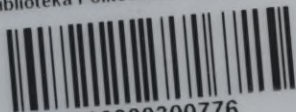




Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000300776

Veröffentlichungen des Deutschen Ausschusses für Eisenbeton.

Heft 22. **Versuche über das Rosten von Eisen in Mörtel und Mauerwerk.** Ausgeführt in Berlin-Lichterfelde-West. Von Professor **M. Gary**, Abteilungsvorsteher im Königl. Materialprüfungsamt.
1913. Mit 15 Abb. und 5 Tabellen. Geh. Preis 2,80 M.

Heft 23. **Untersuchungen über die Längenänderungen von Betonprismen beim Erhärten und infolge von Temperaturwechsel.** Ausgeführt in Berlin-Lichterfelde-West. Von Professor **M. Rudeloff**, Geheimer Regierungsrat, Direktor im Königlichen Materialprüfungsamt, unter Mitwirkung von Dr.-Ing. **H. Sieglerschmidt**, Assistent der Abteilung für Metallprüfung.
1913. Mit 36 Textabb. und 32 Zusammenstellungen. Geh. Preis 5,60 M.

Heft 24. **Spannung σ_{bs} des Betons in der Zugzone von Eisenbetonbalken unmittelbar vor der Reißbildung.** Von Dr.-Ing. **C. Bach**, Königl. württ. Baudirektor, Professor des Maschineningenieurwesens, Vorstand des Ingenieurlaboratoriums und der Materialprüfungsanstalt an der Königl. Technischen Hochschule in Stuttgart und **O. Graf**, Ingenieur der Materialprüfungsanstalt.
1913. Mit 13 Textabb. und 6 Zusammenstellungen. Geh. Preis 2,80 M.

Heft 25. **Wahl des Größenwertes der Elastizitätsverhältniszahl n für die Berechnung von Eisenbetonträgern.** Von **M. Möller**, Geheimer Hofrat, Professor an der Technischen Hochschule in Braunschweig und Dipl.-Ing. **M. Brunkhorst**, Assistent an der Hochschule.
1913. Mit 2 Textabb. Geh. Preis 1 M.

Heft 26. **Belastung und Abbruch von zwei Eisenbetonbauten im Königlichen Materialprüfungsamt Berlin-Lichterfelde-West. Nachtrag zu der Veröffentlichung über Brandproben an Eisenbetonbauten (Heft 11).** Ausgeführt in Berlin-Lichterfelde-West. Von Professor **M. Gary**, Abteilungsvorsteher im Königlichen Materialprüfungsamt.
1913. Mit 11 Textabb. Geh. Preis 1,20 M.

Heft 27. **Gesamte und bleibende Einsenkungen von Eisenbetonbalken. Verhältnis der bleibenden zu den gesamten Einsenkungen.** Von Dr.-Ing. **C. Bach**, Königl. württ. Staatsrat, Professor des Maschineningenieurwesens, Vorstand des Ingenieurlaboratoriums und der Materialprüfungsanstalt an der Königl. Technischen Hochschule in Stuttgart und **O. Graf**, Ingenieur der Materialprüfungsanstalt.
1914. Mit 58 Textabb. und 47 Zusammenstellungen. Geh. Preis 2,40 M.

Heft 28. **Untersuchung von Eisenbeton-Säulen mit verschiedenartiger Querbewehrung. DRITTER TEIL.** (Fortsetzung zu Heft 5 und 21.) Ausgeführt in Berlin-Lichterfelde-West. Von Professor **M. Rudeloff**, Geheimer Regierungsrat, Direktor im Königlichen Materialprüfungsamt.
1914. Mit 47 Textabb. Geh. Preis 8,40 M.

Heft 29. **Die vorschriftsmäßige Zusammensetzung des Betongemenges nach den Bestimmungen für Ausführung von Bauwerken aus Eisenbeton.** Bericht über Versuche im Königlichen Materialprüfungsamt Berlin-Lichterfelde-West. Erstattet von Professor **M. Gary**, Abteilungsvorsteher im Königlichen Materialprüfungsamt.
1915. Mit 16 Textabb. Geh. Preis 2,20 M.



XXX
980

III 2653
B. 19400/14

DEUTSCHER AUSSCHUSS FÜR EISENBETON

UNTERSUCHUNGEN

VON

EISENBETONSÄULEN

MIT VERSCHIEDENARTIGER QUERBEWEHRUNG

DRITTER TEIL. (FORTSETZUNG ZU HEFT 5 UND 21)

AUSGEFÜHRT IM

KÖNIGLICHEN MATERIALPRÜFUNGSAMT

ZU

BERLIN-LICHTERFELDE-WEST

IN DEN JAHREN 1913 UND 1914.

BERICHT ERSTATTET VON

PROFESSOR M. RUDELOFF

GEHEIMER REGIERUNGSRAT

DIREKTOR IM KÖNIGLICHEN MATERIALPRÜFUNGSAMT.

MIT 67 TEXTABBILDUNGEN.

BERLIN 1914

VERLAG VON WILHELM ERNST & SOHN



11-307180

Alle Rechte vorbehalten.

BRU-B-244/2018

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
I. Arbeitsplan	1
II. Die verwendeten Baustoffe	3
III. Die Herstellung der Säulen	7
IV. Die Prüfung des Betons	10
V. Versuche mit den Säulen	12
1. Die Einrichtungen zur Ermittlung der Formänderungen.	13
2. Versuchsergebnisse	16
A. Vergleich der verschiedenartigen Querbewehrungen bei gleicher Längsbewehrung.	
1. Säulen mit quadratischem Querschnitt	16
a) Die Querdehnungen bei wachsender Belastung	16
b) Längenänderungen der Längseisen in den Säulen mit quadratischem Querschnitt	39
c) Längenänderungen des Betons in den Säulen mit quadra- tischem Querschnitt	46
d) Aenderung der Gesamtlänge der Säulen mit quadra- tischem Querschnitt	46
e) Die Festigkeit der quadratischen Säulen	46
2. Achtseitige Säulen	49
a) Längenänderungen des Betons in den achtseitigen Säulen	50
b) Aenderung der Gesamtlänge der Säulen	51
c) Die Festigkeit der achtseitigen Säulen	53
α) Einfluß der Bewehrungen aus Eisen von 0,5 und 0,7 cm Durchmesser	53
β) Bewehrung mit Spiralen aus Eisen von verschiedenem Durchmesser	55
d) Lage des Bruches	55
3. Zusammenfassung der Ergebnisse	56
VI. Einfluß der fetteren Beton-Mischung. (Reihe B.)	58
a) Die Querdehnung bei wachsender Belastung	58
b) Längenänderungen der Längseisen	59
c) Längenänderungen des Betons in den Säulen	60
d) Aenderung der Gesamtlänge der Säulen.	61
e) Die Festigkeit der Säulen	61
f) Zusammenfassung der Ergebnisse	62
VII. Unterschied in der Wirkung der Umschnürung bei vollen und hohlen Säulen. (Reihe C.)	62

VIII. Einfluß des Betons außerhalb der Umschnürung. (Reihe D.)	67
IX. Ergänzungsversuche	72
1. Einfluß der Herstellung der Ringe und Spiralen auf die Festig- keitseigenschaften der Bewehrungseisen	73
A. Das Versuchsmaterial	73
B. Die Herstellung der Ringe und Spiralen	74
C. Versuchsergebnisse	74
2. Einfluß der Festigkeitseigenschaften des Eisens für die Quer- bewehrungen auf die Druckfestigkeit der Säulen	75
3. Vergleich der Bewehrungen mit Ringen und Spiralen aus Eisen von 1,2 cm Durchmesser	81
4. Das Verhalten der Längseisen im erhärtenden Beton	83
X. Schlußwort	83
Tabelle 1 bis 76	87—173

Untersuchung

von

Eisenbeton - Säulen mit verschiedenartiger Querbewehrung auf Druckfestigkeit.

Ausgeführt vom Königl. Materialprüfungsamt zu Berlin-Lichterfelde in den Jahren
1913—1914.

I. Arbeitsplan.

Durch die Untersuchungen, über die ich in Heft 21 berichtet habe, ist festgestellt:

1. daß zur Erzielung des größten Wirkungsgrades der Bewehrung in Eisenbetonsäulen das Anbringen von verstärkten Köpfen an den Säulen wohl entbehrt werden kann, daß aber hierzu die Längseisen bis auf etwa 2—3 mm an die Druck- oder Endflächen der prismatischen Probestücke herangeführt werden müssen, und
2. daß die Herstellung der Säulen in hölzernen Formen das Ergebnis dadurch beeinflussen kann, daß die Formwandungen dem Beton Wasser in wechselndem Maße entziehen.

