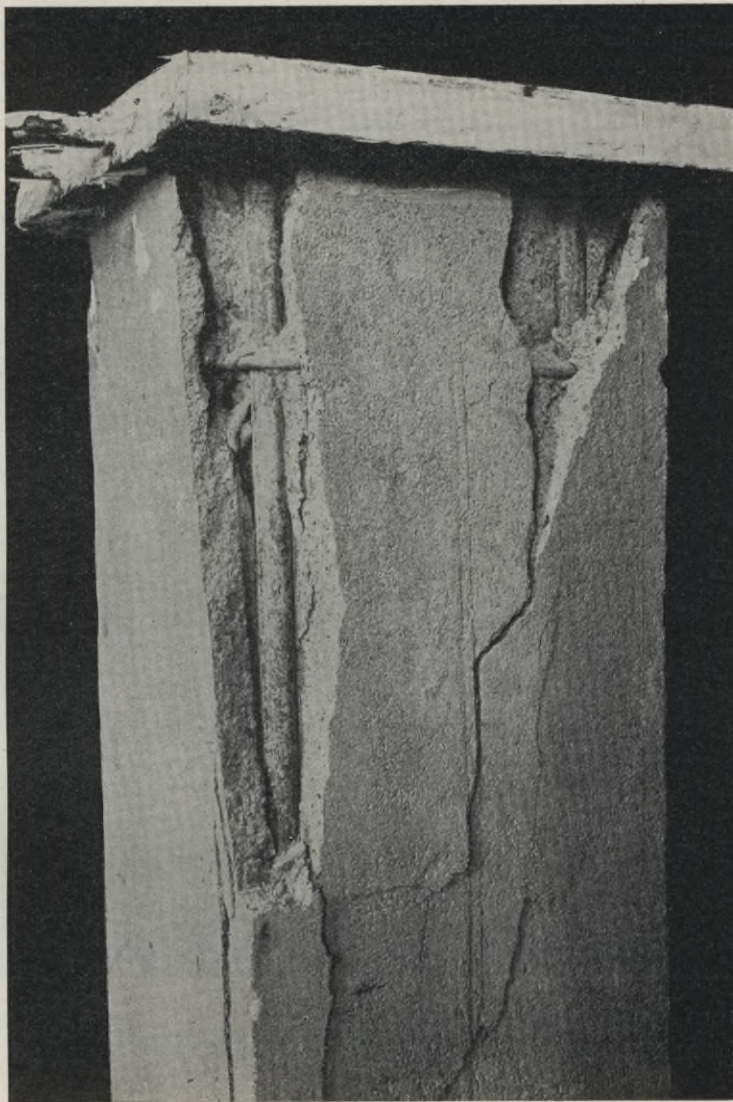
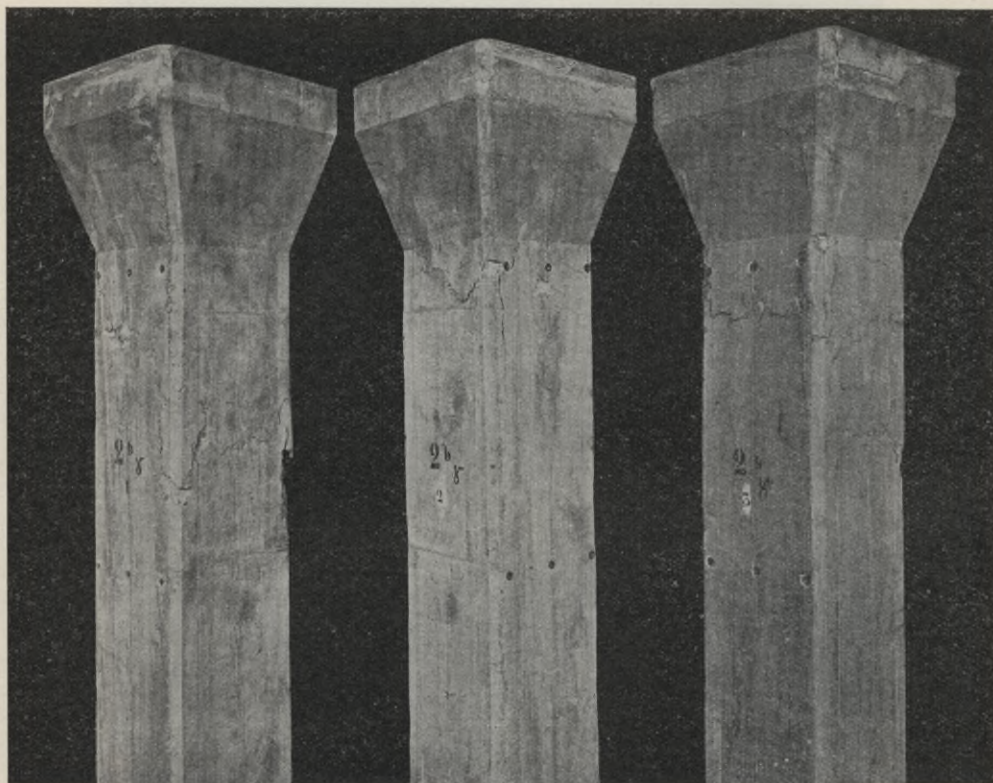


Abb. 18a. Ausbildung von Druckkegeln über den Längseisen.

In den letzteren kann die Luftfeuchtigkeit die Eigenschaften des Betons nach dem Einformen nur durch verschieden starke Verdunstung des Anmachewassers an der Oberfläche beeinflussen, bei den Holzformen tritt aber zu dieser Verdunstung noch die Wasseraufsaugung durch die Formwandungen hinzu. Diese Wasserentziehung aus dem Beton wird zweifelsohne um so größer sein, je trockener die Formwandungen sind und daher bei Holzformen, die lange unbenutzt trocken gestanden haben, größer als bei dauernd benutzten Formen.

Bei den vorliegenden Versuchen kommt nun zusammen, daß die geringe relative Luftfeuchtigkeit von 27—28 $\frac{0}{0}$  gerade an den ersten drei Tagen der Probenfertigung herrschte, also gerade zu Anfang, wo auch die Formen am trockensten waren. Bei Fertigung der vierten Säule betrug die relative Luftfeuchtigkeit bereits 47 $\frac{0}{0}$ , sie hielt sich dann im allgemeinen auf dieser Höhe und nur bei Säule 10 ging sie noch einmal auf 33 $\frac{0}{0}$  zurück. Inzwischen waren aber die Formwandungen wahrscheinlich bereits so feucht geworden, daß sie dem Beton wesentliche Wassermengen nicht mehr entziehen konnten.

Trifft diese Erklärung zu, so wird man der bei der Probenfertigung herrschenden Luftfeuchtigkeit im wesentlichen einen indirekten Einfluß zuschreiben müssen, indem die Formen in der Zeit zwischen den wiederholten Benutzungen um so mehr austrocknen, je geringer die Luftfeuchtigkeit ist.



Bruchlast = 265 900 kg                      = 219 700 kg                      = 218 800 kg

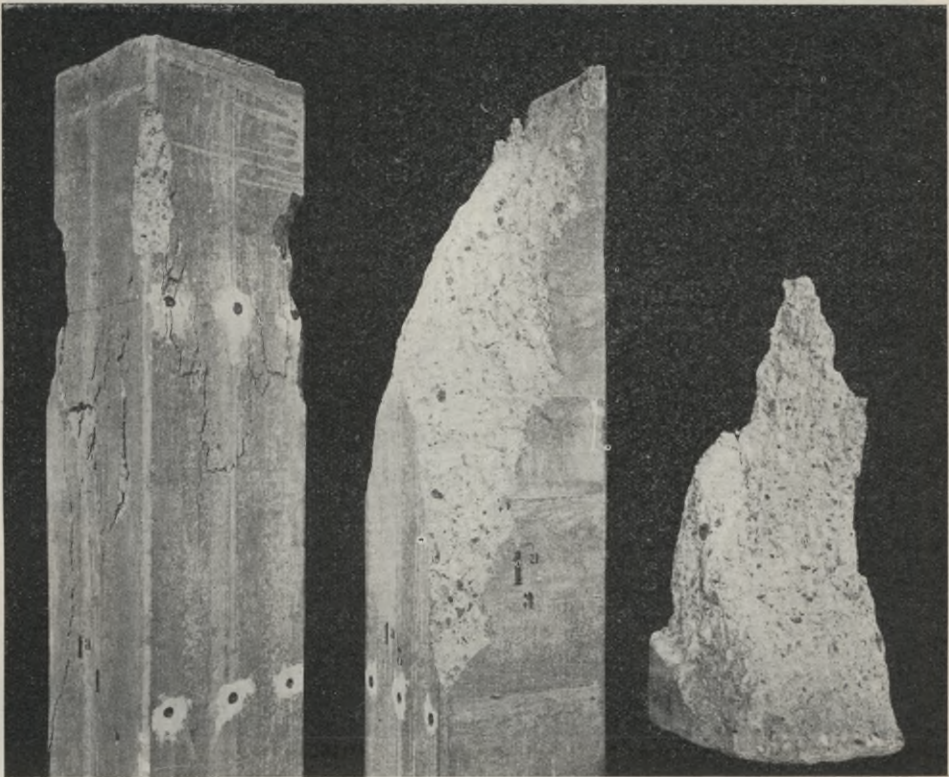
Abb. 19. Säulen 2by, bewehrt und mit österreichischem Kopf.

Jedenfalls lassen die besprochenen Ergebnisse es notwendig erscheinen, zur Erzielung vergleichbarer Werte vor Anfertigung weiterer Säulen in Holzformen festzustellen, in welchem Maße tatsächlich dem in Holzformen eingeförmten Beton Wasser durch das Holz der Wände entzogen wird. Daß selbst frisch geölte Holzformen stark wasseraufnahmefähig sind, zeigt folgender inzwischen ausgeführter Tastversuch.

Um nachzuprüfen, wie groß die Wasseraufnahme der zur Anfertigung der Säulen benutzten Formen ist, sind zwei derselben zunächst an der Luft getrocknet, dann wie bei ihrer Verwendung mit Oel gestrichen und nun mit Kies gefüllt, dem 8 $\frac{0}{0}$  Wasser zugesetzt waren. Nach zweitägigem Stehen mit diesem Kies hatten die Formen im Mittel um 2,53 kg an Gewicht zugenommen. —

Aus dem Vergleich der Säulen 1a mit den Säulen 1b ergibt sich folgendes:

1. Das Anbringen von Köpfen an die 2 m langen unbewehrten Säulen hat keine Festigkeitserhöhung, vielmehr eine geringe Festigkeitsabnahme zur Folge gehabt. Die Festigkeiten der Säulen 1b und 1a verhalten sich wie 157 900 : 168 700, d. h. wie 93,6 : 100, und die Verhältnisse zwischen Säulenfestigkeit und Würfelfestigkeit wie 75 : 80, also ebenfalls wie 93,6 : 100. Die Unterschiede in den Säulenfestigkeiten können demnach den Eigenschaften des Betons nicht zugeschrieben werden. Die beobachtete Nutzlosigkeit oder gar etwas nachteilige Wirkung des Kopfes dürfte aber auch nicht befremden, wenn man beachtet, daß beide Säulenarten, 1a sowie 1b, unter Entstehung von Druckpyramiden zu Bruch gingen (s. Abb. 20—23). Bei den Säulen 1a lag die Grundfläche dieser Pyramiden unmittelbar über der



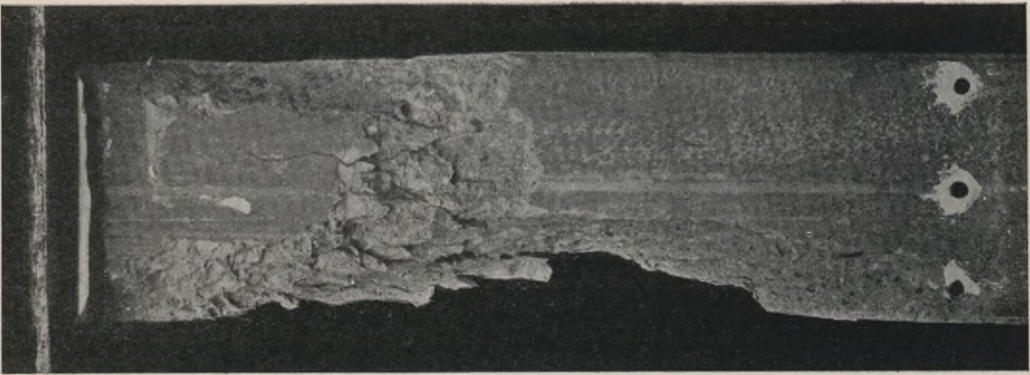
Bruchlast = 154 700 kg

= 178 800 kg

Abb. 20. Säulen 1a<sub>1</sub> und 1a<sub>3</sub>, 2 m lang, unbewehrt.

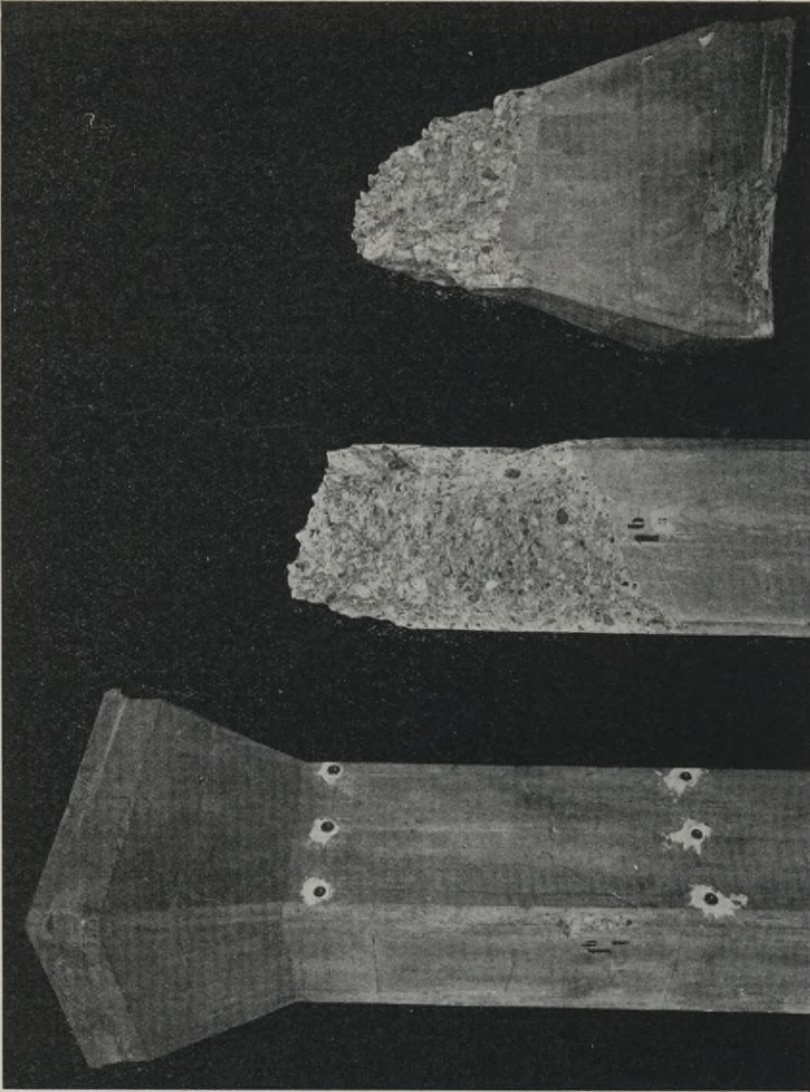
Druckplatte (s. Abb. 20 und 21) und bei den Säulen 1b über dem Querschnitt, in dem der Säulenschaft in den Kopf überging (s. Abb. 22 und 23). Wie die früheren Versuche zweifelsfrei dargetan haben<sup>1)</sup>, ist die Festigkeit des Betons am oberen, zuletzt gestampften Säulenende geringer als am unteren, weil der Beton am oberen Ende einer geringeren Stampfwirkung ausgesetzt ist als der Beton am unteren Ende. Nun erscheint es wohl möglich, daß die Stampfwirkung bei Herstellung der letzten Schichten den darunter liegenden Schichten mehr zugute kommt, wenn der glatte Schaft bis zum oberen Ende reicht, der Beton also beim Stampfen

<sup>1)</sup> Siehe Rudloff: Versuche mit Eisenbetonsäulen Reihe I und II, ausgeführt im Königl. Materialprüfungsamt zu Groß-Lichterfelde, S. 105 u. ff.



Bruchlast = 172 500 kg

Abb. 21. Säule 1a<sub>2</sub>, 2 m lang, unbewehrt.

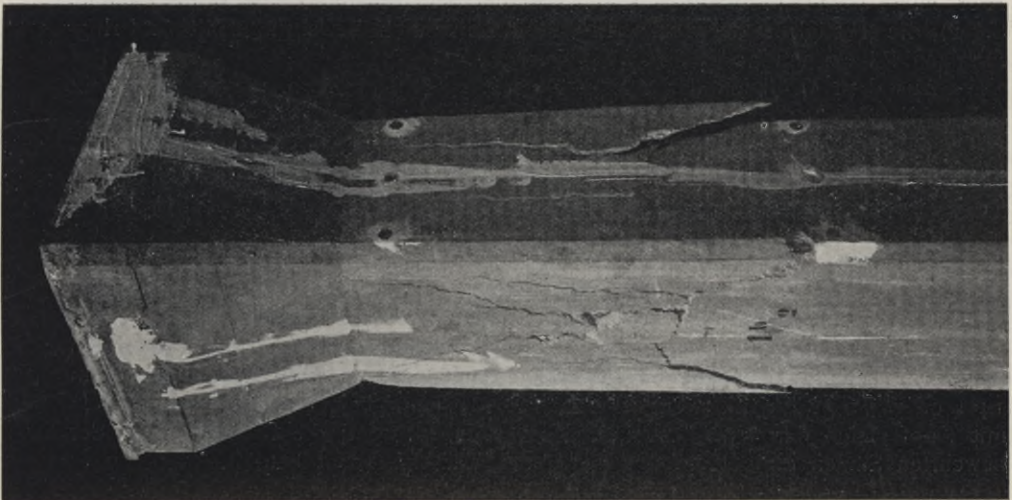


Bruchlast = 140 900 kg

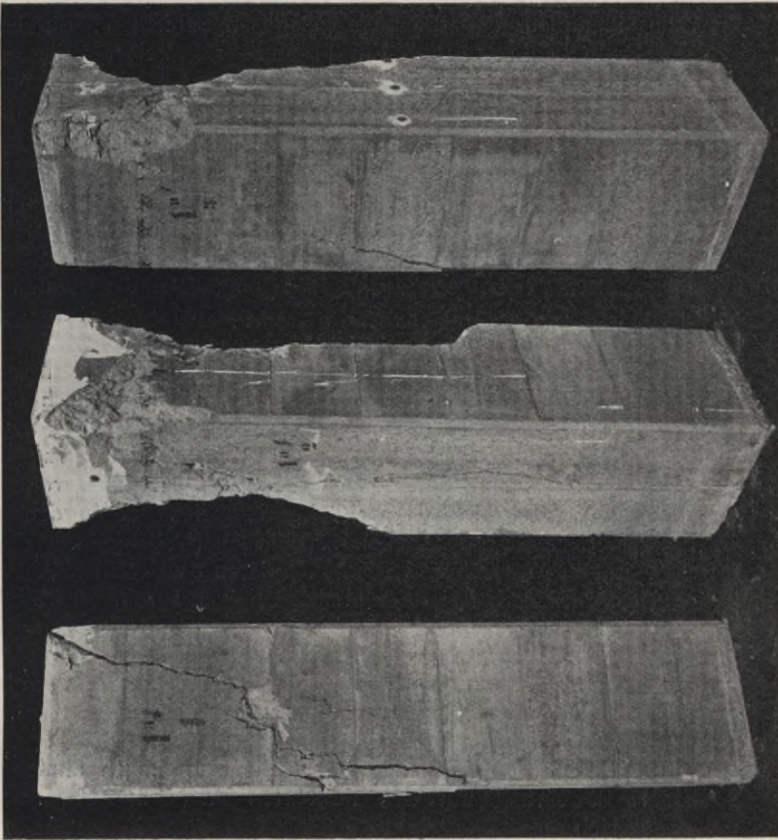
= 166 300 kg

Abb. 22. Säulen 1b<sub>1</sub> und 1b<sub>3</sub>, 2 m lang, unbewehrt, mit Kopf.





Bruchlast = 166 600 kg  
Abb. 23. Säule 1b<sub>2</sub>, 2 m lang, unbewehrt, mit Kopf.



Bruchlast = 151 000 kg = 164 800 kg = 158 100 kg  
Abb. 24. Säulen 1a<sub>1-3</sub>, 1,3 m lang, unbewehrt.

dauernd senkrecht abwärts gedrückt wird, als wenn der obere Teil der Form, wie bei dem Kopf, verbreitert ist, und die Abwärtsbewegung des Betons, also auch die Wirkung des Stampfens auf die tiefer gelegenen Schichten, durch die schrägen Flächen der Form behindert ist. Ein bestimmter Beweis für diese Anschauung könnte allerdings nur durch Raumgewichtsbestimmungen erbracht werden, deren Ausführung aber mit Rücksicht auf die geringen Unterschiede in den beobachteten Festigkeiten von keinem wesentlichen praktischen Nutzen sein dürften.

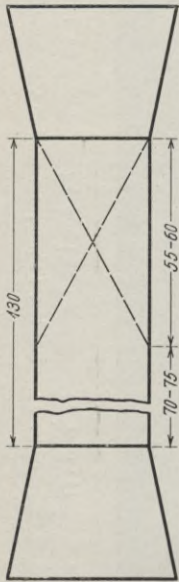


Abb. 25.  
Länge der Doppel-  
pyramide beim  
Bruch unter dem  
Kopf.

2. Festigkeitserhöhungen der Säulen sind dadurch nicht veranlaßt, daß das Anbringen der Köpfe eine Abnahme der Länge des Säulenschaftes im Gefolge hatte. Auch hierfür bietet der Bruchverlauf eine genügende Erklärung. Bei den Säulen 1 b bildeten sich deutlich auftretende Doppelpyramiden aus. Ihre Gesamtlänge (s. Abb. 25 im Vergleich mit Abb. 23) betrug 55—60 cm; sie erstreckte sich also nicht einmal über die halbe Länge des Schaftes. Die Pyramiden konnten sich daher auch bei der Länge des Säulenschaftes von nur 1,3 m unbehindert ausbilden und somit war keine Veranlassung zur Festigkeitserhöhung durch die Köpfe gegeben. Eine volle Bestätigung dieser Ansicht liefert der Vergleich der an den 2 m langen Säulen 1 a ermittelten Bruchlasten (Tab. 30) mit denen der nur 1,3 m langen Säulen 1 a', deren Bruchverlauf Abb. 24 zeigt. Das Verhältnis der Säulenfestigkeit zur Würfel Festigkeit war bei beiden nahezu das gleiche, 80 und 78 ‰; also selbst durch die Verkürzung der Gesamtlänge der Säule von 2,0 m auf 1,3 m ist keine Steigerung der Säulenfestigkeit veranlaßt, eher haben die kürzeren Säulen etwas weniger getragen als die 2 m langen.

Vergleicht man nun weiter die 2 m langen Säulen 1 a ohne Bewehrung mit den bewehrten 2 a (s. a. Abb. 17), so zeigt sich

3. daß die Bruchlast der Säulen ohne Kopf durch die Bewehrung von 168 700 kg auf 196 800 kg, d. h. um 16 ‰ gesteigert ist; das Verhältnis  $V$  zwischen Säulen- und Betonfestigkeit ist von 80 auf 89, also um 11 ‰ gesteigert. Auf dieses Ergebnis ist später noch zurückzukommen. Hier möge darauf hingewiesen sein, daß bei der früheren Reihe II (s. Fußnote S. 1) die Festigkeit der sechsseitigen Säulen durch Bewehrung mit kreisringförmigen Bügeln um 30 ‰ gesteigert wurde.

Aus dem Vergleich der Säulen 2 a mit 2 b  $\gamma$  (s. a. Abb. 17 und 19) ergibt sich schließlich

4. daß die Festigkeit der bewehrten Säulen durch das Anbringen der Köpfe von 196 800 kg auf 234 800 kg, d. h. um 19 ‰ gesteigert ist. Der günstige Einfluß des Kopfes auf die Säulenfestigkeit tritt hier deutlich zutage; letztere hat sich im Mittel sogar um 7 ‰ größer ergeben als die Würfel Festigkeit des Betons. Hierbei ist allerdings zu beachten, daß der Versuch 2 einen auffallend hohen Wert lieferte. Aber selbst wenn man diesen hohen Wert und ebenso den auffallend geringen Wert bei Versuch 5 für eine der Säulen 2 a außer Betracht lassen wollte, so übertrifft die Festigkeit der bewehrten Säulen mit Kopf diejenige der bewehrten Säulen ohne Kopf immer noch um 14 t oder 7 ‰. Zugleich ergibt sich die Bruchfestigkeit der bewehrten Säulen mit Kopf gleich der Würfel Festigkeit des Betons, während die Bruchfestigkeit der bewehrten Säulen ohne Kopf nur 93 ‰ der Würfel Festigkeit beträgt.

Tabelle 1. Die physikalischen Eigenschaften des zu den Säulen verwendeten Zementes.

(Die Versuche sind in Abt. 2 für Baumaterialprüfung nach den Normen vom Dezember 1909 ausgeführt.)

Unter- suchung Nr.	Tag der Prüfung	Raumgewicht in kg/l		Siebfeinheit			Abbindeversuch				Spezif. Gewicht wie an- aus- geliefert	Raum- beständigkeit				
		ein- gelaufen <i>R<sub>I</sub></i>	ein- gerüttelt <i>R<sub>r</sub></i>	Rückstand auf den Sieben mit folgender Maschenzahl für 1 qcm			Erhärtungs- anfang		Abgebunden				Glüh- verlust %			
		240	324	600	900	5000	Std.	Minuten	Std.	Minuten						
1	25. IX. 11	1,157	1,967	0,0	0,2	1,4	1,4	15,0	4	15	9	—	0,98	3,134	3,235	Sämtliche Proben bestanden
2	20. II. 12	1,187	1,945	0,0	0,2	1,4	1,6	15,0	4	30	9	30	1,11	3,140	3,225	
3	2. IV. 12	1,183	1,956	0,0	0,2	1,0	1,4	13,2	4	15	9	15	1,08	3,142	3,246	
4	3. VI. 12	1,157	1,912	0,0	0,2	1,0	1,0	13,6	4	—	9	30	1,26	3,137	3,220	

Tabelle 2. Festigkeitseigenschaften des zu den Säulen verwendeten Zementes.

(Die Versuche sind in der Abt. 2 für Baumaterialprüfung nach den Normen vom Dezember 1909 ausgeführt)  
Mörtel aus 1 Gewichtsteil Zement + 3 Gewichtsteilen Normensand. Wassersatz  $\approx 8,25\%$ .

Unter- suchung Nr.	Eigen- schaft	Tag der Proben- fertigung	Art der Lagerung bis zur Prüfung	Alter bei der Prüfung in Tagen	Einzelwerte für die Festigkeit bei Versuch Nr.										Mittlere Bruch- festigkeit kg/qcm	Verhältnis- werte für die Bruch- festigkeit %	Mittleres Raumgewicht von 5 Proben bei dem folgenden Alter in Tagen			
					7												28	1	7	28
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10						
1	Zug- festigkeit	26. IX. 11	unter Wasser	7	26,5	25,9	23,8	26,5	23,3	23,1	26,0	23,5	23,1	23,3	24,5	100	2,314	2,343		
2		20. II. 12			23,7	23,7	24,2	25,2	25,3	24,1	22,8	24,3	24,6	100	2,314	2,357				
3		2. IV. 12			27,2	26,5	26,3	25,7	26,3	24,6	26,8	28,3	27,6	25,1	26,4	108	2,300	2,329		
4		4. VI. 12			25,3	24,7	26,6	25,7	27,2	24,0	26,5	26,1	24,3	25,2	25,6	104	2,300	2,343		
1	Druck- festigkeit	26. IX. 11	unter Wasser	7	280	276	274	283	272	286	272	286	285	282	280	100	2,239	—		
2		20. II. 12			288	285	291	293	297	293	295	284	280	290	290	104	2,248	—		
3		2. IV. 12			292	289	292	295	294	288	287	293	285	289	291	104	2,251	—		
4		4. VI. 12			286	284	295	285	292	284	286	284	298	287	288	103	2,245	—		
1	Druck- festigkeit	26. IX. 11	unter Wasser	28	392	399	391	400	396	393	390	392	397	396	395	100	—	2,276		
2		20. II. 12			413	399	398	399	390	398	408	402	380	400	399	101	—	2,285		
3		2. IV. 12			416	406	409	409	415	408	414	420	424	424	414	105	—	2,285		
4		4. VI. 12			402	395	404	399	390	394	397	394	391	397	396	100	—	2,287		
1	—	26. IX. 11	1 Tag an der Luft, 6 Tage unter Wasser, dann an der Luft	28	440	444	450	447	441	430	435	437	444	440	441	100	2,239	2,217		
2		20. II. 12			424	432	451	468	468	445	454	457	465	463	453	103	2,248	—		
3		2. IV. 12			452	445	449	452	470	445	470	446	466	457	455	103	2,251	—		
4		4. VI. 12			458	438	433	442	444	452	444	450	437	458	446	101	2,242	2,239		

Tabelle 3.

## Ergebnisse der Zugversuche mit den Eisen für die Bewehrung der Säulen.

Art des Eisens	Proben entnommen		Versuch Nr.	Abmessungen		Elastizitätszahl $\frac{l}{\alpha} = E$ kg/qcm	Spannungen		$\frac{\sigma_S}{\sigma_B} \cdot 100$ %	Bruchdehnung auf $l = 30$ cm %	Querschnittsverminderung %
	aus Säule	Ecke <sup>1)</sup>		Durchmesser cm	Querschnitt qcm		Streckgrenze $\sigma_S$ kg/qcm	Bruchgrenze $\sigma_B$ kg/qcm			
Längsbewehrung	2a <sub>2</sub>	1	1	3,00	7,07	2 080 000	2 450	3 600	68	30,9	63
		2	2	3,00	7,07	2 020 000	2 450	3 640	67	31,1	70
		3	3	2,97	6,93	1 900 000	2 310	3 990	58	29,7	59
		5	4	2,99	7,02	2 095 000	2 560	3 810	67	29,8	63
		—	Mittel	—	—	2 025 000	2 440	3 760	65	30,4	64
	2a <sub>3</sub>	1	5	3,00	7,07	2 065 000	2 510	3 640	69	27,3	45
		2	6	3,00	7,07	2 020 000	2 450	3 630	67	26,8	49
		3	7	3,00	7,07	2 035 000	2 510	3 700	68	29,5	66
		5	8	2,99	7,02	2 035 000	2 470	3 750	66	31,2	67
		—	Mittel	—	—	2 040 000	2 490	3 680	68	28,7	57
	besonderen, unbelasteten Stangen	9	3,00	7,07	2 095 000	2 530	3 770	67	29,8	70	
		10	2,99	7,02	2 080 000	2 660	3 820	70	27,8	67	
Mittel	—	—	2 090 000	2 600	3 800	69	28,8	69			
einem der geprüften Eisen-gerippe <sup>2)</sup>	36	2,98	6,97	2 030 000	2 500	3 660	68	23,7	—		
Quer-Bewehrung	unbelasteten Stangen	31	0,75	0,442	2 350 000	—	4 190	—	31,4	70	
		32	0,74	0,430	2 390 000	3 340	4 280	78	29,8	69	
		Mittel	—	—	2 370 000	[3 340]	4 240	[78]	30,6	70	

<sup>1)</sup> Die Nummer der Ecke entspricht der Nummer der Meßstelle Abb. 13.

<sup>2)</sup> Die Stange erschien beim Bearbeiten der Endflächen als besonders hart (s. Abb. 7).

Tabelle 4.

## Ergebnisse der Druckversuche mit den Eisen für die Längsbewehrung der Säulen.

Die Versuchsstücke waren Zylinder von 9 cm Länge mit dem vollen Querschnitt der Walzstangen; die Meßlänge für die Elastizitätsbestimmung betrug 3 cm.

Versuch Nr.	Proben entnommen		Abmessungen		Elastizitätszahl $\frac{l}{\alpha} = E$ kg/qcm	Spannungen kg/qcm		Bemerkungen
	aus Säule	Ecke <sup>1)</sup>	Durchmesser cm	Querschnitt qcm		Proportionalitätsgrenze $\sigma_{-P}$	Quetschgrenze $\sigma_{-S}$	
11	2a <sub>2</sub>	1	2,99	7,02	2 120 000	2 140	2 460	Die Proben zu den Versuchen 15, 16, 34 und 35 zeigten auf beiden Endflächen unganzen Kern (s. Fig. 7).
12		2	3,00	7,07	2 080 000	2 270	2 440	
13		3	2,97	6,93	2 000 000	2 460	2 710	
14		5	2,99	7,02	2 090 000	2 570	2 660	
Mittel		—	—	—	2 075 000	2 360	2 570	
15	2a <sub>3</sub>	1	2,98	6,97	2 080 000	2 010	2 690	
16		2	2,99	7,02	2 075 000	2 710	2 800	
17		3	2,99	7,02	2 070 000	2 420	2 560	
18		5	2,97	6,93	2 110 000	2 450	2 590	
Mittel		—	—	—	2 085 000	2 400	2 660	
19	besonderen, unbelasteten Stangen	3,00	7,07	2 065 000	2 690	2 730		
20		2,99	7,02	2 065 000	2 420	2 710		
Mittel		—	—	2 065 000	2 560	2 720		
34	einem der geprüften Eisen-gerippe <sup>2)</sup>	2,99	7,02	2 080 000	1 850	2 700		
35		2,99	7,02	2 060 000	2 000	2 700		
Mittel		—	—	2 070 000	1 930	2 700		

<sup>1)</sup> Die Nummer der Ecke entspricht der Nummer der Meßstelle Abb. 13.

<sup>2)</sup> Die Stange erschien beim Bearbeiten der Endflächen als besonders hart (s. Abb. 7).

Tabelle 5. Druckfestigkeit des zu den Säulen Reihe A verarbeiteten Betons. Würfel von 30 cm Kantenlänge; Druckfläche = 900 qcm; Inhalt = 27 000 ccm; Alter = 28 Tage.

Lfde. Nr. der Fertigung	Zeichen der zugehörigen Säule	Tag der Fertigung	Gewicht des Würfels kg	Raum- gewicht des Betons g/ccm	Bruchfestigkeit		Bemerkungen
					Belastung P kg	Spannung $\sigma-B$ kg/qcm	
1	2a 1	16. I. 12	62,03		224 600*)	250	*) Mittel aus 2 Ver- suchen mit den Ein- zelwerten = 223 200 u. 226 000 kg.
2	2by 1	18. I. 12	61,70		221 900	247	
3	2a 2	20. I. 12	62,55		219 100	244	
4	2by 2	23. I. 12	62,30		220 500	245	
5	2a 3	25. I. 12	62,57		219 100	244	
6	2by 3	30. I. 12	62,85		213 600	237	
7	1a 1	1. II. 12	61,80		206 800	230	
8	1b 1	3. II. 12	62,10		224 600	250	
9	1a 2	6. II. 12	61,50		206 800	230	
10	1b 2	8. II. 12	61,80		205 400	228	
11	1a 3	10. II. 12	62,05		216 400	240	
12	1b 3	13. II. 12	61,87		205 400	228	
13	1a' 1	15. II. 12	60,65		179 000	199	
14	1a' 2	17. II. 12	62,40		217 700	244	
15	1a' 3	20. II. 12	61,60		210 900	234	
Mittelwerte			61,99	2,3	212 800	237	

Tabelle 6. Aenderung der Ablesungen am Querdehnungsmesser mit der Zeit am unbelasteten Probekörper. (Beton-Prisma.)

