

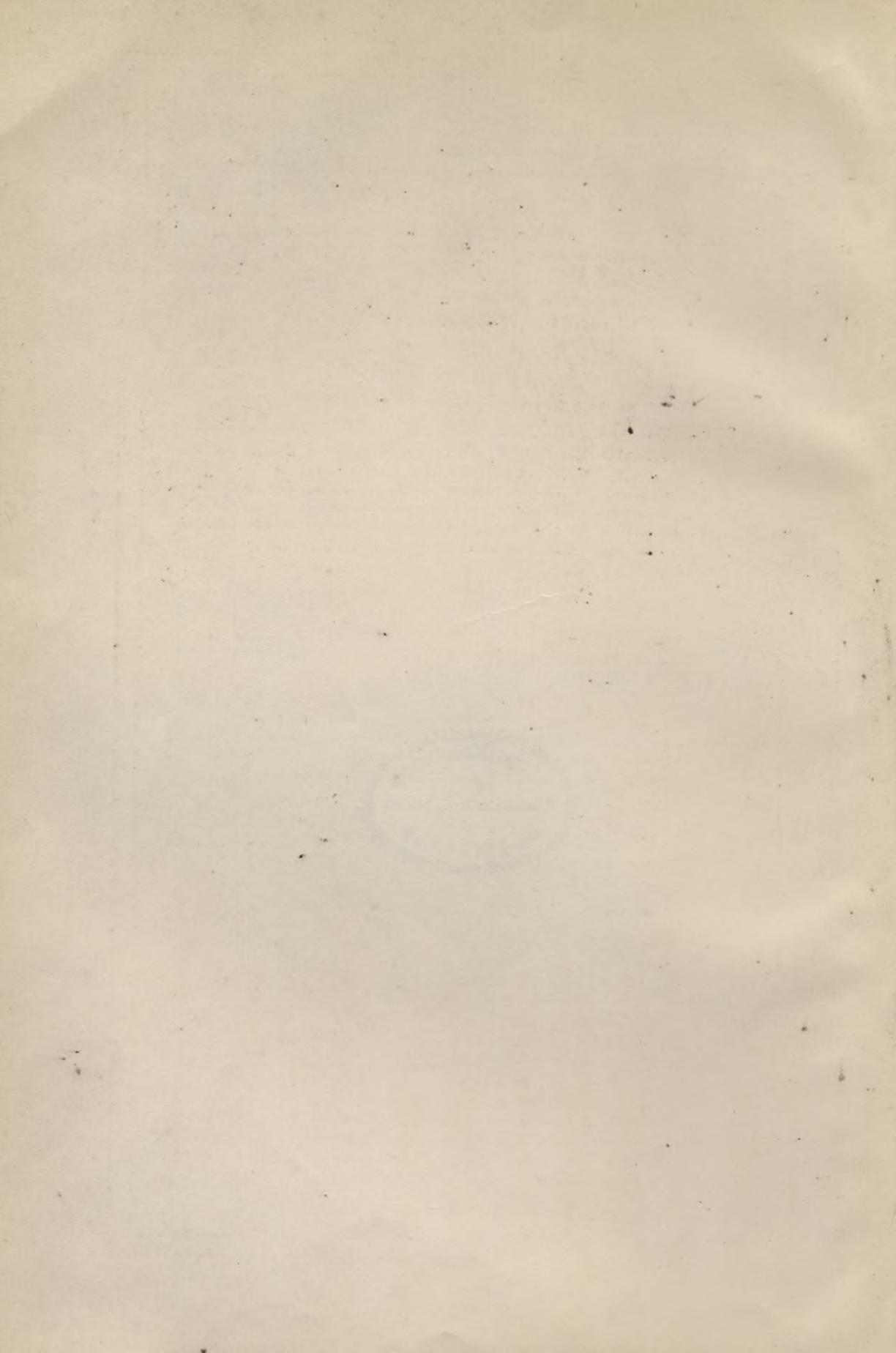


100000300775

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



XXX  
374



Veröffentlichungen  
des Deutschen Ausschusses für Eisenbeton.

Bereits erschienen:

**HEFT 1 bis 3: Versuche mit Eisenbetonbalken**  
**namentlich zur Bestimmung des Gleitwiderstandes.**

Ausgeführt in der Material-Prüfungsanstalt an der Königlich Technischen Hochschule zu Stuttgart.

Bericht erstattet vom Vorstände der Anstalt **C. Bach** unter Mitwirkung von **O. Graf**.

(Veröffentlicht in Heft 72 bis 74 der Mitteilungen über Forschungsarbeiten, herausgegeben vom Verein Deutscher Ingenieure.)

1909. Geheftet Preis 3,— Mk.

**HEFT 4: Fortsetzung von Heft 1 bis 3.**

(Veröffentlicht in Heft 95 der Mitteilungen über Forschungsarbeiten, herausgegeben vom Verein Deutscher Ingenieure.) 1910. Geh. Preis 1,— Mk.

*Die weiteren Hefte sind im*

Verlage von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, erschienen.

**HEFT 5: Versuche mit Eisenbeton-Säulen**  
**Reihe I und II.**

Ausgeführt im Königl. Materialprüfungsamt  
zu Groß Lichterfelde-West.

Bericht erstattet von Professor **M. Rudeloff**, Geheimer Regierungsrat,  
Direktor im Königl. Materialprüfungsamt.

Mit 72 Textabbildungen und zahlreichen Tabellen.

1910. Geheftet Preis 6,— Mk.

**HEFT 6: Versuche über den elektrischen Widerstand**  
**von unbewehrtem Beton.**

Ausgeführt in der Großherzoglichen Material-Prüfungsanstalt  
an der Technischen Hochschule zu Darmstadt.

Bericht erstattet von Professor **O. Berndt**, Geheimer Baurat und Professor **Dr. Wirtz**, Geheimer Hofrat unter Mitwirkung von Dr.-Ing. **W. Müller**.

Mit 60 Textabbildungen und zahlreichen Tabellen.

1911. Geheftet Preis 3,60 Mark.

**HEFT 7: Versuche mit Eisenbetonbalken**  
**zur Bestimmung des Gleitwiderstandes.**

Ausgeführt in der Königl. Sächsischen Mechanisch-  
Technischen Versuchsanstalt zu Dresden.

Bericht erstattet von Professor **H. Scheit**, Geheimer Hofrat, Direktor  
der K. S. M. T. Versuchsanstalt unter Mitwirkung von Privatdozent  
**O. Wawrziniok**, Adjunkt der Versuchsanstalt.

Mit 55 Textabbildungen. 1911. Geheftet Preis 1,80 Mark.



Verlag von **Wilhelm Ernst & Sohn** Berlin W66  
Wilhelmstraße 90.

**HEFT 8: Versuche über das Verhalten  
von Kupfer, Zink und Blei gegenüber Zement, Beton und den  
damit in Berührung stehenden Flüssigkeiten.**

Ausgeführt im Königlichen Material-Prüfungsamt  
zu Groß Lichterfelde-West.

Bericht erstattet von Professor **E. Heyn**, Direktor im Königlichen  
Material-Prüfungsamt.

Mit 33 Textabbildungen. 1911. Geheftet Preis 3,20 Mark.

**HEFT 9: Versuche mit Eisenbetonbalken  
zur Bestimmung des Einflusses der Hakenform der Eiseneinlagen.  
Ausgeführt in der Material-Prüfungsanstalt der Königlich  
Technischen Hochschule zu Stuttgart.**

Bericht erstattet von Dr. Ing. **C. Bach**, K. Württ. Baudirektor, Professor  
des Maschineningenieurwesens, Vorstand des Ingenieurlaboratoriums und der  
Material-Prüfungsanstalt und **O. Graf**, Ingenieur der Material-Prüfungsanstalt.

Mit 84 Textabbildungen und 12 Zusammenstellungen.

1911. Geheftet Preis 5,20 Mark.

**HEFT 10: Versuche mit Eisenbetonbalken  
zur Ermittlung der Widerstandsfähigkeit verschiedener Be-  
wehrung gegen Schubkräfte. Erster Teil.**

Ausgeführt in der Material-Prüfungsanstalt an der Königlich  
Technischen Hochschule zu Stuttgart.

Bericht erstattet von Dr. Ing. **C. Bach**, K. Württ. Baudirektor, Professor  
des Maschineningenieurwesens, Vorstand des Ingenieurlaboratoriums und der  
Material-Prüfungsanstalt und **O. Graf**, Ingenieur der Material-Prüfungsanstalt.

Mit 190 Textabbildungen und 31 Zusammenstellungen.

1911. Geheftet Preis 9,— Mark.

**HEFT 11: Brandproben an Eisenbetonbauten.**

Ausgeführt im Königlichen Material-Prüfungsamt  
zu Groß Lichterfelde-West.

Bericht erstattet von Professor **M. Gary**, Abteilungsvorsteher im  
Königlichen Material-Prüfungsamt.

Mit 22 Textabbildungen. 1911. Geheftet Preis 2,— Mk.

**HEFT 12: Versuche mit Eisenbetonbalken  
zur Ermittlung der Widerstandsfähigkeit verschiedener Be-  
wehrung gegen Schubkräfte. Zweiter Teil.**

Ausgeführt in der Material-Prüfungsanstalt an der Königlich  
Technischen Hochschule zu Stuttgart.

Bericht erstattet von Dr. Ing. **C. Bach**, K. Württ. Baudirektor, Professor  
des Maschineningenieurwesens, Vorstand des Ingenieurlaboratoriums und der  
Material-Prüfungsanstalt und **O. Graf**, Ingenieur der Material-Prüfungsanstalt.

Mit 304 Textabbildungen und 40 Zusammenstellungen.

1911. Geheftet Preis 14,— Mk.

 Weitere Hefte sind in Vorbereitung. 

4339672  
HEFT 5

# DEUTSCHER AUSSCHUSS FÜR EISENBETON

BERICHT  
DES KÖNIGLICHEN MATERIALPRÜFUNGSAMTES  
ZU  
GROSS-LICHTERFELDE-WEST  
ÜBER DIE IHM  
ÜBERTRAGENEN VERSUCHE  
MIT  
EISENBETON-SÄULEN  
REIHE I UND II

ERSTATTET VON  
PROFESSOR M. RUDELOFF  
GEHEIMER REGIERUNGSRAT  
DIREKTOR IM KÖNIGLICHEN MATERIALPRÜFUNGSAMT

MIT 72 TEXTABBILDUNGEN UND ZAHLREICHEN TABELLEN

DIE VERSUCHE SIND DURCHGEFÜHRT IN DEN JAHREN  
1907 BIS 1909



BERLIN 1910  
VERLAG VON WILHELM ERNST & SOHN

*7/11*

XXX  
246



III - 307179

~~III 17842~~

Alle Rechte vorbehalten.

Nachdruck, auch auszugsweise, verboten.

Akc. Nr.

~~404~~ 82

BPk-15. 218/2018

# Inhaltsverzeichnis.

	Seite
<b>Vorversuche (Reihe I)</b> . . . . .	5
<b>A. Bauart der Versuchskörper</b> . . . . .	5
<b>B. Die verwendeten Baustoffe</b> . . . . .	8
<b>C. Herstellung der Säulen</b> . . . . .	9
<b>D. Prüfung des Betons</b> . . . . .	12
<b>E. Festigkeitsversuche mit den Säulen</b> . . . . .	13
1. Apparate zur Messung der Formänderungen . . . . .	13
2. Versuchsergebnisse . . . . .	16
a) Längenänderungen der Säulen . . . . .	19
$\alpha$ ) Einfluß der Längsbewehrung . . . . .	19
$\beta$ ) Vergleich der verschiedenen Querbewehrungen . . . . .	36
b) Querdehnungen der Säulen . . . . .	41
c) Verhältnis der Querdehnung zur Längenänderung . . . . .	45
d) Festigkeit der verschiedenartig bewehrten Säulen . . . . .	47
3. Schlußergebnis . . . . .	71
<b>Ergänzungsversuche (Reihe II)</b> . . . . .	73
<b>A. Arbeitsplan</b> . . . . .	73
<b>B. Die verwendeten Baustoffe</b> . . . . .	73
<b>C. Herstellung der Säulen</b> . . . . .	75
<b>D. Prüfung des Betons</b> . . . . .	78
<b>E. Festigkeitsversuche mit den Säulen</b> . . . . .	79
1. Einrichtungen zum Messen der Formänderungen . . . . .	79
2. Längenänderungen der Säulen . . . . .	82
3. Querdehnungen der Säulen . . . . .	82
4. Verhältnis der Querdehnung zur Längenänderung . . . . .	95
5. Die Festigkeit der verschiedenartig bewehrten Säulen . . . . .	98
<b>F. Veränderungen in der Zusammensetzung und der Dichte des Betons beim Stampfen der Säulen</b> . . . . .	105
 Anlage 1. Untersuchung des Zementes . . . . .	 110
„ 2. Untersuchung des Sand- und Kiesmaterials . . . . .	112
„ 3. Angaben über Herstellung der Säulen Reihe I. . . . .	113
„ 4. Prüfung des Zementes nach den Normen . . . . .	115
„ 5. Ermittlung der Gewichte des Sand- und Kiesmaterials . . . . .	117
„ 6. Angaben über die Herstellung der Säulen Reihe II . . . . .	118



# Bericht

über die von dem Deutschen Ausschufs für Eisenbeton dem Königlichen Materialprüfungsamt zu Grotz-Lichterfelde übertragenen und in den Jahren 1907 bis 1909 durchgeführten Versuche mit Eisenbeton-Säulen, insbesondere zur Bestimmung des Einflusses verschiedener Querbewehrungen.

Erstattet von Geh. Reg.-Rat Professor M. Rudeloff.

## Vorversuche (Reihe I).

Die Versuche, über die im nachstehenden berichtet wird, sollten Aufschluß über die zweckmäßigste Form der Querbewehrung in Eisenbeton-Säulen (senkrecht zur Achse der Säulen eingelegte Bügel) liefern. Dabei sind sämtliche Säulen aus der gleichen Betonmischung von 1 Teil Zement und 4 Teilen Kiessand so hergestellt worden, wie sie in der Praxis vorkommen, und alle bei dem gleichen Alter von 45 Tagen geprüft. Für jede Reihe mit gleicher Bewehrung waren 3 Parallelversuche vorgesehen.

### A. Bauart der Versuchskörper.

Die Bauart der Säulen, Wahl und Anordnung der in die Untersuchung hineinzuziehenden Querbewehrungen, sowie die Bestimmungen über die nebenher auszuführenden Versuche mit den verwendeten Materialien sind von dem Arbeitsausschuß in seiner Sitzung vom 6. Juli 1907 festgesetzt. Der Beratung über die Bauart der Säulen lagen drei Entwürfe von den Firmen:

1. Hüser & Co.
2. Aktiengesellschaft für Beton- und Monierbau und
3. Dyckerhoff & Widmann

zugrunde.

Sämtliche Säulen erhielten 2 m Länge.

Die Querbewehrungen wurden in Abständen von je 20 cm angeordnet. Die für sie gewählten 13 verschiedenen Formen zeigt Tabelle 1 (s. S. 6 und 7).

Die Eisenstärke betrug stets 7 mm. Mit jeder dieser 13 Bügelarten wurde eine Reihe (3 Proben) ausgeführt (Reihen 1 bis 13), wobei die Säulen vier durchgehende Rundeseisen von 16 mm Durchmesser als Längsbewehrung erhielten. Zu den drei Reihen 1, 2 und 12 wurden je zwei Ergänzungsreihen angestellt; die einen (1a, 2a und 12a), bei denen die Längsbewehrung fortblieb und nur die Bügel eingelegt wurden, die zweiten (1c, 2c und 12c), bei denen die Längsbewehrung aus 20 cm langen Abschnitten bestand, die so eingebracht werden sollten, als ob die Stangen gleichsam in der Mitte zwischen den Bügeln durchschnitten seien.

Lfd. Nr.	Anzahl d. Probekörper	Querschnitt	Längsbewehrung				Bügelbewehrung					
			Anzahl	Durchm. mm	Durchm. mm Abstand cm	Anzahl	Form	Wirkliche abgewickelte Länge cm	Gewicht kg	Nutzlänge cm	Nutzgewicht kg	
1	3	Quadrat 30x30 cm	4	16	7	20	10	4 Umfangsbügel in Schleifenform	$2 \cdot 23 = 46$ $2 \cdot 5 = 10$ $3 \cdot 1,15 \cdot \pi = 10,8$ $66,8 \cdot 4 \cdot 10 = 2672$	$2672 \cdot 0,3 = 802$	$28 \cdot 8 \cdot 10 = 1840$	$1840 \cdot 0,3 = 552$
1a	3	"	ohne	7	20	10	4 Umfangsbügel in Schleifenform	2672	802	1840	552	
1b <sup>1)</sup>	1	"	ohne jede Eisenbewehrung									
1c	3	"	4 durchschnitten	16	7	20	10	4 Umfangsbügel in Schleifenform	2672	802	1840	552
2	3	"	4	16	7	20	10	Einfacher Umfangsbügel	$4 \cdot 23 = 92$ $2 \cdot 5 = 10$ $3,5 \cdot 1,15 \cdot \pi = 12,6$ $114,6 \cdot 10 = 1146$	$1146 \cdot 0,3 = 344$	$23 \cdot 4 \cdot 10 = 920$	$920 \cdot 0,3 = 276$
2a	3	"	ohne	7	20	10	Einfacher Umfangsbügel	1146	344	920	276	
2c	3	"	4 durchschnitten	16	7	20	10	Einfacher Umfangsbügel	1146	344	920	276
3	3	"	4	16	7	20	10	4 Umfangsbügel in S-Form	$1 \cdot 23 = 23$ $2 \cdot 5 = 10$ $2 \cdot 1,15 \cdot \pi = 7,2$ $40,2 \cdot 4 \cdot 10 = 1608$	$1608 \cdot 0,3 = 482$	$23 \cdot 4 \cdot 10 = 920$	$920 \cdot 0,3 = 276$
4	3	"	4	16	7	20	10	4 Umfangsbügel in C-Form	1608	482	920	276
5	3	"	4	16	7	20	10	2 Diagonalbügel in Schleifenform	$2 \cdot 32,5 = 65$ $2 \cdot 5 = 10$ $3 \cdot 1,15 \cdot \pi = 10,8$ $85,8 \cdot 2 \cdot 10 = 1716$	$1716 \cdot 0,3 = 515$	$32,5 \cdot 4 \cdot 10 = 1300$	$1300 \cdot 0,3 = 390$
6	3	"	4	16	7	20	10	4 Umfangsbügel und 2 Diagonalbügel in Schleifenform	$2672 + 1716 = 4388$	$802 + 515 = 1317$	$1840 + 1300 = 3140$	$552 + 390 = 942$
6b	3	"	ohne jede Eisenbewehrung									
7	3	"	4	16	7	20	10	Einfacher Umfangsbügel und 2 Diagonalbügel in S-Form	$1146 + 1808 = 2754$	$344 + 482 = 826$	$920 + 920 = 1840$	552
8	3	"	4	16	7	20	10	4 Umfangsbügel und 2 Diagonalbügel in S-Form	$1 \cdot 32,5 = 32,5$ $2 \cdot 5 = 10$ $2 \cdot 1,15 \cdot \pi = 7,2$ $49,7 \cdot 2 \cdot 10 = 994$ $994 + 1608 = 2602$	$2602 \cdot 0,3 = 781$	$32,5 \cdot 2 \cdot 10 = 650$ $650 + 920 = 1570$	$1570 \cdot 0,3 = 471$
9	3	"	4	16	7	20	10	4 Umfangsbügel in C-Form und 2 Diagonalbügel in S-Form	$1608 + 994 = 2602$	781	1570	471
10	3	"	4	16	7	20	5	Abwechselnd 4 Umfangsbügel mit 2 Diagonalbügeln, beide in Schleifenform	$\frac{4388}{2} = 2194$	$\frac{1317}{2} = 659$	$\frac{3140}{2} = 1570$	$\frac{942}{2} = 471$
11	3	"	4	16	7	20	5	Abwechselnd einfacher Umfangsbügel mit 2 Diagonalbügeln, letztere in S-Form	$\frac{2754}{2} = 1377$	$\frac{826}{2} = 413$	$\frac{1840}{2} = 920$	$\frac{552}{2} = 276$
12	3	Achteck v. 13,65 cm Seitenlänge	4	16	7	20	10	Kreisringförmiger Bügel	$29,7 \cdot \pi = 93,5$ $2 \cdot 5 = 10$ $2 \cdot 1,15 \cdot \pi = 7,2$ $110,7 \cdot 10 = 1107$	$1107 \cdot 0,3 = 332$	$29,7 \cdot \pi \cdot 10 = 935$	$935 \cdot 0,3 = 281$
12a	3	"	ohne	7	20	10	Kreisringförmiger Bügel	1107	332	935	281	
12b <sup>1)</sup>	1	"	ohne jede Eisenbewehrung									
12c	3	"	4 durchschnitten	16	7	20	10	Kreisringförmiger Bügel	1107	332	935	281
13	3	"	4	16	7	20	10	2 kreisringförm. Bügel aus $\frac{3}{4}$ Kreisbogen mit gegenseitiger $\frac{1}{4}$ Ueberdeckung	$29,7 \cdot \pi \cdot \frac{3}{4} = 140$ $4 \cdot 5 = 20$ $4 \cdot 1,15 \cdot \pi = 14,4$ $174,4 \cdot 10 = 1744$	$1744 \cdot 0,3 = 523$	$29,7 \cdot \pi \cdot \frac{3}{4} \cdot 10 = 1400$	$1400 \cdot 0,3 = 420$

Skizzen zu nebenstehenden Versuchen

Zugehörige Lfd. Nr.	Querschnitt durch die Säule	Einzelheiten der Bügelbewehrung	Zugehörige Lfd. Nr.	Querschnitt durch die Säule	Einzelheiten der Bügelbewehrung
1			8		wie bei Nr. 3 bzw. Nr. 7
2		Hakenlänge 5 cm wie bei Nr. 1	9		wie bei Nr. 4 bzw. Nr. 7
3			10		wie bei Nr. 1 bzw. Nr. 5
4			11		wie bei Nr. 2 bzw. Nr. 7
5			12		Hakenbildung
6		wie Nr. 1 bzw. Nr. 5	13		Hakenbildung wie Nr. 12
7					

<sup>1)</sup> Die Säulen 1b, 6b und 12b sind in den Tabellen 5—13 einschl. gemeinsam mit 0 bezeichnet.



## β) Rundeisen von 7 mm Durchmesser.

## Zugversuche.

Proportionalitätsgrenze $\sigma_p$ kg/qcm	2 700 u.	2 830 Mittel =	2 770
Streckgrenze $\sigma_s$ kg/qcm . . .	3 530 „	3 970 „ =	3 750
Bruchgrenze $\sigma_B$ kg/qcm . . .	4 630 „	5 030 „ =	4 830
Verhältnis $\sigma_s/\sigma_B$ . 100 . . . .	76 „	79 „ =	78
Elastizitätsmodul $E$ kg/qcm . .	2 000 000 „	2 050 000 „ =	2 025 000
Dehnung auf 16 cm Länge $\delta^0/0$	20,8 „	21,5 „ =	21,2

## C. Herstellung der Säulen.

Die Herstellung der Säulen erfolgte unter Leitung des Vorstehers der Abteilung für Baumaterialprüfung, Professor Gary, von Angestellten der Firma Aktiengesellschaft für Beton- und Monierbau auf dem Grundstück des Materialprüfungsamtes, in einer etwa 1,0 m tief ausgehobenen Baugrube in der Zeit vom 26. Oktober bis 16. Dezember 1907. Die Einzelheiten hierüber, betreffend Wassergehalt des verwendeten Kiesel, Gewichte des verbrauchten Betons und der Eiseneinlagen, sowie Angaben über Witterungsverhältnisse während des Einstampfens der Säulen, enthält Anlage 3 (s. S. 113 und 114).

Der Wasserzusatz zum Beton wurde auf Grund von Vorversuchen bei der ersten Säule (Probe I, Reihe 1) gleich 9<sup>0</sup>/<sub>0</sub>, bezogen auf die vollständig trockene Mischung, gewählt. Er erschien der Mehrzahl der Ausschußmitglieder, die beim Einstampfen zugegen waren, zu gering, und wurde daher für alle übrigen Säulen auf 9,5<sup>0</sup>/<sub>0</sub> festgesetzt.

Beim Bemessen des Wasserzusatzes ist der jeweilige Wassergehalt des im Freien lagernden Sandes und Kiesel berücksichtigt. Er wurde stets vor der Verarbeitung der Zuschläge durch Verdunsten an 3 Litern des Materials festgestellt und von der Gesamtmenge des zuzusetzenden Wassers in Abzug gebracht.

Die Zusammensetzung des Betons erfolgte unter Verwendung bestimmter Gewichtsmengen der Baustoffe, d. h. des Zementes und der Zuschläge. Zu diesem Zweck sind die Raumgewichte der Baustoffe zuvor ermittelt und die für die Mischung vorgeschriebenen Maßeile in Gewichtsteile umgerechnet.

Die Bestimmung der Raumgewichte erfolgte an Mengen von je 10 Litern, die in ein zylindrisches Meßgefäß eingemessen sind, indem der Baustoff mit der Kelle bis an den oberen Rand des Meßzylinders geführt wurde und dann in letzteren hineinglitt.

Das Mischen des Betons erfolgte in der Mischmaschine, Bauart Hüser, und zwar  $1\frac{1}{2}$  Minute trocken und  $2\frac{1}{2}$  Minuten bei Zugabe des Wassers, zusammen also 3 Minuten. Der der Baugrube in Mengen von je 200 kg zugeführte Beton wurde durch Ueberdecken mit feuchten Tüchern vor Austrocknen oder Naßregen geschützt.

Die Säulen wurden stehend gestampft in Formen aus Kiefernholz von der aus Abb. 1 a—d ersichtlichen Einrichtung. Hierbei waren drei Seiten durch die Bohlen 2 und 5, Abb. 1 c von vornherein vollständig eingeschalt, die vierte dagegen wurde während des Betonierens durch Einfügen der keilförmigen Bretter 6 fortschreitend geschlossen. Als Unterlage diente der Dielenboden A, auf dem die 2,6 cm starke, gehobelte Gußeisen-Platte B lag. Die Seitenwänden der Form waren so eingerichtet, daß sie wohl dem Wasser durch feine Spalten den Austritt gestatteten, nicht aber auch das Ausrinnen von Zement und Sandteilen zuließen.

Der Dielenboden A wurde auf der Sohle der Grube so eingegraben, daß er an allen Stellen fest auflag.

Die Formen wurden nicht geölt und nach Bedarf genäßt. Die Längseisen, die bis zu den Endflächen der Säulen reichten, waren mit der Kaltsäge auf Länge

geschnitten. Sie wurden beim Stampfen durch eine Holzschablone in der Form in richtiger Lage gehalten.

Abb. 1 a—d. Form zur Anfertigung der Säulen.  
a—c für Säulen mit quadratischem Querschnitt, d für die achtseitigen Säulen.

Abb. 1 a.  
Schnitt c-d

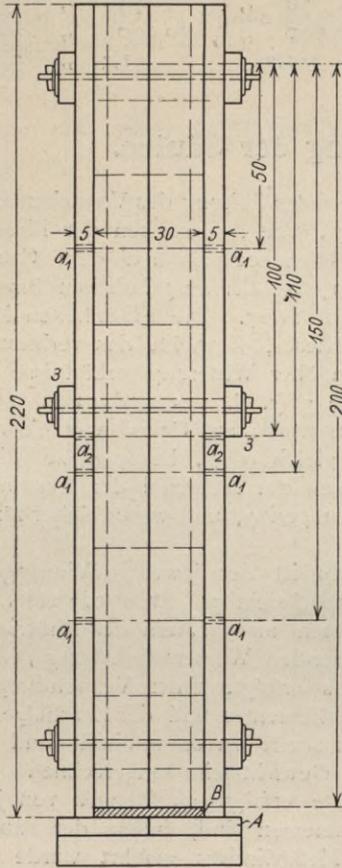


Abb. 1 b.  
Schnitt a-b

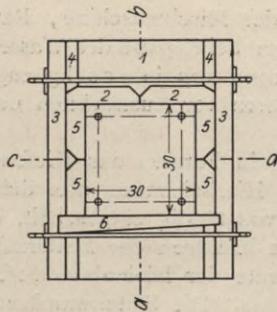
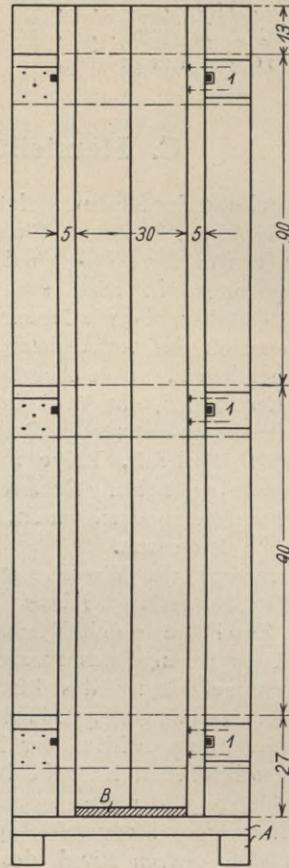


Abb. 1 c.

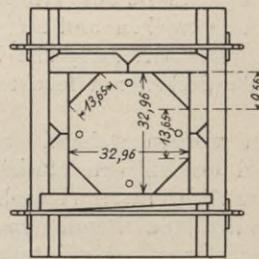


Abb. 1 d.

Die Bügel wurden um Lehrenbolzen gebogen und so hergestellt, daß sie sich möglichst fest an die Längseisen anlegten. Sie wurden zunächst am oberen Ende der Stangen gehalten und während des Betonierens an die richtige Stelle gebracht. Hierbei sollten der unterste und der oberste Bügel 10 cm von den Endflächen

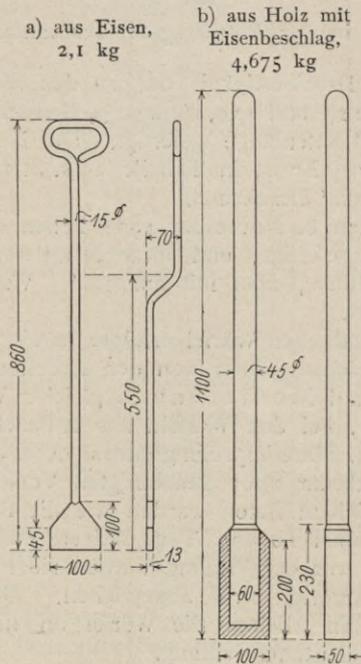
der Säulen zu liegen kommen und im übrigen je zwei benachbarte Bügel 20 cm Abstand voneinander erhalten.

Festbinden der Bügel mit Draht an den durchgehenden Längsstangen erfolgte nicht, da die mit der Ausführung der Arbeiten betraute Firma dies nicht für erforderlich hielt. Bei den Säulen 1 c, 2 c und 12 c mit durchschnittenen Längseisen wurden die Querbügel an letzteren in deren Mitte mit Draht befestigt.

Am Boden der Form wurde zur Erzielung einer dichten Fläche aus der Betonmasse entnommener, feiner Mörtel in dünner Schicht vorgelegt. Der Beton wurde dann unter Vermeidung von Nesterbildung in der Betonmasse in Schichten von je 10 cm Dicke aufgebracht und mit Stampfern nach Abb. 2 bearbeitet.

An den in Abb. 1 mit  $a_1$  und  $a_2$  bezeichneten acht Stellen enthielten die Wandungen der Formen Löcher von 1,0 cm Durchmesser. Sie dienten zum Ein-

Abb. 2. Stampfer.



führen von 1,0 cm starken Rundeisen, die nach beendetem Einstampfen wieder entfernt wurden, so daß sie in den Ecken der Säulen Löcher hinterließen. Dieselben waren zum Anbringen der Apparate, zum Messen der Querdehnungen beim Druckversuch bestimmt. Sie waren so angeordnet, daß die mit  $a_1$  bezeichneten Löcher in der Höhe der Querbewehrungen liegen und bis zu den Bügeln herreichen sollten, während die Löcher  $a_2$  in der Mitte zwischen zwei benachbarten Bügeln liegen sollten. Näheres hierüber findet sich unter Abschnitt E 1.

Nach dem Einstampfen blieben die Säulen 3 Tage in der Form und hierauf noch 10—12 Tage entformt auf der Unterlage stehen. Während dieser Zeit sind sie nach Bedarf durch Anbrausen feucht gehalten und durch Ueberdecken mit Planen gegen Witterungseinflüsse geschützt. Dann wurden sie an ihrem Standorte vorsichtig umgelegt und unter eine etwa 1 m hohe Schicht von feuchtem Sand gebracht. 10 Tage vor der Prüfung wurden sie herausgenommen und zur Vermeidung von Verletzungen auf einer starken Bohle liegend in den Versuchsraum geschafft. Hier wurden die Endflächen mit Zement abgeglichen, und zwar bei wagerechter Lage der Säulen zwischen ebenen Eisenplatten, die tunlichst senkrecht zur Achse der Säulen gestellt und fest gegeneinander verkeilt waren. Der

Zementbrei zum Abgleichen wurde in die Fugen zwischen den Endflächen der Säulen und den Platten eingegossen und eingestampft. Nach eintägigem Erhärten wurden die Platten entfernt.

Die Dicke der Abgleichschicht wechselte je nach der ursprünglichen Unebenheit der Endflächen und deren Neigung zur Säulenachse zwischen 0,2 und 1,0 cm. Die Endflächen der Längsbewehrung waren ohne Ausnahme ebenfalls von Zement überdeckt. Nach dem Versuch erwies sich die Abgleichschicht als an dem Beton gut haftend, und auch innerhalb der kreisförmigen Flächen über den Längsbewehrungen konnten irgendwelche Anzeichen der Zerstörung der Abgleichschicht nicht wahrgenommen werden.

## D. Prüfung des Betons.

(Ausgeführt in der Abteilung für Baumaterialprüfung.)

Zur Ermittlung der Druckfestigkeit des zu den Säulen verwendeten Betons wurden an 5 Tagen (s. S. 113 und 114, Anlage 3, Bemerkungen) neben den Säulen je 3 Würfel von 30 cm Kantenlänge gefertigt. Der Beton erhielt wie der der Säulen 9,5 % Wasserzusatz. Er ist in Tabelle 2 (s. S. 13), welche die Versuchsergebnisse zeigt, mit „weich“ bezeichnet.

Außerdem wurden am 8. November 1907 neben den Säulen I und II der Reihe 12 noch 5 Würfel gefertigt, und zwar aus Beton der gleichen Trockenmischung wie bei den Säulen, aber mit nur 7,0 % Wasserzusatz, in Tabelle 2 mit „erdfeucht“ bezeichnet.

Das Einstampfen sämtlicher Würfel erfolgte in eisernen Formen, und zwar bei den Würfeln aus weichem Beton von den Arbeitern der Aktiengesellschaft für Beton- und Monierbau in gleicher Weise und mit denselben Stampfern wie die Säulen, bei den Würfeln aus erdfeuchtem Beton dagegen von Arbeitern des Königlichen Materialprüfungsamtes nach dem vom Arbeitsausschuß in der Sitzung vom 2. Februar 1907 genehmigten Vorschriften.

Die Würfel aus weichem Beton wurden wie die Säulen 3 Tage nach dem Einstampfen entformt, blieben 10–12 Tage frei stehen und lagerten dann unter feuchtem Sande. 8 Tage vor der Prüfung wurden sie herausgenommen und ihre Druckflächen mit Zementmörtel 1:1 abgeglichen. Die Prüfung erfolgte bei 45 Tagen Alter. Bis dahin blieben die Würfel an der Luft stehen. Die Beanspruchung erfolgte in der Stampfrichtung.

Die Würfel aus erdfeuchtem Beton wurden 24 Stunden nach dem Einstampfen entformt und unter feuchtem Sand gebracht. 24 Stunden vor der Prüfung wurden sie in den Versuchsraum geschafft. Diese Würfel wurden bei 28 Tagen Alter geprüft und zwar senkrecht zur Stampfrichtung beansprucht.

Die in Tabelle 2 hinter den Bruchspannungen in Klammern stehenden Verhältniszahlen, bezogen auf den Mittelwert derselben Reihe, lassen eine sehr gute Übereinstimmung in den Bruchfestigkeiten der gleichzeitig aus einer und derselben Mischung gefertigten Würfel erkennen. Im Mittel aus allen 15 Versuchen beträgt die Druckfestigkeit des zu den Säulen verwendeten weichen Betons 189 kg/qcm.

Die Druckfestigkeit des erdfeuchten Betons beträgt nach Tabelle 2 im Mittel 264 kg/qcm, also 264 — 189 = 75 kg/qcm oder rund 40 % mehr als die des weichen Betons, wobei noch in Betracht zu ziehen ist, daß der erdfeuchte Beton nach 28tägiger, der weiche Beton dagegen erst nach 45tägiger Erhärtung geprüft worden ist.

Den hierin zutage tretenden großen Einfluß des Wasserzusatzes auf die Festigkeit des Betons wird man bei Beurteilung der später zu besprechenden Werte für die erzielten Säulenfestigkeiten nicht außer acht lassen dürfen.

Tabelle 2.  
Druckfestigkeit des Betons.

Tag der Herstellung	8. XI. 07	5. XI. 07	12. XI. 07	27. XI. 07	3. XII. 07	10. XII. 07
Wasserzusatz des Betons ‰	7,0			9,5		
Zustands-Benennung des Betons	erdfeucht			weich		
Alter in Tagen bei der Prüfung	28			45		
Versuch Nr.	Bruchspannungen kg/qcm <sup>1)</sup> , dahinter in Klammern Verhältniszahlen					
1	265 (101)	174 (94)	182 (101)	187 (98)	202 (102)	191 (99)
2	247 (94)	190 (103)	185 (103)	194 (102)	194 (98)	193 (101)
3	278 (108)	191 (103)	173 (96)	191 (100)	199 (101)	191 (99)
4	271 (104)	—	—	—	—	—
5	257 (97)	—	—	—	—	—
Mittel	264 (100)	185 (100)	180 (100)	190 (100)	198 (100)	192 (100)
Raumgewicht vor dem Abgleichen <sup>2)</sup> g/ccm	2,414	2,266	2,265	2,296	2,290	2,268

<sup>1)</sup> Ribbildung und Zerstörung traten gleichzeitig ein.

<sup>2)</sup> Das Raumgewicht der Würfel aus weichem Beton wurde bei 37 Tagen Alter bestimmt.

### E. Festigkeitsversuche mit den Säulen.

(Ausgeführt in der Abteilung 1 für Metallprüfung.)

Die Ausführung der Versuche erfolgte unter Leitung des Berichterstatters durch den Assistenten, Herrn Panzerbieter, von dem auch im wesentlichen die Ausbildung des später zu besprechenden Querdehnungsmessers zum Feinmeßapparat her stammt.

Die Prüfung erfolgte an den senkrecht stehenden Säulen nach 45tägiger Erhärtung auf der 600 t-Maschine, Bauart Borsig.

Die Proben stützten sich mit den in der unter Abschnitt C beschriebenen Weise abgeglichenen Endflächen gegen gehobelte, 4,0 cm starke, gußeiserne Platten. Um möglichst zentrische Beanspruchung und gleichmäßige Lastverteilung über die Druckflächen zu erzielen, wurde die untere, auf einem Kugellager ruhende Platte so eingestellt, daß die Mittellinie der auf ihr stehenden Säule mit der Mittellinie der Maschine zusammenfiel, die obere 4,0 cm starke Druckplatte aufgebracht, auf die Platte ein steifer Gipsbrei aufgetragen, und nun die Säule mit der unten liegenden hydraulischen Presse schnell angehoben. Der Gipsbrei wurde hierbei, unter Abstreichung der herausquellenden Massen, zu einer wenige Millimeter starken Schicht zusammengepreßt, die etwaige Mängel in der Parallelität der oberen Druckplatte zu dem zugehörigen Widerlager der Maschine ausglich und so gleichmäßige Uebertragung der Kraft auf die Säule gewährleistete.

Die Druckkraft wurde stufenweise gesteigert und für jede Stufe nach Entlasten auf Null zehnmal wieder angehoben; jedesmal wurden die Formänderungen der Säule bestimmt. Die Ablesungen an den Meßapparaten erfolgten stets sofort nach Erreichung der betreffenden Laststufe.

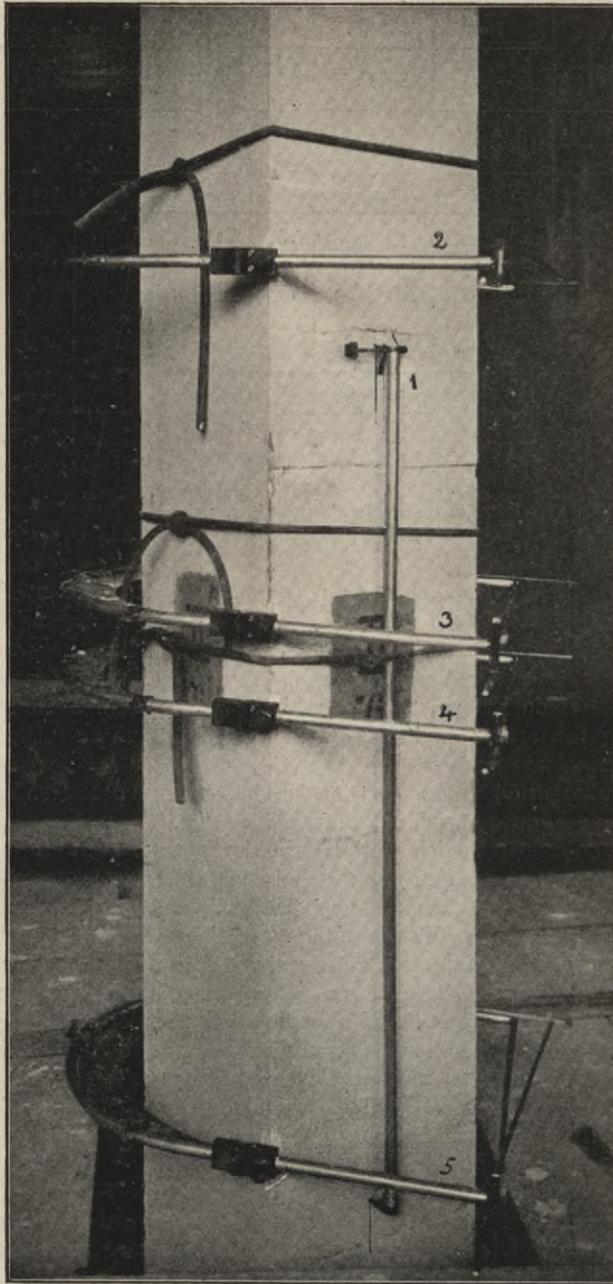
#### 1. Apparate zur Messung der Formänderungen.

Die Messung der Formänderungen (s. Abb. 3, S. 14) umfaßte:

- a) die Längenänderungen,
- b) die Querdehnungen,

Abb. 3. Anordnung der Meßvorrichtungen.

- 1 Martensscher Spiegelapparat zum Messen der Längenänderung.  
 2—5 Zeigerapparate zum Messen der Querdehnungen, hiervon sollten 2, 4 und 5 in Querschnitten mit Querbewehrung und 3 im Querschnitt ohne Querbewehrung angebracht sein.



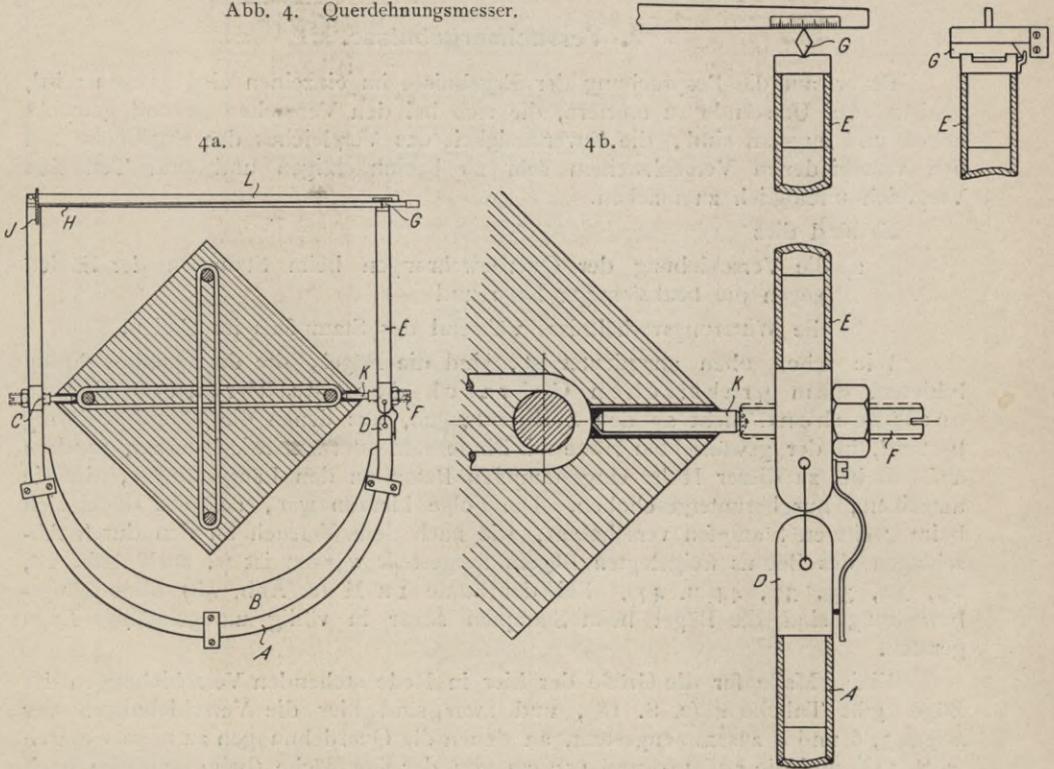
a) Zur Ermittlung der Längenänderungen in  $\frac{1}{100\,000}$  cm dienen Martenssche Spiegelapparate<sup>1)</sup>, die in den Mitten von zwei gegenüber liegenden Seitenflächen angeordnet waren (s. Abb. 3, Apparat 1). Die Meßlänge, annähernd symmetrisch zur Mitte der Säule gelegen, betrug 1,0 m. Die aus Aluminiumrohren ge-

<sup>1)</sup> A. Martens: Handbuch der Materialkunde I Abs. 690—705.

bildeten Meßfedern legten sich am unteren Ende mit zwei Spitzen gegen die Probe und wurden durch ein um die Säule gelegtes Gummiband angepreßt. Die rhombischen Spiegelträger stützten sich gegen Böcke aus Stahlblech, die in zwei Spitzen in dem oberen Begrenzungsquerschnitt der Meßlänge an der Probe festgelegt und durch die nach unten gerichtete, lose auf die Probe aufliegende Zunge gegen Umschlagen gesichert waren. Die Spitzen der Meßfedern und der Böcke waren mit Wachskitt umgossen.

b) Die Querdehnung wurde in den Diagonalen von 4 Querschnitten gemessen. Die Meßpunkte waren hierbei an Eisenstiften festgelegt, die in die Löcher eingepiast wurden, von denen je zwei beim Einstampfen der Säulen in

Abb. 4. Querdehnungsmesser.



deren Ecken einander diametral gegenüber angebracht waren (s. Beschreibung der Herstellung S. 11).

Die Querdehnungsmesser (s. Abb. 3, Apparate 2—5) bestehen aus dem Aluminiumrohr *A* (Abb. 4), durch das im Bogen eingelegte Blech *B* gegen Federung gesichert und bei *C* mit einem festen, aber einstellbaren Stift ausgerüstet. Bei *D* ist das Aluminiumrohr *E* mittels Blattfeder angelenkt und die Stellschraube *F* in der Fassung des Rohres *E* angeordnet. Der Stift bei *C* wird in die Säule eingepiast. Er trägt den Apparat, der außerdem noch durch eine im Bogenteil angebrachte Aufhängeschnur (s. Abb. 3) unterstützt ist. Die Schraube *F* stützt sich gegen den gegenüber von *C* ebenfalls in die Säule eingepiasteten Stift *K*. Der Stützpunkt liegt möglichst nahe an der Rohrfassung. Ändert sich die Länge der Diagonale des Säulenquerschnittes, so dreht sich das Rohr *E* um das Blattfedergelenk, und der zwischen dem Rohrende und der bei *J* an dem Rohr *A* festgelegten Schiene *L* eingeschaltete rhombische Körper *G* dreht sich, wobei der Zeiger *H* den Ausschlag auf der Skala *J* anzeigt.

Das Uebersetzungsverhältnis (Weg des Druckpunktes der Schraube *F* zur Größe des Zeigerausschlages) ist bei allen Apparaten durch Versuche ermittelt.

Hierzu wurde der Apparat wie bei seiner Verwendung mit dem Stift *C* an einem Balken aus hartem Holz festgelegt und die Bewegung des Druckpunktes der Schraube *F* durch eine ebenfalls an dem Balken festgelegte Mikrometerschraube von Brown und Sharpe bewirkt, die Schätzungen in 0,001 mm gestattete.

Die Messungsergebnisse enthält Tabelle 3 (s. S. 17). Nach ihnen ist das Uebersetzungsverhältnis der einzelnen Apparate folgendes:

Apparat	I	1 : 500,
„	II	1 : 500,
„	III	1 : 333,
„	IV	1 : 833.

## 2. Versuchsergebnisse.

Bevor auf die Besprechung der Ergebnisse im einzelnen eingegangen wird, bleiben zwei Umstände zu erörtern, die sich bei den Versuchen geltend gemacht haben und angetan sind, die Zuverlässigkeit des Vergleiches der Ergebnisse aus den verschiedenen Versuchsreihen sehr zu beeinträchtigen und zum Teil den Vergleich unmöglich zu machen.

Es sind dies

- a) die Verschiebung der Querbewehrungen beim Stampfen der Säulen gegen die beabsichtigte Lage und
- b) die Witterungsverhältnisse während des Stampfens im Freien.

Wie schon oben angedeutet ist, sind die Bügel, die die Querbewehrung bildeten, dem praktischen Gebrauch der ausführenden Firma entsprechend nicht an den 4 Eisenstangen, aus denen die Längsbewehrung bestand, in der gewünschten Höhe mit Bindendraht oder sonstwie befestigt, sondern auf den bis zu dieser Höhe eingestampften Beton an den Längsstangen, die sie umgriffen, nur heruntergeschoben. Die Folge hiervon war, daß die Bügel sich beim weiteren Stampfen verschoben, wie nach dem Versuch an den durch Abschlagen des Betons freigelegten Bügeln festgestellt worden ist (s. auch Abb. 28, 29, 32, 35, 37, 44 u. 47). Bei der Säule 1 a II (s. Abb. 48) ohne Längsbewehrung sind die Bügel beim Stampfen sogar in völlig unregelmäßige Lage geraten.

Einige Maße für die Größe der hier in Rede stehenden Verschiebungen der Bügel gibt Tabelle 4 (s. S. 18), und zwar sind hier die Verschiebungen der Bügel 3, 6 und 8 zusammengestellt, an denen die Querdehnungen zu messen waren (s. S. 11), und die 50, 110 und 150 cm von der Kopffläche (beim Stampfen nach oben gelegenen Endfläche der Säule) entfernt liegen sollten.

Wie die Werte der Tabelle zeigen, sind die Bügel gegen die beabsichtigte Lage verschoben und nur in vereinzelten Fällen lag eines der Bügelenden an richtiger Stelle. Die Verschiebungen betragen bis zu 10 cm (s. Tabelle 4, S. 18, Säule 11 III).