Da nun bei den früheren Versuchen (s. Heft 5) der Abstand der Endflächen der Längseisen von den Druckflächen 10 mm betragen hatte und hölzerne Formen verwendet waren, so beschloß der Deutsche Ausschuß für Eisenbeton, die weiteren Säulen in eisernen Formen zu fertigen und in Reihe A zunächst einen Teil der Versuche über den Einfluß verschiedenartiger Querbewehrung auf die Festigkeit von Säulen mit gleicher Längsbewehrung (s. Heft 5) zu wiederholen.

Die verglichenen Querbewehrungen sind (s. Tab. 1, Reihe A) in Gruppe:

- | | |
|--|--|
| a) geschweißte Ringe oder Umfangsbügel | } bei Säulen mit quadratischem Querschnitt |
| b) umgehakte Ringe oder Umfangsbügel | |
| c) Diagonalbügel | |
| d) Spiralen | |
| f) geschweißte Ringe oder Umfangsbügel | } bei Säulen mit achtseitigem Querschnitt. |
| g) umgehakte Ringe oder Umfangsbügel | |
| h) Spiralen | |

Zu jeder dieser sieben Gruppen wurden sechs Säulen gefertigt, je drei mit Querbewehrungen aus Eisen von 0,5 cm und 0,7 cm Durchmesser.

Die quadratischen Säulen hatten 30×30 cm Querschnitt mit gebrochenen Kanten; ihr voller Querschnitt betrug 898 qcm, der volle Querschnitt der achtseitigen Säulen 900 qcm.

Die den Ecken gegenüber angeordneten Längsbewehrungen bestanden bei den quadratischen Säulen aus vier Eisen von 2 cm Durchmesser mit dem Gesamtquerschnitt von 12,56 qcm, bei den achtseitigen Säulen aus acht Eisen von 1,4 cm Durchmesser mit 12,32 qcm Gesamtquerschnitt.

Die Länge der Säulen betrug 1,30 m, die Länge der Eisen 1,295 m, so daß die senkrecht zur Achse bearbeiteten Endflächen der Eisen etwa 2,5 mm von den beiden Druckflächen abstanden.

Außer den vorgenannten bewehrten Säulen wurden untersucht:

- Gruppe e) drei unbewehrte quadratische Säulen
- „ i) drei unbewehrte achtseitige Säulen

und außerdem 36 Beton-Würfel, von denen immer einer an demselben Tage gefertigt war, wie die zugehörigen Säulen.

In Reihe A sind demnach insgesamt untersucht:

- 48 Säulen und
- 36 Beton-Würfel.

Der Beton bestand bei allen Proben aus 1 Raumteile Zement und 4 Raumteilen Zuschlagsmaterial (Sand und Kies).

Reihe A bildete die Hauptuntersuchung. Außerdem sind auf späteren Beschluß des Ausschusses vier Nebenreihen mit 20 Säulen und 13 Würfeln ausgeführt, um zugleich über folgende Fragen Aufschluß zu erhalten:

- Reihe B: über den Einfluß fetterer Betonmischung auf den Wirkungsgrad der Querbewehrung,
- Reihe C: über den Unterschied in der Wirkung der Umschnürung bei hohlen und vollen Säulen,
- Reihe D: über den Einfluß des außerhalb der Spirale liegenden Betons, der sog. Schale, auf das Verhalten der Säulen unter Druckbeanspruchung und
- Reihe E: über den Einfluß einer stärkeren Spiralbewehrung, als unter Reihe A vorgesehen.

Im einzelnen ist zu diesen vier Nebenreihen B bis E unter Hinweis auf Tabelle 1 folgendes zu bemerken:

B. Der Einfluß der fetteren Betonmischung ist an sechs quadratischen Säulen untersucht, von denen drei unbewehrt waren (Gruppe l) und drei Querbewehrungen aus umgehakten Ringen enthielten (Gruppe k). Die Eisenstärke der Ringe betrug 0,7 cm, ihr Längsabstand 5 cm. Die Abmessungen der bewehrten Säulen dieser Reihe waren also die gleichen wie bei den Säulen 10 bis 12 Reihe A (Gruppe b), während die unbewehrten Säulen der Reihe B den Säulen 25 bis 27 der Reihe A (Gruppe e) entsprachen.

Die Betonmischung bestand bei Reihe B aus 1 Raumteil Zement und $2\frac{1}{2}$ Raumteilen Zuschlagsmaterial, gegenüber 1 : 4 bei Reihe A.

C. Um den Unterschied in der Wirkung der Umschnürung bei hohlen und vollen Säulen festzustellen, sind zum Vergleich mit den Säulen 43 bis 48 der Reihe A (Gruppe h und i) aus dem gleichartigen Beton wie diese sechs achtseitige, bewehrte und eine unbewehrte hohle Säule gefertigt (Gruppe m, n und o, Tab. 1).

D. Der Einfluß der Schale, d. h. des außerhalb der Querbewehrung (Spirale oder Ringe) liegenden Betons, ist an vier Säulen untersucht. Alle vier waren mit Spiralen bewehrt, deren Eisenstärke bei zwei Säulen 0,5 cm und zwei Säulen 0,7 cm betrug. Bei je einer der beiden gleichartig bewehrten Säulen fehlte die Schale. Die Ganghöhe der Spiralen betrug bei allen vier Säulen 4 cm, gegenüber 3 cm bei der Hauptreihe. Dieser Unterschied war geboten, weil als Spiralen zu den vier Säulen für Reihe D die von der Hauptreihe übrig gebliebenen Spiralen verwendet werden mußten und die Länge dieser Reststücke bei 3 cm Ganghöhe nicht zu 1,3 m langen Säulen hinreichte.

E. Zur Ermittlung des Einflusses einer stärkeren Spiralbewehrung sind drei weitere achtseitige Säulen gefertigt mit Spiralen von 1,2 cm Eisenstärke und 3 cm Ganghöhe. Diese Säulen hatten im übrigen die gleichen Abmessungen und bestanden aus dem gleichen Beton wie die Säulen 40 bis 45 der Reihe A (Gruppe h), so daß zum Vergleich drei Reihen vorliegen, und zwar mit Spiralen aus Eisen von 0,5, 0,7 und 1,2 cm Durchmesser.

II. Die verwendeten Baustoffe.

1. Der Zement ist wieder von der Portland-Zementfabrik, Lossius-Dellbrück zu Züllichow, bezogen. Er ist sowohl bei Beginn der Säulenherstellung (am 6. März 1913) als auch nach Fertigstellung aller Säulen (am 3. Juli 1913) nach den Normen vom Dezember 1909 untersucht. Die ermittelten physikalischen Eigenschaften des Zementes sind aus Tab. 2, seine Festigkeitseigenschaften aus Tab. 3 zu ersehen.

Der Zement genigte den Normen.

Die Ergebnisse Tab. 2 lassen erkennen, daß der Zement während der Dauer seiner Verarbeitung, d. h. innerhalb 17 Wochen, um wenig leichter geworden ist, die Raumgewichte R_l (eingelaufen) und R_r (eingerüttelt) sind von 1,159 und 1,978 auf 1,143 und 1,847, d. h. um 2 und 6% zurückgegangen und das spezifische Gewicht des ungeglühten Zementes von 3,134 auf 3,125. Der ausgeglühte Zement dagegen zeigt bei der zweiten Prüfung größeres spezifisches Gewicht (3,259) als bei der ersten Prüfung (3,248). Der Zement scheint hiernach beim Lagern, obgleich er im geschlossenen Raume untergebracht war, Feuchtigkeit aus der Luft aufgenommen zu haben, was besonders dadurch bestätigt wird, daß der Glühverlust von ursprünglich 0,98% nach dem Lagern zu 2,05% sich ergab.

Die Festigkeit des Zementmörtels 1:3, mit 8,5% Wasser angemacht, ergab sich nach Tab. 3 bei der zweiten Prüfung geringer als bei der ersten; die Abnahme beträgt für die Zugfestigkeit nach 7 Tagen 6,4%, für die Druckfestigkeit bei Wasserlagerung nach 7 Tagen 1,3%, nach 28 Tagen 4,1% und bei kombinierter Lagerung nach 28 Tagen 6,4%.