Beobachtungs- Zeit			Zimmer- Wärme C°	Aenderungen in den Anzeigen des Apparates in $\frac{1}{150000}$ cm an Meßstelle					Anzeigeänderung in $\frac{1}{150000}$ cm				Aende- rung der Zimmer- Wärme C°	Beobachtungs- dauer Std.
				1	3	2	5	4	am Rande		in der Mitte	im Mittel am Rande		
Tag	Std.	Min.							A	B	C	$\frac{A+B}{2}$		
20. I	12	30	19,98	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	1	0	20,16	+ 1	+ 10	- 1	+ 9	+ 8	+ 11	+ 8	+ 8	10	+ 0,18	0,5
	1	30	20,47	- 1	23	- 8	23	21	22	15	21	19	0,49	1,0
	2	0	20,56	- 2	49	- 9	43	43	47	34	43	41	0,58	1,5
	2	30	20,24	- 1	56	- 10	54	52	55	44	52	50	0,26	2,0
	3	0	20,52	+ 2	68	- 10	67	64	70	57	64	64	0,54	2,5
	5	30	17,63	53	224	+ 49	231	236	277	289	236	283	- 2,35	5,0
6	15	17,46	66	232	71	235	247	298	306	247	302	- 2,52	5,75	
7	0	17,98	63	210	71	208	220	273	279	220	276	- 2,00	6,5	
21. I	9	30	13,29	182	189	370	61	151	371	431	151	401	- 6,69	21,0
	10	30	13,33	187	165	373	40	129	352	413	129	383	- 6,65	22,0
	11	30	13,93	190	142	373	20	108	332	393	108	363	- 6,05	23,0
	3	45	13,66	199	102	385	- 11	73	301	374	73	338	- 6,32	27,25
	7	35	12,66	189	92	413	- 59	53	281	354	53	318	- 7,32	31,0
22. I	8	30	17,82	- 10	- 252	382	- 568	- 403	- 262	- 186	- 403	- 224	- 2,16	44,0
	9	30	18,30	- 64	- 255	344	- 564	- 398	- 319	- 220	- 398	- 270	- 1,68	45,0
	10	30	19,10	- 86	- 261	307	- 558	- 392	- 347	- 251	- 392	- 299	- 0,88	46,0
	11	30	19,86	- 113	- 257	260	- 538	- 375	- 370	- 278	- 375	- 324	- 0,12	47,0
	12	30	20,28	- 142	- 254	215	- 514	- 355	- 396	- 299	- 355	- 348	+ 0,30	48,0
	1	30	20,42	- 164	- 240	173	- 483	- 323	- 404	- 310	- 323	- 357	0,44	49,0
	2	30	20,60	- 180	- 231	142	- 464	- 303	- 411	- 322	- 303	- 367	0,62	50,0
	3	0	20,42	- 190	- 229	125	- 457	- 298	- 419	- 332	- 298	- 376	0,44	50,5
23. I	8	0	17,83	- 324	- 416	117	- 752	- 523	- 740	- 635	- 523	- 688	- 2,15	67,5
	9	0	18,25	- 335	- 425	98	- 757	- 529	- 760	- 759	- 529	- 760	- 1,73	68,5
	10	0	18,53	- 350	- 426	82	- 757	- 529	- 776	- 675	- 529	- 726	- 1,45	69,5

Tabelle 7. Wiederholte Beobachtungen der Querdehnungen bei wachsender Belastung an derselben Säule.

Abmessungen: Querschnitt = 30 × 30 cm; Länge = 100 cm.

Be- lastung	Zimmer- wärme	Beobachtungen für die Quer- dehnungen in $\frac{1}{150000}$ cm an Meßstelle					Querdehnungen in $\frac{1}{150000}$ cm				Krümmung der Seitenflächen in $\frac{1}{150000}$ cm
		1	3	2	5	4	am Rande		in Mitte C	im Mittel am Rande	
							A	B			
kg	°C						1 + 3	2 + 5	4	$\frac{A+B}{2}$	$\frac{1}{2} \left( 4 - \frac{A+B}{2} \right)$
12 020		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
19 850		— 1	18	— 1	19	15	17	18	15	18	— 1,5
27 680	19,44	0	38	— 2	39	45	38	37	45	38	+ 3,5
35 485	19,52	0	59	— 2	60	69	59	58	69	59	5,0
43 240		— 1	81	— 3	81	94	80	78	94	79	7,5
12 020	19,53	— 6	+ 7	0	+ 4	+ 11	1	4	11	3	4,0
19 850	19,67	0	20	— 1	20	22	20	19	22	20	1,0
27 680	19,70	— 1	39	— 2	40	44	38	38	44	38	3,0
35 485	19,62	0	59	— 3	59	64	59	56	64	58	3,0
43 240	19,59	0	79	— 5	80	86	79	75	86	77	4,5
12 020	19,58	— 5	+ 9	— 1	+ 4	+ 6	4	3	6	4	1,0
19 850	19,62	0	18	— 1	18	22	18	17	22	18	2,0
27 680	19,65	— 1	38	0	38	43	37	38	43	38	2,5
35 485	19,72	0	58	— 3	57	64	58	54	64	56	4,0
43 240		— 1	78	— 4	79	86	77	75	86	76	5,0
50 945	19,64	0	100	— 6	99	109	100	93	109	97	6,0
58 550	19,81	0	124	— 8	122	134	124	114	134	119	7,5
12 020	19,83	— 7	+ 10	— 1	+ 6	+ 11	3	5	11	4	3,5
19 850	19,83	— 1	21	— 1	18	20	20	17	20	19	0,5
27 680	19,88	0	41	— 3	38	42	41	35	42	38	2,0
35 485	19,87	0	60	— 4	57	63	60	53	63	57	3,0
43 240	19,82	0	81	— 5	78	86	81	73	86	77	4,5
50 945	19,85	0	101	— 8	100	108	101	92	108	97	5,5
58 550	19,86	— 1	122	— 8	121	130	121	113	130	117	6,5
12 020		— 1	+ 9	— 1	+ 2	+ 5	8	1	5	5	+ 0
12 020	19,95	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
19 850		— 2	+ 18	0	18	22	16	18	22	17	2,5
27 680	19,90	— 6	40	— 3	36	45	34	33	45	34	5,5
35 485	20,00	— 7	64	— 3	57	67	57	54	67	56	5,5
43 240	19,98	— 10	88	— 2	78	90	78	76	90	77	6,5
50 945	19,96	— 12	112	— 4	101	116	100	97	116	99	8,5
58 550	19,99	— 14	137	— 5	128	140	123	123	140	123	8,5
12 020	19,96	— 6	+ 10	— 13	31	15	4	18	15	11	2,0
19 850	20,12	+ 1	20	— 1	18	19	21	17	19	19	0,0
27 680	20,11	— 4	41	— 1	37	43	37	36	43	37	3,0
35 485	20,10	— 7	62	— 3	55	64	55	52	64	54	5,0
43 240	20,15	— 8	84	— 1	74	88	76	73	88	75	6,5
50 945	20,19	— 10	106	— 3	93	111	96	90	111	93	9,0
58 550	20,19	— 12	134	— 7	116	134	122	109	134	116	9,0
12 020		0	+ 3	— 11	17	7	3	6	7	5	1,0

Gegenüberstellung der Endwerte aus den sechs Reihen.

Be- lastungen	19 850	27 680	35 485	43 240	50 945	58 550	19 850	27 680	35 485	43 240	50 945	58 550
Reihe	mittlere Querdehnungen an den Rändern						Querdehnungen in der Mitte					
I	18	38	59	79	—	—	15	45	69	94	—	—
II	20	38	58	77	—	—	22	44	64	86	—	—
III	18	38	56	76	97	119	22	43	64	86	109	134
IV	19	38	57	77	97	117	20	42	63	86	108	130
V	17	34	56	77	99	123	22	45	67	90	116	140
VI	19	37	54	75	93	116	19	43	64	88	111	134







Tabelle 10. Einzelbeobachtungen für die Formänderungen der Säule 2a<sub>3</sub> (Versuch 5).

Reihe	Belastung	Zimmer- wärme	Beobachtungen für die Querdehnungen in 1/150000 cm				Querdehnungen in 1/150000 cm				Krümmung der Seitenflächen in 1/150000 cm	Zusammen- drückung auf 50 cm Länge in 1/100000 cm		
			an Meßstelle (s. Abb. 13)				am Rande		in Mitte				im Mittel am Rande	
			1	3	2	5	4	A	B	C				$\frac{A+B}{2}$
Nr.	kg	C <sup>0</sup>	1	3	2	5	4	1+3	2+5	4	4	$\frac{A+B}{2}$		
Messung in Mitte der Säule														
1	1 570 17 210 32 810 48 150 63 270 1 570	20,97 21,03 21,07 21,08 21,10 21,06	3 18 35 53 70 88 (+4)	19 32 49 77 119 146 (1)	5 13 27 37 119 146 (2)	21 49 106 119 119 146 (1)	31 67 106 146 146 146 (4)	15 24 29 50 81 (6)	12 36 47 77 82 (+3)	10 36 55 82 82 (4)	31 67 106 146 146 146 (4)	18,5 34 55,5 85 (7,5)	6,8 17,5 25,8 34,5 (1,8)	330 692 1 072 1 480 (88)
2	17 210 32 810 48 150 63 270 1 570	20,98 21,08 21,09 21,08 21,07	7 18 32 48 66 82 (0)	10 32 48 82 119 145 (3)	6 15 32 48 82 119 (0)	22 48 66 107 145 145 (1)	31 66 107 145 145 145 (3)	24 40 76 (+1)	16 33 54 81 (+1)	16 36 55 82 82 (4)	31 67 106 146 146 146 (4)	14 14 14 14 14 14 (7,5)	8,5 18,5 27,5 33,3 (1)	337 713 1 076 1 437 (12)
3	17 210 32 810 48 150 63 270 1 570	20,78 20,83 20,83 20,78 20,78	16 34 75 113 149 (+1)	36 74 119 154 161 (+1)	17 34 75 113 149 (+1)	37 88 109 152 152 152 (+1)	20 41 84 115 152 152 (+1)	25 50 84 115 152 152 (+1)	25 50 84 115 152 152 (+1)	37 73 109 152 152 152 (+1)	37 73 109 152 152 152 (+1)	25 48,5 72,5 100 (+0,5)	7,2 12,2 18,2 26 (+0,2)	313 604 1 007 1 339 (4)
4	17 210 32 810 48 150 63 270 1 570	20,78 20,81 20,72 20,72 20,74 20,79	22 43 64 78 (-15)	36 74 119 154 161 (+1)	14 28 55 70 (-4)	42 83 122 164 176 (-7)	37 73 109 154 154 (+1)	14 36 73 110 149 (-2)	28 55 80 109 (-2)	37 73 109 154 154 (+1)	37 73 109 154 154 (+1)	21 43 67,5 92,5 (-3)	7,5 15 21,2 28,2 (+0,5)	385 670 1 014 1 361 (+29)
5	17 210 32 810 48 150 63 270 1 570	20,78 20,83 20,83 20,78 20,78	18 33 51 69 (-10)	42 80 121 161 (+21)	20 34 49 55 (+7)	45 90 135 176 (-1)	37 72 111 154 (+1)	24 47 70 92 (+1)	25 56 86 121 (+6)	37 72 111 154 (+1)	37 72 111 154 (+1)	24,5 51,5 78 106,5 (+8,5)	6,2 10,2 16,5 23,8 (-3,8)	324 670 1 060 1 351 (+4)
6	17 210 32 810 48 150 63 270 1 570	20,78 20,78 20,82 20,83 20,72 20,72	16 35 53 61 77 92 (-10)	36 73 113 150 190 229 (+10)	16 33 45 59 (-1)	40 83 122 164 176 (-1)	35 73 110 153 203 253 322 393 418 508 588 670 754 833 935 1035 1150 1270 1405 (+57,3)	20 38 55 88 110 149 188 229 270 322 393 442 490 574 682 787 865 934 1035 1150 1270 1405 (+57,3)	30 55 88 110 153 203 253 322 393 442 490 574 682 787 865 934 1035 1150 1270 1405 (+57,3)	35 73 110 153 203 253 322 393 442 490 574 682 787 865 934 1035 1150 1270 1405 (+57,3)	25 40,5 74 103 137 169 223,5 284 350,2 418 488 588 670 787 865 934 1035 1150 1270 1405 (+470,5)	5 13,2 18 25 33 42 50,2 67 84 97,5 160,8 234,8 284,8 348 486 (+289,8)	317 676 1 019 1 352 1 698 1 955 2 231 2 520 2 824 3 173 3 470 3 848 (+289,8)	
7	17 210 32 810 48 150 63 270 1 570	20,78 20,78 20,82 20,83 20,72 20,72	16 35 53 61 77 92 (-10)	36 73 113 150 190 229 (+10)	16 33 45 59 (-1)	40 83 122 164 176 (-1)	35 73 110 153 203 253 322 393 418 508 588 670 754 833 935 1035 1150 1270 1405 (+57,3)	20 38 55 88 110 149 188 229 270 322 393 442 490 574 682 787 865 934 1035 1150 1270 1405 (+57,3)	30 55 88 110 153 203 253 322 393 442 490 574 682 787 865 934 1035 1150 1270 1405 (+57,3)	35 73 110 153 203 253 322 393 442 490 574 682 787 865 934 1035 1150 1270 1405 (+57,3)	25 40,5 74 103 137 169 223,5 284 350,2 418 488 588 670 787 865 934 1035 1150 1270 1405 (+470,5)	5 13,2 18 25 33 42 50,2 67 84 97,5 160,8 234,8 284,8 348 486 (+289,8)	317 676 1 019 1 352 1 698 1 955 2 231 2 520 2 824 3 173 3 470 3 848 (+289,8)	

Tabelle II. Einzelbeobachtungen für die Formänderungen der Säule 2b/1 (Versuch 2).

Reihe	Belastung kg	Zimmer- wärme C°	Beobachtungen für die Querdehnungen in 1/150.000 cm an Meßstelle (s. Abb. 13)				Querdehnungen in 1/150.000 cm				Krümmung der Seitenflächen in 1/150.000 cm	Zusammen- drückung auf 50 cm Länge in 1/100.000 cm	
			1	3	2	5	4	am Rande		in Mitte C			im Mittel am Rande
								A	B				
			I	3	2	5	4	I + 3	2 + 5	4	$\frac{A+B}{2}$	$\frac{1}{2} \left( 4 - \frac{A+B}{2} \right)$	
Messung am oberen Ende der Säule													
1	1 570	19,63	—	—	—	—	—	31	24	19	27,5	— 4,2	288
	17 210	19,67	8	23	+ 0	24	19	63	45	44	54	— 5	597
	32 810	19,69	11	52	— 2	47	44	96	70	73	83	— 5	1202
	48 150	19,61	18	78	— 5	75	73	132	97	109	114,5	— 2,7	1574
	63 270	19,63	24	108	— 11	108	109	168	128	147	148	+ 0,5	1803
	78 210	19,64	32	136	— 19	147	147	194	152	176	173	+ 1,5	(127)
	88 170	19,68	36	158	— 24	176	176	(26)	(30)	(24)	(28)	(— 2)	286
	1 570	19,64	(+ 24)	(+ 2)	(— 3)	(+ 33)	(+ 24)	26	30	18	28	— 5	599
	17 210	19,63	6	20	+ 1	29	18	61	45	46	53	— 3,5	916
	32 810	19,65	11	50	— 3	48	46	93	76	79	84,5	— 2,7	1227
2	48 150	19,62	15	78	— 6	82	79	129	99	106	114	— 4	1523
	63 270	19,62	19	110	— 10	109	106	159	128	146	143,5	+ 1,3	1727
	78 210	19,59	22	137	— 15	143	146	183	146	169	164,5	(— 2,2)	(21)
	88 170	19,62	26	157	— 20	166	169	(19)	(20)	(+ 13)	(19,5)	(— 3,2)	294
	1 570	19,62	(+ 18)	(+ 1)	(± 0)	(+ 20)	(+ 13)	23	29	21	26	— 2,5	614
	17 210	19,79	1	22	— 1	30	21	54	50	48	52	— 2	939
	32 810	19,93	2	52	— 4	54	48	88	72	80	80	0	1234
	48 150	19,96	4	84	— 7	79	80	120	95	114	107,5	+ 3,2	1531
	63 270	19,77	7	113	— 12	107	114	156	120	145	138	+ 3,5	1722
	78 210	19,70	13	143	— 20	140	145	175	139	168	157	+ 5,5	(15)
88 170	19,64	15	160	— 22	161	168	(+ 5)	(+ 6)	(9)	(5,5)	(— 1,8)	295	
1 570	19,63	(+ 2)	(+ 3)	(— 3)	(+ 9)	(9)	23	27	20	25	— 2,5	618	
3	17 210	21,14	—	—	—	—	—	23	27	20	25	— 4	939
	32 810	21,23	0	23	0	27	20	58	50	46	54	— 2	1250
	48 150	21,23	3	55	— 4	54	46	91	73	78	82	— 0,2	1549
	63 270	21,19	5	86	— 6	79	78	125	100	112	112,5	3,8	1778
	78 210	21,25	8	117	— 10	110	112	158	125	148	141,5	6	1964
	88 170	21,27	10	148	— 17	142	148	181	146	171	163,5	8,5	2184
	98 030	21,31	11	170	— 19	165	171	206	170	200	188	13,5	2423
	107 030	21,31	14	192	— 23	193	200	233	195	214	214	18,2	2676
	117 200	21,32	15	218	— 26	221	231	270	222	273	246	24,8	2918
	126 780	21,33	20	250	— 36	258	273	309	250	316	279,5		
136 190	21,42	24	285	— 45	295	316	347	282	364	314,5			
1 570	21,42	25	322	— 51	333	364							

Tabelle 12. Einzelbeobachtungen für die Formänderungen der Säule  $2b/2$  (Versuch 4).

Reihe	Belastung	Zimmer- wärme	Beobachtungen für die Querdehnungen in $1/150.000$ cm an Meßstelle (s. Abb. 13)					Querdehnungen in $1/150.000$ cm				Krümmung der Seitenflächen in $1/150.000$ cm	Zusammen- drückung auf 50 cm Länge in $1/150.000$ cm				
			Messung in Mitte der Säule					am Rande		in Mitte				im Mittel am Rande			
			1	2	3	4	5	A	B	C	$\frac{A+B}{2}$						
Nr.	kg	C°	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	$\frac{A+B}{2}$	$\frac{1}{2} \left( 4 - \frac{A+B}{2} \right)$	Messung am oberen Ende der Säule	
Messung in Mitte der Säule																	
1	1 570 17 210 32 810 48 150 1 570	18,94 18,30 18,93 18,33 18,32	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	17 210 32 810 48 150 1 570	18,37 18,44 18,49 18,51	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	17 210 32 810 48 150 1 570	18,57 18,66 18,76 18,86	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Messung am oberen Ende der Säule																	
4	1 570 17 210 32 810 48 150 63 270 1 570	19,50 19,40 19,43 19,56 19,56 19,65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	17 210 32 810 48 150 63 270 1 570	19,57 19,69 19,74 19,79 20,00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6	17 210 32 810 48 150 63 270 1 570	20,00 20,07 20,04 20,14 20,14	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7	17 210 32 810 48 150 78 210 88 170 98 030 107 730 117 030 126 780 136 190 145 500 1 570	20,19 20,20 20,26 20,34 20,40 20,44 20,53 20,70 20,72 20,74 20,70 20,70	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Tabelle 13. Einzelbeobachtungen für die Formänderungen der Säule  $2b\gamma_3$  (Versuch 6).

Reihe	Belastung kg	Zimmer- wärme C°	Beobachtungen für die Querdehnungen in $\frac{1}{150.000}$ cm an Meßstelle (s. Abb. 13)					Querdehnungen in $\frac{1}{150.000}$ cm am Rande			Krümmung der Seitenflächen in $\frac{1}{150.000}$ cm $\frac{1}{2} \left( 4 - \frac{A+B}{2} \right)$	Zusammen- druckung auf 50 cm Länge in $\frac{1}{100.000}$ cm
			1	2	3	4	5	in Mitte C		im Mittel am Rande $\frac{A+B}{2}$		
								A	B			
Messung in Mitte der Säule												
1	1 570	20,79	- 6	- 46	37	40	27	37	33,5	1,8	306	
	17 210	20,88	- 17	95	74	78	53	74	65,5	4,2	645	
	32 810	20,89	- 20	149	117	120	83	117	101,5	7,8	988	
	48 150	20,88	- 40	204	164	164	118	164	141,0	11,5	1342	
	63 270	20,86	(o)	(+ 17)	(+ 10)	(+ 17)	(+ 19)	(+ 19)	(+ 130,0)	(+ 3,0)	(+ 74)	
	1 570	20,89	- 11	- 47	38	36	29	38	32,5	2,8	312	
	17 210	20,92	- 22	99	75	77	56	75	66,5	4,2	640	
	32 810	20,96	- 34	150	114	116	87	114	101,5	6,2	975	
	48 150	20,96	- 42	199	157	157	122	159	139,5	9,8	1294	
	63 270	21,01	- 42	(+ 9)	(+ 13)	(+ 8)	(+ 13)	(+ 13)	(+ 8,5)	(+ 2,5)	(+ 5)	
2	1 570	20,96	- 11	- 51	37	40	29	37	34,5	1,3	314	
	17 210	20,99	- 24	104	77	80	53	77	66,5	5,3	661	
	32 810	21,07	- 35	153	116	118	81	116	99,5	8,2	984	
	48 150	21,07	- 43	205	162	162	120	159	141,0	13,0	1303	
	63 270	21,04	- 43	(+ 10)	(+ 11)	(+ 9)	(+ 6)	(+ 11)	(+ 7,5)	(+ 1,8)	(+ 1)	
	1 570	21,06	(- 1)	(+ 1)	(+ 1)	(+ 1)	(+ 1)	(+ 1)	(+ 1)	(+ 1)	(+ 1)	
	Messung am oberen Ende der Säule											
	3	1 570	20,99	- 6	- 28	27	34	18	27	26,0	0,5	314
		17 210	20,69	- 23	52	46	75	33	54	54,0	0,0	650
		32 810	20,69	- 31	79	82	110	48	83	79,0	2,0	985
48 150		20,67	- 43	105	148	148	65	113	106,5	3,2	1302	
63 270		20,69	(+ 3)	(+ 4)	(+ 5)	(+ 7)	(- 5)	(+ 9)	(+ 1,0)	(+ 2,4)	(+ 24)	
1 570		20,78	- 7	- 12	27	34	11	26	22,5	1,8	322	
17 210		20,83	- 22	55	48	77	29	55	53,0	1,0	663	
32 810		20,84	- 27	82	109	150	47	85	78,0	3,5	986	
48 150		20,81	- 39	110	103	149	71	115	110,0	2,5	1297	
63 270		20,81	(+ 3)	(+ 5)	(+ 11)	(+ 6)	(+ 6)	(+ 6)	(+ 7)	(- 0,5)	(+ 18)	
4	1 570	20,79	- 6	- 26	26	32	9	26	20,5	2,8	316	
	17 210	20,79	- 17	54	54	71	25	56	48,0	4,0	658	
	32 810	20,86	- 24	79	85	103	43	85	73,0	6,0	981	
	48 150	20,84	- 35	107	142	116	67	104,5	116	5,8	1292	
	63 270	20,79	- 35	(+ 7)	(+ 6)	(+ 2)	(- 2)	(+ 7)	(o)	(+ 3,5)	(+ 2)	
	1 570	20,79	- 10	- 48	26	32	11	26	24,5	0,8	320	
	17 210	20,73	- 10	54	54	73	25	54	49,0	2,5	662	
	32 810	20,88	- 28	82	84	100	46	84	77,5	3,2	987	
	48 150	20,91	- 38	108	144	114	69	114	107,5	3,2	1294	
	63 270	20,96	- 41	145	134	186	95	153	140,5	6,2	1670	
5	1 570	21,00	- 44	173	164	217	111	188	164,0	12,0	1847	
	17 210	21,00	- 44	209	203	258	140	231	199,0	10,0	2111	
	32 810	20,83	- 49	254	248	303	167	286	235,0	25,5	2386	
	48 150	20,89	- 46	295	292	341	196	339	268,5	35,2	2694	
	63 270	21,05	- 39	358	349	397	234	414	315,5	49,2	2993	
	1 570	21,05	- 39	420	420	459	282	370,5	370,5	67,2	3178	
	17 210	21,00	- 8	518	500	610	331	610	484,5	90,8	3468	
	32 810	21,08	- 8	(+ 142)	(+ 84)	(+ 144)	(+ 60)	(+ 189)	(+ 9,5)	(+ 47,3)	(+ 217)	
	48 150	21,19	(- 13)	(+ 142)	(+ 84)	(+ 144)	(+ 60)	(+ 189)	(+ 9,5)	(+ 47,3)	(+ 217)	

Tabelle 14. Einzelbeobachtungen für die Formänderungen der Säule 1a<sub>1</sub> (Versuch 7).

Reihe	Belastung	Zimmerwärme	Beobachtungen für die Querdehnungen in $\frac{1}{150\,000}$ cm an Meßstelle (s. Abb. I3)				Querdehnungen in $\frac{1}{150\,000}$ cm			Krümmung der Seitenflächen in $\frac{1}{150\,000}$ cm	Zusammen-drückung auf 50 cm Länge in $\frac{1}{100\,000}$ cm	
			1	2	3	4	am Rande		in Mitte			im Mittel am Rande
Nr.	kg	C°					A	B	C	$\frac{A+B}{2}$	$\frac{1}{2} \left( 4 - \frac{A+B}{2} \right)$	Messung am oberen Ende der Säule
Messung in Mitte der Säule												
1	1 570	21,53	—	—	—	—	45	40	46	42,5	1,8	—
	17 210	21,49	2	—	38	46	92	85	94	88,5	2,8	353
	32 810	21,50	3	—	88	94	133	131	147	132,0	7,5	739
	48 150	21,22	5	—	138	147	(1)	(7)	(15)	(5,0)	(5,0)	1146
	1 570	21,19	(6)	(—10)	(13)	(15)						(92)
2	17 210	21,29	—	1	39	41	39	40	41	39,5	0,8	346
	32 810	21,27	—	0	87	89	83	87	89	85,0	2,0	722
	48 150	21,40	—	—	133	136	124	141	136	127,5	4,3	1086
	1 570	21,43	(2)	(—6)	(5)	(3)	(1)	(—1)	(3)	(0)	(1,5)	(10)
	17 210	21,53	—	4	39	41	40	43	41	41,5	—	353
3	32 810	21,51	—	3	87	91	83	90	91	86,5	+2,3	731
	48 150	21,53	—	3	130	138	126	133	138	129,5	+4,3	1085
	1 570	21,48	(1)	(—3)	(4)	(4)	(4)	(1)	(4)	(2,5)	(0,8)	(4)
	17 210	21,53	—	4	39	41	40	43	41	41,5	—	353
	32 810	21,51	—	3	87	91	83	90	91	86,5	+2,3	731
4	17 210	20,03	—	—	—	—	41	43	55	42,0	6,5	—
	17 210	20,05	12	—	46	55	87	86	107	86,5	10,3	341
	32 810	20,10	21	—	97	107	137	130	161	133,5	13,8	697
	48 150	20,10	32	—	153	161	(7)	(11)	(13)	(9,0)	(2)	1054
	1 570	20,11	(0)	(3)	(8)	(13)						(31)
5	17 210	20,09	15	—	49	52	38	40	52	39,0	6,5	333
	32 810	20,06	27	—	102	105	86	83	105	84,5	10,3	691
	48 150	20,12	36	—	155	158	134	127	158	130,5	13,8	1042
	1 570	20,22	(2)	(—3)	(7)	(8)	(7)	(4)	(8)	(5,5)	(1,3)	(5)
	17 210	20,19	17	—	48	52	37	38	52	37,5	7,3	340
6	32 810	20,24	30	—	101	104	85	81	104	83,0	10,5	698
	48 150	20,27	39	—	152	154	133	125	154	129,0	12,5	1140
	1 570	20,19	(2)	(—4)	(4)	(3)	(0)	(0)	(3)	(0)	(1,5)	(9)
	17 210	20,19	16	—	49	52	37	42	52	39,5	6,3	340
	32 810	20,24	29	—	102	107	87	83	107	85,0	11,0	701
7	48 150	20,26	37	—	152	158	133	126	158	129,5	14,3	1043
	63 270	20,31	55	—	213	222	198	175	222	186,5	17,8	1431
	78 210	20,34	65	—	275	295	270	231	295	250,5	22,3	1831
	88 170	20,33	77	—	330	359	331	281	359	306,0	26,5	2131
	1 570	20,34	(8)	(46)	(25)	(54)	(49)	(31)	(54)	(40)	(7,0)	(142)

Messung am oberen Ende der Säule

Messung in Mitte der Säule

Tabelle 15. Einzelbeobachtungen für die Formänderungen der Säule 1a<sub>2</sub> (Versuch 9).

Reihe	Belastung kg	Zimmer- wärme C°	Beobachtungen für die Querdehnungen in $\frac{1}{150.000}$ cm an Meßstelle (s. Abb. 13)					Querdehnungen in $\frac{1}{150.000}$ cm am Rande				Krümmung der Seitenflächen in $\frac{1}{1.000.000}$ cm $\frac{1}{2} \left( 4 - \frac{A+B}{2} \right)$	Zusammen- drückung auf 50 cm Länge in $\frac{1}{1.000.000}$ cm		
			1	2	3	4	5	A	B	in Mitte C	im Mittel am Rande $\frac{A+B}{2}$				
1	1 570	20,00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	17 210	19,98	— 2	— 2	42	40	40	38	40	39,0	—	—	—	—	+ 332
	32 810	20,23	— 6	— 3	87	80	84	77	84	79,0	—	—	—	—	—
	48 150	20,28	— 11	— 5	136	126	132	121	132	123,0	—	—	—	—	—
	1 570	20,22	(— 1)	(— 7)	(8)	(16)	(13)	(7)	(9)	(8,0)	(2,5)	(4,5)	(2,5)	(4,5)	(—)
2	17 210	20,25	— 6	— 1	42	37	37	36	37	36,0	—	—	—	—	+ 321
	32 810	20,23	— 9	— 2	86	77	82	75	82	76,0	—	—	—	—	+ 670
	48 150	20,19	— 10	— 2	130	115	125	120	113	116,5	—	—	—	—	+ 1015
	1 570	20,37	(0)	(— 1)	(3)	(5)	(4)	(2)	(4)	(2,0)	(4,3)	(1,0)	(3,0)	(—)	(+ 30)
	17 210	20,22	— 6	— 1	43	38	37	37	37	37,0	—	—	—	—	+ 306
3	32 810	20,42	— 9	— 2	88	78	82	79	82	77,5	—	—	—	—	+ 659
	48 150	20,38	— 10	— 1	131	117	126	121	116	118,5	—	—	—	—	+ 989
	1 570	20,34	(+ 1)	(— 2)	(2)	(5)	(1)	(3)	(3)	(3)	(1,8)	(3,8)	(— 1,0)	(—)	(+ 9)
	17 210	20,49	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Messung in Mitte der Säule
	32 810	20,42	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Messung in Mitte der Säule
4	1 570	20,49	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Messung in Mitte der Säule
	17 210	20,49	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Messung in Mitte der Säule
	32 810	20,46	4	6	40	37	42	44	43	43,5	—	—	—	—	—
	48 150	20,49	12	6	80	84	87	92	90	91,0	—	—	—	—	—
	1 570	20,43	17	5	117	130	131	134	135	134,5	—	—	—	—	—
5	17 210	20,49	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Messung in Mitte der Säule
	32 810	20,42	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Messung in Mitte der Säule
	48 150	20,27	15	8	115	122	129	130	130	130,0	—	—	—	—	—
	1 570	20,34	(— 2)	(— 6)	(2)	(9)	(8)	(0)	(3)	(1,5)	(1,3)	(3,3)	(—)	—	—
	17 210	20,49	5	7	34	33	37	39	40	39,5	—	—	—	—	—
6	32 810	20,42	12	7	74	78	85	86	85	85,5	—	—	—	—	—
	48 150	20,30	16	8	115	122	129	130	130	130,0	—	—	—	—	—
	1 570	20,31	(— 1)	(— 2)	(3)	(4)	(4)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(3)
	17 210	20,39	7	8	35	31	34	42	39	40,5	—	—	—	—	—
	32 810	20,20	14	9	73	76	80	87	85	86,0	—	—	—	—	—
7	48 150	20,30	16	12	113	118	123	129	130	129,5	—	—	—	—	—
	1 570	20,31	(— 1)	(— 2)	(3)	(4)	(4)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(3)
	17 210	20,34	7	8	35	31	34	42	39	40,5	—	—	—	—	—
	32 810	20,41	14	8	74	75	79	88	83	85,5	—	—	—	—	—
	48 150	20,48	18	9	113	123	127	131	132	131,5	—	—	—	—	—
8	63 270	20,48	19	14	159	166	175	178	180	179,0	—	—	—	—	—
	78 210	20,44	23	16	207	216	226	230	232	231,0	—	—	—	—	—
	88 170	20,48	24	23	242	245	264	266	268	267,0	—	—	—	—	—
	98 030	20,57	22	30	283	282	304	305	312	308,5	—	—	—	—	—
	107 730	20,52	23	40	331	325	351	354	365	359,5	—	—	—	—	—
9	117 290	20,53	23	50	375	365	402	398	415	406,5	—	—	—	—	—
	1 570	20,54	(— 7)	(8)	(69)	(44)	(67)	(62)	(52)	(57,0)	(67)	(67)	(67)	(67)	(287)

Tabelle 16. Einzelbeobachtungen für die Formänderungen der Säule 1a<sub>3</sub> (Versuch 11).

Reihe	Belastung kg	Zimmer- wärme C°	Beobachtungen für die Querdehnungen in 1/1500000 cm an Meßstelle (s. Abb. 13)					Querdehnungen in 1/1500000 cm am Rande			Krümmung der Seitenflächen in 1/1500000 cm	Zusammen- drückung auf 50 cm Länge in 1/1000000 cm	
			1	3	2	5	4	in Mitte am Rande		in Mitte am Rande			
								A	B				C
Nr.								1 + 3	2 + 5	4		$\frac{1}{2} \left( 4 - \frac{A+B}{2} \right)$	
Messung am oberen Ende der Säule													
1	1 570	20,36	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	17 210	20,39	— 3	40	0	54	43	37	54	43	—	—	— 1,3
	32 810	20,32	— 8	81	4	109	86	73	113	86	—	—	— 3,5
	48 150	20,27	— 13	122	5	169	136	109	174	136	—	—	— 2,8
1 570	20,34	(+ 12)	(0)	(— 8)	(37)	(17)	(12)	(12)	(29)	(17)	(20,5)	(— 1,8)	(75)
2	17 210	20,47	— 5	35	0	59	45	30	59	45	—	—	— 0,3
	32 810	20,43	— 6	76	0	112	87	70	112	87	—	—	— 2,0
	48 150	20,42	— 9	117	1	160	132	108	161	132	—	—	— 1,3
	1 570	20,42	(+ 15)	(— 6)	(— 11)	(37)	(14)	(9)	(16)	(16)	(14)	(12,5)	(+ 0,8)
3	17 210	20,54	— 10	39	2	48	40	29	50	40	—	—	— 0,3
	32 810	20,46	— 16	80	6	100	80	64	106	80	—	—	— 2,5
	48 150	20,42	— 16	124	7	147	125	108	154	125	—	—	— 3,0
	1 570	20,49	(+ 10)	(— 1)	(— 6)	(14)	(5)	(9)	(8)	(5)	(8,5)	(— 1,8)	(17)
4	17 210	20,47	— 10	37	2	51	41	27	53	41	—	—	— 0,5
	32 810	20,48	— 12	79	3	99	84	67	102	84	—	—	— 0,3
	48 150	20,52	— 16	122	6	151	128	106	157	128	—	—	— 1,8
	63 270	20,53	— 19	168	8	207	179	149	215	179	—	—	— 1,5
78 210	20,54	— 23	217	9	265	227	194	274	227	—	—	— 3,5	
88 170	20,56	— 28	258	9	316	277	230	325	277	—	—	— 0,3	
98 030	20,57	— 30	298	9	356	321	268	365	321	—	—	— 2,3	
107 730	20,62	— 37	349	10	419	374	312	429	374	—	—	— 1,8	
147 200	20,64	— 40	403	5	485	435	363	490	435	—	—	— 4,3	
1 570	20,69	(+ 27)	(38)	(— 27)	(119)	(81)	(65)	(92)	(92)	(81)	(78,5)	(+ 1,3)	(272)

Tabelle 17. Einzelbeobachtungen für die Formänderungen der Säule 1b<sub>1</sub> (Versuch 8).