Der Bruch liegt bei allen Säulen am oberen, zuletzt eingestampften Ende, gleichviel, ob dieses Ende beim Versuch in der Maschine oben oder unten lag. Da nun an der Bruchstelle nicht immer die größten Verschiebungen stattgefunden hatten,

so scheinen die Verschiebungen oder der Abstand der Bügel voneinander die Lage des Bruches, also auch die Bruchlast nicht beeinflusst zu haben.

An den Säulen 1 II (Abb. 25), 3 III (Abb. 35) und 5 I (Abb. 37) (s. S. 56, 64 und 65) ist sogar deutlich zu erkennen,

daß die Querbügel an der Bruchstelle nicht parallel lagen und daß von den vier Längseisen nicht einmal

Bestimmung des Uebersetzungsverhältnisses der Querdehnungsmesser.

Tabelle 3.

Versuchsstreife	Apparat 1.						Apparat 2.						Apparat 3.						Apparat 4.					
	Zu- bzw. Abnahme der Ablesungen in 0,1 mm für Mikrometerschrauben-Wege von je 0,01 mm																							
	Längung		Kürzung		Längung		Kürzung		Längung		Kürzung		Längung		Kürzung		Kürzung							
0 ÷ 0,01	0,02 ÷ 0,03	0,03 ÷ 0,02	0,02 ÷ 0,01	0 ÷ 0,01	0,02 ÷ 0,03	0,03 ÷ 0,02	0,02 ÷ 0,01	0 ÷ 0,01	0,02 ÷ 0,03	0,03 ÷ 0,02	0,02 ÷ 0,01	0 ÷ 0,01	0,02 ÷ 0,03	0,03 ÷ 0,02	0,02 ÷ 0,01	0 ÷ 0,01	0,02 ÷ 0,03	0,03 ÷ 0,02	0,02 ÷ 0,01					
1	46	54	46	48	53	48	47	58	36	34	32	34	34	34	34	84	87	93	78	86	85			
2	48	50	45	46	56	44	52	56	33	32	36	37	34	39	39	88	81	88	83	88	77			
3	44	56	42	58	50	49	53	45	32	37	33	40	32	39	74	82	87	72	97	107				
4	45	53	43	54	55	48	51	55	36	34	34	37	31	39	76	80	92	79	83	102				
5	42	50	44	53	62	49	61	45	32	35	35	37	33	31	80	81	95	68	87	103				
6	48	47	60	55	43	55	47	53	34	35	34	32	34	35	76	88	85	83	77	98				
7	48	53	50	47	43	54	55	45	31	34	33	34	36	34	76	89	98	77	89	97				
8	46	49	55	47	53	60	45	49	35	33	39	35	33	32	79	77	100	66	93	91				
9	47	48	45	39	52	53	47	51	34	35	33	31	32	37	74	80	103	74	84	93				
10	47	48	51	48	47	52	49	51	32	35	36	37	31	33	79	82	82	76	87	91				
Mittel	46,1	50,0	54,7	45,6	49,7	55,0	48,7	52,1	49,9	48,5	50,4	52,3	33,5	34,4	34,5	35,3	82,7	92,3	75,6	87,1	94,4			
11	45	45	54	52	45	52	42	46	56	48	48	44	34	35	34	34	66	75	91	76	82			
12	44	48	57	46	47	57	46	42	52	41	52	45	35	34	33	37	79	72	81	68	81			
13	49	51	46	45	49	50	45	46	46	41	50	51	35	38	27	36	78	87	82	68	85			
14	44	55	48	46	52	52	47	48	47	45	44	56	33	35	32	33	74	77	99	68	79			
15	47	47	51	40	50	53	46	49	44	44	44	50	37	28	35	38	73	77	88	73	90			
16	42	47	53	48	48	52	49	44	43	40	49	48	32	34	35	32	72	79	82	76	78			
17	48	45	51	48	45	50	53	42	50	43	45	44	33	30	36	34	67	80	89	70	79			
18	44	48	54	46	53	51	49	41	48	46	43	44	32	34	35	34	79	70	85	69	82			
19	49	50	53	40	50	54	47	43	47	40	48	42	32	34	34	31	67	67	98	72	77			
20	45	49	58	47	46	52	41	53	45	45	45	42	33	34	32	30	88	73	84	76	73			
Mittel	45,7	48,5	52,5	45,8	48,5	52,3	46,5	45,4	47,8	43,3	46,9	46,6	33,6	33,6	33,3	33,9	74,3	75,7	87,9	71,6	81,0			
Gesamt- mittel	49,5																				82,6			
Ueber- setzungs- verhältnis	$\frac{0,01}{4,95} = 0,002020$																				$\frac{0,01}{8,26} = 0,001210$			
	$\frac{0,01}{4,82} = 0,002076$																				$\frac{0,01}{3,40} = 0,002941$		$\frac{0,01}{8,26} = 0,001210$	
	48,2																				34,0		82,6	

Tabelle 4.

Lage der Bügel (Querbewehrungen) zu den Meßstellen  
für die Bestimmung der Querdehnung.

Säule Nr.		Entfernung des nächsten Bügels von der Meßstelle bei der beabsichtigten Entfernung von der Endfläche der Säule in cm						Entfernung des Meßpunktes vom nächsten Bügel, gemessen auf Kante	
		50		110		150			
		gemessen auf Kante							
		a	b	a	b	a	b		
1	I	4,4	—	2,0	0,9	1,6	2,2	2,9	—
	II	—	—	2,3	0,8	0,5	1,5	3,2	—
	III	0,5	2,7	0,4	0,0	—	2,5	—0,4	1,0
2	I	2,0	3,0	3,0	3,5	2,0	2,5	4,5	5,0
	II	3,2	—	0,5	0,7	2,5	1,5	4,0	4,5
	III	2,8	1,0	1,7	1,0	1,0	1,5	3,8	3,0
2c	I	0,0	1,8	0,6	3,2	0,0	0,6	1,5	3,0
	II	1,3	1,0	2,5	1,8	2,0	0,0	0,5	2,9
	III	—	—	3,0	3,0	0,6	0,4	3,5	2,0
3	I	2,5	3,0	2,0	1,7	2,0	3,0	0,5	1,5
	II	4,0	2,0	2,5	1,5	2,0	3,0	0,5	1,0
	III	—	1,5	0,5	2,0	0,8	3,5	2,3	4,5
4	I	1,0	3,0	3,5	5,0	2,5	2,0	4,0	4,8
	II	3,2	2,0	1,5	1,2	0,7	3,2	2,5	3,8
5	I	—	—	0,0	2,0	0,0	1,5	3,0	—2,0
	II	2,0	8,0	1,3	3,0	0,0	7,3	2,0	—5,0
6	I	1,0	1,2	0,8	2,7	0,3	1,4	5,0	5,0
	II	1,6	0,6	1,0	3,8	1,0	0,5	4,9	3,2
	III	1,0	0,3	0,7	1,3	1,7	0,5	3,0	3,7
7	I	2,1	—	2,3	2,1	1,8	1,7	3,7	2,7
	II	1,3	0,0	2,5	2,2	0,8	1,0	4,3	5,3
	III	1,5	5,0	1,0	1,9	2,3	1,8	8,0	2,7
8	I	2,2	2,3	3,5	2,2	1,5	2,8	2,2	2,5
	II	1,0	1,3	2,5	3,0	1,0	3,5	—	—
9	I	0,6	0,5	2,3	2,8	0,8	0,7	1,5	4,0
	II	0,9	1,0	1,8	1,5	0,5	1,7	2,2	3,0
	III	1,7	0,9	0,6	0,5	0,4	0,5	5,0	3,6
10	I	7,4	5,0	2,3	2,0	2,3	1,6	2,7	2,5
	II	1,6	7,0	1,3	2,6	1,4	2,6	3,5	2,0
11	I	8,0	2,7	4,0	2,0	5,4	4,5	0,5	6,4
	II	0,4	1,2	4,2	2,0	2,0	1,3	—1,5	—3,0
	III	3,0	2,2	3,7	10,3	3,0	2,3	1,8	7,1
12	I	3,6	—	2,0	1,4	1,7	0,6	4,2	1,5
	II	5,0	5,0	5,3	3,8	3,6	3,8	6,0	6,5
	III	4,0	1,0	2,5	2,0	2,5	2,5	1,5	—
12c	I	0,6	0,6	2,2	3,2	4,0	1,8	1,5	2,5
	II	2,8	2,4	2,3	1,6	2,5	3,0	7,7	3,2
	III	4,5	3,7	0,0	5,8	0,7	3,0	1,5	2,6
13	I	1,2	2,5	2,0	4,0	0,3	2,3	3,0	4,0
	II	1,0	1,3	4,5	4,0	4,5	6,0	4,0	3,0
	III	1,0	2,8	5,0	6,0	3,5	1,5	3,0	4,5

dasjenige ausknickte, an dem der Abstand der Bügel am größten war.

Wenn nun hiernach auch die eingetretenen Verschiebungen der Bügel die erzielten Bruchlasten nicht beeinflußt haben dürften, so sind durch dieselben die Messungen der Querdehnungen in ihrer Bedeutung wesentlich geschmälert, indem nun nicht mehr unterschieden werden kann zwischen den Messungen der „Querdehnungen auf den Bügeln“ und denen „zwischen den Bügeln“. Wie die Werte der letzten beiden Spalten Tabelle 4 im Vergleich mit den übrigen erkennen lassen, fanden die Messungen, die zwischen den Bügeln erfolgen sollten, sogar häufig den Bügeln näher statt, als diejenigen, die die Dehnungen der Bügel unmittelbar fassen sollten. Unter diesen Umständen mußte denn auch davon Abstand genommen werden, die beiden Messungsarten getrennt zu behandeln; vielmehr sind zur Besprechung der Messungsergebnisse Tabelle 8 (s. S. 42) im Abschnitt b S. 41 alle 4 Messungen in Tabelle 9 (s. S. 44) zu gemeinsamen Mittelwerten zusammengefaßt.

Auf den zweiten der oben erwähnten Einflüsse, den der Witterungsverhältnisse beim Stampfen der Säulen, soll später bei Besprechung der erzielten Bruchlasten näher eingegangen werden. Hier möge nur vorweg hervorgehoben sein, daß er insofern sich geltend gemacht zu haben scheint, als der Beton in den bei großer Luftfeuchtigkeit gestampften Säulen geringere Festigkeit besitzt als in den bei trockener Witterung gestampften Säulen. Ist dies tatsächlich der Fall, so ist es naturgemäß nicht ausgeschlossen, daß auch die Beziehungen zwischen Belastungen und Formänderungen (Längenabnahme und Querdehnung) der Säulen durch die Witterungsverhältnisse beim Stampfen beeinflußt sind und die Vergleichbarkeit der Versuchsergebnisse hierunter mindestens gelitten hat.

## a) Längenänderungen der Säulen bei den verschiedenen Bewehrungen unter den gleichen Belastungen.

### α) Einfluß der Längsbewehrung.

Die Längenänderungen sind für 6 Laststufen, 6 430, 16 920, 37 740, 58 160, 78 030 und 97 810 kg, bestimmt, und zwar in jeder Stufe bei zehnmaligem Wechsel zwischen Null und der betreffenden Last. Die hierbei ermittelten Gesamtverkürzungen  $-\lambda$  und bleibenden Verkürzungen  $-\lambda'$  sind in Tabelle 5 (s. S. 20—29) zusammengestellt und aus ihnen die in Tabelle 6 (s. S. 30—33) enthaltenen Zunahmen für  $-\lambda$  und  $-\lambda'$  bei den einzelnen Lastwechseln berechnet. Tabelle 5 enthält zugleich die Mittelwerte für die Federungen (Unterschiede zwischen  $-\lambda$  und  $-\lambda'$ ) bei den drei letzten Lastwechseln (8—10).

In Tabelle 7 (s. S. 34) sind schließlich noch die gesamten und bleibenden Verkürzungen nach dem 7. Lastwechsel gruppenweise derart zusammengestellt, daß aus dem Vergleich der Werte derselben Gruppe der Einfluß der verschiedenartigen Bewehrungen auf die Verkürzungen bei gleichen Belastungen leicht zu übersehen ist. Die Werte für die 7. Lastwechsel wurden gewählt, weil diese Lastwechselzahl in den meisten Fällen auch für die höchste Belastung von 97 810 kg noch erreicht wurde.

Die Ergebnisse Tabelle 6 lassen erkennen, daß die Verkürzungen der Säulen unter geringen Belastungen sich bei wiederholten Lastwechseln nicht wesentlich änderten und schon nach wenigen Lastwechseln gleichbleibende Werte annahmen, während die unter höheren Belastungen mit der Lastwechselzahl ganz erhebliche Steigerungen aufweisen, deren Ende auch nach 10 Lastwechseln noch nicht erreicht ist.

Tabelle 5. Längenänderungen der Säulen bei wiederholtem Lastwechsel.

Zeichen der Säule	Art der Bewehrung	Wechsel zwischen den Belastungen 0 und kg	Säule Nr.	Gesamtverkürzung — $\lambda$ in $\% \cdot 10^{-5}$ bei Belastungsreihe										Bleibende Verkürzung — $\lambda$ in $\% \cdot 10^{-5}$ bei Belastungsreihe										Mittlere Federung f. d. Lastwechsel Nr. 8-10 $\% \cdot 10^{-5}$		
				1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11										1 2 3 4 5 6 7 8 9 10												
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	1	2	3	4	5	6	7	8	9		10	
0	Keine	6 430	1b	297	336	331	337	337	338	339	347	356	358	362	24	47	47	45	54	58	64	63	68	82		
			6b	254	270	287	293	300	299	304	305	309	310	310	14	23	37	47	50	52	53	57	58	—		
			12b	282	290	286	296	303	314	320	324	328	328	330	18	25	30	36	41	55	58	63	67	67		
			Mittel	278	299	301	309	305	317	321	325	331	332	346	19	32	38	43	48	55	58	61	64	(75)		
			1b	838	854	849	814	860	862	853	868	871	(876)	(878)	95	100	106	108	109	114	117	119	123	123		
		6b	748	770	774	775	783	793	797	802	801	806	808	88	92	94	103	113	109	115	120	126	122			
		12b	816	822	825	835	846	849	854	858	860	863	863	101	109	116	124	126	135	141	143	143	147			
		Mittel	801	815	816	825	836	835	835	843	844	848	849	95	99	103	111	116	118	123	127	129	131			
		1b	1903	1956	1965	1977	1985	1987	1996	2013	2018	2031	—	219	236	251	265	266	273	280	290	298	—			
		6b	1742	1770	1786	1796	1815	1818	1820	1822	1848	1870	1891	101	109	203	220	224	226	228	236	258	276			
		12b	1870	1902	1940	1968	1970	1969	1976	1988	1990	1983	1998	230	280	271	268	275	277	285	285	291	210			
		Mittel	1838	1876	1897	1914	1923	1925	1931	1941	1952	1961	—	203	238	242	251	255	258	264	270	282	283			
		1b	3085	3177	3147	3256	3257	3286	3333	3332	3366	3380	3391	418	446	471	488	489	518	518	540	551	570			
		6b	2710	2923	2971	3002	3025	3038	3071	3077	3096	3110	3228	379	408	439	460	470	483	491	506	518	520			
		12b	3048	3127	3183	3199	3238	3242	3271	3220	3303	3323	3331	411	436	460	465	489	508	515	519	532	546			
Mittel	2948	3076	3100	3152	3173	3189	3225	3233	3255	3271	3317	403	430	457	471	483	503	508	522	534	545					
1b	(4675)	4708	4772	4789	4838	4870	4913	4938	4985	5007	—	738	808	838	861	865	898	913	938	973	986					
6b	4108	4185	4243	4301	4336	4384	4405	4434	4469	4500	4522	628	643	668	715	734	769	798	805	833	837					
12b	4453	4552	4657	4711	4747	4804	4816	4844	4881	4914	4932	686	748	778	808	809	846	854	880	895	911					
Mittel	4412	4482	4557	4600	4640	4686	4711	4739	4778	4807	—	684	733	761	795	803	838	855	874	900	911					
1b	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—				
6b	5569	5740	5832	5899	5956	6040	6076	6111	6145	6155	—	985	1039	1078	1128	1173	1210	1246	1258	1258	1283					
12b	6225	6411	6608	6707	6768	6863	6925	7028	7067	7171	—	1141	1239	1292	1329	1388	1418	1469	1508	1530	1578					
Mittel	5897	6076	6220	6303	6362	6452	6501	6570	6606	6663	—	1063	1139	1185	1229	1281	1314	1358	1383	1394	1431					
I	Volle Längsbewehrung, im Umfang 4 Bügel in Schleifenform	6 430	III	273	269	273	271	277	275	273	271	278	275	280	10	8	9	7	10	5	6	8	9	15		
			I	711	729	771	826	—	—	—	—	—	—	—	17	46	86	—	—	—	—	—	—	—		
			III	734	750	749	750	752	753	753	758	753	757	754	35	46	41	42	43	50	49	46	44	46		
			Mittel	723	740	760	788	—	—	—	—	—	—	—	26	46	64	—	—	—	—	—	—	—	710	
			I	1748	1810	1839	1900	1917	1945	1967	1977	1986	2015	2011	213	246	278	334	354	370	380	390	400	413		
		II	1701	1762	1769	1791	1793	1823	1859	1866	1855	1862	1860	63	79	77	99	103	117	133	141	140	154			
		III	1738	1770	1781	1794	1789	1793	1804	1812	1814	1828	1832	133	136	143	141	143	154	155	161	168	174			
		Mittel	1729	1781	1796	1828	1833	1854	1877	1852	1885	1902	1901	136	154	166	158	200	214	223	231	236	247			
		Ia	Ohne Längsbewehrung, im Umfang 4 Bügel in Schleifenform	6 430	II	278	292	291	306	302	311	319	320	332	315	—	16	22	27	38	38	47	53	62	66	
					II	793	807	815	822	826	832	833	831	—	—	—	83	93	101	106	108	109	109	—	—	
					II	1864	1908	1916	1922	1947	1963	1978	1984	1985	1998	1994	216	233	245	247	263	285	286	293	297	304
					II	3053	3113	3152	3197	3254	3296	3309	3338	3332	3337	3351	418	494	480	501	561	590	596	607	604	607
					II	4411	4538	4580	4637	4685	4722	4753	4772	4805	4803	—	766	802	825	855	899	928	946	965	973	979
				6 430	I	265	268	257	259	256	254	256	(263)	257	258	—	3	—2	—5	—6	—11	—7	—7	—5	—11	—
				III	260	278	279	285	292	308	309	307	308	313	317	21	28	34	37	51	57	58	59	62	68	
Mittel	263			273	268	272	274	281	283	285	283	286	(317)	12	13	15	16	20	25	26	27	26	(34)			
16 920	I			703	714	720	721	722	725	—	—	—	—	—	21	24	26	28	31	—	—	—	—	—		
III	748			752	757	760	761	769	768	775	779	779	779	87	84	89	91	87	95	97	101	101	110			
Mittel	726			733	739	741	742	747	(768)	(775)	(779)	(779)	(779)	54	54	58	60	59	(95)	(97)	(101)	(101)	(110)			
37 740	I			1701	1732	1750	1758	1778	1792	1789	1797	1799	1806	1820	117	130	135	148	153	157	170	170	172	180		
III	1687			1740	1754	1769	1771	1782	1784	1784	1787	1797	1804	186	199	200	208	214	212	220	209	221	227			
Mittel	1694			1736	1752	1764	1775	1787	1787	1791	1793	1802	1812	152	165	168	178	184	185	195	195	197	204			
58 160	I			2820	2890	2921	2958	2968	2984	3001	3025	3025	3038	3048	297	288	337	334	344	355	350	372	377	380		
III	2772	2811	2841	2875	2904	2919	2949	2989	2984	2999	3016	341	357	370	381	399	415	427	451	474	474					
Mittel	2796	2851	2881	2917	2936	2952	2975	3007	3005	3019	3032	369	333	354	368	372	385	389	412	426	427					
78 030	I	4141	4230	4312	4330	4390	4446	4470	4571	4583	4631	—	560	571	632	638	650	671	700	757	774	778				
III	4096	4174	4206	4242	4249	4265	4270	4268	4287	4308	4311	682	674	695	704	706	714	672	694	737	718					
Mittel	4119	4202	4259	4286	4370	4356	4370	4420	4435	4470	—	621	623	664	671	678	693	686	726	756	748					
97 810	I	5820	5919	6129	—	—	—	—	—	—	—	—	916	980	1108	—	—	—	—	—	—	—				
III	5329	5422	5496	5566	5629	5652	5695	5749	5777	5799	5839	849	885	903	962	987	1004	1038	1051	1004	1059					
Mittel	5575	5671	5813	—	—	—	—	—	—	—	—	883	933	1051	—	—	—	—	—	—	—	4710				
2	Volle Längsbewehrung, einfacher Umfangsbügel	6 430	III	248	257	257	262	260	260	260	261	260	259	258	255	8	9	14	15	16	14	18	15	15		
			I	711	716	715	717	727	721	723	730	736	738	741	31	34	30	31	36	38	40	44	48	49		
			III	711	717	721	735	726	725	723	733	737	737	735	45	47	54	58	56	56	59	68	69	65		
			Mittel	713	717	718	726	727	723	723	732	737	738	738	38	41	42	45	46	47	50	56	59	57		
			16 920	III	248	257	257	262	260	260	260	261	260	259	258	255	8	9	14	15	16	14	18	15	15	
		I		711	716	715	717	727	721	723	730	736	738	741	31	34	30	31	36	38	40	44	48	49		
		III		711	717	721	735	726	725	723	733	737	737	735	45	47	54	58	56	56	59	68	69	65		
		Mittel		713	717	718	726	727	723	723	732	737	738	738	38	41	42	45	46	47	50	56	59	57		
		78 030		III	248	257	257	262	260	260	260	261	260													

Tabelle 5 (Fortsetzung). Längenänderungen der Säulen bei wiederholtem Lastwechsel.

Zeichen der Säule	Art der Bewehrung	Wechsel zwischen Belastungen 0 und kg	Säule Nr.	Gesamtverkürzung — $\lambda$ in $\frac{1}{10} \cdot 10^{-5}$ bei Belastungsreihe											Bleibende Verkürzung — $\lambda'$ in $\frac{1}{10} \cdot 10^{-5}$ bei Belastungsreihe										Mittlere Federung f, d. Lastwechsel Nr. 8—10 $\frac{1}{10} \cdot 10^{-5}$
				1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11											1 2 3 4 5 6 7 8 9 10										
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
2	Volle Längsbewehrung, einfacher Umfangsbügel	37 740	I	1685	1708	1717	1728	1741	1787	1770	1758	1752	1753	1753	120	126	130	139	145	158	159	156	157	155	
			III	1679	1700	1717	1730	1734	1743	1742	1748	1757	1761	1752	1752	135	149	158	164	163	167	169	174	178	174
			Mittel	1682	1704	1717	1729	1738	1765	1756	1753	1755	1757	1753	1753	128	138	144	152	154	163	164	165	168	165
2a	Ohne Längsbewehrung, einfacher Umfangsbügel	37 740	I	2877	2916	2928	2933	2945	2963	2974	2982	2994	3000	3003	245	270	295	314	336	343	355	364	372	370	
			III	2727	2757	2766	2831	2806	2850	2850	2871	2905	2920	2920	255	265	272	304	289	296	315	321	334	361	
			Mittel	2802	2837	2847	2887	2876	2895	2912	2916	2932	2953	2962	250	268	284	309	313	320	335	343	353	366	358
2c	Längsbewehrung durchgeschnitten, einfacher Umfangsbügel	16 920	I	3886	3949	4030	4065	4098	4118	4135	4162	4208	4230	—	459	492	522	538	555	570	586	608	632	642	
			II	263	280	289	288	296	295	302	302	302	306	308	310	15	9	23	28	32	35	36	39	42	46
			Mittel	243	259	270	284	281	282	289	284	287	288	288	—	2	11	21	23	23	25	26	25	27	27
3	Volle Längsbewehrung, im Umfang 4 Bügel in S-Form	37 740	I	800	807	811	817	807	818	827	832	832	837	839	80	87	88	95	93	93	98	111	112	112	
			II	770	783	793	797	800	796	794	795	800	803	802	53	62	67	71	61	69	60	67	72	72	
			Mittel	785	795	802	807	804	807	811	814	816	817	819	67	75	78	83	77	81	79	89	92	92	
4	Volle Längsbewehrung, im Umfang 4 Bügel in C-Form	37 740	I	1867	1899	1915	1929	1934	1949	1964	1963	1972	1973	1964	95	198	196	217	223	233	242	244	244	238	
			II	1854	1877	1900	1912	1933	1936	1950	1954	1972	1973	1977	142	146	160	167	168	187	190	201	224	213	
			Mittel	1861	1888	1908	1921	1934	1943	1957	1959	1972	1973	1971	169	172	178	192	196	210	216	223	234	226	
2c	Längsbewehrung durchgeschnitten, einfacher Umfangsbügel	16 920	I	3045	3080	3088	3110	3106	3110	3126	3104	3104	3100	318	323	329	329	320	320	312	308	301	292	289	
			II	3048	3140	3190	3219	3241	3263	3278	3299	3309	3322	3332	221	325	343	362	356	382	386	381	423	415	2904
			Mittel	3047	3110	3139	3165	3174	3187	3194	3213	3207	3213	3216	270	324	336	346	338	347	347	341	358	352	2861
2c	Längsbewehrung durchgeschnitten, einfacher Umfangsbügel	97 810	I	4225	4309	4378	4392	4424	4428	4430	4450	4472	4464	4485	401	417	440	450	466	464	454	473	474	484	
			II	4543	4654	4734	4788	4827	4863	4886	4924	4942	4947	4960	597	610	650	675	695	700	714	737	732	726	
			Mittel	4384	4482	4556	4590	4626	4646	4658	4687	4707	4706	4723	499	514	545	563	581	582	584	605	603	605	
2c	Längsbewehrung durchgeschnitten, einfacher Umfangsbügel	97 810	I	5582	5815	5932	5974	6015	6049	—	—	—	—	—	608	662	720	852	847	840	—	—	—	—	
			II	6247	6487	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	897	919	—	—	—	—	—	—	—	—
			Mittel	5915	6151	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	753	791	—	—	—	—	—	—	—	—
2c	Längsbewehrung durchgeschnitten, einfacher Umfangsbügel	37 740	I	258	267	274	289	293	303	303	304	310	326	335	17	23	36	46	51	58	58	62	62	85	
			II	272	277	289	294	304	307	314	316	324	320	333	14	22	33	39	43	50	56	62	61	59	
			Mittel	265	272	282	292	299	305	309	310	317	323	329	16	23	35	43	47	54	57	62	62	72	
2c	Längsbewehrung durchgeschnitten, einfacher Umfangsbügel	78 030	I	800	813	825	829	837	839	843	854	851	853	861	132	148	149	162	164	156	167	173	176	674	
			II	800	814	825	829	836	847	852	862	868	873	870	91	97	108	106	118	124	131	137	140	143	
			Mittel	800	814	825	829	837	843	848	858	860	863	866	112	126	129	134	141	140	149	155	158	161	701
3	Volle Längsbewehrung, im Umfang 4 Bügel in S-Form	37 740	I	1814	1845	1862	1875	1886	1886	1888	1892	1896	1908	1913	248	259	264	271	272	275	282	281	289	292	
			II	1897	1952	1968	1992	1999	2012	2024	2033	2043	2049	2058	221	233	246	262	271	276	291	290	304	302	
			Mittel	1856	1899	1915	1934	1943	1949	1956	1963	1970	1979	1986	235	246	255	267	272	276	287	286	297	297	1677
3	Volle Längsbewehrung, im Umfang 4 Bügel in S-Form	58 160	I	3002	3014	3038	3052	3071	3080	3101	3112	3126	3132	407	420	434	446	449	463	459	482	488	489	2626	
			II	3153	3242	3285	3339	3341	3377	3385	3417	3444	3455	3468	416	445	465	488	496	521	528	532	548	563	
			Mittel	3072	3122	3150	3189	3197	3224	3233	3259	3278	3291	3300	412	433	450	467	473	492	494	507	518	526	2757
3	Volle Längsbewehrung, im Umfang 4 Bügel in S-Form	78 030	I	4123	4235	4283	4328	4372	4404	4434	4467	4486	4522	4525	603	638	655	673	690	745	747	766	786	3725	
			II	4638	4745	4864	4941	5052	5098	5102	5170	5200	5235	5226	707	742	800	833	865	904	955	957	975	998	
			Mittel	4381	4490	4574	4635	4699	4731	4768	4819	4843	4879	4876	655	690	728	753	778	807	850	852	871	892	3975
3	Volle Längsbewehrung, im Umfang 4 Bügel in S-Form	97 810	I	5657	5822	5885	5952	6023	6063	6117	6154	6174	6215	—	993	1028	1058	1076	1131	1141	1186	1193	1244	4966	
			II	6493	6753	6921	7097	7183	7241	7356	—	—	—	—	—	1200	1285	1365	1427	1475	1512	1593	—	—	
			Mittel	6075	6288	6403	6525	6603	6652	6737	—	—	—	—	—	1097	1157	1212	1252	1303	1327	1390	—	—	
3	Volle Längsbewehrung, im Umfang 4 Bügel in S-Form	6 430	I	248	250	253	244	250	243	247	250	251	255	255	4	5	5	2	1	—	3	5	7	247	
			II	247	250	256	258	260	263	268	269	270	272	273	11	19	21	24	26	27	33	34	40	41	
			Mittel	248	250	255	251	265	253	258	260	261	264	264	8	12	13	13	14	12	16	19	23	24	
3	Volle Längsbewehrung, im Umfang 4 Bügel in S-Form	16 920	I	702	708	711	713	714	715	714	718	720	725	726	30	30	29	32	31	33	31	32	36	40	
			II	707	716	727	731	731	740	743	750	754	765	771	62	73	75	79	82	88	91	101	106	111	
			Mittel	705	712	719	722	723	728	729	734	737	745	749	46	52	52	56	57	61	61	67	71	76	
3	Volle Längsbewehrung, im Umfang 4 Bügel in S-Form	37 740	I	1680	1704	1712	1719	1726	1734	1744	1747	1754	1756	1765	121	124	124	133	128	135	142	143	150	155	
			II	1677	1709	1729	1746	1757	1761	1778	1787	1794	1803	1814	176	193	202	207	219	224	241	243	254	259	
			Mittel	1679	1707	1721	1733	1742	1748	1761	1767	1774	1780	1790	149	159	165	170	174	180	192	193	202	207	1543
3	Volle Längsbewehrung, im Umfang 4 Bügel in S-Form	58 160	I	2800	2819	2865	2890	2902	2917	2937	2941	2953	2956	2966	276	282	299	308	315	321	323	345	340	337	
			II	2767	2825	2854	2874	2885	2904	2958	2971	2985	2995	3015	355	373	391	393	400	411	422	450	469	480	
			Mittel	2784	2822	2860	2882	2894	2911	2948	2980	2969	2976	2991	316	328	345	351	358	366	373	401	405	409	2568
3	Volle Längsbewehrung, im Umfang 4 Bügel in S-Form	78 030	I	3959	4028	4083	4115	4156	4203	4200	4212	4250	4258	4267	415	432	447	482	501	512	514	512	534	540	
			II	4005	4084	4118	4157	4209	4268	4298	4311	4334	4342	4361	596	603	616	645	675	702	720	737	740	759	
			Mittel	3982	4056	4101	4136	4183	4236	4249	4262	4292	4300	4314	506	518	532	564	588	607	617	625	640	650	3647
3	Volle Längsbewehrung, im Umfang 4 Bügel in S-Form	97 810	I	5365	5593	5605	562																		

Tabelle 5 (Fortsetzung).

Längenänderungen der Säulen bei wiederholtem Lastwechsel.

Zeichen der Säule	Art der Bewehrung	Wechsel zwischen den Belastungen 0 und kg	Säule Nr.	Gesamtverkürzung $-\lambda$ in $\% \cdot 10^{-5}$ bei Belastungsreihe											Bleibende Verkürzung $-\lambda'$ in $\% \cdot 10^{-5}$ bei Belastungsreihe										Mittlere Federung f. d. Lastwechsel Nr. 8-10 $\% \cdot 10^{-5}$	
				1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11											1 2 3 4 5 6 7 8 9 10											
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
4	Volle Längsbewehrung, im Umfang 4 Bügel in C-Form	58 160	I	2704	2752	2799	2797	2802	2836	2865	2885	2870	2915	2902	296	312	314	312	333	339	371	374	372	384		
			II	2875	2938	2977	3032	3063	3082	3101	3126	3143	3143	3143	3143	419	449	491	505	518	524	528	540	561	567	
			Mittel	2790	2845	2888	2915	2933	2950	2974	2993	2998	3029	3023	3023	358	381	403	409	421	432	450	457	467	476	
			I	3892	3939	3992	4081	4096	4132	4141	4160	4168	4164	4177	445	450	499	577	567	564	587	579	597	573	593	
			II	4185	4273	4327	4382	4399	4436	4455	4478	4504	4525	4563	681	717	749	774	794	813	830	844	852	863	863	
			Mittel	4039	4106	4160	4232	4248	4284	4298	4319	4336	4345	4370	666	608	663	671	679	700	705	721	713	728	728	
			I	5197	5309	5332	5372	5390	5410	5462	5485	5507	5494	—	677	709	688	702	712	717	718	728	723	727	777	
			II	5637	5787	5849	5924	5965	6044	6064	6110	6195	6237	—	1020	1070	1097	1076	1154	1109	1201	1242	1289	1307	4769	
			Mittel	5417	5548	5591	5648	5678	5727	5763	5798	5851	5866	—	849	890	893	889	933	958	960	985	1006	1017	4837	
			5	Volle Längsbewehrung, in den Diagonalen 2 Bügel in Schleifenform	6 430	I	252	258	253	250	247	255	258	257	261	255	13	9	7	8	5	8	13	14	15	20
II	257	272				282	289	282	301	308	310	314	315	322	14	22	33	39	38	48	55	54	59	63		
Mittel	255	265				268	271	266	274	282	284	286	288	289	14	16	20	24	22	28	34	34	37	42	248	
I	680	695				697	701	707	717	723	728	731	734	737	42	47	48	53	61	65	70	73	77	79	655	
II	757	775				787	785	795	798	805	809	808	804	813	94	99	101	110	115	117	119	116	116	122	689	
Mittel	719	735				742	743	751	758	764	769	770	769	775	68	73	75	82	88	91	95	95	97	101	672	
I	1630	1658				1670	1681	1692	1703	1713	1715	1722	1730	1737	150	158	159	169	179	182	188	192	195	202	1526	
II	1724	1756				1787	1791	1815	1821	1837	1841	1849	1855	1867	186	204	221	232	240	241	257	265	272	280	1576	
Mittel	1677	1707				1739	1736	1754	1762	1775	1778	1786	1793	1802	168	181	190	201	210	212	223	229	234	241	241	1551
I	2683	2746				2773	2791	2816	2838	2851	2852	2871	2869	2861	303	329	340	352	363	383	384	382	391	384	384	2478
II	2820	2870	2911	2930	2967	2975	2986	3001	3022	3036	3037	373	391	405	425	435	455	452	473	480	490	2539				
Mittel	2752	2808	2842	2861	2892	2907	2919	2927	2947	2953	2949	338	360	373	389	399	419	423	428	436	437	2509				
I	3839	3913	3961	4015	4060	4078	4107	4126	4140	4153	4165	473	498	529	549	568	588	596	594	610	614	3534				
II	4028	4120	4151	4194	4253	4268	4307	4327	4333	4350	4347	604	620	647	660	686	706	711	747	745	746	3591				
Mittel	3934	4017	4056	4105	4157	4173	4207	4227	4237	4252	4256	539	559	588	605	627	647	654	671	678	680	3563				
I	5178	5278	5386	5446	5498	5559	5595	5621	5659	5681	—	728	748	783	823	851	871	890	910	901	937	4738				
II	5372	5486	5545	5595	5692	5756	5796	5791	5840	5862	—	850	899	882	945	1000	1035	1070	1070	1098	1110	4738				
Mittel	5275	5382	5466	5521	5595	5658	5696	5706	5750	5772	—	789	824	804	884	946	953	980	990	1000	1024	4738				
6	Volle Längsbewehrung, im Umfang 4, in d. Diagonalen 2 Bügel in Schleifenform	6 430	I	244	253	254	256	263	267	270	271	276	277	6	10	11	16	16	18	23	25	27	29			
			II	257	261	261	267	271	268	268	273	273	281	282	12	13	14	23	22	22	26	28	22	39		
			III	256	269	279	283	292	292	291	292	290	293	293	18	26	33	39	44	47	49	48	51	57	240	
			Mittel	252	261	265	269	273	274	275	278	278	283	284	12	16	19	26	27	29	33	34	33	34	243	
			I	691	686	705	703	709	719	719	721	726	732	736	47	47	53	55	60	64	68	73	78	84	648	
			II	726	735	741	750	753	763	762	761	761	761	765	59	67	72	74	80	81	84	84	86	88	675	
			III	719	732	736	738	738	745	748	750	752	752	757	83	85	86	86	90	95	99	97	99	99	653	
			Mittel	712	718	727	730	731	739	743	744	746	748	753	63	66	70	72	77	80	84	85	88	90	659	
			I	1610	1646	1661	1681	1686	1699	1695	1706	1713	1721	1714	144	161	169	176	190	191	190	197	199	197	1516	
			II	1701	1738	1752	1759	1772	1787	1796	1802	1810	1819	1813	150	161	171	174	184	193	197	196	212	214	1602	
III	1653	1686	1710	1712	1721	1727	1734	1748	1741	1743	1749	175	185	193	193	198	199	206	209	211	214	1530				
Mittel	1655	1690	1708	1717	1726	1738	1742	1749	1755	1761	1762	156	169	178	181	191	194	198	201	207	208	1539				
I	2817	2886	2914	2936	2967	3004	3016	3028	3036	3058	3072	267	329	352	369	388	402	414	424	433	443	2453				
II	2722	2777	2800	2833	2846	2862	2873	2876	2893	2900	2904	333	340	364	371	383	392	390	404	410	409	2607				
III	2770	2832	2857	2885	2907	2933	2945	2952	2965	2979	2988	300	335	358	370	386	397	402	414	422	426	2490				
Mittel	2770	2832	2857	2885	2907	2933	2945	2952	2965	2979	2988	300	335	358	370	386	397	402	414	422	426	2517				
I	4139	4232	4312	4403	4449	4481	4499	4536	4572	4614	4619	566	620	636	732	732	746	764	772	787	823	3471				
II	3894	4010	4063	4085	4144	4171	4178	4208	4210	4207	4221	528	581	591	635	648	652	658	665	663	667	3787				
III	4017	4121	4188	4244	4297	4326	4339	4372	4391	4411	4420	547	601	614	684	690	699	711	719	720	745	3543				
Mittel	4017	4121	4188	4244	4297	4326	4339	4372	4391	4411	4420	547	601	614	684	690	699	711	719	720	745	3600				
I	5719	5896	6020	6115	6173	6244	6317	6376	6428	6481	—	972	1027	1091	1135	1181	1201	1249	1277	1309	1335	5121				
II	5305	5421	5496	5531	5561	5596	5629	5691	5714	5714	—	825	871	844	812	869	877	886	941	854	920	4877				
III	5512	5609	5758	5823	5867	5920	5973	6034	6071	6098	—	899	949	968	974	1025	1039	1068	1109	1082	1128	4999				
Mittel	5512	5609	5758	5823	5867	5920	5973	6034	6071	6098	—	899	949	968	974	1025	1039	1068	1109	1082	1128	4999				
II	264	284	290	294	304	313	330	334	345	345	360	25	40	44	48	63	69	80	87	96	103	245				
III	262	274	280	284	315	313	315	313	313	312	310	19	20	26	35	60	60	60	56	59	59	255				
Mittel	263	279	285	289	310	313	323	324	327	329	335	22	30	35	42	62	65	70	72	78	81	250				
II	802	814	830	852	850	854	868	876	866	873	883	132	143	158	167	168	185	192	192	187	193	681				
III	749	757	764	769	783	780	786	788	789	792	800	78	86	93	97	96	100	105	110	107	108	681				
Mittel	776	786	787	811	817	817	827	832	828	833	842	105	115	126	132	132	143	149	151	147	151	681				
II	1809	1844	1870	1887	1892	1905	1922	1932	1934	1948	1950	248	270	273	285	303	315	325	334	333	339	1603				
III	1742	1783	1795	1809	1815	1837	1837	1841	1850	1849	1851	190	211	218	224	233	239	241	241	243	242	1605				
Mittel	1776	1814	1833	1848	1854	1871	1880	1887	1892	1899	1901	219	241	241	246	255	268	277	283	288	288	1604				
II	2900	2992																								

Tabelle 5 (Fortsetzung). Längenänderungen der Säulen bei wiederholtem Lastwechsel.

Zeichen der Säule	Art der Bewehrung	Wechsel zwischen den Belastungen 0 und kg	Säule Nr.	Gesamtverkürzung — $\lambda$ in $\frac{1}{10} \cdot 10^{-5}$ bei Belastungsreihe										Bleibende Verkürzung — $\lambda'$ in $\frac{1}{10} \cdot 10^{-5}$ bei Belastungsreihe										Mittlere Federung f. d. Lastwechsel Nr. 8—10 $\frac{1}{10} \cdot 10^{-5}$		
				1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11										1 2 3 4 5 6 7 8 9 10												
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	1	2	3	4	5	6	7	8	9		10	
8	Volle Längsbewehrung, 4 Umfangsbügel und 2 Diagonalbügel, beide in S-Form	6 430	I	261	284	284	296	297	299	301	303	312	312	316	18	40	51	58	60	64	68	72	74	74	236	
			II	247	249	252	256	256	256	257	257	257	256	257	264	5	6	6	7	7	12	12	9	13	15	244
			Mittel	254	267	268	276	277	278	279	280	280	284	285	290	12	23	29	33	34	38	40	41	44	45	240
			I	734	750	752	753	761	773	763	769	771	777	780	780	102	106	107	110	112	114	120	121	125	127	648
			II	704	713	716	723	727	717	780	767	772	786	794	784	38	46	47	53	54	57	102	102	99	105	673
		Mittel	719	732	734	738	744	745	774	768	772	782	787	787	70	76	77	82	83	86	111	112	112	116	661	
		I	1662	1705	1702	1710	1723	1743	1761	1761	1764	1762	1780	1780	187	195	206	218	228	242	250	247	257	264	1506	
		II	1693	1712	1720	1732	1744	1746	1755	1756	1759	1765	1766	1766	144	151	159	163	174	181	181	174	180	186	1580	
		Mittel	1678	1709	1711	1721	1734	1745	1758	1759	1762	1764	1773	1773	166	173	183	191	201	212	216	211	219	225	1543	
		I	2680	2710	2754	2792	2817	2847	2851	2894	2893	2912	336	352	352	352	367	383	420	430	440	457	472	471	2433	
II	2756	2819	2860	2917	2920	2942	2946	2958	2962	2948	2948	307	346	359	394	388	410	414	416	420	399	399	2844			
Mittel	2718	2807	2855	2869	2895	2899	2936	2928	2921	2930	327	349	363	393	389	404	420	427	437	446	435	435	2489			
I	3842	3967	3997	4060	4075	4103	4132	4157	4177	4244	592	623	655	665	665	680	702	717	732	744	772	772	3434			
II	3978	4086	4133	4163	4191	4201	4236	4251	4275	4257	4259	568	580	598	604	613	622	636	636	636	636	636	3624			
Mittel	3910	4027	4063	4212	4133	4152	4184	4204	4226	4237	4252	580	602	627	635	647	662	677	684	690	704	704	3529			
I	5252	5412	5484	5547	5592	5618	5653	5701	5711	5732	—	842	994	914	1046	1067	1086	1105	1142	1122	1177	1177	4564			
II	5478	5516	5581	5691	5704	5763	5781	5803	5876	5886	—	828	869	891	898	898	928	946	956	976	1006	1006	4876			
Mittel	5365	5464	5533	5619	5648	5691	5717	5752	5794	5809	—	835	932	903	972	983	1007	1026	1049	1049	1049	1092	4720			
9	Volle Längsbewehrung, 4 Umfangsbügel in C-Form und 2 Diagonalbügel in S-Form	6 430	I	268	274	280	287	288	298	299	305	306	306	311	12	20	28	40	42	41	44	50	50	55	254	
			II	276	280	275	269	269	265	266	269	264	266	264	4	5	0	3	—	—	—	—	—	—	276	
			Mittel	272	277	278	278	279	282	283	287	285	286	288	8	13	14	19	15	17	20	22	21	21	265	
			I	762	870	780	784	795	798	798	805	810	806	809	80	85	90	92	93	103	110	111	114	118	118	693
			II	729	736	743	731	734	733	730	715	738	741	740	13	24	13	8	9	11	11	11	11	17	13	725
		Mittel	746	803	762	758	765	766	764	760	714	774	775	47	55	52	50	51	57	61	61	66	66	66	709	
		I	1754	1784	1809	1820	1829	1838	1845	1848	1851	1859	1861	191	206	214	225	229	236	239	242	243	243	243	1611	
		II	1729	1774	1793	1814	1827	1836	1835	1831	1840	1846	1858	100	109	121	136	140	149	149	142	150	151	151	1691	
		Mittel	1742	1779	1801	1817	1828	1837	1840	1840	1846	1853	1860	146	158	168	181	185	189	193	191	196	197	197	1651	
		I	2900	2952	2980	3006	3023	3025	3040	3061	3070	3077	3092	383	404	413	428	432	445	452	461	470	470	470	2602	
II	2901	2975	3015	3040	3055	3081	3085	3108	3112	3124	3152	291	312	335	337	353	365	370	383	381	381	381	2737			
Mittel	2901	2964	2998	3024	3039	3053	3063	3085	3091	3101	3122	327	358	374	383	393	405	409	416	427	426	426	2670			
I	4165	4288	4375	4408	4446	4484	4539	4545	4576	4575	4638	669	704	760	753	772	792	821	752	833	821	821	3749			
II	4215	4232	4315	4452	4483	4503	4535	4558	4568	4590	4628	535	569	599	611	631	640	666	664	675	688	688	3596			
Mittel	4190	4260	4345	4430	4465	4494	4537	4552	4572	4583	4633	602	637	680	686	702	716	744	708	754	755	755	3823			
I	5740	5915	6030	6104	6152	6224	6292	6316	6370	6385	—	1061	1105	1125	1185	1245	1245	1280	1295	1305	1325	1325	5049			
II	5764	5900	6025	6085	6159	—	—	—	—	—	—	858	858	929	960	967	—	—	—	—	—	—	—	—		
Mittel	5752	5908	6028	6095	6156	6224	6292	6316	6370	6385	—	960	982	1028	1073	1086	1245	1280	1295	1305	1325	1325	5049			

Zeichen der Säule	Art der Bewehrung	Wechsel zwischen den Belastungen 0 und kg	Säule Nr.	Gesamtverkürzung — $\lambda$ in $\frac{1}{10} \cdot 10^{-5}$ bei Belastungsreihe										Bleibende Verkürzung — $\lambda'$ in $\frac{1}{10} \cdot 10^{-5}$ bei Belastungsreihe										Mittlere Federung f. d. Lastwechsel Nr. 8—10 $\frac{1}{10} \cdot 10^{-5}$		
				1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11										1 2 3 4 5 6 7 8 9 10												
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	1	2	3	4	5	6	7	8	9		10	
10	Volle Längsbewehrung, abwechselnd 4 Umfangsbügel mit 2 Diagonalbügel, beide in Schleifenform	6 430	I	259	262	260	259	262	259	261	267	290	274	275	6	1	2	2	4	4	7	11	17	19	261	
			II	278	297	300	292	293	297	298	301	303	303	309	19	26	28	36	31	34	35	35	39	46	262	
			Mittel	269	279	280	276	278	278	280	284	284	289	292	13	14	15	19	18	19	21	23	28	33	262	
			I	731	747	750	756	761	767	772	772	781	780	785	50	61	61	63	75	79	81	83	85	88	88	693
			II	787	800	808	812	816	821	824	829	833	837	842	73	80	88	92	96	102	106	108	113	118	118	720
		Mittel	759	784	779	784	789	794	798	801	807	809	814	62	71	75	78	86	91	94	96	99	103	103	707	
		I	1748	1792	1805	1818	1830	1829	1843	1846	1850	1855	1861	171	235	191	202	203	210	213	222	222	222	228	1626	
		II	1847	1886	1909	1908	1943	1953	1966	1972	1978	1993	2002	194	215	232	239	248	258	261	267	272	285	285	1703	
		Mittel	1798	1839	1857	1863	1887	1891	1905	1909	1914	1924	1932	183	250	212	221	226	234	237	245	247	257	257	1665	
		I	2887	2956	2981	3023	3036	3064	3075	3090	3122	3132	3150	358	388	401	412	430	447	452	467	477	487	487	2638	
II	3445	3159	3170	3188	3229	3238	3258	3268	3273	3282	3293	393	432	449	451	480	460	478	481	494	503	503	2782			
Mittel	2966	3057	3076	3106	3138	3151	3167	3179	3198	3157	3222	376	410	425	432	455	454	465	474	485	495	495	2710			
I	4210	4342	4418	4460	4496	4523	4553	4569	4606	4635	4663	638	668	708	736	749	775	780	793	824	832	832	3787			
II	4403	4531	4631	4713	4772	4801	4806	4817	4822	4840	4878	657	726	757	774	810	808	821	809	810	828	828	4011			
Mittel	4307	4437	4525	4587	4634	4662	4680	4693	4714	4738	4771	674	697	733	755	780	792	801	801	817	830	830	3894			
I	5772	5937	6058	6151	6223	6281	6354	6405	6437	6467	—	974	1039	1082	1129	1165	1194	1227	1268	1285	1288	1288	5153			
II	6112	6271	6379	6473	6545	6604	6683	6707	6772	6820	—	994	1031	1101	1120	1166	1193	1226	1252	1276	1282	1282	5496			
Mittel	5942	6104	6219	6312	6384	6443	6519	6556	6605	6644	—	984	1035	1092	1125	1166	1194	1227	1260	1281	1290	1290	5325			
11	Volle Längsbewehrung, abwechselnd einfacher Umfangsbügel in S-Form	6 430	I	256	267	269	269	272	275	294	297	298	298	300	7	15	15	17	20	23	36	32	30	30	267	
			III	253	271	288	289	295	294	293	290															

Tabelle 5 (Fortsetzung). Längenänderungen der Säulen bei wiederholtem Lastwechsel.