2. Der Kies war zu den früheren Versuchen von der Firma Windschild & Langelott zu Cossebaude bezogen, im Amt durch Absieben in drei Körnungen von 0—8 mm, 8—18 mm und 18—24 mm zerlegt und dann vor der Verwendung wieder gemischt worden, so daß das Gemisch aus zwei Raumteilen der Körnung 0—8 mm und je einem Raumteil der beiden Körnungen 8—18 mm und 18—24 mm bestand. Gegen die weitere Verwendung dieses Kieses bestand das auf Versuche gestützte Bedenken, daß die drei genannten Körnungen in ihrer Zusammensetzung erhebliche und je nach dem Wetter schwankende Fehler in den Zusammensetzungen aufwiesen. Zur Untersuchung dieser Frage wurde ein besonderer Unterausschuß eingesetzt und auf seinen Vorschlag hin dann beschlossen, den Kies für die weiteren Versuche aus der Cossebauder Grube der Firma Dyckerhoff u. Widmann A.-G. in zwei Körnungen von 0—11 mm und 11—25 mm zu beziehen. Hierzu sollte der Grubenkies auf dem 25 mm-Sieb vom Größten befreit und dann durch ein Sieb (Drahtsieb mit quadratischen Maschen als Schwingsieb mit Klopfer betätigt) von 11 mm Maschenweite in die beiden genannten Körnungen getrennt werden. Zur Verwendung gelangen sollte die durch Versuche festzustellende zweckmäßigste Mischung dieser beiden Körnungen. Hierzu sind untersucht (s. Tab. 4):

I. der Kiessand in seiner natürlichen Zusammensetzung, aber nach dem Absieben auf dem 25-mm-Sieb,

II. der Sand mit 0—11 mm Körnung,

- III. der Kies mit 11—25 mm Körnung¹⁾,
- IV. Kiessand, als Gemisch des Sandes II und des Kieses III in gleichen Raumteilen,
- V. Kiessand, als Gemisch aus 5 Raumteilen Sand II und 3 Raumteilen Kies III,
- VI. Kiessand, als Gemisch aus 3 Raumteilen Sand II und 5 Raumteilen Kies III.

Nach den Ergebnissen in Tabelle 4 weist der Kiessand VI den größten Dichtigkeitsgrad auf.

Die Druckfestigkeiten des aus den Kiessanden IV bis VI hergestellten Betons zeigt Tab. 5. Der Beton bestand aus 4 Raumteilen Kiessand auf einen Raumteil Zement. Er erhielt in den Reihen 1—3 bei allen drei Sorten 8 % Wasserzusatz, bezogen auf die trockene Mischung. Aus dem feinsten Kiessand V wurde in Reihe 4 außerdem ein zweiter Beton mit 8,75 % Wasserzusatz untersucht, weil dieser Beton, mit 8 % Wasser angemacht, weniger weich war als die beiden andern. Die verschiedenen Betonsorten wurden in der Maschine gemischt, von Hand in eisernen Formen zu Würfeln von 30 cm Kantenlänge gestampft, nach zwei Tagen entformt, dann, an der Luft stehend, bis zum achten Tage angehäßt und bei 28 Tagen Alter geprüft.

Bei gleichem Zustande der Weichheit (s. Reihe 1, 2 und 4, Tab. 5) lieferte der größte Kiessand VI (Reihe 1) den Beton größter Druckfestigkeit (351 kg/qcm) bei größtem Raumbgewicht (2,401), während diese Werte mit 305 kg/qcm und 2,340 für den Beton aus dem feinsten Kiessand V (Reihe 4) am geringsten waren. Bei geringerer Weichheit war dagegen die Druckfestigkeit des letztgenannten Betons (8,0 % Wasserzusatz, Reihe 3, Tab. 5) mit 360 kg/qcm von allen am größten.

Der Unterschied in den Eigenschaften der beiden Betonsorten Reihe 1 u. 2, Tab. 5, ist als unwesentlich und nicht ins Gewicht fallend erachtet und daher der Einfachheit halber zur Anfertigung der Säulen der Beton Reihe 2, aus gleichen Raumteilen Kies und Sand, verwendet.

3. Das Eisen zur Bewehrung der Säulen. Die 2,0 cm-Rundeisen zu den Längsbewehrungen sämtlicher Säulen mit quadratischem Querschnitt (Nr. 1—24 und 49—51, Tab. 1) sind von der Aktiengesellschaft für Beton und Monierbau, Berlin, geliefert, die Längseisen von 1,4 und 1,6 cm Durchmesser zu den achtseitigen Säulen von dem Deutschen Eisenhandel, Abt. Ravené, Berlin, bezogen. Die 1,4 cm-Rundeisen umfaßten zwei Lieferungen (a und b). Aus Lieferung a sind gefertigt die Säulen: 30, 34 bis 39, 44, 45 und 55 bis 64, aus Lieferung b die Säulen: 28, 29, 31 bis 33 und 40 bis 43.

Das gesamte Eisen zu den Querbewehrungen lieferte die Firma Ways u. Freitag, Neustadt a. H. Diese Firma war als Bezugsquelle gewählt, um die Spiralen zu den Säulen 40 bis 45 aus demselben Eisen zu erhalten, das auch für Bauausführungen verwendet zu werden pflegt, und um tunlichst das gleiche Eisen auch zu den übrigen Querbewehrungen verwenden zu können.

Die Lieferungen der Firma Ways u. Freytag umfaßten folgende Teile:

1. geschweißte Ringe aus Rundeisen von 0,5 und 0,7 cm Durchmesser zu den Säulen 1—6;
2. Ringe mit Hakenenden aus Rundeisen von 0,5 und 0,7 cm Durchmesser zu den Säulen 7—12 und 49—51;
3. Diagonalbügel mit Hakenenden aus Rundeisen von 0,5 und 0,7 cm Durchmesser zu den Säulen 13—18;
4. fertige, an den Enden verschweißte Spiralen aus Rundeisen von 0,5 und 0,7 cm Durchmesser zu den Säulen 19—24 und 40—45;

¹⁾ Der Kies III wurde von der Grube mit der Bezeichnung „gebrochene Kiessteine“ an das Amt eingeliefert.

5. fertige Spiralen aus Rundeisen von 1,2 cm Durchmesser zu den Säulen 65—67;
6. Rundeisen von 0,5 und 0,7 cm Durchmesser in Stangenform, aus denen im Amt gefertigt sind:
 - a) die geschweißten Ringe zu den Säulen 28—33,
 - b) die Ringe mit Hakenenden zu den Säulen 34—39;
7. Rundeisen von 0,7 cm Durchmesser in Ringen von 60 cm Durchmesser, aus denen die Spiralen zu den hohlen Säulen 55—60 im Amt gefertigt sind.

Zur Kennzeichnung ihrer Materialeigenschaften sind die Längseisen auf Zug- und Druckfestigkeit, die Quereisen auf Zugfestigkeit geprüft (s. Tab. 6 bis 10). Sämtliche Proben behielten den vollen Walzquerschnitt; die Endflächen der Druckproben wurden auf die Druckplatten aufgeschliffen.

Die Zugproben sind wie folgt entnommen:

- a) die geschweißten Ringe, Nr. 1 des vorstehenden Verzeichnisses, wurden aufgeschnitten und gerade gerichtet; hierbei enthielten die Proben 80 und 81 (s. Tab. 8) und 71 und 72 (s. Tab. 9) die Schweißstelle in der Mitte, während die übrigen Proben 47—49 und 50—52 ohne Schweißstelle waren.
- b) Die Ringe, Nr. 2 des vorstehenden Verzeichnisses und
- c) die Diagonalbügel, Nr. 3 des vorstehenden Verzeichnisses, sind ebenfalls kalt gerade gerichtet.
- d) Von den fertig eingelieferten Spiralen, Nr. 4 und 5 des Verzeichnisses, sind die Zerreißproben an deren Enden entnommen und kalt mit dem Holzhammer gerade gerichtet. Das Abschneiden war erforderlich, weil die Spiralen zu lang geliefert waren, so daß sie bei der vorgeschriebenen Steigung und dem äußeren Durchmesser der Spirale von 28 cm in den 1,3 m langen Säulen sich nicht unterbringen ließen. Das Ende der Spiralen wurde nach dem Abschneiden im Amt durch einen geübten Schweißer einer Berliner Firma neu autogen (Azetylen-Sauerstoff) verschweißt. Bemerkte sei hier, daß die Spiralen für die quadratischen Säulen bei der Einlieferung bereits aus 3 Enden zusammengeschweißt waren. Die Länge der Ueberlappung an den Schweißstellen betrug etwa 10 cm.
- e) Bei den in Stangenform eingelieferten Rundeisen, Nr. 6 des Verzeichnisses, wurden die Zerreißproben denselben Stangen entnommen, aus denen die Ringe zu den Säulen 28 bis 39 und die Spiralen zu den Säulen 55 bis 60 im Amt gefertigt wurden.