Reihe	Belastung kg	Zimmer- wärme C°	Beobachtungen für die Querdehnungen in 1/150.000 cm an Meßstelle (s. Abb. 13)				Querdehnungen in 1/150.000 cm am Rande				Krümmung der Seitenflächen in 1/1.000.000 cm $\frac{1}{2} \left( 4 \frac{A+B}{2} \right)$	Zusammen- drückung auf 50 cm Länge in 1/100.000 cm	
			1	2	3	4	A	B	in Mitte C	im Mittel am Rande			
Messung in Mitte der Säule													
1	1 570	19,94	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	17 210	19,92	8	43	43	48	48	51	34	48	42,5	—	2,8
	32 810	19,94	18	89	95	100	100	107	80	100	93,5	—	3,3
	48 150	20,02	29	135	149	153	153	164	125	153	144,5	—	4,3
1 570	20,02	(6)	(6)	(8)	(15)	(13)	(13)	(12)	(7)	(13)	(9,5)	(1,8)	(11,3)
2	17 210	20,00	8	43	43	46	46	51	37	46	44,0	—	1,0
	32 810	20,02	18	88	94	97	97	106	81	97	93,5	—	1,8
	48 150	20,02	25	130	144	147	147	155	125	147	140,0	—	3,5
	1 570	20,00	(4)	(1)	(2)	(6)	(3)	(3)	(15)	(4)	(3)	(4,5)	(-0,8)
3	17 210	20,03	7	41	41	46	46	48	36	46	42,0	—	2,0
	32 810	20,07	17	85	94	96	96	102	81	96	91,5	—	2,3
	48 150	20,12	21	127	142	144	144	148	124	144	136,0	—	4,0
	1 570	20,04	(1)	(0)	(4)	(1)	(1)	(1)	(1)	(2)	(1)	(1,5)	(-0,3)
Messung am oberen Ende der Säule													
4	1 570	20,19	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	17 210	20,08	8	43	37	32	32	51	29	32	40,0	—	4,0
	32 810	20,12	15	84	76	68	68	99	62	68	80,5	—	6,3
	48 150	20,13	17	124	111	103	103	141	95	103	118,0	—	7,5
1 570	20,18	(1)	(11)	(0)	(6)	(+4)	(12)	(6)	(4)	(4)	(9)	(-2,5)	(39)
5	17 210	20,30	11	38	12	35	35	49	28	35	38,5	—	1,8
	32 810	20,28	18	78	18	84	72	96	66	72	81,0	—	4,5
	48 150	20,14	24	112	24	109	109	136	100	109	118,0	—	4,5
	1 570	20,16	(7)	(0)	(7)	(15)	(9)	(7)	(8)	(9)	(7,5)	(+0,8)	(18)
6	17 210	20,26	9	38	10	39	33	47	29	33	38,0	—	2,5
	32 810	20,33	18	77	19	86	73	95	67	73	81,0	—	4,0
	48 150	20,40	25	110	29	126	109	135	97	109	116,0	—	3,5
	1 570	20,23	(8)	(-4)	(-10)	(17)	(11)	(4)	(7)	(11)	(5,5)	(+2,8)	(13)
7	17 210	20,23	8	39	10	38	31	47	28	31	37,5	—	3,3
	32 810	20,22	13	78	15	77	67	91	62	67	76,5	—	4,8
	48 150	20,29	18	112	20	111	99	130	91	99	110,5	—	5,8
	63 270	20,33	25	151	28	157	142	176	129	142	152,5	—	5,3
78 210	20,31	34	200	35	210	194	234	175	194	204,5	—	5,3	
88 170	20,29	47	252	46	264	249	299	218	249	258,5	—	4,8	
1 570	20,37	(14)	(32)	(-9)	(33)	(35)	(46)	(24)	(35)	(35,0)	(0)	(164)	



Tabelle 18. Einzelbeobachtungen für die Formänderungen der Säule 1b<sub>2</sub> (Versuch 10).

Reihe	Belastung kg	Zimmer- wärme C°	Beobachtungen für die Querdehnungen in 1/1500000 cm an Meßstelle (s. Abb. 13)					Querdehnungen in 1/1500000 cm am Rande				Krümmung der Seitenflächen in 1/1500000 cm $\frac{1}{2} \left( 4 \frac{A+B}{2} \right)$	Zusammen- drückung auf 50 cm Länge in 1/100000* cm	
			1	3	2	5	4	A	B	2+5	4			
Messung in Mitte der Säule														
Nr.	kg	C°	Beobachtungen für die Querdehnungen in 1/1500000 cm an Meßstelle (s. Abb. 13)					Querdehnungen in 1/1500000 cm am Rande				Krümmung der Seitenflächen in 1/1500000 cm $\frac{1}{2} \left( 4 \frac{A+B}{2} \right)$	Messung am oberen Ende der Säule	
			1	3	2	5	4	A	B	2+5	4			
1	1 570	19,80	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	17 210	19,92	3	34	0	53	47	37	53	47	—	45,0	1,0	366
	32 810	19,97	2	72	—1	113	101	74	112*	101	—	93,0	4,0	787
	48 150	20,00	2	122	—3	179	158	124	176	158	—	150,0	4,0	1217
	1 570	20,02	(3)	(9)	(—1)	(25)	(18)	(12)	(24)	(18)	—	(18,0)	(0)	(96)
	17 210	20,04	—1	31	—2	58	53	30	56	53	—	43,0	5,0	376
2	32 810	20,07	+4	75	—3	114	99	79	111	99	—	95,0	2,0	767
	48 150	20,09	7	121	—3	172	153	128	169	153	—	148,5	2,3	1139
	1 570	20,10	(5)	(4)	(—3)	(18)	(12)	(9)	(15)	(12)	—	(12,0)	(0)	(25)
	17 210	20,14	0	33	0	56	46	33	56	46	—	44,5	0,8	376
	32 810	20,16	3	74	—1	114	98	77	113	98	—	95,0	1,5	765
	48 150	20,17	4	121	—3	166	150	125	163	150	—	144,0	3,0	1137
1 570	20,22	(6)	(3)	(—4)	(12)	(6)	(9)	(8)	(6)	—	(8,5)	(—1,3)	(6)	
Messung am oberen Ende der Säule														
4	1 570	19,90	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	17 210	19,90	—10	34	6	40	43	24	46	43	—	35,0	4,0	334
	32 810	19,93	—14	75	10	72	86	61	82	86	—	71,5	7,3	693
	48 150	19,82	—16	116	11	104	128	100	115	128	—	107,5	10,3	1056
	1 570	19,92	(—4)	(7)	(—3)	(5)	(11)	(3)	(2)	(11)	—	(2,5)	(4,3)	(31)
	17 210	19,83	—10	32	9	35	38	22	44	38	—	33,0	2,5	331
5	32 810	19,90	—12	71	12	68	80	59	80	80	—	69,5	5,3	691
	48 150	19,90	—14	113	14	98	123	99	112	123	—	105,5	8,8	1039
	1 570	19,80	(—5)	(3)	(—1)	(2)	(4)	(—2)	(1)	(4)	—	(—0,5)	(2,3)	(5)
	17 210	19,84	—7	32	12	33	38	25	45	38	—	35,0	1,5	337
	32 810	19,88	—8	72	14	67	81	64	81	81	—	72,5	4,3	697
	48 150	19,89	—7	112	15	100	123	105	115	123	—	110,0	6,5	1043
1 570	19,92	(+5)	(1)	(—1)	(7)	(6)	(6)	(6)	(6)	—	(6,0)	(0)	(9)	
7	17 210	19,90	—6	30	8	40	41	24	48	41	—	36,0	2,5	335
	32 810	19,88	—7	73	10	73	84	66	83	84	—	74,5	4,8	697
	48 150	19,86	—10	114	12	104	126	104	116	126	—	110,0	8,0	1043
	63 270	20,94	—14	152	10	148	170	138	158	170	—	148,0	11,0	1419
	78 210	20,01	—24	196	6	196	225	172	202	225	—	187,0	19,0	1837
	88 170	20,09	—32	236	4	232	276	204	236	276	—	220,0	28,0	2172
98 030	20,12	—38	278	2	272	319	240	274	319	—	257,0	31,0	2504	
107 730	20,00	—46	325	—2	321	378	279	319	378	—	299,0	39,5	2855	
117 290	19,93	—55	380	—6	374	445	325	368	445	—	346,5	49,3	3228	
1 570	19,97	(—22)	(67)	(—6)	(74)	(92)	(45)	(68)	(92)	—	(56,5)	(17,8)	(377)	

Tabelle 19. Einzelbeobachtungen für die Formänderungen der Säule 1b<sub>3</sub> (Versuch 12).

Reihe	Belastung kg	Zimmer- wärme C°	Beobachtungen für die Querdehnungen in 1/1500000 cm an Meßstelle (s. Abb. 13)					Querdehnungen in 1/1500000 cm am Rande			Krümmung der Seitenflächen in 1/1500000 cm $\frac{1}{2} \left( 4 - \frac{A+B}{2} \right)$	Zusammen- drückung auf 50 cm Länge in 1/100000 cm										
			1	3	2	5	4	A	B	im Mittel C			im Mittel am Rande $\frac{A+B}{2}$									
Messung in Mitte der Säule																						
1	1 570	19,25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	17 210	19,45	—2	27	—	44	40	—	40	25	42	40	—	33	—	3	—	—	—	—	—	344
	32 810	19,24	—3	64	—	88	86	—	86	61	83	86	—	72	—	7	—	—	—	—	—	729
	48 150	19,39	—5	107	—	136	138	—	138	102	129	138	—	116	—	11	—	—	—	—	—	1125
	1 570	19,46	(—1)	(7)	(—1)	(13)	(15)	(—1)	(15)	(+6)	(+6)	(12)	(+15)	(+9)	(+9)	(3)	—	—	—	—	—	—
2	17 210	19,44	—1	25	—	43	37	—	37	24	41	37	—	32	—	3	—	—	—	—	—	345
	32 810	19,43	—2	62	—	86	81	—	81	60	81	81	—	71	—	5	—	—	—	—	—	704
	48 150	19,52	—4	104	—	128	128	—	128	100	120	128	—	110	—	9	—	—	—	—	—	1058
	1 570	19,54	(+1)	(6)	(0)	(6)	(4)	(+4)	(+5)	(+5)	(6)	(6)	(+4)	(5)	(—1)	(—1)	—	—	—	—	—	(11)
	17 210	19,48	—3	22	—	39	36	—	36	19	36	36	—	28	—	4	—	—	—	—	—	343
3	32 810	19,51	—4	58	—	82	80	—	80	54	76	80	—	65	—	8	—	—	—	—	—	795
	48 150	19,57	—6	101	—	123	124	—	124	95	116	124	—	105	—	10	—	—	—	—	—	1058
	1 570	19,32	(+2)	(2)	(1)	(0)	(1)	(+1)	(+4)	(+4)	(—1)	(+1)	(+1)	(2)	(0)	(0)	—	—	—	—	—	(2)
	Messung am oberen Ende der Säule																					
	4	1 570	19,93	—1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
17 210		19,90	—0	30	—	24	37	—	37	29	24	37	—	26	—	5	—	—	—	—	—	340
32 810		19,98	—0	67	—	63	77	—	77	67	56	77	—	61	—	8	—	—	—	—	—	799
48 150		19,93	—1	104	—	99	117	—	117	103	91	117	—	97	—	10	—	—	—	—	—	1075
1 570		19,92	(+1)	(+2)	(+3)	(8)	(6)	(+6)	(+3)	(+3)	(+1)	(6)	(+7)	(+7)	(—1)	(—1)	—	—	—	—	—	(24)
5	17 210	19,97	—3	31	—	23	34	—	34	28	21	34	—	25	—	5	—	—	—	—	—	347
	32 810	19,84	—0	67	—	59	76	—	76	67	50	76	—	58	—	9	—	—	—	—	—	708
	48 150	19,89	—2	105	—	94	115	—	115	107	83	115	—	95	—	10	—	—	—	—	—	1062
	1 570	19,92	(+1)	(+4)	(—1)	(3)	(8)	(+8)	(+5)	(+5)	(+2)	(8)	(+4)	(14)	(2)	(2)	—	—	—	—	—	(16)
	17 210	19,94	—3	27	—	23	30	—	30	24	20	30	—	22	—	4	—	—	—	—	—	337
6	32 810	20,01	+1	65	—	59	71	—	71	66	51	71	—	58	—	7	—	—	—	—	—	704
	48 150	19,93	+2	103	—	95	111	—	111	105	83	111	—	94	—	9	—	—	—	—	—	1050
	1 570	19,84	(0)	(2)	(0)	(5)	(—1)	(—1)	(—1)	(2)	(5)	(—1)	(3)	(3)	(—2)	(—2)	—	—	—	—	—	(6)
	17 210	20,08	—2	27	—	22	35	—	35	25	19	35	—	22	—	6	—	—	—	—	—	347
	32 810	20,18	—0	64	—	59	75	—	75	64	50	75	—	57	—	9	—	—	—	—	—	707
7	48 150	20,13	+2	102	—	92	116	—	116	104	79	116	—	91	—	12	—	—	—	—	—	1053
	63 270	20,23	—2	144	—	133	161	—	161	146	118	161	—	132	—	15	—	—	—	—	—	1424
	78 210	20,22	—4	189	—	180	220	—	220	193	165	220	—	179	—	21	—	—	—	—	—	1834
	88 170	20,14	—5	226	—	221	266	—	266	231	207	266	—	219	—	23	—	—	—	—	—	2146
	98 030	20,10	—7	268	—	270	325	—	325	275	257	325	—	266	—	29	—	—	—	—	—	2446
107 730	19,84	—7	317	—	329	381	—	381	324	319	381	—	322	—	29	—	—	—	—	—	2797	
117 290	19,83	—3	370	—	395	458	—	458	373	394	458	—	383	—	38	—	—	—	—	—	3135	
1 570	19,92	(+5)	(+70)	(+27)	(114)	(101)	(+101)	(+75)	(+75)	(+141)	(+101)	(+101)	(108)	(108)	(—3)	(—3)	—	—	—	—	—	(397)

Tabelle 20. Einzelbeobachtungen für die Formänderungen der Säule 1a<sub>1</sub>' (Versuch 13).

Reihe	Belastung kg	Zimmer- wärme C°	Beobachtungen für die Querdehnungen in 1/150000 cm an Meßstelle (s. Abb. 13)				Querdehnungen in 1/150000 cm am Rande				Krümmung der Seitenflächen in 1/150000 cm $\frac{1}{2} \left( 4 - \frac{A+B}{2} \right)$	Zusammen- drückung auf 50 cm Länge in 1/100000 cm			
			1	2	3	4	A	B	in Mitte C				im Mittel am Rande $\frac{A+B}{2}$		
Messung am oberen Ende der Säule															
1	1 570	19,74	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	17 210	19,84	30	—30	—24	+0	—2	—54	—14	—14	0	—28	—357	—14	357
	32 810	19,83	101	—33	+16	+3	+91	—17	—17	—17	3	+37	760	—17	760
	48 150	19,74	142	—83	+76	+4	218	+60	+68	+68	4	+139	1140	—68	1140
	1 570	19,83	(+52)	(—10)	(+92)	(+1)	(+130)	(+82)	(—53)	(—53)	(+1)	(+106)	(+121)	(+121)	(+121)
2	17 210	19,83	34	—20	—26	+12	+14	—37	0	0	+12	—12	337	0	337
	32 810	19,90	66	—11	—32	—9	+55	—38	—9	—9	—9	+9	710	—23	710
	48 150	19,93	86	+12	—17	—1	+98	—5	—5	—5	—5	+47	1070	(+1)	1070
	1 570	19,98	(+3)	(—22)	(—2)	(—4)	(—19)	(+7)	(+7)	(+7)	(—4)	(—6)	(+8)	(+8)	(+8)
	Messung in Mitte der Säule														
Messung am oberen Ende der Säule															
3	1 570	20,32	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	17 210	20,24	40	—24	—15	—12	+16	—15	—12	—12	—12	+1	—	—7	363
	32 810	20,12	81	—18	—22	—9	+63	—22	—9	—9	—9	+21	738	—15	738
	48 150	20,13	101	+1	—13	+3	+102	—13	+3	+3	+3	+45	1102	—21	1102
	1 570	20,13	(+12)	(—4)	(+3)	(—6)	(+8)	(+8)	(+8)	(+8)	(+8)	(+4)	(+4)	(+26)	(+26)
4	17 210	20,14	42	—17	—16	—7	+25	—17	—7	—7	—7	+4	360	—5	360
	32 810	20,14	71	—4	—20	0	+67	—21	—9	—9	+23	—	732	—12	732
	48 150	20,25	95	+16	—9	+17	+111	—10	+17	+17	+51	—	1086	—17	1086
	1 570	20,42	(+7)	(—1)	(+5)	(+2)	(+6)	(+6)	(+6)	(+6)	(+2)	(+5)	(+5)	(+14)	(+14)
	Querdehnungsmesser neu angesetzt; Messung am oberen Ende der Säule														
5	17 210	20,28	+40	—13	—19	—6	+27	—21	—6	—6	—6	3	358	(—5)	358
	32 810	20,21	72	—2	—22	0	+70	—24	0	0	23	—	729	—12	729
	48 150	20,22	92	+23	—17	+16	115	—19	+16	+16	48	—	1090	—16	1090
	63 270	20,23	121	77	+25	66	198	+23	66	66	111	—	1468	—23	1468
	78 210	20,26	189	229	—6	124	418	+118	151	151	268	—	1899	—59	1899
88 170	20,30	245	379	—11	246	624	235	248	248	430	—	2268	—91	2268	
98 030	20,32	293	531	—12	434	824	422	414	414	623	—	2620	—105	2620	
1 570	20,30	(+119)	(+279)	(—6)	(+209)	(+398)	(+229)	(+209)	(+209)	(+209)	(+314)	(+314)	(+264)	(+264)	

Tabelle 21. Einzelbeobachtungen für die Formänderungen der Säule 1a' (Versuch 14).

Reihe	Belastung kg	Zimmer- wärme C°	Beobachtungen für die Querdehnungen in $\frac{1}{150000}$ cm an Meßstelle (s. Abb. 13)				Querdehnungen in $\frac{1}{150000}$ cm am Rande				Krümmung der Seitenflächen in $\frac{1}{150000}$ cm $\frac{1}{2} \left( 4 - \frac{A+B}{2} \right)$	Zusammen- drückung auf 50 cm Länge in $\frac{1}{100000}$ cm		
			1	2	3	4	in Mitte		im Mittel am Rande					
							A	B	C	$\frac{A+B}{2}$				
Messung am oberen Ende der Säule														
1	1 570	19,17	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	17 210	19,20	5	0	50	47	47	46	46	47	47	47	47	345
	32 810	19,17	11	0	106	94	83	83	106	94	94	95	95	731
	48 150	19,23	15	0	160	141	125	125	160	141	141	142	142	1133
	1 570	19,33	(-1)	(+3)	(+11)	(+10)	(+10)	(+10)	(+10)	(+14)	(+10)	(+12)	(+12)	(+79)
2	17 210	19,34	6	0	50	47	47	45	50	47	47	47	47	348
	32 810	19,31	12	0	99	89	81	81	99	89	89	90	90	716
	48 150	19,28	15	-1	151	134	117	117	150	134	134	134	134	1073
	1 570	19,29	(0)	(0)	(+3)	(+3)	(+4)	(+4)	(+3)	(+3)	(+3)	(+3)	(+3)	(+19)
	17 210	19,32	5	1	48	46	43	43	49	46	46	46	46	345
3	32 810	19,33	11	1	99	87	79	79	100	87	87	89	89	709
	48 150	19,34	14	1	144	131	114	114	145	131	131	130	130	1064
	1 570	19,38	-1	(+2)	(-1)	(+2)	(+2)	(+2)	(+1)	(+2)	(+2)	(+2)	(+2)	(+11)
	17 210	19,41	5	0	50	45	43	43	50	45	45	46	46	341
	32 810	19,42	12	0	99	88	80	80	99	88	88	89	89	711
4	48 150	19,50	15	-1	149	132	114	114	148	132	132	131	131	1066
	63 270	19,48	18	-2	204	185	155	155	202	185	185	179	179	1450
	78 210	19,38	23	-5	269	246	213	213	264	246	246	238	238	1868
	88 170	19,32	23	-6	312	289	252	252	306	289	289	279	279	2188
	98 030	19,33	27	-7	361	336	301	301	354	336	336	327	327	2506
	107 730	19,32	33	-4	423	398	366	366	419	398	398	393	393	2846
	117 290	19,33	44	-2	489	469	447	447	487	469	469	467	467	3219
	1 570	19,41	(+11)	(+15)	(+60)	(+84)	(+116)	(+116)	(+75)	(+84)	(+84)	(+95)	(+95)	(+322)
	17 210	19,41	5	0	50	45	43	43	50	45	45	46	46	341
	32 810	19,42	12	0	99	88	80	80	99	88	88	89	89	711
48 150	19,50	15	-1	149	132	114	114	148	132	132	131	131	1066	
63 270	19,48	18	-2	204	185	155	155	202	185	185	179	179	1450	
78 210	19,38	23	-5	269	246	213	213	264	246	246	238	238	1868	
88 170	19,32	23	-6	312	289	252	252	306	289	289	279	279	2188	
98 030	19,33	27	-7	361	336	301	301	354	336	336	327	327	2506	
107 730	19,32	33	-4	423	398	366	366	419	398	398	393	393	2846	
117 290	19,33	44	-2	489	469	447	447	487	469	469	467	467	3219	
1 570	19,41	(+11)	(+15)	(+60)	(+84)	(+116)	(+116)	(+75)	(+84)	(+84)	(+95)	(+95)	(+322)	

Tabelle 22. Einzelbeobachtungen für die Formänderungen der Säule 1a<sub>3</sub> (Versuch 15).

Reihe	Belastung kg	Zimmer- wärme C°	Beobachtungen für die Querdehnungen in 1/150.000 cm an Meßstelle (s. Abb. 13)					Querdehnungen in 1/150.000 cm am Rande			Krümmung der Seitenfläche in 1/150.000 cm $\frac{1}{2} \left( 4 - \frac{A+B}{2} \right)$	Zusammen- druckung auf 50 cm Länge in 1/100.000 cm	
			1	3	2	5	4	in Mitte C		im Mittel am Rande $\frac{A+B}{2}$			
								A	B				
Messung in Mitte der Säule													
1	1 570	18,38	— 14	29	— 16	55	41	— 15	71	41	43,0	— 1,0	400
	17 210	18,39	— 19	70	25	122	90	51	137	90	94,0	— 2,0	812
	32 810	18,43	— 27	114	34	166	137	87	200	137	143,5	— 3,3	1227
	48 150	18,63	(6)	(0)	(8)	(21)	(7)	(6)	(29)	(7)	(17,5)	(— 5,3)	(112)
	1 570	18,58	— 16	29	12	54	41	13	66	41	39,5	0,8	390
2	17 210	18,73	— 25	69	22	102	84	44	124	84	84,0	0	771
	32 810	18,80	— 32	115	27	148	131	83	175	131	129,0	1,0	1145
	48 150	18,80	(0)	(— 1)	(— 2)	(3)	(0)	(— 1)	(1)	(0)	(0)	(0)	(12)
	1 570	18,83	— 15	30	13	52	41	15	65	41	40,0	0,5	402
	17 210	18,79	— 25	70	22	102	85	45	124	85	84,5	+ 0,3	777
3	32 810	18,83	— 31	116	29	150	131	85	179	131	132,0	— 0,5	1148
	48 150	18,83	(0)	(0)	(0)	(3)	(2)	(0)	(3)	(2)	(1,5)	(0,3)	(10)
	1 570	18,83	— 12	15	18	47	38	3	65	38	34,0	— 2,0	340
	17 210	19,22	— 18	34	23	81	68	16	104	68	60,0	4,0	699
	32 810	19,32	— 21	57	23	117	103	36	140	103	88,0	7,5	1047
4	48 150	19,28	(+ 1)	(— 2)	(+ 1)	(7)	(2)	(— 1)	(8)	(2)	(3,5)	(— 0,8)	(26)
	1 570	19,23	— 12	16	17	39	37	4	56	37	30,0	3,5	339
	17 210	19,44	— 15	37	21	78	70	22	99	70	60,5	4,8	699
	32 810	19,52	— 15	63	21	120	109	48	141	109	94,5	7,3	1052
	48 150	19,38	(12)	(1)	(0)	(13)	(10)	(13)	(13)	(10)	(13)	(— 1,5)	(11)
5	1 570	19,38	— 14	14	17	38	35	0	55	35	27,5	3,8	338
	17 210	19,41	— 17	35	21	77	68	18	98	68	58,0	5,0	698
	32 810	19,44	— 14	60	19	120	105	46	139	105	92,5	6,3	1050
	48 150	19,48	(12)	(— 2)	(— 2)	(13)	(8)	(10)	(11)	(8)	(10,5)	(— 1,3)	(5)
	1 570	19,41	— 15	15	17	36	33	0	53	33	26,5	3,3	342
6	17 210	19,44	— 18	37	21	73	67	19	94	67	56,5	5,3	706
	32 810	19,42	— 17	60	21	110	100	43	131	100	87,0	6,5	1051
	48 150	19,49	— 20	81	24	157	137	61	181	137	121,0	8,0	1422
	63 270	19,49	— 19	107	29	202	172	88	231	172	159,5	6,3	1829
	78 210	19,52	— 21	133	40	238	198	112	278	198	195,0	1,5	2145
7	88 170	19,42	— 23	156	56	287	225	133	343	225	238	— 6,5	2461
	98 030	19,43	— 24	180	93	366	255	156	459	255	307,5	— 26,3	2823
	107 730	19,52	— 24	200	134	459	286	184	593	286	388,5	— 51,3	3159
	117 200	19,61	(— 1)	(15)	(118)	(130)	(27)	(14)	(248)	(27)	(131,0)	(— 52,0)	(327)
	1 570	19,63	— 15	15	17	36	33	0	53	33	26,5	3,3	342

Tabelle 23. Querdehnungen der Säulen bei wachsender Belastung. Die Beobachtungen begannen von 1570 kg Anfangs-(Null-)Last ab. I. Eisenbewehrte Säulen.

Ver- such Nr.	Zeichen der Säule	Form der Säule	Geprüft in Reihe		Gemessen in Mitte der Säule							Gemessen am oberen Ende der Säule																										
			Nr.	bei Alter in Tagen	17 210	32 810	48 150	63 270	1570	17 210	32 810	48 150	63 270	1570	17 210	32 810	48 150	63 270	1570	17 210	32 810	48 150	63 270	1570														
1	2 <sub>a1</sub>		1	27									18	37	57	81																						
			2	27									18	38	57	80																						
			3	27									18	37	57	81																						
			4	28									17	35	54	76																						
3	2 <sub>a2</sub>	lang, ohne Kopf	1 <sup>1)</sup>	27	25	51	78																															
			2 <sup>1)</sup>	27	24	50	76																															
			3 <sup>1)</sup>	27	26	51	76																															
			4	28										20	40	59	80	4																				
			5	28										20	41	62	84	7																				
			6	28										19	41	61	84	5																				
			7	28										19	41	62	84									108	127				149	172	200	229	265	310		
5	2 <sub>a3</sub>	Kopf	1	27	17	34	54	80	6																													
			2	27	15	32	52	75	2																													
			3	27	15	32	52	75	1																													
			4	28										19	39	59	81																					
			5	28										20	41	61	84	1																				
			6	28										21	41	63	87	3																				
			7	28										20	40	61	85									113	141			191	234	327	448	610	1056	511		
2	2 <sub>b1</sub>		1	27																																		
			2	27																																		
			3	27																																		
			4	28																																		
4	2 <sub>b2</sub>	lang, mit Kopf	1 <sup>1)</sup>	27	20	45	69		4																													
			2 <sup>1)</sup>	27	23	45	66		1																													
			3 <sup>1)</sup>	27	23	45	68		0																													
			4	28																																		
			5	28																																		
			6	28																																		
			7	28																																		
6	2 <sub>b3</sub>	Kopf	1	27	24	47	73	102	11																													
			2	27	24	47	72	100	7																													
			3	27	24	48	72	100	6																													
			4	28																																		
			5	28																																		
			6	28																																		

1) Die Querdehnungen sind nur in der Mitte der Breite gemessen, die Werte sind daher mit den übrigen nicht streng vergleichbar.



Tabelle 24 (Fortsetzung). **Querdehnungen der Säulen bei wachsender Belastung.**  
 Die Beobachtungen begannen von 1570 kg Anfangs-(Null-)Last ab.  
**II. Säulen ohne Eisenbewehrung.**

Versuch Nr.	Zeichen der Säule	Form der Säule	Geprüft		Gemessen in der Mitte der Säule				Gemessen am oberen Ende der Säule													
			in Reihe Nr.	bei Alter in Tagen	17210	32810	48150	1570	Querdehnung in cm 10 <sup>-5</sup> bei den folgenden Belastungen in kg													
									17210	32810	48150	1570	63270	78210	88170	98030	107730	117290	1570			
13	1 a'₁	1,3 m lang, ohne Kopf	1	28	—	—	—	—	—9	+13	48	36	—	—	—	—	—	—	—	—		
			2		—	—	—	—	0	15	—3	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
			3		—	—	—	—	—4	4	16	—1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			4		—	—	—	—	—1	8	23	+2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			5		—	—	—	—	—1	8	21	—	59	140	226	346	—	—	—	—	[174]	
14	1 a'₂	1,3 m lang, ohne Kopf	1	28	—	—	—	—	31	63	94	7	—	—	—	—	—	—	—	—		
			2		—	—	—	—	31	60	89	2	—	—	—	—	—	—	—	—		
			3		—	—	—	—	31	59	87	1	121	161	189	221	264	312	60	—	—	
			4		—	—	—	—	30	59	88	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
15	1 a'₃	Kopf	1	27	28	61	94	8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
			2		27	56	87	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			3		27	57	88	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			4		—	—	—	—	24	43	64	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			5		—	—	—	—	22	44	68	8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			6		—	—	—	—	21	42	66	6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			7		—	—	—	—	20	41	62	—	86	110	131	154	188	225	53	—	—	—



Tabelle 25. Längenabnahme der Säulen bei wachsender Belastung.  
Die Beobachtungen begannen von 1570 kg Anfangs-(Null)-Last ab.  
I. Eisenbewehrte Säulen.

Ver- such Nr.	Zeichen der Säulen	Form der Säule	Geprüft		Gemessen am Ende der Säule										Gemessen in der Mitte der Säule																					
			in Reihe Nr.	bei Alter in Tagen	Längenabnahme in $\frac{1}{10} \cdot 10^{-5}$ auf 50 cm Meßlänge bei den folgenden Belastungen in kg										Längenabnahme in $\frac{1}{10} \cdot 10^{-5}$ auf 50 cm Meßlänge bei den folgenden Belastungen in kg																					
					17210	32810	48150	63970	1570	32810	48150	63970	1570	78210	88170	1570	98030	107730	117290	126780	136190	145500	1570													
1	2a <sub>1</sub>		1	27	—	—	—	—	—	—	588	1234	1904	2598	—	3300	3792	238	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—				
			2	27	—	—	—	—	—	—	616	1280	1944	2586	—	3210	3624	42	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—				
			3	27	—	—	—	—	—	—	612	1294	1960	2598	—	3208	3624	10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
			4	28	—	—	—	—	—	—	638	1314	1988	2648	—	3284	3710	—	4148	4626	5134	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
3	2a <sub>2</sub>	lang, ohne Kopf	1	27	558	1170	1790	—	—	—	—	—	—	74	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—				
			2	27	572	1166	1748	—	—	—	—	—	—	—	10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
			3	27	582	1184	1750	—	—	—	—	—	—	—	8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
			4	28	—	—	—	—	—	—	—	626	1300	1950	2626	74	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
			5	28	—	—	—	—	—	—	638	1316	1974	2610	26	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
			6	28	—	—	—	—	—	—	634	1320	1982	2610	8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
			7	28	—	—	—	—	—	—	642	1330	1998	2624	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
5	2a <sub>3</sub>	Kopf	1	27	660	1384	2144	2960	176	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
			2	27	674	1426	2152	2874	24	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
			3	27	686	1444	2176	2874	8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			4	28	—	—	—	—	—	—	650	1340	2028	2722	58	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			5	28	—	—	—	—	—	—	626	1328	2014	2678	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			6	28	—	—	—	—	—	—	648	1352	2040	2702	8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			7	28	—	—	—	—	—	—	634	1352	2038	2704	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
2	2b <sub>1</sub>		1	27	—	—	—	—	—	576	1194	1866	2524	—	3148	3606	254	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
			2	27	—	—	—	—	—	—	572	1198	1832	2454	—	3046	3454	42	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
			3	27	—	—	—	—	—	—	588	1228	1858	2468	—	3062	3444	30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			4	28	—	—	—	—	—	—	590	1236	1878	2500	—	3098	3556	—	3928	4368	4846	5352	5836	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
4	2b <sub>2</sub> lang, mit Kopf	2 m	1	27	598	1254	1942	—	—	—	—	—	—	144	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
			2	27	608	1234	1850	—	—	—	—	—	—	—	30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
			3	27	590	1228	1848	—	—	—	—	—	—	—	10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
			4	28	—	—	—	—	—	—	—	628	1282	1930	2614	104	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			5	28	—	—	—	—	—	—	632	1290	1934	2576	22	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			6	28	—	—	—	—	—	—	636	1302	1950	2582	20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			7	28	—	—	—	—	—	—	642	1306	1952	2590	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
6	2b <sub>3</sub>	Kopf	1	27	612	1290	1976	2684	148	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
			2	27	624	1298	1950	2588	10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
			3	27	628	1322	1968	2606	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			4	28	—	—	—	—	—	—	628	1300	1970	2604	48	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			5	28	—	—	—	—	—	—	644	1326	1972	2594	36	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			6	28	—	—	—	—	—	—	632	1316	1962	2584	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			7	28	—	—	—	—	—	—	640	1324	1974	2588	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	



Tabelle 26 (Fortsetzung). **Längenabnahme der Säulen bei wachsender Belastung.**  
 Die Beobachtungen begannen von 1570 kg Anfangs-(Null-)Last ab.  
**II. Säulen ohne Eisenbewehrung.**

Versuch Nr.	Zeichen der Säule	Form der Säule	Geprüft		Gemessen am Ende der Säule				Gemessen in der Mitte der Säule											
			in Reihe Nr.	bei Alter in Tagen	17210	32810	48150	1570	17210	32810	48150	1570	63270	78210	88170	98030	107730	117290	1570	
																				Längenabnahme in $\frac{0}{10} \cdot 10^{-5}$ auf 50 cm Meßlänge bei den folgenden Belastungen in kg
13	Ia <sub>1</sub>	1,3 m	1						714	1520	2280	242								
			2					674	1420	2140	16									
			3	28					726	1476	2204	52								
			4						720	1464	2172	28								
			5						716	1458	2180	—	2936	3798	4536	5240	—	—	—	[528]
14	Ia <sub>2</sub>	lang, ohne	1						690	1462	2266	158								
			2					696	1432	2146	38									
			3	28					690	1418	2128	22								
			4						682	1422	2132	—	2900	3736	4376	5012	5692	6438	644	
15	Ia <sub>3</sub>	Kopf	1			800	1624	2454	224											
			2			780	1542	2290	24											
			3	27		804	1554	2206	20											
			4							680	1398	2094	52							
			5							678	1398	2104	22							
			6	28						676	1396	2100	10							
			7							684	1412	2102	—	2844	3658	4290	4922	5646	6318	654

Tabelle 27. Mittlere Querdehnungen der Säulen Reihe A bei wachsender Belastung.

Die Beobachtungen begannen von 1570 kg Anfangs-(Null-)Last ab.  
Bei Umrechnung der mittleren Beobachtungswerte (Tab. 23 u. 24) ist die Meßlänge = 27 cm zugrunde gelegt.

Nr. des Versuchs	Geprüft nach Verfahren	Bezeichnung der Säulen	Art der Säulen	Länge der Säulen	Querdehnungen in $\frac{1}{10} \cdot 10^{-5}$ , gemessen an der Säule															
					in der Mitte					bei den folgenden Belastungen in kg					am oberen Ende					
					17210	32810	48150	63270	17210	32810	48150	63270	78210	88170	107730	117290	126780	136190	145500	
3	a	2a	2	ohne Kopf	(93)	(189)	(285)	—	74	152	226	308	400	470	552	637	740	850	981	1149
I	b		1		—	67	137	208	296	392	464	530	625	740	—	—	—	—	—	—
5	c		3		—	74	148	226	312	418	521	707	866	1210	1660	2260	3910	—	—	—
Mittel					[59]	[122]	[196]	—	72	146	220	305	403	485	596	709	897	[1255]	[1621]	[2530]
4	a	2b	2	mit österreichischem Kopf s. Abb. 6	82	167	252	—	30	78	137	208	315	396	496	621	777	960	1225	1505
2	b		1		—	56	122	196	274	356	415	478	548	640	734	836	—	—	—	—
6	c		3		—	89	174	266	374	63	130	200	274	363	434	530	645	751	900	1080
Mittel					85	170	259	[374]	50	110	178	252	345	415	501	605	733	865	1047	[1393]
7	a	1a	1	unbe- wehrt	104	218	334	—	115	237	356	504	674	821	—	—	—	—	—	—
11	b		3		—	—	—	—	—	107	215	330	444	570	685	789	919	1065	—	—
9	c		2		—	93	196	304	—	96	212	318	437	562	655	755	880	1000	—	—
Mittel					99	207	319	—	106	221	335	462	603	720	[772]	[900]	[1033]	—	—	—
8	a	1b	1	unbe- wehrt	111	237	356	—	89	185	274	363	493	626	—	—	—	—	—	—
12	b		3		—	85	185	296	—	74	167	256	363	493	600	730	867	1038	—	—
10	c		2		—	115	241	374	—	93	192	289	392	508	611	711	837	978	—	—
Mittel					104	221	342	—	85	181	273	373	498	609	[721]	[852]	[1008]	—	—	—
13	a	1a'	1	ohne Kopf	—	—	—	—	(-11)	(26)	(93)	(218)	(519)	(837)	(1280)	—	—	—	—	—
15	b		3		—	100	215	334	—	81	159	241	318	408	485	570	696	835	—	—
14	c		2		—	—	—	—	—	112	222	334	449	596	700	819	978	1155	—	—
Mittel					[100]	[215]	[334]	—	96	190	288	383	502	593	695	837	995	—	—	—

Tabelle 28. **Mittlere Längenabnahme der Säulen Reihe A bei wachsender Belastung.**  
Die Beobachtungen begannen von 1570 kg Anfangs-(Null-)Last ab.