Zeichen der Säule	Art der Bewehrung	Wechsel zwischen den Belastungen 0 und kg	Säule Nr.	Gesamtverkürzung — $\lambda$ in % 10 <sup>-5</sup> bei Belastungsreihe											Bleibende Verkürzung — $\lambda'$ in % 10 <sup>-5</sup> bei Belastungsreihe										Mittlere Federung f. d. Lastwechsel No. 8—10 % 10 <sup>-5</sup>
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
				12	Volle Längsbewehrung, I kreisringförmiger Bügel im Umfang	37 740	I	1565	1580	1585	1590	1600	1608	1606	1609	1617	1610	1607	140	144	152	153	155	158	
III	1650	1664	1678	1694			1710	1723	1726	1725	1731	1732	1731	1732	1738	148	156	165	180	191	196	197	197	199	199
Mittel	1608	1622	1627	1642		1655	1666	1666	1667	1674	1671	1673	1671	1673	144	150	159	167	173	177	177	178	178	171	1495
I	2500	2546	2571	2593		2599	2595	2605	2617	2622	2613	2618	258	275	271	283	299	288	295	295	297	294	2322		
III	2692	2733	2747	2777		2786	2799	2818	2831	2841	2841	2850	307	318	328	341	348	356	369	379	376	386	2457		
Mittel	2596	2640	2659	2685		2693	2697	2712	2724	2732	2737	2734	283	297	300	312	324	322	332	337	337	340	2390		
I	3534	3587	3615	3640		3664	3679	3680	3703	3701	3717	3708	408	422	429	443	453	458	457	460	462	459	3247		
III	3839	3866	3895	3917		3985	3977	4001	4004	4045	4041	4064	509	515	529	546	573	577	578	583	600	603	3437		
Mittel	3687	3727	3755	3779		3825	3828	3841	3854	3873	3879	3886	459	469	479	495	513	518	518	522	531	531	3342		
I	4612	4673	4743	4798		4830	4868	—	—	—	—	—	547	559	593	620	620	635	—	—	—	—	—		
III	5035	5140	5224	5277	5301	5316	5350	5382	5395	5413	—	756	781	828	837	854	868	882	902	922	928	4479			
Mittel	4824	4907	4984	5038	5066	5092	—	—	—	—	—	652	670	711	729	737	752	—	—	—	—	4479			
12 a	Ohne Längsbewehrung, I kreisringförmiger Bügel im Umfang	6 430	I	254	267	268	279	281	285	285	287	290	292	302	17	19	21	31	34	33	34	33	36	46	251
			III	287	289	301	314	323	328	324	332	333	333	333	332	37	38	54	68	70	76	77	79	79	
		Mittel	271	274	285	297	302	307	305	310	312	313	317	27	29	38	50	52	55	56	58	58	63		
		I	739	753	759	762	760	759	762	768	773	776	775	70	77	81	81	74	78	79	87	89	94	682	
		III	781	783	792	798	800	804	806	807	806	809	812	102	107	112	113	120	119	120	120	123	123	686	
		Mittel	760	768	776	780	780	782	784	788	790	793	784	86	92	97	97	95	99	99	104	110	108	684	
		I	1680	1704	1713	1722	1732	1754	1735	1747	1755	1756	1763	149	159	164	171	174	178	184	187	194	194	1561	
		III	1779	1815	1826	1862	1866	1872	1885	1888	1890	1897	1902	215	237	259	266	271	278	280	285	289	291	1603	
		Mittel	1730	1760	1770	1792	1799	1813	1810	1818	1823	1827	1833	182	198	212	218	223	228	232	236	242	243	1582	
		I	2687	2739	2770	2795	2801	2827	2840	2855	2865	2888	2879	275	294	308	324	329	340	350	362	369	380	2496	
III	2894	2970	3012	3039	3049	3055	3072	3087	3102	3118	3125	423	452	568	482	477	482	490	502	520	524	2587			
Mittel	2791	2855	2891	2917	2925	2941	2956	2971	2984	3003	3002	349	373	438	403	403	411	420	432	445	452	2542			
I	3842	3934	3985	4042	4060	4092	4109	4138	4152	4157	4147	487	530	534	562	588	597	620	630	625	614	3526			
III	4197	4275	4327	4369	4421	4450	4485	4512	4552	4557	4582	687	723	750	772	809	816	832	862	892	898	3660			
Mittel	4020	4105	4156	4206	4241	4271	4297	4325	4352	4362	4365	587	627	642	667	698	707	726	746	758	756	3593			
I	5367	5407	5452	5515	5595	5644	5697	5739	5782	5828	—	812	820	852	882	917	952	982	1012	1055	1069	4738			
III	5664	5812	5927	6004	6064	—	—	—	—	—	—	1067	1102	1182	1215	1272	—	—	—	—	—	—			
Mittel	5516	5620	5690	5760	5815	—	—	—	—	—	—	940	961	1017	1049	1095	—	—	—	—	—	4738			

Zeichen der Säule	Art der Bewehrung	Wechsel zwischen den Belastungen 0 und kg	Säule Nr.	Gesamtverkürzung — $\lambda$ in % 10 <sup>-5</sup> bei Belastungsreihe											Bleibende Verkürzung — $\lambda'$ in % 10 <sup>-5</sup> bei Belastungsreihe										Mittlere Federung f. d. Lastwechsel No. 8—10 % 10 <sup>-5</sup>
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
				13	Volle Längsbewehrung, 2 kreisringförmige Bügel aus 8/4 Kreisbogen mit gegenseitiger 1/4 Überdeckung	6 430	I	242	259	269	272	275	281	281	284	286	290	293	14	22	27	29	32	36	
II	257	257	257	255			255	259	258	259	262	262	264	265	—2	—2	—3	—4	—4	—4	—5	—1	—1	+2	261
Mittel	250	258	263	264		265	270	265	272	274	277	279	277	279	6	10	12	13	14	16	17	20	22	24	
I	747	755	762	761		781	776	781	786	783	786	788	76	81	89	94	99	97	102	104	100	100	682		
II	727	747	743	745		745	750	754	752	756	756	755	34	36	36	30	35	35	41	41	40	42	714		
Mittel	737	751	753	753		763	763	768	769	770	771	772	55	59	63	62	67	66	72	73	72	71	698		
I	1703	1793	1812	1822		1834	1842	1855	1867	1883	1889	1895	184	198	211	212	220	235	243	252	252	264	1624		
II	1751	1792	1808	1818		1815	1818	1816	1832	1828	1821	1833	120	132	137	138	133	131	136	131	132	131	1695		
Mittel	1727	1783	1810	1820		1820	1825	1841	1850	1856	1855	1864	152	165	174	175	177	183	190	182	192	198	1660		
I	2831	2953	2991	3013		3044	3062	3081	3108	3110	3121	3131	360	383	398	418	431	442	453	465	474	476	2641		
II	2863	2943	2987	2992	3013	3032	3039	3040	3049	3054	3063	231	241	254	266	266	266	274	283	276	276	2769			
Mittel	2847	2948	2989	3003	3029	3047	3060	3074	3080	3088	3097	296	312	326	342	348	356	364	374	375	376	2705			
I	4170	4274	4376	4436	4485	4519	4577	4603	4632	4665	4692	599	665	705	706	746	781	805	823	842	865	3790			
II	4179	4321	4397	4431	4491	4528	4549	4579	4608	4631	4651	444	491	521	541	558	572	594	606	609	627	3992			
Mittel	4175	4298	4387	4444	4488	4524	4563	4591	4623	4648	4672	522	578	613	624	652	676	700	715	726	746	3891			
I	5982	5969	6170	6248	6304	6360	6423	6474	6488	6511	—	1081	1083	1142	1177	1195	1235	1272	1304	1311	1313	5182			
II	5884	6167	6273	6468	6564	6608	6558	6624	6701	6773	—	871	951	1080	1124	1168	1113	1101	1123	1194	1233	5516			
Mittel	5933	6068	6222	6308	6434	6484	6491	6549	6595	6642	—	976	1017	1111	1151	1182	1174	1187	1214	1253	1273	5349			
II	281	287	297	366	394	395	412	420	448	465	483	51	80	105	121	133	152	163	187	201	221	241			
III	226	199	181	200	206	215	217	206	181	172	163	—28	—56	—50	—44	—34	—23	—31	—43	—70	—78	253			
Mittel	254	243	239	283	300	305	315	313	315	319	323	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	247			
II	942	980	1003	1009	1012	1130	1026	1024	1030	1040	1044	273	291	304	311	319	322	317	322	323	340	703			
III	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—55	—57	—61	—69	—71	—75	—79	—71	—72	—71	670			
Mittel	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	687			
II	2022	2068	2102	2134	2140	2156	2157	2147	2150	2164	2168	421	438	466	477	484	491	487	491	494	505	1657			
III	1518	1569	1575	1587	1589	1604	1608	1622	1641	1657	1687	—1	9	19	20	21	27	36	50	64	89	1572			
Mittel	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1615			
II	3165	3217	3248	3284	3292	3316	3320	3332	3350	3363	3374	581	600	616	618	626	628	641	651	657	665	269			

Tabelle 6. Zunahme der Längenänderungen bei wiederholtem Lastwechsel.

Zeichen und Nummer der Säule	Art der Bewehrung	Lastwechsel zwischen 0 u. kg	Verkürzung in $\frac{1}{10} \cdot 10^{-5}$ bei der erstmaligen Belastung	Zunahme der Verkürzung $\lambda$ gegen diejenige bei der erstmaligen Belastung bei Belastungsreihe										Bleibende Verkürzung bei erstmaliger Belastung	Zunahme der bleibenden Verkürzung $\lambda'$ gegen diejenige bei der erstmaligen Belastung bei Belastungsreihe																
				2		3		4		5		6			7		8		9		10		2	3	4	5	6	7	8	9	10
				2	3	4	5	6	7	8	9	10	2		3	4	5	6	7	8	9	10	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1b 0 6b 12b	Keine	6430	278	21	23	31	27	39	43	47	53	54	19	13	19	24	29	36	39	42	45	—									
		16920	801	14	15	24	35	34	42	43	47	47	4	4	16	21	23	28	32	34	36	—									
I III	Volle Längsbewehrung im Umfang 4 Bügel in Schleifenform	37740	1838	38	59	76	85	87	93	104	114	123	213	25	29	38	42	45	49	57	69	70	—								
		58160	2948	128	152	204	225	241	277	285	307	323	403	27	54	68	80	100	105	119	131	142	—								
		78030	4412	70	145	188	228	274	299	327	366	395	684	49	77	111	119	154	171	190	216	227	—								
		97810	5897	179	323	406	465	555	604	673	709	766	1063	76	122	166	218	251	295	320	331	368	—								
		6430	273	—	0	4	2	0	—	—	—	—	—	10	—	—	—	—	—	—	—	—	—								
Ia II	Ohne Längsbewehrung im Umfang 4 Bügel in Schleifenform	16920	734	16	15	16	18	19	19	24	19	23	35	11	6	7	8	15	14	11	9	11	—								
		37740	1738	32	43	56	51	55	66	74	76	90	133	3	10	8	10	21	22	28	35	41	—								
		58160	2881	43	74	108	135	157	166	169	175	193	315	17	37	3	56	83	73	96	111	111	—								
		78030	4139	85	174	167	221	243	284	290	243	274	576	48	40	97	107	119	133	136	—	—	—								
		97810	5545	90	187	—	—	—	—	—	—	—	822	74	100	—	—	—	—	—	—	—	—								
I Ic III	Längsbewehrung durchschnitten, im Umfang 4 Bügel in Schleifenform	6430	263	10	5	9	11	12	12	13	12	20	23	1	3	4	8	13	14	15	14	—	—								
		16920	748	4	9	12	13	21	20	27	31	31	87	—	2	4	0	8	10	14	14	23	—								
		37740	1694	42	58	70	81	93	93	97	99	108	152	13	16	26	32	33	43	43	45	52	—								
		58160	2796	55	85	121	140	156	179	211	209	223	369	—	—	—	3	16	20	43	57	58	—								
		78030	4119	83	140	167	251	237	251	301	316	351	621	2	43	50	57	72	65	105	135	127	—								
I 2 III	Volle Längsbewehrung, einfacher Umfangsbügel	6430	248	9	14	12	12	12	13	12	11	10	15	1	6	7	8	6	10	9	7	7	—								
		16920	713	4	5	13	14	10	10	10	19	24	25	38	3	4	7	8	9	12	18	21	19	—							
		37740	1682	22	35	47	56	83	74	71	73	75	128	10	16	24	26	35	36	37	40	37	—								
		58160	2802	35	45	85	74	93	110	114	130	151	250	18	34	59	63	70	85	93	103	116	—								
		78030	3886	63	144	179	212	232	249	276	322	344	459	33	63	69	96	111	127	149	173	183	—								
I 2a II	Ohne Längsbewehrung, einfacher Umfangsbügel	6430	253	17	27	33	36	40	44	45	52	58	7	8	15	19	27	31	38	41	46	56	—								
		16920	785	10	17	22	19	22	26	29	31	32	67	8	11	16	10	14	12	22	25	25	—								
		37740	1801	27	47	60	73	82	96	98	111	112	169	3	9	23	27	41	47	54	65	57	—								
		58160	3047	63	92	118	127	140	147	166	160	166	270	54	66	76	68	77	77	71	88	82	—								
		78030	4384	98	172	206	242	262	274	303	323	322	499	15	46	64	82	83	85	106	104	106	—								
I 2c II	Längsbewehrung durchschnitten, einfacher Umfangsbügel	6430	265	7	17	27	34	40	44	45	52	58	16	7	19	27	31	38	41	46	46	56	—								
		16920	800	14	25	29	37	43	48	58	60	63	112	14	17	22	29	28	37	41	46	49	—								
		37740	1856	43	59	78	87	93	100	107	114	123	235	11	20	32	37	41	52	51	61	61	—								
		58160	[3072]	50	78	117	152	161	187	206	219	219	412	21	38	55	61	80	82	95	106	114	—								
		78030	4381	109	193	254	318	350	387	438	462	498	655	35	73	98	123	152	195	197	216	237	—								
I 3 II	Volle Längsbewehrung, im Umfang 4 Bügel in S-Form	6430	248	2	7	3	7	5	10	12	13	16	8	4	5	5	6	4	8	11	15	16	—								
		16920	705	7	14	17	18	23	24	29	32	40	46	6	10	11	11	15	15	21	25	30	—								
		37740	1679	28	42	54	63	69	82	88	95	101	149	10	16	21	25	31	43	44	53	58	—								
		58160	2784	38	76	98	110	127	164	172	185	192	316	12	29	35	42	50	57	85	89	93	—								
		78030	3982	74	119	154	201	254	267	280	310	318	506	12	26	58	82	101	111	119	134	144	—								
I 4 II	Volle Längsbewehrung, im Umfang 4 Bügel in C-Form	6430	267	7	11	13	17	20	20	27	33	37	18	2	6	10	13	16	19	24	30	36	—								
		16920	746	2	3	5	11	22	28	35	38	43	69	7	5	8	18	23	26	34	39	44	—								
		37740	1690	51	63	88	84	94	100	110	115	127	186	9	19	26	30	33	45	45	61	66	—								
		58160	2790	55	98	125	143	160	184	203	208	239	358	23	45	51	63	74	92	99	109	118	—								
		78030	4039	83	121	193	209	245	269	280	297	306	566	42	97	105	113	134	139	155	147	162	—								
I 5 III	Volle Längsbewehrung, in den Diagonalen 2 Bügel in Schleifenform	6430	255	10	13	16	11	19	27	29	31	33	14	2	6	10	8	14	20	27	23	28	—								
		16920	719	16	23	24	32	39	45	50	51	50	68	5	7	14	20	23	27	27	29	36	—								
		37740	1677	30	52	59	77	85	98	101	109	116	168	13	20	33	42	44	55	61	66	73	—								
		58160	2752	56	90	109	140	155	167	185	195	201	338	22	35	51	61	81	85	90	98	99	—								
		78030	3934	83	121	171	223	239	273	303	303	318	539	20	49	66	88	108	115	132	139	141	—								
I 6 III	Volle Längsbewehrung, im Umfang 4. in den Diagonalen 2 Bügel in Schleifenform	6430	252	9	13	17	21	22	23	26	26	31	12	4	7	14	15	17	21	21	21	30	—								
		16920	712	6	15	18	19	27	31	32	34	36	63	3	7	9	14	17	21	22	25	27	—								
		37740	1655	35	53	62	71	83	87	94	100	106	156	13	22	25	35	38	42	45	51	52	—								
		58160	2770	62	67	115	137	163	175	182	195	209	300	35	58	70	86	97	102	114	122	126	—								
		78030	4017	104	171	217	280	309	322	355	374	394	547	54	67	137	143	152	164	172	173	198	—								
97810	5512	97	246	311	355	408	461	522	559	586	899	50	69	75	126	140	169	210	210	183	229	—									

Zeichen und Nummer der Säule	Art der Bewehrung	Lastwechsel zwischen 0 u. kg	Verkürzung in $\frac{1}{10} \cdot 10^{-5}$ bei der erstmaligen Belastung	Zunahme der Verkürzung $\lambda$ gegen diejenige bei der erstmaligen Belastung bei Belastungsreihe										Bleibende Verkürzung bei erstmaliger Belastung	Zunahme der bleibenden Verkürzung $\lambda'$ gegen diejenige bei der erstmaligen Belastung bei Belastungsreihe																
				2		3		4		5		6			7		8		9		10		2	3	4	5	6	7	8	9	10
				2	3	4	5	6	7	8	9	10	2		3	4	5	6	7	8	9	10	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I 2a II	Ohne Längsbewehrung, einfacher Umfangsbügel	6430	253	17	27	33	36	40	44	45	52	58	7	8	15	19	27	31	38	41	46	56	—								
		16920	785	10	17	22	19	22	26	29	31	32	67	8	11	16	10	14	12	22	25	25	—								
		37740	1801	27	47	60	73	82	96	98	111	112	169	3	9	23	27	41	47	54	65	57	—								
		58160	3047	63	92	118	127	140	147	166	160	166	270	54	66	76	68	77	77	71	88	82	—								
		78030	4384	98	172	206	242	262	274	303	323	322	499	15	46	64	82	83	85	106	104	106	—								
I 2c II	Längsbewehrung durchschnitten, einfacher Umfangsbügel	6430	265	7	17	27	34	40	44	45	52	58	16	7	19	27	31	38	41	46	46	56	—								
		16920	800	14	25	29	37	43	48	58	60	63	112	14	17	22	29	28	37	41	46	49	—								
		37740	1856	43	59	78	87	93	100	107	114	123																			

Tabelle 6 (Fortsetzung). Zunahme der Längenänderungen bei wiederholtem Lastwechsel.

Zeichen und Nummer der Säule	Art der Bewehrung	Lastenwechsel zwischen 0 u. P kg	Verkürzung in $\frac{1}{10} \cdot 10^{-3}$ bei der erstmaligen Belastung	Zunahme der Verkürzung $\Delta$ gegen diejenige bei der erstmaligen Belastung bei Belastungsreihe										Bleibende Verkürzung bei erstmaliger Belastung	Zunahme der bleibenden Verkürzung $\Delta'$ gegen diejenige bei der erstmaligen Belastung bei Belastungsreihe																				
				2		3		4		5		6			7		8		9		10		2	3	4	5	6	7	8	9	10				
				2	3	4	5	6	7	8	9	10	2		3	4	5	6	7	8	9	10	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
7 II 7 III	Volle Längsbewehrung, einfacher Umfangsbügel und 2 Diagonalbügel in S-Form	6430 16920 37740 58160 78030 97810	263 776 1776 2864 4185 5631	16 10 38 77 40 138	22 11 57 104 92 195	26 35 72 132 151 251	47 41 78 163 151 329	50 41 94 178 203 359	60 51 103 201 254 414	61 56 110 204 278 450	66 52 115 223 246 492	66 57 122 246 287 533	22 105 219 365 603 947	8 10 22 23 35 47	13 21 27 36 44 100	20 27 49 81 76 121	40 38 58 98 95 181	43 44 64 103 132 211	48 46 69 103 143 193	50 46 69 113 143 211	56 42 69 113 158 215	11 6 7 17 21	17 12 13 25 35 67	21 16 16 35 46 72	22 13 16 35 46 72	26 41 42 60 55 110	28 41 42 60 55 110	29 42 42 60 55 110	32 42 42 60 55 110	33 42 42 60 55 110					
8 I 8 II	Volle Längsbewehrung, 4 Umfangsbügel und 2 Diagonalbügel, beide in S-Form	6430 16920 37740 58160 78030 97810	254 719 1678 2718 3910 5365	13 13 31 47 117 99	14 15 33 89 155 168	22 19 43 137 302 154	23 25 56 151 323 410	24 26 67 177 242 252	25 53 80 218 294 252	26 53 81 218 294 252	30 53 81 218 316 329	31 63 86 203 327 344	12 70 166 327 580 835	11 6 7 22 36 47	17 12 13 25 35 67	21 16 16 35 46 72	22 13 16 35 46 72	26 41 42 60 55 110	28 41 42 60 55 110	29 42 42 60 55 110	32 42 42 60 55 110	33 42 42 60 55 110	5 8 12 21 35 44	6 8 12 21 35 67	7 10 10 21 35 67	9 14 14 28 42 62	9 14 14 28 42 62	12 16 16 35 46 72	14 19 19 38 43 79	14 19 19 38 43 79	15 21 21 40 45 109	15 21 21 40 45 109	20 30 30 61 66 152	20 30 30 61 66 152	20 30 30 61 66 152
9 I 9 II	Volle Längsbewehrung, 4 Umfangsbügel in C-Form und 2 Diagonalbügel in S-Form	6430 16920 37740 58160 78030 97810	272 746 1742 2901 4190 5752	5 57 37 63 70 156	6 16 12 73 240 282	7 12 84 138 275 349	10 18 93 152 304 410	11 20 96 184 347 570	11 28 107 213 372 614	11 28 107 213 372 614	13 28 107 213 372 614	14 28 107 213 372 614	8 47 146 337 602 960	5 8 12 21 35 67	6 10 10 21 35 67	7 14 14 28 42 62	9 14 14 28 42 62	9 14 14 28 42 62	12 16 16 35 46 72	14 19 19 38 43 79	14 19 19 38 43 79	15 21 21 40 45 109	15 21 21 40 45 109	20 30 30 61 66 152											
10 I 10 II	Volle Längsbewehrung, abwechselnd 4 Umfangsbügel mit 2 Diagonalbügel, beide in Schleifenform	6430 16920 37740 58160 78030 97810	269 759 1798 2966 4307 5942	10 25 41 91 130 162	11 20 12 65 140 277	7 12 84 138 275 349	10 18 93 152 304 410	11 20 96 184 347 570	11 28 107 213 372 614	11 28 107 213 372 614	13 28 107 213 372 614	14 28 107 213 372 614	13 47 146 337 602 960	1 9 13 21 35 67	2 13 16 35 46 72	5 10 10 21 35 67	6 14 14 28 42 62	8 16 16 35 46 72	8 16 16 35 46 72	10 14 14 28 42 62	10 14 14 28 42 62	15 21 21 40 45 109	15 21 21 40 45 109	20 30 30 61 66 152											
11 I 11 III	Volle Längsbewehrung, abwechselnd einfacher Umfangsbügel mit 2 Diagonalbügel in S-Form	6430 16920 37740 58160 78030 97810	255 750 1758 2869 4020 5489	14 12 43 54 88 151	24 15 19 60 117 300	29 28 66 124 216 349	30 29 69 124 235 396	39 29 83 166 246 454	40 36 93 171 251 539	40 36 93 171 251 539	40 36 93 171 251 539	40 36 93 171 251 539	8 66 176 307 460 694	12 3 23 25 32 61	16 8 10 19 39 85	18 15 17 39 46 135	21 17 17 43 62 221	22 20 25 51 62 221	23 20 25 51 62 221	25 22 25 51 62 221	25 22 25 51 62 221	28 27 30 61 66 152													

12 I 12 III	Volle Längsbewehrung, I kreisringförmiger Bügel im Umfang	6430 16920 37740 58160 78030 97810	231 672 1608 2596 3687 4824	15 6 14 44 40 83	17 25 31 34 89 150	19 37 41 58 101 214	23 37 40 58 101 268	25 40 41 58 101 268	28 41 46 59 128 186	28 41 46 59 128 186	26 46 66 131 192 —	9 40 144 283 459 652	3 8 6 15 14 18	5 24 23 49 80 29	8 12 15 29 41 54	13 32 33 49 59 100	14 32 33 49 59 100	17 32 33 49 59 100	16 35 34 54 72 —	15 38 34 54 72 —	15 38 34 54 72 —	16 35 34 54 72 —														
12a III 12c II	Ohne Längsbewehrung, I kreisringförmiger Bügel im Umfang	6430 16920 37740 58160 78030 97810	271 760 1730 2791 4020 5516	3 8 30 64 85 104	14 16 40 100 136 174	26 20 62 126 186 244	31 22 69 134 221 299	36 22 83 150 251 —	39 24 88 180 305 —	39 24 88 180 305 —	41 33 97 212 342 —	27 86 182 349 587 940	2 6 16 24 40 21	11 11 30 89 55 77	23 11 41 54 80 109	25 9 46 62 111 155	28 13 46 62 71 139	29 18 50 68 83 159	29 18 50 68 83 159	31 24 61 96 169 —																
I II	Längsbewehrung durchschnitten, I kreisringförmiger Bügel im Umfang	6430 16920 37740 58160 78030 97810	250 737 1727 2847 4175 5933	8 14 56 101 123 135	14 16 83 142 212 289	15 26 93 182 313 501	20 26 98 200 349 551	26 31 98 227 448 616	31 32 128 243 448 662	31 32 128 243 448 662	24 34 128 243 448 662	6 55 152 296 522 976	4 4 13 16 40 21	6 8 22 30 55 77	7 12 23 36 62 109	8 12 23 36 62 109	10 11 20 30 46 82	11 11 20 30 46 82	11 11 20 30 46 82	14 16 30 46 82 159	14 16 30 46 82 159															
II III	Volle Längsbewehrung, 2 kreisringförmige Bügel aus $\frac{3}{4}$ -Kreisbogen mit gegenseitiger $\frac{1}{4}$ Ueberdeckung	6430 16920 37740 58160 78030 97810	254 942 2022 3165 4465 6055	— 38 46 52 101 91	— 61 112 127 198 358	46 70 118 151 249 475	51 188 134 155 274 505	61 84 135 167 305 536	61 84 135 167 305 536	61 84 135 167 305 536	61 84 135 167 305 536	51 273 421 581 788 1084	29 18 17 19 23 67	54 31 45 35 44 106	70 38 56 63 83 150	82 46 63 70 83 191	101 49 66 70 100 201	112 44 66 70 113 201	112 44 66 70 113 201	136 49 66 70 113 201	136 49 66 70 113 201	150 50 70 76 139 212														

Mittlere Längenänderungen der verschiedenartig bewehrten Säulen beim Druckversuch.

Gruppe	Gegenstand	Säule Nr.	Art der Bewehrung	Gesamtverkürzung — $\lambda$ in $\frac{0}{10} \cdot 10^{-5}$ nach 7maligem Belastungswechsel zwischen 0 und den folgenden Belastungen in kg				Bleibende Verkürzung — $\lambda'$ in $\frac{0}{10} \cdot 10^{-5}$ nach 7maligem Belastungswechsel zwischen 0 und den folgenden Belastungen in kg				Belastungen t								
				6430	16920	37740	58160	78030	97810	6430	16920	37740	58160	78030	97810	erster Riß	Bruch			
I	Einfluß der verschiedenartigen Längsbewehrung bei gleicher Querbewehrung	0	Keine	321	835	1931	3225	4711	6501	58	123	264	508	855	1358	140,6	140,6			
		1	je 4 Umfangsbügel in	273	753	1804	3047	4423	(6386)	6	49	155	417	616	616	—	134,82	134,82		
		1a	ohne	319	833	1978	3309	4753	—	53	109	286	596	946	—	107,15	107,15			
		1c	Schleifenform	283	768	1787	2975	4370	5695	26	97	195	389	686	(1038)	—	172,20	172,33		
		2	mit	261	723	1756	2912	4135	—	18	50	164	335	586	—	155,05	155,16			
		2a	je 1 einfacher Umfangsbügel	296	811	1957	3194	4658	—	31	79	216	347	584	—	134,51	135,68			
		2c	durchschnitt.	309	848	1956	3233	4768	6737	57	149	287	494	850	1390	119,95	120,48			
		12	desgl. kreisringförmig, Säule	259	713	1667	2724	3854	(5382)	23	72	177	332	518	(882)	—	160,52	160,52		
		12a	ohne	305	784	1810	2956	4297	(5697)	56	99	232	420	726	—	156,08	156,51			
		12c	rechteckig	265	768	1841	3060	4563	6491	17	72	190	364	700	1187	—	118,94	128,51		
		II	Vergleich der verschiedenen Querbewehrungen durch Umfangsbügel bei gleicher Längsbewehrung	0	Keine	321	835	1931	3225	4711	6501	58	123	264	508	855	1358	140,6	140,6	
				1	4 Umfangsbügel in Schleifenform	273	753	1804	3047	4423	(6386)	6	49	155	417	616	—	—	134,82	134,82
2	1 einfacher Umfangsbügel			261	723	1756	2912	4135	—	18	50	164	335	586	—	—	155,05	155,16		
3	4 S-Bügel			258	729	1761	2948	4249	5781	16	61	192	373	617	937	937	149,29	149,29		
4	4 C-Bügel			287	774	1790	2974	4298	5763	37	95	231	450	795	960	960	142,23	150,76		
12	1 kreisringförmiger Umfangsbügel			259	713	1667	2724	3854	(5382)	23	72	177	332	518	(882)	—	160,52	160,52		
III	Einfluß der Diagonalbügel, sowie der Bewehrung mit Umfangsbügel und Diagonalbügel in demselben Querschnitt			0	Keine	321	835	1931	3225	4711	6501	58	123	264	508	855	1358	140,6	140,6	
				1	4 Umfangsbügel in Schleifenform	273	753	1804	3047	4423	(6386)	6	49	155	417	616	—	—	134,82	134,82
				5	2 Diagonalbügel	282	764	1775	2919	4207	5696	34	95	223	423	654	980	980	136,45	154,22
				6	6 Bügel in Schleifenform, 4 im Umfang und 2 diagonal	275	743	1742	2745	4339	5973	33	84	198	402	711	1018	1018	119,29	150,92
				7	Einfacher Umfangsbügel	323	827	1880	3065	4399	6035	70	149	283	463	714	1128	1128	130,14	152,27
				8	4 S-Bügel im Umfang	279	772	1758	2899	4184	5717	40	111	216	427	677	1026	1026	133,09	154,43
		9	4 C-Bügel	283	764	1840	3063	4537	(6292)	20	61	193	409	744	1280	1280	126,05	137,81		
		4	4 C-Bügel	287	774	1790	2974	4298	5763	37	95	231	450	795	960	960	142,23	150,76		
		3	4 S-Bügel	258	729	1761	2948	4249	5781	16	61	192	373	617	937	937	149,29	149,29		
		IV	Querbewehrung abwechselnd im Umfang oder diagonal	1	4 Umfangsbügel in Schleifenform	273	753	1804	3047	4423	(6386)	6	49	155	417	616	—	—	134,82	134,82
				6	4 desgl. im Umfang und 2 desgl. diagonal	275	743	1742	2745	4339	5973	33	84	198	402	711	1018	1018	119,29	150,92
				10	4 " " oder 2 "	280	798	1905	3167	4680	6519	21	94	237	465	801	1227	1227	104,43	130,20
11	1 einf. Umfangsbügel oder 2 S-Bügel			294	779	1822	2955	4305	5985	38	86	191	350	539	863	863	99,06	138,75		
2	1 einfacher Umfangsbügel			261	723	1756	2912	4135	—	18	50	164	335	586	—	—	155,05	155,16		

Für die Beurteilung der Tragfähigkeit der Säulen ist dies Verhalten nicht ohne Bedeutung, und zwar aus folgendem Grunde:

Die größte Gesamtverkürzung  $-\lambda$ , die bei der höchsten Laststufe von  $P = 97810$  kg beobachtet worden ist, beträgt nach Tabelle 6 für die Säulen 2 c nach der erstmaligen Belastung etwa  $0,06\%$ . Um diesen Betrag haben auch die 4 Längseisen sich in der belasteten Säule verkürzen müssen. Die Druckspannung, die hierbei im Eisen entstand, berechnet sich aus dem Druckelastizitätsmodul  $E = 2100000$  kg/qcm des Eisens zu:

$$-\sigma = \frac{\lambda}{l} \cdot E = \frac{0,06}{100} \cdot 2100000 = 1260 \text{ kg/qcm.}$$

Diese Spannung erreicht noch nicht die  $P$ -Grenze des Eisens, die nach S. 8 bei  $1500$  kg/qcm liegt, und bleibt weit unterhalb der Quetschgrenze ( $2955$  kg/qcm). Es entstand also noch keine bleibende Formänderung der Längseisen und noch viel weniger Nachstrecken des Eisens, wenn die Säule wiederholt mit Belastungen bis zu  $97810$  kg beansprucht wurde. Da nun aber beim Messen der Verkürzung der Säule an deren Oberfläche, d. h. auf dem Beton, nicht nur bleibende Formänderungen, sondern bei höheren Belastungen auch ständige Zunahme der Verkürzung bei wiederholtem Belasten beobachtet wurde, so folgt hieraus,

daß die Verteilung der Spannung über den Beton- und Eisenquerschnitt sowohl mit wachsender Belastung als auch beim wiederholten Lastwechsel sich beständig änderte derart, daß der auf das Eisen entfallende prozentuelle Anteil der Belastung zunahm.

Nun war weiter nach Zerstörung der Säulen nicht zu erkennen, daß die Endflächen der Längseisen sich gegen die Endflächen des Betons verschoben hatten, aus ihnen hervortraten, was hätte geschehen müssen, wenn die Federung des Eisens in dem bleibend zusammengedrückten Beton hingereicht hätte, den Gleitwiderstand des Eisens im Beton aufzuheben. Hiernach ist wohl anzunehmen, daß der Beton innerhalb des nicht zerstörten Teiles der Säulen fest an den Eisen haften geblieben ist. Dieser Umstand zusammen mit demjenigen, daß das Eisen nur elastisch deformiert sein konnte, während der Beton bereits bleibende Zusammendrückungen erlitt, berechtigt zu dem Schluß,

daß beim Entlasten zwischen beiden Materialien-Wechselspannungen entstanden, derart, daß im Eisen Druckspannungen zurückblieben, im Beton dagegen durch die Federkraft des Eisens Zugspannungen erzeugt wurden.

Daß dies tatsächlich der Fall war, davon zeugt auch die Beobachtung, daß die bleibenden Verkürzungen der Säulen mit Längsbewehrung nach den gleichen Belastungen und der gleichen Lastwechselzahl geringer waren, als bei den Säulen ohne Längsbewehrung (s. Tabelle 6 Säule 1 und 1a, 12 und 12a und die Schaulinien Abb. 5, S. 36). Dieser Einfluß der Längseisen scheint sich auch dann noch geltend zu machen, wenn die Längseisen, wie bei den Säulen 1c, 2c und 12c (s. Abb. 5) in Abschnitte von  $20,0$  cm Länge zerschnitten sind, wenn auch hier in geringerem Maße als bei den durchgehenden Längseisen. An den Säulen 2 (s. Abb. 5) tritt der Einfluß der durchgehenden Längseisen auf die Verkürzung bei dem Vergleich der Linien für 2 mit Längseisen und 2a ohne Längseisen, wenigstens bei geringen Belastungen ebenfalls zutage, dagegen zeigen hier die Säulen 2c mit durchschnittenen Längseisen von allen drei Arten die größten Verkürzungen.

β) Vergleich der verschiedenen Querbewehrungen.

Umfangsbügel.

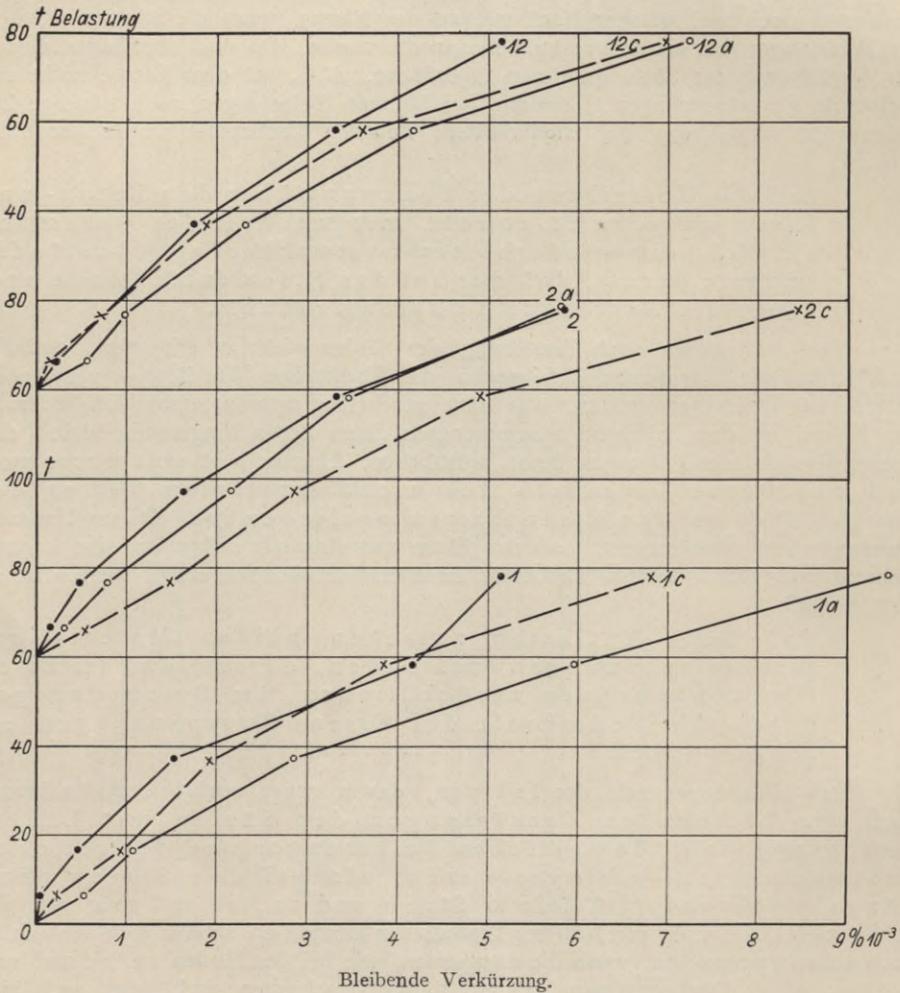
Mit Umfangsbügel sind bewehrt die Säulen 1, 2, 3, 4 und 12; die ersten vier haben quadratischen, die Säule 12 hat achtseitigen Querschnitt.

Wie die mittleren Beobachtungswerte Tabelle 7 (s. S. 34) Gruppe II zeigen, sind sowohl die Gesamtverkürzungen als auch die bleibenden

Abb. 5. Bleibende Verkürzung der Säulen 1, 2 u. 12 mit wachsender Belastung nach 7maligem Lastwechsel.

Säulen 1, 2, 12 mit durchgehender, Säulen 1a, 2a, 12a ohne, Säulen 1c, 2c, 12c mit durchschnittlicher Längsbewehrung.

Querbewehrung: bei 1 Umfangsbügel in Schleifenform, bei 2 einfacher Umfangsbügel, bei 12 kreisringförmiger Bügel in achtseitiger Säule.



Verkürzungen dieser fünf Säulen bei allen Laststufen geringer als die der Säulen 0 ohne jede Bewehrung. Inwieweit dieser Unterschied auf die Wirkung der Längsbewehrung (4 Längseisen von 16 mm Durchmesser) zurückzuführen ist, läßt sich mit Sicherheit nicht erkennen, da Versuche mit Säulen, die lediglich mit Längseisen bewehrt waren, nicht vorliegen. Immer-

hin gestattet der Vergleich der Ergebnisse für die Säulen 1a, 2a und 12a Gruppe I Tabelle 7 mit denen für die unbewehrten Säulen 0 den Schluß, daß sowohl die aus je vier Umfangsbügeln in Schleifenform (Säule 1a) als auch die aus je einem einfachen Umfangsbügel (Säule 2a) bestehenden Querbewehrungen allein, d. h. ohne gleichzeitiges Vorhandensein von Längsbewehrungen, keinen nennenswerten

Abb. 6. Gesamtverkürzungen bei gleichen Belastungen.

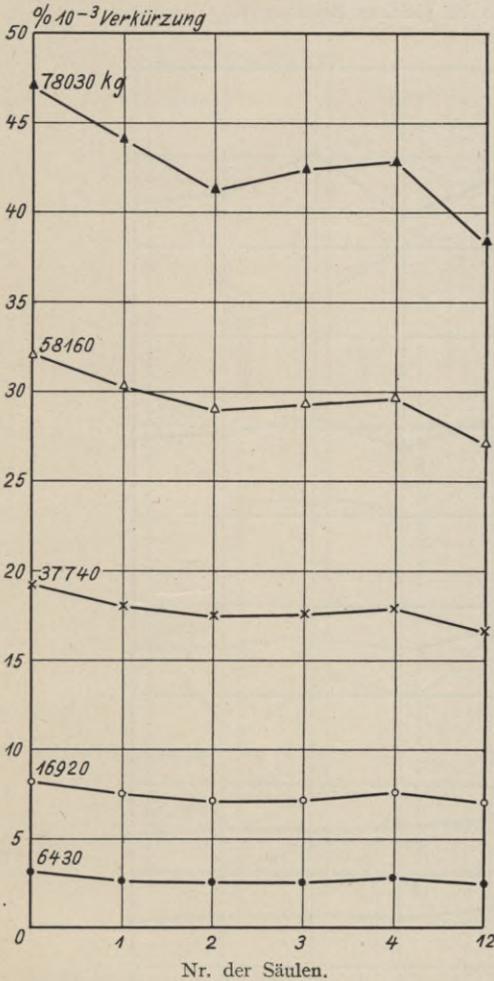
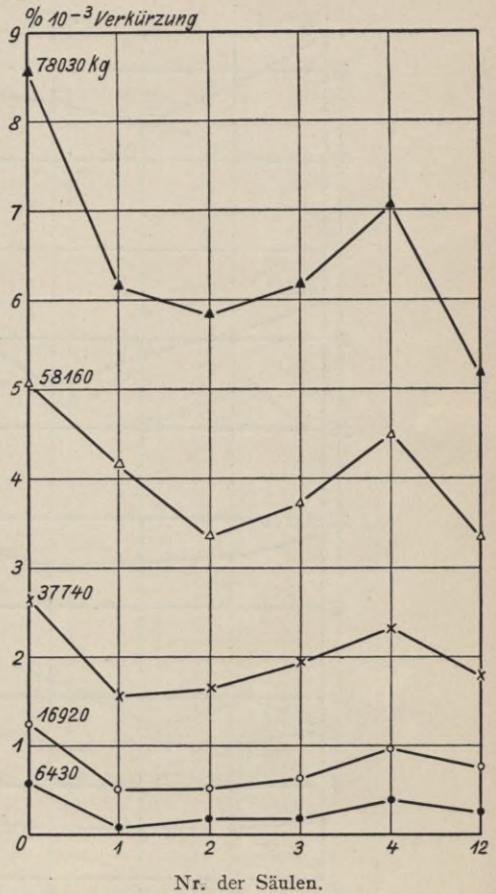


Abb. 7. Bleibende Verkürzungen bei gleichen Belastungen.



Einfluß auf die Verkürzungen der Säulen ausübten.<sup>1)</sup> Dagegen lassen schon die Brucherscheinungen, das Ausknicken der Längseisen zwischen zwei benachbarten Querbewehrungen, deutlich erkennen, daß die letzteren den auf Verminderung der Verkürzung der Säulen hinwirkenden Einfluß der Längsbewehrung unterstützen.

Diese Mitwirkung der Querbewehrung (s. a. Abb. 6 und 7) ist am stärksten gewesen bei dem einfachen Umfangsbügel, und zwar sowohl bei den achtseitigen

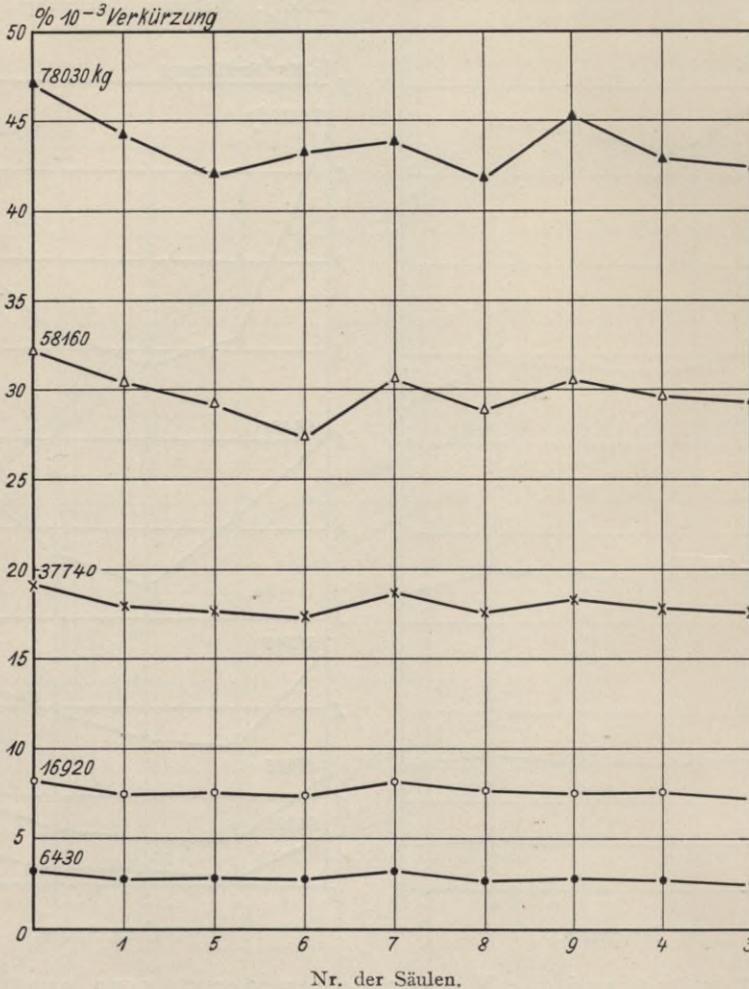
<sup>1)</sup> Zu beachten ist hierbei, daß die Bügel wenigstens bei der Säule 1 a II völlig regellos im Beton lagen (s. Abb. 48, S. 70).

Säulen 12<sup>1)</sup> als auch bei den quadratischen Säulen 2. Ihnen am nächsten steht die Säule 3 mit S-förmigen Bügeln, dann folgt (von 3 nicht wesentlich verschieden) die Säule 1 mit Umfangsbügel in Schleifenform und schließlich Säule 4 mit C-förmigen Bügeln.

#### Diagonalbügel und Umfangsbügel in demselben Querschnitt.

Die Ergebnisse der hier in Frage kommenden Säulen Gruppe III Tabelle 7 sind in Abb. 8 und 9 gegenübergestellt, wobei im voraus bemerkt sein möge,

Abb. 8. Gesamtverkürzungen bei gleichen Belastungen.



daß die nachfolgenden Vergleiche durch die Witterungsverhältnisse beim Stampfen der Säulen nicht beeinflusst sind.

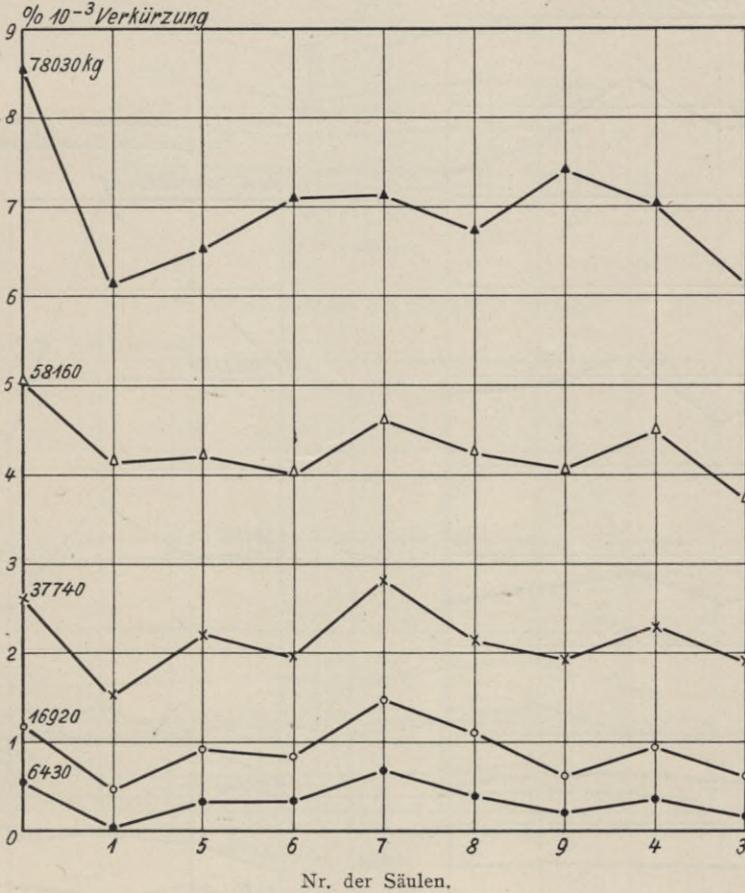
Zunächst zeigt sich, daß die Säulen 7 im Gegensatz zu allen übrigen hier verglichenen Säulen nur bei höheren Belastungen geringere Verkürzung erlitten als die unbewehrten Säulen 0. Die Säulen 7 hatten je einen einfachen Umfangs-

<sup>1)</sup> Der unmittelbare Vergleich der achtseitigen Säulen mit den quadratischen ist zulässig, da sie gleichen Querschnitt besitzen und nach Tabelle 5 die unbewehrte achtseitige Säule sich nicht wesentlich anders verhielt als die unbewehrten quadratischen.

bügel und je 2 diagonale Bügel in S-Form; sie unterscheiden sich also von den Säulen 2 dadurch, daß zu dem Umfangsbügel noch 2 Diagonalbügel hinzutreten. Die Längenänderungen von 7 sind größer als die von 2 (s. Tabelle 7 Gruppe II und III). Sie sind durch das Hinzukommen der Diagonalbügel nicht vermindert, sondern noch vergrößert worden.

Bei Säule 5 sind die bleibenden Verkürzungen (Abb. 9) und bis zu 16 920 kg auch die Gesamtverkürzungen (Abb. 8) größer als bei Säule 1. Hier- nach hat sich die Bewehrung mit je 4 Umfangsbügel in

Abb. 9. Bleibende Verkürzungen bei gleichen Belastungen.



Schleifenform hinsichtlich des Widerstandes gegen Formänderungen derjenigen mit je einem Bügel derselben Form aber in jeder Diagonalen überlegen erwiesen.

Der Vergleich der Säule 1 mit 6 und 9, sowie 3 mit 8 (die Art der Querbewehrungen, s. Tabelle 1 und 7) zeigt, daß die Verkürzungen bei gleicher Belastung, wie es schon an dem Säulenpaar 7 und 2 dargelegt werden konnte, durch das Hinzufügen von Diagonalbügel zu den Umfangsbügel in demselben Querschnitt keineswegs vermindert, sondern eher vergrößert wurden.

Im übrigen tritt hierbei ein wesentlicher Unterschied hinsichtlich der verschiedenen Bügelformen nicht zutage.

### Diagonalbügel und Umfangsbügel abwechselnd angeordnet.

In Frage kommen hier (s. Gruppe IV Tabelle 7 und die Querschnittsskizzen Tabelle 1) die Säulen 10 mit abwechselnd vier Umfangsbügel in Schleifenform oder mit zwei ebensolchen in den Diagonalen, sowie die Säulen 11 mit abwechselnd einem einfachen Umfangsbügel oder mit zwei Diagonalbügel in S-Form. Zum Vergleich sind ferner herangezogen Säule 1 mit vier Umfangsbügel in Schleifenform, Säule 6 mit vier Umfangsbügel und zwei Diagonalbügel, sämt-

Abb. 10. Gesamtverkürzungen bei gleichen Belastungen.