Die Druckversuche, Tab. 6, ergeben für die drei Sorten Längseisen von 1,4, 1,6 und 2,0 cm Durchmesser keine wesentlichen Unterschiede in den Elastizitätszahlen. Die Mittelwerte schwanken zwischen 2010000 und 2070000; das Gesamtmittel beträgt 2032500.

Die Spannungen an der Proportionalitätsgrenze sind bei dem 2,0 cm-Eisen für die Parallelversuche gut übereinstimmend, bei den anderen Eisen dagegen und besonders bei dem 1,4 cm-Eisen der Lieferung b stark abweichend; bei den letztgenannten Eisen und bei dem 1,6 cm-Eisen liegen sie wesentlich tiefer (2290 kg/qcm) als bei den beiden anderen Eisen (2860 und 2680 kg/qcm).

Die Spannung an der Quetschgrenze beträgt bei dem 1,6 cm-Eisen 2630 kg/qcm, bei den anderen drei Eisen in guter Uebereinstimmung etwa 3000 kg/qcm.

Die Zugversuche mit den Längseisen (Tab. 7) zeigen in Uebereinstimmung mit den Druckversuchen, daß das 1,4 cm-Eisen der Lieferung a (Proben 9 und 10) bei geringerer Bruchdehnung sowohl höhere Streckgrenze als auch höhere Bruchfestigkeit besitzt als das 1,4 cm-Eisen der Lieferung b (Proben 14 und 15), zugleich besitzt letzteres die auffallend geringe Elastizitätszahl 1985000. Hingewiesen sei ferner noch auf die niedrige Streckgrenze der 1,6 cm-Eisen (Proben 19 und 20).

Abb. 1. Zugversuche mit den Querbewehrungen.

I. Eisen von 0,5 cm Durchmesser.

Bewehrungsart:

a = geschweißte Ringe	} quadratische Säulen.	e = geschweißte Ringe	} achtseitige Säulen.
b = umgehakte "		f = Spirale	
c = Diagonal-Bügel "			
d = Spiralen			

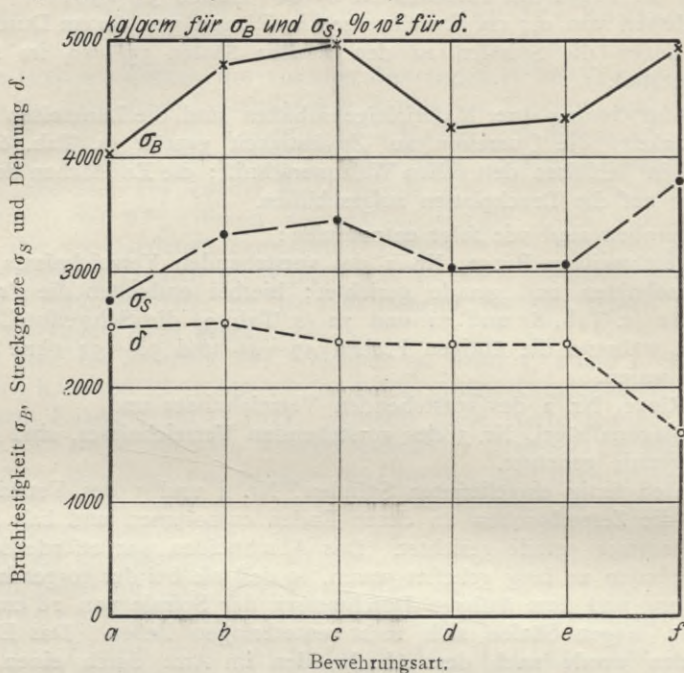
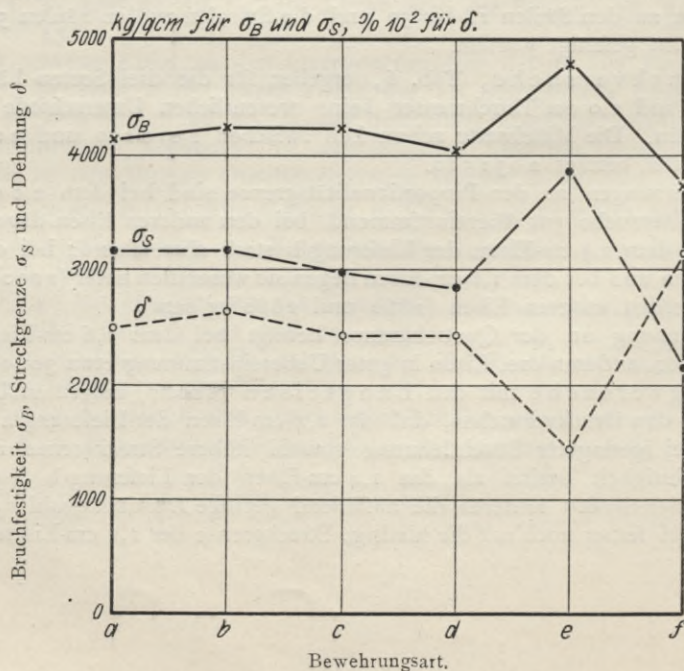


Abb. 2. Zugversuche mit den Querbewehrungen.

II. Eisen von 0,7 cm Durchmesser.

Bewehrungsart:

a = geschweißte Ringe	} quadratische Säulen.	d = geschweißte Ringe	} achtseitige Säulen.
b = umgehakte "		e = Spiralen	
c = Spiralen		f = Spiralen	



Die Ergebnisse der Zugversuche mit den Eisen für die Querbewehrungen sind für die drei Eisenstärken 0,5 cm, 0,7 cm und 1,2 cm in den Tab. 8 bis 10 gesondert zusammengestellt. Zur besseren Uebersicht sind außerdem die Werte für die Streckgrenze σ_s , Bruchgrenze σ_B und Bruchdehnung δ der 0,5 cm und 0,7 cm dicken Eisen in den Abb. 1 und 2 zu Schaulinien aufgetragen. Aus letzteren ergeben sich für die 0,5 cm Eisen (Abb. 1) zu den verschiedenen Bewehrungsarten *a* bis *f* recht erhebliche Unterschiede in der Streckgrenze σ_s und Bruchfestigkeit σ_B . Besonders zeigen die Eisen zu der Spiralbewehrung *f* der achtseitigen Säulen auffallend hohe Streckgrenze σ_s , während die Bruchfestigkeit etwa die gleiche ist, wie die der Eisen zu den Diagonalbügel *e* der quadratischen Säulen.

Die 0,7 cm-Eisen (Abb. 2) zu den verschiedenen Bewehrungen *a*, *b* und *c* der quadratischen Säulen stimmen in ihren Festigkeitseigenschaften untereinander gut überein und unterscheiden sich auch von den Eisen zu der Bewehrung *d* (Ringe) der achtseitigen Säulen nicht wesentlich. Dagegen zeigen auch hier, wie in Abb. 1, die Eisen aus den fertig eingelieferten Spiralen *e* der achtseitigen Säulen auffallend hohe Streckgrenze σ_s und Bruchfestigkeit σ_B bei sehr geringer Bruchdehnung δ . Die in Ringen von 60 cm Durchmesser eingelieferten Eisen zu den Spiralen *f* der hohlen Säulen lieferten bei weitem die geringsten Werte für die beiden Spannungsgrenzen σ_s und σ_B und die höchsten Bruchdehnungen.

III. Die Herstellung der Säulen.

Die zu den Querbewehrungen bestimmten Ringe und Bügel sind zunächst mit Hilfe einer Lehre auf die Richtigkeit ihrer Abmessungen überprüft und, soweit erforderlich war, nachgerichtet. Aus ihnen und den zugehörigen Längseisen sind dann von demselben geübten Arbeiter der Firma Aktiengesellschaft für Beton- und Monierbau, wie früher, die Eisengerippe im Amt hergestellt. Abb. 3 zeigt die fertigen Gerippe mit Ringen, Bügel und Spiralen aus 0,7 cm-Eisen für die quadratischen Säulen, Abb. 4 die Gerippe aus den 0,7-cm-Ringen, -Bügel und den Spiralen aus 0,7 und 1,2 cm-Eisen für die achtseitigen Säulen und Abb. 5 die Innenansicht eines Gerippes aus umgehakten Ringen für achtseitige Säulen. Die fertigen Gerippe wurden beim Stampfen der Säulen durch Lehren in der Form in richtiger Lage gehalten.