Nr. des Versuchs	Geprüft nach Verfahren	Bezeichnung der Säulen	Art der Säulen	Länge der Säulen m	Längenabnahme — $\lambda$ in $\% \cdot 10^{-5}$ gemessen an der Säule																
					am oberen Ende					in der Mitte											
					bei den folgenden Belastungen in kg																
					17 210	32 810	48 150	63 270	78 210	88 170	98 030	107 730	117 290	126 780	136 190	145 500					
3	a	2a	ohne Kopf	Mit Eisenbe- wehrt	571	1173	1763	—	635	1316	1976	2618	3264	3738	4230	4748	5240	5716	6218	6754	
1	b				—	614	1280	1949	2608	3250	3688	4148	4626	5134	—	—	—	—	—	—	—
5	c				673	1418	2157	2903	—	639	1343	2030	2702	3396	3910	4462	5058	5648	6346	6960	7696
	Mittel				622	1295	1960	[2903]	629	1313	1985	2643	3303	3779	4280	4811	5341	[6031]	[6589]	[7225]	
4	a	2b	mit öster- reichischem Kopf s. Abb. 6	—	599	1239	1880	—	634	1295	1942	2591	3250	3760	4260	4786	5362	5926	6530	7090	
2	b				—	582	1214	1858	2486	3088	3515	3928	4368	4846	5352	5836	—	—	—	—	—
6	c				621	1303	1965	2626	—	636	1316	1969	2592	3220	3694	4222	4772	5248	5806	6356	6936
	Mittel				610	1271	1923	[2626]	617	1275	1923	2556	3186	3656	4137	4642	5152	5695	6241	[7009]	
7	a	1a	ohne Kopf	—	701	1461	2211	—	677	1393	2152	2862	3662	4262	—	—	—	—	—	—	
11	b				—	632	1306	1984	2678	3406	3926	4490	5118	5742	—	—	—	—	—	—	
9	c				639	1329	2004	—	691	1432	2140	2880	3734	4308	4904	5586	6190	—	—	—	—
	Mittel				670	1395	2108	—	667	1377	2092	2807	3601	4165	[4697]	[5352]	[5966]	—	—	—	
8	a	1b	mit Kopf	un- be- wehrt	732	1529	2333	—	728	1508	2252	3016	3882	4664	—	—	—	—	—	—	
12	b				688	1425	2161	—	685	1414	2115	2848	3668	4292	4892	5594	6270	—	—	—	—
10	c				745	1546	2329	—	668	1389	2090	2838	3674	4344	5008	5710	6456	—	—	—	—
	Mittel				722	1500	2274	—	694	1437	2152	2901	3741	4433	[4950]	[5652]	[6363]	—	—	—	
13	a	1a'	ohne Kopf	—	—	—	—	—	710	1468	2195	2936	3798	4536	5240	—	—	—	—		
15	b				795	1573	2347	—	680	1401	2100	2844	3658	4290	4922	5646	6318	—	—	—	—
14	c				—	—	—	—	690	1434	2168	2900	3736	4376	5012	5692	6438	—	—	—	—
	Mittel				795	1573	2347	—	693	1434	2154	2893	3731	4401	5058	[5669]	[6378]	—	—		

Tabelle 29. Mittlere Längenabnahme  $\varepsilon_l$  und Querdehnung  $\varepsilon_q$  für die Längeneinheit sowie deren Verhältnis  $\varepsilon_l/\varepsilon_q$ .

Die mittleren Beobachtungswerte Tabelle 27 und 28 erhöht um die durch Extrapolation erhaltenen Formänderungen für die Anfangs-(Null)Belastung von 1570 kg.

Zeichen der Säulen	Art der Säulen	Länge der Säulen m	Lage der Meßstellen	Längenabnahme $\varepsilon_l \cdot 10^{-7}$			Querdehnung $\varepsilon_q \cdot 10^{-7}$			Verhältnis $\varepsilon_l/\varepsilon_q = m$		
				bei den folgenden Belastungen in kg						bei den folgenden Belastungen in kg		
				17 210	32 810	48 150	17 210	32 810	48 150	17 210	32 810	48 150
2a	ohne Kopf	bewehrt	in der Mitte am Ende	695	1379	2051	67	130	204	10,4	10,6	10,0
				687	1360	2025	78	152	226	8,8	8,9	9,0
2by	mit Kopf (s. Abb. 6)	2,0	in der Mitte am Ende	681	1339	1987	93	178	267	7,3	7,5	7,4
				674	1335	1987	56	119	185	12,0	11,2	10,7
1a	ohne Kopf	un- bewehrt	in der Mitte am Ende	712	1422	2137	111	218	330	6,4	6,5	6,5
				740	1465	2178	119	233	344	6,2	6,3	6,3
1b	mit Kopf	1,3	in der Mitte am Ende	766	1509	2224	115	233	352	6,7	6,5	6,3
				797	1575	2349	93	189	281	8,6	8,3	8,4
1a'	ohne Kopf			733	1474	2194	111	226	344	6,6	6,5	6,4
				873	1651	2425	106	200	298	8,2	8,3	8,1

Tabelle 30. Ergebnisse der Druckversuche Reihe A mit bewehrten und unbewehrten Säulen und den zugehörigen Beton-Würfeln.

Sämtliche Proben sind bei 28 Tagen Alter geprüft.

Nr. des Ver- suchs	Geprüft nach Ver- fahren <sup>3)</sup>	Bezeich- nung der Säulen <sup>1)</sup>	Art der Säulen	Länge der Säulen m	Proben gefertigt bei mittlerer		Bruchbelastung		Verhältnis der Festigkeit Säule zu Würfel $\frac{P}{P_1} \cdot 100\%$	Bruchverlauf bei den Säulen	
					Zimmer- Wärme C°	relativer Luft- feuchtig- keit %	der Säulen P kg	des zugehörigen Würfels P <sub>1</sub> kg			
1	b	2a	Ohne Kopf	Mit Eisen be- wehrt	2,0	15,3	27	204 500	223 200 226 000	91	Druckpyramiden am oberen (zuletzt gestampften) Säulenende. (s. Abb. 17)
3	a					16,8	28	206 700	219 100	94	
5	c					15,0	54	179 100	219 100	82	
Mittel						15,7	36	196 800	221 900	89	
2	b	2by	Mit öster- reichischem Kopf (s. Abb. 6)	unbe- wehrt	2,0	15,1	28	265 900	221 900	120	Am oberen Ende des Säulenschafes; bei Versuch 4 und 6 unmittelbar unter dem Kopf. (s. Abb. 19)
4	a					16,0	47	219 700	220 500	99	
6	c					16,9	50	218 800	213 600	102	
Mittel						16,0	42	234 800	218 700	107	
7	a	1a	Ohne Kopf	unbe- wehrt	1,3 <sup>2)</sup>	17,0	53	154 700	206 800	75	Druckpyramiden am oberen Säulen- ende. (s. Abb. 20 und 21)
9	c					15,0	42	172 500	206 800	83	
11	b					16,8	45	178 800	216 400	83	
Mittel						16,3	47	168 700	210 000	80	
8	a	1b	Mit Kopf	unbe- wehrt	1,3 <sup>2)</sup>	14,8	44	140 900	224 600	63	Ausgeprägte Doppelpyramide, die eine Grundfläche im Uebergange vom Schaft zum Kopf. (s. Abb. 22 und 23)
10	c					19,0	33	166 600	205 400	81	
12	b					18,7	57	166 300	205 400	81	
Mittel						17,5	45	157 900	211 800	75	
13	a	1a'	Ohne Kopf	unbe- wehrt	1,3 <sup>2)</sup>	18,6	56	151 000	179 000	84	Druckpyramide am oberen Säulen- ende. (s. Abb. 24)
14	c					18,3	56	164 800	217 700	76	
15	b					16,8	71	158 100	210 900	75	
Mittel						17,9	61	158 000	202 500	78	

1) s. Arbeitsplan Seite 7. 2) Gleich Schaftlänge der Säulen 2by und 1b mit Kopf (s. Versuche 2, 4, 6, 8, 10 u. 12). 3) s. Seite 11.

## Versuchsreihe B.

Am 29. Februar 1912 fand vor Abschluß der vorbesprochenen Versuche eine Besichtigung der bis dahin geprüften sechs bewehrten Säulen 2 a und 2 b  $\gamma$  durch einige Mitglieder des Unterausschusses statt. Der Umstand, daß auch bei diesen Versuchen der Bruch wieder durch Pyramidenbildung über der Druckfläche bei den Säulen ohne Kopf (s. Abb. 17) oder am Uebergang vom Kopf zum Schaft (s. Abb. 19) eingeleitet war, führte wiederum zur eingehenden Erörterung der Frage, ob die Zerstörung der Säulen ohne Kopf unmittelbar über der Druckfläche darauf zurückzuführen sei, daß der Beton oder Mörtel zwischen den Endflächen der Längseisen und der Druckfläche zuerst zerstört werde und dann Sprengwirkungen äußere.

Die Vertreter dieser Anschauung glaubten eine besondere Stütze darin finden zu sollen, daß sich bei der Säule 2 a<sub>3</sub> auf der einen Druckfläche in zwei Ecken (s. Abb. 18) Risse zeigten, die von den Längseisen ausgingen, während die beiden anderen Ecken gänzlich abgebrochen waren. Demgegenüber wurde vom Berichterstatter darauf hingewiesen, daß der Beton oder die Abgleichschicht an den Stellen über den Längseisen aus der Endfläche der Säule meßbar herausgetreten war, daß also nach außen rückwirkende Kräfte nach dem Freiwerden der Druckfläche ausgelöst sein mußten. Unter Beachtung dieser Erscheinung könne die Entstehung der Risse in den Ecken der Druckfläche damit erklärt werden, daß die zusammengedrückten Längseisen beim Entlasten des Versuchsstückes bei dessen Zerstörung mehr zurückfederten als der zerstörte Beton und daß die Eisen hierbei den über ihren Endflächen gelegenen Beton unter Entstehung der Risse nach außen aus der Druckfläche herausdrängten.

Als weiterer Beweis dafür, daß die Brüche am Kopf nicht darauf zurückzuführen sind, daß das über den Endflächen der Längseisen gelegene Material bei seiner Zerstörung Sprengwirkungen ausübt, möge Abb. 18 a gelten. Diese Abbildung stellt den Bruch einer Säule dar, die zu einer anderen Versuchsreihe geprüft ist. Man erkennt deutlich die Ausbildung von Druckkegeln über den Längseisen, das Abplatzen des Betons außerhalb der Längseisen. Dieses Abplatzen erstreckt sich aber auf viel zu große Länge, als daß man seine Ursache der Sprengwirkung der Druckkegel sollte zuschreiben können, und der rechte Kegel steckt sogar noch zum Teil in nicht abgeplatzttem Material.

Zur Aufklärung des Sachverhaltes wurde die Ausführung weiterer Versuche beschlossen.

### I. Arbeitsplan.

Die weiter beschlossenen Versuche umfaßten:

1. 3 Versuche mit etwa 2 m langen bewehrten Säulen ohne Kopf; die Bewehrung wie bei den bereits geprüften Säulen, die Endflächen der Längseisen aber bündig mit den Druckflächen der Säulen bearbeitet, so daß sie die Druckbelastung unmittelbar, d. h. ohne vorgelagerten Mörtel, aufnahmen. Die Säulen sind mit 2 a  $\alpha$  bezeichnet.
2. 3 Druckversuche mit Betonwürfeln von 30 cm Kantenlänge, in deren Achse ein Rundeisen von 3 cm Durchmesser eingestampft war, wobei die Endflächen des Rundeisens je 10 cm von den Druckflächen abstanden.
3. 3 Druckversuche mit dem Eisengerippe ohne Beton.

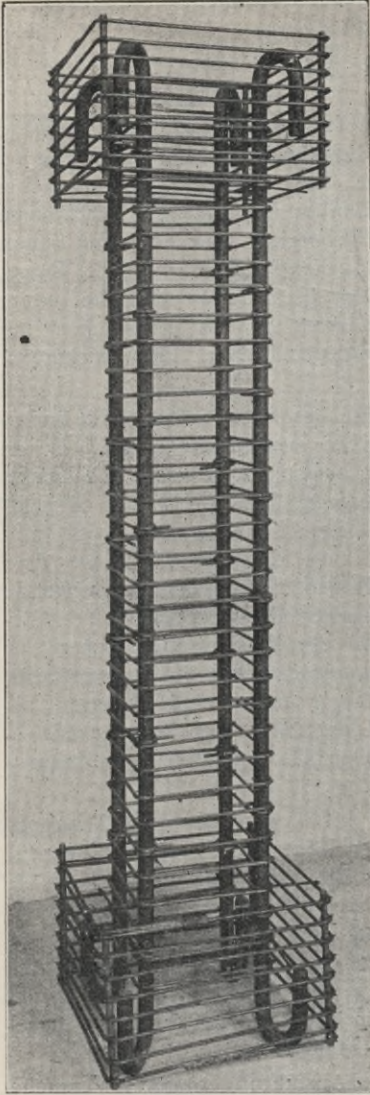


Abb. 26. Bewehrung der Säulen nach Moersch.

4. 3 Druckversuche mit 2 m langen bewehrten Säulen ohne Kopf. Hierbei war an beiden Enden über dem letzten Umfangsbügel, der 5 cm von den Endflächen der Längseisen entfernt lag (s. Abb. 3 und 8), noch ein Bügel eingelegt. Die Enden dieser Bügel waren nicht wie bei den übrigen um ein Längseisen gehakt, sondern verschweißt. Die Länge des Bügel Eisens betrug hierzu etwa  $\frac{5}{4}$  des Bügelumfanges. Diese besonderen Endbügel wurden tunlichst bündig mit den Endflächen der Längseisen eingelegt. Die Säulen sind mit 2 a  $\beta$  bezeichnet.
5. 3 Druckversuche mit 2 m langen bewehrten Säulen mit Kopf nach dem früheren Vorschlage von Mörsch (s. Plan S 3, unter 2 b  $\beta$ ). Hierbei wurden aber die Querbügel des Schaftes (s. Abb. 5 b) gegen den ersten Entwurf (vergl. die Bügelanordnung Abb. 5 a) um vier vermehrt, so daß an jedem Ende noch zwei Bügel in dem Kopf zu liegen kamen (s. a. Abb. 26). Die Spiralbewehrungen für die Säulenköpfe sind von der Firma Wayß & Freitag unentgeltlich hergegeben. Die Enden der Spiraleisen waren verschweißt. Die Säulen sind mit 2 b  $\beta$  2 bezeichnet.
6. 3 Druckversuche mit Säulen ohne Bewehrung, Länge gleich der Schaftlänge der Säulen nach Mörsch, gleich 1,0 m. Die Säulen sind mit 1 a'' bezeichnet. Außerdem sind
7. 3 Druckversuche mit 1,3 m langen bewehrten Säulen ohne Kopf an gestellt, die eine Ergänzung der Versuche 13—15 Tab. 30 mit den 1,3 m langen unbewehrten Säulen 1 a' bilden. Diese Säulen sind mit 2 a'  $\alpha$  bezeichnet. Die Endflächen ihrer Längseisen lagen wie bei den vorstehend unter 1 genannten Säulen bündig mit der Druckfläche.

## II. Die Herstellung der Säulen.

Die Anfertigung der Säulen erfolgte in gleicher Weise wie bei den Säulen zu Reihe A, Tab. 30. Gleichzeitig mit den Säulen wurde wieder je ein Würfel zur Ermittlung der Betonfestigkeit gefertigt.

Um zu erreichen, daß bei den Säulen zu 1 und 7 die Endflächen der Eisen bündig mit den Druckflächen lagen, wurde unten in die Form ein Eisenblech von 0,5 cm Dicke eingelegt, das entsprechend der Anordnung der Längseisen mit vier Bohrungen von 30 mm Durchmesser versehen war. In die Bohrungen wurden die Längseisen eingeführt, so daß sie nach dem Stampfen der Säule etwa 0,5 cm aus der Endfläche herausragten. Gleicherart wurde das obere Säulenende hergerichtet. Die Endflächen der vier Längseisen wurden dann unter Zuhilfenahme einer Richtplatte durch Schaben so bearbeitet, daß sie tunlichst in einer Ebene



und senkrecht zur Achse der Säule lagen. Zur Ergänzung des Betons wurden schließlich beide Endflächen der Säulen zwischen parallelstehenden gehobelten Eisenplatten mit Gips abgeglichen und diese Gipsschicht mit einem scharfkantigen Lineal so weit abgeschabt, bis ihre Oberfläche mit den bearbeiteten Endflächen der Längseisen bündig lag.

### III. Festigkeitsversuche mit den Säulen.

#### 1. Die Längenänderungen und Querdehnungen.

Mit Rücksicht auf die geringe verfügbare Zeit — die Versuche mußten bei 28 Tagen Alter der Proben bis zum 30. April abgeschlossen sein — mußte bei einem Teil der Säulen von Bestimmung der Formänderungen bei wachsender Be-

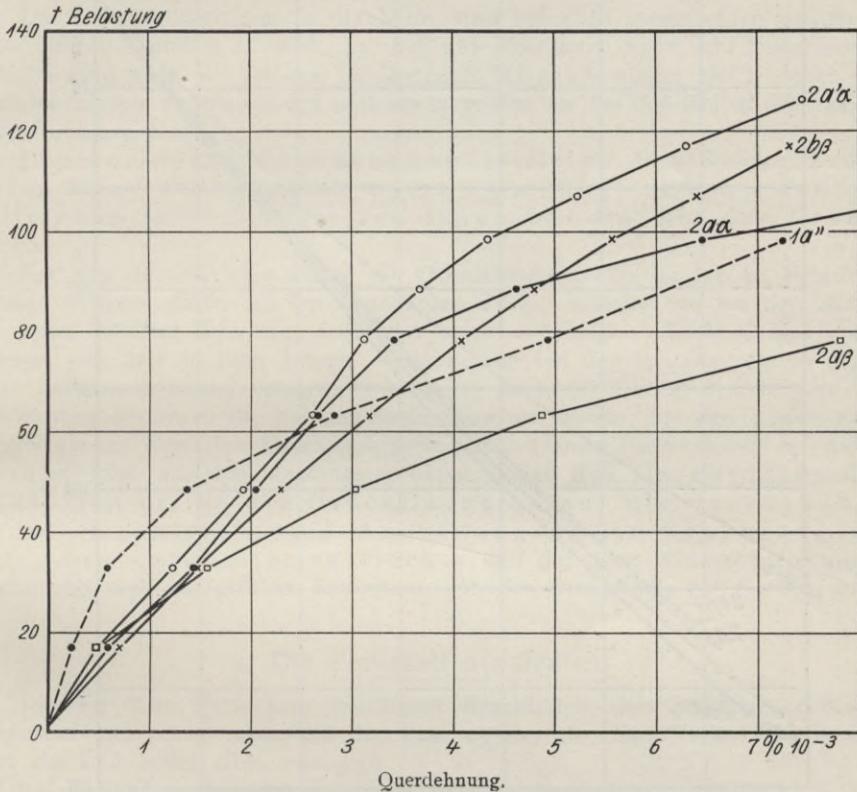


Abb. 27. Querdehnung der Säulen am oberen Ende. (Reihe B.)

— bewehrte Säulen; ●, ○, □ ohne Kopf; × mit Kopf; Längen: ● = 1,9 m, ○ = 1,3 m, □ und × = 2,0 m. - - - unbewehrte Säulen; Länge = 1,0 m.

lastung Abstand genommen werden. Soweit Messungsergebnisse vorliegen, sind die Einzelbeobachtungen in gleicher Weise wie bei den Versuchen aus Reihe A in Tab. 31—40 zusammengestellt. Die aus den Beobachtungen für die einzelnen Beobachtungsreihen berechneten Querdehnungen und Längenänderungen zeigen Tab. 41, 41 a, 42 und 42 a.

Die Mittelwerte sind schließlich in Tab. 43 und 44 gegenübergestellt und in Abb. 27 und 28 zu Schaulinien aufgetragen. Die Darstellungsweise der letzteren ist die gleiche wie bei Abb. 14 und 15 für Reihe A. Die vollausgezogenen Linien gelten für bewehrte, die punktierte Linie gilt für unbewehrte Säulen. Hierbei stellen die vier ersteren die Mittel aus je zwei Versuchen dar, während die punktierte für einen Einzelversuch gilt.

Aus dem Verlauf der punktierten Linie Abb. 27 ergibt sich, daß die Querdehnung der unbewehrten 1 m langen Säule in der Nähe der Endfläche bei geringen Belastungen außerordentlich klein war; von 50000 kg ab nahm sie aber sehr schnell zu und, wie ein Vergleich mit Abb. 14 zeigt, erreichte sie bei 80000 kg den gleichen Wert, der in Reihe A für die beiden unbewehrten Säulen von 1,3 und 2 m Länge erhalten ist.

Die Längenabnahme in der Mitte ist nach Abb. 28 bei den 1 m langen unbewehrten Säulen ohne Kopf von Beginn des Versuches ab wesentlich größer als bei allen vier bewehrten

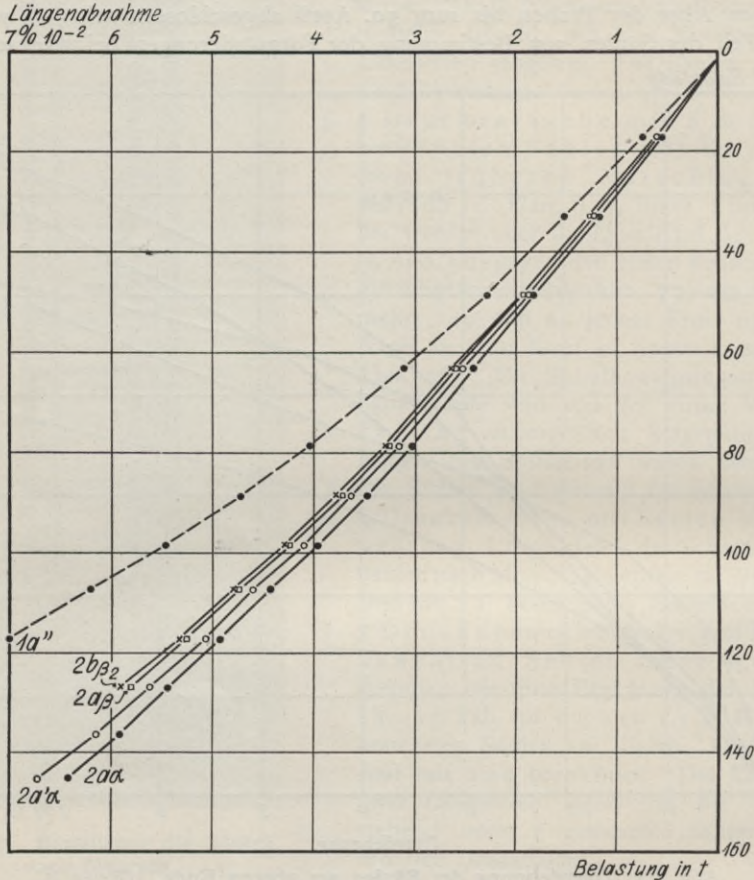


Abb. 28. Längenabnahme der Säulen in der Mitte. (Reihe B.)

— bewehrte Säulen; ●, ○, □ ohne Kopf; × mit Kopf; Längen: ● = 1,9 m, ○ = 1,3 m, □ und × = 2,0 m. - - - unbewehrte Säulen; Länge = 1,0 m.

Säulen der Reihe B, und, wie der Vergleich mit Abb. 15 zeigt, auch größer als bei den unbewehrten 1,3 m und 2 m langen Säulen der Reihe A.

Von den bewehrten Säulen der Reihe B (Abb. 27) weist die 2 m lange Säule 2aβ ohne Kopf die größte Querdehnung auf, obgleich bei dieser Säule noch ein besonderer geschweißter Bügel um die Enden der Längseisen gelegt war, der etwa 1,0 cm von der Druckfläche abstand.

Die bewehrten Säulen 2bβ<sub>2</sub>, die mit Köpfen nach Mörsch (Abb. 26) versehen waren, erlitten, wie der Vergleich von Abb. 27 mit 14

ergibt, 10 cm vom Uebergange des Schaftes in den Kopf bei den gleichen Belastungen größere Querdehnungen als die mit den österreichischen Köpfen versehenen Säulen 2bγ; erst bei 120000 kg ist die Querdehnung bei beiden gleichgroß. Auffallend übereinstimmend ist die Querdehnung der nach Mörsch mit Kopf versehenen Säule mit der in gewöhnlicher Weise bewehrten Säule 2a (Reihe A, Abb. 14) ohne Kopf bis zu 80000 kg Belastung; bei höheren Belastungen ist sie bei der Säule mit Kopf geringer. Die Kopfform nach Mörsch hat hiernach die Querdehnung bei Belastungen unter 80000 kg nicht zu beeinflussen vermocht, dagegen scheint ihr Einfluß auf die Querdehnung bei Belastungen über 120000 kg sogar größer zu sein als bei dem österreichischen Kopf.

Die Längenänderungen in der Mitte sind bei allen untersuchten bewehrten Säulen Reihe A und B (s. Abb. 15 und 28) überhaupt nicht sehr verschieden; immerhin sind auch sie bei den Säulen nach Mörsch wieder gleich denen der bewehrten Säulen 2a ohne Kopf und etwas größer als bei den Säulen mit österreichischem Kopf.

Die geringste Querdehnung erlitten bei Reihe B die Säulen 2a'α; diese Säulen waren 1,3 m lang, bewehrt und die Endflächen ihrer Längseisen lagen bündig mit der Druckfläche.

Bei den Säulen 2aα waren die Querdehnungen bis 62000 kg Belastung nur um weniges größer als bei den Säulen 2a'α, während sie bei den Säulen 2aα unter höherer Belastung auffallend stark zunahm. Beide Säulen unterscheiden sich nur in ihrer Länge, diese beträgt bei den letzteren 1,9 m gegen 1,3 m bei den ersteren; dementsprechend lag auch der Querschnitt, in dem die Querdehnung gemessen ist, bei den Säulen 2aα nur 10 cm, bei den Säulen 2a'α dagegen 40 cm von den Druckflächen entfernt. Unter Berücksichtigung dieses Umstandes folgt aus den Messungsergebnissen, daß das Durchführen der Längseisen bis an die Druckfläche heran, die Querdehnung von allen untersuchten Anordnungen der Bewehrung am besten hintanzuhalten vermochte und daß diese Wirkung bei geringen Belastungen auch auf größere Entfernung von der Druckfläche zur Geltung kam.

## 2. Die Festigkeit der Säulen.

Die bei den Versuchen ermittelten Bruchlasten der zusammengehörigen Betonwürfel und Säulen enthalten die Tab. 45 und 46. Den Verlauf der Brüche zeigen die Lichtbilder Abb. 29—33 b.

Sämtliche Versuche sind nach dem Seite 11 beschriebenen Verfahren b ausgeführt. Die Bruchbelastungen der drei gleichartigen Säulen weichen aber auch bei dieser Reihe wie bei Reihe A (s. Tab. 30) z. T. recht erheblich von einander ab.

Betrachtet man zunächst den Bruchverlauf, so zeigt sich:

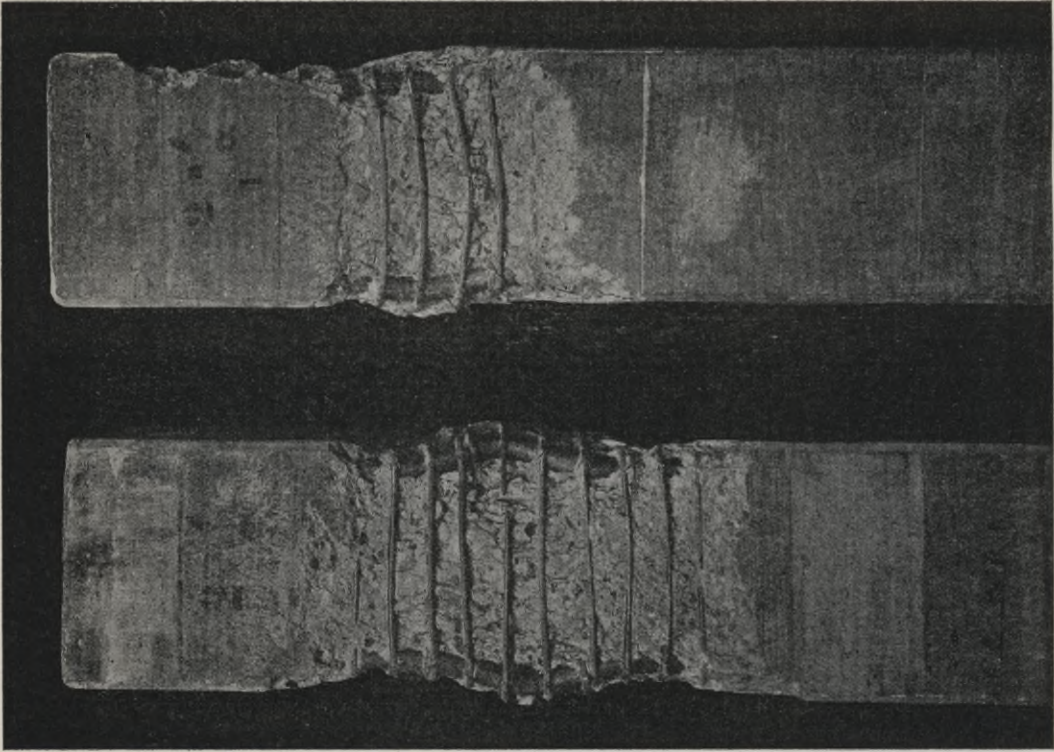
1. Weder das Abschleifen der Längseisen, bündig mit den Druckflächen (Säulen 2a'α, Abb. 29a und b und 2aα, Abb. 30) noch das Einlegen eines besonderen geschweißten Bügels möglichst bündig mit den Endflächen der Längseisen (Säulen 2aβ, Abb. 31) hat verhindern können, daß der Bruch der Säulen durch Bildung der normalen Druckpyramiden über den oberen Druckflächen erfolgte.

Bei den Versuchen 17 und 18 mit den Säulen 2a'α (2 und 3) (Abb. 29 a und b) liegt die Bruchstelle zwar nicht am Ende, die Bruchfestigkeiten dieser beiden Säulen sind aber erheblich geringer als bei Versuch 16, bei dem Pyramidenbildung über der Druckfläche eintrat (s. Abb. 29 a). Es erscheint hiernach nicht ausgeschlossen, daß die



Bruchlast = 240 850 kg

Abb. 29 b, Säule 2a  $\alpha_9$  (Versuch 18)  
1,3 m lang, in gewöhnlicher Weise bewehrt.  
Die Endflächen der Längseisen liegen bündig mit den Druckflächen.



Bruchlast = 248 910 kg

= 271 100 kg

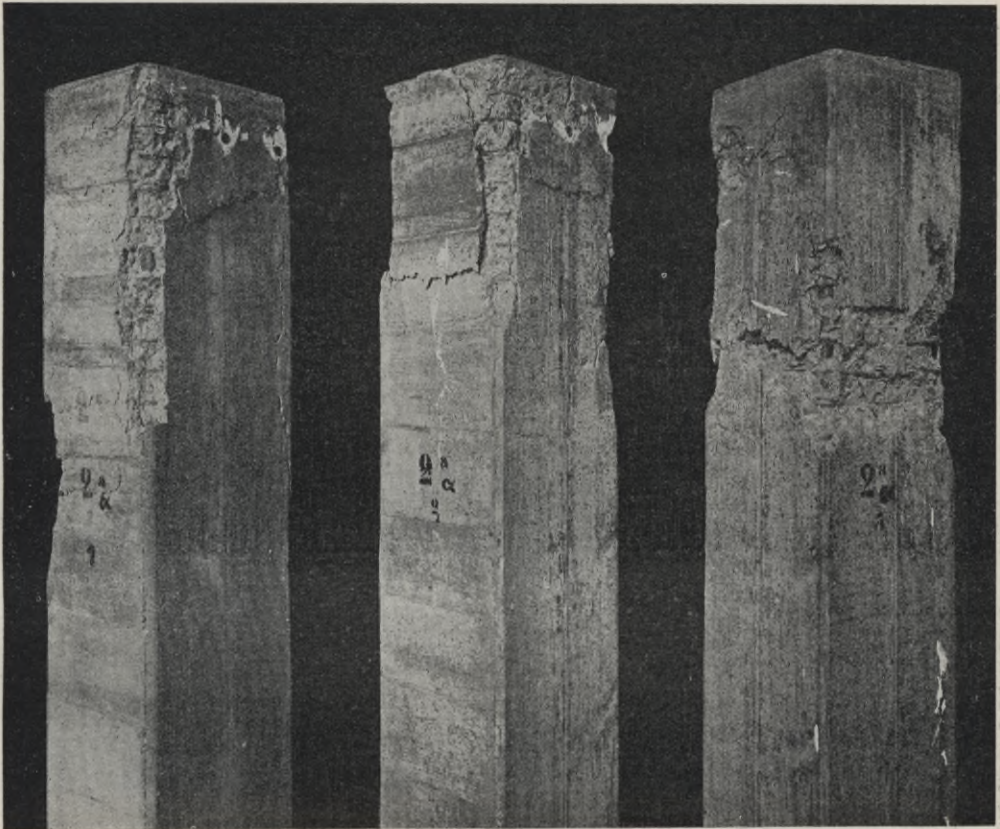
Abb. 29 a, Säulen 2a'  $\alpha$  (2 und 1) (Versuche 17 und 16) 1,3 m lang,  
in gewöhnlicher Weise bewehrt.  
Die Endflächen der Längseisen liegen bündig mit den Druckflächen.

Säulen Versuch 17 und 18 zufällig an der Bruchstelle schwächer waren als an dem oberen Ende.

Die Gegenüberstellung der Bruchfestigkeiten sämtlicher Säulen aus Reihe A und B und ihrer Verhältnisse zur Würfel Festigkeit des Betons zeigen die Schaulinien Abb. 34. Aus ihnen ergibt sich übereinstimmend für beide Linien folgendes:

2. Die Bruchfestigkeit der unbewehrten Säulen zeigt geringe Zunahme mit wachsender Länge der Säulen.

Wie schon auf Seite 26 erörtert ist, ist es nach dem Verlauf der Brüche und der Länge der hierbei entstehenden Druckpyramiden erklärlich, daß die vor-



Bruchlast = 252 860 kg

= 211 650 kg

= 240 700 kg

Abb. 30. Säulen 2a $\alpha$  (1—3) 1,9 m lang, in gewöhnlicher Weise bewehrt.

Die Endflächen der Längseisen liegen bündig mit den Druckflächen.

liegenden Versuche die Erwartung, die Festigkeit werde mit zunehmender Länge abnehmen, nicht bestätigt haben. Für die gegenteilige Beobachtung, Zunahme der Festigkeit mit wachsender Länge um etwa 11 $\frac{0}{10}$ , kann keine bestimmte Erklärung gegeben werden, falls man nicht annehmen will, daß die trotz aller Sorgfalt unvermeidliche geringe Exzentrizität in der Beanspruchung der Proben bei den kürzeren Säulen ihrer größeren Steifheit wegen mehr zur Geltung gekommen ist als bei den längeren.

3. Nach dem Vergleich von 1a mit 1b ist die Festigkeit der 2 m langen unbewehrten Säulen durch das Anbringen des Kopfes von 168 700 kg auf 157 900 kg, d. h. auf die

Festigkeit der 1,3 m langen unbewehrten Säulen 1a' ohne Kopf zurückgegangen.

Es muß dahingestellt bleiben, ob auch hier etwa die vorerwähnte Exzentrizität der Belastung eine Rolle gespielt hat.

4. Durch Bewehrung der 2 m langen Säule ohne Kopf mit vier Längseisen und Bügel nach Abb. 3 derart, daß die Endflächen der Längseisen etwa 1 cm von den Druckflächen entfernt blieben, ist die Bruchfestigkeit von 168700 kg (1a) auf 196800 kg (2a) gestiegen, d. h. um 16<sup>0</sup>/<sub>10</sub>.



Bruchlast = 188 090 kg

= 203 590 kg

= 202 530 kg

Abb. 31. Säulen 2aβ (1-3) 2 m lang.

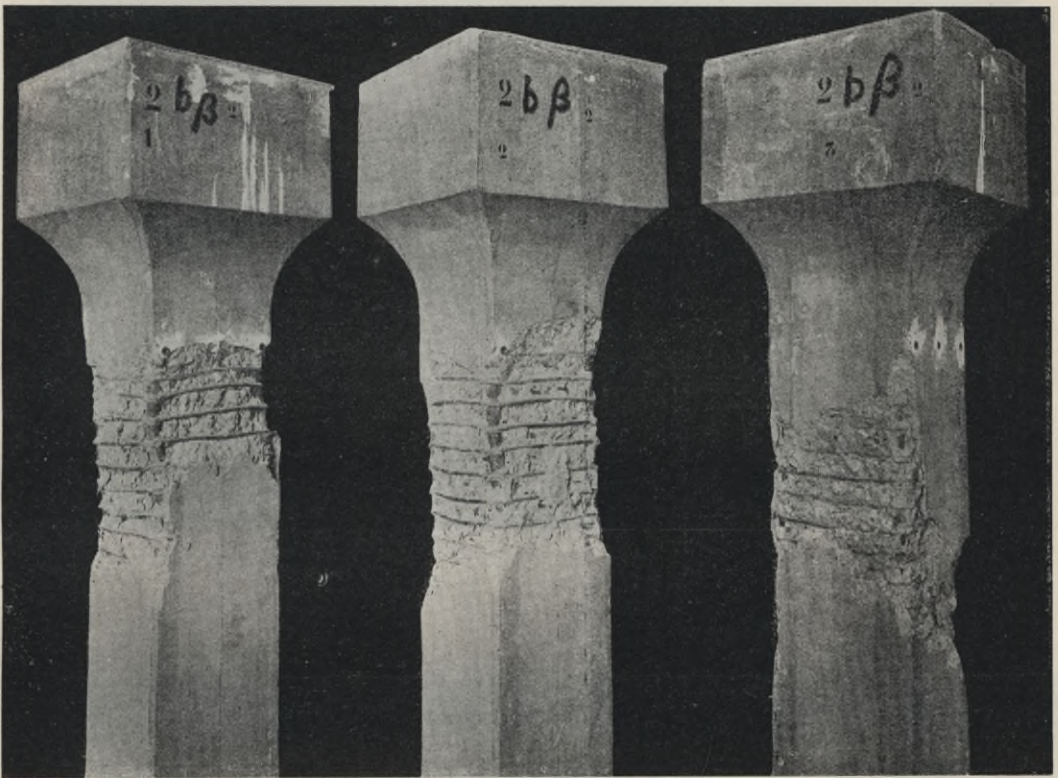
Je ein geschweißter Bügel bündig mit den Enden der Längseisen.