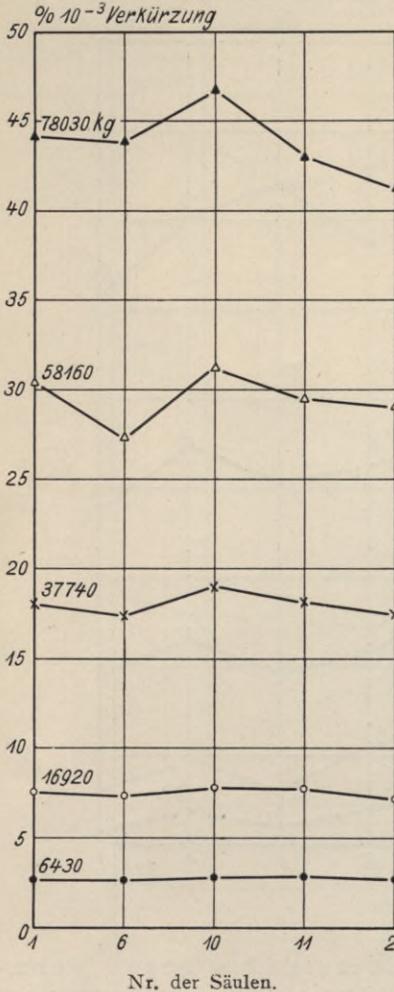
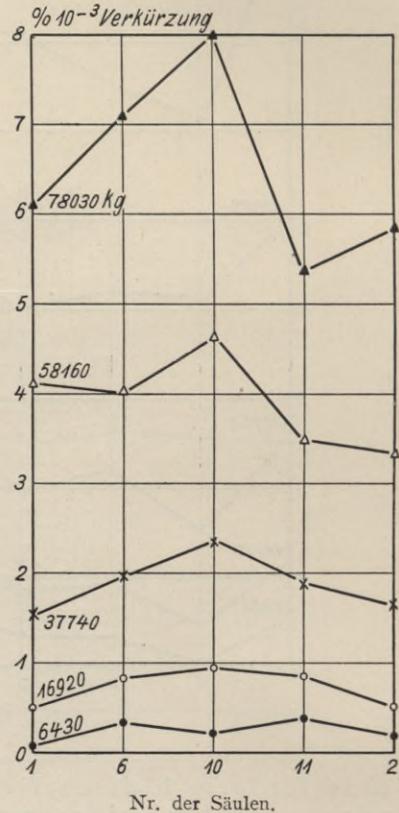


Abb. 11. Bleibende Verkürzungen bei gleichen Belastungen.



lich in Schleifenform, sowie Säule 2 mit einfachem Umfangsbügel in allen bewehrten Querschnitten.

Der Vergleich von 6 mit 10 zeigt (s. Abb. 10 und 11), daß die Säulen 10 (bei feuchtem Wetter gestampft), welche abwechselnd im Umfange und in der Diagonalen mit vier oder zwei Bügel in Schleifenform bewehrt waren, größere Verkürzungen erlitten, als die Säulen 6 (bei trockenem Wetter gestampft) mit beiden Bewehrungen gleicher Form in demselben Querschnitt, und auch größere als die Säulen 1, die nur je vier ebensolche Umfangsbügel in jedem Querschnitt enthielten.

Die Säulen 11, deren Querbewehrungen abwechselnd aus einem einfachen Umfangsbügel oder aus zwei Diagonalbügeln in S-Form bestanden, weisen geringere Verkürzungen auf als die Säulen 10 (beide Gruppen waren bei feuchtem Wetter gestampft), aber größere als die bei trockenem Wetter gestampften Säulen 2, bei denen alle Querbewehrungen aus einem einfachen Umfangsbügel bestanden.

Abb. 12. Querdehnungen bei gleichen Belastungen.

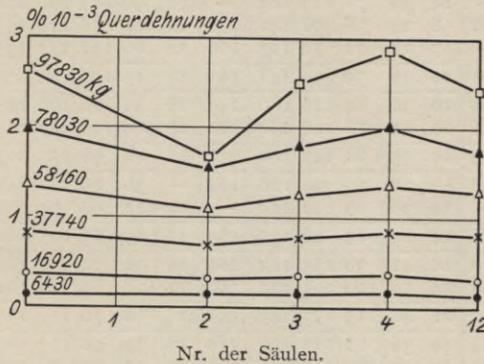
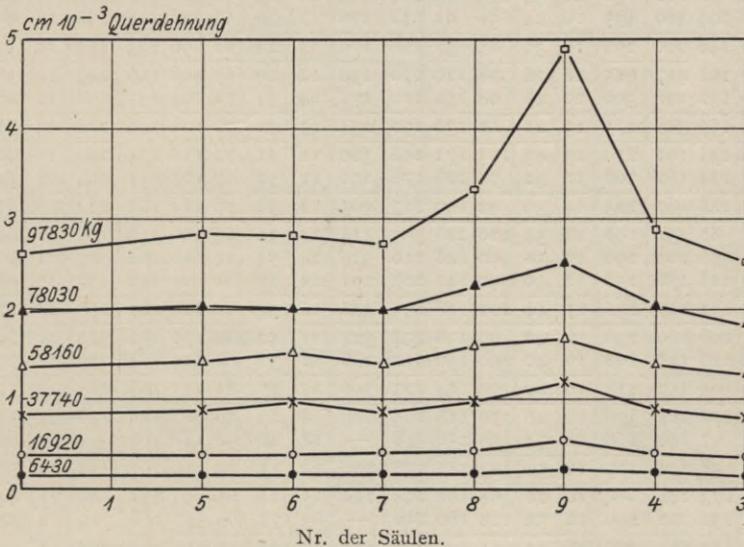


Abb. 13. Querdehnungen bei gleichen Belastungen.



Für die achteckigen Säulen 13 liegen keine einwandfreien Beobachtungswerte vor, um sie mit den Säulen 12 im Vergleich stellen zu können.

**b) Querdehnungen der Säulen bei den verschiedenen Bewehrungen unter den gleichen Belastungen.**

Die Werte für die Querdehnungen, und zwar die Mittel aus den Beobachtungen bei den drei letzten Lastwechseln zwischen Null und den einzelnen Laststufen, sind in Tabelle 8 (s. S. 42) zusammengestellt. Sie erscheinen hier zunächst getrennt für die vier Meßstellen 50, 100, 110 und 150 cm von der Druckfläche der Säule entfernt gelegen.

Wie schon oben erwähnt ist, ist es nicht möglich, aus den Beobachtungen auf Unterschiede in den Querdehnungen, gemessen auf den Querbewehrungen

Tabelle 8.

Beobachtungswerte für die Querdehnungen der Säulen in 4 Querschnitten, gemessen auf der Diagonalen für die Lastwechsel 8–10.

Säule Nr.		Beobachtungen in cm $10^{-5}$ bei den übergeschriebenen Belastungen in t und in folgenden Abständen von der Druckfläche																							
		50 cm						110 cm						150 cm						100 cm					
		6,43	16,92	37,75	58,16	78,03	97,83	6,43	16,92	37,75	58,16	78,03	97,83	6,43	16,92	37,75	58,16	78,03	97,83	6,43	16,92	37,75	58,16	78,03	97,83
0	I b	16	40	88	142	208	—	14	36	76	119	164	—	18	50	104	166	228	—	15	42	87	135	180	—
	6 b	16	40	84	136	208	292	8	24	58	98	146	202	11	24	58	110	145	200	3	42	93	138	204	273
	12 b	20	50	116	198	298	—	7	18	42	72	113	160	24	60	138	231	333	486	12	26	64	100	142	198
	Mittel	17	43	96	159	238	[292]	10	26	59	96	141	181	18	45	100	169	230	343	10	37	81	124	175	157
1 c	I	12	29	58	90	138	199	18	36	84	126	180	249	16	32	66	102	148	206	16	32	58	84	118	164
	III	11	25	58	90	126	168	14	34	78	128	180	222	27	60	129	207	285	369	16	42	96	150	216	282
	Mittel	12	27	58	90	132	184	16	35	81	127	180	236	22	46	98	155	217	288	16	37	77	117	167	223
2	I	—	24	48	71	102	138	—	28	60	94	126	164	—	30	66	111	147	192	—	28	62	98	138	180
	III	11	26	56	94	139	—	14	30	66	102	144	—	12	28	60	94	132	—	27	63	144	225	324	—
	Mittel	11	25	52	83	121	138	14	29	63	98	135	164	12	29	63	103	140	192	27	46	103	162	231	[180]
2 a	I	14	30	62	110	178	270	18	42	96	153	213	285	16	36	74	122	180	244	10	24	55	88	125	166
	II	13	30	68	114	180	269	24	54	129	201	273	396	12	28	66	116	192	286	14	30	66	110	158	228
	Mittel	14	30	65	112	179	270	21	48	113	177	243	341	14	32	70	119	186	265	12	27	61	99	142	197
2 c	I	10	26	68	108	158	244	14	36	82	146	230	326	15	33	78	123	180	252	10	25	60	101	144	198
	II	14	30	70	118	198	360	12	30	84	138	219	348	11	25	61	98	142	198	14	32	80	128	190	278
	Mittel	12	28	69	113	178	302	13	33	83	142	225	337	13	29	70	111	161	225	12	29	70	115	167	238
3	I	10	22	44	76	112	156	21	54	114	183	264	363	10	25	56	86	122	167	14	32	70	116	166	238
	II	24	54	126	204	300	435	10	24	56	91	132	176	12	30	68	106	148	198	16	46	104	160	212	276
	Mittel	17	38	80	140	206	296	16	39	85	137	198	270	11	28	62	96	135	183	15	39	87	138	189	257
4	I	30	72	156	261	417	645	18	36	78	120	170	230	12	29	67	108	150	203	14	36	80	134	192	256
	II	21	36	90	132	198	300	20	46	98	152	210	278	14	34	72	104	145	198	12	26	60	100	144	196
	Mittel	26	55	123	197	308	473	19	41	88	136	190	254	13	32	70	106	148	201	13	31	70	117	168	226
5	I	12	34	80	131	192	270	15	45	105	171	258	360	12	32	72	118	174	240	16	40	96	154	214	290
	III	14	34	76	124	182	260	12	32	78	126	176	250	12	32	67	107	151	204	24	54	135	213	300	405
	Mittel	13	34	78	128	187	265	14	39	92	149	217	305	12	32	70	113	163	222	20	47	116	184	257	348
6	I	12	22	47	82	132	196	24	54	126	216	309	414	14	32	64	100	136	188	32	84	198	382	—	—
	II	16	38	84	136	202	290	16	38	90	148	220	310	24	54	114	186	282	387	11	30	71	116	170	230
	III	10	26	70	118	176	258	12	39	90	141	207	291	11	26	61	100	142	192	10	28	70	110	160	224
	Mittel	13	29	67	112	137	248	17	44	102	168	245	338	16	37	80	129	187	256	18	47	113	203	165	227
7	II	12	28	64	100	160	230	16	40	96	158	234	324	21	42	102	171	252	342	12	29	67	109	154	206
	III	14	34	74	110	144	198	16	40	90	150	212	288	12	31	68	114	164	226	24	75	123	195	270	360
	Mittel	13	31	69	105	152	214	16	40	93	154	223	306	17	37	85	143	208	284	18	52	95	152	212	283
8	I	18	44	106	178	264	376	10	26	70	118	164	206	8	23	50	82	116	158	21	51	114	189	270	363
	II	11	24	59	97	140	198	22	74	156	250	348	—	18	42	98	148	206	—	24	60	141	222	312	399
	Mittel	15	34	83	138	202	287	16	50	113	184	256	206	13	33	74	115	161	[158]	23	56	128	206	291	381
9	I	14	34	80	173	246	—	10	28	64	104	154	220	15	24	66	93	132	189	18	44	112	182	266	340
	II	18	36	84	132	202	299	22	54	118	180	256	—	63	177	366	357	576	789	4	34	76	118	178	—
	Mittel	16	35	82	153	224	299	16	41	91	142	205	220	39	101	216	225	354	489	11	39	94	150	222	340
10	I	13	34	78	131	193	276	18	40	90	142	196	258	24	51	102	171	258	345	16	42	90	144	188	242
	II	8	24	62	102	149	203	14	42	100	170	244	348	48	132	339	597	525	717	10	32	72	116	176	234
	Mittel	11	29	70	117	171	240	16	41	95	156	220	303	36	92	221	384	392	531	13	37	81	130	182	238
11	I	9	51	159	285	423	597	16	46	114	178	168	262	7	17	46	77	116	167	8	32	86	146	218	292
	III	12	32	82	144	224	—	8	24	56	98	140	192	24	39	87	141	198	270	14	36	82	136	180	254
	Mittel	11	42	121	215	324	597	12	35	85	138	154	227	16	28	67	109	157	219	11	34	84	141	199	273
12	I	14	28	86	114	158	208	8	23	54	85	118	151	16	28	70	116	160	216	18	32	99	156	225	297
	III	8	22	52	84	121	164	14	28	72	116	166	220	6	12	30	56	78	88	24	60	132	216	306	402
	Mittel	11	25	69	99	140	186	11	26	63	101	142	186	11	20	50	86	119	152	21	46	116	186	266	350
12 a	I	10	25	59	96	140	188	15	39	90	132	189	249	6	20	44	80	116	156	10	26	70	106	150	202
	III	8	24	60	98	142	200	12	30	72	114	160	214	6	16	40	67	102	139	21	51	111	177	249	336
	Mittel	9	25	60	97	141	194	14	35	81	123	175	232	6	18	42	74	109	148	16	39	91	142	200	269
12 c	I	30	75	180	303	471	—	14	32	74	118	158	—	14	40	88	152	232	—	8	26	64	108	154	—
	II	12	26	70	116	186	294	10	28	62	100	150	208	18	44	98	170	242	332	30	81	198	330	477	657
	Mittel	21	51	125	210	329	294	12	30	68	109	154	208	16	42	93	161	237	332	19	54	131	219	316	657
13	II	12	30	68	110	172	264	14	36	90	142	202	278	21	57	138	225	324	447	10	23	54	88	128	175
	III	10	24	60	100	158	230	8	23	54	89	132	181	18	39	99	171	243	342	14	34	80	130	194	272
	Mittel	11	27	64	105	165	247	11	30	72	116	167	230	20	48	119	198	284	395	12	29	67	109	161	224

und gemessen in der Mitte zwischen letzteren, zu schließen, weil die Bügel sich beim Stampfen verschoben hatten. Aus diesem Grunde sind denn auch, wie ebenfalls bereits hervorgehoben ist, die 4 Messungsreihen als gleichwertig erachtet und für die verschiedenen Laststufen zu Mittelwerten zusammengefaßt (s. Tabelle 9, S. 44).

Für die Säulen 1 und 1a fehlen die Beobachtungen. Es waren dies die zuerst geprüften Säulen. An ihnen wurden die Apparate ausgeprobt, und zwar waren hierbei die Stifte *K* (Abb. 4) nicht in den Beton eingepreßt, sondern die Schrauben *F* reichten bis auf den Grund der beim Einstampfen der Säulen aus-

Abb. 14. Querdehnungen bei gleichen Belastungen.

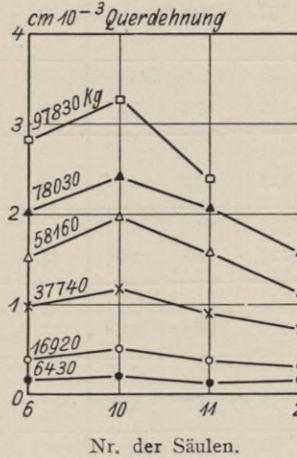
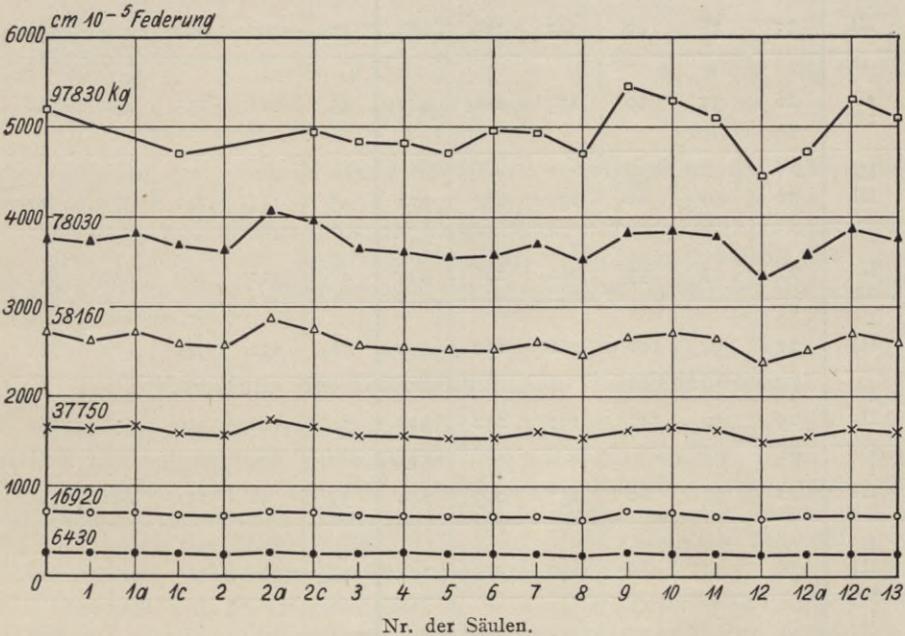


Abb. 15. Federungen bei gleichen Belastungen.



gesparten Löcher. Die Apparate lieferten hierbei keine zuverlässigen Werte und wurden daher zu den weiteren Versuchen zunächst in den oben beschriebenen Zustand gebracht.

In Abb. 12—14 sind nun die mittleren Querdehnungen in gleicher Weise zu Schaulinien aufgetragen wie die Verkürzungen in Abb. 6—11.

Tabelle 9.

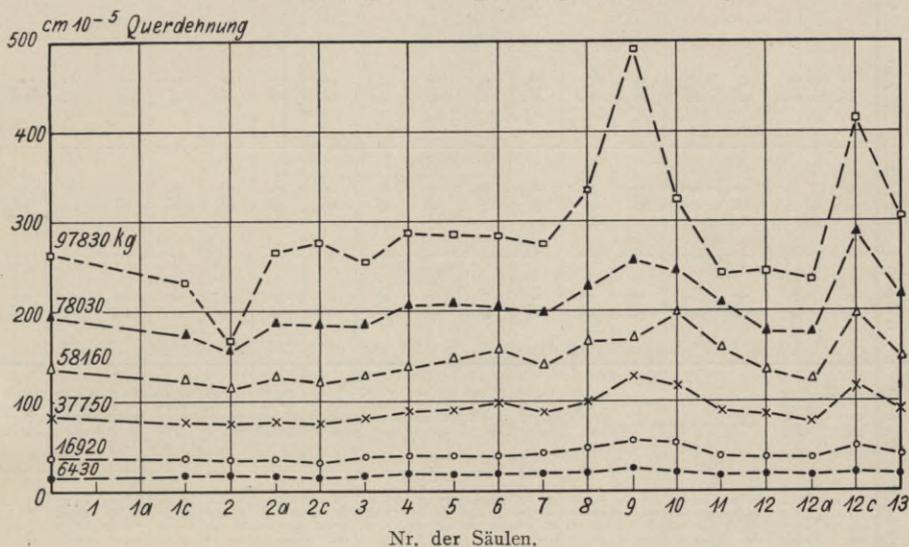
### Mittlere Querdehnungen der verschiedenartig bewehrten Säulen beim Druckversuch.

Säule Nr.		Mittelwerte aus den Beobachtungen an den vier 50, 100, 110 und 150 cm von der Druckfläche entfernten Meßstellen bei den überschriebenen Belastungen in kg für die Lastwechsel 8—10											
		a) Beobachtungswerte in cm 10 <sup>-5</sup>						b) Beobachtungswerte in ‰ 10 <sup>-5</sup> bezogen auf 35,5 cm Meßlänge					
		6430	16920	37750	58160	78030	97830	6430	16920	37750	58160	78030	97830
0	Ib 6b 12b	14	38	84	137	198	263	39	106	237	387	557	741
1c	I III	16	36	78	122	174	233	46	102	221	345	491	656
2	I III	16	32	71	111	157	(169)	45	91	199	314	442	(475)
2a	I II	15	34	77	127	188	268	43	97	218	358	529	756
2c	I II	12	30	73	120	183	276	35	84	206	339	515	777
3	I II	15	36	80	128	182	252	41	101	225	361	513	709
4	I II	18	39	88	139	203	287	50	111	248	392	573	813
5	I III	15	38	89	143	206	285	42	107	251	404	581	802
6	I II III	16	39	99	153	201	281	45	111	255	432	566	791
7	II III	16	40	86	139	199	272	45	113	242	391	561	767
8	I II	17	43	99	161	228	334	47	121	280	453	642	942
9	I II	21	54	121	168	252	490	58	152	341	472	709	1379
10	I II	19	50	117	197	242	328	54	140	329	555	681	925
11	I III	12	37	89	157	209	240	35	98	251	441	588	675
12	I III	15	32	82	130	175	241	43	91	231	367	493	679
12a	I III	12	32	75	120	173	233	34	90	212	339	486	655
12c	I II	19	49	115	194	286	411	53	138	324	546	805	1159
13	II III	15	37	89	146	214	302	42	103	250	410	604	852

Der Vergleich der zusammengehörigen Schaulinien, d. h. von Abb. 6 und 7 mit Abb. 12, ferner von Abb. 8 und 9 mit Abb. 13, sowie von Abb. 10 und 11 mit Abb. 14 ergibt eine außerordentlich befriedigende, nahezu vollständige Uebereinstimmung für die Einordnung der Säulen nach wachsender Verkürzung oder nach wachsender Querdehnung. Diese Uebereinstimmung durfte erwartet werden, da Längenabnahme und Querdehnung in bestimmter Beziehung zueinander stehen; daß sie tatsächlich sich ergab, verdient aber insofern hervorgehoben zu werden, als sie beweist, daß auch die neuen Querdehnungsmesser zuverlässig gearbeitet haben.

Eine besondere Besprechung der Ergebnisse aus den Querdehnungsmessungen ist unter diesen Umständen aber nicht erforderlich, vielmehr gilt für sie im wesent-

Abb. 16. Mittlere Querdehnungen bei gleichen Belastungen.



lichen dasselbe, was oben an Hand der Messungsergebnisse für die Verkürzungen gesagt ist.

Zu demselben Schluß führt der Vergleich der Schaulinien Abb. 15 und 16, die nach Tabelle 5 die Federungen (mittleren Längenänderungen) und nach Tabelle 9 die mittleren Querdehnungen der verschiedenen Säulen bei den einzelnen Laststufen darstellen.

### c) Verhältnis der Querdehnung zur Längenänderung.

Das Verhältnis der Querdehnung  $\epsilon_q$  zur Längenänderung  $\epsilon_l$ ,  $m = \epsilon_l/\epsilon_q$  läßt sich aus den vorliegenden Versuchsreihen nur annähernd ermitteln, da die Meßlänge, für welche die beobachteten Querdehnungen (Tabelle 9) gelten, nicht scharf begrenzt ist. Am nächsten dürfte man der Wirklichkeit kommen, wenn man die Meßlänge gleich der Länge  $l$  (Abb. 17), d. h. gleich Länge der Diagonalen von Außenkante bis Außenkante der Querbewehrung, annimmt.

Hiernach sind die Werte Tabelle 9 (s. S. 44) in Prozentwerte umgerechnet, in Tabelle 10 (s. S. 46) den gleichzeitig beobachteten prozentuellen Verkürzungen der Säulenlängen gegenübergestellt, und dann sind aus beiden die Verhältniszahlen  $m$  berechnet. Sowohl die Werte für die einzelnen Säulen als auch das Gesamtittel für alle Säulen lassen erkennen, daß die Zahl  $m$  für die erste Laststufe von 0—6430 kg geringer ist als für die höheren

Tabelle 10. Annäherungswerte für die Beziehungen zwischen Verkürzung und Querdehnung.

Stäbe Nr.	Werte für	Verkürzungen $\epsilon_l$ und Querdehnungen $\epsilon_q$ bei den folgenden Belastungen in kg					Verhältniszahlen $m = \epsilon_l/\epsilon_q$ bei den folgenden Belastungen in kg					Mittel		
		6 430	16 920	37 750	58 160	78 030	97 830	6 430	16 920	37 750	58 160		78 030	97 830
0	$\epsilon_l$	266	716	1 670	2 720	3 879	5 211	6,8	6,8	7,1	7,0	7,0	7,1	7,0
	$\epsilon_q$	39	106	237	387	557	741							
1c	$\epsilon_l$	256	684	1 597	2 589	3 699	4 710	5,6	6,7	7,2	7,5	7,5	7,2	7,0
	$\epsilon_q$	46	221	345	491	626	626							
2	$\epsilon_l$	243	678	1 589	2 580	3 572	—	5,4	7,4	8,0	8,2	8,1	—	7,9
	$\epsilon_q$	45	91	199	314	442	—							
2a	$\epsilon_l$	262	726	1 741	2 801	4 091	—	6,1	7,5	8,0	8,0	7,8	—	7,6
	$\epsilon_q$	43	97	218	358	529	—							
2c	$\epsilon_l$	252	701	1 677	2 757	3 975	—	7,3	8,4	8,2	8,2	7,7	—	8,0
	$\epsilon_q$	35	84	206	339	515	—							
3	$\epsilon_l$	240	670	1 573	2 568	3 647	4 870	5,9	6,7	7,0	7,1	7,1	6,9	6,8
	$\epsilon_q$	41	101	225	361	513	709							
4	$\epsilon_l$	250	677	1 564	2 543	3 618	4 837	5,1	6,1	6,3	6,5	6,3	6,0	6,0
	$\epsilon_q$	50	111	248	392	573	813							
5	$\epsilon_l$	248	672	1 551	2 509	3 563	4 738	6,0	6,3	6,2	6,2	6,2	5,9	6,2
	$\epsilon_q$	42	107	251	404	581	802							
6	$\epsilon_l$	243	659	1 539	2 517	3 600	4 999	5,5	5,9	6,1	5,9	6,4	6,3	6,0
	$\epsilon_q$	45	111	255	432	566	791							
7	$\epsilon_l$	250	681	1 604	2 606	3 709	4 959	5,6	6,1	6,6	6,7	5,6	6,5	6,2
	$\epsilon_q$	45	113	242	391	561	767							
8	$\epsilon_l$	240	661	1 543	2 489	3 529	4 720	5,1	5,5	5,5	5,5	5,5	5,0	5,4
	$\epsilon_q$	47	121	280	433	642	942							
9	$\epsilon_l$	265	709	1 651	2 670	3 823	5 049	4,6	4,7	4,9	5,7	5,4	3,7	4,8
	$\epsilon_q$	58	152	341	472	709	1 379							
10-	$\epsilon_l$	262	707	1 665	2 710	3 894	5 325	4,8	5,1	5,1	4,9	5,7	5,8	5,3
	$\epsilon_q$	54	140	329	555	681	925							
11	$\epsilon_l$	259	695	1 635	2 655	3 799	5 154	7,5	7,2	6,5	6,0	6,5	7,7	6,9
	$\epsilon_q$	35	98	251	441	588	675							
12	$\epsilon_l$	234	643	1 495	2 390	3 342	4 479	5,4	7,1	6,5	6,5	6,8	6,6	6,5
	$\epsilon_q$	43	91	231	367	493	679							
12a	$\epsilon_l$	253	684	1 582	2 542	3 593	4 738	7,5	7,6	7,5	7,5	7,4	7,2	7,5
	$\epsilon_q$	34	90	212	339	486	655							
12c	$\epsilon_l$	253	698	1 660	2 705	3 891	5 349	4,8	5,1	5,1	5,0	4,8	4,6	4,9
	$\epsilon_q$	53	138	324	546	805	1 159							
13	$\epsilon_l$	247	687	1 615	2 627	3 797	5 144	5,9	6,7	6,5	6,4	6,3	6,0	6,3
	$\epsilon_q$	42	103	250	410	604	852							
							Mittel	5,8	6,5	6,6	6,6	6,5	6,0	—

Laststufen und für die letzteren als gleichbleibend angenommen werden kann.

Trägt man die Mittel aus den Werten für alle 6 Laststufen und die verschiedenartigen Säulen zeichnerisch auf, so erhält man die Schaulinie Abb. 18.

**d) Festigkeit der verschiedenartig bewehrten Säulen.**

Die beobachteten Belastungen bei Wahrnehmung des ersten Risses und beim Bruch (höchste getragene Belastung) sind in Tabelle 11 (s. S. 48 u. 49) zusammengestellt. Hierbei ist zugleich angegeben, unter welchen Witterungsverhältnissen die

Abb. 17.

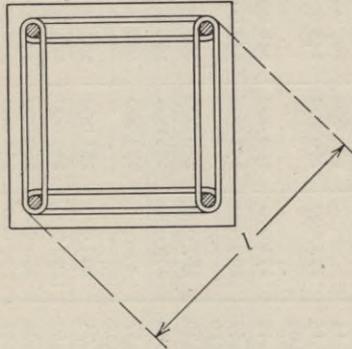
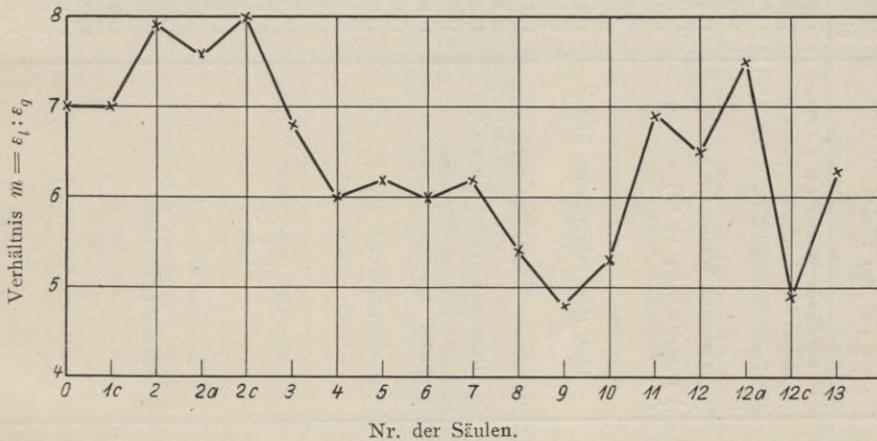


Abb. 18. Annäherungswerte für das Verhältnis zwischen Verkürzung und Querdehnung ( $m = \epsilon_l / \epsilon_q$ ) bei den verschiedenen Säulen.



Proben im Freien eingestampft sind. Ferner enthält Tabelle 11 die Elastizitätsmodule, berechnet aus den Federungen Tabelle 5 und dem Gesamtquerschnitt der Säulen.

In Abb. 19 sind die Mittelwerte (Tabelle 12, s. S. 50) für die Belastungen beim Beginn der Ribbildung und beim Bruch zu Schaulinien aufgetragen, und zwar bedeutet die gestrichelte Linie die Belastungen beim ersten Rib und die vollausgezogene Linie die Bruchlasten. Zu den letzteren sind durch Zeichen auch die Einzelwerte angedeutet. Aus ihrer Lage zueinander ersieht man, daß die Ergebnisse der Parallelversuche für dieselbe Bewehrungsart bei einzelnen derselben ganz erheblich voneinander abweichen. Zu beachten ist hierbei, daß die bei feuchtem, regne-

Tabelle 11.

Druckfestigkeit der einzelnen Säulen.

48

Versuchsergebnisse.

Säule Nr.	Art der Querbewehrung	Witterung bei Anfertigung der Säulen	Belastung in t bei		Druck-Elastizitätsmodul für die übegeschriebenen Belastungen in t					
			Rißbildung	Bruch	6,43	16,92	37,75	58,16	78,03	97,83
0	Keine Bewehrung	trockenes Wetter (+ 2 C°) klarer Sonnenschein (+ 2 C°) trübe, kurze Regenschauer (+ 7 C°)	I	137,71	249 000	250 000	243 000	229 000	215 000	—
			II	148,04	284 000	276 000	262 000	249 000	236 000	223 000
			III	136,04	273 000	262 000	246 000	232 000	216 000	194 000
Mittel			140,60	269 000	263 000	250 000	237 000	222 000	[209 000]	
1	4 Umfangsbügel in Schleifenform	trockenes Wetter (+ 11 C°) regnerisch (+ 10 C°)	I	125,88	—	279 000	267 000	260 000	248 000	243 000
			II	140,19	—	—	249 000	237 000	224 000	209 000
			III	134,82	268 000	265 000	254 000	244 000	232 000	225 000
Mittel			133,63	[268 000]	[272 000]	257 000	247 000	235 000	226 000	
1a	Querbewehrung wie 1. Keine Längsbewehrung	klar, aber sehr feuchte Luft	I	107,15	—	219 000	207 000	—	—	—
			II	158,15	272 000	260 000	248 000	237 000	226 000	—
			III	128,74	—	—	—	—	—	—
Mittel			131,35	272 000	260 000	248 000	237 000	226 000	—	
1c	Querbewehrung wie 1. Längsbewehrung von 20 zu 20 cm durchschnitten	trockenes Wetter (+ 2 C°)	I	162,47	269 000	271 000	257 000	243 000	226 000	217 000
			II	144,10	—	—	—	—	—	—
			III	182,00	287 000	280 000	267 000	256 000	241 000	228 000
Mittel			162,86	278 000	276 000	262 000	250 000	234 000	223 000	
2	Einfacher Umfangsbügel	trockenes Wetter (∞ + 4 C°)	I	158,34	—	273 000	—	—	—	—
			II	150,19	—	—	—	—	—	—
			III	151,75	293 000	281 000	265 000	253 000	241 000	—
Mittel			153,43	[293 000]	277 000	264 000	250 000	237 000	[225 000]	
2a	Querbewehrung wie 2. Keine Längsbewehrung	feuchtes und regnerisches Wetter (+ 5 C°)	I	141,71	270 000	260 000	243 000	230 000	217 000	209 000
			II	127,31	274 000	258 000	238 000	222 000	204 000	195 000
			III	132,94	—	—	—	—	—	—
Mittel			133,99	272 000	259 000	241 000	226 000	211 000	202 000	
2c	Querbewehrung wie 2. Längsbewehrung von 20 zu 20 cm durchschnitten	feuchtes Wetter (+ 6 C°) anfangs feuchtes, dann trockenes Wetter (+ 6 C°)	I	122,66	291 000	276 000	260 000	245 000	232 000	218 000
			II	117,23	273 000	258 000	240 000	223 000	205 000	187 000
			III	148,40	—	—	—	—	—	—
Mittel			129,43	282 000	267 000	250 000	234 000	219 000	203 000	
3	4 Umfangsbügel in S-Form	trockenes Wetter (+ 3 C°)	I	156,51	288 000	274 000	261 000	247 000	233 000	218 000
			II	142,06	309 000	286 000	271 000	256 000	241 000	227 000
			III	175,80	—	—	—	—	—	—
Mittel			158,12	299 000	280 000	266 000	252 000	237 000	223 000	
4	4 Umfangsbügel in C-Form	+ 3 C° (- 1 C°) trockenes Wetter	I	134,26	296 000	285 000	271 000	256 000	242 000	228 000
			II	150,19	269 000	270 000	265 000	251 000	236 000	220 000
			III	160,82	—	—	—	—	—	—
Mittel			148,42	283 000	278 000	268 000	254 000	239 000	224 000	

Säule Nr.	Art der Querbewehrung	Witterung bei Anfertigung der Säulen	Belastung in t bei		Druck-Elastizitätsmodul für die übegeschriebenen Belastungen in t					
			Rißbildung	Bruch	6,43	16,92	37,75	58,16	78,03	97,83
5	2 Diagonalbügel in Schleifenform	klarer Sonnenschein (+ 3 C°) teils klar, teils Regen (+ 10 C°)	I	139,54	293 000	237 000	274 000	261 000	245 000	228 000
			II	120,17	—	—	—	—	—	—
			III	133,35	279 000	273 000	265 000	254 000	241 000	228 000
Mittel			131,02	286 000	280 000	270 000	258 000	243 000	228 000	
6	4 Umfangsbügel und 2 Diagonalbügel in Schleifenform	teils klar, teils Regen klarer Sonnenschein (+ 9 C°)	I	114,65	290 000	289 000	276 000	259 000	248 000	239 000
			II	138,06	292 000	278 000	261 000	247 000	228 000	211 000
			III	105,17	297 000	287 000	274 000	259 000	244 000	223 000
Mittel			119,29	293 000	285 000	270 000	255 000	240 000	224 000	
7	Einfacher Umfangsbügel und 2 Diagonalbügel in S-Form	klarer Sonnenschein (+ 9 C°) teils klar, teils Regen (+ 2 C°)	I	114,19	—	—	—	—	—	—
			II	150,19	287 000	274 000	261 000	248 000	234 000	219 000
			III	110,08	281 000	274 000	261 000	246 000	233 000	216 000
Mittel			124,82	284 000	274 000	261 000	247 000	234 000	218 000	
8	4 Umfangsbügel und 2 Diagonalbügel in S-Form	fraglich	I	116,88	300 000	290 000	278 000	266 000	251 000	238 000
			II	150,51	291 000	275 000	265 000	254 000	240 000	222 000
			III	110,08	—	—	—	—	—	—
Mittel			125,82	296 000	283 000	272 000	260 000	246 000	230 000	
9	4 Umfangsbügel in C-Form und 2 Diagonalbügel in S-Form	feiner Regen (+ 2 C°)	I	106,13	280 000	271 000	260 000	248 000	229 000	214 000
			II	145,97	260 000	260 000	247 000	234 000	221 000	211 000
			III	100,76	—	—	—	—	—	—
Mittel			117,62	270 000	266 000	254 000	241 000	225 000	213 000	
10	Abwechselnd 4 Umfangsbügel mit 2 Diagonalbügeln, beide in Schleifenform	trübe, ohne Regen (+ 7 C°) trübe, kurze Regenschauer (+ 7 C°)	I	104,20	279 000	270 000	257 000	244 000	227 000	210 000
			II	104,66	271 000	260 000	245 000	232 000	215 000	196 000
			III	101,42	—	—	—	—	—	—
Mittel			103,43	275 000	265 000	251 000	238 000	221 000	203 000	
11	Abwechselnd einfacher Umfangsbügel mit 2 Diagonalbügeln, letztere in S-Form.	trübe, kurze Regenschauer (+ 7 C°) Regen und Schnee (+ 1 C°)	I	97,81	266 000	270 000	258 000	244 000	229 000	213 000
			II	122,05	—	—	—	—	—	—
			III	100,31	284 000	266 000	255 000	242 000	226 000	206 000
Mittel			106,72	275 000	268 000	257 000	243 000	228 000	210 000	
12	Kreistromförmiger Bügel	trockenes Wetter (+ 5 C°)	I	161,04	309 000	298 000	286 000	278 000	266 000	256 000
			II	151,75	—	—	—	—	—	—
			III	160,00	301 000	287 000	274 000	262 000	252 000	242 000
Mittel			157,60	305 000	293 000	280 000	270 000	259 000	249 000	
12a	Querbewehrung wie 12. Keine Längsbewehrung	klarer Sonnenschein (+ 3 C°)	I	155,88	279 000	275 000	268 000	258 000	245 000	228 000
			II	155,65	—	—	—	—	—	—
			III	156,28	281 000	274 000	261 000	249 000	236 000	225 000
Mittel			155,94	280 000	275 000	265 000	254 000	241 000	227 000	
12c	Querbewehrung wie 12. Längsbewehrung von 20 zu 20 cm durchschnitten	trübe, kurze Regenschauer (+ 4 C°) trübe ohne Regen (+ 2 C°)	I	116,12	291 000	275 000	258 000	244 000	227 000	209 000
			II	121,75	272 000	263 000	247 000	232 000	216 000	196 000
			III	101,52	—	—	—	—	—	—
Mittel			113,13	282 000	269 000	253 000	238 000	222 000	203 000	
13	2 kreisringförmige Bügel aus 3/4 Kreisbogen mit gegen-sätziger 1/4 Ueberdeckung	Regen und Schnee trübe ohne Regen (+ 1 C°)	I	86,93	—	—	—	—	—	—
			II	142,67	281 000	266 000	252 000	239 000	220 000	203 000
			III	147,43	287 000	277 000	265 000	251 000	235 000	218 000
Mittel			125,68	284 000	272 000	259 000	245 000	228 000	211 000	

Versuchsergebnisse.

49

Tabelle 12.

## Einfluß der Bewehrung auf die Festigkeitseigenschaften der Säulen.

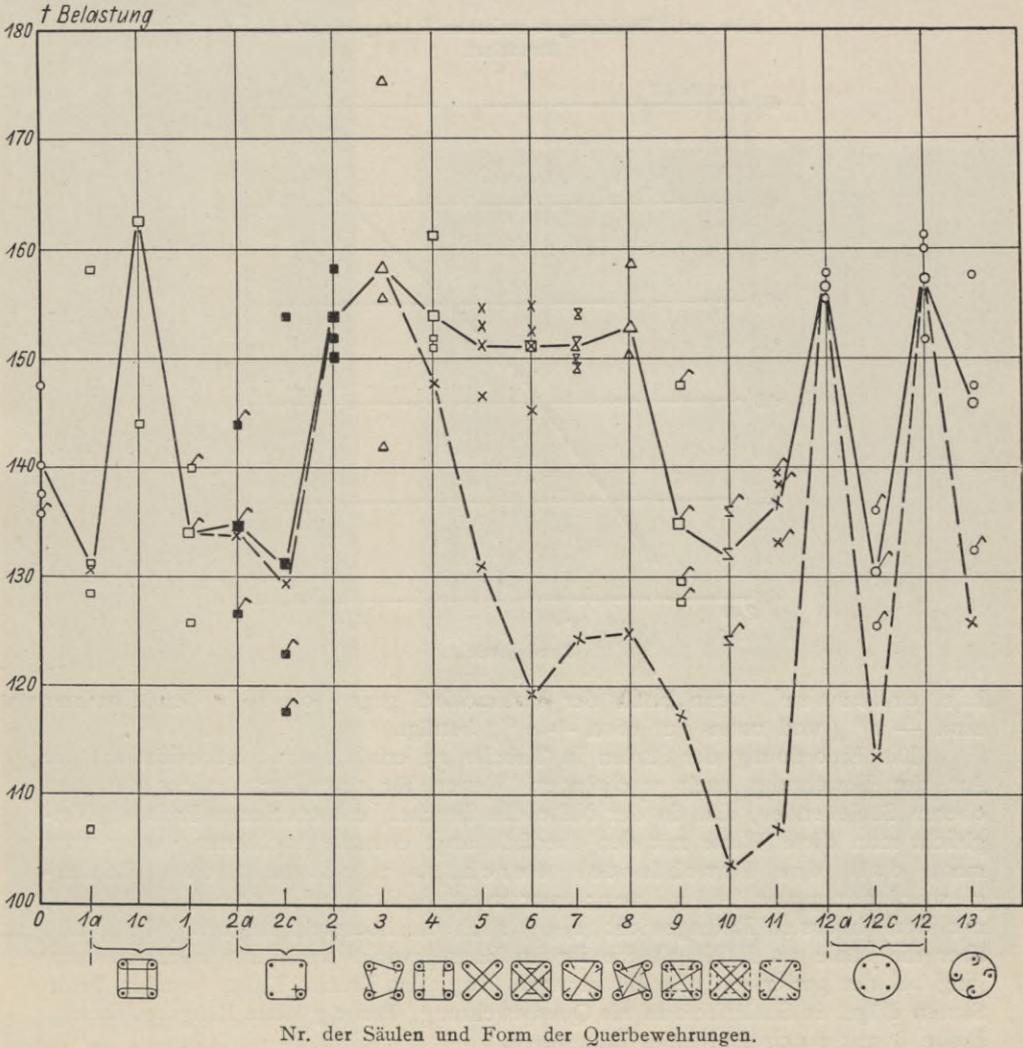
Mittelwerte aus Tabelle 11 und Verhältniszahlen, bezogen auf die Werte für die Säulen ohne Bewehrung.

Einfluß		Reihe	Art der Querbewehrung	Beobachtungswerte			Verhältniszahlen		
				Belastung bei		$E = \text{Modul}$ bei 37,75 t	Riß- bildung	Bruch	$E$
				Riß- bildung	Bruch				
		0	Säulen ohne Bewehrung	140,60	140,60	250 000	100	100	100
I. der Um- fangsbügel	a) Längsbewehrung durchgehend	1	4 Umfangsbügel in Schleifenform	133,63	133,63	257 000	95	95	103
		2	Einfacher Umfangsbügel	153,43	153,50	264 000	105	109	106
		3	4 Umfangsbügel in S-Form	158,12	158,12	266 000	112	112	106
		4	4 Umfangsbügel in C-Form	148,42	154,11	268 000	106	110	107
	b) ohne Längs- bewehrung	1a	4 Umfangsbügel in Schleifenform	131,35	131,45	248 000	93	93	99
		2a	Einfacher Umfangsbügel	133,99	135,39	241 000	95	96	96
	c) Längsbewehrung durchschnitt	1c	4 Umfangsbügel in Schleifenform	162,86	162,92	262 000	116	116	105
		2c	Einfacher Umfangsbügel	129,43	131,65	250 000	92	94	100
II. der Diagonalbügel	Längsbewehrung durchgehend	5	2 Diagonalebügel in Schleifenform	131,02	151,60	270 000	93	108	108
III. der Umfangs- und Diagonal- bügel		6	4 Bügel im Umfang und 2 in den Diagonalen in Schleifenform	119,29	150,92	270 000	85	107	108
		7	Einfacher Umfangsbügel und 2 Diagonalebügel in S-Form	124,82	151,21	261 000	89	108	105
		8	4 Umfangs- und 2 Diagonal- bügel in S-Form	125,82	152,98	272 000	89	109	109
		9	4 Umfangsbügel in C-Form und 2 Diagonalebügel in S-Form	117,62	135,12	254 000	84	96	102
		10	4 Umfangsbügel abwechselnd mit 2 Diagonalebügel, beide in Schleifenform	103,43	132,21	251 000	74	94	101
IV. Wechselnd Umfangs- und Diagonalebügel		11	Einfacher Umfangsbügel, abwechselnd 2 Diagonal- bügel in S-Form	106,72	136,81	257 000	76	97	103
		12	Kreisringförmiger Bügel	157,60	157,60	280 000	112	112	112
8 eckige Säulen	Längsbewehrung, durchgehend	12	Kreisringförmiger Bügel	157,60	157,60	280 000	112	112	112
	Längsbewehrung, fehlt	12a	Kreisringförmiger Bügel	155,94	156,22	265 000	111	111	106
	Längsbewehrung, durchschnitt	12c	Kreisringförmiger Bügel	113,13	131,10	253 000	93	93	101
	Längsbewehrung, durchgehend	13	2 Kreisringförmige Bügel aus $\frac{3}{4}$ Kreisbogen mit gegen- seitiger $\frac{1}{4}$ Überdeckung	125,68	145,72	259 000	104	104	104

rischem Wetter gefertigten Säulen (die zugehörigen Beobachtungspunkte sind in Abb. 19 durch / gekennzeichnet) in allen Reihen geringere Bruchfestigkeiten zeigen, als die bei trockenem Wetter gefertigten Säulen mit derselben Bewehrung. Der hiernach anscheinend bestehende Einfluß der Luftfeuchtigkeit bei Anfertigung der Proben auf deren Festigkeit macht die Beurteilung der Wirkung der verschiedenen

Abb. 19. Bruchbelastungen bei den verschiedenartigen Bewehrungen.

Die Bewehrungsarten sind unter der Abszissenachse gekennzeichnet. Bei gleichartiger Querbewehrung ist die Längsbewehrung bei den Säulen a fortgelassen, bei den Säulen c von 20 zu 20 cm durchschnitten. Die mit / versehenen Beobachtungspunkte gelten für Säulen, die bei feuchtem Wetter angefertigt sind.



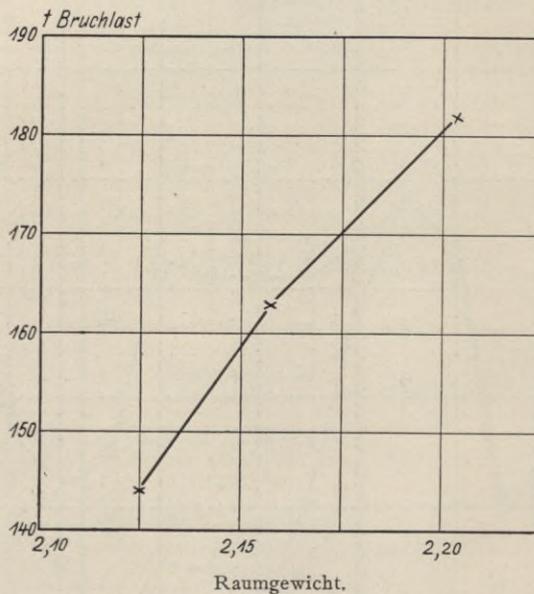
Bewehrungen auf die Festigkeit nach den vorliegenden Ergebnissen außerordentlich unsicher.

Ganz besonders ist noch hervorzuheben, daß alle Säulen an dem zuletzt eingestampften oberen Ende zu Bruch gingen,

gleichviel, ob dieses Ende beim Versuch in der Maschine oben oder unten lag. Es liegt nahe, diese Erscheinung darauf zurückzuführen, daß beim Einstampfen der Säulen stehend die Verdichtung des Betons nach oben hin abnimmt, wenn alle Schichten die gleiche Stampfzahl erhalten, indem dann beim Einstampfen der höher gelegenen Schichten die tieferen noch weiter mit verdichtet werden.

Tabelle 13 (s. S. 54) zeigt nun die Raumgewichte des Betons aus 8 Säulen, getrennt ermittelt an je drei Proben, die nach Prüfung der Säulen an deren oberen und unteren Enden und aus der Mitte (halbe Höhe) getrennt entnommen sind. Die Bestimmung erfolgte mit Hilfe des Wassersättigungsverfahrens<sup>1)</sup> an getrocknetem Material. Die Ergebnisse lassen mit einer Ausnahme (1a I) deutliche Zunahme des Raumgewichtes nach dem unteren Säulenende

Abb. 20. Beziehungen zwischen Raumgewicht und Bruchlast.



hin erkennen, wenn auch der Unterschied gegen oben in der Mitte nur etwa  $+ 1 \frac{0}{0}$  und unten nur etwa  $+ 2 \frac{0}{0}$  beträgt.

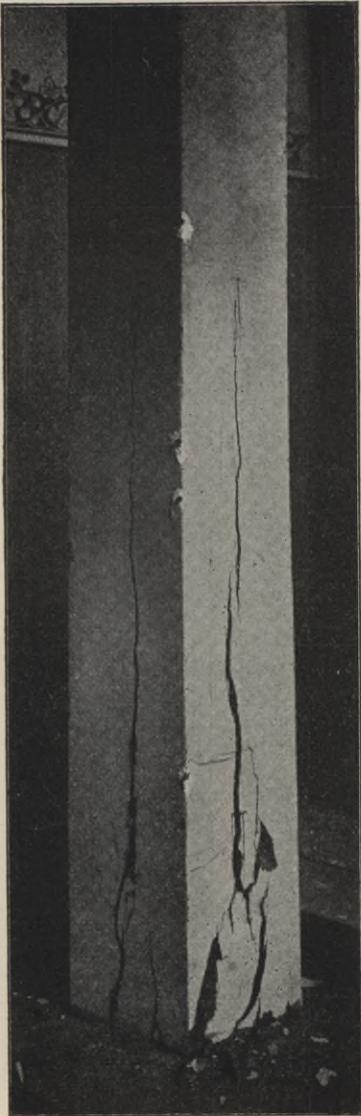
Die Einordnung der Säulen in Tabelle 13 erfolgte ohne Rücksicht auf die Art der Bewehrung nach wachsenden Werten für das Raumgewicht der den oberen Säulenenden, also in der Nähe des Bruches, entnommenen Proben. Vergleicht man diese Werte mit den ebenfalls angegebenen Bruchlasten, so erkennt man, daß die Bruchlasten durchaus nicht mit den Raumgewichten parallel gehen; zwar weist die Säule 1c III (Nr. 8 der Tabelle) mit dem höchsten Raumgewicht (2,203) auch die höchste Festigkeit (182 t) auf, aber die Säule 1a I (Nr. 7), die ihr im Raumgewicht (2,192) am nächsten steht, ging bei der geringsten aller Belastungen (107 t) zu Bruch. Dabei besaßen beide Säulen Bügel in Schleifenform als Querbewehrung, Probe 7 ohne Längsbewehrung, Probe 8 mit durchschnittlichen Längseisen.