Der Beton bestand im allgemeinen aus 1 Raumteil Zement und 4 Raumteilen Kiessand, gemischt aus gleichen Raumteilen der beiden Körnungen 0—11 und 11—25 mm; nur zu den Säulen 49—54, Reihe B, Tab. 1, wurde der Beton in der Mischung 1 : 2 $\frac{1}{2}$ verarbeitet, der Wasserzusatz, bezogen auf die trockene Mischung, ist im Einvernehmen mit dem Vertreter der Aktiengesellschaft für Beton- und Monierbau bei der Mischung 1 : 4 gleich 10 % und bei der Mischung 1 : 2 $\frac{1}{2}$ gleich 11 % gewählt.

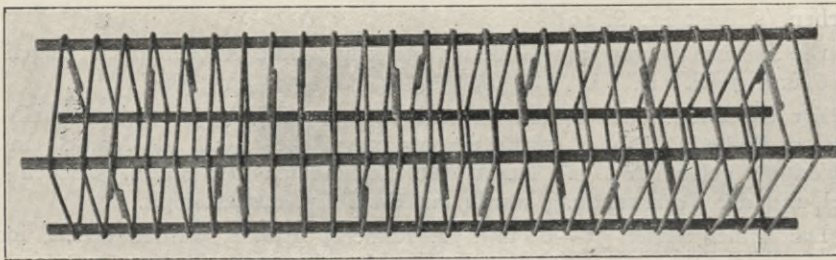
Das Mischen und Stampfen der Säulen geschah wie bei den früheren Säulenversuchen (s. Heft 21, S. 10).

Die Formen waren aus Gußeisen gefertigt; ihre Anordnungen zeigen die Abb. 6 und 7 (S. 11).

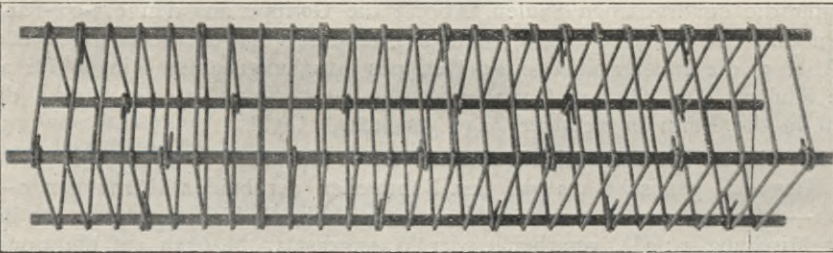
Zur Herstellung der Säulen 62 und 64 ohne Schale (Beton außerhalb der Spirale) s. Reihe D, Tab. 1, wurde ein 0,5 mm dickes Blech als Mantel um das Spiralgerippe gelegt und mit Draht fest umwunden. Der Raum zwischen dem Mantel und der Formwandung wurde mit Sand fest ausgestampft.

Die hohlen Säulen 55—60 und 72, Reihe C, Tab. 1, wurden erzielt, indem zentrisch in die Form ein Kern von 10 cm Durchmesser eingesetzt wurde. Der Kern bestand aus einem eisernen Rohr von 0,3 cm Wandstärke, das spiralig mit dünnem Draht umwunden war, der zur Erleichterung des Herausziehens des Kerns nach zweitägiger Erhärtung des Betons diente.

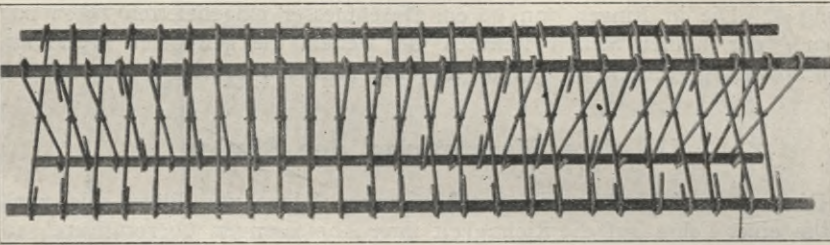
Abb. 3. Eisengerippe der quadratischen Säulen. Durchmesser der Quereisen 0,7 cm, der Längseisen 2 cm.



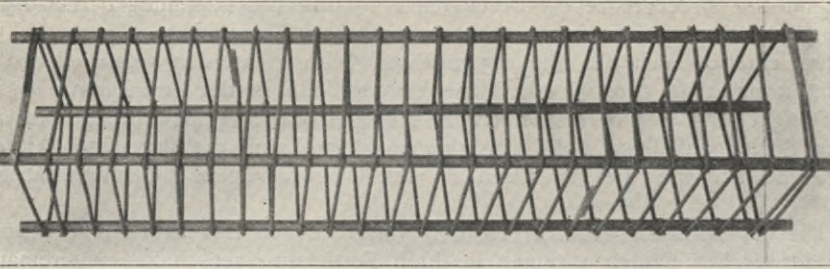
a) geschweißte Ringe.
Säulen 4—6.



b) umgehakte Ringe.
Säulen 10—12.



c) Diagonalbügel.
Säulen 16—18.

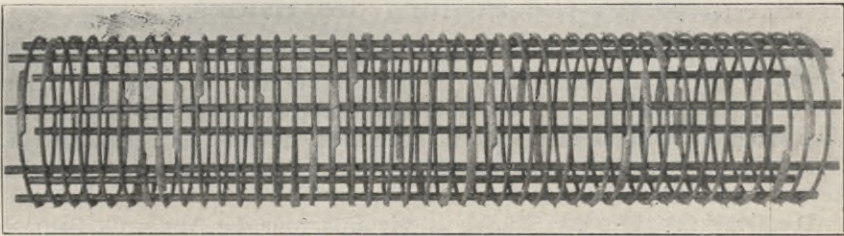


d) Spirale, Enden verschweißt.
Säulen 22—24.

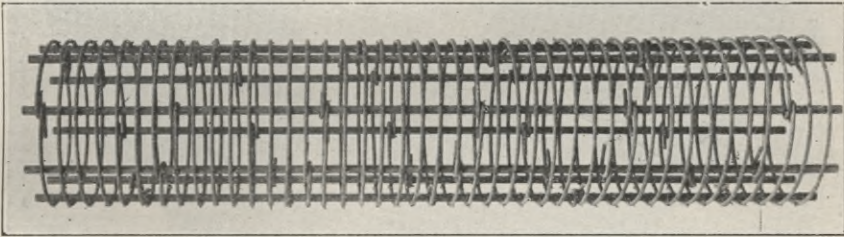
Abb. 4. Eisengerippe der achtseitigen Säulen.

Für f bis h: Durchmesser der Quereisen $d_q = 0,7$ cm; der Längseisen $d_l = 1,4$ cm.

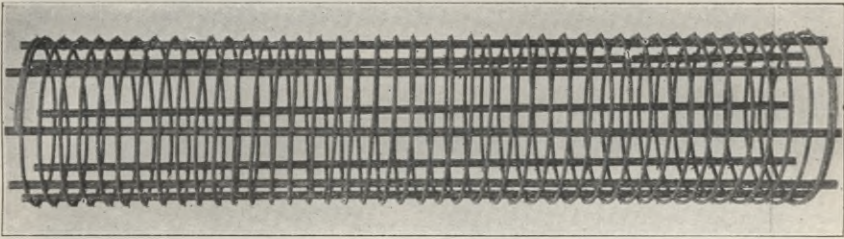
$d_q = 1,2$ cm; $d_l = 1,6$ cm.



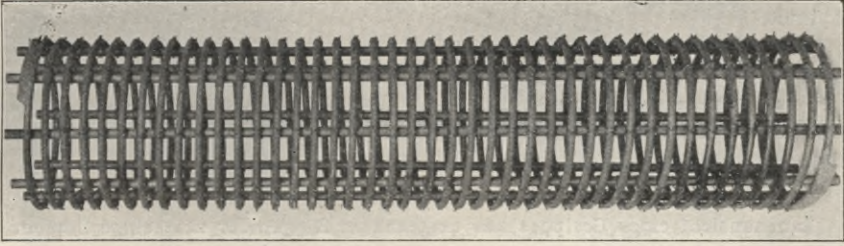
f) geschweißte Ringe.
Säulen 31—33.



g) umgekehrte Ringe.
Säulen 37—39.



h) Spirale, Enden verschweißt.
Säulen 43—45.