An dieser Stelle möge darauf hingewiesen sein, daß die Tragfähigkeit des Gerippes ohne Beton sich im Mittel zu 26 170 kg ergab (s. Tab. 46, Versuch 31-33).

5. Aus dem Vergleich der Säulen 2a und 2aβ, beides Säulen, bei denen die Längseisen etwa 1 cm von der Druckfläche entfernt endeten, ergibt sich daß das Hinzufügen des geschweißten Bügels, nahezu bündig angeordnet mit den Endflächen der Längseisen (Säule 2aβ), keine nennenswerte Festigkeitssteigerung gegenüber den Säulen ohne diesen besondern Bügel (Säule 2a) bewirkt hat.

Dieses Ergebnis erklärt sich ohne weiteres aus den Ausdehnungsmessungen. Wie der Vergleich der diesen beiden Säulen angehörigen Schaulinien (Abb. 14 und 27) zeigt, war die Querdehnung bei den Säulen  $2a\beta$  (Abb. 27) erheblich größer als bei den Säulen  $2a$  (Abb. 14).

6. Der Vergleich der Werte für die Bruchlasten der beiden bewehrten Säulen  $2a'\alpha$  und  $2a\alpha$  ohne Kopf könnte darauf schließen lassen, daß die Festigkeit der bewehrten Säulen mit wachsender Länge abgenommen hat. Dieser Schluß erscheint aber im Hinblick darauf, daß bei den nicht bewehrten Säulen verschiedener Länge die Bruchfestigkeit mit wachsender Länge der Probe eher zunahm als abnahm, mindestens unsicher. Jedenfalls bleibt zu beachten, daß unter den



Bruchlast = 256 960 kg

= 232 480 kg

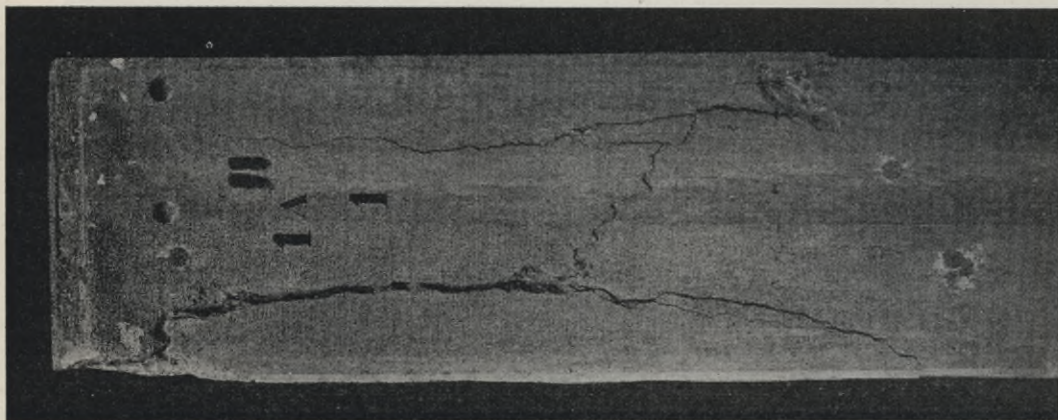
= 225 340 kg

Abb. 32. Säulen  $2b\beta$  (1—3) bewehrt und mit Kopf nach Moersch.

Säulen  $2a'\alpha$  Versuch 16 einen auffallend hohen Wert und unter den Säulen  $2a\alpha$  Versuch 23 einen auffallend geringen Wert für die Bruchlast lieferte.

7. Aus dem Vergleich der Bruchlasten für die Säulen  $2a\beta$  und  $2a\alpha$  ergibt sich, daß das Durchführen der Längseisen bis zur Druckfläche (Säulen  $2a\alpha$ ) eine erhebliche Steigerung der Bruchfestigkeit bewirkt hat.

Diese Steigerung beträgt  $235\,070 - 198\,070 = 37\,000$  kg, d. h. 18,6% gegenüber den Säulen mit Längseisen, deren Enden 10 mm von den Druckflächen abstanden. Erwähnt möge hier noch sein, daß die Längseisen der Säulen  $2a\alpha$ ,



Bruchlast = 147 180 kg

Abb. 33a. Säule 1a'1 (Versuch 19) 1 m lang, unbewehrt.



Bruchlast = 155 430 kg

Abb. 33b. Säulen 1a'' (2 und 3) 1 m lang, unbewehrt.



die ursprünglich bündig mit den Druckflächen lagen, nach dem Versuch nicht mehr ganz an die Druckfläche heranreichten.

8. Von den beiden bewehrten Säulenarten mit Kopf lieferte 2bβ nach Mörsch etwas höhere Bruchfestigkeit als die Säulen 2bγ mit dem österreichischen Kopf. Der Unterschied beträgt indessen nur  $238260 - 234800 = 3460$  kg oder  $1,5\%$ , er ist also als belanglos anzusehen.

9. Die Bruchfestigkeit der bewehrten Säulen 2bγ und 2bβ mit Kopf war die gleiche wie die der bewehrten Säulen 2aα mit den an die Druckplatten herangeführten Längseisen.

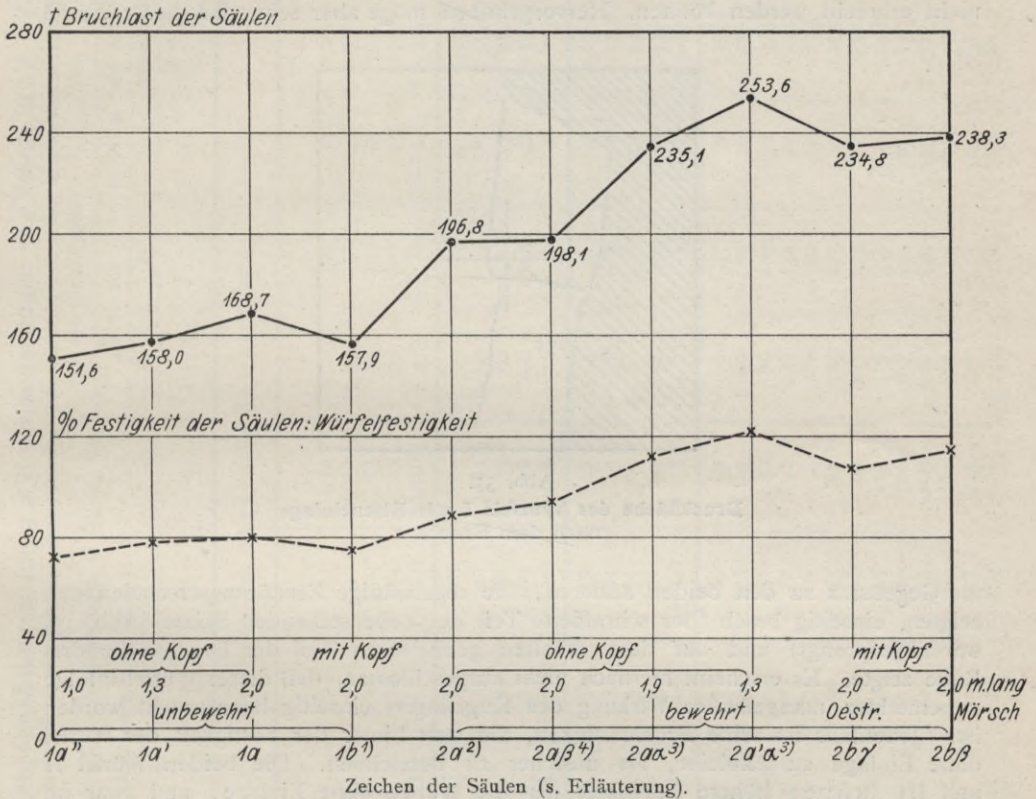


Abb. 34. Festigkeiten der verschiedenartigen Säulen.

- Erläuterung:
- zu 1b: Außere Kopfform wie bei dem österreichischen Kopf, Säulen 2bγ.
  - zu 2a: Längseisen stehen 10 mm von den Druckflächen ab.
  - zu 2aα und 2a'α: Längseisen liegen bündig mit den Druckflächen.
  - zu 2aβ: Längseisen stehen 10 mm von den Druckflächen ab und tragen am Ende einen geschweißten Bügel.

10. Die mittlere Festigkeit der unter 9 genannten drei Säulenarten beträgt  $\frac{1}{3} (234800 + 238260 + 235070) = 236000$  kg, sie ist um  $16\%$  größer als die mittlere Festigkeit von  $(198070 + 196800) \frac{1}{2} = 197440$  kg der beiden bewehrten Säulen, bei denen die Längseisen nicht an die Druckflächen herangeführt waren, und übertrifft die Bruchfestigkeit der 2 m langen unbewehrten Säule 1a ohne Kopf um  $236000 - 168700 = 67300$  kg oder  $28,5\%$ .

#### IV. Versuche an den Würfeln mit Eiseneinlage.

Die im Arbeitsplan B unter Reihe 2 genannten Versuche an Betonwürfeln von 30 cm Kantenlänge mit je einem Längseisen von 3 cm Durchmesser in der Mitte, dessen Endflächen 10 mm von den Druckflächen abstanden, lieferten folgende Bruchfestigkeiten bei 28 Tagen Alter:

Würfel I:	Bruchbelastung = 105 900 kg;	Druckspannung = 118 kg/qcm
„ II:	„ = 213 600 „;	„ = 237 „
„ III:	„ = 235 500 „;	„ = 262 „

Die Versuche sind wie die übrigen Versuche mit den Betonwürfeln in der Abt. 2 für Baumaterialprüfung auf der 400-t-Maschine, Bauart Martens, ausgeführt. Eine bestimmte Erklärung für die auffallend geringe Festigkeit des Würfels I hat nicht erbracht werden können. Hervorgehoben möge aber sein, daß dieser Würfel

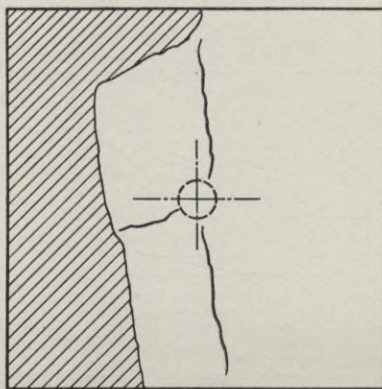


Abb. 35.

Druckfläche des Würfels I mit Eiseneinlage nach dem Bruch.

im Gegensatz zu den beiden anderen, die regelmäßige Zerstörungserscheinungen zeigten, einseitig brach (der schraffierte Teil der nebenstehenden Skizze [Abb. 35] war abgesprengt) und auf dem erhalten gebliebenen Teil der Druckfläche drei Risse zeigte. Es erscheint hiernach nicht ausgeschlossen, daß dieser Würfel infolge unbemerkter mangelhafter Wirkung des Kugellagers einseitig beansprucht worden ist. Jedenfalls ist seine Bruchfestigkeit, die weit hinter der Festigkeit der Würfel ohne Einlage zurückbleibt, als unsicher zu bezeichnen. Die beiden Würfel II und III lieferten höhere Festigkeit als die Würfel ohne Einlage, und zwar im Mittel 224 550 kg gegen im Mittel 208 400 kg (s. Tab. 45).

Bei allen drei Würfeln ragten die über den Eisen gelegenen Teile der beiden Druckflächen nach dem Versuch aus der Druckfläche hervor in ähnlicher Weise, wie es auch an den Säulen beobachtet ist (s. S. 55), und die Endflächen der Längseisen standen, wie nach dem Zerschlagen der Würfel festgestellt werden konnte, mehr oder weniger weit von dem darüber liegenden Beton ab.

Sprengwirkungen, herstammend von Zerdrückungen des über den Eisen gelegenen Betons, konnten bei keinem der drei Würfel festgestellt werden.

Tabelle 31. Einzelbeobachtungen für die Formänderungen der Säule  $2a\alpha_2$  (Versuch 17).

Reihe	Belastung	Zimmerwärmegrad	Beobachtungen für die Querdehnungen in $1/150.000$ cm an Meßstelle (s. Abb. 13)					Querdehnungen in $1/150.000$ cm am Rande		Krümmung der Seitenflächen in $1/150.000$ cm	Zusammen- drückung auf 50 cm Länge in $1/100.000$ cm					
			1	2	3	4	5	A	B							
Messung am oberen Ende der Säule																
		$C_0$						in Mitte	im Mittel am Rande							
			1	2	3	4	5	A	B	$\frac{1}{2} \left( 4 - \frac{A+B}{2} \right)$						
1	1 570 17 210 32 810 48 150 63 270 1 570	19,64 19,76 19,74 19,78 19,80 19,84	-	13 26 40 62	-	21 48 79 115	-	14 31 45 43	-	34 74 119 177	-	16,5 57,5 101,5 179,5	-	1,2 13,2 28,2 68,2	-	288 607 937 1277 (+66)
2	17 210 32 810 48 150 63 270 1 570	19,96 19,98 20,06 19,96 19,64	3 21 46 68 (+4)	16 32 46 58	-	19 40 60 80	-	11 22 34 42	-	35 72 106 138	11 22 34 42 (+8)	16,0 56,0 98,0 139,0 (+11)	-	2,5 17,0 32,0 48,5 (-1,5)	-	287 603 921 1235 (+4)
3	17 210 32 810 48 150 63 270 1 570	20,04 20,26 20,32 20,32 20,40	1 20 43 64 (+2)	16 35 50 59	-	15 34 51 71	-	7 19 29 41	-	31 69 101 130	7 19 29 41 (+5)	13 53,5 94,0 133,0 (+6)	-	3,0 17,2 32,5 46,0 (-0,5)	-	290 613 930 1237 (+2)
4	17 210 32 810 48 150 63 270 78 210 88 170 98 030 107 730 117 200 126 780 136 190 145 500 1 570	20,28 20,38 20,44 20,54 20,46 20,50 20,52 20,60 20,60 20,62 20,42 20,44 20,54	1 19 43 62 84 99 111 119 125 130 132 132 (+60)	18 39 53 79 92 104 110 116 113 116 117 117	-	19 33 51 72 101 133 171 225 281 333 396 457	-	9 19 30 42 51 64 84 119 161 205 261 323 (+102)	-	37 72 104 134 180 225 275 335 394 449 513 574	9 19 30 42 51 64 84 119 161 205 261 323 (+102)	17,0 56,0 97,0 135,0 183,5 225,0 271,0 325,5 380,5 434,5 495,0 555,0 (+158,6)	-	4,0 18,5 33,5 46,5 66,2 80,5 93,5 103,2 109,8 114,8 117,0 116,0 (-28,2)	-	289 613 930 1240 1549 1787 2015 2260 2495 2742 3009 3295 (+206)
Messung in Mitte der Säule																

Tabelle 32. Einzelbeobachtungen für die Formänderungen der Säule  $2a\alpha_3$  (Versuch 18).

Reihe	Belastung kg	Zimmer- wärme C°	Beobachtungen für die Querdehnungen in $\frac{1}{1500000}$ cm an Meßstelle (s. Abb. 13)					Querdehnungen in $\frac{1}{1500000}$ cm			Krümmung der Seitenflächen in $\frac{1}{1500000}$ cm	Zusammen- druckung auf 50 cm Länge in $\frac{1}{1000000}$ cm		
			1	3	2	5	4	am Rande		in Mitte C				
								A	B					
Messung am oberen Ende der Säule														
1	1 570	19,38	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	17 210	19,24	27	28	— 6	42	21	55	36	—	—	—	—	—
	32 810	19,38	40	57	— 2	81	39	97	79	—	—	—	—	—
	48 150	19,54	53	89	12	118	52	142	130	—	—	—	—	—
	63 270	19,30	77	133	36	156	52	210	192	—	—	—	—	—
	1 570	19,68	(+ 3)	(+ 28)	(+ 14)	(+ 22)	(— 2)	(+ 31)	(+ 36)	(+ 36)	(— 2)	(+ 33,5)	(— 17,8)	(+ 70)
2	17 210	19,66	20	20	3	27	14	40	30	—	—	—	—	—
	32 810	19,44	38	56	14	67	28	94	81	—	—	—	—	—
	48 150	19,62	55	87	23	102	43	142	125	—	—	—	—	—
	63 270	19,62	73	115	32	133	53	188	165	—	—	—	—	—
	1 570	19,54	(— 1)	(+ 9)	(+ 1)	(+ 3)	(+ 4)	(+ 8)	(+ 4)	(+ 4)	(+ 4)	(+ 6)	(— 1,0)	(+ 6)
	17 210	19,72	21	17	6	25	10	38	31	—	—	—	—	—
3	32 810	19,78	39	53	16	64	24	92	80	—	—	—	—	—
	48 150	19,76	57	84	25	99	37	141	124	—	—	—	—	—
	63 270	19,76	74	111	36	130	49	185	166	—	—	—	—	—
	1 570	19,78	(— 2)	(+ 3)	(— 0)	(+ 3)	(+ 2)	(+ 1)	(+ 3)	(+ 3)	(+ 2)	(+ 2)	(± 0)	(+ 6)
	17 210	19,76	21	18	9	22	9	39	31	—	—	—	—	—
	32 810	19,68	39	55	18	62	23	94	80	—	—	—	—	—
4	48 150	19,92	58	88	30	97	36	146	127	—	—	—	—	—
	63 270	19,96	74	113	38	126	46	187	164	—	—	—	—	—
	78 210	19,68	105	142	56	152	42	247	208	—	—	—	—	—
	88 170	19,58	128	164	69	171	36	292	240	—	—	—	—	—
	98 030	19,34	152	191	82	195	36	343	277	—	—	—	—	—
	107 730	19,72	176	225	92	218	43	401	310	—	—	—	—	—
1 570	117 290	19,96	198	265	101	252	65	463	353	—	—	—	—	—
	126 780	19,98	219	313	101	296	103	532	397	—	—	—	—	—
	136 190	20,06	239	368	94	349	152	607	443	—	—	—	—	—
	145 500	20,00	257	431	74	422	229	688	496	—	—	—	—	—
	1 570	20,02	(+ 55)	(+ 108)	(+ 12)	(+ 125)	(+ 80)	(+ 223)	(+ 137)	(+ 80)	(+ 180)	(+ 50)	(— 50)	(+ 221)
	17 210	19,76	21	18	9	22	9	39	31	—	—	—	—	—
32 810	19,68	39	55	18	62	23	94	80	—	—	—	—	—	
48 150	19,92	58	88	30	97	36	146	127	—	—	—	—	—	
63 270	19,96	74	113	38	126	46	187	164	—	—	—	—	—	
78 210	19,68	105	142	56	152	42	247	208	—	—	—	—	—	
88 170	19,58	128	164	69	171	36	292	240	—	—	—	—	—	
98 030	19,34	152	191	82	195	36	343	277	—	—	—	—	—	
107 730	19,72	176	225	92	218	43	401	310	—	—	—	—	—	
117 290	19,96	198	265	101	252	65	463	353	—	—	—	—	—	
126 780	19,98	219	313	101	296	103	532	397	—	—	—	—	—	
136 190	20,06	239	368	94	349	152	607	443	—	—	—	—	—	
145 500	20,00	257	431	74	422	229	688	496	—	—	—	—	—	
1 570	20,02	(+ 55)	(+ 108)	(+ 12)	(+ 125)	(+ 80)	(+ 223)	(+ 137)	(+ 80)	(+ 180)	(+ 50)	(— 50)	(+ 221)	

Tabelle 33. Einzelbeobachtungen für die Formänderungen der Säule  $2a\alpha_1$  (Versuch 21).

Reihe	Belastung	Zimmerwärme	Beobachtungen für die Querdehnungen in $\frac{1}{1,500,000}$ cm an Meßstelle (s. Abb. 13)				Querdehnungen in $\frac{1}{1,500,000}$ cm				Krümmung der Seitenflächen in $\frac{1}{1,500,000}$ cm	Zusammendrückung auf 50 cm Länge in $\frac{1}{1,000,000}$ cm				
			Messung am oberen Ende der Säule				im Mittel am Rande									
			am Rande		in Mitte		am Rande		in Mitte							
1	3	2	5	4	A	B	C	D	$\frac{1}{2} \left( 4 - \frac{A+B}{2} \right)$							
1	kg	C <sup>0</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
			1 570	20,08	22	48	+6	37	32	70	43	—	—	12,2	293	
			17 210	19,92	43	79	16	71	48	122	87	—	—	28,2	598	
			32 810	19,96	62	116	28	112	57	178	140	—	—	51	916	
			48 150	20,00	91	155	52	152	60	246	204	—	—	82,5	1249	
			63 270	20,02	(+15)	(+33)	(+14)	(+34)	(-4)	(+48)	(+48)	(+48)	(-4)	(+48)	(-26)	(+62)
			1 570	20,02	17	38	2	26	24	55	28	—	—	—	8,8	291
			17 210	20,12	32	77	12	65	47	109	77	—	—	—	23	601
			32 810	20,08	49	110	27	95	57	159	122	—	—	—	41,8	907
			48 150	20,00	69	135	39	123	67	204	162	—	—	—	58	1212
2	kg	C <sup>0</sup>	(±0)	(+11)	(-1)	(+7)	(+1)	(+11)	(+6)	(+1)	(+1)	(+1)	(+8,5)	(+10)		
			1 570	20,02	12	31	3	23	24	43	26	—	—	—	5,2	290
			17 210	20,12	27	74	14	63	45	101	77	—	—	—	22	603
			32 810	20,12	44	103	29	93	57	147	122	—	—	—	38,8	908
			48 150	19,94	63	131	41	116	66	194	157	—	—	—	54,8	1210
			63 270	19,90	(-2)	(+6)	(-1)	(+4)	(+2)	(+4)	(+3)	(+2)	(+2)	(+3,5)	(-0,8)	(±0)
			1 570	20,10	8	29	3	22	23	37	25	—	—	—	4	292
			17 210	20,26	25	72	14	64	43	97	78	—	—	—	22,2	609
			32 810	20,36	42	103	28	90	55	145	118	—	—	—	38,2	916
			48 150	20,40	62	130	40	117	65	192	157	—	—	—	54,8	1220
3	kg	C <sup>0</sup>	89	168	57	152	73	257	209	73	—	—	—	80,0	1529	
			78 210	20,36	117	198	72	184	83	315	256	—	—	—	175,5	1755
			88 170	20,42	143	241	84	226	100	384	310	—	—	—	123,5	1996
			98 030	20,44	167	287	93	270	122	454	363	—	—	—	143,2	2230
			107 730	20,44	188	346	104	325	154	534	429	—	—	—	163,8	2480
			117 290	20,52	204	410	113	387	196	614	500	—	—	—	180,5	2735
			126 780	20,58	218	472	121	453	245	690	574	—	—	—	193,5	2983
			136 190	20,60	232	537	127	518	301	769	645	—	—	—	203,0	3237
			145 500	20,58	(+39)	(+199)	(+32)	(+149)	(+69)	(+238)	(+181)	(+69)	(+69)	(+209,5)	(-70,2)	(+178)
			1 570	20,60	(+39)	(+199)	(+32)	(+149)	(+69)	(+238)	(+181)	(+69)	(+69)	(+209,5)	(-70,2)	(+178)

Tabelle 34. Einzelbeobachtungen für die Formänderungen der Säule  $2\alpha_2$  (Versuch 23).

Reihe	Belastung kg	Zimmer- wärme	Beobachtungen für die Querdehnungen in $\frac{1}{1,500,000}$ cm an Meßstelle (s. Abb. 13)					Querdehnungen in $\frac{1}{1,500,000}$ cm am Rande			in Mittel am Rande D	Krümmung der Seitenflächen im $\frac{1}{1,500,000}$ cm $\frac{1}{2} \left( 4 - \frac{A+B}{2} \right)$	Zusammen- druckung auf 50 cm Länge in $\frac{1}{100,000}$ cm		
			1	3	2	5	4	A	B	C					
														+	-
1	1 570	20,62	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	17 210	20,64	47	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	32 810	20,64	83	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	48 150	20,78	127	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	63 270	20,72	190	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
1 570	20,68	(+ 35)	(+ 40)	(+ 63)	(+ 35)	(+ 1)	(+ 75)	(+ 98)	(+ 1)	(+ 86,5)	(+ 1)	(+ 47,8)	(+ 69)	(+ 69)	(+ 69)
2	17 210	20,68	40	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	32 810	20,36	86	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	48 150	20,72	122	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	63 270	20,86	161	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	1 570	21,00	(+ 4)	(+ 7)	(+ 6)	(+ 4)	(+ 1)	(+ 11)	(+ 10)	(+ 1)	(+ 10,5)	(+ 1)	(+ 4,8)	(+ 2)	(+ 2)
3	17 210	21,14	42	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	32 810	21,18	88	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	48 150	21,18	126	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	63 270	21,22	159	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	1 570	21,36	(+ 2)	(+ 6)	(+ 3)	(+ 7)	(+ 2)	(+ 8)	(+ 10)	(+ 2)	(+ 9)	(+ 2)	(+ 3,5)	(+ 8)	(+ 8)
4	17 210	21,28	45	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	32 810	21,34	92	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	48 150	21,42	130	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	63 270	21,46	161	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	1 570	21,62	(— 54)	(+ 333)	(+ 255)	(+ 646)	(+ 576)	(+ 279)	(+ 901)	(+ 576)	(+ 590)	(+ 576)	(+ 7,0)	(+ 17,1)	(+ 17,1)

Messung am oberen Ende der Säule

Messung in  
Mitte der Säule

Tabelle 35. Einzelbeobachtungen für die Formänderungen der Säule  $2a\beta_1$  (Versuch 20).

Reihe	Belastung kg	Zimmer- wärme C°	Beobachtungen für die Querdehnungen in $\frac{1}{150000}$ cm an Meßstelle (s. Abb. 13).					Querdehnungen in $\frac{1}{150000}$ cm am Rande			im Mittel am Rande $\frac{A+B}{2}$	Krümmung der Seitenflächen in $\frac{1}{150000}$ cm $\frac{1}{2} \left( 4 - \frac{A+B}{2} \right)$	Zusammen- drückung auf 50 cm Länge in $\frac{1}{100000}$ cm		
			I	3	2	5	4	A		B					
								1+3	2+5					C	
Messung am oberen Ende der Säule															
1	1 570	19,50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	17 210	19,48	5	34	16	11	13	39	27	13	33	—	10	290	
	32 810	19,56	61	110	66	4	10	171	70	10	120,5	—	55,2	616	
	48 150	19,64	95	206	129	28	21	301	157	21	229	—	104,0	960	
	63 270	19,66	25	438	120	241	194	463	361	194	412	—	109,0	1312	
1 570	19,38	(+ 11)	(+ 200)	(+ 39)	(+ 110)	(+ 75)	(+ 211)	(+ 149)	(+ 75)	(+ 75)	(+ 180)	(— 52,5)	(+ 69)		
2	17 210	19,48	+ 22	73	27	35	95	62	34	34	78,5	—	22,2	302	
	32 810	19,42	+ 9	148	40	77	157	117	83	83	137	—	27,0	625	
	48 150	19,68	— 1	215	45	123	214	168	111	111	191	—	40,0	941	
	63 270	19,78	— 25	300	37	207	275	244	183	183	259,5	—	38,2	1279	
	1 570	19,80	(— 10)	(+ 36)	(— 17)	(+ 38)	(+ 33)	(+ 26)	(+ 21)	(+ 33)	(+ 33)	(23,5)	(+ 4,8)	(+ 10)	
3	17 210	19,84	+ 8	89	18	49	97	67	47	47	82	—	17,5	301	
	32 810	19,82	— 9	170	25	101	101	126	92	92	143,5	—	25,8	630	
	48 150	19,84	— 21	240	28	154	219	182	134	134	200,5	—	33,2	947	
	63 270	19,84	— 38	312	25	223	274	248	194	194	261,0	—	33,5	1278	
	1 570	19,78	(— 16)	(+ 36)	(— 15)	(+ 29)	(+ 20)	(+ 20)	(+ 14)	(+ 22)	(+ 17,0)	(+ 2,5)	(+ 2,5)	(+ 4)	
4	17 210	19,84	+ 3	90	12	65	93	77	58	58	85	—	13,5	305	
	32 810	19,78	— 17	174	17	119	157	136	119	119	146,5	—	13,8	637	
	48 150	19,82	— 29	242	20	170	213	190	151	151	201,5	—	25,2	963	
	63 270	19,82	— 42	310	18	229	268	247	204	204	257,5	—	26,8	1285	
	78 210	19,90	— 110	443	— 36	394	333	358	340	340	345,5	—	2,8	1010	
	88 170	19,98	— 195	599	— 99	574	404	475	495	495	439,5	—	27,8	1851	
	98 030	19,98	— 278	772	— 200	789	594	589	683	683	541,5	—	70,8	2093	
	107 730	19,98	— 360	959	— 251	996	599	745	875	875	672	—	101,5	2361	
	117 290	20,00	— 430	1127	— 329	1211	697	882	1065	1065	789,5	—	137,8	2611	
	126 780	20,00	— 513	1329	— 406	1524	816	1118	1325	1325	967	—	179,0	2881	
1 570	19,86	(— 271)	(+ 614)	(— 300)	(+ 763)	(+ 612)	(+ 343)	(+ 463)	(+ 612)	(+ 403)	(+ 104,5)	(+ 104,5)	(+ 118)		

Tabelle 36. Einzelbeobachtungen für die Formänderungen der Säule 2a $\beta_3$  (Versuch 24).

Reihe	Belastung kg	Zimmer- wärme C°	Beobachtungen für die Querdehnungen in $\frac{1}{1500000}$ cm an Meßstelle (s. Abb. 13)					Querdehnungen in $\frac{1}{1500000}$ cm am Rande				Krümmung der Seitenflächen in $\frac{1}{1500000}$ cm $\frac{1}{2} \left( \frac{A+B}{4} - \frac{A+B}{2} \right)$	Zusammen- drückung auf 50 cm Länge in $\frac{1}{1500000}$ cm		
			1	3	2	5	4	in Mitte		C	im Mittel am Rande				
								A	B						
Messung am oberen Ende der Säule													Messung in Mitte der Säule		
1	1 570	20,90	— 1	— 3	— 3	— 0	— 3	— 2	— 3	— 3	— 3	— 0,5		— 1,8	—
	17 210	20,92	+ 52	+ 17	+ 17	25	80	80	42	27	42	61		44	303
	32 810	20,96	106	127	72	38	233	233	110	54	54	171,5	112,8	634	
	48 150	20,98	162	222	122	107	384	384	229	21	21	306,5	142,8	979	
	63 270	21,00	(69)	(129)	(72)	(47)	(198)	(198)	(119)	(+ 32)	(+ 32)	(158,5)	(— 63,3)	1343	
1 570	21,04													(70)	
2	17 210	21,04	35	27	28	10	62	62	38	13	13	50	31,5	309	
	32 810	21,06	59	66	50	26	125	125	76	8	8	100,5	54,3	638	
	48 150	21,06	76	105	65	49	181	181	114	32	32	147,5	57,8	970	
	63 270	21,08	93	152	79	91	245	245	170	61	61	207,5	73,3	1296	
	1 570	21,08	(1)	(18)	(11)	(13)	(19)	(19)	(24)	(34)	(34)	(21,5)	(+ 6,8)	(8)	
3	17 210	21,12	39	33	33	16	72	72	49	15	15	60,5	37,8	310	
	32 810	21,04	61	88	54	39	149	149	93	3	3	121,0	59	649	
	48 150	21,00	76	118	66	62	194	194	128	29	29	161	66	975	
	63 270	21,04	90	159	75	99	249	249	174	72	72	211,5	69,8	1305	
	1 570	21,08	(2)	(12)	(6)	(14)	(14)	(14)	(20)	(23)	(23)	(17)	(+ 3)	(1)	
4	17 210	21,16	39	35	33	17	74	74	50	8	8	62	35	309	
	32 810	21,24	60	85	54	39	145	145	93	28	28	119	45,5	650	
	48 150	21,30	74	126	66	69	200	200	135	47	47	167,5	60,3	983	
	63 270	21,36	86	168	73	104	254	254	177	89	89	215,5	63,3	1313	
	78 210	21,42	97	250	80	201	347	347	281	266	266	314	24	1642	
88 170	21,40	93	371	85	293	464	464	378	465	465	421	22	1893		
98 030	21,36	83	518	92	398	601	601	490	742	742	545,5	98,8	2142		
107 730	21,44	67	686	88	512	753	753	600	1014	1014	676,5	168,8	2402		
117 290	21,42	50	871	84	628	921	921	712	1256	1256	816,5	219,8	2664		
126 780	21,52	31	1101	62	770	1132	1132	832	1536	1536	982	277	2924		
136 180	21,52	18	1321	42	913	1339	1339	935	1771	1771	1147	312	3180		
145 500	21,56	2	1591	7	1093	1593	1593	1100	2061	2061	1346,5	357,3	3445		
1 570	21,60		(— 8)	(930)	(41)	(538)	(922)	(922)	(579)	(1258)	(750,5)	(253,8)	(195)		



Tabelle 37. Einzelbeobachtungen für die Formänderungen der Säule 2bβ<sub>21</sub> (Versuch 26).

Reihe	Belastung kg	Zimmer- wärme C°	Beobachtungen für die Querdehnungen in 1/1500000 cm an Meßstelle (s. Abb. 13)					Querdehnungen in 1/150000 cm am Rande				Krümmung der Seitenflächen in 1/150000 cm	Zusammen- drückung auf 50 cm Länge in 1/100000 cm		
			1	3	2	5	4	A	B	in Mitte					
								1+3	2+5	C		A+B 2		$\frac{1}{2} \left( 4 - \frac{A+B}{2} \right)$	Messung in Mitte der Säule
Messung am oberen Ende der Säule															
1	1 570	20,38	—	26	—	1	28	26	27	26	26,5	—	0,3	—	284
	17 210	20,44	0	57	—	3	65	58	62	58	58	0	0	595	
	32 810	20,76	—	85	—	6	103	88	97	88	89,5	—	0,8	908	
	48 150	20,82	—	115	—	8	142	121	134	121	123	—	1	1233	
	63 270	20,94	(—11)	(17)	(+ 8)	(7)	(8)	(8)	(15)	(8)	(10,5)	—	(1,3)	(73)	
2	17 210	20,72	1	23	—	3	34	28	31	28	27,5	—	0,3	282	
	32 810	20,64	1	49	—	8	72	58	64	58	57	—	0,5	584	
	48 150	20,80	3	77	—	12	108	87	96	87	88	—	0,5	886	
	63 270	20,84	7	104	—	15	141	116	126	116	118,5	—	1,3	1283	
	1 570	20,98	(—1)	(2)	(— 1)	(4)	(2)	(2)	(3)	(2)	(2)	—	(0)	(1)	
3	17 210	20,92	0	24	—	3	33	28	30	28	27	—	0,5	289	
	32 810	20,78	1	50	—	9	71	57	62	57	56,5	—	0,3	596	
	48 150	20,84	2	76	—	14	108	87	94	87	86	—	0,5	894	
	63 270	20,72	5	104	—	15	141	116	126	116	117,5	—	0,8	1192	
	1 570	20,68	(—1)	(3)	(— 1)	(3)	(1)	(1)	(2)	(1)	(2)	—	(0,5)	(3)	
4	17 210	20,72	—	23	—	4	34	30	30	30	26	—	2	285	
	32 810	20,76	0	49	—	8	69	57	61	57	55	—	1	595	
	48 150	20,96	+	72	—	11	105	88	94	88	84	—	2	900	
	63 270	20,98	3	103	—	14	140	116	126	116	116	—	0	1196	
	78 210	20,82	5	133	—	16	177	149	161	149	149,5	—	0,3	1497	
	88 170	20,84	6	156	—	18	203	172	185	172	173,5	—	0,8	1721	
	98 030	21,92	5	180	—	21	229	193	208	193	196,5	—	1,8	1946	
	107 730	21,04	5	207	—	24	259	219	235	219	223,5	—	2,3	2184	
	117 290	21,04	4	234	—	27	288	246	261	246	249,5	—	1,8	2420	
	126 780	21,16	3	266	—	33	323	276	290	276	279,5	—	1,8	2673	
	136 190	21,20	2	307	—	40	357	307	317	307	313	—	3	2919	
145 500	21,02	—	334	—	45	394	342	349	342	340	—	1	3179		
1 570	21,02	(—17)	(68)	(— 3)	(47)	(47)	(47)	(51)	(47)	(47,5)	—	0,3	(186)		



Tabelle 39. Einzelbeobachtungen für die Formänderungen der Säule  $2b\beta_2\beta_3$  (Versuch 28).