1) Etwa faustgroße Stücke des Betons wurden getrocknet, gewogen, allmählich unter Wasser gebracht und nach scheinbarer Wassersättigung sowohl an der Luft als auch unter Wasser gewogen. Bezeichnen  $G_1$  das Gewicht der trockenen Probe und  $G_2$  bzw.  $G_3$  das Gewicht der wassersatten Probe an der Luft bzw. unter Wasser, so berechnet sich das Raumgewicht  $r$  zu

$$r = \frac{G_1}{G_2 - G_3}.$$

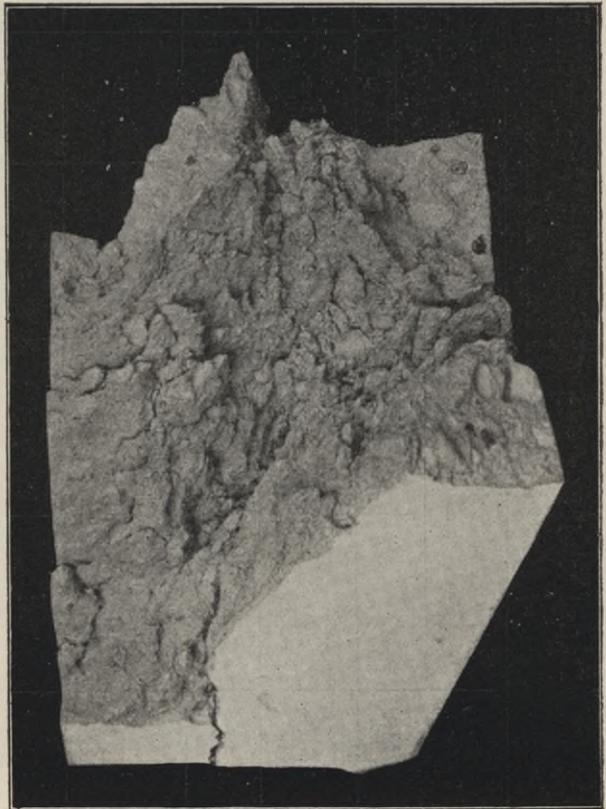
Vergleicht man aber ferner die Proben lfd. No. 1, 4, 8 Tabelle 13, so ergibt sich, daß bei diesen drei gleichartig bewehrten Säulen (Umfangsbügel in Schleifenform und durchgehende Längseisen) die Bruchlast mit wachsendem Raumgewicht des Betons zunimmt (s. Abb. 20).

Abb. 21.  
Säule 1b ohne Querbewehrung.



Bruchlast = 137 710 kg.  
Bruch gleichzeitig mit der ersten Ribbildung am Säulenfuß (bei Stampfen nach oben gelegenes Ende); Pyramide über Druckfläche sprengt Säule längs in vier Teile.

Abb. 22. Säule 1b ohne Bewehrung.



Durch Eindringen der Druckpyramide gesprengtes Säulenende.

Schließlich möge noch darauf hingewiesen sein, daß die Säule 0 1b ohne jede Bewehrung in Tabelle 13 an zweiter Stelle steht, was wohl darauf schließen

## Raumgewichte des Betons aus den geprüften Säulen.

(Ermittelt in der Abt. 2 für Baumaterialprüfung.)

Lfd. Nr.	Zeichen der Säule	Bruchbelastung $t$	Raumgewichte in g/ccm des Betons, entnommen aus der Säule			Verhältniszahlen für die Raumgewichte $r_o$ gleich 100 gesetzt		Art der Bewehrung
			oben $r_o$	Mitte $r_m$	unten $r_u$	$r_m$	$r_u$	
1	1 c II	144	2,124	2,163	2,180	102	103	Längsbewehrung durchschnitten, 4 Umfangsbügel in Schleifenform
2	0 1 b	138	2,127	2,185	2,178	103	102	ohne Bewehrung
3	10 II	124	2,129	2,196	2,180	103	102	volle Längsbewehrung, abwechselnd 4 Umfangsbügel mit 2 Diagonalbügel, beide in Schleifenform
4	1 c I	163	2,157	2,158	2,192	100	102	wie bei I
5	8 II	150	2,176	2,198	2,214	101	102	volle Längsbewehrung, 4 Umfangsbügel und 2 Diagonalbügel, beide in S-Form
6	5 III	153	2,186	2,206	2,216	101	101	volle Längsbewehrung, in den Diagonalen 2 Bügel in Schleifenform
7	1 a I	107	2,192	2,184	2,212	100	101	ohne Längsbewehrung, im Umfang 4 Bügel in Schleifenform
8	1 c III	182	2,203	2,211	2,208	100	100	wie bei I

Abb. 24.  
Säule 12b ohne Bewehrung (achteckig).

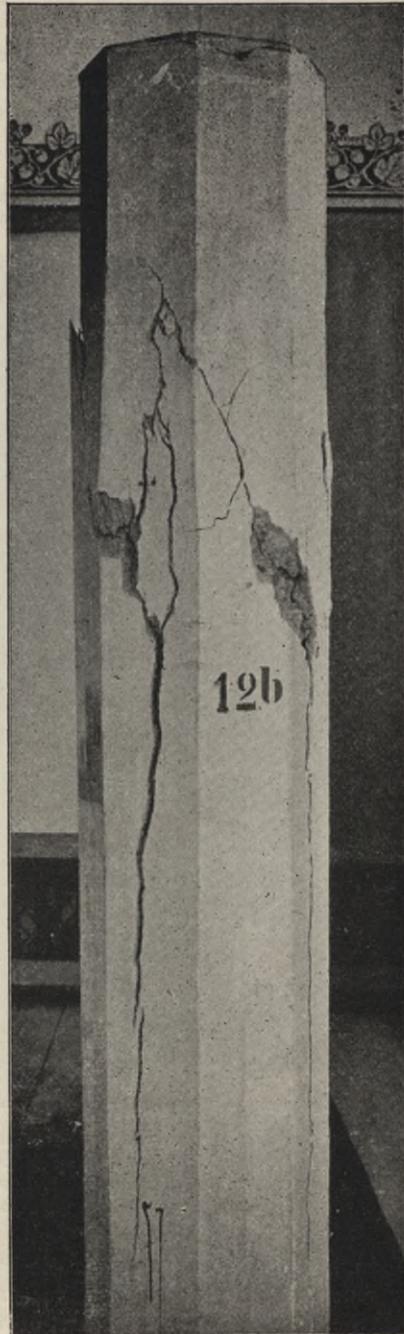
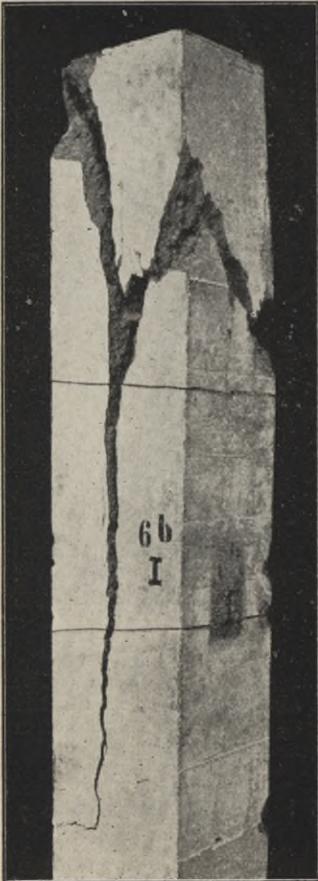


Abb. 23.  
Säule 6b ohne Bewehrung.



Bruchlast = 148 040 kg  
Bruch gleichzeitig mit der ersten  
Rißbildung am Säulenkopf; Pyra-  
mide über Druckfläche sprengt  
Säule. Längsriß auf der rechts  
gelegenen Fläche nur schwach aus-  
gebildet.

Bruchlast = 136 040 kg.  
Bruch gleichzeitig mit der ersten Rißbildung,  
etwa 0,5 m vom Säulenkopf entfernt. Drei-  
seitige Pyramide sprengt Säule; Längsrisse  
auf drei Flächen.

läßt, daß die Verdichtung des Betons beim Stampfen durch das Vorhandensein der Bewehrungen nicht beeinträchtigt wurde. Allerdings schließt dies nicht aus, daß die Verdichtung des Betons an den verschiedenen Stellen des Querschnittes bei den bewehrten Säulen stärker schwankt als bei den unbewehrten Säulen. Versuche hierüber liegen nicht vor.

Der Einfluß der Witterung beim Stampfen der Säulen tritt in den vorliegenden Werten für die Raumgewichte nicht zutage. Die Proben 1, 2, 4, 8

Abb. 25.

Säulen I. Längsbewehrung: 4 Rundeisen von 16 mm Durchmesser,  
Querbewehrung: 4 Umfangsbügel in Schleifenform.



Bruchlast = 134 820

= 140 190

= 125 880 kg

Bruch gleichzeitig mit der ersten Rißbildung am Säulenkopf. Risse (s. Säule I III) beginnen in den Ecken der Druckflächen und verlaufen dann parallel zu den Kanten. Beim Auftreten des Querrisses fällt Last schnell ab. Säulen I und II lassen Entstehen der Doppelpyramide unter Ausknicken der Längsbewehrung erkennen.

wurden bei trockenem Wetter, die Proben 3, 5, 6 bei Regen und Probe 7 bei sehr feuchter Luft (ohne Regen) gestampft.

Sieht man nun von den erwähnten Nebeneinflüssen ab, so dürften die Mittelwerte für die Bruchfestigkeiten (s. Schaulinien Abb. 19) zu folgenden Schlüssen führen:

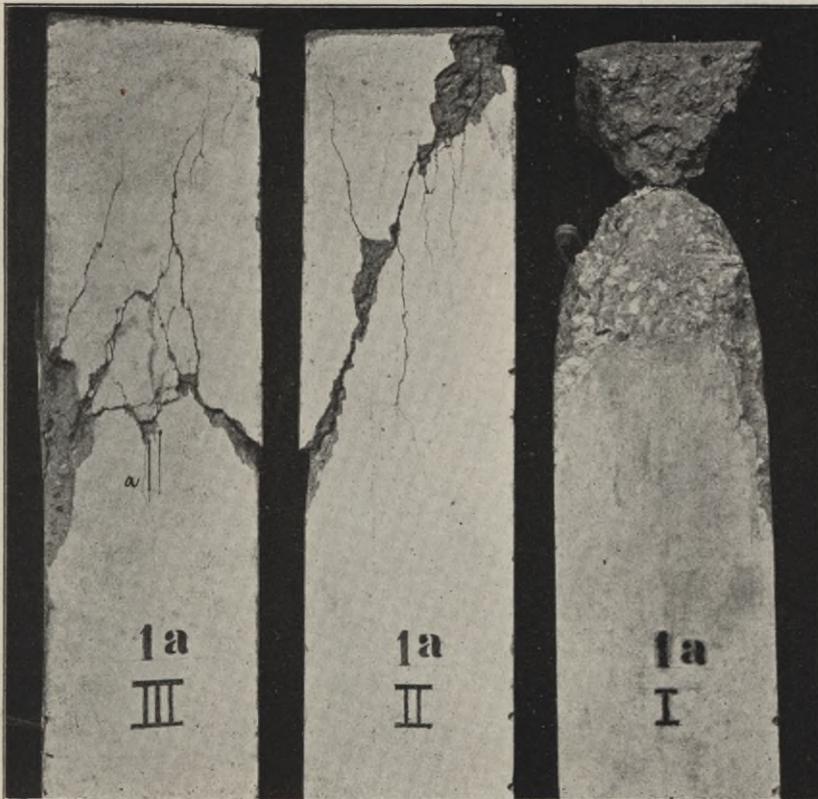
1. Der Vergleich der Werte 1a mit 1, 2a mit 2 und 12a mit 12 läßt erkennen, daß die Längsbewehrung nicht wesentlich zur Erhöhung der Tragfähigkeit der 2 m langen Säulen beitrug; nur in der Reihe 2 hat die Probe mit Längsbewehrung (2) um 13<sup>0</sup>/<sub>10</sub> höhere

Bruchfestigkeit als die ohne Längsbewehrung (2 a), während der Unterschied bei den Reihen 1 und 12 nur 1—2 % zugunsten der Proben mit Längsbewehrung beträgt.

Zu erwähnen ist hierzu, daß die Bügel in Schleifenform bei Reihe 1 a nicht in der angestrebten Lage verblieben, sondern beim Stampfen regellos in dem Beton verschoben waren (s. Abb. 48). Die Bügel bei Reihe 2 a und 12 a befanden sich an den Bruchstellen anscheinend in der beabsichtigten Lage in den Säulen (s. Abb. 31 und 45).

Abb. 26.

Säulen 1 a. Längsbewehrung: keine,  
Querbewehrung: 4 Umfangsbügel in Schleifenform.



Bruchlast = 129 040

= 158 150

= 107 150 kg.

Bruch am Säulenkopf bei Säule I und II gleichzeitig mit der ersten Rißbildung,  
bei Säule III trat zuerst Längsriß *a* in der Mitte der Seitenfläche ein.

2. Deutlich hervor tritt der Einfluß der Längsbewehrung in Erhöhung des Druckelastizitätsmoduls<sup>1)</sup>. Diese Beobachtung dürfte an Wert gewinnen und besonders sich geltend machen bei Prüfung der Knickfestigkeit längerer Säulen. Die Erhöhung beträgt in Reihe 1 = 4 %, bei Reihe 2 = 10 % und bei Reihe 12 = 6 %. (Vergleiche die Verhältniszahlen von E Tabelle 12 für die Reihen 1, 2 und 12 mit denen für die Reihen 1 a, 2 a und 12 a).

<sup>1)</sup> Berechnet aus der Gesamtlast, dem Gesamtquerschnitt der Säule und den Werten für die Federung Tabelle 5.

3. Von den Versuchen 1c, 2c und 12c (s. Abb. 19) mit den durchschnittenen Längsbewehrungen ergab 1c die höchste überhaupt erreichte Festigkeit, während 2c und 12c die geringsten von allen Festigkeiten lieferten. Nach dem Abschlagen

Abb. 27.

Säule 1a III.

Längsbewehrung: keine.

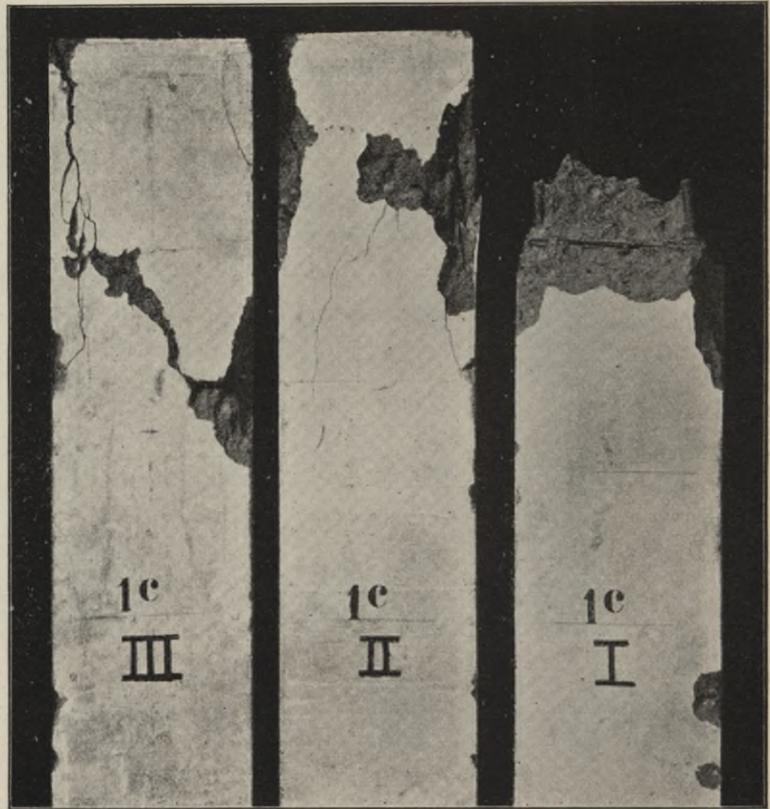
Querbewehrung: 4 Umfangsbügel in Schleifenform.



Sprengwirkung  
infolge Pyramidenbildung.

Abb. 28.

Säulen 1c. Längsbewehrung: von 20 zu 20 cm durchschnitten.  
Querbewehrung: 4 Umfangsbügel in Schleifenform.



Bruchlast = 182 200                      = 144 100                      = 162 470 kg.

Bruch am Säulenkopf, bei I und II gleichzeitig mit der ersten Rißbildung, bei III beginnen die ersten Risse in den Ecken der Druckfläche und verlaufen dann parallel zu den Kanten.

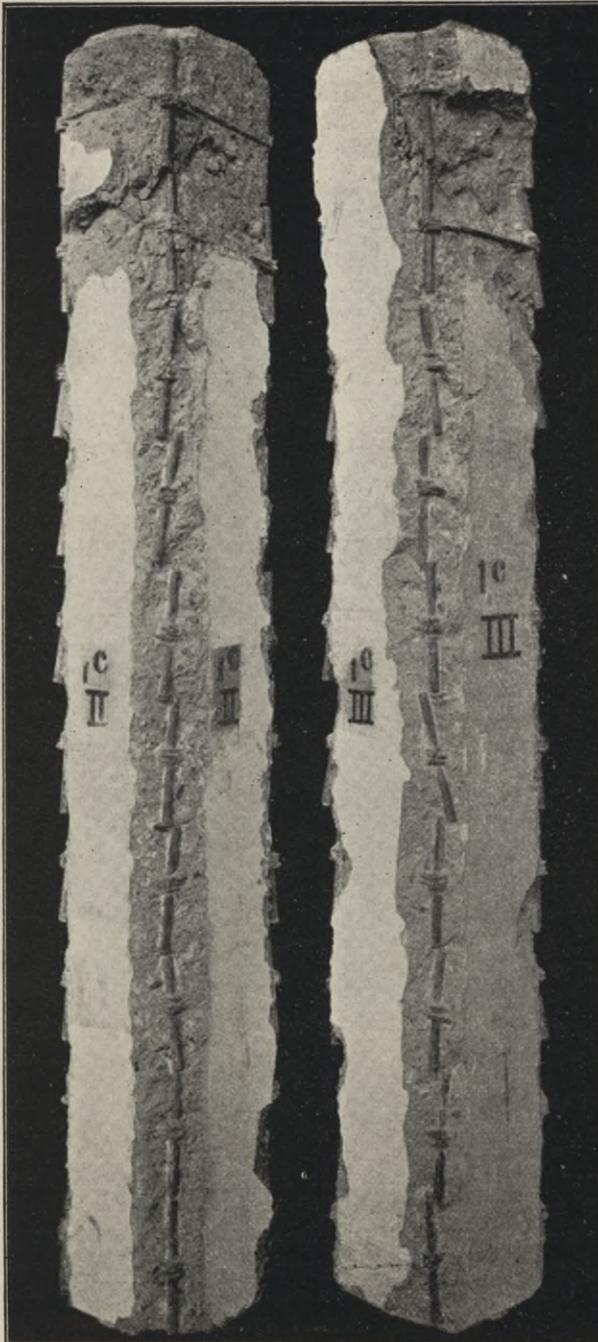
der Säulenkanten (s. Abb. 29, 32 und 34) zeigte sich, daß die 200 m langen Abschnitte der Längsarmierung schwach geneigt lagen.

Bei den Säulen 2c (Abb. 32) zeigten sich kurz vor dem Bruch von den Ecken der Druckfläche ausgehende, auf Pyramidenbildung hindeutende schräge Risse,

Abb. 29.

Säulen 1c II und 1c III.

Längsbewehrung: von 20 zu 20 cm durchschnitten.  
Querbewehrung: 4 Umfangsbügel in Schleifenform.



Säulenkanten abgeschlagen  
um Lage der durchschnittenen Längsbewehrung zu zeigen.

ihnen folgten Abspaltungen der Säulenkanten und schließlich bei Erreichung der Höchstlast wagerechte, zackige Risse etwas unterhalb des Querschnittes mit der Querbewehrung; nach innen gehen die diesen Rissen entsprechenden Bruchflächen an das Eisen heran. Es hat den Anschein, als ob der Beton über dem Eisen abgeschoben wird (s. auch Abb. 47). Bei 12 c (Abb. 46) sind die Brucherscheinungen sinngemäß die gleichen.

4. Unter den Reihen 1, 2, 3 und 4 mit verschiedenartigen Umfangsbügeln hat Reihe 3 mit vier Bügeln in S-Form die höchsten Festigkeiten ergeben; etwas

Abb. 30.

Säulen 2. Längsbewehrung: 4 Rundeisen von 16 mm Durchmesser.  
Querbewehrung: einfacher Umfangsbügel.



Bruchlast = 158 570                      = 150 190                      = 151 750 kg.

Bruch am Säulenkopf, bei I vor Erreichung der Höchstlast Rißbildung,  
bei II und III Rißbildung unter der Höchstlast.

Bruchverlauf Doppelpyramide, die eine Grundfläche in der Druckfläche, die zweite  
etwas unter dem dritten Umfangsbügel, hier Querrisse in der Oberfläche.

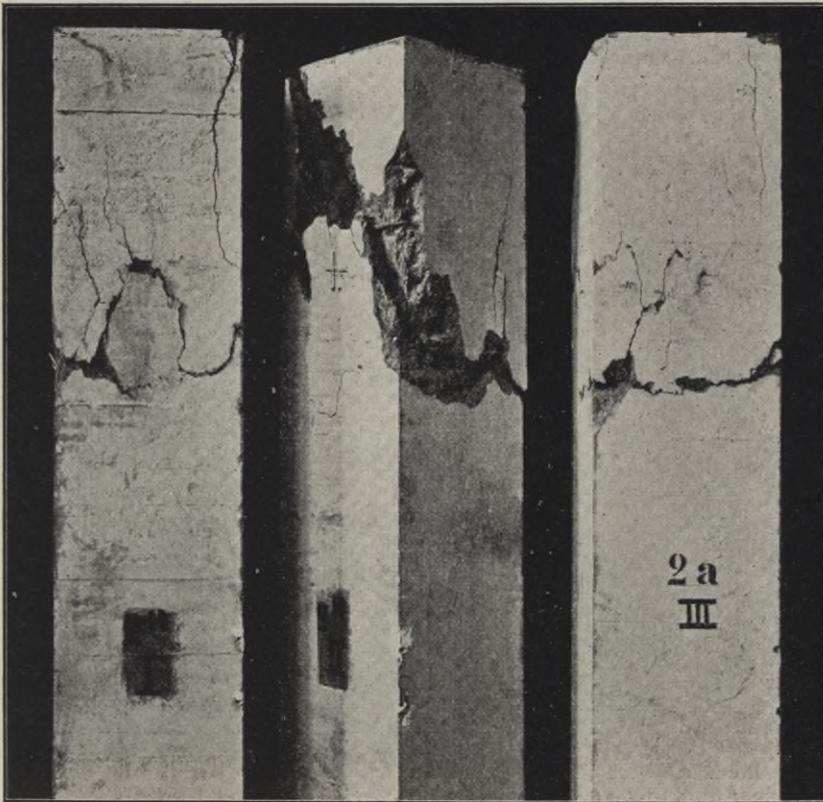
niedriger sind sie bei Reihe 4 mit vier Bügeln in C-Form; den letzteren sind gleich die Säulen mit einfachen Umfangsbügeln (Reihe 2). Die Luftfeuchtigkeit dürfte die Vergleichbarkeit dieser 3 Reihen nicht beeinträchtigt haben, da die Probenanfertigung durchweg bei trockenem Wetter erfolgte. Beachtenswert sind aber die großen Unterschiede zwischen den Einzelwerten der Reihe 3. Alle 3 einfachen Umfangsbügel (Reihe 2, 3 und 4) haben im Mittel um etwa 10% höhere Festigkeiten ergeben als die Versuche ohne Bewehrung, dagegen ist die Festigkeit der Säulen mit Umfangsbügel in Schleifenform (Reihe 1), zu der die Säulen allerdings bei feuchtem Wetter gefertigt sind; kleiner als letztere.

Die Elastizitätsmoduli sind bei allen 4 Reihen 1—4 größer als bei der Reihe 0 ohne Bewehrung, der Unterschied beträgt bei Reihe 1 etwa 3 0/0, bei den anderen Reihen 6 0/0.

Rißbildung trat bei allen 4 Reihen erst unter der Höchstlast ein (Ausnahme bildet nur Säule 4, I, s. Tab. 11). Sie bestand zunächst in geneigten, auf Pyramidenbildung über der Druckplatte zeigenden Rissen (s. Abb. 25, 30, 35 und 36). Die Säulen Reihe 3 (Umfangsbügel in S-Form, Abb. 35) zeigten keine andersartigen Risse und gingen mit Pyramidenbildung zu Bruch; von den Säulen Reihe 4 (Um-

Abb. 31.

Säulen 2a. Längsbewehrung: keine.  
Querbewehrung: einfacher Umfangsbügel.



Bruchlast = 144 040

= 127 310

= 134 820 kg.

Bruch am Säulenkopf; zuerst feine Risse in geringer Entfernung von der Endfläche, im übrigen Bruchverlauf wie bei den Säulen 2 (s. Abb. 30).

fangsbügel in C-Form, s. Abb. 36) glichen zwei denen der Reihe 3, die dritte (Probe 4 III) zeigte ausgeprägte Querrißbildung, wie oben unter Absatz 3 zu Reihe 2 c erörtert wurde. In Reihe 2 (einfacher Umfangsbügel, Abb. 30) treten diese Querrisse bei allen 3 Säulen ein, bei Säulen 2 III allerdings nur kurz angedeutet. Bei den Säulen 2 I und 2 II ist deutlich zu erkennen, daß die Querbewehrung auch hier wieder die Ursache zum Absplittern der Betonmasse und zum Entstehen der Querrisse gegeben hat. Am stärksten ausgeprägt sind die Querrisse bei den Säulen Reihe 1 (Umfangsbügel in Schleifenform, Abb. 25).

5. Reihe 5 mit Diagonalbügeln in Schleifenform ohne Umfangsbügel, lieferte um 8 0/0 höhere Bruchfestigkeit und um 8 0/0 höheren Elastizitätsmodul als die

Reihe 0 mit unbewehrten Säulen, die Festigkeiten sind aber um etwa  $1-3\%$  geringer als die der Säulen Reihe 2 mit einfachen Umfangsbügeln. Hervorzuheben ist, daß an den Säulen mit Diagonalbügeln in Schleifenform die Rißbildung bei wesentlich geringerer Belastung eintrat als der Bruch; der Unterschied beträgt  $15\%$ . Die Risse, s. Abb. 37, begannen nicht an den Druckplatten, obgleich auch diese Säulen schließlich unter Pyramidenbildung zu Bruch gingen. Querrisse fehlen bei diesen Säulen gänzlich.

Abb. 32.

Säulen 2c. Längsbewehrung: von 20 zu 20 cm durchschnitten.  
Querbewehrung: einfacher Umfangsbügel.



Bruchlast = 122 960

= 117 990

= 154 010 kg.

Bruch am Säulenkopf; die ersten kurzen Risse parallel zu den Kanten. Bruchverlauf (s. 2c III) Doppelpyramide mit Spitze in der Mitte zwischen zwei benachbarten Querbewehrungen, Grundflächen außerhalb der letzteren, so daß sie von den Seitenflächen der Pyramide tangiert werden. Der Beton ist darüber abgeschoben.

6. Von den 4 Reihen 6, 7, 8 und 9 mit Umfangsbügeln und Diagonalbügeln in demselben Querschnitt zeigen Reihe 6, 7 und 8 annähernd die gleichen Festigkeiten (s. Abb. 19) und Elastizitätsmoduli (s. Tabelle 12) wie die Reihe 5 nur mit Diagonalbügeln.

Die Rißbildung begann bei allen drei Säulen unter Belastungen, die etwa  $20\%$  unter der Bruchlast liegen, während der Unterschied bei Reihe 5 nur  $15\%$  betrug.

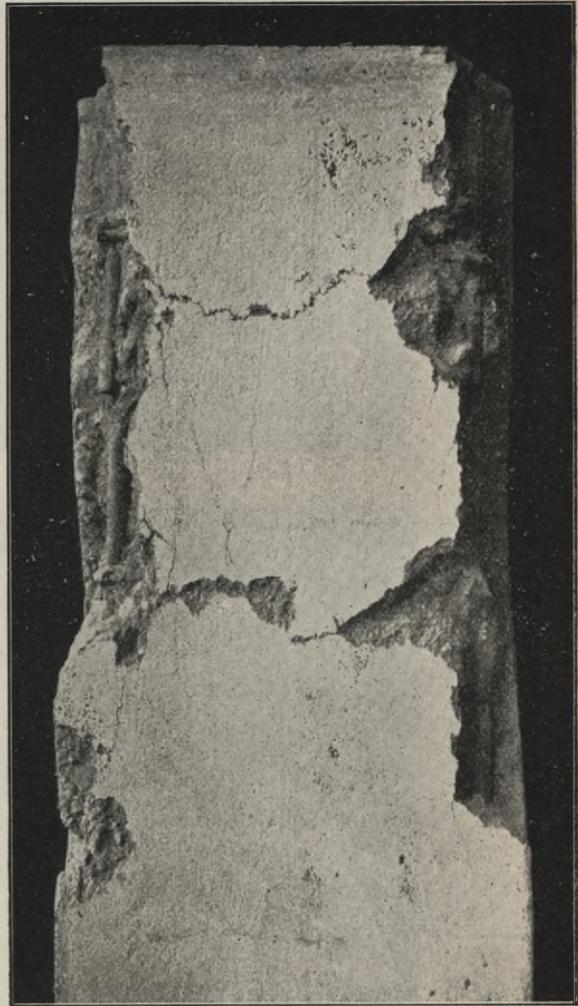
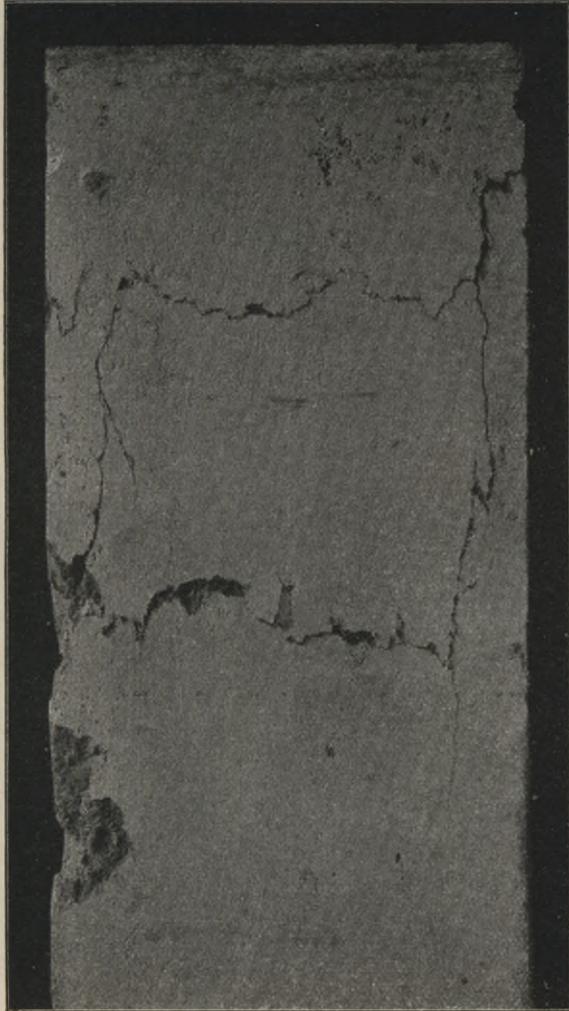
Auffallend sind die geringen Festigkeitswerte bei Reihe 9, die sogar unter den Festigkeiten der nicht bewehrten Säulen 0 liegen. Ob hier die mit dem andauernden Regenwetter verbundene große Luftfeuchtigkeit bei Anfertigung der Proben von Einfluß gewesen ist, muß dahingestellt bleiben.

Die ersten Risse traten bei Reihe 6 wieder als Längsrisse in einiger Entfernung von den Druckplatten auf (s. Abb. 38). Bei den übrigen Reihen 7—9, s. Abb. 39, 40 und 41, sprangen vor Entstehung der Längsrisse die Ecken an den Druckflächen ab. Im Augenblick des Bruches zeigten sämtliche Säulen ausgeprägte Querrisse.

7. Die Säulen, bei denen diagonale und Umfangsbewehrung wechselte (Reihe 10 und 11), zeigten ebenfalls wie die der Reihe 9 auffallend geringe

Abb. 33 und 34.

Säule 2 c II. Längsbewehrung: von 20 zu 20 cm durchschnitten.  
Querbewehrung: einfacher Umfangsbügel.



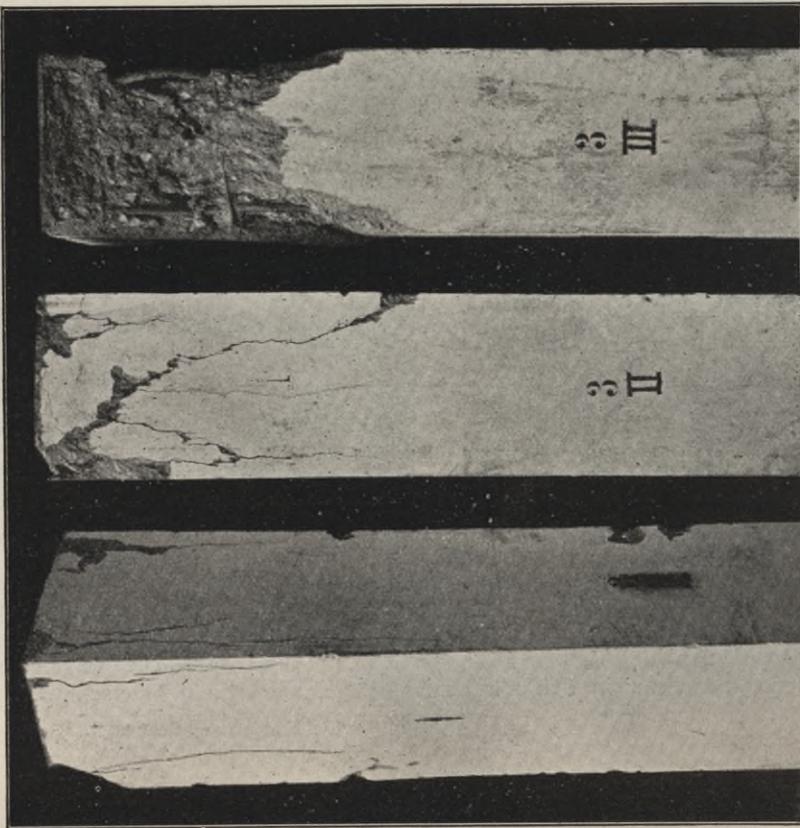
Entstehung wagerechter Querrisse infolge Abschiebens des Betons über die Umfangsbügel.

Festigkeit. Auch hier scheint der Einfluß der Luftfeuchtigkeit während der Probeanfertigung nicht ausgeschlossen. Der Verlauf der Ribbildung war der gleiche wie bei den Säulen der Reihen 6—9 (s. Abb. 42 und 43). Die wagerechten Querrisse entstanden nur in den mit Umfangsbügeln bewehrten Querschnitten.

Fortsetzung siehe Seite 71.

Abb. 35.

Säulen 3. Längsbewehrung: 4 Rundeisen von 16 mm Durchmesser.  
Querbewehrung: 4 Umfangsbügel in S-Form.



Bruchlast = 156 510

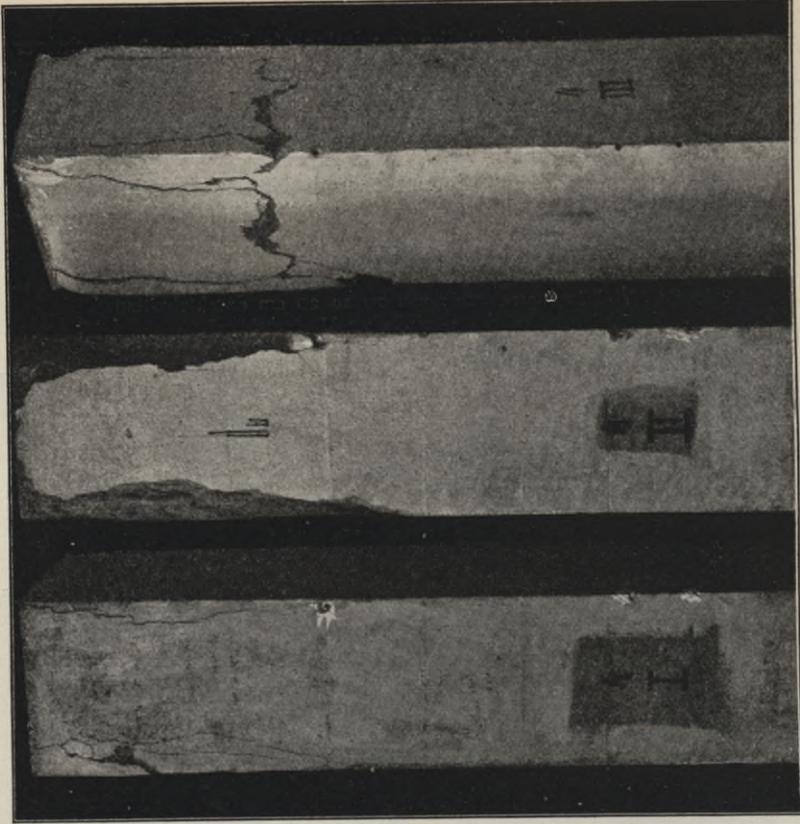
= 142 060

= 175 800 kg

Bruch am Säulenkopf gleichzeitig mit der ersten Ribfbildung (s. Säule I). Der Verlauf der Zerstörung bei weiterem Zusammendrücken lassen Säulen II und III erkennen. Doppelpyramiden.

Abb. 36.

Säulen 4. Längsbewehrung: 4 Rundeisen von 16 mm Durchmesser.  
Querbewehrung: 4 Umfangsbügel in C-Form.



Bruchlast = 151 320

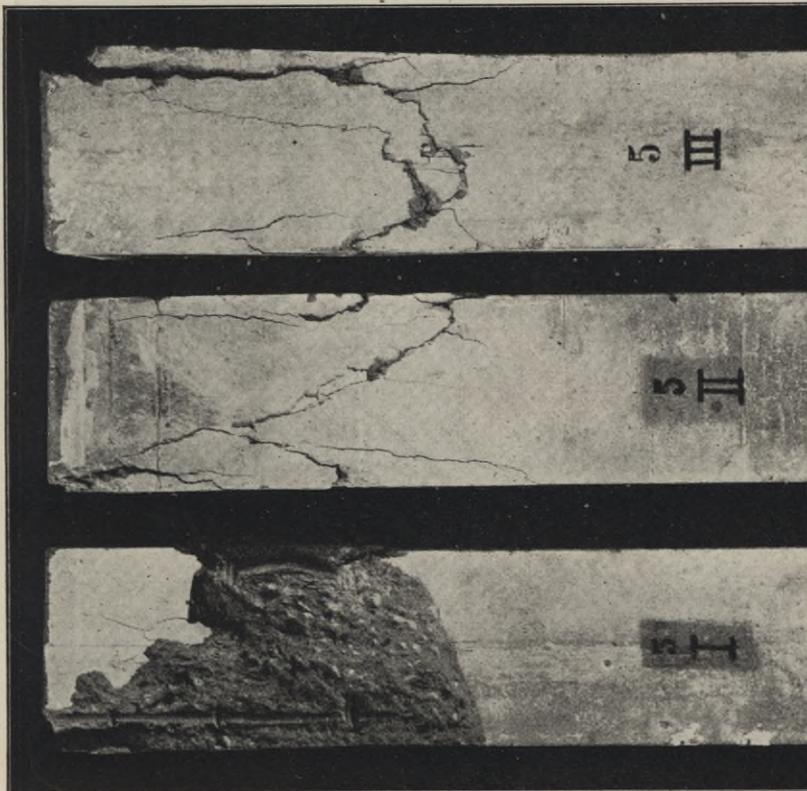
= 150 190

= 160 820 kg.

Bruch am Säulenkopf; bei III gleichzeitig mit der ersten Ribfbildung, bei I und II traten Risse vorher ein (s. Säule I). Längsbewehrung sprengt die Kanten ab (s. Säule II). Bei weiterem Zusammendrücken Auftreten von Querrissen unterhalb der Umfangsbügel.

Abb. 37.

Säulen 5. Längsbewehrung: 4 Rundeißen von 16 mm Durchmesser.  
Querbewehrung; 2 Diagonalbügel in Schleifenform.



Bruchlast = 155 230

= 146 390

= 153 190 kg.

Bruch im Säulenkopf; erste Rißbildung etwas über der Längsbewehrung und parallel zu diesen, dann folgen schräge Risse und schließlich Bildung von Doppelpyramiden unter Ausknicken der Längseißen.

Abb. 38.

Säulen 6. Längsbewehrung: 4 Rundeißen von 16 mm Durchmesser.  
Querbewehrung: 4 Umlängsbügel und 2 Diagonalbügel in Schleifenform.



Bruchlast = 155 880

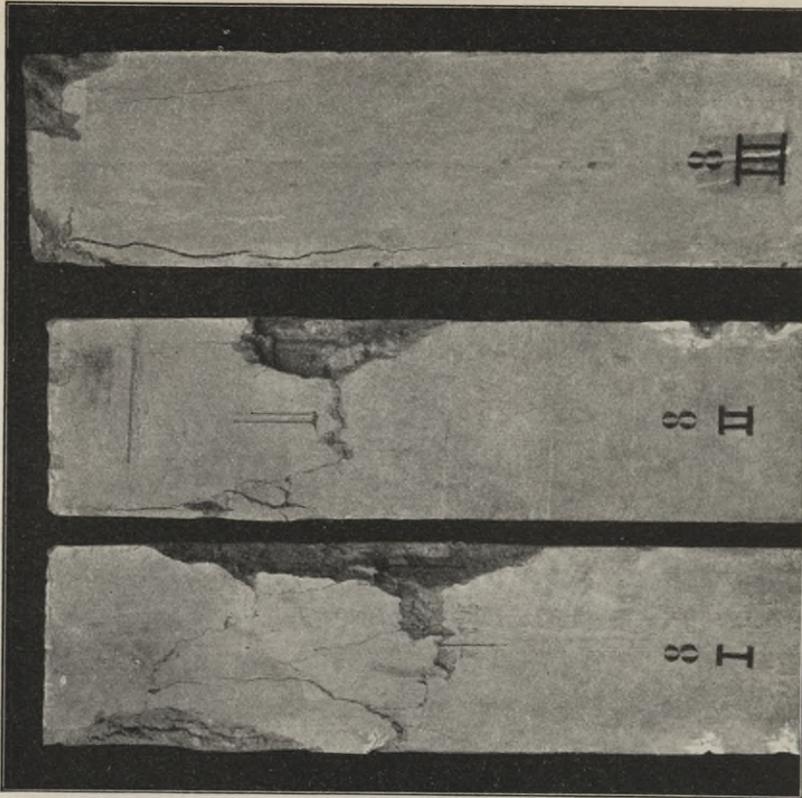
= 151 960

= 144 930 kg.

Bruch am Säulenkopf; erste Rißbildung in einiger Entfernung von der Druckfläche, stellenweises Ausbrechen der Kanten, Querrisse unter dem Bügel und schließlich Zerstörung unter der Höchstlast.

Abb. 40.

Säulen 8. Längsbewehrung: 4 Rundstaben von 16 mm Durchmesser.  
 Querbewehrung: 4 Umfangs- und 2 Diagonalbügel in S-Form.

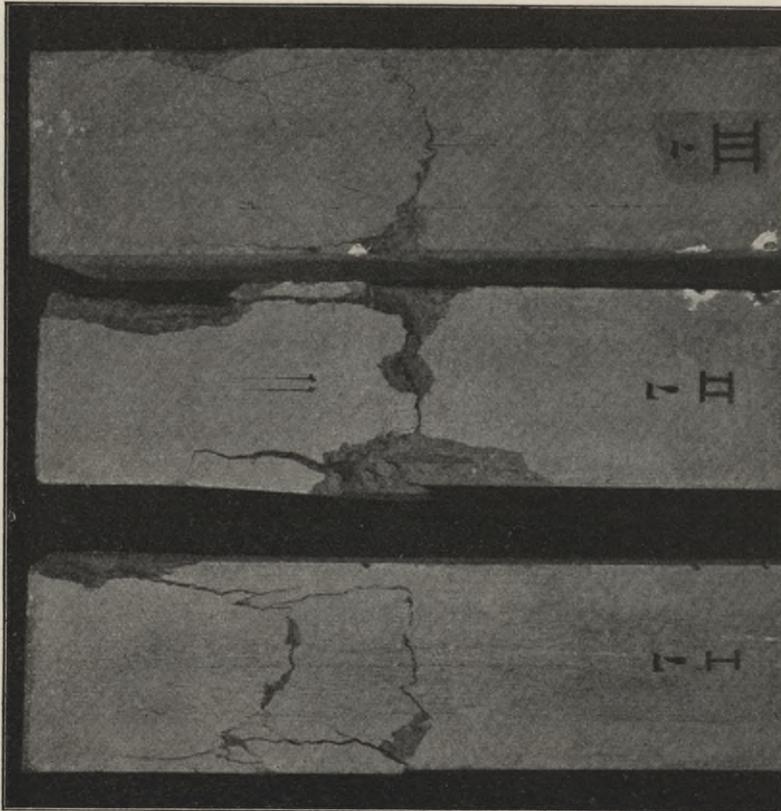


Bruchlast = 158 340 = 150 510 = 150 090 kg.

Bruch am Säulenkopf; zuerst Risse in den Ecken an den Druckflächen, dann Kantenrisse und schließlich Querrisse.

Abb. 39.

Säulen 7. Längsbewehrung: 4 Rundstaben von 16 mm Durchmesser.  
 Querbewehrung: Einfacher Umfangsbügel u. 2 Diagonalbügel in S-Form.

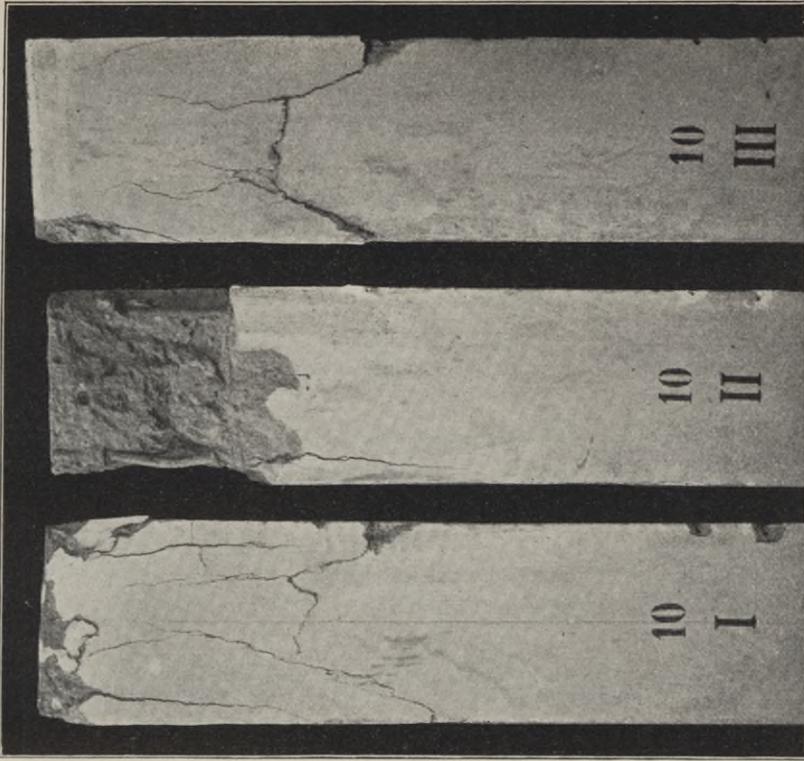


Bruchlast = 149 090 = 154 620 = 149 910 kg

Bruch am Säulenkopf; zuerst Kantenrisse von den Ecken der Druckflächen ausgehend und dann Querrisse unterhalb der Bügel. Zerstörung durch Abplatzen der Kanten und Entstehung von Doppelpyramiden, Einknicken der Längsstäbe.

Abb. 42.

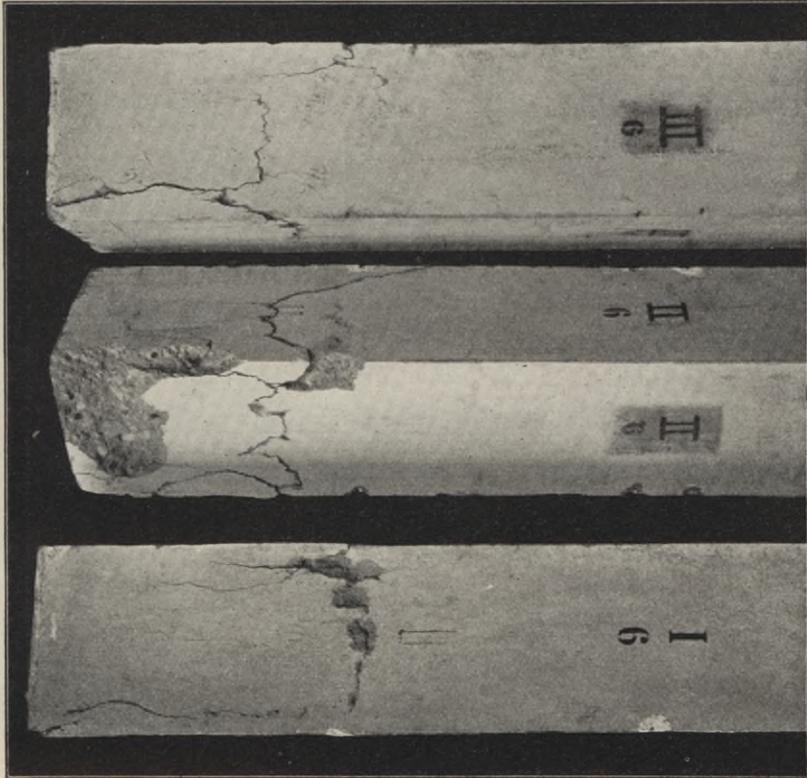
Säulen 10. Längsbewehrung: 4 Rundisen von 16 mm Durchmesser.  
 Querbewehrung: Abwechselnd 4 Umfangsbügel mit 2 Diagonalbügeln, beide in Schleifenform.