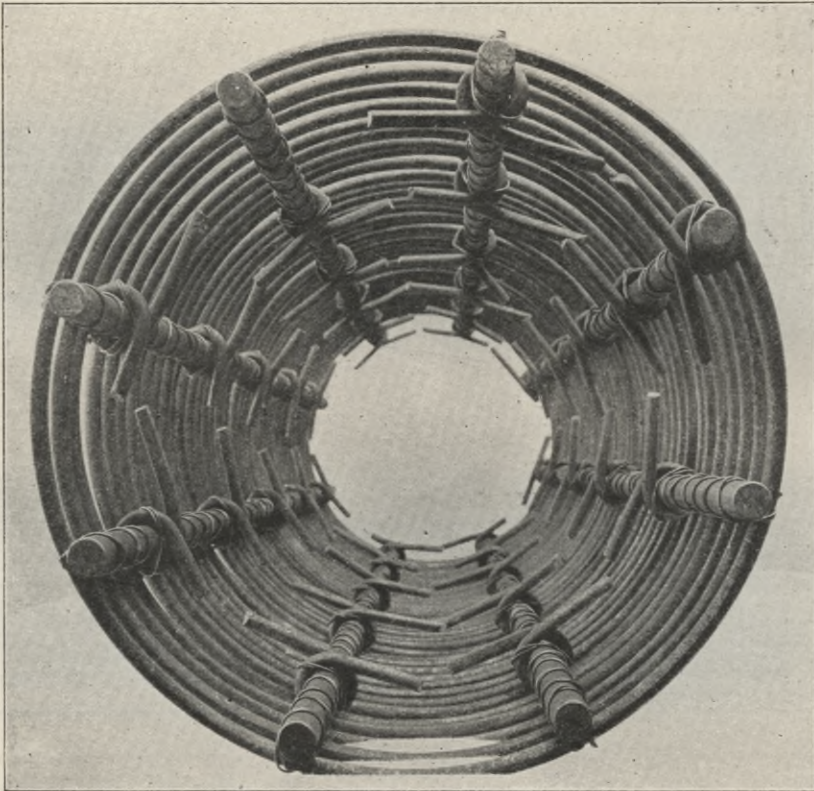
e) Spirale, Enden verschweißt.
Säulen 65—67.

Die Proben erhärteten zwei Tage in der Form und dann bis zur Prüfung bei 90 Tagen Alter im geschlossenen Raum an der Luft, wobei sie bis zum achten Tage täglich einmal angehäßt wurden. Die Luftfeuchtigkeit und Lufttemperatur sind ständig von einem Richard'schen Thermohygrographen aufgezeichnet.

Zehn Tage vor der Prüfung wurden beide Druckflächen der Säulen zwischen möglichst parallel gestellten, sauber bearbeiteten Eisenplatten mit Zementmörtel (1:1) abgeglichen. Die Abgleichschicht überdeckte die Endflächen der Längseisen, die vorher etwa 2—3 mm aus dem gestampften Beton hervorragten, um je etwa 2 mm.

Abb. 5.

Innenansicht eines Gerippes aus umgehakten Ringen für achtseitige Säulen.



IV. Die Prüfung des Betons.

Gleichzeitig mit den Säulen wurde an jedem Tage der Probenfertigung ein Betonwürfel von 30 cm Kantenlänge in eisernen Formen und zwei Schichten von 15 cm Höhe gestampft. Die Würfel erhärteten zwei Tage in der Form und standen dann bis zur Prüfung bei 90 Tagen Alter neben den zugehörigen Säulen an der Luft, wobei sie wie die letzteren vom dritten bis achten Tage ebenfalls wiederholt angehäßt wurden.

Die Druckfestigkeit der Würfel ist wie früher in der Abt. 2 für Baumaterialprüfung auf der 400-t-Pressen, Bauart Martens, ermittelt. Die Belastung erfolgte senkrecht zur Stampfrichtung.

Die Ergebnisse sind in Tab. 11 zusammengestellt. Auffallend sind die geringen Festigkeiten der Würfel 30 und 31 zu den Säulen 20, 41 und 23, 44.

Abb. 6.

Form für die quadratischen Säulen.

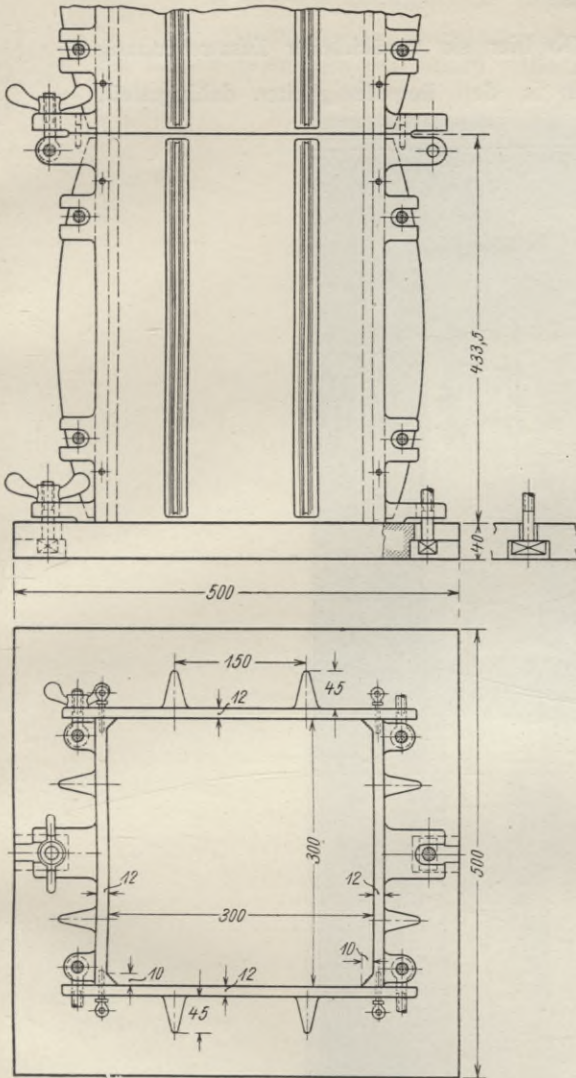
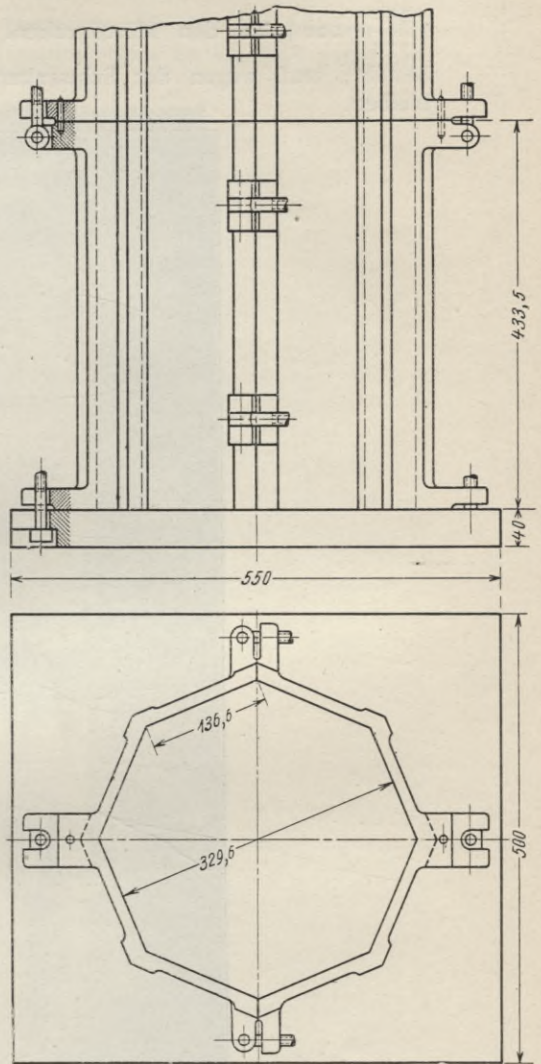


Abb. 7.

Form für die achtseitigen Säulen.



Ihre Bruchspannungen betragen nur 161 und 180 kg/qcm gegenüber der mittleren Festigkeit von 229 kg/qcm aller Würfel aus dem Beton in der Mischung 1:4. Der Beton in der Mischung 1:2¹/₂ lieferte 320 kg/qcm mittlere Druckfestigkeit.