Reihe	Belastung kg	Zimmer- wärme C°	Beobachtungen für die Querdehnungen in $1/150000$ cm an Meßstelle (s. Abb. 13)					Querdehnungen in $1/150000$ cm am Rande			Krümmung der Seitenflächen in $1/150000$ cm $\frac{1}{2} \left( 4 - \frac{A+B}{2} \right)$	Zusammen- druckung auf 50 cm Länge in $1/100000$ cm	
			1	3	2	5	4	in Mitte		C			
								A	B				
1	1 570	19,76						43	17	29	30	— 0,5	318
	17 210	19,78	5	38	— 9	26	29	92	40	64	66	— 1	667
	32 810	19,78	10	82	— 15	55	64	148	67	103	107,5	— 2,3	1029
	48 150	—	17	131	— 20	87	103	205	97	145	151	— 3	1410
	63 270	19,78	21	184	— 25	122	145	(20)	(5)	(12)	(12,5)	(— 0,3)	(68)
1 570	19,78	(— 3)	(23)	(— 2)	(+ 7)								
2	17 210	19,78	4	42	— 7	26	27	46	19	27	32,5	— 2,8	329
	32 810	19,80	8	84	— 12	53	61	92	41	61	66,5	— 2,8	678
	48 150	19,80	17	125	— 21	85	97	142	64	97	103	— 3	1024
	63 270	19,84	22	169	— 27	119	136	191	92	136	141,5	— 2,8	1372
	1 570	19,84	(— 2)	(3)	(+ 2)	(+ 2)	(2)	(1)	(0)	(2)	(0,5)	(+ 0,8)	(14)
3	17 210	19,84	4	44	— 6	25	28	48	19	28	33,5	— 2,8	331
	32 810	19,88	7	85	— 11	52	60	92	41	60	66,5	— 3,3	682
	48 150	—	17	126	— 19	85	97	143	66	97	104,5	— 3,8	1034
	63 270	—	23	168	— 25	118	133	191	93	133	142	— 4,5	1309
	1 570	—	(— 3)	(2)	(0)	(+ 1)	(1)	(— 1)	(1)	(1)	(0)	(+ 0,5)	(8)
4	17 210	—	6	43	— 6	24	28	49	18	28	33,5	— 2,8	328
	32 810	—	8	84	— 11	52	60	92	41	60	66,5	— 3,3	681
	48 150	—	17	126	— 20	85	96	143	65	96	104	— 4	1033
	63 270	—	24	169	— 25	119	134	193	94	134	143,5	— 4,8	1374
	78 210	—	27	219	— 32	157	177	246	125	177	185,5	— 4,3	1730
	88 170	—	30	262	— 37	187	213	292	150	213	221	— 4	1994
	98 030	—	31	311	— 45	220	251	342	175	251	258,5	— 3,8	2260
	107 730	—	32	366	— 55	259	297	398	204	297	301	— 2	2508
	117 290	—	30	429	— 67	301	344	459	234	344	346,5	— 1,3	2814
	126 780	—	29	502	— 80	347	399	531	267	399	399	— 0	3141
	136 190	—	23	593	— 96	401	472	616	305	472	460,5	— 5,8	3496
145 500	—	4	701	— 124	471	563	705	347	563	526	— 18,5	3838	
1 570	—	(— 40)	(180)	(— 29)	(83)	(123)	(140)	(54)	(123)	(97)	(+ 13)	(273)	

Messung am oberen Ende der Säule

Messung in  
Mitte der Säule

Tabelle 40. Einzelbeobachtungen für die Formänderungen der Säule 1a'' (Versuch 29).

Reihe	Belastung kg	Zimmer- wärme C°	Beobachtungen für die Querdehnungen in 1/150.000 cm an Meßstelle (s. Abb. 13).					Querdehnung in 1/100.000 cm am Rande			in Mitte		Krümmung der Seitenflächen in 1/150.000 cm $\frac{1}{2} \left( 4 - \frac{A+B}{2} \right)$	Zusammen- druckung auf 50 cm Länge in 1/100.000 cm
			1	3	2	5	4	A	B	im Mittel am Rande		C		
										1+3	2+5			
Messung am oberen Ende der Säule														
1	1 570	18,76	- 7	13	25	- 52	- 14	6	- 27	- 14	- 10,5	- 1,8	364	
	17 210	18,78	+ 32	95	51	- 50	- 29	127	+ 1	- 29	+ 64	- 46,5	768	
	32 810	18,74	+ 54	182	100	- 46	- 14	236	54	- 14	145	- 79,5	1186	
	48 150	18,70	+ 54	(71)	(61)	(+ 25)	(- 1)	(57)	(86)	(- 1)	(71,5)	(- 36,3)	(91)	
	1 570	18,80	(- 14)											
2	17 210	18,80	+ 44	23	- 7	- 18	- 11	67	- 25	- 11	21	- 16	359	
	32 810	18,80	58	65	+ 20	- 21	- 19	123	- 1	- 19	61	- 40	746	
	48 150	18,84	75	121	46	- 17	- 13	196	+ 29	- 13	112,5	- 62,8	1132	
	1 570	18,86	(3)	(6)	(4)	(- 1)	(0)	(9)	(3)	(0)	(6)	(- 3)	(13)	
3	17 210	18,84	43	23	- 2	- 13	- 12	66	- 15	- 12	25,5	- 18,8	364	
	32 810	18,88	51	77	+ 32	- 28	- 20	128	+ 4	- 20	66	- 43	751	
	48 150	18,90	72	124	+ 46	- 16	- 13	196	30	- 13	113	- 63	1132	
	1 570	18,90	(1)	(5)	(- 25)	(0)	(0)	(6)	(- 25)	(0)	(- 9,5)	(+ 4,8)	(9)	
4	17 210	18,94	45	22	26	- 12	- 13	67	14	- 13	40,5	- 26,8	364	
	32 810	18,96	67	67	48	- 16	- 21	134	32	- 21	83	- 52	758	
	48 150	18,92	77	119	68	- 12	- 13	196	56	- 13	126	- 69,5	1135	
	63 270	18,92	101	215	109	+ 7	+ 12	316	116	+ 12	216	- 102	1352	
	78 210	18,96	134	367	133	39	63	501	172	63	336,5	- 136,8	2015	
	88 170	18,98	164	500	198	81	117	664	279	117	471,5	- 177,3	2359	
	98 030	19,02	187	655	243	127	180	842	370	180	606	- 213	2735	
	107 730	19,02	247	855	292	215	264	1102	507	264	804,5	- 270,3	3101	
	117 290	18,92	292	1100	373	268	352	1392	641	352	1016,5	- 332,3	3320	
	1 570	18,90	(189)	(491)	(178)	(86)	(119)	(680)	(264)	(119)	(472)	(- 176,5)	(380)	

Tabelle 41. Querdehnungen der Säulen bei wachsender Belastung.  
Die Beobachtungen begannen von 1570 kg Anfangs-(Null)Last ab.  
I. Eisenbewehrte Säulen. Messung am oberen Ende der Säule.

Ver- such Nr.	Zeichen der Säule	Form der Säulen	Länge der Säulen m	Geprüft		Querdehnungen in $\text{cm} \cdot 10^{-5}$ bei folgenden Belastungen in kg														
				in Reihe Nr.	bei Alter in Tagen	17210	32810	48150	63270	1570	78210	88170	98030	107730	117290	126780	136190	145500	1570	
17	2a $\alpha_2$	Längs- eisen liegen bündig mit den Druck- flächen	1,3	1	10	30	49	74	20											
				2	9	26	44	60	6											
				3	7	24	41	58	4											
				4	9	25	42	59	—	78	96	118	148	181	213	252	293			252
18	2a $\alpha_3$	Ohne Kopf	1,9	1	22	42	63	84	11											
				2	16	39	59	77	3											
				3	15	37	57	75	1											
				4	15	37	57	74	—	90	101	115	133	158	189	226	274			226
21	2a $\alpha_1$	Ohne Kopf	1,9	1	29	51	72	95	15											
				2	22	47	66	85	3											
				3	19	45	64	81	2											
				4	18	44	62	80	—	102	123	149	177	212	251	292	336			292
23	2a $\alpha_2$	Ohne Kopf	1,9	1	14	30	49	74	29											
				2	8	29	41	54	4											
				3	9	30	42	53	4											
				4	10	33	42	53	—	81	126	199	299	408	522	630	756			630
20	2a $\beta_1$	Enden der Längsseiten etwa 10 mm von Druckfläche entfernt. Bündig mit ihnen je ein geschweißter Bügel.	2,0	1	15	43	83	202	85											
				2	37	73	101	148	19											
				3	43	78	112	152	13											
				4	48	88	118	154	—	228	312	408	516	618	764	—	—			—
24	2a $\beta_3$	Mit Kopf nach Mörsch (s. Abb. 5 b und 26)	2,0	1	12	11	39	109	64											
				2	12	31	60	89	18											
				3	15	41	63	95	13											
				4	18	49	72	102	—	193	295	429	564	691	839	973	1136			973
26	2b $\beta_{21}$	Mit Kopf nach Mörsch (s. Abb. 5 b und 26)	2,0	1	17	39	59	81	6											
				2	19	38	58	78	1											
				3	18	38	58	78	1											
				4	19	37	57	77	—	100	115	130	148	165	185	207	227			207
27	2b $\beta_{22}$	Mit Kopf nach Mörsch (s. Abb. 5 b und 26)	2,0	1	20	40	63	89	9											
				2	18	38	59	83	2											
				3	18	38	60	83	2											
				4	19	39	59	82	—	108	129	150	173	200	228	257	291			257
28	2b $\beta_{21}$	Mit Kopf nach Mörsch (s. Abb. 5 b und 26)	2,0	1	20	43	70	99	8											
				2	20	43	67	93	1											
				3	21	42	67	92	0											
				4	21	42	67	93	—	121	145	170	199	230	266	311	363			311

Tabelle 41a. II. Unbewehrte Säulen. Messung am oberen Ende der Säule.

Ver- such Nr.	Zeichen der Säule	Form der Säule	Länge der Säule m	Geprüft		Querdehnungen in $\text{cm} \cdot 10^{-6}$ bei folgenden Belastungen in kg														
				in Reihe Nr.	bei Alter in Tagen	17210	32810	48150	1570	63270	78210	88170	98030	107730	117290	1570				
29	1a $\alpha_3$	ohne Kopf	1,0	1	8	12	44	24												
				2	5	14	33	2												
				3	5	15	33	—												
				4	9	21	38	—	76	133	196	262	356	456			356	456		



Tabelle 43. Mittlere Querdehnungen der Säulen bei wachsender Belastung.

Die Beobachtungen begannen von 1570 kg Anfangs-(Null) Last ab.

Nr. des Versuches	Bezeichnung der Säulen	Art der Säulen	Länge der Säulen m	Querdehnungen in cm $10^{-5}$ , gemessen am oberen Ende der Säule bei den folgenden Belastungen in kg.											
				17210	32810	48150	63270	78210	88170	98030	107730	117290	126780	136190	145500
17	2	Längseisen liegen bündig mit den Druckflächen.	1,3	9	26	44	63	78	96	118	148	181	213	252	293
18	2a'α			17	39	59	78	90	101	115	133	158	189	226	274
Mittel	—			13	33	52	71	84	99	117	141	170	201	239	284
21	1	mit Eisen bewehrt	1,9	22	47	66	85	102	123	149	177	212	251	292	336
23	2aα			10	31	44	59	81	126	199	299	408	522	630	756
Mittel	—			16	39	55	72	92	125	174	238	310	387	461	546
20	1	Enden der Längseisen etwa 10 mm von Druckfläche entfernt; bündig mit ihnen je 1 geschweißter Bügel.	2,0	36	51	104	164	228	312	408	516	618	764	—	—
24	2aβ			12	33	59	99	193	295	429	564	691	839	973	1136
Mittel	—			24	42	82	132	211	304	419	540	655	802	[973]	[1136]
26	1	Anordnung der Bewehrung (s. Abb. 5 b und 26).	2,0	18	38	58	79	100	115	130	148	165	185	207	227
27	2			19	39	60	84	108	129	150	173	200	228	257	291
28	3			21	43	68	96	121	145	170	199	230	266	311	363
Mittel	—	19	40	62	86	110	130	150	173	198	226	258	294		
29	1a''	ohne Kopf bewehrt	1,0	6	16	37	76	133	196	262	356	456	—	—	—

Tabelle 44. Mittlere Längenabnahme der Säulen bei wachsender Belastung.

Die Beobachtungen begannen von 1570 kg Anfangs-(Null)Last ab.

Nr. des Versuches	Bezeichnung der Säulen	Art der Säulen	Länge der Säulen m	Längenabnahme in $\frac{0}{10} \cdot 10^{-5}$ , gemessen in der Mitte der Säule bei den folgenden Belastungen in kg.											
				17210	32810	48150	63270	78210	88170	98030	107730	117290	126780	136190	145500
17	2	Längseisen liegen bündig mit den Druckflächen.	1,3	577	1218	1859	2495	3098	3574	4030	4520	4990	5484	6018	6590
18	2a $\alpha$			602	1260	1916	2562	3198	3684	4166	4676	5182	5718	6286	6868
Mittel	—			590	1239	1888	2529	3148	3629	4098	4598	5086	5601	6152	6729
21	1	mit Eisen bewehrt	1,9	583	1206	1824	2446	3058	3510	3992	4460	4960	5470	5966	6474
23	2a $\alpha$			567	1175	1784	2400	2994	3454	3920	4390	4862	5364	5860	6356
Mittel	—			575	1191	1804	2423	3026	3482	3956	4425	4911	5417	5913	6415
20	1	Enden der Längseisen etwa 10 mm von Druckfläche entfernt; bündig mit ihnen je 1 geschweißter Bügel.	2,0	599	1254	1906	2577	3220	3702	4186	4722	5222	5762	—	—
24	2a $\beta$			615	1286	1954	2629	3284	3786	4284	4804	5328	5848	6360	6890
Mittel	—			607	1270	1930	2603	3252	3744	4235	4763	5275	5805	[6360]	[6890]
26	1	Anordnung der Bewehrung (s. Abb. 5 b und 26).	2,0	570	1185	1794	2452	2994	3442	3892	4368	4840	5346	5838	6358
27	2			646	1333	2028	2711	3406	3900	4426	4964	5526	6124	6710	7332
28	3			653	1354	2060	2763	3460	3988	4520	5016	5628	6242	6992	7676
Mittel	—	623	1291	1961	2642	3287	3777	4279	4783	5331	5904	6513	7122		
29	1a''	2	1,0	726	1512	2293	3104	4030	4718	5470	6202	7040	—	—	



Tabelle 45.

**Druckfestigkeit des zu den Säulen Reihe B verarbeiteten Betons.**  
 Würfel von 30 cm Kantenlänge; Druckfläche = 900 qcm; Inhalt = 27 000 ccm;  
 Alter = 28 Tage.

Lfde. Nr. der Fertigung	Zeichen der zugehörigen Säule	Tag der Fertigung	Gewicht des Würfels kg	Raum- gewicht des Betons g/ccm	Bruchfestigkeit	
					Belastung $P$ kg	Spannung $\sigma_B$ kg/qcm
16	2a'α · 1	7. III. 12	61,70		206 800	230
17	2a'α · 2	12. III. 12	62,15		201 200	224
18	2a'α · 3	} 14. III. 12	62,30		217 700	244
19	1a'' · 1					
20	2aβ · 1	16. III. 12	61,50		208 100	231
21	2aα · 1	} 19. III. 12	62,25		216 400	240
22	2aβ · 2					
23	2aα · 2	21. III. 12	61,40	—	205 400	228
24	2aα · 3	} 23. III. 12	62,10		206 800	230
25	2aβ · 3					
26	2bβ 2 · 1	26. III. 12	62,21		208 100	231
27	2bβ 2 · 2	28. III. 12	61,90		208 100	231
28	2bβ 2 · 3	30. III. 12	61,30		205 400	228
29	1a'' · 2	} 2. IV. 12	62,00		208 100	231
30	1a'' · 3					
Mittelwerte			61,88	2,3	208 400	232

Tabelle 46.

## Ergebnisse der Druckversuche mit den Säulen Reihe B.

Sämtliche Säulen sind bei 28 Tagen Alter geprüft. Die Druckübertragung erfolgte nach dem Verfahren b (s. Seite 11).

Nr. des Versuchs	Bezeichnung der Säulen	Art der Säulen		Länge der Säulen m	Proben gefertigt bei mittlerer		Bruchbelastungen		Verhältnis $V = \frac{P}{P_1} 100$ %	Bruchverlauf bei den Säulen
					Zimmer-Wärme C°	relativer Luftfeuchtigkeit %	der Säulen P kg	des zugehörigen Würfels P <sub>1</sub> kg		
16	2 a' α	Längseisen liegen	bündig mit Druckfläche	1,3	12,8	66	271 100	206 800	131	Druckpyramide am oberen Ende. Doppelpyramide, Grundfläche in größerer Entfernung vom Ende. (s. Abb. 29 a u. b)
17					14,3	60	248 910	201 200	124	
18					16,2	61	240 850	217 700	111	
Mittel					14,4	63	253 620	208 570	122	
21	2 a α	ohne Kopf	Mit Eisen bewehrt	1,9	13,2	67	252 870	216 400	117	Druckpyramide am oberen Ende. (s. Abb. 30)
23					14,5	62	211 650	205 400	103	
25					15,0	57	240 700	206 800 <sup>2)</sup>	116	
Mittel					14,2	62	235 070	209 530	112	
20	2 a β	Enden der Längseisen etwa 10 mm von Druckfläche entfernt. Bündig mit ihnen je ein geschweißter Bügel.	2,0	14,6	60	188 090	208 100	90	Druckpyramide am oberen Ende. (s. Abb. 31)	
22				13,2	67	203 590	216 400 <sup>3)</sup>	94		
24				15,0	57	202 530	206 800	98		
Mittel				14,3	61	198 070	210 430	94		
26	2 b β 2	mit Kopf nach Mörsch	Anordnung der Bewehrung (s. Abb. 5 b und 26)	2,0	12,8	90	256 960	208 100	123	In einiger Entfernung vom Ende des Schaftes. (s. Abb. 32)
27					14,8	78	232 480	208 100	112	
28					14,7	73	225 340	205 400	110	
Mittel					14,1	80	238 260	207 200	115	
19	1 a''	ohne Kopf	unbewehrt	1,0 <sup>1)</sup>	16,2	61	147 180	217 700 <sup>4)</sup>	68	Druckpyramide am oberen Ende. (s. Abb. 33 a u. b)
29					14,5	71	155 430	208 100	75	
30					14,5	71	152 220	208 100	73	
Mittel					15,1	68	151 610	211 300	72	
31	—	Eisen-Gerippe ohne Beton	—	1,9	—	—	26 430	—	—	Die vier Längseisen biegen seitwärts in der gleichen Richtung aus.
32							24 600	—	—	
33							27 480	—	—	
Mittel							26 170	—	—	

1) Gleich Schaftlänge der Säulen mit Kopf nach Mörsch (s. Versuche 26, 27 und 28).

2) Festigkeit des mit Säule (Versuch) 24 gefertigten Würfels. Säulen 24 und 25 sind an demselben Tage gefertigt.

3) " " " " " 21 " " " 21 " 22 " " " " " "

4) " " " " " 18 " " " 18 " 19 " " " " " "

## Versuchsreihe C.

### I. Arbeitsplan.

In Reihe B hatten die Säulen 16—18, bei denen die Endflächen der Längseisen bündig mit der Druckfläche lagen, die höchsten Bruchlasten und somit bei demselben Beton die größte Wirkung der Eiseneinlagen ergeben. Mit Rücksicht auf die hohen Bearbeitungskosten aber, die mit der Herstellung dieser Säulenart, d. h. dem Abschleifen der Längseisen (s. S. 56) verbunden waren, erschien es zweckmäßig, zunächst noch weitere Versuche darüber anzustellen, wie weit die Längseisen von den Druckflächen abstehen dürfen, um gleich gute Wirkung der Bewehrung zu erhalten wie mit Längseisen, deren Endflächen bündig mit den Druckflächen liegen.

Zur Entscheidung dieser Frage beschloß der Arbeitsausschuß auf Vorschlag des engeren Ausschusses in seiner Sitzung am 4. Mai 1912, noch je drei Säulen zu prüfen, bei denen die Endflächen der Längseisen 1, 2 und 5 mm von den Druckflächen abstanden und mit entsprechend dicken Betonschichten überdeckt waren. Die Säulen sollten wieder etwa 2 m Länge und im übrigen die gleiche Bewehrung erhalten wie die in Reihe A und B geprüften Säulen ohne Kopf.

### II. Die Herstellung der Säulen.

Mit Anfertigung der Säulen und je eines Würfels zur Ermittlung der Beton-Druckfestigkeiten (s. Tab. 47) wurde am 15. Mai 1912 begonnen. Die verwandten Rohstoffe und die Zusammensetzung des Betons waren die gleichen wie bei Reihe A und B.

Um die gewünschten Abstände der Längseisen von den Druckflächen möglichst genau zu erzielen, wurden alle neun Säulen zunächst so gestampft, daß die Eisen an beiden Enden etwa 5 mm aus dem Beton hervorragten. Die Säulen wurden dann wie bei den früheren Versuchen wieder liegend zwischen zwei parallel gehaltenen ebenen Platten mit Zementmörtel abgeglichen, wobei die Platten auf die gewünschten Abstände von den Endflächen der Eisen eingestellt waren. Hierbei wurde Gelegenheit genommen, die wirklich erzielten Abstände bei allen Stangen im einzelnen festzustellen. Die Messungsergebnisse sind in Tab. 62 mit angegeben. Sie lassen erkennen, daß keine vollständige Uebereinstimmung in den Abständen bei den vier Stangen derselben Säule erzielt ist, weil die Stangen beim Stampfen des Betons sich um einige Zehntelmillimeter gegeneinander verschoben hatten. Soll bessere Uebereinstimmung erzielt werden, so wird man die Stangen am unteren Ende mit der Grundplatte der Form verschrauben müssen.

### III. Festigkeitsversuche mit den Säulen.

#### 1. Die Querdehnungen und Längenänderungen.

Bei Prüfung der Säulen sind die Querdehnungen am oberen Ende wieder mit dem Apparat Abb. 12 gemessen und die Längenabnahme in Säulenmitte auf 50 cm Meßlänge.

Die Einzelbeobachtungen sind in Tab. 48—56 zusammengestellt; die aus ihnen für die einzelnen Belastungsreihen berechneten Querdehnungen und Längenänderungen zeigen Tab. 57 und 58; die Mittelwerte sind schließlich in Tab. 59 und 60 gegenübergestellt.

An den Tab. 48—57 und 59 fällt es auf, daß die Messungen der Querdehnungen bei mehreren Säulen negative Werte, d. h. Verkürzungen der Säulendurchmesser, ergaben. Da zur Innehaltung der Prüfungstermine (die Säulen sollten bei 28 Tagen Alter geprüft werden) meist unmittelbar hintereinander an jedem Tage

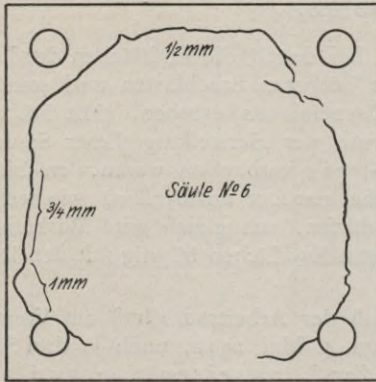


Abb. 36a. Säule 6.

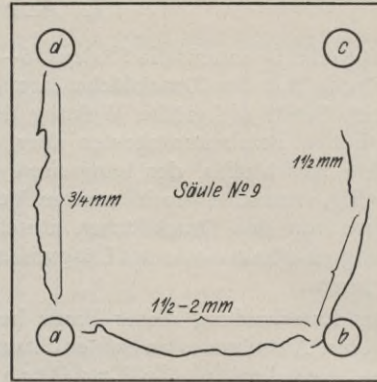
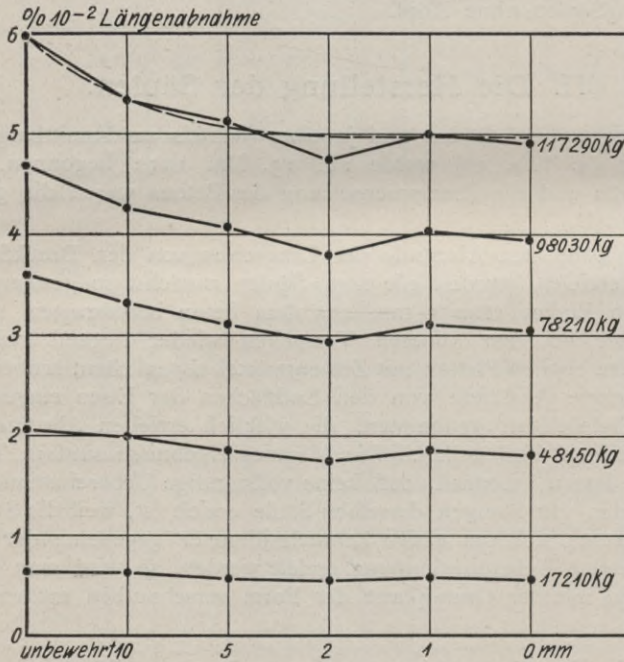


Abb. 36b. Säule 9.

Rißbildungen auf der oberen Druck-(Stampf-)Fläche vor dem Abgleichen.



Abstand der Längseisen von der Druckfläche.

Abb. 37. Einfluß des Abstandes der Längseisen von den Druckflächen auf die Längenabnahme in der Mitte der Säulen bei gleichen Belastungen.

eine Säule zu prüfen war, so stand keine Zeit zur Verfügung, die Meßapparate wiederholt neu anzusetzen. Man hätte sich sonst davon überzeugen können, ob die negativen Werte etwa durch mangelhaften Sitz der Apparate oder dadurch veranlaßt wurden, daß die Quereisen, an denen die kleinen Eisenzyylinder als Meßstellen angelötet waren (s. Abb. 8 und 11), nach außen verbogen waren und sich infolge ihrer Anspannung beim Versuch, d. h. durch ihre Beanspruchung auf Zug

gerade gerichtet wurden, die Meßstellen also tatsächlich nach der Säulenachse hin sich bewegten. Durch diesen Ausfall der Kontrolle haftet den Querdehnungsmessungen bei der Reihe C eine gewisse Unsicherheit an und deshalb ist Abstand genommen, weitgehende Schlüsse aus ihnen zu ziehen.

Zu Tab. 60, enthaltend die mittleren Längenabnahmen, ist hervorzuheben, daß die Säulen 4 und 8 auffallend größere Längenabnahmen erlitten als die zugehörigen gleichartigen Säulen 1, 7 und 2, 5. Die größeren Formänderungen bei gleichen Belastungen zeugen von zufällig geringerer Festigkeit des Materials, was darin Bestätigung findet, daß die beiden Säulen 4 und 8 in der Mitte zu Bruch

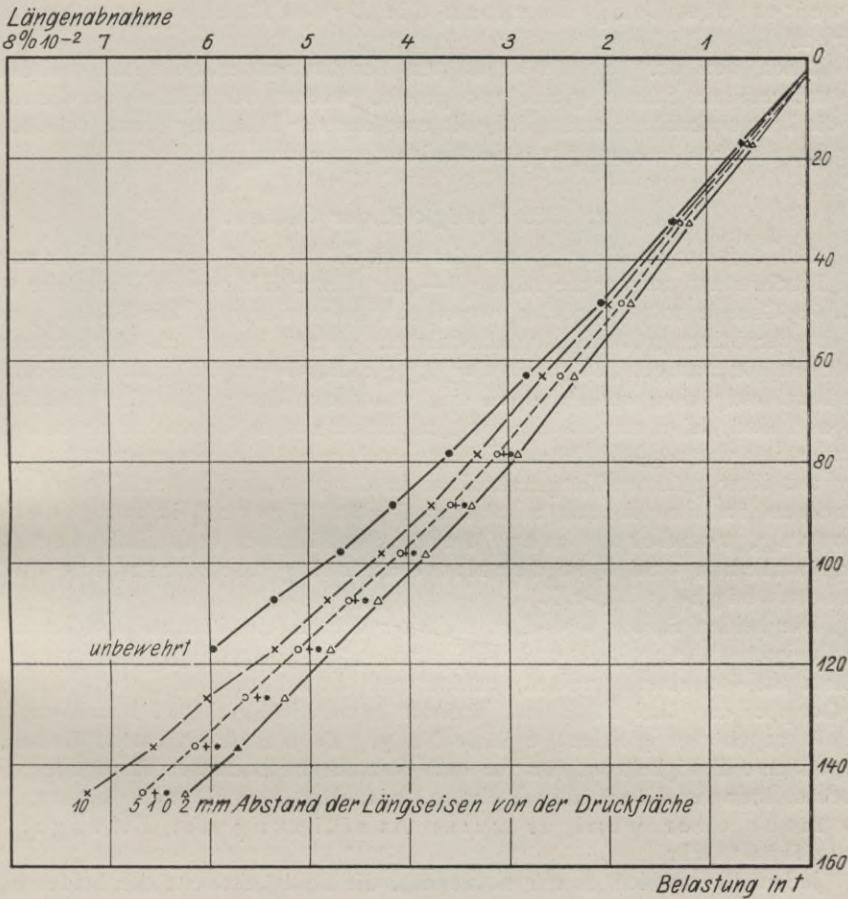


Abb. 37a. Längenabnahme der Säulen in der Mitte (Reihe C).

gingen, während alle anderen wieder am oberen, zuletzt gestampften Ende brachen. Die Werte für 4 und 8 sind daher von Berechnung der Mittelwerte für die Längenabnahmen ausgeschlossen.

Die Säulen 6 und 9 zeigten an dem zuletzt gestampften Ende auf der noch nicht abgeglichenen Druckfläche Risse von 0,5 bis 1 mm Tiefe, deren Verlauf aus Abb. 36 a und b zu ersehen ist. Die Ursache dieser Risse hat nicht festgestellt werden können. Da nun ferner die Eisengerippe zu diesen beiden Säulen von einem anderen Schlosser hergestellt waren als die übrigen Gerippe und beide Säulen in ihrer Festigkeit auffallend gegen Säule 3 zurückgeblieben sind (s. Tab. 62), so sind auch die für sie ermittelten Längenabnahmen von der Mittelbildung ausgeschlossen.

Die für die einzelnen Säulen bei der vierten Belastungsreihe erzielten Längenabnahmen bei wachsender Belastung, in halber Höhe der Säule auf 50 cm Länge gemessen, sind in Tab. 61 den in gleicher Weise beobachteten Längenabnahmen der Säulen 1a und 2a aus Reihe A und der Säule 2aα aus Reihe B gegenübergestellt; von ihnen war 1a unbewehrt, bei 2a waren die Längseisen 10 mm von der Druckfläche entfernt und bei 2aα lagen sie mit der letzteren bündig.

Aus dem Vergleich der Werte für dieselben Belastungen, siehe auch die hiernach aufgetragenen Schaulinien Abb. 37 und 37a, ergibt sich, daß die Längenabnahme in Mitte der Säulen durch die Bewehrung vermindert worden ist, und zwar im allgemeinen<sup>1)</sup> um so mehr, je weiter die Längseisen an die Druckflächen herangeführt waren.

Nach den der Tab. 61 angefügten Verhältniszahlen, die Längenabnahmen der unbewehrten Säulen gleich 100 gesetzt, wächst der Einfluß der Bewehrung auf die Längenabnahme anfänglich mit zunehmender Belastung etwas, scheint dann aber bei höheren Belastungen gleichbleibend zu sein.

## 2. Die Festigkeit der Säulen.

Die erzielten Bruchfestigkeiten der neun Säulen sind aus Tab. 62 zu ersehen. Den Bruchverlauf zeigen die Abb. 38—40. Unter Hinweis auf das Seite 85 zu Tab. 60 Gesagte möge zunächst hervorgehoben werden, daß die Säulen 4 und 8, die in der Mitte größere Längenabnahmen gezeigt hatten als die anderen zugehörigen gleichartigen Säulen, in der Mitte zu Bruch gingen (s. Abb. 38 und 40). Ihre Bruchfestigkeiten unterscheiden sich von denen der übrigen aber nicht wesentlich und sind daher zur Mittelbildung mit herangezogen. Daß ihre Bruchfestigkeit nicht größer war als die der am Ende gebrochenen Säulen, beweist im Zusammenhang mit ihrer größeren Längenabnahme in der Mitte, daß der Eintritt des Bruches in der Mitte nicht auf günstigere Wirkung der Bewehrung, sondern darauf zurückzuführen ist, daß der **Beton** der Säulen 4 und 8 in der Mitte zufällig die geringere Widerstandsfähigkeit besaß.

Die beiden Säulen 6 und 9, die vor dem Abgleichen auf den Endflächen Risse zeigten (s. Abb. 36a und 36b) und deren Eisengerippe, wie schon oben erwähnt ist, von einem anderen, weniger geübten Schlosser hergestellt waren, als die Gerippe der übrigen Säulen, lieferten wesentlich geringere Bruchfestigkeiten als die zugehörige gleichartige Säule Nr. 3. Es muß dahingestellt bleiben, ob die geringere Festigkeit auf die vor dem Versuch beobachteten Risse oder darauf zurückzuführen ist, daß die Festigkeit der bewehrten Säulen von der mehr oder weniger guten Ausführung der Eisengerippe beeinflußt wird.

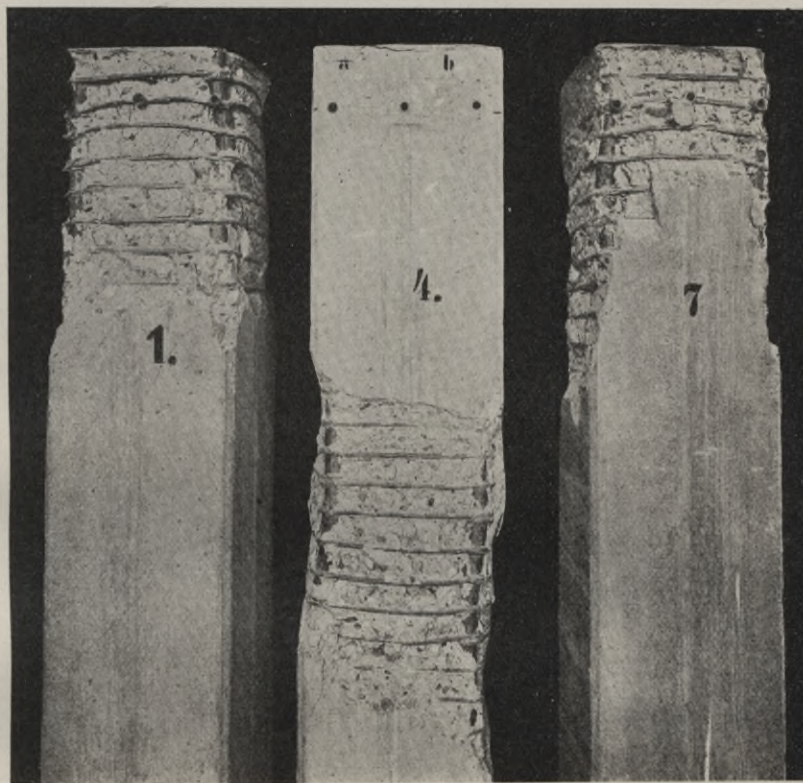
Jedenfalls erschien es mir notwendig, die Festigkeitswerte der beiden Säulen 6 und 9 von der Mittelbildung auszuschließen.

Eine vollständige Uebersicht über den Einfluß des Abstandes der Längseisen von den Druckflächen auf die Bruchfestigkeit der untersuchten Säulen liefert Tab. 63 und die hiernach verzeichnete Schaulinie Abb. 41. Bevor auf ihre Besprechung eingegangen wird, bleibt hervorzuheben, daß die hervorgetretenen Unterschiede an den verschiedenartigen Säulen weder auf Unterschiede in der Güte der Gerippe noch auf Unterschiede in den Festigkeiten des zu den Säulen verarbeiteten Betons zurückgeführt werden können. Die Gerippe waren zu allen Säulen von demselben Schlosser hergestellt und der verwendete Beton hat in der Würfelprobe bei allen drei Reihen, wie Tab. 63 zeigt, so befriedigend übereinstimmende Bruchfestigkeiten ergeben, daß mit Recht angenommen werden kann,

<sup>1)</sup> Aus der Reihe heraus fallen die Säulen mit 2 mm Abstand der Längseisen von der Druckfläche. Sie zeigen von allen die geringsten Längenänderungen.

daß die Einflüsse bestehender Unterschiede in den Mittelwerten für die Säulenfestigkeiten zum Ausgleich gekommen sind.