Bruchlast = 135 980 = 124 420 = 136 240 kg.  
 Bruch am Säulenkopf; Rißbildung wie bei den Säulen 8.

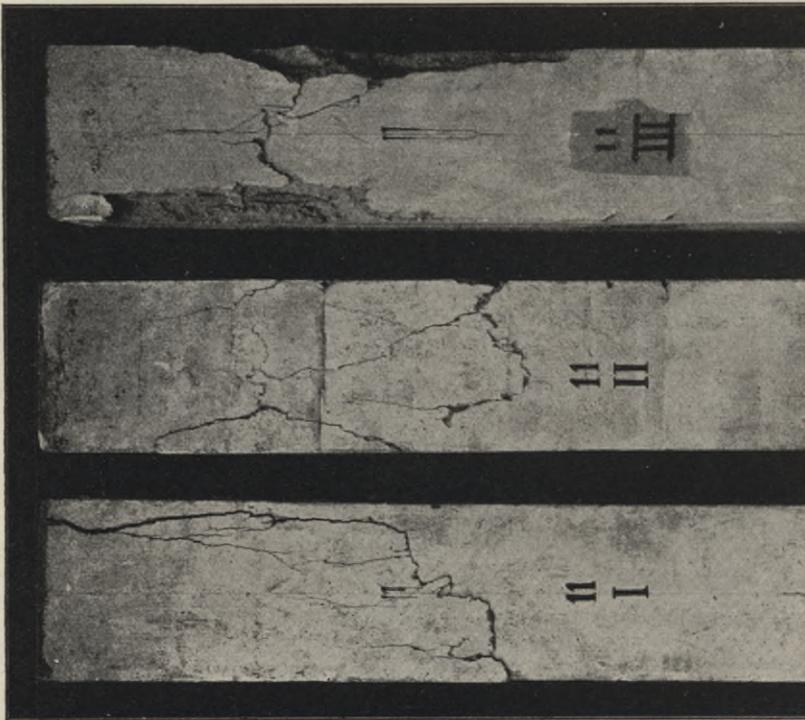
Abb. 41.

Säulen 9. Längsbewehrung: 4 Rundisen von 16 mm Durchmesser.  
 Querbewehrung: 4 Umfangsbügel in C-Form u. 2 Diagonalbügel in S-Form.



Bruchlast = 128 180 = 147 430 = 129 740 kg.  
 Bruch am Säulenkopf; Rißbildung wie bei den Säulen 8.

Abb. 43.  
Säulen 11. Längsbewehrung: 4 Rundeseisen von 16 mm Durchmesser,  
Querbewehrung: Abwechselnd einfacher Umfangsbügel mit  
2 Diagonalbügeln, letztere in S-Form.



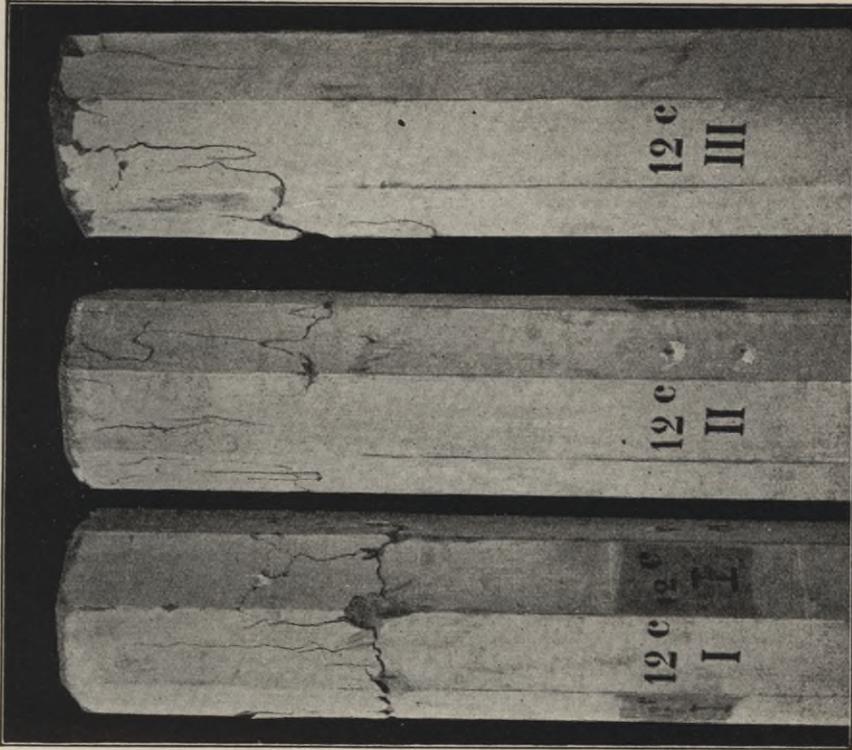
Bruchlast = 139 130 = 132 940 = 138 370 kg.  
Bruch am Säulenkopf; Ribildung wie bei den Säulen 8. Die Querrisse  
liegen, wie an Säule III zu erkennen ist, wieder etwas unterhalb der  
Umfangsbügel, unterhalb der Diagonalbügel traten keine Querrisse ein.

Abb. 44.  
Säulen 12 (achteckig). Längsbewehrung: 4 Rundeseisen von 16 mm Durchmesser,  
Querbewehrung: 1 kreisringförmiger Bügel.



Bruchlast = 161 040 = 151 750 = 160 000 kg.  
Bruch am Säulenkopf gleichzeitig mit der ersten Ribildung an der Druck-  
fläche beginnend. Bei weiterem Zusammendrücken entstehen Doppelpyramiden  
unter Absprengen der Mantelflächen und Ausknicken der Längsbewehrungen.  
Die Grundflächen der Pyramiden liegen bei Säule I oberhalb der ersten  
und unterhalb des dritten Umfangsbügels, die gemeinsame Spitze etwa in  
Höhe des zweiten Umfangsbügels; bei Säule II liegen die Grundflächen der  
Pyramide oberhalb des zweiten und unterhalb des dritten Umfangsbügels.

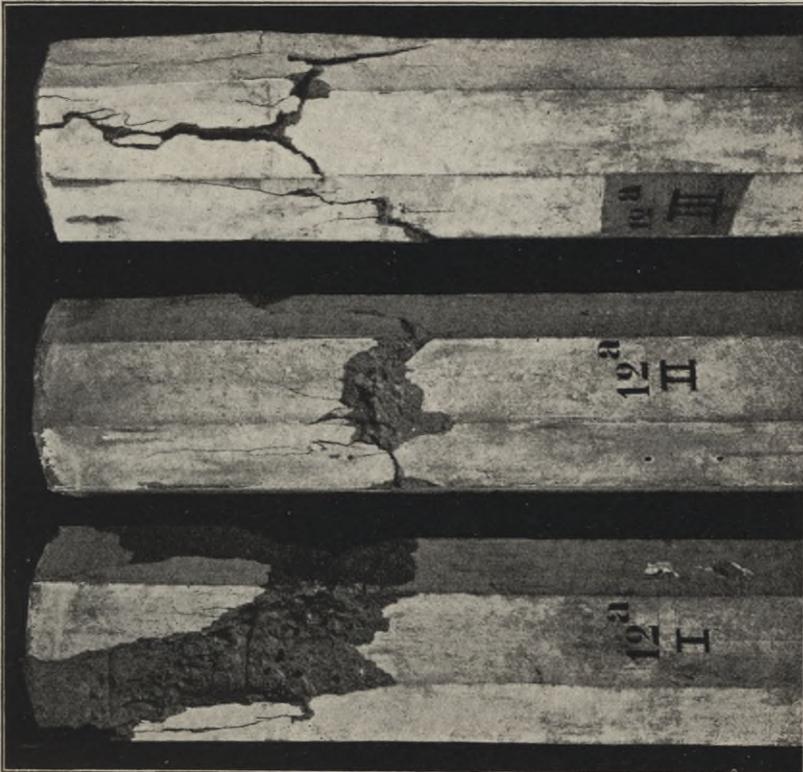
Abb. 4b.  
Säulen 12c (achteckig). Längsbewehrung: von 20 zu 20 cm durchschnitten.  
Querbewehrung: 1 kreisringförmiger Bügel.



Bruchlast = 131 570 = 125 440 = 136 380 kg.

Bruch am Säulenkopf; zuerst entstehen kleine Längsrisse in der Nähe und parallel zu den Kanten, unter der Höchstlast Querrisse über den Umfangsbügel.

Abb. 45.  
Säulen 12a (achteckig). Längsbewehrung: keine.  
Querbewehrung: 1 kreisringförmiger Bügel.

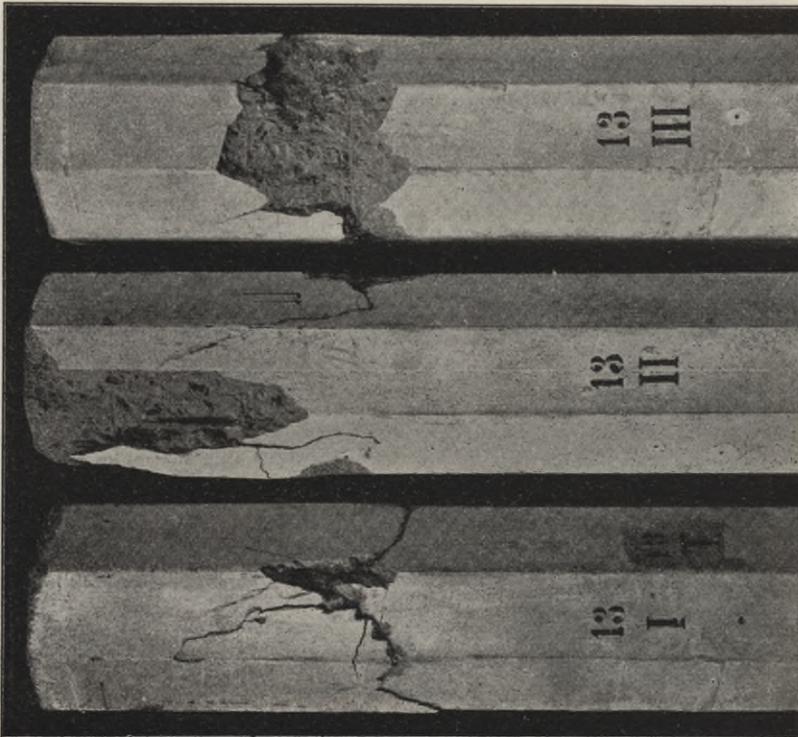


Bruchlast = 155 880 = 155 650 = 157 130 kg.

Bruch am Säulenkopf gleichzeitig mit der ersten Ribbildung wie bei Säulen 12.

Abb. 47.

Säulen 13 (achteckig). Längsbewehrung: 4 Rundstaben von 16 mm Durchmesser.  
 Querbewehrung: 2 kreisförmige Bügel aus  $\frac{3}{4}$  Kreisbogen  
 mit gegenseitiger  $\frac{1}{4}$  Ueberdeckung.



Bruchlast = 132 180

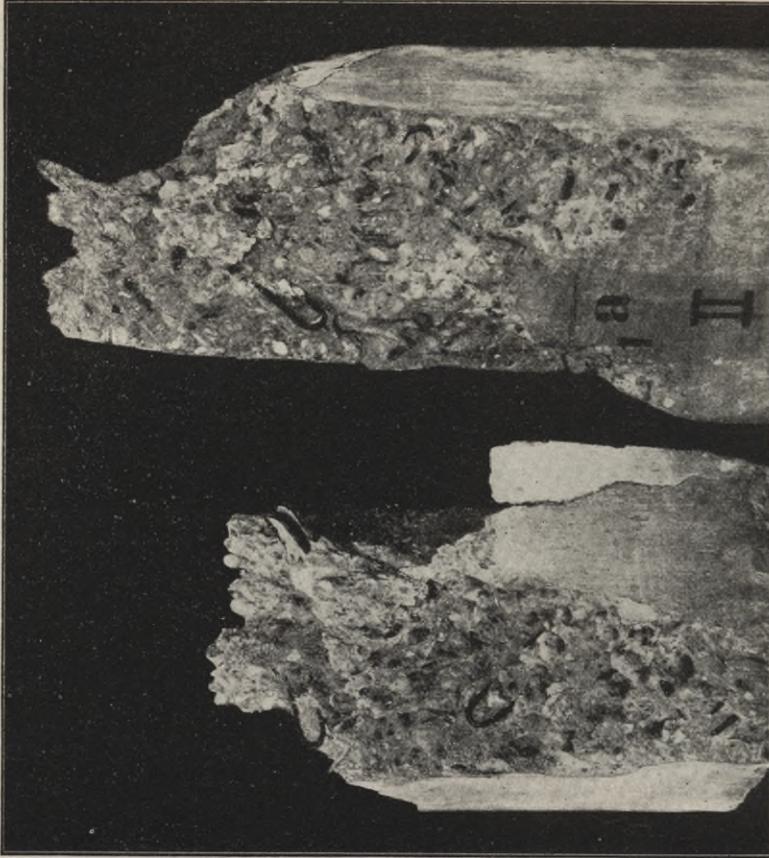
= 157 540

= 147 430 kg.

Bruch am Säulenkopf; zuerst kleine Risse an der Druckfläche, die sich nicht erweitern, bis unter Höchstlast Zerstörung wie bei den Säulen 12 stattfindet.

Abb. 48.

Säule 1 a II. Längsbewehrung: keine.  
 Querbewehrung: 4 Umfangsbügel in Schleifenform.



Umfangsbügel beim Stampfen in unregelmäßige Lage geraten.

8. Die achteckigen Säulen Reihe 12 mit einem durch Haken geschlossenen kreisringförmigen Bügel im Umfang in je 20 cm Abstand, bei trockenem Wetter gefertigt, lieferten höhere Festigkeiten, als die der Reihe 13 mit je 2 kreisringförmigen Bügeln aus  $\frac{3}{4}$  Kreisbogen mit gegenseitiger  $\frac{1}{4}$  Ueberdeckung, bei feuchtem Wetter gefertigt. Die Ribbildung trat bei den Säulen 12 erst bei der Höchstlast ein, bei den Säulen 13 dagegen bei Belastungen  $15\%$  unter der Höchstlast.

Der Verlauf der Risse war an beiden Reihen der gleiche, s. Abb. 44 und 47, die Risse begannen an der Druckplatte, ihnen folgte Absprenge von Material an der Oberfläche, bis schließlich Kegelbildung eintrat.

Die mittlere Festigkeit des an Würfeln geprüften Betons beträgt nach Tabelle 2 (S. 13) 189 kg/qmm. Vergleicht man hiermit die Festigkeit der un-

bewehrten Säulen  $\frac{140600}{900} = 156$  kg/qcm, so ergibt sich, daß in der Säule nur

$\frac{156 \cdot 100}{189} = 82,5\%$  der Betonfestigkeit erzielt sind.

### 3. Schlußergebnis.

Ganz allgemein zeigen die vorliegenden Versuche, daß der Einfluß der verschiedenartigen Querbewehrungen auf die Festigkeitseigenschaften der Säulen weit zurücktritt hinter dem Einfluß der mehr oder weniger sorgfältigen Arbeitsausführung beim Stampfen des Betons und daß die Zahl der Versuche zu gering ist, um die Unterschiede in der Wirkung der verschiedenartigen Bewehrungen deutlich erkennen zu lassen.

Faßt man die im vorstehenden erörterten Ergebnisse zusammen, so ergibt sich folgendes:

1. Die Witterungsverhältnisse (Luftfeuchtigkeit) während der Anfertigung der Proben scheinen die Ergebnisse beeinflusst zu haben, und zwar wahrscheinlich dadurch, daß beim Einstampfen in trockner Luft ein Teil der Feuchtigkeit des Betons verdunstet ist, so daß er dann höhere Festigkeit annahm als der bei feuchtem Wetter eingestampfte Beton. Die Unterschiede in den Raumgewichten lassen indes keinen Einfluß der Witterungsverhältnisse erkennen, was zu erwarten gewesen wäre, wenn etwa der Beton während des Stampfens bei geringer Luftfeuchtigkeit an Wassergehalt merklich eingebüßt und infolgedessen größere Dichte angenommen hätte.

2. Die lose eingelegten, an die Längsbewehrung nicht angebundenen Querbewehrungen haben sich beim Stampfen des Betons wesentlich verschoben.

3. Die Lage des Bruches, also auch die Bruchlast, war von diesen Verschiebungen nicht beeinflusst. Der Bruch erfolgte, bei allen Versuchen unabhängig von der Entfernung zwischen den Querbewehrungen, stets an dem beim Stampfen nach oben gelegenen Ende.

4. Das Raumgewicht des Betons war in derselben Säule im allgemeinen an dem beim Stampfen unten gelegenen Ende größer als am oberen.

5. Die Verteilung der Spannungen über den Beton- und Eisenquerschnitt ändert sich sowohl mit wachsender Belastung als auch beim wiederholten Lastwechsel ständig derart, daß der auf das Eisen entfallende prozentuelle Anteil der Belastung zunimmt.

6. Beim Entlasten entstehen zwischen beiden Materialien (Beton und Eisen) Wechselspannungen; im Eisen bleiben Druckspannungen zurück und im Beton Zugspannungen.

7. Die Längsbewehrungen erhöhten die Widerstandsfähigkeit der Säulen gegen Formänderungen, und durch Einlegen von Querbewehrungen wird diese Wirkung unterstützt.

8. Gesetzmäßige Unterschiede in der Wirkung der angewendeten verschiedenartigen Bewehrungen auf die Formänderungen bei gleichen Belastungen lassen die Ergebnisse nicht erkennen.

9. Das Verhältnis zwischen Verkürzung zur Querdehnung wurde ebenfalls nicht gesetzmäßig durch die verschiedenen Bewehrungen beeinflusst; es schwankte zwischen 4,8 und 7,9, und beträgt im Mittel etwa 6,5.

10. Die Festigkeit der Säulen gleicher Bewehrung scheint nach den Beobachtungen an den Säulen 1 c mit wachsendem Raumgewicht des Betons zu zunehmen. Bevor dieses an nur einer Säulenart ermittelte Ergebnis verallgemeinert werden darf, müssen weitere Raumgewichtsbestimmungen stattfinden.

11. Querbewehrungen aus einfachem Rundeseisen (aus einem Stück gefertigte Umfangsbügel oder Hakeneisen) lieferten nahezu übereinstimmend höhere Bruchfestigkeiten, als Querbewehrungen aus Doppelbügeln in Schleifenform.

12. Querbewehrung im Umfang und diagonal in demselben Querschnitt erwies sich weniger günstig als Querbewehrung nur im Anfang. Besonders trat dies darin zutage, daß bei der ersteren bereits weit unterhalb der Höchstlast Ribbildung eintrat.

13. Die abwechselnde Anordnung von Umfangsbügel und diagonalen Querbewehrung erhöhte die Festigkeit den nicht bewehrten Säulen gegenüber nicht wesentlich und führte ebenfalls zur Entstehung von Rissen bei Belastungen weit unterhalb der Bruchlast.

14. Bei den achteckigen Säulen lieferten aus einem Stück gefertigte kreisförmige Umfangsbügel höhere Bruchfestigkeiten als Bügel aus 2 Teilen bestehend.

15. Querbewehrung im Umfange führte zu Querrissen und zum Absplittern der Betonmasse. Die Querrisse traten aber erst unter der Höchstlast ein.

---

## Ergänzungsversuche (Reihe II).

### A. Arbeitsplan.

Der vorstehende Bericht wurde dem Arbeitsausschuß am 30. Mai 1908 unter Beifügung von Vorschlägen für Ergänzungsversuche vorgelegt. In der Sitzung am 8. Oktober 1908, zu der auch von Herrn Hüser noch Vorschläge für Ergänzungsversuche eingegangen waren, beschloß der Arbeitsausschuß, dem Deutschen Ausschuß für Eisenbeton folgende Ergänzungsversuche zu empfehlen:

1. Die Versuche mit den Säulen Nr. 1, 2, 5, 7 (s. Tabelle 1 S. 6) und mit unbewehrten Säulen zu wiederholen, hierbei aber zu der Diagonalbewehrung in den Säulen Nr. 5 statt der früher eingelegten Schleifenbügel Hakenbügel zu verwenden.

2. Die Säulen wieder mit quadratischem Querschnitt von  $30 \times 30$  cm herzustellen, aber nur in der Länge von 90 cm, die für hinreichend erachtet wurde, um den Einfluß der verschiedenartigen Querbewehrungen erkennen zu können.

3. Den gegenseitigen Abstand der Querbewehrungen auf 15 cm zu bemessen. Um ihn beim Einstampfen der Säulen möglichst sicherzustellen, sollten die Querbewehrungen (Bügel) an die Längsstangen angebunden werden.

4. Diejenigen Bügel, an denen Querdehnungen der Säulen gemessen werden sollten, mit Stiften nach Abb. 49 zu versehen, die aus der Oberfläche der Säulen herausragen.

5. Je 5 Säulen jeder Bewehrungsart wieder stehend zu stampfen, aber zur Sicherung gegen Witterungseinflüsse nicht wieder im Freien, sondern in einem geschlossenen, tunlichst gleichmäßig warmen und gleichmäßig feuchten Raum.

6. Die Materialien für den Beton einige Tage vor der Verarbeitung in dem Arbeitsraum zu lagern.

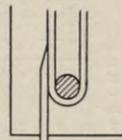
7. Den Sand und Kies getrennt zu lagern und zur Herstellung des verlangten Mischungsverhältnisses gesondert zuzumessen.

8. Sämtliche Säulen bei 45 Tagen Alter zu prüfen.

In seiner Sitzung vom 15. Januar 1909 erweiterte der Arbeitsausschuß diese Vorschläge zu Punkt 1 des Planes noch dahin, daß außer den genannten 5 Säulenarten auch noch 10 achtseitige Säulen mit je 8 Längsseisen zu prüfen seien, von denen 5 mit „Spiralummwicklung“ und 5 mit „kreisringförmigen Bügeln“ bewehrt werden sollten, und daß die Firma Wayß & Freytag bei der Ausarbeitung des Arbeitsplanes für die Versuche mit Spiralbewehrung mit heranzuziehen sei.

Den hiernach festgelegten Plan für die Ausführung der Säulen zeigt Tabelle 14 (s. S. 74), aus der auch die Abmessungen der einzelnen Bewehrungen zu ersehen sind.

Abb. 49.



### B. Die verwendeten Baustoffe.

1. Der Zement ist gleich dem zu den früheren Versuchen wieder von der Portland-Zementfabrik, Lossius-Dellbrück zu Züllchow bezogen. Die Ergebnisse seiner Prüfung nach den alten Normen zeigt Anlage 4

Säulenlänge = 90 cm.

## Verzeichnis der Säulen Reihe II.

Tabelle 14.

Lfd. Nr.	Anzahl d. Probekörper	Querschnitt	Längsbewehrung			Bügelbewehrung			Nutzgewicht kg	Nutzlänge cm	Querschnitt durch die Säule	Einzelheiten der Bügelbewehrung	Längsschnitte durch die Säulen		
			Anzahl	Durchm. mm	Durchm. mm	Form	Wirklich abgewinkelte Länge cm	Gewicht + Längs- be- wehrung kg							
14	5	30 cm 30	4	16	7	4 Umfangsbügel in Schleifenform	2 · 23 = 46 2 · 5 = 10 3 · 1,15 · π = 10,8 66,8 · 4 · 6 = 1603	16,03 · 0,3 = 4,81 + 5,64 = 10,45	23 · 8 · 6 = 1104	11,04 · 0,3 = 3,31				Nr. 15	
15	5	"	4	16	7	Einfacher Umfangsbügel	4 · 23 = 92 2 · 5 = 10 3,5 · 1,15 · π = 12,6 114,6 · 6 = 688	6,88 · 0,3 = 2,06 + 5,64 = 7,70	23 · 4 · 6 = 552	5,52 · 0,3 = 1,66		Hakenlänge = 5 cm, wie bei Nr. 14.		Nr. 19	
16	5	"	4	16	7	2 Diagonalbügel in S-Form	1 · 32,5 = 32,5 2 · 5 = 10 2 · 1,15 · π = 7,2 49,7 · 2 · 6 = 596	5,96 · 0,3 = 1,79 + 5,64 = 7,43	32,5 · 2 · 6 = 390	3,90 · 0,3 = 1,17				Nr. 19	
17	5	"	4	16	7	Einfacher Umfangsbügel und 2 Diagonalbügel; letztere in S-Form	688 + 596 = 1284	12,84 · 0,3 = 3,85 + 5,64 = 9,49	552 + 390 = 942	9,42 · 0,3 = 2,83		Umfangsbügel wie bei Nr. 15. Diagonalbügel wie bei Nr. 16.		Nr. 19	
18	5	"	Ohne jede Eisenbewehrung						—	—					
19	5	Achteck v. 43,65 cm Seitenlänge	8	11	6	Spiral-Umwicklung	28 · π · 2,5 = 2200 2 · 15 = 30 2230	22,30 · 0,22 = 4,91 + 5,33 = 10,24	28 · π · 2,5 = 2200	22,0 · 0,22 = 4,84				Nr. 20	
20	5	"	8	11	6	Kreisringförmiger Bügel	28 · π = 87,9 2 · 5 = 10,0 2 · 0,85 · π = 5,3 103,2 · 2,5 = 2580	25,80 · 0,22 = 5,68 + 5,33 = 11,01	28 · π · 2,5 = 2200	22,0 · 0,22 = 4,84		Hakenbildung			Nr. 20

(s. S. 115 u. 116). Er entspricht den gestellten Anforderungen, wonach er langsambindend sein und zu normengemäßigem Mörtel (1:3) angemacht, nach 28 Tagen mindestens 250 kg/qcm Zugfestigkeit und 25 kg/qcm Druckfestigkeit besitzen soll. Aus dem Vergleich mit Anlage 1 (s. S. 110 u. 111) ergibt sich, daß der neue Zement gegenüber dem zu den früheren Versuchen verwendeten höhere Mörtelfestigkeiten lieferte; nach 28 Tagen betrug seine Zugfestigkeit 29,0 gegen 26,6 kg/qcm und seine Druckfestigkeit 350 gegen 299 kg/qcm, entsprechend dem Mehr von 9% und 17% gegen den alten.

2. Der Kiessand und Kies war der gleiche wie zu den früheren Versuchen. Er wurde aber nach dem Arbeitsplan zunächst durch Sieben in drei Körnungen (0—8 mm, 8—18 mm und 18—24 mm) gesondert; diese wurden im gedeckten Raum trocken gelagert und für den Beton in folgendem Verhältnis gemischt:

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

Die an den einzelnen Körnungen ermittelten Raum-(Liter-)gewichte zeigt Anlage 5 (s. S. 117). Die in Klammern zugefügten Werte sind diejenigen für das früher verwendete Material.

3. Das Eisen zur Bewehrung der Säulen wurde zum größten Teil von der Firma Belter & Schneevogl, Berlin-Wittenau, bezogen, nur die 5 Spiralen zur Bewehrung der Säulen 19 lieferte die Firma Wayß & Freytag A.-G., Berlin.

Die Festigkeitseigenschaften der verschiedenen Eisensorten sind aus Tabelle 15 (s. S. 76) zu ersehen. Zu beachten ist, daß die beiden zu den Längsbewehrungen verwendeten Eisen Nr. 1 und 2 annähernd die gleichen Festigkeitseigenschaften aufweisen; etwas fester ist das Eisen Nr. 3 für die Bügel der Säulen 14—17 und auffallend höhere Festigkeit, nach den Werten für  $\sigma_S/\sigma_B$  durch Kaltbearbeitung erreicht, zeigen die beiden Eisen Nr. 4 und 5 für die kreisringförmigen Bügel und Spirale.

### C. Herstellung der Säulen.

Die Herstellung der Säulen erfolgte unter Aufsicht des Amtes von Angestellten der vom Ausschuß hierzu bestimmten Firmen, und zwar sind die Säulen 19 (s. Tabelle 14) mit Spiralbewehrung durch die Firma Wayß & Freytag A.-G., alle anderen Säulen wieder durch die Firma Aktiengesellschaft für Beton- und Monierbau angefertigt. Die Einzelheiten, betreffend den Tag der Herstellung, die Luftwärme und die relative Luftfeuchtigkeit im Arbeitsraum, den Wassergehalt des verwendeten Kieses, die Gewichte des verbrauchten Betons und der Eiseneinlagen, sowie die Behandlung der Säulen bis zur Prüfung enthält Anlage 6 (s. S. 118).

Der Beton bestand bei allen Säulen aus 1 Rtl. Zement und 4 Rtl. Kiesgemisch in der unter B angegebenen Zusammensetzung.

Der Wasserzusatz, bezogen auf die trockene Mischung, also unter Berücksichtigung des Feuchtigkeitsgehaltes des Kieses, wurde nach Vorversuchen im Einvernehmen mit den Herren Hüser und Koenen auf 8,2% festgesetzt; er war also geringer als bei den früheren Versuchen, bei denen er 9,5% betrug.

Die Bestimmung der zu mischenden Mengen an Zement und Kies, sowie das Mischen in der Maschine, Bauart Hüser, erfolgte wie bei den früheren Versuchen (s. S. 9). Zum Einstampfen dienten die alten, auf 90 cm gekürzten Formen. Sie standen auf einer 2,6 cm starken, gehobelten, gußeisernen Platte, die auf einer Bohlenunterlage ruhte. Die Innenflächen der Formen wurden weder geölt noch genäßt. Auf dem Boden der Form wurde wieder wie früher aus der Betonmasse entnommener, feiner Mörtel in dünner Schicht vorgelegt und der

Tabelle 15.

## Eigenschaften des Eisens für die Bewehrungen der Säulen.

Eisen Nr.	Mittlerer Durch- messer  cm	Verwendung	Versuch Nr.	Spannungen kg/qcm				Elasti- zitäts- modul $E$	Bruch- dehnung auf Länge = $11,3\sqrt{f}$  ‰
				Pro- portio- nalitäts- grenze  $\sigma_P$	Streck- grenze  $\sigma_S$	Bruch- grenze  $\sigma_B$	100 $\sigma_S / \sigma_B$		
1	1,6	zur Längsbewehrung der quadratischen Säulen	1	—	2660	3890	68	—	32,8
			2	2520	2870	4150	69	2 055 000	30,2
			3	—	2450	3630	68	—	33,8
			4	2460	2580	3810	68	2 045 000	31,3
			Mittel	2490	2640	3870	68	2 050 000	32,0
2	1,1	zur Längsbewehrung der achteckigen Säulen	5	—	2720	3730	73	2 060 000	—
			6	2680	3220	4150	78	—	29,3
			7	—	3030	3860	79	—	27,8
			Mittel	2680	2990	3910	77	2 060 000	28,6
3	0,7	zu den Bügeln in den Säulen 14—17 mit quadra- tischem Querschnitt	8	—	3700	4440	84	—	—
			9	—	3310	4210	79	—	28,2
			10	2020	3160	4040	78	2 050 000	—
			Mittel	2020	3390	4230	80	2 050 000	28,2
4	0,6	zu den kreisförmigen Bügeln in den achtseitigen Säulen 20	11	—	—	5920	—	—	—
			12	2270	5680	6310	90	2 040 000	—
			13	—	—	6570	—	—	—
			17	—	6360	6530	98	—	9,6
			18	—	6080	6170	99	—	8,3
			19	—	6290	6720	94	—	6,9
Mittel	2270	6100	6370	95	2 040 000	8,3			
5	0,6	zu den Spiralen in den achtseitigen Säulen 19	14	—	6330	6440	99	—	—
			15	—	6210	6330	99	—	8,2
			16	2270	5870	6400	92	2 015 000	—
			20	—	6330	6460	98	—	9,3
			21	—	6190	6440	96	—	10,4
			22	—	6340	6340	100	—	10,0
			Mittel	2270	6210	6400	97	2 015 000	9,5



Die achtseitigen Säulen 19 und 20 erhielten je 8 Rundeisen von 1,1 cm Durchmesser als Längsbewehrung. Bei den Säulen 19 war eine Spirale aus 0,6 cm Rundeisen in 25 Gängen herumgelegt. Der mittlere Durchmesser der Spirale betrug 28 cm, die Ganghöhe 3,5 cm, der mittlere Abstand von den Druckflächen 1 cm. Bei den Säulen 20 waren statt der Spirale 25 geschlossene Ringe von 28 cm mittlerem Durchmesser um die Längsbewehrung herumgelegt. Sie bestanden ebenfalls aus Rundeisen von 0,6 cm Durchmesser. Der Verschuß der Ringe wurde dadurch gebildet, daß die Enden in Hakenform um ein Längseisen herumgebogen wurden. Die Enden der Haken lagen nach innen und überragten das Längseisen je um 5 cm.

Sämtliche Säulen wurden 2 Tage nach dem Stampfen von der Form befreit, standen dann 10 Tage im Anfertigungsraum, wurden während dieser Zeit wiederholt genäßt und dann im Keller unter feuchtem Sande gelagert; 8—10 Tage vor der Prüfung wurden sie in den Versuchsraum gebracht; hier standen sie an der Luft.

### D. Prüfung des Betons.

Die Druckfestigkeit des zu den Säulen verwendeten Betons, bestehend aus 1 Rtl. Zement und 4 Rtl. Kiesgemisch (s. Absatz B, 2 S. 75) mit 8,2 % Wasserzusatz, wurde in Reihe A (s. Tabelle 16) an 5 Würfeln von 30 cm Kantenlänge ermittelt, die am 19. Juni 1909 in eiserne Formen eingestampft waren. Daneben wurden in Reihe B zwei Würfel geprüft, die an demselben Tage aus Beton von der gleichen trockenen Mischung wie der erstgenannte, aber mit 9,5 % Wasserzusatz hergestellt waren, und zwar durch Einfüllen des Betons in die Form. Zu beiden Reihen wurden die Proben 20 Stunden nach dem Einstampfen entformt, und erhärten dann 27 Tage unter feuchtem Sande. Bei 28 Tagen Alter wurden sie unter Beanspruchung senkrecht zur Stampfrichtung geprüft.

Tabelle 16.

#### Druckfestigkeit des Betons.

Würfel von 30 × 30 cm Kantenlänge; Druckfläche = 900 qcm; Alter = 28 Tage.

Reihe	Ver- such Nr.	Zusammensetzung des Betons		Her- stellungsart der Proben	Gewicht des Würfels kg	Raum- gewicht des Betons <sup>1)</sup> g/ccm	Druck- festigkeit in kg/qcm $\sigma_B$	Verhältnis- zahlen; Mittel gleich 100 gesetzt
		Mischungsver- hältnis der trockenen Massen in Raumteilen	Wasser- zusatz %					
A	1	1 Zement +	8,2	eingestampft	64,75	—	293	100
	2				64,50		289	99
	3				64,95		300	103
	4				64,50		292	100
	5				63,65		284	97
	Mittel				64,47		2,388	292
B	1	4 Kiesgemisch	9,5	eingefüllt	63,55	—	240	99
	2				63,30		243	100
	Mittel				63,43		2,349	242

Die erzielten Ergebnisse Tabelle 16 bestätigen, daß die Druckfestigkeit des Betons bei höherem Wasserzusatz die geringere ist. Der Unterschied zwischen

<sup>1)</sup> Die mittleren Raumgewichte am ersten Tage nach dem Einstampfen betragen bei Reihe A = 2,380 g/ccm, bei Reihe B = 2,340 g/ccm.

Reihe A und B beträgt  $292 - 242 = 50 \text{ kg}^1$ , die Festigkeitsabnahme durch Steigerung des Wasserzusatzes von 8,2 auf 9,5 % demnach 17 %. Hierbei beträgt der Unterschied in den Raumgewichten  $2,388 - 2,349 = 0,039 \text{ g/ccm}$  oder 1,6 %.

Tabelle 17 enthält die Gegenüberstellung der Eigenschaften des Betons, wie er zu den früher geprüften Säulen verarbeitet worden ist, und des zu den neuen Säulen verwendeten. Ein unmittelbarer Vergleich beider ist schon wegen der verschiedenen Wasserzusätze bei gleichem Alter oder des verschiedenen Alters bei gleichem Wasserzusatz nicht möglich, immerhin ergibt sich aber schon aus dem Umstande, daß die Druckfestigkeit des früheren Betons mit 9,5 % Wasserzusatz bei 45 Tagen Alter 189 kg/qcm betragen hat gegen 242 kg/qcm des neuen Betons mit ebenfalls 9,5 % Wasserzusatz, aber bei nur 28 Tagen Alter, daß der neue Beton wesentlich größere Druckfestigkeit besaß, wie der früher verwendete. Bestätigt wird diese Beobachtung noch dadurch, daß bei übereinstimmendem Alter von 28 Tagen der frühere Beton mit 7 % Wasserzusatz nur 264 kg/qcm Festigkeit erreichte, der neue Beton dagegen trotz des höheren Wasserzusatzes von 8,2 % 292 kg/qcm.

Tabelle 17.

### Vergleich der beiden Betonsorten aus der früheren und neuen Untersuchung.

		Frühere Untersuchung		Neue Untersuchung	
		weich	erdfeucht	A	B
Bezeichnung des Betons . . . . .		9,5	7,0	8,2	9,5
Wasserzusatz in % . . . . .		eingestampft		eingestampft	eingefüllt
Art der Herstellung . . . . .					
Mittleres Raumgewicht	Alter g/ccm	37 2,277	27 2,414	28 2,388	28 2,349
Mittlere Druckfestigkeit	Alter kg/qcm	45 189	28 264	28 292	28 242

## E. Festigkeitsversuche mit den Säulen.

Die Prüfungen wurden wieder auf der 600-t-Maschine, Bauart Borsig, ausgeführt unter Beibehaltung des S. 13 beschriebenen Abgleichverfahrens der Endflächen der Säulen mit Gips in der Maschine selbst. Die Druckkraft wurde unter wiederholtem Entlasten stufenweise gesteigert und sofort nach Erreichung jeder Stufe wurden

- a) die Längenänderungen für zwei diametral gegenüber liegende Meßstrecken und
- b) die Querdehnungen in drei verschiedenen Querschnitten gemessen.

### 1. Einrichtungen zum Messen der Formänderungen.

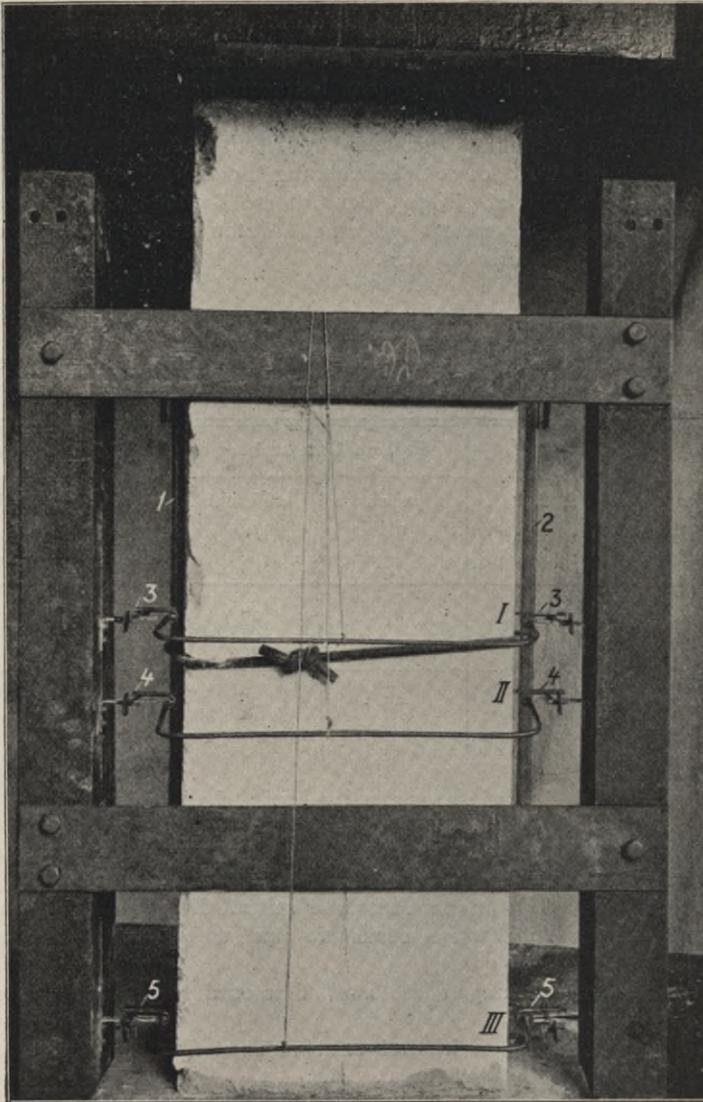
Abb. 53 und 54 zeigen eine Säule mit den Meßapparaten.

- a) Zur Ermittlung der Längenänderungen dienten wie bei den früheren Versuchen wieder Martenssche Spiegelapparate 1 und 2 Abb. 53 und 54 mit besonders hergerichteten Böcken zur Aufnahme der Schneiden der Meßfedern und mit Meßfedern aus Aluminiumrohr für 50 cm Meßlänge.

<sup>1)</sup> Bei der guten Uebereinstimmung der Einzelwerte erscheint der Vergleich der Mittelwerte trotz der verschiedenen Anzahl der Einzelbeobachtungen zulässig.

b) Die Querdehnungen wurden abweichend von dem früheren Verfahren wie folgt gemessen. Neben der Säule wurden in Spitzen auf der unteren Druckplatte zwei durch Quereisen verbundene U-Eisen aufgestellt und beobachtet, um wieviel die Endpunkte der Meßstrecken sich diesen U-Eisen näherten (positive Beobachtung) oder von ihnen entfernten (negative Beobachtung); die algebraische

Abb. 53. Anordnung der Meßvorrichtungen.



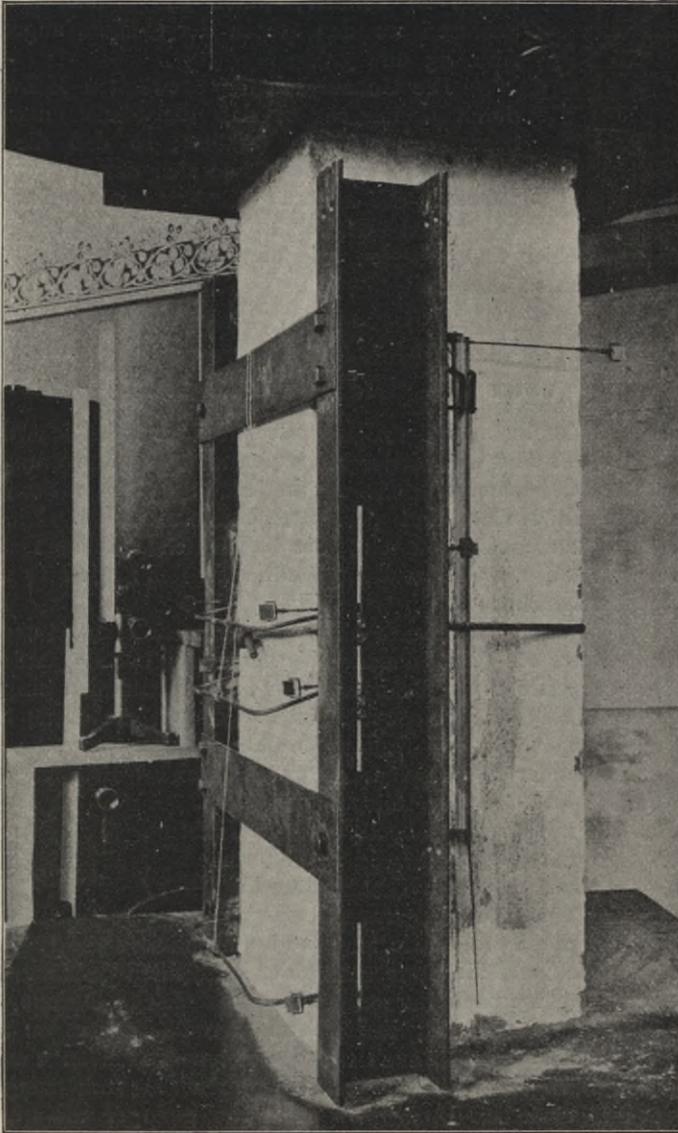
- 1 u. 2 Marten'scher Spiegelapparat zum Messen der Längenänderung.  
 3—5 Apparate zum Messen der Querdehnungen, hiervon  
 4 u. 5 in Querschnitten mit Querbewehrung und  
 3 im Querschnitt ohne Querbewehrung (s. a. Abb. 54.)

Summe beider zusammengehörigen Beobachtungen lieferte dann die Größe der Querdehnung.  $\frac{\Delta l}{l}$

Zur Bestimmung der Bewegungen in fünfhundertfacher Vergrößerung dienen Spiegelapparate, deren rhombische Messkörper *S* Abb. 55 zwischen den mit dem

U-Eisen fest verbundenen Winkeln  $a$  und den Eisenstäben  $b$  eingeschaltet wurden. Die Stäbe  $b$  standen in den Endpunkten der Meßstrecken mit Schneiden gegen die Säule und wurden an den hakenförmigen Ansätzen  $c$  durch die an Schnüren

Abb. 54. Anordnung der Meßvorrichtungen.

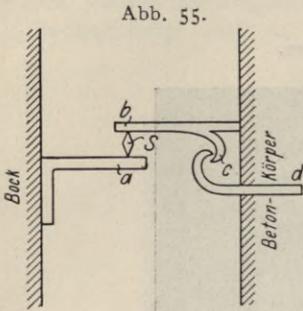


aufgehängten, federnden Bügel  $d$  gehalten und zugleich gegen die Meßkörper  $S$  der Spiegelapparate angedrückt.

Die Stützlinien der Stäbe  $b$  waren bei den bewehrten Säulen gegeben durch Nuten in den Stirnflächen der an den Bewehrungen angebrachten Zapfen (s. S. 77 und Abb. 50—52 a).

Bei den Säulen ohne Bewehrung standen die Schneiden der Stäbe  $b$  unmittelbar auf dem Beton.

Bei allen Säulen sollten die Querschnitte bzw. Meßstrecken bei 4 um 35 cm, bei 3 um 47,5 cm und bei 7 um 5,5 cm von der unteren Druckfläche entfernt liegen. Abweichungen hiervon waren dadurch veranlaßt, daß die Querbewehrungen beim Stampfen des Betons sich verschoben hatten. Um den hierdurch bedingten Höhenunterschieden beim Aufstellen der Meßapparate Rechnung tragen zu können, waren die Winkel  $a$  Abb. 55 in Schlitz an den Stegen der U-Eisen angeordnet (s. a. Abb. 53 und 54).



Die Genauigkeit der gewählten Meßweise ist dadurch beeinträchtigt, daß die Säule unter der Druckbeanspruchung sich verkürzt, so daß die Stützpunkte der Stäbe  $b$  an der Säule sich der Druckplatte nähern, während der Abstand des Stützpunktes für den Spiegelträger am Winkel  $a$  unverändert bleibt. Die hier-

durch veranlaßten Fehler sind indessen, wie die Rechnung ergibt, so gering, daß sie vernachlässigt werden können.

## 2. Längenänderungen der Säulen bei den verschiedenen Bewehrungen unter den gleichen Belastungen.

Die Längenänderungen sind an zwei oder drei der fünf gleichartig bewehrten Säulen 14, 15, 16, 18 und 19 wieder bei stufenweiser Laststeigerung, beginnend mit 5910 kg Nullast, bestimmt, und zwar in jeder Stufe bei mehrmaligem Lastwechsel zwischen der Nullast und der betreffenden Laststufe. Die hierbei ermittelten Gesamtverkürzungen  $-\lambda$  und die bleibenden Verkürzungen  $-\lambda'$  sind in Tabelle 18 (s. S. 84 u. 85) zusammengestellt. An den Säulen 17 und 20 sind keine Messungen ausgeführt.

In Abb. 56 sind die Mittelwerte für die Gesamtverkürzungen und in Abb. 57 (S. 92) die Mittelwerte für die bleibenden Verkürzungen bei steigender Belastung, beobachtet bei der erstmaligen Beanspruchung, zu Schaulinien aufgetragen und zwar sind hierbei die Beobachtungswerte Tabelle 18 um die durch Extrapolation erhaltenen Verkürzungen für die Nullast erhöht. Ordnet man die untersuchten Säulen nach wachsender Zusammendrückung bei gleicher Belastung, so gelangt man nach Abb. 56 zu folgender Reihenfolge:

- |  |  |
|--|--|
| 1. Säulen 14 mit Umfangsbügeln in Schleifenform                  | } und 4 Rundeisen als<br>Längsbewehrung. |
| 2. „ 16 mit Diagonalbügeln in S-Form                             |  |
| 3. „ 15 mit einfachen Umfangsbügeln                              |  |
| 4. „ 18 ohne jede Bewehrung,                                     |  |
| 5. „ 19 mit Spiralumwicklung und 8 Rundeisen als Längsbewehrung. |  |

Weniger deutlich sind die Unterschiede der bleibenden Verkürzungen Abb. 57, doch ergibt sich auch hiernach im wesentlichen die gleiche Ordnungsfolge.

Dieses Ergebnis deckt sich insofern mit den Beobachtungen an den 2 m langen Säulen (s. Tabelle 5), als auch unter letzteren die Säulen ohne Bewehrung die größten Verkürzungen lieferten; dagegen waren die Verkürzungen der 2 m langen Säulen mit einfachen Umfangsbügeln etwas geringer als die der Säulen mit Umfangsbügeln in Schleifenform.

## 3. Querdehnungen der Säulen bei den verschiedenen Bewehrungen unter den gleichen Belastungen.

Die bei den einzelnen Laststufen nach wiederholtem Lastwechsel zwischen der Nullast (5910 kg) und der betreffenden Laststufe erreichten gesamten, federnden und bleibenden Querdehnungen in  $\text{cm } 10^{-5}$  sind in Tabelle 19—21 (s. S. 86—91) zusammengestellt, und zwar getrennt für die drei Meßstellen:



Beobachtete Längenänderungen der Säulen bei wiederholtem Lastwechsel.

(Die Beobachtungen begannen von 5910 kg Anfangs-[Null]-Last ab.)

Wechsel zwischen der Nulllast (5910 kg) und angegebener Laststufe	Säule Nr.	Gesamtverkürzung (-Δ) in 10 <sup>-5</sup> bei Belastungsreihe					Bleibende Verkürzungen (-Δ') in 10 <sup>-5</sup> bei Belastungsreihe	Mittlere Federung für die beiden letzten Lastwechsel in 10 <sup>-5</sup>
		1	2	3	4	5		
17 920	1	376	396	—	—	—	8	368
	3	366	338	336	—	—	8	358
	5	372	392	—	—	—	2	374
Mittel	371	375	[336]	—	—	6	367	
38 910	1	1216	1258	1270	1284	—	86	1144
	3	1168	1184	1238	—	—	92	1022
	5	1282	1240	1370	1390	—	124	1188
Mittel	1202	1227	1293	1335	—	101	1118	
59 890	1	2188	2252	2310	—	—	214	1084
	3	2058	2128	2196	2228	—	272	1814
	5	2334	2404	2440	2484	—	296	2106
Mittel	2193	2261	2315	2356	—	261	1968	
80 720	1	3384	3450	3488	—	—	492	2900
	3	3040	3128	3174	—	—	444	2938
	5	3468	3544	3606	—	—	520	2946
Mittel	3279	3387	3453	—	—	485	2888	
101 550	1	4580	4664	4752	—	—	746	3858
	3	4032	4148	4206	4230	—	570	3550
	5	4714	4832	4944	4996	—	784	4020
Mittel	4442	4548	4634	4613	—	700	3809	
122 380	1	6042	6144	6368	—	—	1108	4954
	3	5120	5248	5324	—	—	782	4382
	5	6060	6336	6496	—	—	1082	5046
Mittel	5741	5909	6063	—	—	991	4794	
142 450	1	7846	8016	8208	—	—	1696	6182
	3	6362	6542	6690	6764	—	1034	5402
	5	7660	8120	—	—	—	1590	6220
Mittel	7289	7559	(7449)	(6764)	—	1440	5955	
163 280	1	—	8086	8264	—	—	2322	6606
	3	7722	—	—	—	—	1416	6224
	5	—	—	—	—	—	1869	(1526)
Mittel	[7722]	[8086]	[8264]	—	—	1869	(1526)	

Langsbewehrung, 4 Umfangsbügel in Schleifenform

Langsbewehrung einfacher Umfangsbügel.