Nach Tab. 3 hatten die Eigenschaften des Zementes während der Dauer seiner Verarbeitung (6. III. 13 bis 3. VII. 13) sich verändert, die Festigkeit der aus diesem Zement gefertigten Mörtelproben hatte etwas abgenommen. Faßt man die aus Tab. 11 ersichtlichen Einzelwerte der Betonfestigkeiten nach Monaten der Probenfertigungen zusammen, so ergeben sich folgende Werte:

mittlere Festigkeit der im März gefertigten Proben	=	238,7	kg/qcm
„ „ „ „ April	„	232,5	„
„ „ „ „ Mai	„	225,7	„
„ „ „ „ Juni	„	223,6	„

Hiernach nehmen auch die Betonfestigkeiten stetig ab. Das Verhältnis der Werte für Juni und März beträgt $\frac{223,6}{238,7} \cdot 100 = 93,5\%$; ebensogroß war es $\left(\frac{350}{374} \cdot 100\right)$ bei den Mörtelproben. Ob hier ein tatsächlicher Zusammenhang besteht, muß wegen der Schwankungen in den Betonfestigkeiten dahingestellt bleiben.

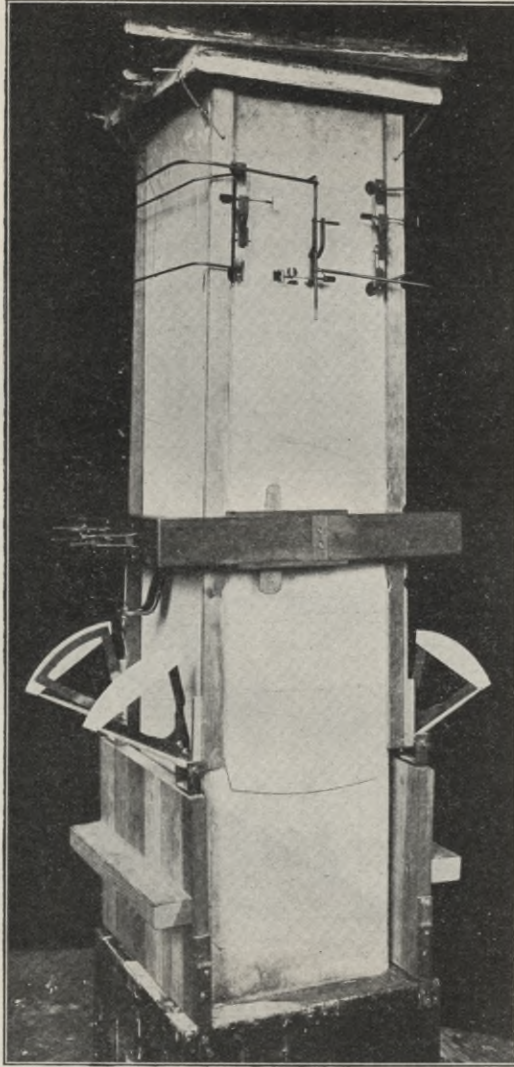


Abb. 8.

Anordnung der Meßapparate bei den Säulen 21 und 24.

V. Versuche mit den Säulen.

Die Säulen wurden wieder stehend auf der 600-t-Maschine geprüft. Die untere Druckplatte war verstellbar. Sie wurde zum Versuch so ausgerichtet, daß die obere Endfläche der auf ihr stehenden Säule parallel zur oberen Druckfläche der Maschine lag. Zwischen diesen beiden Flächen ist dann eine Stahlplatte von

4 cm-Dicke mit parallelen Flächen eingeschaltet. Die Belastung wurde stufenweise gesteigert unter wiederholtem Entlasten auf die Anfangslast von 2,09 t.

1. Die Einrichtungen zur Ermittlung der Formänderungen.

Die Ermittlung der Formänderungen erstreckte sich im wesentlichen auf die Längenänderungen der Säulen. Bei 18 quadratischen Säulen sind außerdem

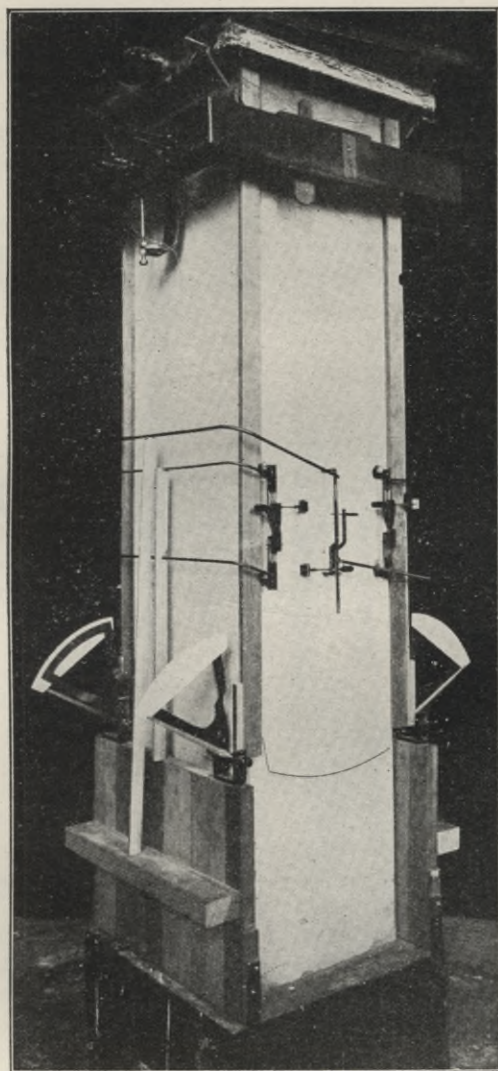


Abb. 9.

Anordnung der Meßapparate bei den Säulen 8, 11, 14, 20, 23 und 50.

auch Querdehnungsmessungen vorgenommen, und zwar bei 9 Säulen am oberen Ende (s. Abb. 9) und bei 9 Säulen in der Mitte (s. Abb. 8).

Die Einrichtung des Querdehnungsmessers ist bereits in Heft 21 Fig. 12 und S. 11 u. ff. beschrieben. Hervorgehoben sei aber unter Hinweis auf Abb. 13 Heft 21, daß bei den vorliegenden Versuchen nur die Meßstrecke 4 Abb. 13, Heft 21 in der Mitte der Querschnittskante beobachtet worden ist.

Die Ermittlung der Längenänderungen bezweckte festzustellen,

- a) wie die Verbundstoffe, das Eisen und der Beton, an der Lastaufnahme teilnehmen und
- b) welche Beziehungen zwischen den Belastungen und Längenänderungen der Säulen bis über die Belastung beim Beginn der Ribbildung hinaus bestehen.

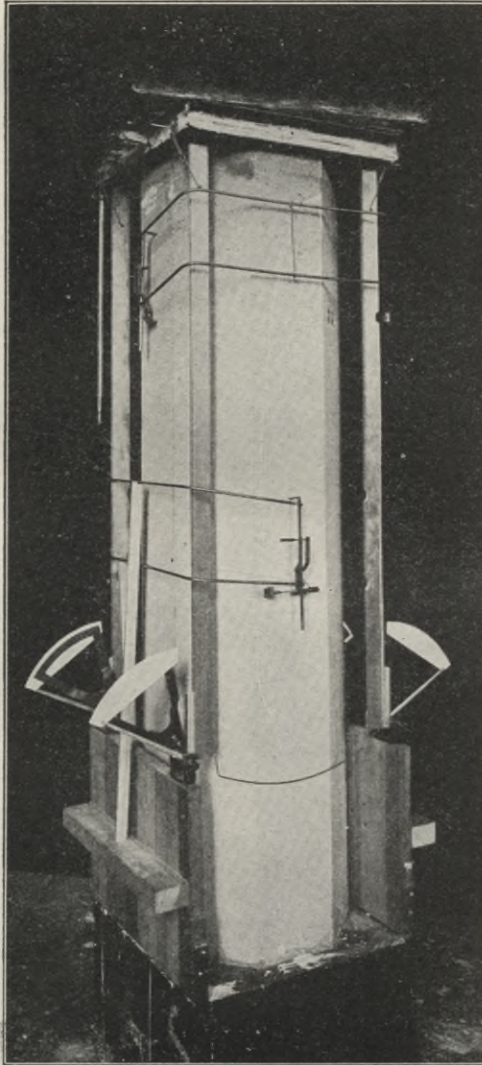


Abb. 10.

Anordnung der Meßapparate bei den achtseitigen Säulen.