Der Verlauf der Schaulinie (Abb. 41) führt dann zu dem Schluß, daß zur Erzielung möglichst großer Wirkung der Bewehrung der Abstand  $A$  der Längseisen von den Druckflächen kleiner als 10 mm zu wählen ist. Die größte Bruchfestigkeit ist mit  $A=5$  mm erzielt, dieses Ergebnis ist aber unsicher, da hierfür nur ein einwandfreier Versuch vorliegt. Von den Versuchen mit  $A < 5$  gaben die mit  $A=2$  mm die größte mittlere Bruchfestigkeit der Säulen, etwas geringer war letztere bei  $A=1$  mm und wesentlich kleiner bei  $A=0$ , d. h. für die Säulen, bei denen die Längseisen bündig



Bruchlast = 249 050 kg      = 246 000 kg      = 253 600 kg

Abb. 38. Säulen 1, 4 und 7 aus Reihe C.

Endflächen der Längseisen stehen etwa 1 mm von den Druckflächen ab.

mit den Druckflächen lagen. Hierzu kommt, daß die drei Versuche mit  $A=0$  die größten Abweichungen der Einzelergebnisse untereinander lieferten.

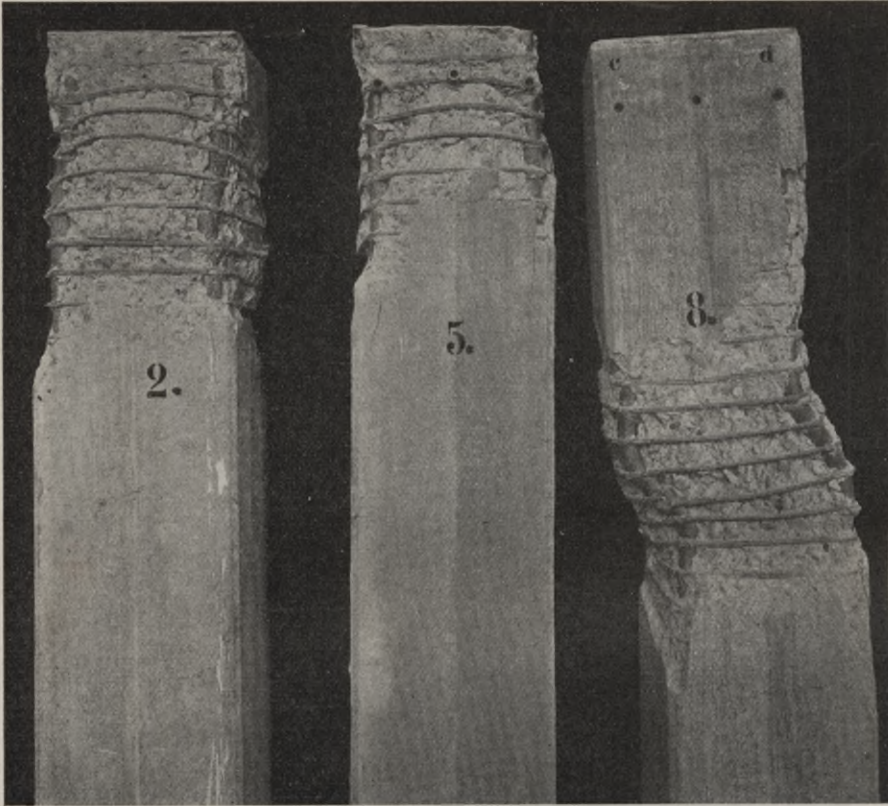
Daß die Festigkeit der Säulen abnimmt, wenn  $A$  kleiner als 2 mm wird, befremdet zunächst, vielleicht ist die Erklärung aber in folgendem zu finden.

Nach Tab. 60 beträgt die größte Längenabnahme, die in der Mitte der Säulen kurz vor dem Bruch beobachtet ist, 0,152 %. Nach Tab. 5 ist die Längenabnahme —  $\lambda_s$  der Längseisen an der Streckgrenze mit  $E=2070\,000$  kg/qcm und  $\sigma_s=2600$  kg/qcm

$$- \lambda_s = \frac{2600 \cdot 100}{2070\,000} = 0,125 \%$$

Hieraus ergibt sich, daß die Längseisen beim Bruch der Säule bis über die Quetschgrenze beansprucht sind, sofern ihre Endflächen mit den Druckflächen der Säulen bündig liegen, die Eisen sich also gegen den Beton nicht verschieben können, sondern die gleichen Längenänderungen erleiden müssen wie der Beton.

Die dieser Betrachtung zugrunde gelegten Messungsergebnisse gelten für die Mitte der Säule, d. h. für den Teil der Säule außerhalb der Bruchstelle. Im Bereich der letzteren sind die Formänderungen des Betons aller Wahrscheinlichkeit nach größer als der in Rechnung gestellte Wert; daher ist an der Bruchstelle auch die Beanspruchung des Längseisens noch größer und wächst somit hier die Gefahr des Einknickens der Eisen. Treten die Endflächen der Eisen von der



Bruchlast = 260 150 kg

= 248 150 kg

= 249 050 kg

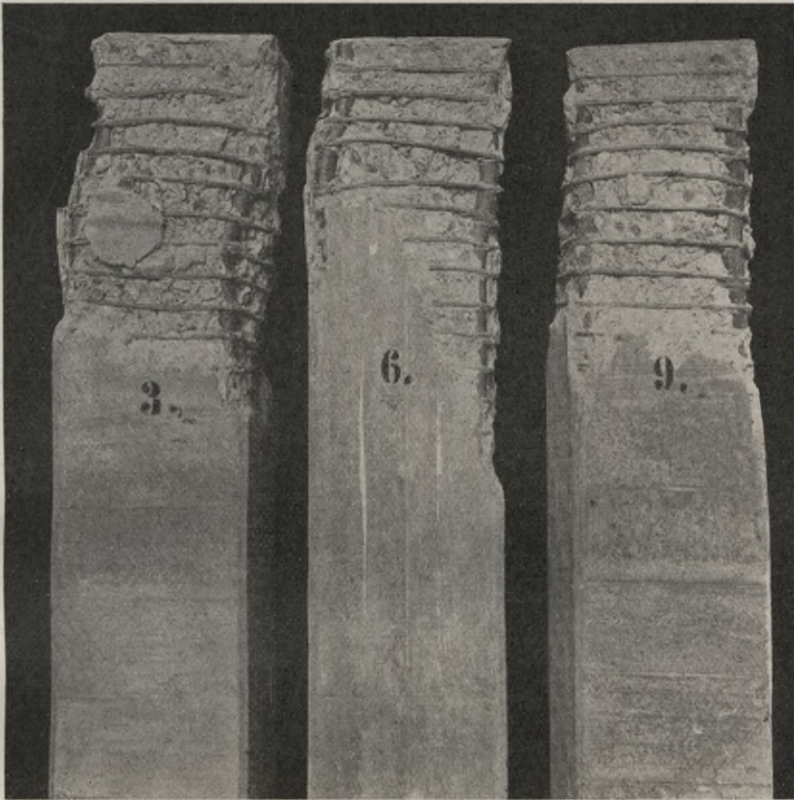
Abb. 39. Säulen 2, 5 und 8 aus Reihe C.

Endflächen der Längseisen stehen etwa 2 mm von den Druckflächen ab.

Druckfläche zurück und liegt über ihnen eine Mörtelschicht, die bei gleicher Druckspannung größere Zusammendrückbarkeit besitzt als das Eisen, so kann hierdurch eine Entlastung der Längseisen eintreten; hierdurch ist aber die Gefahr ihres Einknickens vermindert und somit die Tragfähigkeit der mit engliegender Querbewehrung versehenen Säule erhöht. Natürlich gilt diese Betrachtung nur für solche Säulen, bei denen der Beton bei normalem Bruchverlauf zuerst in unmittelbarer Nähe der Druckflächen zerstört wird. Daß der Abstand  $A$  auch beim Bruch der Säulen in deren Mitte eine Rolle spielen sollte, ist nicht zu erwarten, es sei denn, daß die Längseisen unter der Belastung ihrer ganzen Länge nach gegen den umgebenden Beton sich verschieben, sofern ihre Endflächen nicht bündig mit den Druckflächen liegen.



Zur Widerlegung der Anschauung, daß die Betonschicht von 10 mm Dicke über den Endflächen der Längseisen bei den früheren Versuchen zu Sprengwirkungen geführt habe, möge noch ganz besonders hervorgehoben sein, daß auch bei der Säule 2, bei der die fragliche Betonschicht nur 2 mm dick war und sogar bei der Säule 1 mit nur 1 mm dicker Betonschicht, über den Längseisen von diesen ausgehende Risse und Absprengungen eingetreten sind. Dabei war die dünne Betonschicht vollkommen erhalten, so daß sie sich in einem Falle nach Abklopfen als Kreisscheibe herausheben ließ. Wenn nun trotzdem die bemängelten Absprengungen eintraten, so sind sie auf andere Ursachen zurückzuführen als auf die Wirkungen des die Eisen überlagernden Betons. Ich möchte



Bruchlast = 254 400 kg      = 238 850 kg      = 229 450 kg

Abb. 40. Säulen 3, 6 und 9 aus Reihe C.

Endflächen der Längseisen stehen etwa 5 mm von den Druckflächen ab.

sie auf Grund der jetzt vorliegenden Beobachtungen wie folgt erklären. Die beim Bruch der Säule über der Druckfläche entstehende Pyramide wird in den umliegenden Beton hineingedrückt und treibt letzteren auseinander. Hierdurch werden die Eisen mit nach außen gedrängt und hierbei treiben ihre Enden den neben ihnen in der Grundfläche der Pyramide d. h. in der Druckfläche liegenden Beton durch Seiten druck auseinander. Reichen die Längseisen bis an die Druckfläche heran, so sind ihre Enden durch starke Reibung an der seitlichen Bewegung behindert und daher traten bei diesen Säulen keine Absprengungen ein. Wenn nun diese Säulen trotzdem nicht die höchsten Festigkeiten lieferten, so beweist dies m. E., daß die Absprengungen mit der Entstehung des Bruchbeginnes der Säulen nichts zu tun haben und auf die Bruchfestigkeit ohne Einfluß sind.

Der Anteil, den die Längseisen nach den Messungen der Längenabnahmen in der Mitte der Säulen, gemessen auf 50 cm Länge, bei wachsender Belastung, d. h. vor Erreichung des Bruches von der Gesamtbelastung aufnehmen, ergibt sich aus den Schaulinien Abb. 42. Die einzelnen Linien stellen dar, um wieviel das in den Säulen enthaltene Eisen und der Beton sowie die Säulen selbst sich bei gleicher Meßlänge unter den durch die Ordinaten gegebenen Belastungen verkürzten.

Die oberste der Linien, *E* gilt für das Eisen. Sie ist aufgetragen nach dem mittleren Ergebnis der Beobachtungen an 9 cm langen Abschnitten der zu den Säulen verarbeiteten Längseisen. Die Proben hatten den vollen Querschnitt der Längseisen; die Messung der Längenabnahme erfolgte auf 3 cm Meßlänge. Da in der Säule vier Längseisen enthalten waren, so sind zu den für eine Probe

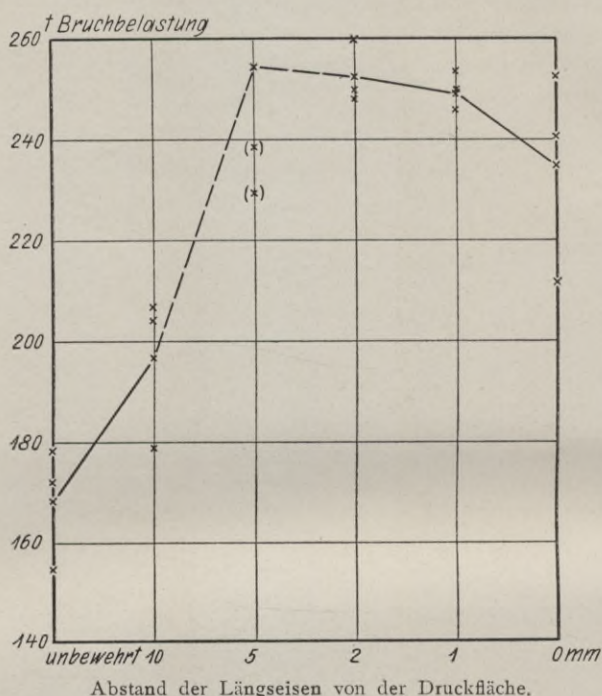


Abb. 41. Einfluß des Abstandes der Längseisen von den Druckflächen auf die Bruchfestigkeit der Säulen.

beobachteten, durch die Abszissen gegebenen Längenabnahmen die vierfachen Belastungen als Ordinaten aufgetragen. Die Linie stellt also dar, welche Belastungen erforderlich waren, um die vier in der Säule enthaltenen Längseisen um die durch die Abszissen gegebenen Beträge ohne seitliches Ausbiegen zusammenzudrücken.

Die zweite Linie, *B* für die Beziehungen zwischen den Belastungen und Längenabnahmen oder Zusammendrückungen des Betons ist nach den mittleren Beobachtungen aufgetragen, die sich bei den Druckversuchen mit den nicht bewehrten Säulen ergeben haben. Diese Säulen hatten  $30 \times 30 \text{ cm} = 900 \text{ qcm}$  Betonquerschnitt. In den bewehrten Säulen betrug der Betonquerschnitt nach Abzug des Querschnittes der vier Längseisen mit  $7,07 \text{ qcm}$  Querschnitt nur  $900 - 4 \cdot 7,07 \cong 872 \text{ qcm}$ , also nur  $\frac{872 \cdot 100}{900} \cong 97\%$  von dem Betonquerschnitt der unbewehrten Säulen. Daher sind in Abb. 42 zu den an den unbe-

wehrten Säulen beobachteten Längenabnahmen (Abszissen) nur 97 % der wirklich angewendeten Belastungen als Ordinaten aufgetragen.

Die dritte Linie, *S* (Abb. 42) gibt die Beziehungen zwischen den Belastungen und zugehörigen beobachteten mittleren Längenabnahmen der bewehrten Säulen.

Wenn nun in den bewehrten Säulen der Widerstand des Betons und der Widerstand der Längseisen gegen Zusammendrücken voll zur Wirkung gekommen

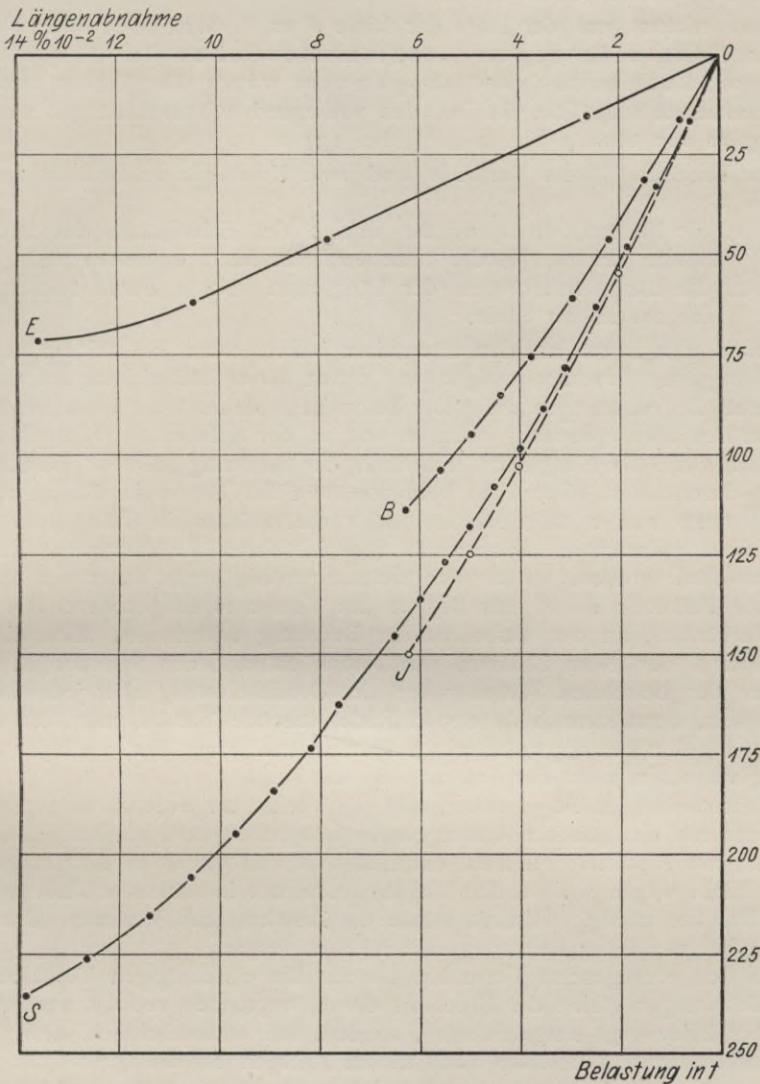


Abb. 42. Verlauf der Längenabnahmen bei wachsender Belastung.

Die Linien gelten: *E* für die 4 Längseisen, *B* für den Beton, *S* für die bewehrte Säule. *J* stellt die ideale Linie dar für eine Säule, in der die Tragfähigkeit vom Beton und Eisen voll zur Wirkung kommen. Ihre Ordinaten sind gleich der Summe der Ordinaten von *B* und *E* für die gleichen Abszissen.

wäre, so hätte zum Zusammendrücken der bewehrten Säulen um irgendeinen Betrag —  $\lambda$  eine Belastung  $P_i$  erforderlich sein müssen gleich der Summe der beiden Belastungen  $P_e$  und  $P_b$ , die nach den Linien *E* und *B* erforderlich sind, um die vier Längseisen und den Beton um den gleichen Betrag —  $\lambda$  zusammenzudrücken.

Die unterste Linie,  $J$  (Abb. 42) stellt nun die ideale Linie dar, deren Ordinaten sich aus der Summe  $P_e + P_b = P_i$  für gleiche Zusammendrückungen ergeben. Die Unterschiede zwischen den Ordinaten  $P_i$  dieser Linie und den Ordinaten  $P_s$  der Linie  $S$  für die gleichen Abszissen ergeben die Beträge, um die der Gesamtwiderstand der vier Längseisen und des Betons gegen Zusammendrücken bei Beanspruchung im einzelnen größer ist als der Widerstand bei Vereinigung beider Baustoffe zur eisenbewehrten Säule.

Man erkennt aus der Lage der Linie  $J$  zu  $S$ , daß der Widerstand beider Baustoffe gegen Zusammendrücken in der eisenbewehrten Säule nicht voll ausgenutzt wird. Der Verlust nimmt nach der Zusammenstellung Tab. 64 bei den vorliegenden Versuchen mit wachsender Belastung zu von etwa 3 bis auf 6 % bei 137 t.

Zur Erklärung dieses Verlustes sind zwei Umstände in Betracht zu ziehen, nämlich

1. die Nebenspannungen, die infolge des Schwindens des Betons bei dessen Erhärten in der eisenbewehrten Säule entstehen und
2. die Längenänderungen der Längseisen infolge deren seitlichen Ausbiegens in der Säule.

Sofern der Beton an den Längseisen haftet, treten bei seinem Schwinden in den Längseisen Druckspannungen und durch deren Rückwirkung auf den Beton in letzterem Zugspannungen auf. Der Beton kann daher beim Belasten der Säule erst dann Druckbeanspruchung erfahren und an der Aufnahme der Druckbelastung teilnehmen, wenn die Längseisen sich unter der Belastung so weit verkürzt haben, daß die durch ihren Widerstand beim Erhärten des Betons in diesem erzeugten Zugspannungen wieder aufgehoben sind; vorher müssen die Längseisen die Belastung allein aufnehmen. Naturgemäß wird hierdurch die Verkürzung der eisenbewehrten Säule größer, als sie sich rechnergemäß ergibt unter der Annahme, daß beide Baustoffe sofort mit Beginn des Versuches entsprechend ihrer natürlichen Verkürzung an der Aufnahme der Belastung teilnehmen. Erheblich kann dieser Einfluß der beim Erhärten des Betons entstandenen Spannungen auf das Verhalten der bewehrten Säulen unter der Druckbelastung aber jedenfalls nicht gewesen sein, denn sonst hätte der in Rede stehende Verlust unter der ersten Laststufe besonders groß sein müssen, was nach den vorliegenden Annäherungsversuchen nicht der Fall zu sein scheint.

Wahrscheinlicher ist es daher, daß der Verlust an Widerstand gegen Druckbelastungen auf das seitliche Ausbiegen der Längseisen zurückzuführen ist. Dieses Ausbiegen muß, sofern es einmal eingeleitet ist und soweit es dann ungehindert erfolgen kann, wegen wachsenden Biegemomentes in stärkerem Maße zunehmen als die Druckbelastung. Hiermit würde die Zunahme des Verlustes (Unterschied  $P_i - P_s$ ) bei steigender Belastung sich erklären lassen.

Bei den vorliegenden Versuchen können die einschlägigen Verhältnisse nur bis zu Belastungen gleich der Bruchlast der Betonprismen verfolgt werden. Nun ist es aber keineswegs ausgeschlossen, sondern sehr wahrscheinlich, daß die nach außen ausbiegenden Längseisen nach sattem Anlegen an die Querbügel größeren Halt bekommen und ihre Ausbiegung infolgedessen innerhalb gewisser Grenzen der Druckbelastung wenig oder gar nicht mehr zunimmt. Hiermit würde aber eine Abnahme des prozentualen Verlustes verbunden sein und daher ist es nicht ausgeschlossen, daß die Schaulinie  $S$  sich der idealen Linie  $J$  (Abb. 42) bei höheren Belastungen nähert, d. h. bei höheren Belastungen eine bessere Ausnutzung der Eigenfestigkeit der beiden Baustoffe, Eisen und Beton, eintritt.

Bei den weiteren Versuchen wird angestrebt werden, Aufschluß über diese offenen Fragen dadurch zu erlangen, daß man die Längenänderungen der Längseisen bis zu möglichst hohen Belastungen unmittelbar bestimmt.

Erst wenn diese Fragen gelöst sind, wird man sichere Unterlagen zur Verfügung haben, um beurteilen zu können, wie die Anteile zu berechnen sind, die

der Beton, die Längseisen und die Querbewehrungen an Nutzlast und an der Bruchlast der bewehrten Säulen haben.

Aus dem Vergleich der Linien  $E$  und  $S$  (Abb. 42) ergibt sich, daß die Verkürzung der bewehrten Säulen beim Bruch den Betrag der Verkürzung der Längseisen bei deren Beanspruchung bis zur Quetschgrenze übersteigt. Nach vorstehendem steht nicht fest, wieviel von der Verkürzung der Längseisen in der Säule auf deren seitliches Ausbiegen entfällt. Wohl aber berechtigen schon die vorliegenden Messungen zu der Annahme, daß die Längseisen in den eisenbewehrten Säulen keine wesentlich höheren Belastungen aufnehmen, als ihrer Spannung an der Streckgrenze entspricht, und daß man jedenfalls keinen großen Fehler begeht, wenn man den Anteil  $P_e$ , den die Längseisen mit dem Gesamtquerschnitt  $F_e$  an der Bruchlast der eisenbewehrten Säulen nehmen, gleich der Belastung an der Quetschgrenze der Eisen annimmt. Diese Belastung ergibt sich unter den vorliegenden Verhältnissen — vier Längseisen von 3,0 cm Durchmesser aus Material mit der mittleren Quetschgrenze  $\sigma_s \cong 2600$  kg/qcm — zu  $P_e = F_e \cdot \sigma_s = 4 \cdot 7,07 \cdot 2600 \cong 73\,580$  kg.

Die Bruchfestigkeit des unbewehrten Betonprismas von 2 m Länge und 900 qcm Querschnitt ist zu  $P_b = 168\,700$  kg ermittelt (s. Tab. 30). Der Querschnitt  $F_b$  des Betons in der bewehrten Säule beträgt 900 — 28,3 = 871,7 qcm, also nur 97 % von dem Querschnitt des unbewehrten Prismas. Demnach berechnet sich die Druckfestigkeit  $P_{bs}$  des Betons in der bewehrten Säule, unter der Annahme, daß die Festigkeit des Betons voll ausgenutzt wird, zu

$$P_{bs} = 168\,700 \frac{97}{100} = 163\,640 \text{ kg.}$$

Treffen die bei den vorstehenden Berechnungen gemachten Annahmen zu, so müßten die Bruchfestigkeiten  $P_s$  der eisenbewehrten Säulen mindestens sein gleich der Summe der Materialfestigkeiten

$$P_s = P_e + P_{bs} = P_m.$$

Fallen sie größer aus, so ergibt der Ueberschuß den Betrag  $P_q$ , um den die Säulenfestigkeit durch die Wirkung der Querbewehrung gesteigert wird<sup>1)</sup>.

In Tab. 63 sind nun die Unterschiede zwischen der berechneten Materialfestigkeit  $P_m$  und den durch die Versuche ermittelten Säulenfestigkeiten  $P_s$  gegenübergestellt. Es ergibt sich, daß die mittleren Bruchfestigkeiten  $P_s$  derjenigen Säulen, bei denen die Endflächen der Längseisen 5, 2 und 1 mm von den Druckflächen abstanden, um 17 180, 15 230 und 12 330 kg größer waren als die Summe der berechneten Festigkeiten des Betons und der Längseisen. Bei diesen drei Arten Proben hat also die Wirkung der Querbewehrung die Säulenfestigkeit um 7,3, 6,4 und 5,2 %, im Mittel um 6,3 % über die berechnete Gesamtdruckfestigkeit des Betons und der Längseisen gesteigert. Bei den Säulen, in denen die Endflächen bündig mit den Druckflächen lagen und 10 mm von letzteren abstanden, sind die Säulenfestigkeiten dagegen um 2150 und 40 420 kg, d. h. um 0,9 und 17 % gegen die Summe der berechneten Materialfestigkeiten zurückgeblieben. Dieses Ergebnis beweist, daß die Berechnung der Säulenfestigkeit nach dem obigen Verfahren aus den Materialfestigkeiten nicht ohne weiteres zulässig ist, daß vielmehr die Art der Kraftübertragung auf die Längseisen von wesentlichem Einfluß ist. Aufgabe der Konstruktion wird es sein, dafür Sorge zu tragen, daß die Belastungen im Bauwerk schon in den Endquerschnitten der Säulen möglichst vollkommen auch auf die Längseisen mit übertragen werden. Dem Versuch aber bleibt dann, nachdem festgestellt ist, welche höchsten Säulenfestigkeiten mit den verschiedenartigen Eisenbewehrungen zu erzielen sind, noch die Aufgabe, zu ermitteln, in welchem Maße es tatsächlich möglich ist, diese höchsten

<sup>1)</sup> Siehe Mörsch: „Versuche mit Säulen und deren Berechnung“. Deutsche Bauzeitung 1912, Nr. 54 und 58.

Säulenfestigkeiten in den Baukonstruktionen durch gute Ueberführung der Säulen-Bewehrungen in die an die Säulen angeschlossenen Bauglieder zu erreichen.

### Zusammenfassung der Versuchsergebnisse.

Die Ergebnisse der ausgeführten drei Versuchsreihen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Sowohl die Querdehnungen als auch die Längenänderungen waren bei den bewehrten Säulen geringer als bei den unbewehrten.
2. Durch das Anbringen der Köpfe war die Querdehnung, gemessen in gleicher Entfernung (55 cm) von Mitte Säule (s. Abb. 13), sowohl bei den unbewehrten als auch bei den bewehrten Säulen verringert. Diese Verringerung trat unter niedrigen Belastungen nur bei den Köpfen österreichischer Form zutage, nicht aber bei den Köpfen nach Mörsch; von 120 t ab war sie bei beiden Kopfformen gleich groß. Die Längenabnahme in Mitte der Säulen war bei den bewehrten Säulen durch die Köpfe österreichischer Form ebenfalls vermindert und durch die Köpfe nach Mörsch unbeeinflusst; dagegen zeigten die unbewehrten Säulen mit Kopf größere Längenabnahmen als diejenigen ohne Kopf.
3. Die Festigkeiten der Säulen können bei Verwendung von Holzformen dadurch beeinflußt werden, daß die Wandungen der Formen, selbst wenn sie vor der Verwendung gefirnißt werden, dem eingefüllten frischen Beton Wasser entziehen.
4. Die Festigkeit der unbewehrten Säulen ist, durch das Anbringen der Köpfe nicht gesteigert, dagegen die der bewehrten Säulen durch den Kopf österreichischer Form um 19 % und durch den Kopf nach Moersch um 21 %. In Betracht gezogen sind hier unter den bewehrten Säulen ohne Kopf lediglich diejenigen, bei denen die Endflächen der Längseisen 10 mm von den Druckflächen abstanden.
5. Die Festigkeit der unbewehrten Säulen von 1—2 m Länge betrug etwa 75—80 % der Würfel Festigkeit des Betons.
6. Mit der Verringerung der Säulenlänge von 2 m auf 1,3 m und 1 m war keine Steigerung der Festigkeit verbunden. Wahrscheinlich wird diese Steigerung erst dann eintreten, wenn die Länge der Säule kleiner als 55—60 cm, d. h. kleiner als die Höhe der beim normalen Bruch sich bildenden Doppelpyramide, gewählt wird.
7. Bei 10 mm Abstand der Längseisen von den Druckflächen wurde die Festigkeit der bewehrten Säulen dadurch nicht gesteigert, daß bündig mit den Enden der Eisen noch ein besonders geschweißter Bügel eingelegt war.
8. Brüche, bei denen die Grundfläche der Bruchpyramide nicht in der Druckfläche liegt, sind auf zufällige Schwächen an den Bruchstellen zurückzuführen. Die Entstehung der Brüche an den Enden über den Druckflächen konnte in keinem Falle auf Sprengwirkungen des über den Längseisen gelegenen Betons zurückgeführt werden.
9. Die Bruchfestigkeit der bewehrten Säulen ohne Kopf wuchs mit abnehmendem Abstände  $A$  der Längseisen von den Druckflächen und erreichte den Höchstwert bei  $A = 2 - 5$  mm. Im Vergleich mit der Festigkeit der unbewehrten Säule 1a von 168,7 t (= 100 gesetzt) ergaben sich folgende Verhältniszahlen:

Säulen 2 a:	Abstand $A = 10$ mm:	116 $\frac{0}{0}$
„ 3 :	„ $A = 5$ „ :	151 $\frac{0}{0}$
„ 2·5 :	„ $A = 2$ „ :	150 $\frac{0}{0}$
„ 1·7 :	„ $A = 1$ „ :	148 $\frac{0}{0}$
„ 2 a α :	„ $A = 0$ „ :	139 $\frac{0}{0}$
Säulen mit österreichischem Kopf:		139 $\frac{0}{0}$
Säulen mit Kopf nach Moersch:		141 $\frac{0}{0}$

Nach diesen Ergebnissen übertrafen die bewehrten Säulen ohne Kopf mit dem Abstände  $A$  der Längseisen von den Druckflächen gleich 5 und 2 mm die Säulen mit den Köpfen nach Moersch noch um etwa 10  $\frac{0}{0}$ . Dabei ist die Herstellung der Säulen ohne Kopf wesentlich einfacher und billiger als die der Säulen mit Kopf.

10. Der Widerstand beider Baustoffe, Längseisen und Beton, gegen Zusammendrücken ist bei den untersuchten bewehrten Säulen bis zur Belastung, die der Bruchfestigkeit des Betonprismas gleichkommt, nicht voll ausgenutzt. Die Ursache liegt wahrscheinlich in seitlichem Ausbiegen der Längseisen.
11. Die Bruchfestigkeit der bewehrten Säulen war kleiner als die Summe der Einzelfestigkeiten der beiden Baustoffe, Längseisen und Beton, wenn die Längseisen bis zur Druckfläche durchgeführt waren oder mit ihren Endflächen 10 mm von den Druckflächen abstanden, größer wenn dieser Abstand 1, 2 und 5 mm betrug.

Die besprochenen Ergebnisse führten den Sonderausschuß in seiner Sitzung vom 6. August zu folgenden Beschlüssen:

- a) Zur Herstellung der Säulen für die weiteren Versuche sind eiserne Formen zu verwenden und
- b) zu den weiteren Versuchen mit den verschiedenen Bewehrungsarten sind Säulen ohne Kopf zu verwenden, bei denen die Längseisen 2—3 mm von den Druckflächen abstehen.

Tabelle 47.

**Druckfestigkeit des zu den Säulen Reihe C verarbeiteten Betons.**

Würfel von 30 cm Kantenlänge; Druckfläche = 900 qcm; Inhalt = 27 000 ccm; Alter = 28 Tage.

Lfde. Nr. der Fertigung	Zeichen der zugehörigen Säule	Tag der Fertigung	Gewicht des Würfels  kg	Raum- gewicht des Betons  g/ccm	Bruchfestigkeit	
					Belastung $P$  kg	Spannung $\sigma_B$  kg/qcm
1	1	15. V. 12	61,50		212 300	236
2	2	18. V. 12	62,20		226 000	251
3	3	20. V. 12	62,50		209 500	233
4	4	21. V. 12	62,35	—	204 000	227
5	5	22. V. 12	62,50		223 200	248
6	6	23. V. 12	62,10		202 600	225
7	7	28. V. 12	61,80		204 000	227
8	8	29. V. 12	62,40		208 100	231
9	9	30. V. 12	61,70		210 900	234
Mittelwerte			62,11	2,3	211 200	235

Tabelle 48. Einzelbeobachtungen für die Formänderungen der Säule 1, Reihe C.

Reihe	Belastung kg	Zimmer- wärme C°	Beobachtungen für die Querdehnungen in $\frac{1}{150.000}$ cm an Meßstelle (s. Abb. 13).				Querdehnung in $\frac{1}{150.000}$ cm.				Krümmung der Seitenflächen in $\frac{1}{150.000}$ cm	Zusammen- drückung auf 50 cm Länge in $\frac{1}{100.000}$ cm		
			1	3	2	5	4	am Rande		in Mitte C			im Mittel am Rande	
								A	B		$\frac{1}{2} \left( 4 - \frac{A+B}{2} \right)$			
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1	1 570	19,85	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	17 210	19,90	8	4	13	34	—21	—	47	12	—	—21	29,5	—25,3
	32 810	19,95	23	16	42	79	—57	—	121	39	—	—57	80	—68,5
	48 150	19,90	49	56	90	132	—82	—	222	105	—	—82	163,5	—122,8
	63 270	19,90	60	126	101	228	—47	—	329	186	—	—47	257,5	—152,3
1 570	19,87	(+27)	(+3)	(+53)	(+90)	(—29)	(+30)	(+143)	(+4)	(+30)	(—29)	(+86,5)	(—57,8)	(89)
2	17 210	19,83	24	33	—41	53	—29	—	57	57	—	—29	34,5	—31,8
	32 810	19,91	31	67	+26	92	—33	—	118	98	—	—33	108	—70,5
	48 150	19,93	35	102	36	127	—17	—	163	137	—	—17	150	—83,5
	63 270	19,93	39	149	45	167	+9	—	212	188	—	+9	200	—95,5
	1 570	20,00	(+5)	(+11)	(—1)	(+9)	(+4)	(+16)	(+8)	(+4)	(+16)	(+4)	(+12)	(—4)
3	17 210	19,99	24	33	17	59	—26	—	57	57	—	—26	66,5	—46,3
	32 810	20,04	29	72	31	103	—23	—	101	101	—	—23	117,5	—70,3
	48 150	20,09	33	115	39	139	—4	—	178	148	—	—4	163	—83,5
	63 270	20,01	37	136	49	176	+21	—	225	173	—	+21	199	—89
	1 570	20,00	(+5)	(+7)	(+6)	(+3)	(+10)	(+12)	(+9)	(+12)	(+10)	(+10)	(+10,5)	(—0,3)
4	17 210	—	24	37	16	69	—30	—	61	61	—	—30	73	—51,5
	32 810	20,02	28	79	29	109	—28	—	107	107	—	—28	122,5	—75,3
	48 150	20,10	28	124	40	149	—5	—	152	152	—	—5	170,5	—87,8
	63 270	19,99	34	162	47	184	+28	—	196	196	—	+28	213,5	—92,8
	78 210	20,00	27	229	54	242	85	—	256	256	—	85	276	—95,5
	88 170	20,01	19	281	54	299	155	—	300	300	—	155	326,5	—85,8
	98 030	20,02	+8	350	47	368	239	—	358	358	—	239	386,5	—73,8
	107 730	20,08	—	414	37	448	351	—	415	415	—	351	448,5	—48,8
	117 290	20,15	—	477	29	514	437	—	466	466	—	437	504,5	—33,8
	126 780	20,15	—22	550	+22	568	568	—	528	528	—	568	576,5	—4,3
136 190	20,18	—30	619	—	693	676	—	589	589	—	676	635	+20,5	3077
145 500	20,10	—36	691	—22	772	804	—	655	655	—	804	702,5	+50,8	3349
1 570	—	(—31)	(+190)	(—58)	(+231)	(+318)	(+159)	(+173)	(+159)	(+173)	(+318)	(+166)	(+76)	(181)



Tabelle 49. Einzelbeobachtungen für die Formänderungen der Säule 2, Reihe C.