Querdehnungen der Säulen.

Wechsel zwischen der Nulllast (5910 kg) und angegebener Laststufe	Säule Nr.	Gesamtverkürzung (-Δ) in 10 <sup>-5</sup> bei Belastungsreihe					Bleibende Verkürzungen (-Δ') in 10 <sup>-5</sup> bei Belastungsreihe	Mittlere Federung für die beiden letzten Lastwechsel in 10 <sup>-5</sup>
		1	2	3	4	5		
17 920	1	369	359	335	384	—	6	364
	3	386	387	394	396	—	29	302
	5	207	452	483	489	—	21	404
Mittel	321	399	404	406	—	19	377	
38 910	1	1123	1157	1175	—	—	32	1096
	3	1224	1227	1259	1262	—	110	1148
	5	1476	1513	1548	1579	—	159	1336
Mittel	1274	1299	1327	1420	—	100	1193	
59 890	1	1998	2044	2065	—	—	132	1888
	3	2139	2187	2221	2247	—	148	1988
	5	2650	2733	2787	2851	—	394	2366
Mittel	2262	2321	2358	2549	—	225	2081	
80 720	1	2915	2987	3011	—	—	238	2710
	3	3128	3209	3222	3255	—	303	2880
	5	4100	4171	4200	4315	4389	635	3556
Mittel	3381	3456	3498	3780	[4463]	392	3049	
101 550	1	3875	3998	4104	4158	4191	379	3668
	3	4186	4277	4352	4447	4586	438	3868
	5	5647	5895	6149	6257	6373	1028	4936
Mittel	4567	4723	4868	4954	5150	615	4157	
122 380	1	5040	5220	5296	—	—	613	4488
	3	5486	5695	—	—	—	726	4760
	5	7783	8178	—	—	—	1713	6166
Mittel	6103	6364	(5296)	—	—	1017	5138	
142 450	1	6228	6481	6623	—	—	858	5462
	3	7120	—	—	—	—	1294	5822
	5	—	—	—	—	—	—	—
Mittel	6674	[6481]	[6623]	—	—	1076	5642	
163 280	1	7708	—	—	—	—	1184	6324
	3	—	—	—	—	—	—	—
	5	—	—	—	—	—	—	—
Mittel	7708	—	—	—	—	1184	[6324]	

Langsbewehrung, 2 Diagonalbügel in S-Form

Ohne jede Eisenbewehrung

Querdehnungen der Säulen.

Wechsel zwischen der Nulllast (5910 kg) und angegebener Laststufe	Säule Nr.	Gesamtverkürzung (-Δ) in 10 <sup>-5</sup> bei Belastungsreihe					Bleibende Verkürzungen (-Δ') in 10 <sup>-5</sup> bei Belastungsreihe	Mittlere Federung für die beiden letzten Lastwechsel in 10 <sup>-5</sup>
		1	2	3	4	5		
17 920	3	433	445	440	453	—	47	390
	4	475	433	449	453	—	15	406
	5	448	465	484	523	—	27	426
Mittel	435	448	458	488	—	30	407	
38 910	3	1363	1390	1420	1484	—	114	1240
	4	1406	1454	1497	1503	—	112	1384
	5	1537	1617	1647	1669	—	200	1402
Mittel	1442	1487	1521	1552	—	142	1319	
59 890	3	2504	2600	2645	2711	2743	362	2200
	4	2515	2569	2643	2691	2736	289	2292
	5	2829	2843	2895	2946	2999	345	2468
Mittel	2616	2671	2728	2783	2826	332	2320	
80 720	3	3762	3872	3953	4020	4034	608	3268
	4	3779	3880	4014	4087	4107	520	3330
	5	4145	4269	4355	4420	4491	651	3796
Mittel	3895	4007	4107	4179	4220	593	3465	

Langsbewehrung, Spiral-Umwicklung

Querdehnungen der Säulen.

Tabelle 19. Beobachtete Formänderungen der Säulen

(Die Beobachtungen begannen von

I. Gesamt-

Table with columns for Säule Nr., Lastwechsel, and various load levels (17 920 to 163 280 kg). It shows longitudinal decrease and lateral expansion data for multiple columns.

bei wiederholtem Lastwechsel.

5910 kg Anfangs-[Null]-Last ab.)

Formänderungen.

Table with columns for Querdehnungen in cm · 10^-5, gemessen, divided into II (37,5 cm) and III (7,5 cm) from the pressure surface. It shows lateral expansion data for multiple columns under repeated loading.

Tabelle 20.

Beobachtete Formänderungen der Säulen

(Die Beobachtungen begannen von

II. Federnde

Säule Nr.	Lastwechsel	Längenänderung in $\% \cdot 10^{-5}$												Querdehnungen in $\text{cm} \cdot 10^{-5}$ , gemessen											
		bei den überschriebenen Belastungen in kg												I in der Mitte der Säule auf Längsbewehrung in der Mitte zwischen Querbewehrungen											
		17920	38910	59890	80720	101550	122380	142450	163280	17920	38910	59890	80720	101550	122380	142450	163280								
14	1	368	1130	1974	2892	3834	4934	6150	—	54	108	242	350	416	536	634	768								
	2	—	1140	1994	2908	3880	4972	6214	—	—	138	246	358	440	538	648	—								
	3	—	1148	—	—	—	—	—	—	—	154	—	—	—	—	—	—								
14	1	358	1016	1786	2602	3462	4338	5328	6376	74	172	260	334	394	456	532	604								
	2	356	1028	1808	2674	3530	4424	5426	6560	64	164	256	338	392	462	528	616								
	3	—	—	1846	—	3568	—	5496	6652	—	—	266	—	406	—	530	620								
5	1	362	1158	2038	2888	3930	4978	6070	—	122	208	330	428	536	682	798	—								
	2	378	1180	2082	3002	3984	5112	6370	—	108	214	336	448	546	678	812	—								
	3	378	1194	2110	—	4054	—	—	—	84	218	338	—	550	—	—	—								
	4	370	—	—	—	—	—	—	—	86	—	—	—	—	—	—	—								
15	1	386	1192	2040	2936	3936	5020	6196	—	66	190	300	404	518	590	730	—								
	2	384	1204	2072	2976	3898	5084	6496	—	68	190	306	410	506	612	734	—								
	3	—	—	2014	3014	4082	5250	—	—	—	—	416	514	614	—	—	—								
15	1	360	1156	1978	2834	3688	4706	5810	7026	86	248	358	438	510	600	692	782								
	2	364	1176	2032	2910	3804	4792	5940	7202	92	242	352	438	512	596	688	794								
	3	—	1178	—	—	—	—	6032	—	—	244	—	—	—	—	682	—								
5	1	380	1240	2172	3162	4312	5688	7260	—	88	242	368	490	616	778	930	—								
	2	388	1254	2216	3274	4406	5906	—	—	92	240	366	502	628	784	—	—								
	3	—	1276	2250	3308	4514	6076	—	—	—	238	372	500	642	790	—	—								
	4	—	—	—	3318	—	—	—	—	—	—	—	502	—	—	—	—								
16	1	358	1092	1866	2678	3494	4428	5370	6524	68	166	258	362	464	542	654	760								
	2	370	1100	1910	2742	3566	4548	5554	—	76	172	272	362	448	550	642	—								
	3	358	—	—	—	3646	—	—	—	66	—	—	—	474	—	—	—								
	4	—	—	—	—	3688	—	—	—	—	—	—	—	444	—	—	—								
16	1	358	1114	1942	2824	3742	4760	5822	—	88	218	276	338	422	446	540	—								
	2	358	1146	1974	2852	3828	—	—	—	74	206	284	334	414	—	—	—								
	3	366	1148	2000	2908	3824	—	—	—	78	198	270	330	402	—	—	—								
	4	—	—	—	—	3910	—	—	—	—	—	—	400	—	—	—	—								
5	1	186	1318	2306	3466	4618	6070	—	—	30	192	314	466	618	650	—	—								
	2	394	1328	2348	3488	4776	6260	—	—	68	192	318	484	618	772	—	—								
	3	412	1344	2384	3542	4904	—	—	—	68	198	322	472	630	—	—	—								
	4	—	—	—	3534	4968	—	—	—	—	—	—	466	636	—	—	—								
	5	—	—	—	3578	—	—	—	—	—	—	—	472	—	—	—	—								
18	1	372	1194	2054	2980	3952	5130	6386	—	72	200	312	422	524	656	806	—								
	2	386	—	2108	3040	4032	5114	—	—	72	—	312	422	524	652	—	—								
	3	384	—	—	—	4074	—	—	—	80	—	—	—	536	—	—	—								
5	1	390	1306	2214	3250	4424	5922	—	—	52	180	404	558	746	990	—	—								
	2	398	1254	2292	3364	4542	6254	—	—	82	244	416	588	766	1088	—	—								
	3	—	1296	2310	3412	4640	—	—	—	—	256	428	600	782	—	—	—								
	4	—	—	—	—	4724	—	—	—	—	—	—	802	—	—	—	—								
19	1	386	1250	2142	3154	4308	5530	6600	—	60	186	298	412	536	682	822	—								
	2	392	1258	2194	3198	4370	5702	—	—	58	184	306	426	560	696	—	—								
	3	—	1222	2192	3256	4412	5760	—	—	—	178	302	420	552	696	—	—								
	4	—	—	2208	3280	4486	—	—	—	—	—	306	418	556	—	—	—								
5	1	410	1294	2226	3260	4382	5640	6886	—	76	216	328	464	578	690	796	—								
	2	402	1290	2238	3254	4438	5712	—	—	78	212	334	462	574	694	—	—								
	3	410	1336	2286	3354	4498	5802	—	—	74	214	340	458	572	708	—	—								
	4	—	—	2298	3384	4522	—	—	—	—	—	344	454	576	—	—	—								
	5	—	—	—	3274	—	—	—	—	—	—	—	452	—	—	—	—								
5	1	422	1358	2484	3494	4728	6044	7600	—	58	184	312	436	558	658	805	—								
	2	432	1390	2450	3576	4682	6284	—	—	60	172	324	436	578	678	—	—								
	3	418	1412	2466	3584	4890	—	—	—	58	186	308	434	570	676	—	—								
	4	—	—	2468	3608	4904	—	—	—	—	—	316	438	558	—	—	—								
	5	—	—	—	—	4916	—	—	—	—	—	—	566	—	—	—	—								

bei wiederholtem Lastwechsel.

5910 kg Anfangs-[Null]-Last ab.)

Formänderungen.

Querdehnungen in $\text{cm} \cdot 10^{-5}$ , gemessen															
II 37,5 cm von der Druckfläche auf Querbewehrung								III 7,5 cm von der Druckfläche auf Querbewehrung							
bei den überschriebenen Belastungen in kg															
17920	38910	59890	80720	101550	122380	142450	163280	17920	38910	59890	80720	101550	122380	142450	163280
68	162	318	442	562	722	852	1046	48	104	170	282	330	416	508	646
—	192	322	452	580	720	856	—	—	124	202	266	346	420	516	—
—	196	—	—	—	—	—	—	—	130	—	—	—	—	—	—
48	144	230	284	358	424	498	580	28	128	180	224	266	320	376	444
56	140	218	300	360	426	506	594	52	122	178	222	276	324	386	468
—	—	228	—	366	—	512	596	—	—	180	—	278	—	386	472
62	154	254	348	454	558	690	—	36	96	168	226	308	400	508	—
62	156	266	356	450	568	718	—	38	102	176	244	322	428	554	—
58	158	264	—	448	—	—	—	38	104	174	—	334	—	—	—
62	—	—	—	—	—	—	—	40	—	—	—	—	—	—	—
58	188	294	394	482	592	724	—	30	96	150	206	280	358	474	—
62	186	288	386	482	594	750	—	34	100	154	210	280	384	512	—
—	—	—	388	498	596	—	—	—	—	—	212	290	400	—	—
74	212	306	370	442	508	570	674	58	146	210	264	312	368	442	524
74	210	314	382	452	518	586	684	54	142	220	268	320	376	458	558
—	212	—	—	—	—	592	—	—	144	—	—	—	—	466	—
86	244	354	454	550	686	878	—	60	164	234	288	354	430	644	—
82	230	346	456	560	706	—	—	56	166	230	290	358	486	—	—
—	234	344	458	570	716	—	—	—	166	228	290	366	506	—	—
—	—	—	452	—	—	—	—	—	—	—	286	—	—	—	—
56	156	248	352	456	[642]	648	774	36	106	164	226	282	350	458	544
54	164	256	342	442	540	674	—	46	110	178	236	310	384	486	—
58	—	—	—	434	—	—	—	46	—	—	—	318	—	—	—
—	—	—	—	440	—	—	—	—	—	—	—	310	—	—	—
50	138	210	272	318	394	488	—	46	130	188	274	358	464	594	—
48	132	208	268	322	—	—	—	46	138	204	276	392	—	—	—
52	142	212	260	326	—	—	—	52	136	204	300	380	—	—	—
—	—	—	—	322	—	—	—	—	—	—	—	402	—	—	—
28	198	326	452	590	756	—	—	14	116	194	276	364	484	—	—
64	200	326	454	596	784	—	—	34	118	162	288	384	506	—	—
70	204	326	458	608	—	—	—	38	1						



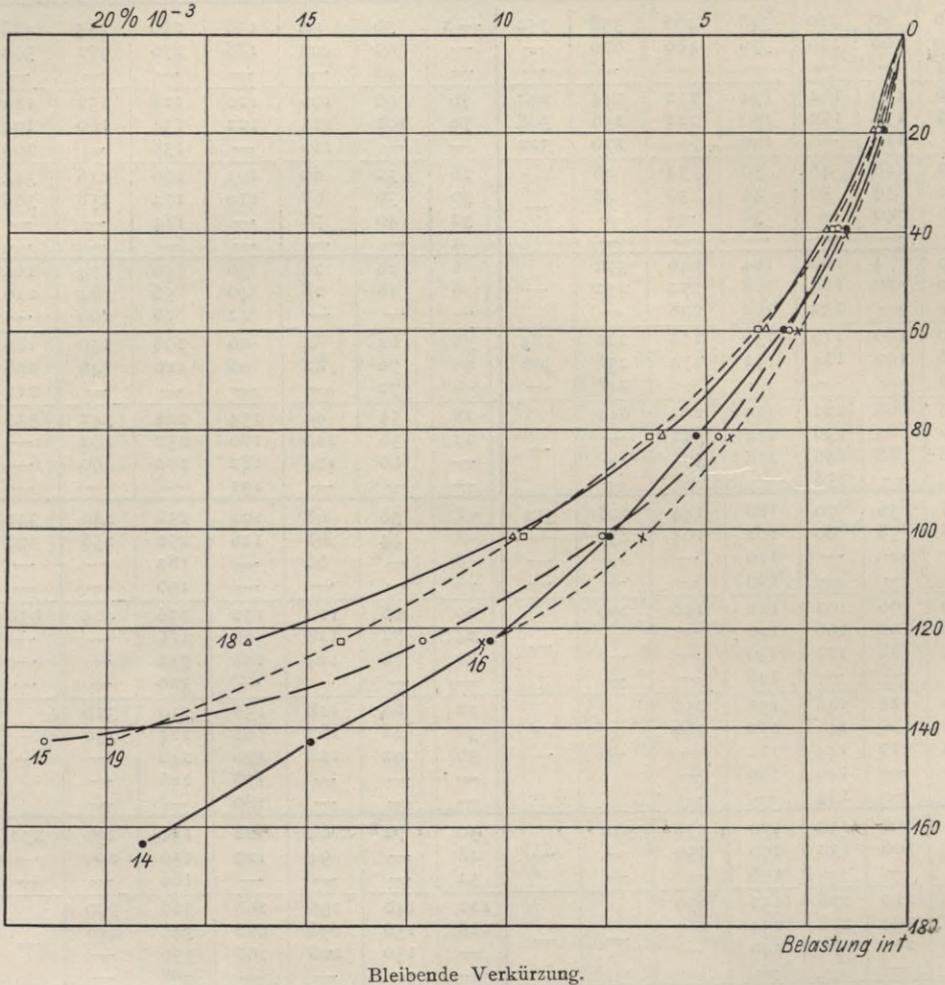
bewehrten Säulen 18, sondern auch bei allen bewehrten von dem Ende der Säule (Meßstelle III) nach der Mitte hin zunehmen, d. h. daß die Säulen die bei Druckversuchen bekannte Ausbauchung zeigen.

Nach Abb. 58 a u. b nimmt diese Ausbauchung (Unterschied zwischen den drei Messungen) naturgemäß mit wachsender Belastung zu.

Der Einfluß der Bewehrungen macht sich insofern deutlich geltend, als die Säulen 18 ohne jede Bewehrung von Anfang an die größten Querdehnungen

Abb. 57.

Mittlere bleibende Verkürzung der verschiedenartig bewehrten Säulen bei wachsender Belastung. Die Nummern der zugehörigen Säulen sind an den Enden der Schaulinien angegeben.



zeigten. Im übrigen lassen die Messungen bei II (bewehrter Querschnitt) im Vergleich mit denen bei I (unbewehrt) keinen gesetzmäßigen Einfluß der Bewehrung auf die Querdehnung erkennen innerhalb der Belastungen, bis zu denen die Messungen fortgesetzt worden sind.

In Tabelle 23 (s. S. 93) sind die Mittelwerte für die drei Meßstellen I bis III zusammengestellt und in Abb. 59 zu Schaulinien aufgetragen. Die Lage der Linien zueinander zeigt, daß die Säulen 18 ohne jede Bewehrung die größten und die Säulen 16 mit Diagonalbügeln in S-Form die geringsten Ouerdehnungen aufweisen; dazwischen stehen die Säulen 19 mit Spirale, 14 mit Umfangsbügeln in

Tabelle 22.

Mittlere prozentuelle Querdehnungen der Säulen  
gleicher Bewehrung.

(Die Werte sind von der Anfangs-[Null-]Last = 5910 kg ab beobachtet.)

Säule Nr.	Meß- stelle	Mittlere Querdehnung in $\% \cdot 10^{-7}$ bei den überschriebenen Belastungen in kg							
		17 920	38 910	59 890	80 720	101 550	122 380	142 450	163 280
14	I	332	702	1032	1472	1954	2404	2962	—
	II	298	782	1238	1748	2246	2870	3390	
	III	244	606	956	1314	1738	2274	2844	
15	I	338	950	1464	1934	2430	3092	3822	—
	II	312	854	1302	1692	2262	2950	3896	
	III	194	576	870	1166	1526	2156	2814	
16	I	292	712	1064	1426	1822	[2534]	—	(2784)
	II	240	602	902	1210	1528	2000	2082	
	III	170	500	792	1122	1542	2124	2732	
18	I	584	1206	1852	2526	3418	5004	—	(3926)
	II	500	1070	1660	2274	2778	3782	4086	
	III	464	852	1238	1634	2016	2440	3766	
19	I	214	838	1328	1828	2448	3136	3728	—
	II	266	804	1320	1874	2526	3200	3856	
	III	198	608	996	1364	1700	2066	2336	

Tabelle 23.

Mittlere prozentuelle Gesamtquerdehnungen an den Meß-  
stellen I bis III.

Säule Nr.	Mittelwerte in $\% \cdot 10^{-7}$ bei den Belastungen in kg						
	17 920	38 910	59 890	80 720	101 550	122 380	142 450
14	291	697	1075	1511	1972	2516	3065
15	281	793	1212	1597	2073	2733	3511
16	234	605	919	1253	1631	2062	2407
18	516	1043	1583	2145	2737	3742	3926
19	226	750	1215	1689	2225	2801	3307

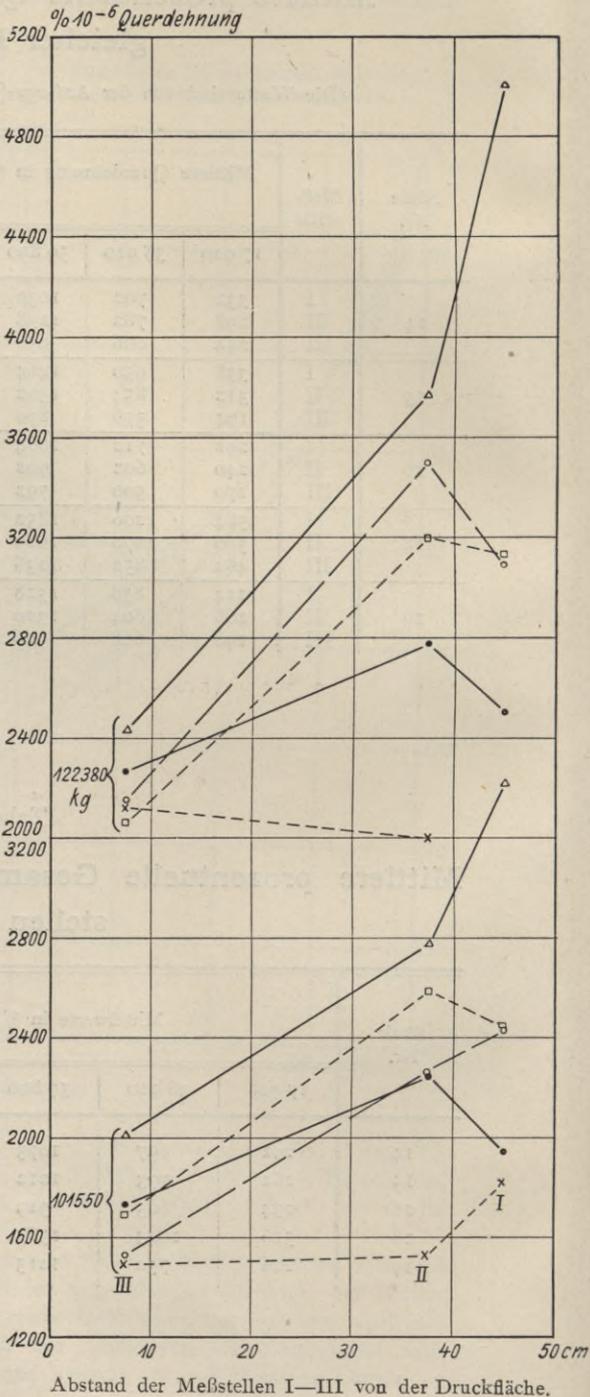
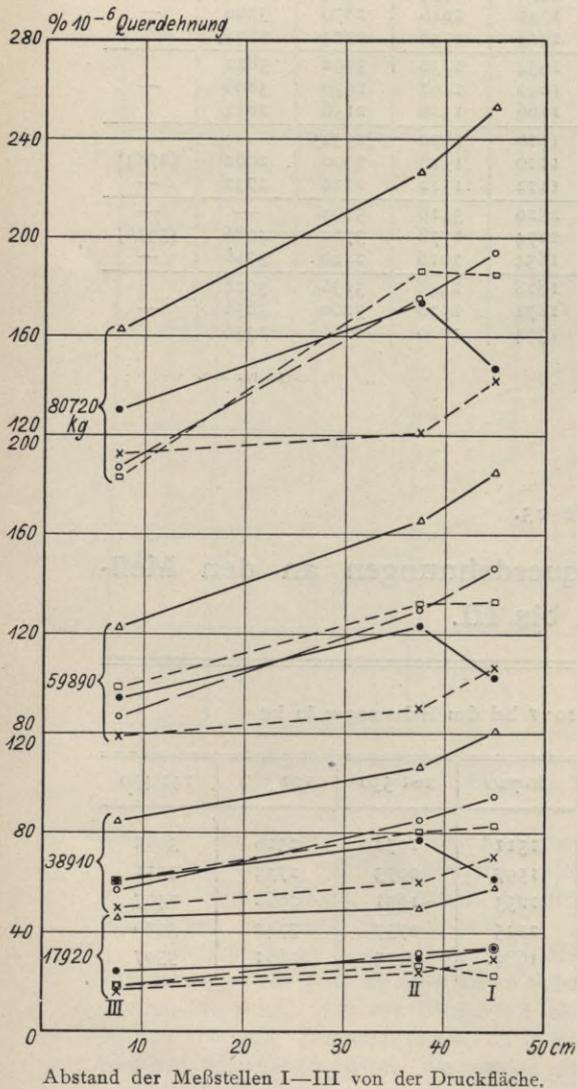
Abb. 58a und b.

Querdehnung der Säulen in den verschiedenen Abständen I—III von der Druckfläche, bei gleichen Belastungen.

- ——— ● Säule 14 mit Umfangsbügeln in Schleifenform.
- ——— ○ „ 15 mit einfachen Umgangsbügeln.
- × ——— × „ 16 mit Diagonalbügeln in S-Form.
- △ ——— △ „ 18 ohne jede Bewehrung.
- ——— □ „ 19 mit Spiralumwicklung.

Fig. 58t.

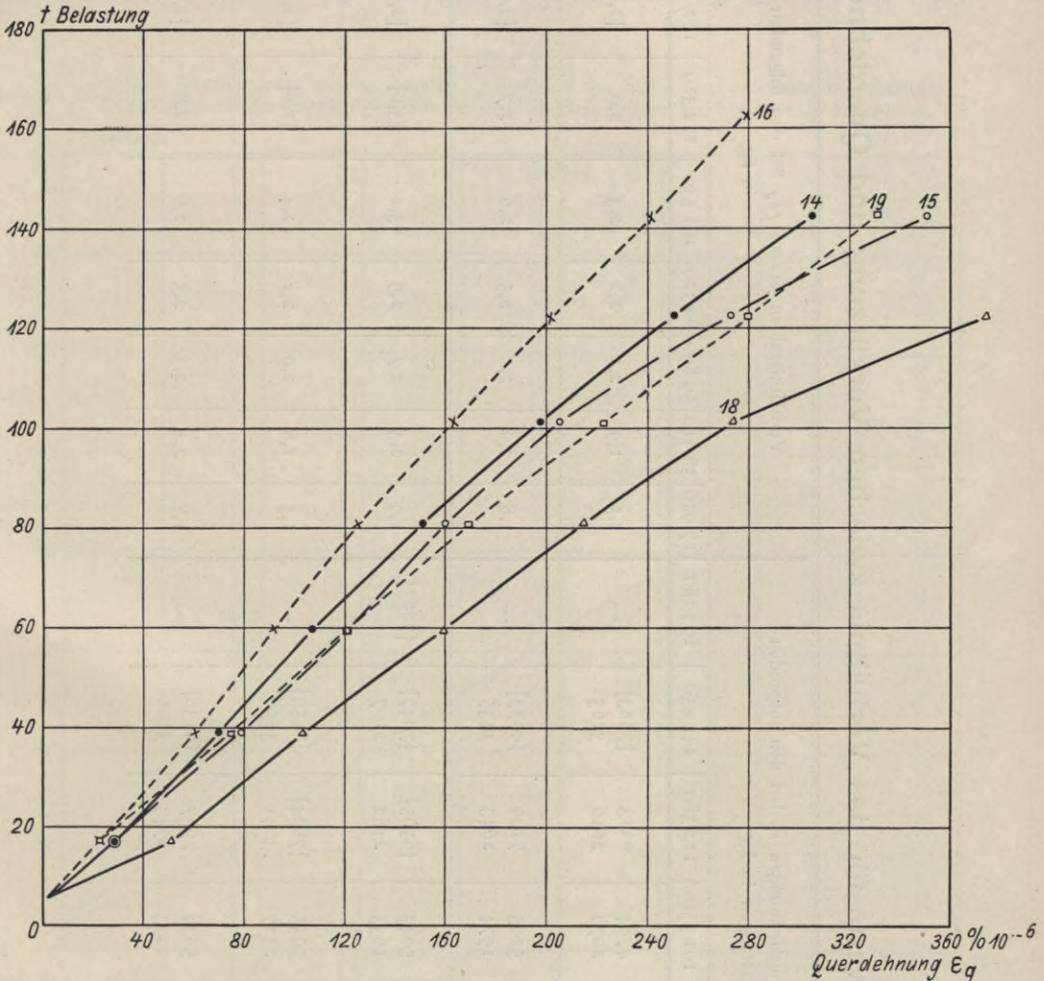
Abb. 58a.



Schleifenform und 15 mit einfachem Umfangsbügel. Zieht man nur die an der Meßstelle I (Mitte Säule) erhaltenen Werte in Betracht (s. Abb. 60), so ergibt sich folgende Einordnung der Säulen nach wachsender Querdehnung: 16, 14, 19, 15, 18. Sie stimmt mit der nach Abb. 59 überein, wobei nicht unerwähnt

Abb. 59.

Mittlere Querdehnung der verschiedenartig bewehrten Säulen bei wachsender Belastung. Die Nummern der zugehörigen Säulen sind an den Enden der Schaulinien angegeben.



bleiben möge, daß die Säulen 16 und 14 bei der ersten Laststufe verhältnismäßig große Querdehnungen zeigen.

#### 4. Verhältnis der Querdehnung zur Längenänderung.

Die Werte für das mittlere Verhältnis der Querdehnungen  $\epsilon_q$  zu den Längenänderungen  $\epsilon_l$  enthält Tabelle 24 (s. S. 96). Hierbei sind die Werte für  $\epsilon_q$  aus den Beobachtungen für die beiden Messungen II und III in bewehrten Querschnitten ermittelt, und zwar ebenso wie die Werte für  $\epsilon_l$  unter Berücksichtigung der durch Extrapolation ermittelten Formänderungen für die Anfangslast = 5910 kg. Die Zahlen sind nur rohe Annäherungswerte, einmal weil die Meßlänge für die Querdehnungen nicht scharf begrenzt ist und dann weil die Verkürzung der Säule als

Tabelle 24. Annäherungswerte für das Verhältnis zwischen Verkürzung und Querdehnung.

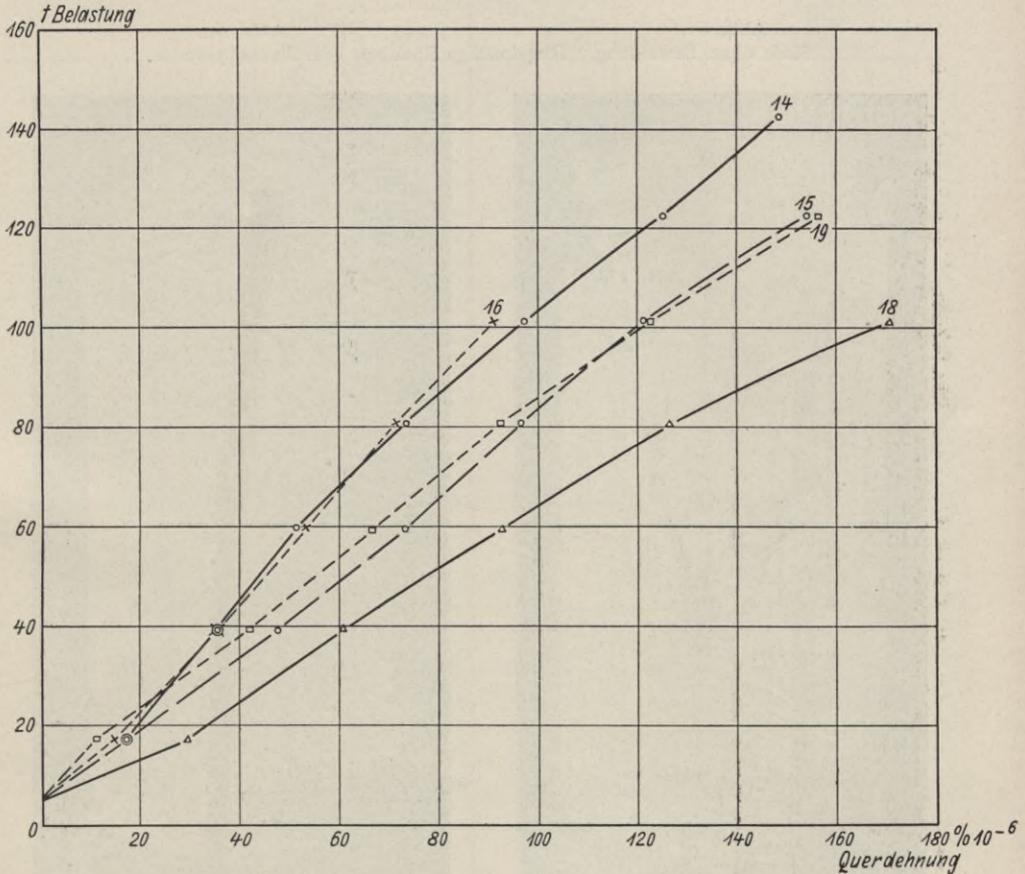
Säule Nr.	Mittel- werte für	Verkürzungen $\epsilon_l$ und Querdehnungen $\epsilon_q$ bei den folgenden Belastungen in kg										Verhältniszahlen $m = \epsilon_l / \epsilon_q$ bei den folgenden Belastungen in kg									
		17 920	38 910	59 890	80 720	101 550	122 380	142 450	163 280	17 920	38 910	59 890	80 720	101 550	122 380	142 450	163 280	Mittel			
14	$\epsilon_l$	525	1443	2465	3573	4784	6213	[7823]	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,1			
	$\epsilon_q$	391	797	1175	1611	2079	2616	3165	—	—	—	—	—	—	[2,5]	—	—				
15	$\epsilon_l$	615	1541	2608	3817	5205	7109	[9073]	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,3			
	$\epsilon_q$	333	785	1166	1509	1974	2643	3435	—	—	—	—	—	—	[2,6]	—	—				
16	$\epsilon_l$	579	1502	2533	3673	5043	[6565]	[7047]	[7883]	—	—	—	—	—	—	—	—	2,7			
	$\epsilon_q$	305	651	947	1266	1635	2162	2507	2507	—	—	—	—	—	[2,8]	—	—				
18	$\epsilon_l$	615	1623	2755	4053	5655	[7824]	[8459]	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,0			
	$\epsilon_q$	412	891	1379	1874	2327	3041	3856	—	—	—	—	—	—	[2,2]	—	—				
19	$\epsilon_l$	618	1681	2888	4267	5834	7667	[9136]	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,4			
	$\epsilon_q$	342	816	1268	1729	2223	2743	3206	—	—	—	—	—	—	[2,8]	—	—				

über die ganze Länge verteilt angenommen werden mußte, während tatsächlich den beiden Meßstellen für die Bestimmungen der Querdehnung verschiedene Werte für die Verkürzung an der betreffenden Stelle zukommen, wie schon aus der vorstehend erörterten Ausbauchung der Säulen sich ohne weiteres ergibt.

Unter Hinweis auf Tabelle 10 (s. S. 46) möge hervorgehoben sein, daß die Verhältniszahl  $m$  bei diesen Versuchen Reihe II wesentlich kleiner gefunden ist, als bei der früheren Versuchsreihe I; für die unbewehrten Säulen sind die Werte z. B. 2,0 und 7,0. Es erscheint nicht ausgeschlossen, daß sich hier die Unter-

Abb. 60.

Mittlere Querdehnung im unbewehrten Querschnitt der Säulen bei wachsender Belastung. Die Nummern der zugehörigen Säulen sind an den Enden der Schaulinien angegeben.



schiede in den Raumgewichten der zu den beiden Reihen verwendeten Betonarten bemerkbar machen derart, daß bei gleicher Verkürzung das Material geringerer Dichte mehr in sich zusammengepreßt wird und sich daher weniger seitlich ausdehnt als Material von größerer Dichte. Die Raumgewichte waren aber bei Reihe I: im Würfel (s. Tabelle 2, S. 13) = 2,273 und in Mitte Säule (s. Tabelle 13) = 2,188, bei Reihe II: im Würfel (s. Tabelle 16) = 2,388 und in Mitte Säule (s. Tabelle 17) = 2,277, also bei Reihe II um 4,9 und 4,5 % größer als bei Reihe I. Hierauf wird später bei Besprechung der Säulenfestigkeiten noch zurück zukommen sein. Im übrigen ist  $m$  für die unbewehrten Säulen am kleinsten (2,0), d. h. bei derselben Verkürzung erlitten diese Säulen die größte Querdehnung. Demgegenüber steht Säule 16 mit dem größten Wert für  $m$  (= 2,7), dazwischen stehen die anderen drei Säulen.

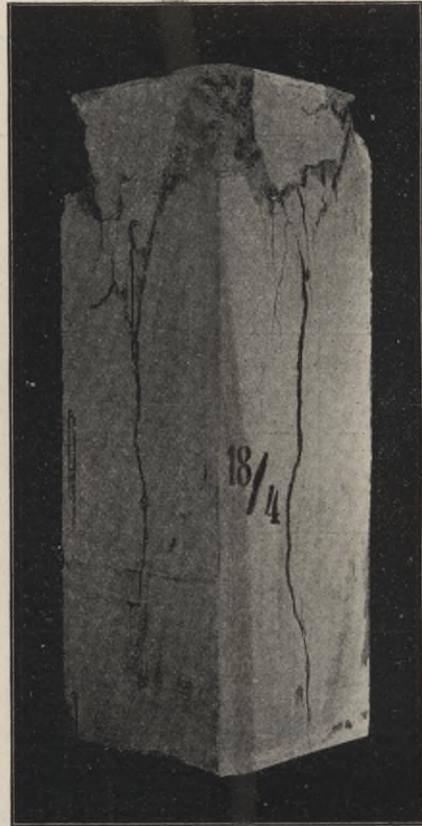
### 5. Die Festigkeit der verschiedenartig bewehrten Säulen.

Die Brüche der Säulen traten ebenso wie bei den 2 m langen Proben weit in der Mehrzahl wieder an dem beim Stampfen nach oben gelegenen Ende ein. Abb. 61—63 zeigen den Verlauf der Zerstörung bei den nicht bewehrten Säulen 18. Sie lassen erkennen, wie über der Druckfläche die Pyramide sich ausbildet (Abb. 63) und die Säule in außerordentlicher Regelmäßigkeit spaltet.

Bei den Säulen 16 mit Diagonalbügeln (Abb. 64) zeigt sich wieder das auch bei Reihe I beobachtete Abschieben des Betons an den Ecken über den Bügeln.

Bei den sechsseitigen Säulen 19 mit Spiralbewehrung Abb. 65 und 66, sowie bei den Säulen 20 mit eingelegten kreisringförmigen Bügeln Abb. 67 und 68

Abb. 61. Säule ohne Bewehrung.      Abb. 62. Regelmäßige Spaltung über Druckpyramide.



bildeten sich ebenfalls Pyramiden über den Druckflächen aus; diese Pyramiden schließen anfangs die Bewehrung ein, bei weiterem Fortschreiten der Zerstörung wird aber der Beton außerhalb der Spirale auf große Länge bis an die Enden heran abgesprengt. Unter der Höchstlast knickten die Längsstangen ein, wobei die Spirale riß, und zwar bei fortschreitendem Zusammendrücken der Säule nach und nach an mehreren Stellen. Die Bruchstellen lagen meist an dem Längseisen und die Drahtenden schnellten zum Teil weit auseinander.

Die beobachteten Belastungen bei Wahrnehmung des ersten Risses und beim Bruch (höchste getragene Belastung) sind in Tab. 25 zusammengestellt und in Abb. 69 (s. S. 104) zu Schaulinien aufgetragen, geordnet nach wachsenden Bruchfestigkeiten.

Tabelle 25.

## Festigkeit der verschiedenartig bewehrten Säulen.

Abmessungen der Säulenquerschnitte und Form der Bewehrungen s. Tabelle 14, S. 74.

Säule Nr.	Art der Bewehrung	Belastung in t bei		Querschnitte in qcm		Mittlere Spannungen in kg/qcm in			
				der Säule $F_b$	der Längs- Eisen- ein- lagen $f_e$	Beton = $\sigma_b$		Eisen = $\sigma_e$	
		Berechnet nach den amtlichen Bestim- mungen							
		$\sigma_b = P : (F_b + 15 f_e)$				$\sigma_e = 15 \cdot \sigma_b$			
		Riß- bildung	Bruch			Riß- bildung	Bruch	Riß- bildung	Bruch
14	1	192,78	192,78	8,04	900	189	192	2840	2880
	2	179,25	180,16						
	3	224,26	224,26						
	4	192,32	204,79						
	5	179,10	181,99						
Mittel		193,54	196,80						
15	1	148,53	172,25	8,04	900	168	173	2520	2600
	2	181,38	183,96						
	3	193,08	193,41						
	4	177,12	180,31						
	5	150,81	153,25						
Mittel		170,18	176,64						
16 <sup>1)</sup>	1	203,12	203,12	8,04	900	182	183	2740	2750
	2	194,91	194,91						
	3	171,80	177,12						
	4	172,25	172,71						
	Mittel		185,52						
17	1	150,97	174,53	8,04	900	164	175	2460	2630
	2	177,73	183,20						
	3	175,60	186,55						
	4	168,30	179,55						
	5	167,54	167,54						
Mittel		168,03	178,27						
18 <sup>1)</sup>	1	160,39	160,39	8,04	900	0	172	172	—
	2	160,24	160,24						
	3	160,85	160,85						
	4	140,17	140,17						
	Mittel		155,41						
19	1	147,32	215,44	7,60	900	188	206	2820	3100
	2	221,21	222,58						
	3	197,19	201,45						
	4	194,30	203,42						
	5	197,80	200,23						
Mittel		191,56	208,62						
20	1	219,69	227,60	7,60	900	193	197	2900	2960
	2	194,45	202,36						
	3	216,80	216,80						
	4	168,15	168,91						
	5	183,05	184,27						
Mittel		196,43	199,99						

<sup>1)</sup> Wegen Undichtigkeit des Druckmesser-Steuerventils bei Prüfung der fünften Säule stieg der Druck unbemerkt an; Bruchlast daher nicht ermittelt.

Aus dem Verlauf der beiden oberen Schaulinien A u. B zeigt sich, daß unter den 90 cm langen Säulen die unbewehrte die geringste Bruchfestigkeit besaß und die achtseitige Säule mit Spirale die größte; der letzteren am nächsten steht die achtseitige Säule mit kreisringförmigen Bügeln.

Unter den Säulen 14—17 mit quadratischem Querschnitt hat diejenige mit einfachen Umfangsbügel die geringste und die mit Umfangsbügel in Schleifenform die größte Festigkeit ergeben. Diese Beobachtung steht im Widerspruch mit den Ergebnissen, die an den 2 m

Abb. 64. Säule mit Diagonalbügel.  
Beton an den Ecken über den Bügel  
abgeschoben.

Abb. 63. Säule ohne Bewehrung.  
Druckpyramide.



langen Säulen 2 und 1 erhalten und durch die dritte Linie C Abb. 69 mit den durch  $\times$  gekennzeichneten Beobachtungspunkten dargestellt sind; nach ihnen lieferte der Schleifenbügel geringere Festigkeiten als der einfache Bügel.

Die nur mit Diagonalbügel bewehrten Säulen 16 lieferten höhere Festigkeit als die Säulen 15 mit einfachen Umfangsbügel. Dagegen brachte die Hinzufügung der Diagonalbügel zum einfachen Bügel (Säule 17) keine nennenswerte Festigkeitserhöhung, die Belastung beim Beginn der Rißbildung wurde sogar heruntergedrückt. Hierin liegt eine Bestätigung der gleichen an den 2 m langen Säulen gemachten Beobachtung und auch wohl des hieran geknüpften Schlusses, daß Anhäufung von mehreren Bügel in demselben Säulenquerschnitt das Eintreten von Rissen begünstigt.

Eine weitere Uebereinstimmung der beiden Reihen mit den 90 cm und 2 m langen Proben liegt darin, daß die Bewehrung mit Ringen (Säulen 20 und 12) zu höheren Festigkeiten führte als diejenige mit Bügeln. Bei den 90 cm langen Säulen Reihe II ergab sich die Festigkeitssteigerung aber

Abb. 65 und 66. Säule mit Spiralbewehrung.

Druckpyramide; Absprengen des Betons außerhalb der Spirale; Einknicken der Längsbewehrung und Reißen der Spirale an Kreuzungsstellen mit Längsbewehrung.



sowohl bei dieser als auch bei allen anderen Bewehrungsarten wesentlich größer als bei den 2 m langen, wie die neben den Beobachtungspunkten in Abb. 69 niedergeschriebenen Werte, die Verhältniszahlen, bezogen auf die gleich 100 gesetzten Werte für die nicht bewehrten Säulen, ohne weiteres erkennen lassen. Die Ursache für die stärkere Wirkung der Bewehrungen bei den Säulen Reihe II dürfte vornehmlich mit Folgendem zu erklären sein. Wie Seite 97 besprochen ist, war

die Querdehnung der Säulen Reihe II für gleiche Verkürzungen größer als bei den Säulen Reihe I, ferner war die Querdehnung bei den bewehrten Säulen bei gleichen Belastungen geringer als bei den unbewehrten, d. h. die Querbewehrung hinderte die Querdehnung zum Teil. Die hiermit verbundene Wirkung der Festigkeitserhöhung mußte aber um so größer sein, je größer die Neigung des Materials war, sich bei Druckbelastung in der Querrichtung auszudehnen und daher bei Reihe II auch in höherer Bruchfestigkeit der Säulen hervortreten als bei Reihe I. Hierzu kommt die sorgfältigere Herstellung der 90 cm langen

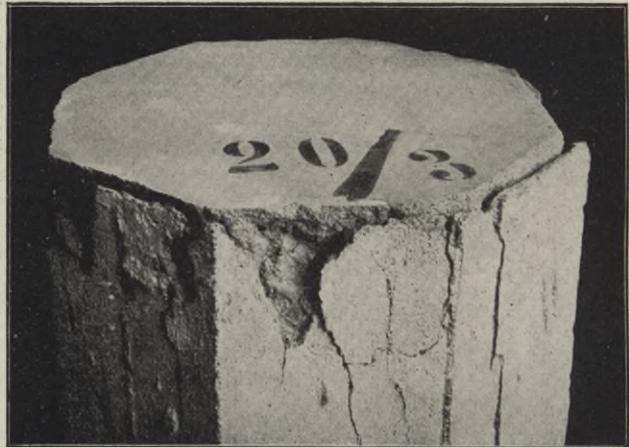
Abb. 67.



Abb. 67 und 68.

Säulen 20 mit kreisringförmigen Bügeln.  
Druckpyramide, Absprengen des Betons außerhalb der Bügel.

Abb. 68.



Säulen, die sich schon darin zu erkennen gab, daß die Bügel beim Stampfen, obgleich sie angebunden waren, sich zwar ebenfalls verschoben hatten, aber nur um etwa 1,5—2 cm, während die Verschiebungen der losen Bügel bei der Reihe I bis zu 10 cm betragen hatten.

Die Unterschiede in den Festigkeiten des zu den Säulen verarbeiteten Zementes und Betons sind schon oben hervorgehoben. Der Uebersichtlichkeit wegen sind die Ergebnisse in Tabelle 26 nochmals gegenübergestellt. Hiernach hat bei Reihe II (90 cm lange Säulen) der normengemäß angemachte Zementmörtel um 17 % höhere Druckfestigkeiten ergeben als der Zement der Reihe I (200 cm lange Säulen).

Die Druckversuche mit Betonwürfeln lassen keinen sicheren Vergleich zu, weil die Proben in beiden Reihen bei verschiedenem Alter geprüft worden sind, immerhin war aber die Würfelfestigkeit des Betons der Reihe II nach 28 Tagen

bereits um 54 % höher als die des Betons der Reihe I nach 45 Tagen (s. auch S. 79). Diese Unterschiede geben ohne weiteres die Erklärung dafür, daß die Bruchfestigkeit der unbewehrten Säulen der Reihe II um 10 % größer war als die der Säulen aus Reihe I.

Tabelle 26.

Vergleich der Festigkeitseigenschaften des zu den 200 cm langen Säulen (Reihe I) verarbeiteten Zementes und Betons mit denen des Materials der 90 cm langen Säulen (Reihe II).

Material verarbeitet zu		Druckfestigkeiten in kg/qcm		
Reihe	Säulen von der Länge in cm	des normengemäßen Zementmörtels nach 28 Tagen	des Betons	
			im Würfel	in den Säulen
I	200	299	189 <sup>1)</sup>	156
II	90	350	292 <sup>2)</sup>	172
Verhältniszahlen, die Werte aus Reihe I = 100		117	(154)	110

<sup>1)</sup> Nach 45 Tagen Erhärtung.

<sup>2)</sup> „ 28 „ „

Zur richtigen Beurteilung der hohen Festigkeiten der Säulen 20 und 19 mit kreisringförmigen Bügeln und Spirale darf nicht außer acht gelassen werden, daß die zu diesen Bewehrungen verwendeten Eisen die außerordentlich hohe Streckgrenze von 6100 und 6210 kg/qcm besaßen, bei Bruchfestigkeiten von 6370 und 6400 kg/qcm, während die Spannungsgrenzen bei den übrigen Eisen wesentlich niedriger liegen (s. Tabelle 15).

Inwiefern die hohe Streckgrenze des Spiraleisens die Bruchfestigkeit der Säule beeinflusst, ergibt sich aus folgendem:

Aus den Ergebnissen Tabelle 23 und den hiernach aufgetragenen Schaulinien Abb. 59 ergibt sich die Querdehnung  $\varepsilon_q$  der Längeneinheit für die spiralbewehrten Säulen bei 196 t, d. h. der Belastung beim Eintreten der ersten Risse, durch Extrapolation zu annähernd  $\varepsilon_q = 0,0005$ . Für diese Dehnung und aus dem Elastizitätsmodul  $E$  des Materials (s. Tabelle 15) berechnet sich die Zugspannung  $\sigma$  des Spiraleisens zu  $\sigma = \varepsilon \cdot E = 0,0005 \cdot 2015000 \cong 1000$  kg/qcm.

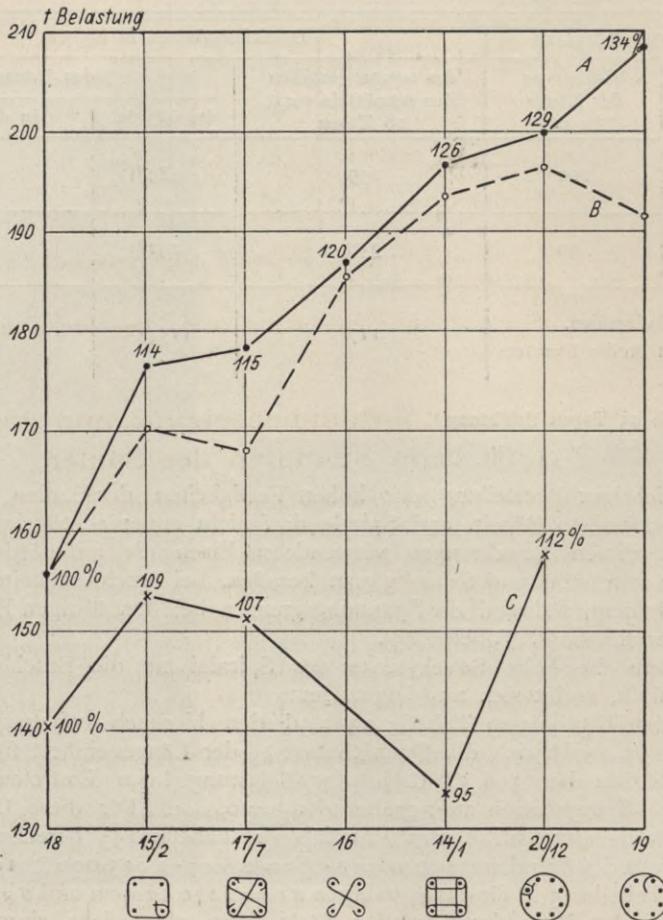
Nach Tabelle 15 ist für das Spiraleisen  $\sigma_P = 2270$  kg/qcm und  $\sigma_S = 6210$  kg; beim Beginn der Rißbildung in der Säule wäre also nicht einmal die Proportionalitätsgrenze, geschweige denn die Streckgrenze des Spiraleisens erreicht worden und die Lage der Streckgrenze demnach ohne Bedeutung. Nun hat sich aber bei den Versuchen mit den Säulen gezeigt, daß deren Bruch (Erreichung der Höchstlast) begleitet war von dem Zerreißen der Spirale an einer Stelle, und bei wiederholtem nochmaligen Belasten riß die Spirale dann auch noch an anderen Stellen (s. Abb. 65 und 66).

Aus den dargelegten Umständen wird man schließen können, daß besonders hohe Festigkeit des Eisens der Spirale den Beginn der Rißbildung in den Säulen nicht dürfte beeinflussen können, wohl aber die Bruchlast der Säule.

Trotz der hohen Festigkeit des zu den Spiralen verwendeten Eisens (s. Tabelle 15) übersteigt die Bruchlast der Säulen (208,6 t) die Belastung bei Beginn der Rißbildung (191,6 t) nur um den Betrag von 17 t.

Die Spannung des Eisens bei der Bruchlast der Säule (208,6 t) an Hand der Schaulinie Abb. 59 durch Extrapolation zu ermitteln, wie es eben für die Belastung von 191,6 t bei der Rißbildung geschehen ist, ist nicht zulässig, denn sobald der Beton zerstört ist und Rißbildungen sich zeigen, wächst die Inanspruchnahme des Drahtes ganz erheblich durch das Abschieben des Betons in den

Abb. 69.  
Festigkeit der Säulen mit verschiedenartigen Bewehrungen.  
----- Beginn der Rißbildung; ————— Bruchlasten.  
Säulenlänge: ● = 90 cm (Reihe II); × = 200 cm (Reihe I).



Nummern der Säulen und Form der Querbewehrungen.

Bruchflächen und durch das Anknicken der Längseisen an der Bruchstelle der Säule (s. Abb. 65 und 66).

Was über die Beanspruchung der Spirale gesagt ist, sollte von den kreisringförmigen Bügeln ebenfalls gelten. Nun sind an den Säulen 20 mit dieser Bewehrungsart leider keine Messungen angestellt und lassen die Versuche daher keinen Schluß zu, wie hoch die Bügel beim Eintreten der Risse beansprucht waren. Auffallend ist es aber, daß diese Säulen höhere Belastungen (196,4 : 191,6), für den Beginn der Rißbildung aber geringere (200 : 208,6) Bruchlasten lieferten als die Säulen mit Spiralbewehrung.

Es liegt nahe, diese Beobachtung damit zu erklären, daß die Hakenbefestigungen an den Enden der Bügeleisen bei höheren Belastungen nachgaben. Dies

ist aber nicht eingetreten, vielmehr sind keinerlei Aufbiegungen an den Haken beobachtet. Vielleicht ist aber die verhältnismäßig geringe Belastung für den Beginn der Rißbildung bei den spiralbewehrten Säulen 19 gegenüber den Säulen 20 mit eingelegten Ringen damit zu erklären, daß die ersteren wiederholten Be- und Entlastungen unterlagen, während die Belastung bei den Säulen 20 stetig bis zum Bruch gesteigert worden ist.

Bezieht man die Festigkeitserhöhung auf je 1 kg Eisen in den Querbewehrungen und auf je 1 kg Gesamtbewehrung, so ergeben sich folgende Werte:

Säule Nr.		14	15	16	17	19	20	
Festigkeits- erhöhung in t durch je 1 kg Eisen <sup>1)</sup>	in Querbewehrung	Rißbildung	7,55	6,59	14,38	3,30	7,64	7,83
		Bruch	8,20	9,48	15,10	5,98	11,25	8,51
	in Gesamtbewehrung	Rißbildung	3,61	1,90	3,94	1,35	3,54	3,90
		Bruch	3,92	2,73	4,14	2,44	5,21	4,24

<sup>1)</sup> Der Berechnung sind die bei Anfertigung der Säulen durch Auswiegen der verwendeten Einlagen festgestellten Gewichte zugrunde gelegt.

Die Festigkeitserhöhung für die Gewichtseinheit der Bewehrung war also bei dem Diagonalbügel am größten.

## F. Veränderungen in der Zusammensetzung und der Dichte des Betons beim Stampfen der Säulen.

Die Beobachtung, daß bei der ersten Versuchsreihe mit den 200 cm langen Säulen sämtliche Proben an dem beim Stampfen nach oben gelegenen Ende zu Bruch gingen, gleichviel ob dieses Ende bei der Prüfung nach oben oder nach unten gelegen war, führte dazu, an besonders zu diesem Zweck gefertigten 200 cm langen Säulen ohne Eiseneinlagen feststellen zu lassen, ob und welche Unterschiede im Wassergehalt, Zementgehalt und in der Dichte des gestampften Betons an beiden Enden und in der Mitte der Säulen bestanden. Besonders handelte es sich darum, festzustellen, ob ungleichmäßige Verteilung von Wasser und Zement in dem Beton infolge des Stampfens eintritt.

Angefertigt wurden, stehend, in den zu Reihe I verwendeten Holzformen (s. Abb. 1) je drei Säulen (s. Tabelle 27, S. 106 u. 107):

I—III aus Beton, enthaltend 1 Rtl. Zement und 2 Rtl. Kies  
 IV—VI „ „ „ 1 „ „ „ 4 „ „  
 VII—IX „ „ „ 1 „ „ „ 6 „ „

Der Wasserzusatz zu dem Beton war bei den drei sonst gleichartigen Säulen verschieden, s. Tabelle 27, die auch die Angaben über den Tag der Fertigung, sowie über die im Herstellungsraum jeweilig herrschende Wärme und den relativen Feuchtigkeitsgehalt der Luft enthält.

Sofort nach beendetem Einstampfen der Säulen wurden ihnen an beiden Enden und in der Mitte (halbe Höhe) Proben zur Bestimmung des Raumgewichtes, des Wassergehaltes und des Zementgehaltes des Betons entnommen.

Die in Tabelle 27 zusammengestellten und in Abb. 70 bis 72 zu Schaulinien aufgetragenen Ergebnisse zeigen folgendes:

1. Der Wassergehalt des Betons, bezogen auf die trockene Masse (Zement und Kies) s. Abb. 70, ist bei allen Proben nach dem Stampfen ganz erheblich geringer als in der ursprünglichen Mischung. Sein Mittelwert, berechnet aus den Einzelwerten für die drei an verschiedenen Stellen der Säulen entnommenen Proben, beträgt nur 67,8% (Säule II) bis 85,9% (Säule IX) des gewählten ursprünglichen Wasserzusatzes. Nach dem Ge-

Tabelle 27.

Veränderungen in der Zusammensetzung und Abmessungen der Säulen

Säulen Nr.	Zusammensetzung des Betons vor dem Stampfen		Wasser-zusatz <sup>1)</sup> %	Herstellung der Säulen			Raumgewichte des getrockneten Betons, entnommen aus der Säule		
	Raumteile			Tag	Wärme	Relativer Feuchtigkeitsgehalt	unten	Mitte	oben
	Zement	Kies-gemisch							
					C°	%			
I			8,0	1909	17	71	2,350	2,345	2,268
				14. VI.			2,312	2,356	2,253
							2,364	2,322	2,356
							2,342	2,341	2,292
II	I	2	9,0	12. VI.	16	65	2,327	2,328	2,272
							2,350	2,292	2,258
							2,356	2,252	2,299
							2,344	2,291	2,276
III			10,5	12. VI.	15	68	2,264	2,274	2,286
							2,295	2,312	2,228
							2,269	2,304	2,178
							2,276	2,297	2,231
IV			7,0	11. VI.	16	85	2,317	2,334	2,228
							2,358	2,308	2,284
							2,355	2,366	2,303
							2,343	2,333	2,272
V	I	4	8,2	11. VI.	16	75	2,266	2,268	2,227
							2,330	2,275	2,222
							2,265	2,289	2,280
							2,287	2,277	2,243
VI			9,5	11. VI.	16	70	2,296	2,230	2,204
							2,231	2,283	2,222
							2,211	2,215	2,125
							2,246	2,242	2,187
VII			6,5	15. VI.	18	55	2,260	2,297	2,131
							2,285	2,232	2,269
							2,289	2,309	2,279
							2,278	2,279	2,226
VIII	I	6	7,5	14. VI.	17	72	2,311	2,214	2,200
							2,308	2,235	2,257
							2,277	2,275	2,229
							2,299	2,256	2,229
IX			8,5	14. VI.	17	70	2,205	2,218	2,184
							2,177	2,235	2,172
							2,205	2,187	2,245
							2,200	2,213	2,200

1) Bezogen auf die trockene Mischung.

Dichte des Betons beim Stampfen der Säulen.

Länge = 200 cm, Querschnitt = 30 × 30 cm.

Wassergehalte des Betons unmittelbar nach dem Stampfen der Säulen bezogen auf das trockene Material						Zementgehalte des Betons unmittelbar nach dem Stampfen der Säulen bezogen auf geblühten und kohlenstofffreien Zement					
unten	Mitte	oben	Mittel	Verhältnis des Wassergehaltes zum ursprünglichen Wasserzusatz		unten	Mitte	oben	Mittel	Verhältnis des Zementes zur ursprünglichen Menge	
				Einzelwerte	Gesamt-Mittel					Einzelwerte	Gesamt-Mittel
5,4	6,3	6,8	6,2	77,5		24,8	25,4	26,9	25,7	77,1	
5,6	6,5	6,2	6,1	67,8	75,7	25,1	22,9	24,4	24,1	72,3	75,9
7,8	8,8	9,2	8,6	81,9		24,5	27,1	26,6	26,1	78,3	
4,9	5,8	5,9	5,5	78,6		15,1	14,5	15,3	15,0	75,0	
5,6	5,8	6,8	6,1	74,4	74,2	15,8	16,0	17,0	16,3	81,5	79,2
6,2	6,4	7,2	6,6	69,5		15,6	16,3	16,6	16,2	81,0	
5,4	5,5	5,0	5,3	81,5		13,0	13,7	15,9	14,2	71,0	
6,0	5,9	6,0	6,0	80,0	82,5	12,6	12,4	12,3	12,4	62,0	65,8
6,0	7,5	8,3	7,3	85,9		12,6	12,2	13,9	12,9	64,5	

samtmittel für die drei Säulen gleicher Betonmischung weist der magerste Beton (1 : 6) den geringsten Wasserverlust d. h. den größten Wert (82,5 %) für das Verhältnis zwischen Wasserezusatz und Wassergehalt nach dem Stampfen auf; bei den beiden anderen Mischungen ist das Verhältnis nahezu gleich (75,7 für 1 : 2

Abb. 70.  
Wassergehalte des Betons an drei Stellen der Säulen.  
Lage in den Säulen:  
u = unten;  
m = halbe Höhe;  
o = oben.  
Die Prozentzahlen bedeuten den ursprünglichen Wasserezusatz zum Beton.

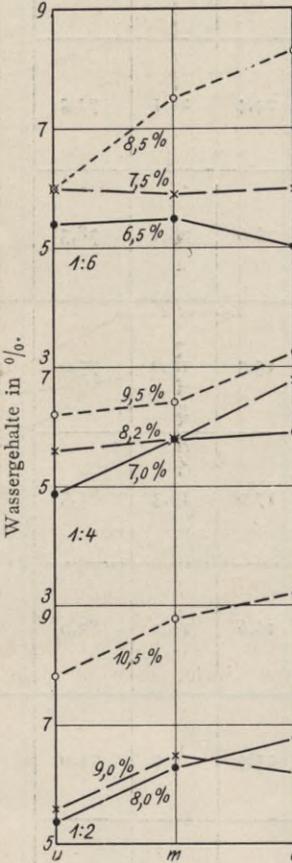
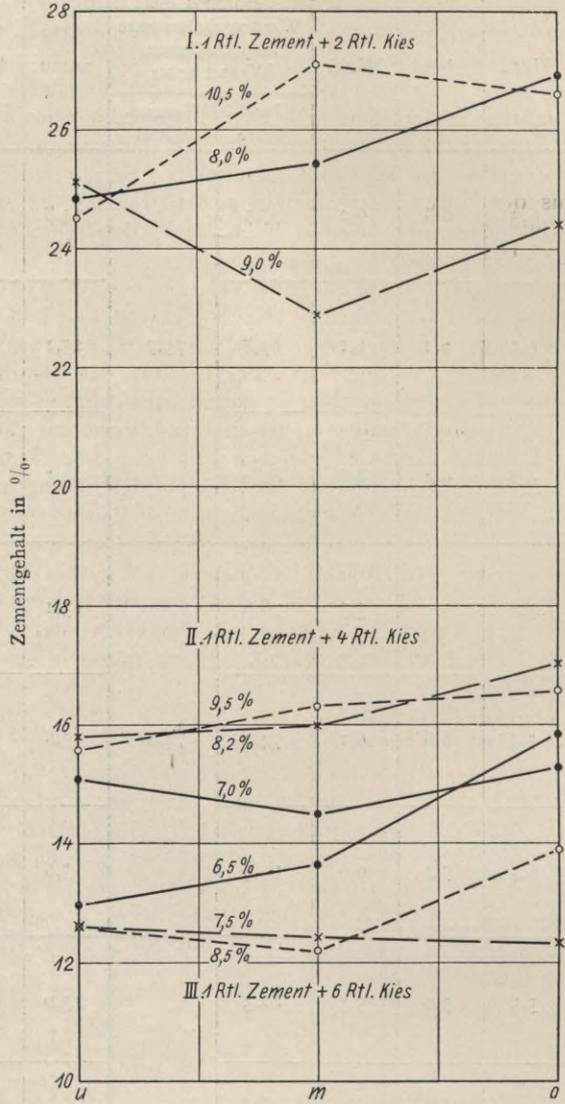


Abb. 71. Zementgehalt des Betons in verschiedenen Höhenlagen der Säulen.  
u = unten; m = Mitte Säule; o = oben.  
Die Prozentzahlen bedeuten den ursprünglichen Wasserezusatz zum Beton.



und 74,2 für 1 : 4). Ein Teil des fehlenden Wassergehaltes wird chemisch gebunden sein, indessen dürfte dieser Betrag nur gering sein, da die Proben unmittelbar nach dem Stampfen entnommen worden sind, während der verwendete Zementmörtel bei ruhigem Stehen erst nach 5 Stunden abzubinden begann und seine Bindezeit 10 1/2 Stunden betrug (s. Anlage 4, S. 115).

2. Der Wassergehalt des gestampften Betons nahm im allgemeinen vom unteren Ende der Säulen nach oben hin stetig zu (s. Abb. 70). Bei den beiden fetteren Betonsorten aus 2 und 4 Rtl. Kies auf 1 Rtl. Zement ist diese Wasseranreicherung nach oben in allen sechs Säulen annähernd gleich groß, d. h. von dem ursprünglichen Wasserzusatz anscheinend unbeeinflusst. Ebensogroß zeigte sie sich bei dem mageren Beton aus 6 Rtl. Kies auf 1 Rtl. Zement und bei 8,5<sup>0</sup>/<sub>0</sub> Wasserzusatz, während dieser Beton, wenn er mit nur 6,5 und 7,5<sup>0</sup>/<sub>0</sub> Wasser angemacht worden war, an den drei verschiedenen Stellen der Säulen annähernd den gleichen Wassergehalt aufweist.

Zu beachten bleibt, daß auch hier die chemische Bindung des Wassers von Einfluß gewesen sein wird, und zwar um so mehr, als die Zeit vom Beginn des Stampfens bis zur Probenentnahme bei dem Beton aus dem unteren Säulenende größer war, als bei dem unmittelbar nach dem Stampfen aus dem oberen Säulenende entnommenen Beton.

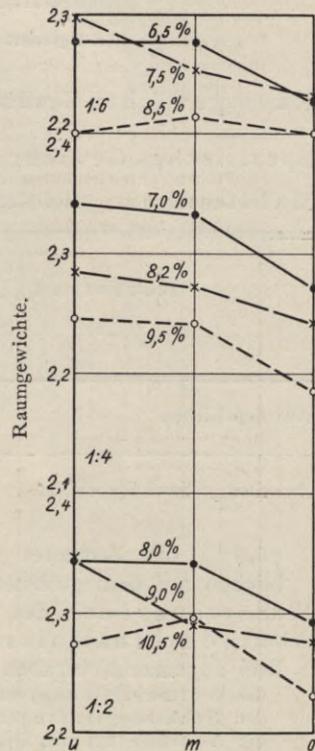
3. Der Zementgehalt des gestampften Betons nimmt im allgemeinen nach dem oberen Ende der Säulen hin etwas zu (s. Abb. 71). Ein merklicher Einfluß des ursprünglichen Wasserzusatzes zum Beton tritt hierbei nicht zutage. Ebensowenig lassen die Mittelwerte für die je drei Säulen aus der gleichen Mischung von Zement und Kies erkennen, daß die Zementanreicherung nach oben durch den Magerungsgrad des Betons gesetzmäßig beeinflußt worden ist. Wohl aber möge an Hand der Verhältniszahlen Tabelle 27 darauf hingewiesen sein, daß der bei Herstellung der Säulen eingetretene Verlust an Zement sich umgekehrt stellt, wie der Verlust an Wassergehalt. Es ist nämlich bei

Mischung 1 : 4; 1 : 2; 1 : 6;  
 der Wasserverlust = 25,8; 24,3; 17,5<sup>0</sup>/<sub>0</sub> und  
 der Zementverlust = 20,8; 24,1; 34,2<sup>0</sup>/<sub>0</sub>.

Es erscheint nicht ausgeschlossen, daß die Ergebnisse dieser Versuchsreihe dadurch beeinflußt worden sind, daß die Proben aus verschiedenen Höhen der einzelnen Stampfschichten entnommen worden sind.

4. Das Raumgewicht des gestampften Betons ist unverkennbar am unteren Säulenende am größten und am oberen am geringsten (s. Abb. 72). Eine krasse Ausnahme bildet hier nur die Säule IX aus dem Beton 1 : 6 mit 8,5<sup>0</sup>/<sub>0</sub> Wasserzusatz.

Abb. 72.  
 Raumgewichte des Betons an drei Stellen der Säulen.  
 Lage in den Säulen:  
 u = unten; m = halbe Höhe; o = oben.  
 Die Prozentzahlen bedeuten den ursprünglichen Wasserzusatz zum Beton.



## Anlage 1.

## Untersuchung des Zementes.

(Ausgeführt in der Abteilung 2 für Baumaterialprüfung.)

Raumgewicht: Gewicht für 1 Liter Zement  $\left\{ \begin{array}{l} \text{eingelaufen } R_l = 1,158 \text{ kg,} \\ \text{eingerüttelt } R_r = 1,970 \text{ kg.} \end{array} \right.$

Spezifisches Gewicht  $s \left\{ \begin{array}{l} \text{im Anlieferungszustande } 3,156, \text{ Glühverlust: } 0,79\% \\ \text{ausgeglüht } 3,245 \end{array} \right.$

Mahlfeinheit. Bei den Siebversuchen ergab der Zement:

Rückstand %	Siebe mit der übergeschriebenen Anzahl Maschen für 1 qcm						
	120	240	324	600	900	5000	—
Auf den Sieben	0,0	0,2	0,6	4,0	4,2	23,2	—
Zwischen je zwei Sieben	0,0	0,2	0,4	3,4	0,2	19,0	76,8

76,8 % des Zementes gingen durch das feinste angewendete Sieb, 0,0 % blieben auf dem größten Siebe liegen.

Wasseranspruch des reinen Zementes bei sirupartiger Beschaffenheit 35,5 %.

Abbindeverhältnisse: 300 g Zement mit 26,5 % Wasser zu einem steifen Brei angemacht, ergaben

die Wärmeerhöhung von 1,8 C°  
den Erhärtungsanfang nach 4<sup>3</sup>/<sub>4</sub> Stunden } bei  
die Abbindezeit von 8<sup>1</sup>/<sub>2</sub> Stunden } durchschnittlich { Wärme der Luft 16,3 C°,  
Wärme des Wassers 14,2 C°,  
Luftfeuchtigkeit 61 %.

Die Raumbeständigkeit wurde an fünf Kuchen aus reinem Zement erprobt, die mit 26,5 % Wasser angemacht, auf Glasplatten nach dem Rande dünn auslaufend ausgebreitet wurden und die ersten 24 Stunden an der Luft, die übrige Zeit (27 Tage) unter Wasser erhärteten.

Die Kuchen blieben eben, scharfkantig und rißfrei.

Treiben fand also nicht statt.

Darr und Kochprobe: Die Kuchen blieben eben und rißfrei.

Die Probekörper zur Ermittlung der Zug- und Druckfestigkeit wurden am 23. September 1907 hergestellt.

Die Mörtelproben aus 1 G.-T. Zement und 3 G.-T. Normalsand<sup>1)</sup> wurden mit 8,5 % Wasser angemacht.

Das Einschlagen erfolgte normengemäß.

Die Proben erhärteten den ersten Tag, gegen zu schnelle Verdunstung geschützt, an der Luft, die übrige Zeit unter Wasser von etwa 17 C°; sie wurden unmittelbar nach der Entnahme aus dem Wasser geprüft.

<sup>1)</sup> Ein Liter Normalsand wog eingelaufen 1,398 kg, eingerüttelt 1,680 kg.

## Festigkeit.

Mischungs- Verhältnis Zement Sand G.-T.	Ver- suchs- Nr.	Zugproben (Normal- form) Zerreißungs- querschnitt = 5 qcm		Druckproben (Würfel) Gedrückte Fläche = 50 qcm				Verhältnis Zug Druck für	
		Zugfestigkeit		Bruchlast kg	Druck- festigk. kg/qcm	Bruchlast kg	Druck- festigk. kg/qcm	7 Tage	28 Tage
		kg/qcm	kg/qcm						
1 : 3		mittl. Raumbew. 24 Stunden nach dem Einschlagen							
		$r = 2,271 \text{ g/ccm}$		$r = 2,225 \text{ g/ccm}$					
	1	25,0	28,6	10 900		13 950			
	2	20,3	30,6	11 300		14 100			
	3	18,9	27,3	10 050		15 100			
	4	21,5	27,4	10 800		14 200			
	5	24,6	18,7	11 300		14 700			
	6	18,0	22,9	11 200		15 200			
	7	20,0	28,4	11 250		16 000			
	8	17,9	25,0	11 100		15 300			
	9	22,4	29,2	10 850		15 550			
10	22,8	28,2	11 250		15 600				
Mittel	21,1	26,6	11 000	220	14 970	299	$\frac{1}{10,4}$	$\frac{1}{11,2}$	



## Anlage 3.

## Angaben über Herstellung der Säulen Reihe I.

Lfde. Nr.	2			3	4	5	6	7	8			9					
	Tag der Herstellung								Wassergehalt des Kieses %	Betonverbrauch kg	Gewicht der Eiseneinlagen		Witterungsverhältnisse			Bemerkungen	
	Tag	Monat	Jahr								Längseisen kg		Bügel kg	Wärme	Witterung		
							morgens	mittags	abends	(Windrichtung)							
1	26.	X.	1907	1 I	2,9	447,4	—		nicht notiert								
2	29.	X.	"	1 II	3,5	434,9	20,6										
3				1 III		432,7	20,4										
4				30.		X.	"	1 a I					5,0	438,9	—	7,5	
5	1 a II	433,7	—		8,0												
6	1.	XI.	"	1 a III	4,0	435,5	—	7,9					Anhaltend ziemlich trockenes Wetter, teilweise bewölkt				
7	5.	XI.	"	1 b	4,0	435,5	—										
8	5.	XI.	"	1 c I	4,0	429,1	20,3										
9				1 c II		431,8	20,4										
10				1 c III		435,3	20,5										
11	6.	XI.	"	2 I	4,0	431,3	12,4	3,5	- 4	+ 8	+ 2						
12				2 II		433,8	12,4	3,5									
13	8.	XI.	"	2 III	3,5	431,0	12,4	3,5	- 4	+ 6	+ 2						
14	8.	XI.	"	12 I	3,5	438,2	12,5	3,6									
15				12 II		431,4	12,4	3,3									
16	12.	XI.	"	12 III	3,7	437,3	12,5	3,3	+ 5	+ 4	+ 5						
17	12.	XI.	"	2 a I	3,7	428,4	—	3,5									
18	13.	XI.	"	2 a II	3,5	440,8	—	3,5	+ 4	+ 7	+ 5						
19				2 a III		433,8	—	3,5									
20	13.	XI.	"	2 b I	—	431,6	12,4	3,5	+ 6	+ 8	+ 5						
21	15.	XI.	"	2 b II	3,5	440,4	12,4	3,5									
22				2 b III		430,9	12,4	3,5									
23	15.	XI.	"	3 I	3,5	433,3	12,4	4,9	+ 3	+ 4	+ 2						
24	18.	XI.	"	3 II	4,0	442,9	12,5	4,9									
25				3 III		445,9	12,4	4,8									
26	18.	XI.	"	4 I	—	438,5	12,4	4,9	- 1	- 2	- 2						
27	19.	XI.	"	4 II	4,0	447,4	12,4	4,9									
28				4 III		443,7	12,4	4,9									
29	25.	XI.	"	6 b	5,0	449,9	—	—	- 1	+ 7	+ 1						
30	25.	XI.	"	12 a I	5,0	434,6	—	3,3									
31				12 a II		436,9	—	3,3									
32	26.	XI.	"	12 a III	4,0	437,2	—	3,3	0	+ 8	+ 4						

## Anlage 3 (Fortsetzung).

## Angaben über Herstellung der Säulen Reihe I.

1	2			3	4	5	6	7	8			9						
	Lfd. Nr.	Tag der Herstellung							Säule	Wasser- gehalt des Kieses %	Beton- ver- brauch kg		Gewicht der Eiseneinlagen		Witterungsverhältnisse			Be- merkungen
		Tag	Monat										Jahr	Längs- eisen kg	Bügel kg	Wärme	Witterung	
								morgens	mittags	abends	(Windrichtung)							
33	26.	XI.	1907	5 I	4,0	433,4	12,5	5,1	0	+ 8	+ 4	Klares Wetter, zeitweise Sonnenschein und wenig Regen	} 3 Würfel (weich)					
34			5 II	440,9		12,5	5,1											
35	27.	XI.	"	5 III	439,4	12,5	5,1	+ 6	+ 16	+ 12								
36	27.	XI.	"	6 I	437,8	12,5	13,1											
37	29.	XI.	"	6 II	4,0	433,2	12,4	13,1				Klares, sonni- ges Wetter bei geringen Win- den (Südost)						
38			"	6 III	425,2	12,4	13,1	+ 7	+ 11	+ 9								
39	29.	XI.	"	7 I	437,6	12,5	6,4											
40	30.	XI.	"	7 II	4,1	435,0	12,4	6,4				} Bewölkter Himmel, einige kurze Regen- schauer, zum Frost neigend, Wind (Südost)						
41				7 III	439,3	12,5	6,3	+ 1	+ 5	0								
42	3.	XII.	"	8 I	4,0	439,2	12,5	7,6				} Anhaltender feiner Regen bei fast Wind- stille (Ost)	} 3 Würfel (weich)					
43				8 II	433,9	12,9	7,8	+ 1	+ 3	+ 1								
44				8 III	4,1	444,8	12,9	7,8										
45	4.	XII.	"	9 I	3,9	434,4	12,5	7,7										
46				9 II	431,7	12,5	7,8	0	+ 3	+ 2								
47				9 III	427,2	12,5	7,8											
48	6.	XII.	"	12c I	4,0	433,7	12,4	3,3	+ 2	+ 8	+ 2	} Bewölkter Himmel, kurze Regenschauer, Wind (West)						
49				12c II	431,3	12,4	3,3											
50	9.	XII.	"	12c III	4,2	438,5	12,4	3,3	+ 7	+ 8	+ 7	} Wie vor Wind (West und Südwest)						
51	9.	XII.	"	10 I	4,2	435,3	12,4	6,6										
52	10.	XII.	"	10 II	4,0	438,9	12,5	6,6	+ 5	+ 9	+ 6	} Bewölkter Himmel, kurze Regenschauer, Wind (West und Südwest)	} 3 Würfel (weich)					
53				10 III	431,7	12,5	6,5											
54	11.	XII.	"	12b	4,0	443,9	—	—										
55	11.	XII.	"	11 I	4,0	432,5	12,4	3,2	+ 6	+ 8	+ 5							
56				11 II	437,8	12,4	3,3											
57	14.	XII.	"	11 III	439,2	12,4	3,2	+ 1	+ 1	+ 2								
58	14.	XII.	"	13 I	4,0	442,0	12,5	5,1										
59	16.	XII.	"	13 II	5,0	433,8	12,5	5,1				} Regen und Schnee, Wind (West und Südwest)						
60				13 III	437,1	12,5	5,1	+ 1	+ 1	0								

## Anlage 4.

## Prüfung des Zementes nach den Normen.

Raumgewicht: Gewicht für 1 Liter Zement<sup>1)</sup>  $\left\{ \begin{array}{l} \text{eingelaufen } R_l = 1,246 \text{ kg,} \\ \text{ingerüttelt } R_r = 1,978 \text{ kg.} \end{array} \right.$

Spezifisches Gewicht  $s \left\{ \begin{array}{l} \text{im Anlieferungszustande } 3,145, \\ \text{ausgeglüht } 3,263, \end{array} \right.$  Glühverlust: 0,86 %.

Mahlfeinheit. Bei den Siebversuchen ergab der Zement:

Rückstand %	Siebe mit der übergeschriebenen Anzahl Maschen für 1 qcm						
	120	240	324	600	900	5000	—
Auf den Sieben	0,0	0,4	0,8	3,2	3,2	17,2	—
Zwischen je zwei Sieben	0,0	0,4	0,4	2,4	0,0	14,0	82,8

82,8 % des Zementes gingen durch das feinste angewendete Sieb, 0,0 % blieben auf dem größten Siebe liegen.

Wasseranspruch des reinen Zementes bei sirupartiger Beschaffenheit 36,0 %.

Abbindeverhältnisse. 300 g Zement mit 25,0 % Wasser zu einem steifen Brei angemacht, ergaben

die Wärmeerhöhung von 1,4 C°  
den Erhärtungsanfang nach 5 Stunden } durchschnittlich  $\left\{ \begin{array}{l} \text{Wärme der Luft } 16,3 \text{ C}^\circ, \\ \text{Wärme des Wassers } 16,0 \text{ C}^\circ, \\ \text{Luftfeuchtigkeit } 60 \%. \end{array} \right.$   
die Abbindezeit von 10 $\frac{1}{2}$  Stunden

Raumbeständigkeit: Aus reinem Zement, der mit 25,0 % Wasser angemacht war, wurden fünf Kuchen auf Glasplatten nach dem Rande dünn auslaufend ausgebreitet; sie erhärteten die ersten 24 Stunden an der Luft, die übrige Zeit (27 Tage) unter Wasser von Zimmerwärme.

Die Kuchen blieben scharfkantig, eben und rißfrei.

Treiben fand also nicht statt.

Die Probekörper zur Ermittlung der Zug- und Druckfestigkeit wurden am 7. Juni 1909 hergestellt.

Die Mörtelproben aus 1 G.-T. Zement und 3 G.-T. Normalsand<sup>2)</sup> wurden mit 8,25 % Wasser angemacht.

Das Einschlagen erfolgte normengemäß.

Die Proben erhärteten den ersten Tag, gegen zu schnelle Verdunstung geschützt, an der Luft, die übrige Zeit unter Wasser von 15 bis 30 C°; sie wurden unmittelbar nach der Entnahme aus dem Wasser geprüft.

<sup>1)</sup> Der Zement auf einem Siebe von 20 Maschen für 1 qcm abgeseibt; er hinterließ hierbei keinen Rückstand.

<sup>2)</sup> Ein Liter Normalsand wog eingelaufen 1,404 kg, ingerüttelt 1,695 kg.

**Festigkeit.**

Mischungs- Verhältnis Zement Sand G.T.	Versuch Nr.	Zugproben (Normalform) Zerreiquerschnitt = 5 qcm		Druckproben (Würfel) Gedruckte Fläche = 50 qcm		Verhältnis Zug Druck für 28 Tage
		Zugfestigkeit $\sigma_B$		Druckfestigkeit $\sigma_{-B}$		
		kg/qcm	Verhältnis	kg/qcm	Verhältnis	
		28 Tage alt		28 Tage alt		
1 : 3	Mittleres Raumbgewicht 24 Stunden nach dem Einschlagen					
		$r = 2,329 \text{ g/ccm}$		$r = 2,228 \text{ g/ccm}$		
	1	29,2	101	318	91	
	2	30,5	105	311	89	
	3	30,3	104	370	106	
	4	26,5	91	357	102	
	5	31,0	107	363	104	
	6	27,8	96	356	102	
	7	26,0	90	357	102	
	8	31,0	107	357	102	
	9	29,3	101	357	102	
10	28,0	97	358	102		
	Mittel	29,0	—	350	—	$\frac{I}{12,1}$

## Anlage 5.

## Ermittlung der Gewichte des Sand- und Kiesmaterials.

(Ausgeführt in der Abt. 2 für Baumaterialprüfung.)

Kieskörnung	Mittleres Gewicht für 1 Liter in kg		
	trocken		lufttrocken
	eingelaufen <sup>1)</sup> <i>R<sub>i</sub></i>	ingerüttelt <sup>1)</sup> <i>R<sub>r</sub></i>	eingefüllt <sup>2)</sup> <i>R<sub>f</sub></i>
0 — 8 mm	1,616 (1,559)	1,953 (1,861)	1,594 (1,616)
8 — 18 mm	1,421 (1,717)	1,741 (2,047)	1,522 (1,763)
18 — 24 mm	1,371 (1,555)	1,700 (1,843)	1,480 (1,611)
Gemisch aus: 2 R.-T. 0 — 8 mm Körnung + 1 " 8 — 18 " " + 1 " 18 — 24 " "	1,880 (1,770)	2,118 (2,036)	1,918 (1,832)

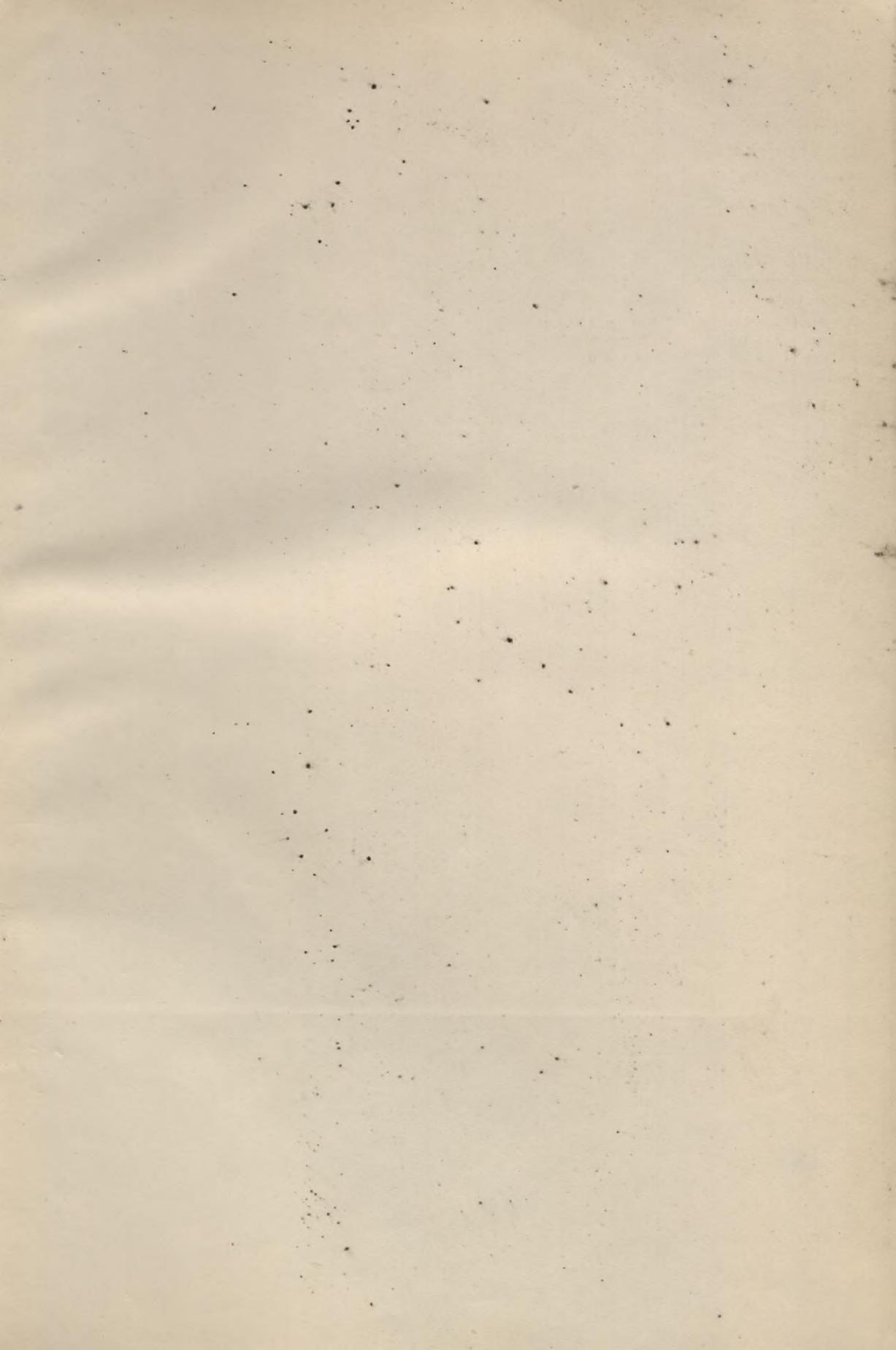
<sup>1)</sup> Im 1-Liter-Gefaß bestimmt.<sup>2)</sup> " 10- " "

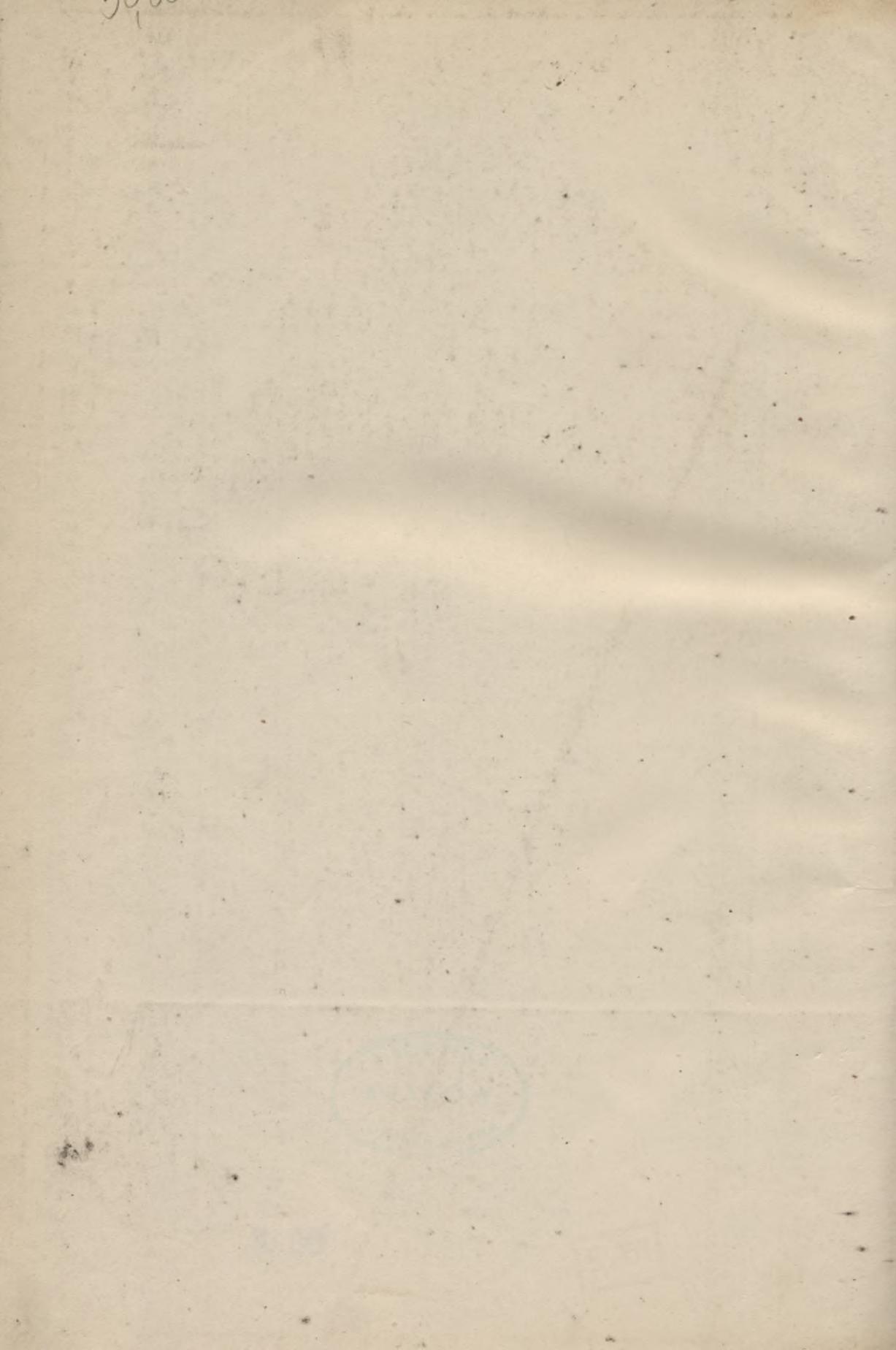
Anlage 6.  
Angaben über die Herstellung der Säulen Reihe II.

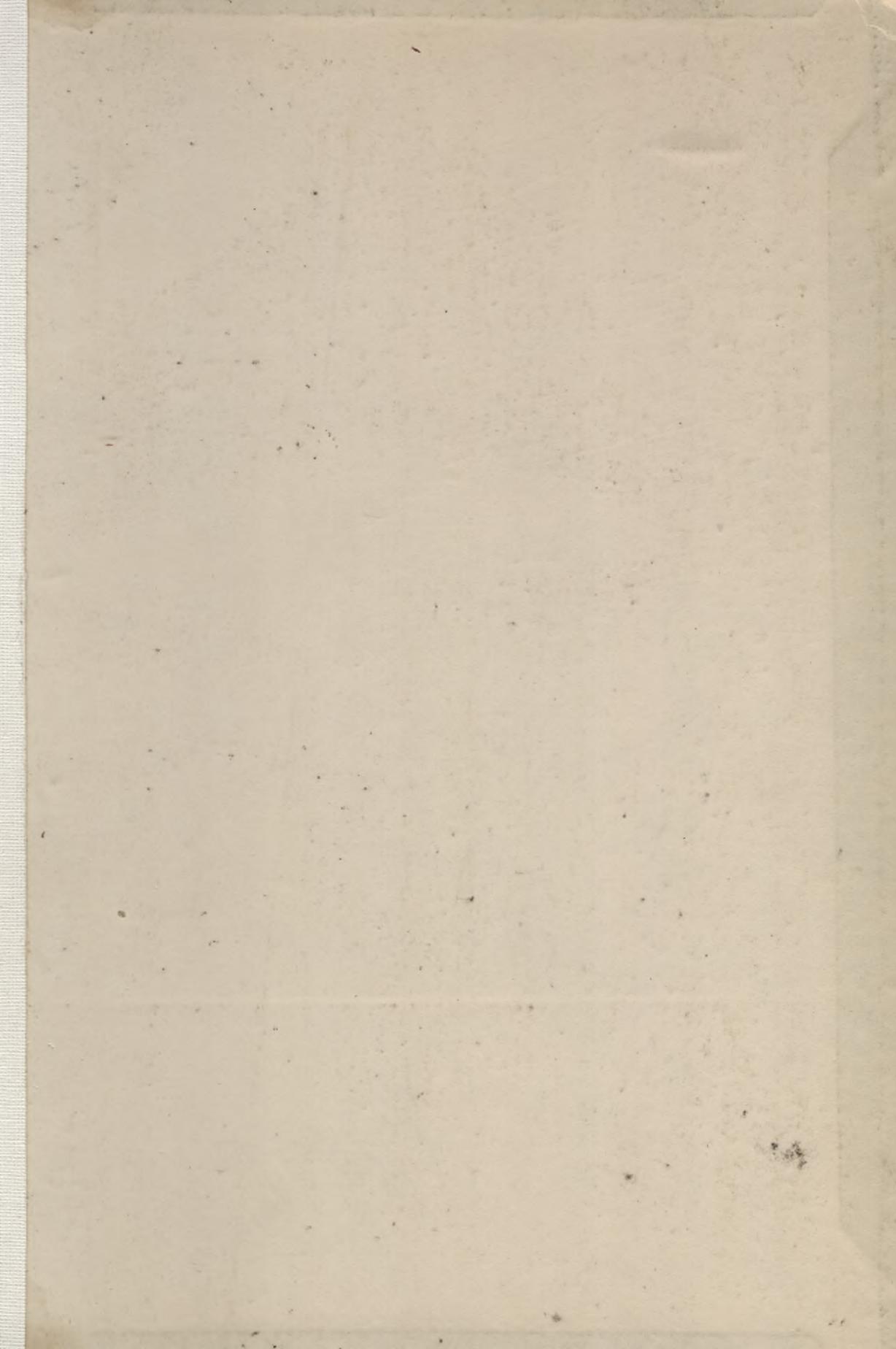
Säulen-Nr. des Arbeitsplans	Be- zeichnung der Probe	Hergestellt am	Im Her- stellungsraum vorhandene Feuch- tigkeit		Wasser- gehalt des Kieses	Beton- verbrauch	Gewicht der Eiseinlagen		Gesamt- gewicht Mittel	Ausgeschalt am	Unter feuchtem Sand am	In den Versuchs- raum gebracht	Geprüft am	Alter Tage
			Wärme	Feuch- tigkeit			Längsseisen	Quereisen resp. Spirale und Zapfen						
			C°	%	%	kg	kg	kg	kg	am				
14.	14/1	26. VI	21	65	1,7	198,483	5,508	5,330	10,838	28. VI	6. VII		10. VIII	45
	14/2	26. VI	—	—	1,7	196,283	5,501	5,013	10,514	28. VI	6. VII		10. VIII	45
	14/3	30. VI	21	71	1,7	198,700	5,440	4,834	10,274	2. VII	10. VII		14. VIII	45
	14/4	30. VI	21	69	1,7	195,511	5,527	4,900	10,427	2. VII	10. VII		14. VIII	45
	14/5	5. VII	22	73	1,0	199,058	5,527	5,162	10,689	7. VII	15. VII		10. VIII	45
15.	15/1	28. VI	18	94	1,7	195,593	5,531	2,250	7,781	30. VI	8. VII		12. VIII	45
	15/2	28. VI	19	92	1,7	194,193	5,550	2,130	7,680	30. VI	8. VII		12. VIII	45
	15/3	2. VII	18	53	1,4	201,476	5,510	2,340	7,850	5. VII	12. VII		16. VIII	45
	15/4	2. VII	18	53	1,4	196,011	5,505	2,120	7,685	5. VII	12. VII		16. VIII	45
	15/5	6. VII	21	60	1,0	197,448	5,535	2,350	7,885	8. VII	16. VII		20. VIII	45
16.	16/1	29. VI	20	75	1,7	197,571	5,540	2,067	7,607	1. VII	9. VII		13. VIII	45
	16/2	29. VI	20	65	1,7	197,733	5,530	1,826	7,356	1. VII	9. VII		14. VIII	46
	16/3	3. VII	21	67	1,0	196,985	5,537	2,670	8,207	5. VII	13. VII		17. VIII	45
	16/4	3. VII	20	69	1,0	197,578	5,513	1,825	7,338	5. VII	13. VII		17. VIII	45
	16/5	7. VII	20	74	1,0	199,813	5,575	2,050	7,625	9. VII	17. VII		21. VIII	45
17.	17/1	22. VI	22	68	1,7	198,729	5,520	3,918	9,438	24. VI	2. VII		6. VIII	45
	17/2	25. VI	21	63	1,7	198,233	5,520	3,894	9,414	28. VI	5. VII		7. VIII	43
	17/3	26. VI	22	62	1,7	196,208	5,533	4,047	9,580	28. VI	6. VII		7. VIII	45
	17/4	2. VII	18	55	1,4	198,721	5,558	3,350	8,908	5. VII	12. VII		16. VIII	45
	17/5	5. VII	21	75	1,0	202,158	5,490	3,900	9,390	7. VII	15. VII		19. VIII	45
18.	18/1	22. VI	23	68	1,7	200,423	—	—	—	24. VI	2. VII		6. VIII	45
	18/2	23. VI	20	80	1,7	200,953	—	—	—	25. VI	3. VII		7. VIII	45
	18/3	25. VI	21	62	1,7	196,433	—	—	—	28. VI	5. VII		7. VIII	43
	18/4	28. VI	20	91	1,7	197,173	—	—	—	30. VI	8. VII		11. VIII	44
	18/5	3. VII	21	65	1,0	202,158	—	—	—	5. VII	13. VII		18. VIII	46
19.	19/1	22. VI	23	68	1,7	200,153	5,235	4,797	10,032	24. VI	2. VII		6. VIII	45
	19/2	23. VI	22	81	1,7	199,758	5,262	4,768	10,030	25. VI	3. VII		7. VIII	45
	19/3	9. VII	17	92	1,0	202,158	5,290	4,691	9,981	12. VII	19. VII		23. VIII	45
	19/4	10. VII	20	75	1,0	202,158	5,325	4,695	10,020	12. VII	20. VII		25. VIII	46
	19/5	11. VII	18	75	1,0	202,158	5,368	4,687	10,055	13. VII	21. VII		26. VIII	45
20.	20/1	23. VI	19	83	1,7	198,372	5,221	5,300	10,521	25. VI	3. VII		7. VIII	45
	20/2	25. VI	20	60	1,7	197,643	5,393	5,260	10,653	28. VI	5. VII		7. VIII	43
	20/3	30. VI	21	60	1,7	200,953	5,280	5,200	10,480	2. VII	10. VII		14. VIII	45
	20/4	6. VII	21	60	1,0	201,588	5,430	5,210	10,640	8. VII	16. VII		20. VIII	45
	20/5	7. VII	21	72	1,0	202,158	5,160	5,250	10,410	9. VII	17. VII		21. VIII	45



Druck von Oskar Bonde in Altenburg.







Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307326

6

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000313427

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE

BIBLIOTEKA

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



-307179

5

Druk. U. J. Zam. 356. 10.000.

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307327

4

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000313428

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307328

8

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000313429

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307329

3

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000313430

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307330

10

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000313431

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307331

M

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000313432

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307332

12

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000313433

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000300775