Reihe	Belastung kg	Zimmer- wärme	Beobachtungen für die Querdehnungen in $\frac{1}{150.000}$ cm an Meßstelle (s. Abb. 13)					Querdehnungen in $\frac{1}{150.000}$ cm am Rande				Krümmung der Seitenflächen in $\frac{1}{100.000}$ cm $\frac{1}{2} \left( 4 - \frac{A+B}{2} \right)$	Zusammen- drückung auf 50 cm Länge in $\frac{1}{100.000}$ cm				
			1	2	3	4	5	in Mitte		C	4						
								A	B								
Nr.		C°															
Messung am oberen Ende der Säule																	
1	1 570	19,0	68	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	17 210	20,2	233	—	86	—	134	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	32 810	—	380	—	233	—	314	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	48 150	—	495	—	364	—	408	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	63 270	20,45	555	—	483	—	397	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	1 570	20,48	(253)	—	(246)	—	(188)	—	(7)	(68)	—	(193)	—	—	—	—	—
2	17 210	20,40	165	—	147	—	177	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	32 810	—	234	—	172	—	208	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	48 150	—	266	—	238	—	197	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	63 270	—	303	—	264	—	179	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	1 570	—	(48)	—	287	—	(16)	—	(26)	(20)	—	(16)	—	—	—	—	—
					(48)	(48)	(— 28)	(— 16)	(— 28)	(20)	(— 16)	(— 16)	(— 23)	(23)	(— 19,5)	(— 19,5)	(— 19,5)
3	17 210	20,33	160	—	141	—	167	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	32 810	—	219	—	174	—	190	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	48 150	20,30	253	—	234	—	175	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	63 270	—	282	—	254	—	155	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	1 570	20,20	(17)	—	(19)	—	(+ 3)	—	(+ 5)	(17)	(+ 3)	(+ 3)	(15,5)	(15,5)	(— 6,3)	(— 6,3)	(— 6,3)
					(17)	(19)	(+ 3)	(+ 3)	(+ 5)	(17)	(+ 3)	(+ 3)	(15,5)	(15,5)	(— 6,3)	(— 6,3)	(— 6,3)
4	17 210	20,25	172	—	154	—	175	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	32 810	20,19	232	—	162	—	194	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	48 150	20,21	258	—	154	—	177	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	63 270	20,19	282	—	120	—	155	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	78 210	20,22	336	—	111	—	132	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	88 170	—	378	—	301	—	106	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	98 030	—	416	—	96	—	68	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	107 730	—	456	—	75	—	33	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	117 290	20,20	490	—	44	—	6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	126 780	—	519	—	395	—	46	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	136 190	20,10	537	—	45	—	115	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	145 500	—	555	—	120	—	164	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1 570	—	(232)	—	209	—	318	—	229	—	—	—	—	—	—	—	—	
				(21)	(310)	(— 73)	(72)	(— 73)	(237)	(72)	(72)	(245)	(245)	(— 86,5)	(— 86,5)	(— 86,5)	(— 86,5)
				(21)	(310)	(— 73)	(72)	(— 73)	(237)	(72)	(72)	(245)	(245)	(— 86,5)	(— 86,5)	(— 86,5)	(— 86,5)

Tabelle 50. Einzelbeobachtungen für die Formänderungen der Säule 3, Reihe C.

Reihe	Belastung kg	Zimmer- wärme C°	Beobachtungen für die Querdehnungen in $\frac{1}{150.000}$ cm an Meßstelle (s. Abb. 13)				Querdehnungen in $\frac{1}{150.000}$ cm am Rande				Krümmung der Seitenflächen in $\frac{1}{150.000}$ cm $\frac{1}{2} \left( 4 - \frac{A+B}{2} \right)$	Zusammen- drückung auf 50 cm Länge in $\frac{1}{100.000}$ cm					
			1	2	3	4	A	B	in Mitte C	im Mittel am Rande							
—	—	—	Messung am oberen Ende der Säule								Messung in Mitte der Säule	—					
1	1 570	19,33	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	17 210	—	23	44	—147	—104	—9	—103	—104	—	—	—	—	—	24	289	
	32 810	—	31	154	—245	—173	+2	—91	—173	—	—	—	—	—	64,3	605	
	48 150	—	—	4	266	—268	—173	48	—2	—173	—	—	—	—	98	934	
	63 270	—	—	—	181	—146	—129	149	+228	—129	—	—	—	—	159	1280	
1 570	19,29	—	(— 10)	(134)	(— 92)	(— 23)	(48)	(42)	(— 23)	(— 23)	(— 23)	(45)	(34)	(— 34)	(73)	(73)	
2	17 210	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	32 810	—	7	143	—153	—98	10	—10	—98	—	—	—	—	—	49	295	
	48 150	—	22	208	—172	—112	43	+36	—112	—	—	—	—	—	75,8	615	
	63 270	—	24	236	—158	—96	96	128	—96	—	—	—	—	—	91,5	918	
	1 570	—	(— 2)	164	—136	—66	142	(19)	(10)	(± 0)	(± 0)	135	(14,5)	(— 7,3)	100,5	1332	
3	17 210	19,30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	32 810	—	13	144	—140	—97	6	4	—97	—	—	—	—	—	51	297	
	48 150	—	26	204	—154	—98	43	50	—98	—	—	—	—	—	72,3	618	
	63 270	—	29	230	—141	—80	88	89	—80	—	—	—	—	—	84,3	920	
	1 570	19,30	(— 3)	161	—115	—56	129	132	—56	(+ 2)	(+ 2)	130,5	(6)	(— 2)	93,3	1220	
4	17 210	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	32 810	—	13	24	—145	—94	11	8	—94	—	—	—	—	—	52	292	
	48 150	—	28	77	—158	—97	49	57	—97	—	—	—	—	—	75	625	
	63 270	—	24	121	—140	—75	97	95	—75	—	—	—	—	—	85,5	928	
	1 570	19,42	(— 3)	171	—110	—44	135	145	—44	(+ 2)	(+ 2)	140	(6)	(— 2)	92	1242	
4	78 210	—	43	244	—78	—13	201	208	—13	—	—	—	—	—	108,8	1552	
	88 170	—	56	325	—38	—	269	279	—	—	—	—	—	—	117	1793	
	98 030	—	78	451	—26	—	372	372	—	—	—	—	—	—	125,3	2045	
	107 730	—	101	579	—108	—	478	478	—	—	—	—	—	—	128	2303	
	117 290	—	138	751	—224	—368	613	597	—368	—	—	—	—	—	118,5	2561	
126 780	19,45	—	190	936	—352	540	746	711	540	540	728,5	—	—	94,3	2823		
136 190	—	—	261	1140	—482	703	879	822	703	703	850,5	—	—	73,8	3076		
145 500	—	—	338	1398	—298	901	1060	938	901	901	999	—	—	49	3337		
1 570	—	—	(— 99)	(610)	(274)	(488)	(511)	(349)	(488)	(488)	(430)	(+ 29)	(+ 29)	(220)	(220)	(220)	

Tabelle 51. Einzelbeobachtungen für die Formänderungen der Säule 4, Reihe C.

Reihe	Belastung kg	Zimmer- wärme	Beobachtungen für die Querdehnungen in $\frac{1}{1,500,000}$ cm an Meßstelle (s. Abb. 13).					Querdehnung in $\frac{1}{1,500,000}$ cm am Rande				im Mittel am Rande $\frac{A+B}{2}$	Krümmung der Seitenflächen in $\frac{1}{1,500,000}$ cm $\frac{1}{2} \left( 4 - \frac{A+B}{2} \right)$	Zusammen- druckung auf 50 cm Länge in $\frac{1}{1,000,000}$ cm		
			1	2	3	4	5	A	B	C						
Nr.		C°														
—	—	—	Messung am oberen Ende der Säule													
1	1 570	19,10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	17 210	—	12	+ 8	— 51	— 28	— 39	— 30	— 28	— 4,5	— 11,8	—	—	—	—	279
	32 810	19,13	58	— 43	— 81	— 53	— 23	— 6	— 53	— 8,5	— 22,3	—	—	—	—	615
	48 150	—	129	— 138	— 37	— 90	— 9	— 6	— 90	— 7,5	— 41,3	—	—	—	—	947
	63 270	—	223	— 179	— 2	— 104	— 44	+ 10	— 104	+ 27	— 65,5	—	—	—	—	1304
1 570	19,20	—	(46)	(+ 8)	(— 75)	(— 59)	(— 29)	(+ 51)	(— 53)	(— 40)	(— 6,5)	(— 53)	(— 40)	(— 6,5)	(92)	
2	17 210	—	30	— 33	— 31	— 1	— 1	— 35	— 1	+ 17	— 9	—	—	—	—	306
	32 810	19,34	95	— 68	— 25	— 62	+ 27	— 37	— 24	— 32	— 28	—	—	—	—	631
	48 150	19,31	148	— 94	— 7	— 34	— 54	— 51	— 34	— 52,5	— 43,3	—	—	—	—	936
	63 270	19,29	194	— 102	+ 10	— 28	— 92	— 72	— 28	— 82	— 55	—	—	—	—	1244
	1 570	19,30	(— 8)	(+ 1)	(13)	(— 8)	(— 7)	(5)	(+ 3)	(— 1)	(+ 2)	(+ 2)	(+ 3)	(— 1)	(+ 2)	(+ 16)
3	17 210	19,40	+ 47	— 34	— 41	+ 69	+ 13	— 28	— 2	+ 20,5	— 11,3	—	—	—	—	306
	32 810	—	115	— 73	— 26	— 58	— 42	— 32	— 24	— 37	— 30,5	—	—	—	—	634
	48 150	19,32	164	— 95	— 13	— 54	— 69	— 41	— 32	— 55	— 43,5	—	—	—	—	944
	63 270	19,47	212	— 102	+ 9	— 25	— 110	— 70	— 25	— 90	— 57,5	—	—	—	—	1249
	1 570	19,43	(14)	(+ 2)	(6)	(— 4)	(16)	(2)	(+ 8)	(9)	(— 0,5)	(— 8)	(+ 8)	(9)	(— 0,5)	(3)
4	17 210	19,41	41	— 42	— 43	+ 68	— 1	— 25	— 8	— 12	— 10	—	—	—	—	316
	32 810	19,40	110	— 81	— 28	— 55	+ 29	— 27	— 31	— 28	— 29,5	—	—	—	—	647
	48 150	19,52	201	— 102	— 7	— 53	— 59	— 46	— 37	— 52,5	— 44,8	—	—	—	—	960
	63 270	19,60	266	— 104	+ 10	— 63	— 97	— 73	— 26	— 85	— 55,5	—	—	—	—	1259
	78 210	19,53	304	— 106	— 36	— 56	— 160	— 92	— 0	— 126	— 63	—	—	—	—	1587
4	88 170	19,50	326	— 85	— 76	— 47	— 219	— 123	+ 50	— 171	— 60,5	—	—	—	—	1834
	98 030	—	336	— 42	— 106	— 42	— 284	— 148	— 124	— 216	— 46	—	—	—	—	2090
	117 290	19,52	336	+ 20	— 154	— 42	— 356	— 196	— 226	— 276	— 25	—	—	—	—	2364
	126 780	19,58	342	— 92	— 198	— 44	— 434	— 242	— 323	— 328	— 2,5	—	—	—	—	2642
	145 500	19,61	243	— 402	— 302	— 116	— 645	— 418	— 709	— 531,5	— 88,8	—	—	—	—	3228
1 570	19,64	(— 89)	(323)	(206)	(— 115)	(339)	(234)	(91)	(339)	(162,5)	(88,3)	(339)	(91)	(88,3)	(285)	

Tabelle 52. Einzelbeobachtungen für die Formänderungen der Säule 5, Reihe C.

Reihe	Belastung	Zimmer- wärme	Beobachtungen für die Querdehnungen in $\frac{1}{150.000}$ cm an Meßstelle (s. Abb. 13)					Querdehnungen in $\frac{1}{150.000}$ cm			Krümmung der Seitenflächen in $\frac{1}{150.000}$ cm	Zusammen- drückung auf 50 cm Länge in $\frac{1}{100.000}$ cm	
			1	3	2	5	4	am Rande		in Mittel am Rande			$\frac{1}{2} \left( 4 - \frac{A+B}{2} \right)$
Nr.	kg	C°						A	B	C	$\frac{A+B}{2}$		
Messung am oberen Ende der Säule													
1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	1 570	19,45	—	—	—	—	—	—38	0	—76	—19	—28,5	—
	17 210	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	282
	32 810	19,50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	577
	48 150	19,55	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	879
2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	1 570	19,68	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	17 210	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	32 810	19,71	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	48 150	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	1 570	19,63	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	17 210	19,69	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	32 810	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	48 150	19,80	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	1 570	19,63	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	17 210	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	32 810	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	48 150	19,81	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

(228)

(211)

(201,5)

(624)

(196)

(624)

(279)

(341)

(279)

(145)

(20,04)

(87)

(79)

(28)

(21)

(4,3)

(0,5)

(4)

(3)

(8)

(3)

(5)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

(3)

Tabelle 53. Einzelbeobachtungen für die Formänderungen der Säule 6, Reihe C.

Reihe	Belastung kg	Zimmer- wärme C°	Beobachtungen für die Querdehnungen in 1/150 000 cm an Meßstelle (s. Abb. 13)				Querdehnungen in 1/150 000 cm am Rande				Krümmung der Seitenflächen in 1/150 000 cm $\frac{1}{2} \left( 4 \frac{A+B}{2} \right)$	Zusammen- drückung auf 50 cm Länge in 1/100 000 cm				
			1	3	2	5	4	A	B	C			in Mitte am Rande $\frac{A+B}{2}$			
Nr.																
—	—	—	Messung am oberen Ende der Säule											Messung in Mitte der Säule		
1	1 570	21,75	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	17 210	—	149	—	60	—	43	—	39	—	17	—	—	—	—	—
	32 810	—	175	—	140	—	151	—	11	—	326	—	—	—	—	—
	48 150	21,73	190	—	222	—	320	—	31	—	325	—	—	—	—	—
	63 270	—	202	—	268	—	467	—	141	—	669	—	—	—	—	—
1 570	—	(125)	(83)	(123)	(108)	(25)	(208)	(231)	(41)	(219,5)	(208)	(231)	(97)	(99)		
2	17 210	—	53	—	46	—	84	—	75	—	219	—	—	—	—	—
	32 810	—	64	—	90	—	113	—	105	—	335	—	—	—	—	—
	48 150	21,71	71	—	106	—	148	—	144	—	416	—	—	—	—	—
	63 270	21,68	76	—	120	—	190	—	192	—	500	—	—	—	—	—
	1 570	—	(1)	(8)	(—8)	(44)	(30)	(9)	(36)	(30)	(22,5)	(9)	(36)	(3,8)	(5)	
3	17 210	21,51	58	—	49	—	85	—	87	—	251	—	—	—	—	—
	32 810	21,71	65	—	88	—	119	—	125	—	355	—	—	—	—	—
	48 150	21,73	70	—	105	—	155	—	166	—	433	—	—	—	—	—
	63 270	21,60	76	—	119	—	191	—	211	—	511	—	—	—	—	—
	1 570	21,58	(6)	(9)	(—7)	(27)	(22)	(15)	(20)	(22)	(17,5)	(15)	(20)	(2,3)	(4)	
4	17 210	21,00	55	—	46	—	93	—	92	—	250	—	—	—	—	—
	32 810	21,40	62	—	85	—	125	—	134	—	356	—	—	—	—	—
	48 150	21,31	66	—	102	—	158	—	173	—	429	—	—	—	—	—
	63 270	21,45	71	—	117	—	194	—	220	—	507	—	—	—	—	—
	78 210	21,83	78	—	140	—	250	—	293	—	634	—	—	—	—	—
1 570	—	(8)	(88)	(18)	(314)	(390)	(157)	(431)	(517)	(766)	(472)	(390)	(517)	(754,5)		
4	98 030	21,81	90	—	157	—	300	—	300	—	921	—	—	—	—	—
	107 730	21,80	95	—	147	—	592	—	704	—	1093	—	—	—	—	—
	117 290	21,55	104	—	87	—	780	—	991	—	1285	—	—	—	—	—
	126 750	21,44	108	—	1373	—	934	—	1209	—	1481	—	—	—	—	—
	136 190	21,70	112	—	37	—	1103	—	1480	—	1711	—	—	—	—	—
145 500	21,37	120	—	1	—	1305	—	1781	—	1975	—	—	—	—	—	
1 570	21,70	(22)	(604)	(—46)	(575)	(905)	(626)	(529)	(905)	(577,5)	(626)	(529)	(905)	(164)	(207)	

Tabelle 54.

**Einzelbeobachtungen für die Formänderungen  
der Säule 7 Reihe C.**

(Beobachtet sind nur die Zusammendrückungen.)

Reihe Nr.	Belastung kg	Zusammendrückung auf 50 cm Länge in $\frac{1}{100\,000}$ cm
—	—	Messung in Mitte der Säule
1	1 570	—
	17 210	293
	32 810	607
	48 150	932
	63 270	1269
	1 570	(55)
2	17 210	297
	32 810	611
	48 150	930
	63 270	1227
	1 570	(3)
3	17 210	305
	32 810	625
	48 150	941
	63 270	1243
	1 570	(11)
4	17 210	302
	32 810	625
	48 150	941
	63 270	1238
	78 210	1552
	88 170	1775
	98 030	2004
	107 730	2243
	117 290	2470
	126 780	2707
	136 190	2957
	145 500	3197
	1 570	(150)



Tabelle 56. Einzelbeobachtungen für die Formänderungen der Säule 9, Reihe C.

Reihe	Belastung	Zimmerwärme	Beobachtungen für die Querdehnungen in 1/150.000 cm bei Meßstelle (s. Abb. 13)						Querdehnungen in 1/150.000 cm am Rande			Krümmung der Seitenflächen in 1/150.000 cm	Zusammen-drückung auf 50 cm Länge in 1/100.000 cm					
			1	2	3	4	5	6	A	B	C							
														im Mittel am Rande				
														in Mitte				
Nr.	kg	C°																
Messung am oberen Ende der Säule																		
1	1 570	22,70	-	10	-	8	-	5	-	21	-	5	-	14,5	-	9,8	-	306
	17 210	-	+ 12	26	7	38	-	11	-	6	-	11	-	22	-	16,5	-	641
	32 810	22,82	35	65	12	14	+ 14	10	-	26	+ 10	10	-	63	-	36,5	-	980
	48 150	-	58	133	19	44	+ 3	3	-	63	+ 3	3	-	127	-	62	-	1342
1 570	-	-	(30)	(7)	(- 1)	(- 28)	(- 1)	(- 3)	(- 23)	(- 29)	(- 23)	(- 23)	(4)	(4)	(- 13,5)	(174)		
2	17 210	-	8	24	-	32	-	9	-	- 2	-	9	-	15	-	12	-	318
	32 810	-	9	63	30	30	+ 2	1	-	32	-	1	-	52	-	26,5	-	655
	48 150	-	16	100	37	46	28	13	-	65	+ 13	13	-	90,5	-	38,8	-	974
	63 270	22,60	28	144	46	55	33	(0)	33	101	33	(0)	(7,5)	136,5	-	51,8	-	1292
1 570	-	-	(3)	(5)	(- 5)	(- 5)	(12)	(0)	(8)	(7)	(0)	(0)	(7,5)	(- 3,8)	(6)			
3	17 210	-	- 5	31	24	31	-	6	-	2	-	6	-	14	-	10	-	318
	32 810	-	+ 7	72	32	72	+ 0	1	-	32	-	1	-	55,5	-	27,3	-	662
	48 150	-	13	110	40	40	24	19	-	64	+ 19	19	-	93,5	-	37,3	-	982
	63 270	22,73	22	151	47	50	40	40	40	97	40	40	(4)	135	-	47,5	-	1297
1 570	-	-	(0)	(3)	(- 3)	(- 3)	(6)	(4)	(3)	(3)	(4)	(4)	(3)	(+ 0,5)	(5)			
4	17 210	-	- 7	36	23	36	-	8	-	0	-	8	-	14,5	-	11,3	-	312
	32 810	22,62	+ 11	79	42	79	+ 2	1	-	40	-	1	-	62,5	-	31,8	-	665
	48 150	-	19	158	50	21	50	17	-	71	+ 17	17	-	99,5	-	41,3	-	980
	63 270	-	28	228	48	91	39	39	-	98	+ 39	39	-	137,5	-	49,3	-	1302
	78 210	-	31	292	47	91	73	73	-	138	+ 73	73	-	197	-	62	-	1636
	88 170	-	38	366	37	292	135	105	-	172	+ 105	105	-	247,5	-	71,3	-	1890
	98 030	-	33	438	23	366	189	149	-	212	+ 149	149	-	305,5	-	78,3	-	2155
	107 730	-	38	517	4	438	241	196	-	245	+ 196	196	-	360,5	-	82,3	-	2431
	117 290	23,00	44	517	- 15	517	305	272	-	290	+ 272	272	-	425,5	-	76,8	-	2750
	126 780	-	46	591	- 28	591	361	318	-	353	+ 318	318	-	495	-	88,5	-	3018
136 190	-	47	676	- 66	676	440	408	-	374	+ 408	408	-	548,5	-	70,3	-	3254	
145 500	-	38	768	- 69	768	518	471	-	449	+ 471	471	-	627,5	-	78,3	-	3628	
1 570	23,00	-	(31)	(266)	(- 87)	(181)	(168)	(168)	(94)	(94)	(168)	(168)	(195,5)	(- 14,8)	(267)			



Tabelle 57. Querdehnungen der Säulen Reihe C bei wachsender Belastung.  
Die Beobachtungen begannen von 1570 kg Anfangs-(Null-)Last ab.  
Eisenbewehrte Säulen ohne Kopf.

Zeichen der Säule	Mittlerer Abstand der Längsseiten von der Druckfläche mm	Geprüft		Gemessen am oberen Ende der Säule														
		in Reihe	bei Alter in Tagen	Querdehnungen in cm $10^{-5}$ bei den folgenden Belastungen in kg														
		Nr.		17210	322810	48150	63270	1570	78210	88170	98030	107730	117200	126780	136190	145500	1570	
1	1	1	28	3	8	27	70	19	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		2		25	44	70	5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		3		14	32	53	73	7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		4		14	32	55	81	—	120	161	209	267	314	382	437	502	161	
4	1	1	28	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		2		5	3	6	18	+	1	—	—	—	—	—	—	—		
		3		6	4	8	22	+	6	—	—	—	—	—	—	—	—	
		4		1	1	5	20	—	—	42	74	113	167	217	278	346	414	167
2	1	1	28	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		2		67	120	125	84	—	52	—	—	—	—	—	—	—	—	
		3		51	46	27	4	+	4	—	—	—	—	—	—	—	—	
		4		46	38	19	3	+	6	—	—	—	—	—	—	—	—	
5	2	1	28	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		2		32	12	34	95	60	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		3		8	17	35	59	13	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		4		9	21	36	56	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
8	1	1	28	11	23	39	59	—	93	133	175	221	278	357	446	540	275	
		2		12	23	57	118	35	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		3		31	57	79	109	7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		4		33	62	85	113	8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
3	1	1	28	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		2		53	73	50	20	+	7	—	—	—	—	—	—	—	—	
		3		31	24	3	23	5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		4		28	17	3	25	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
6	5	1	28	—	—	—	—	—	64	105	165	233	324	423	518	633	306	
		2		14	87	150	240	82	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		3		93	135	171	207	13	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		4		96	139	173	210	—	268	336	424	540	689	815	969	1140	494	
9	1	1	28	3	4	14	43	6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		2		2	14	35	57	+	3	—	—	—	—	—	—	—	—	
		3		3	19	38	58	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		4		2	21	39	59	—	90	118	152	186	233	271	319	366	121	



Tabelle 59. **Mittlere Querdehnungen der Säulen Reihe C bei wachsender Belastung.**

Die Beobachtungen begannen von 1570 kg Anfangs-(Null-)Belastung ab.

**Eisenbewehrte Säulen ohne Kopf.**

Bei Umdrehung der mittleren Beobachtungswerte (Tab. 57) ist die Meßlänge = 27 cm zugrunde gelegt.

Nr. der Säulen	Mittlerer Abstand der Endflächen der Längseisen von der Druckfläche mm	Reihe 4 (Tab. 57)																	
		17210	32810	48150	63270	1570	17210	32810	48150	63270	78210	88170	98030	107730	117290	126780	136190	144500	1570
Querdehnung in $\frac{1}{10} \cdot 10^{-6}$ , gemessen am Ende der Säule bei den folgenden Belastungen in kg																			
1	I	22	81	148	263	26	52	118	204	300	445	596	775	990	1160	1420	1860	596	
4		0	-15	-22	19	-30	4	-4	19	74	155	274	420	620	805	1030	1530	620	
Mittel		11	33	63	141	-2	28	57	112	187	300	435	598	805	983	1225	1695	608	
2		-204	-226	-211	-100	-48	-178	-141	-70	+11	111	252	326	490	637	805	1256	393	
5	2	-19	-11	+130	+260	+93	+41	+85	144	+218	345	493	648	819	1030	1322	2000	1018	
8		+93	+174	+274	+418	+63	+119	+226	304	+415	630	863	1160	1468	1790	2140	2970	1280	
Mittel		-43	-21	+64	+193	+36	-6	+57	126	215	362	536	711	926	1152	1422	2075	897	
3		-144	-141	-63	+80	+19	-104	-56	+26	118	222	389	611	864	1200	1565	2350	1132	
6	5	+234	+430	+593	+796	+141	+356	+517	+641	778	992	1242	1570	2000	2550	3019	4220	1830	
9		+11	+48	+107	+196	0	+7	+78	+144	218	334	437	563	688	864	1000	1355	448	
Mittel		+34	+112	+212	357	+53	+86	+180	270	371	516	690	915	1184	1538	1861	2641	1137	

Tabelle 60. **Mittlere Längenabnahme der Säulen bei wachsender Belastung.**  
Die Beobachtungen begannen von 1570 kg Anfangs-(Null-)Belastung ab.  
**Eisenbewehrte Säulen ohne Kopf.**

Nr. der Säule	Mittlerer Abstand der Endfläche der Längsfläche von Druckfläche mm	Reihe 4 (s. Tab. 58)															Reihe 5												
		17210	32810	48150	63270	78210	88170	107730	117730	126780	136190	143500	1570	151900	162540	173180	183980	194620	205270	210600	220550	230740	247080						
1	583	1221	1859	2497	212	592	1230	1858	2474	3104	3572	4050	5066	5628	6154	6698	362	6734	7508	7988	9008	9968	11308	11888	13288	14648			
4 <sup>1)</sup>	594	1253	1885	2531	222	632	1294	1920	2518	3174	3668	4180	4728	5284	5862	6456	7076	370	7192	7826	9516	9376	10380	10950	13190	—			
7	597	1229	1869	2493	138	604	1250	1882	2476	3104	3550	4008	4486	4940	5414	5914	6394	300	6624	7136	7704	8388	9000	9640	10560	—			
Mittel	590	1225	1864	2495	175	598	1240	1870	2475	3104	3561	4029	4538	5003	5521	6034	6546	331	6679	7322	7846	8698	9484	10474	11224	[12444] [14648]			
2	548	1146	1739	2327	138	562	1164	1746	2302	2888	3308	3732	4198	4664	5116	5572	6148	368	6270	6812	7360	8006	8672	9440	10300	11420	12560	14060	
5	561	1151	1735	2348	214	578	1174	1752	2334	2938	3402	3868	4332	4818	5316	5788	6300	456	6336	6816	7426	8056	8776	9580	10602	—	—	—	
8 <sup>1)</sup>	559	1186	1829	2514	274	558	1184	1808	2470	3142	3670	4204	4778	5330	5924	6534	7186	468	7438	8058	8819	9698	10698	12038	—	—	—	—	
Mittel	555	1149	1737	2338	176	570	1169	1749	2318	2913	3355	3800	4275	4741	5216	5680	6224	412	6303	6814	7393	8031	8724	9510	[10451] [11420]	[12560]	[14060]		
3	588	1225	1848	2488	182	584	1280	1856	2484	3104	3586	4090	4606	5122	5646	6152	6674	440	6872	7470	8054	8810	9596	10644	(12794)	—	—	—	
6 <sup>2)</sup>	(679)	(1359)	(2042)	(2723)	(216)	(654)	(1352)	(2018)	(2670)	(3358)	(3852)	(4370)	(4920)	(5498)	(6040)	(6676)	(7322)	(414)	(7380)	(8006)	(8700)	(9306)	(10046)	(11746)	—	—	—	—	
9 <sup>2)</sup>	(628)	(1305)	(1931)	(2621)	(170)	(624)	(1330)	(1900)	(2604)	(3272)	(3780)	(4310)	(4862)	(5500)	(6036)	(6708)	(7256)	(534)	(7452)	(8072)	(8762)	(9302)	(10412)	(11552)	(13122)	(14422)	—	—	
Mittel	588	1225	1848	2488	182	584	1280	1856	2484	3104	3586	4090	4606	5122	5646	6152	6674	440	6872	7470	8054	8810	9596	10644	[11614] [12794]	—	—	—	
1. 4. 7.	1	Mittlere Gesamtabnahmen einschließlich der bleibenden aus den vorstehenden Reihen																											
2. 5. 8.	2	773	1415	2045	2650	3279	3736	4204	4713	5178	5696	6209	6721	—	7185	7828	8352	9204	9990	10980	12730	[12950]	[15222]	—	—	—	—	—	—
3. 6. 9.	5	746	1345	1825	2494	3089	3551	3976	4451	4917	5392	5856	6400	—	6891	7402	7981	8619	9312	10098	[11026]	[13066]	[14566]	—	—	—	—	—	—
		766	1462	2038	2666	3286	3768	4272	4788	5304	5828	6334	6856	—	7494	8092	8676	9432	10218	11266	[12236]	[13416]	—	—	—	—	—	—	—

1) Die Werte für die Säulen 4 und 8 sind vom Mittel ausgeschlossen, weil diese Säulen in der Mitte zu Bruch gingen. Die größeren Längenabnahmen bei den Säulen 4 und 8 sind daher als die Folge von örtlich zufälliger geringerer Festigkeit des Materials anzusehen.

Unterschied von 151900 — 145500 = 6400 kg durch Fehler der Manometer 99 und 102 bedingt, der bei Einstellung der Last nicht berücksichtigt ist.

2) Die Werte für die Säulen 6 und 9 sind vom Mittel ausgeschlossen, weil ihre obere Druckfläche vor dem Abgleichen rissig war (s. Abb. 36a und b) und die Eisengerippe von einem anderen Schlosser gefertigt waren als die übrigen Gerippe.

Tabelle 61. Mittlere Längenabnahme mit wachsender Belastung bei verschiedenem Abstände der Längseisen von den Druckflächen.

Nr. der Säulen	Aus Reihe	Art der Säulen	Längenabnahme — $\lambda$ in $\frac{0}{10} 10^{-5}$ , gemessen in der Mitte der Säulen auf 50 cm Länge bei den folgenden Belastungen in kg												
			17 210	32 810	48 150	63 270	78 210	88 170	98 030	107 730	117 290	126 780	136 190	145 500	
1a	A	unbewehrt	667	1379	2061	2807	3601	4165	[4697]	[5352]	[5966]	—	—	—	
2a		bewehrt bei Abstand der Längseisen von Druckfläche in mm	10	638	1332	2008	2659	3315	3786	4280	4811	5341	[6031]	[6589]	[7225]
3	C	bewehrt bei Abstand der Längseisen von Druckfläche in mm	5	584	1280	1855	2484	3104	3586	4090	4606	5122	5646	6152	6674
2. 5			2	570	1169	1749	2318	2913	3355	3880	4275	4741	5216	5680	6224
1. 7	B	bewehrt bei Abstand der Längseisen von Druckfläche in mm	1	598	1240	1870	2475	3104	3561	4029	4538	5003	5521	6034	6546
2a $\alpha$			0	574	1196	1808	2414	3026	3428	3956	4425	4911	5417	5913	6415
Verhältniszahlen, die Längenabnahmen der unbewehrten Säulen gleich 100 gesetzt.			10	96	97	97	94	92	91	[91]	[90]	[90]	—	—	—
			5	88	93	93	89	86	86	[87]	[86]	[86]	—	—	—
			2	85	85	85	82	81	80	[81]	[80]	[80]	—	—	—
			1	90	90	91	88	86	85	[86]	[85]	[84]	—	—	—
			0	86	87	88	86	84	82	[84]	[83]	[82]	—	—	—
Mittel				89	90	91	88	86	85	[86]	[85]	[84]	—	—	—

Tabelle 62. Ergebnisse der Druckversuche mit den Säulen Reihe C.

Sämtliche Säulen waren 1,9 m lang und bei Prüfung 28 Tage alt.

Nr. der Säule	Abstand in mm der Längseisen von Druckfläche				Proben gefertigt bei mittlerer		Belastung beim Beginn der Ribbildung kg	Bruchbelastungen		Verhältnis $V = \frac{P}{\bar{P}}, 100$ %	Lage des Bruches bei den Säulen (s. Abb. 38—40)	
	beabsichtigt	beobachtet in den Ecken				Luftwärme C°		Luftfeuchtigkeit %	der Säulen P kg			des zugehörigen Würfels P, kg
		A	B	C	D							
1	I	1,5 0,5	1,2 0,8	0,2 1,8	1,0 1,0	15,2	68	230 660	249 050	212 300	117	am Kopf
4		1,1 1,0	1,0 1,2	1,0 1,2	1,1 0,9	18,1	79	226 550	246 000	204 000	120	in der Mitte
7		1,0 1,0	1,3 1,0	1,0 1,3	1,0 1,0	17,0	89	236 740	253 600	204 000	124	am Kopf
Mittel		—	—	—	—	16,8	79	231 320	249 550	206 770	120	—
2	2	1,8 2,2	1,0 3,0	1,5 2,5	2,5 1,5	15,7	63	236 740	260 150	226 000	115	am Kopf
5		2,1 2,2	1,9 2,1	2,2 1,9	2,3 1,9	17,1	86	205 270	248 150	223 200	111	am Kopf
8		—	—	—	—	17,2	87	(144 900)	249 050	208 100	120	in der Mitte
Mittel		—	—	—	—	16,7	79	[221 000]	252 450	219 100	115	—
3	5	5,2 5,0	5,4 4,9	6,8 3,4	7,2 3,0	16,3	70	216 060	254 400	209 500	121	am Kopf
6		5,0 5,0	6,2 4,5	6,0 4,6	5,5 5,2	17,0	87	(144 200)	(238 850)	202 600	(118)	
9		5,0 5,4	4,9 5,3	4,9 5,5	5,3 5,0	16,5	89	(229 450)	(229 450)	210 900	(109)	
Mittel		—	—	—	—	16,6	82	[216 060]	[254 400]	207 670	[121]	

Tabelle 63.

## Einfluß des Abstandes der Längseisen von den Druckflächen auf die Bruchfestigkeit der Säulen.

Nr. der Säulen	Aus Reihe	Art der Säulen	Länge der Säulen m	Mittlere Bruchfestigkeit in kg		Berechnete Materialfestigkeiten			Unterschied $P_s - P_m$ kg
				des Betonwürfels	der $P_s$ Säulen	Beton $P_{bs}$ kg	Längseisen $P_e$ kg	Gesamt $P_m = P_{bs} + P_e$ kg	
1a	A	unbewehrt	2,0	210 000	168 700	—	—	—	—
2a		bewehrt bei mittlerem Abstand der Längseisen von den Druckflächen in mm	10	2,0	221 900	196 800	163 640	73 580	237 220
3	5	1,9	209 500	254 400	+ 17 180				
2. 5. 8	C	2	1,9	219 100	252 450	+ 15 230			
1. 4. 7	1	1,9	206 770	249 550	+ 12 330				
2a $\alpha$	B		0	1,9	209 530	235 070			- 2 150

Tabelle 64.

## Unterschied zwischen der aus der Tragfähigkeit der Baustoffe berechneten und der wirklichen Tragfähigkeit der bewehrten Säulen.

Die Werte  $P_e$  für die Längseisen sind aus dem Elastizitätsmodul ( $= 2075000$ ) berechnet. Die Werte  $P_b$  für den Beton durch Interpolation aus der Schaulinie B Abb. 41 ermittelt und daher nur Annäherungswerte.

Mittlere Beobachtungen ermittelt aus Abb. 41 für	Belastungen in kg bei folgenden Längenabnahmen in % $10^{-2}$						
	1	2	3	4	5	6	
Längseisen $P_e$	5 870	11 740	17 610	23 480	29 350	35 220	
Beton $P_b$	21 500	43 000	62 750	80 000	96 000	110 500	
Summe $P_e + P_b = P_i$	27 370	54 740	80 360	103 480	125 350	145 720	
Säule $P_s$	26 500	52 500	78 000	99 000	118 000	137 500	
Unterschied $P_i - P_s$	kg	870	2 240	2 360	4 480	7 350	8 220
	in % von $P_s$	3,3	4,3	2,9	4,5	6,2	6,0





---

Druck von Oskar Bonde in Altenburg.

---









Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307234

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000313215

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE

BIBLIOTEKA

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307180

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307235

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000313216

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000300746

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307236

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000313217

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307237

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000313218

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307238

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000313219

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307239

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



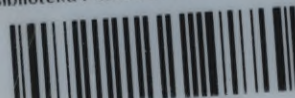
10000313220

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307240

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000313221

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307241

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000313222