Aus den Ergebnissen der bei den früheren Versuchen (s. Heft. 5 S. 35) angestellten Formänderungsmessungen hatte ich geschlossen, „daß die Verteilung der Spannung über den Beton- und Eisenquerschnitt sowohl mit wachsender Belastung als auch beim wiederholten Lastwechsel sich beständig ändert“ und „daß beim Entlasten zwischen beiden Materialien Wechselspannungen entstanden“. Zur Feststellung der Spannungsverteilung wurden nun die Beziehungen zwischen der

Gesamtbelastung der Säule einerseits und den Längenänderungen sowohl des Betons als auch der Längseisen andererseits ermittelt und zwar getrennt für beide Verbundstoffe innerhalb derselben Strecken der Säulenlänge. Um hierbei die Unterschiede für verschiedene Meßstrecken möglichst scharf hervortreten zu lassen, mußte die Meßlänge tunlichst gering sein; gewählt ist sie zu 15 cm. Gemessen ist mit Martenschen Spiegelapparaten auf $1/100000$ cm.

Außerdem ist die Gesamtlängenabnahme der Säulen zwischen den Druckplatten festgestellt.

Wegen des großen Arbeitsumfanges war es nicht tunlich alle verschiedenartigen Messungen an sämtlichen Säulen vorzunehmen. Gemessen sind daher gleichzeitig:

- A. an den Säulen: 1, 4, 7, 10, 13, 16, 49, 21 und 24
 - α) die Längenänderungen des Betons am Säulende
 - β) „ „ der Eisen „ „ ¹⁾
 - γ) „ Querdehnung in Säulenmitte.
- B. an den Säulen: 2, 5, 17, 8, 11, 14, 20, 23 und 50
 - α) die Längenänderungen des Betons in Säulenmitte
 - β) „ „ der Eisen „ „ ¹⁾
 - γ) „ „ Querdehnung am Säulenende.
- C. an den Säulen: 3, 6, 9, 12, 15, 18, 19, 22 und 51
 - α) die Längenänderungen des Betons in Säulenmitte
 - β) „ „ der Eisen in „ „
 - γ) „ „ „ „ am Säulenende.
- D. an den Säulen 25 und 52
 - α) die Längenänderungen des Betons am Säulenende
 - β) die Querdehnung in Säulenmitte.
- E. an den Säulen 26 und 53
 - α) die Längenänderungen des Betons in Säulenmitte
 - β) die Querdehnung am Säulenende.
- F. an der Säule 27 und an allen achtseitigen Säulen 28 bis 48, s. Abb. 10,
 - α) die Längenänderungen des Betons in Säulenmitte
 - β) die Längenänderungen des Betons am Säulenende.

Um die Schneiden der Meßfedern für die Spiegelapparate an die Längseisen anlegen zu können, wurden einige Tage vor dem Versuch Löcher von 2 cm Durchmesser in den erhärteten Beton eingestemmt, die bis auf die Eisen hineingingen und deren Mitten die Enden der Meßlängen bildeten. Die Anordnung dieser Löcher am Säulenende zeigt Abb. 11 (s. auch Abb. 8 und 9). Die gleiche Anordnung hatten die Löcher auf der gegenüberliegenden Seite der Säule, sofern die Messungen an allen vier Längseisen vorgenommen werden sollten. War nur an zwei Längseisen zu messen, so wurden auf den beiden Seiten auch nur je zwei übereinanderliegende Löcher angebracht, die dann auf beiden Seiten einander senkrecht gegenüberlagen.

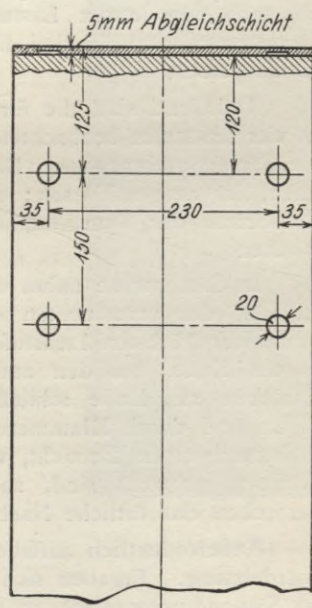


Abb. 11.
Anordnung der Löcher zum Ansetzen der Meßfedern der Spiegelapparate an die Längseisen.

¹⁾ Gemessen ist bei den Säulen 21 und 24 unter A und bei 8, 11, 14, 20, 23 und 50 unter B gleichzeitig an allen 4 Eisen (s. Abb. 8 und 9), bei allen übrigen Säulen nur an zwei Eisen.

Die Längenänderungen der Säulen innerhalb deren ganzer Länge sind mit 4 Rollenapparaten gemessen, deren Anordnung aus den Abb. 8—10 zu ersehen ist. Sie zeigten den Abstand zwischen den beiden Druckplatten im Uebersetzungsverhältnis von annähernd 1 : 50 an. Das Mittel aus den vier Beobachtungen ist als „Längenänderung der Säule“ angegeben.

Die Belastung wurde stufenweise gesteigert und bei jeder Stufe wurde wiederholt ent- und belastet, bis annähernd gleichbleibende Formänderungen erhalten wurden.

2. Versuchsergebnisse.

A. Vergleich der verschiedenartigen Querbewehrungen bei gleicher Längsbewehrung.

1. Säulen mit quadratischem Querschnitt.

a) Die Querdehnungen bei wachsender Belastung.

Die Beobachtungswerte für die Querdehnungen enthält Tab. 12. Man erkennt, daß die Querdehnung beim wiederholten Belasten der Säule bei der gleichen Beanspruchung mit der Zahl der Lastwechsel fortschreitet. Im allgemeinen sind hierbei aber für Belastungen bis 75 t schließlich gleichbleibende Formänderungen erzielt, während letztere bei höheren Belastungen selbst nach zehnmalem Wechsel noch zunehmen.

Um eine bessere Uebersicht hinsichtlich des Einflusses der Lage der Meßstelle und der Art der Querbewehrung auf die Querdehnung zu gewinnen, sind die nach den letzten Lastwechseln erzielten Werte in Tab. 13 besonders zusammengestellt und hierbei die für das Säulende geltenden Werte in liegender Schrift gesetzt.

Auffallend sind die für die Querdehnung am Säulende bei den ersten drei bis vier Laststufen beobachteten negativen Werte, entsprechend einer Abnahme des Säulendurchmessers. Daß sie auf Zufälligkeiten oder Beobachtungsfehler beruhen, ist ausgeschlossen; dafür bürgt neben ihrer regelmäßigen Wiederkehr am Säulende der Umstand, daß sie bei den Messungen in Säulenmitte niemals auftreten.

In Säulenmitte nahm der Durchmesser mit wachsender Belastung stetig zu. Bei fünf der untersuchten 9 Paar Säulen blieb die Zunahme des Durchmessers bis zu der höchsten Laststufe, für die Beobachtungen vorliegen, in der Mitte größer als am Ende, bei den anderen vier Paaren erreichten aber die Durchmesserzunahmen am Ende schließlich größere Werte als in der Mitte. Die Umkehrstellen sind durch Klammern in Tab. 13 gekennzeichnet. Zieht man die Brucherscheinungen in Betracht, wie sie in den Lichtbildern Abb. 12 bis 32 zur Anschauung gebracht sind, so scheint es nach der Lage der Bruchstellen, als ob hier schon das örtliche Nachgeben des Betons zur Geltung gekommen ist.

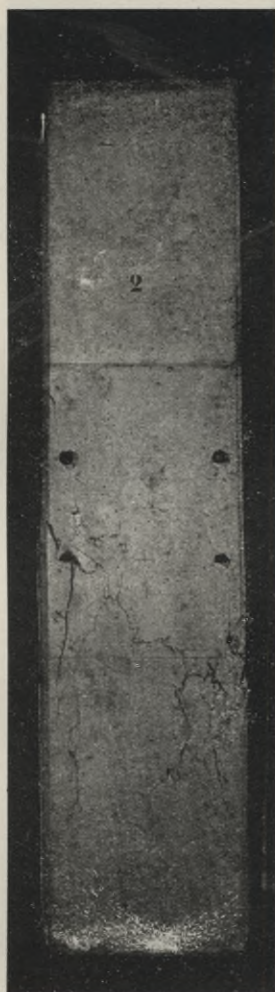
Außerordentlich auffallend ist der verschiedenartige Verlauf der „bleibenden“ Querdehnung. Ergaben sich beim erstmaligen Entlasten bleibende Zunahmen des Säulendurchmessers, so wuchs der Durchmesser auch beim wiederholten Entlasten (s. z. B. Säule 1 und 13 Tab. 12), hatten sich dagegen beim erstmaligen Entlasten für die Querdehnung bleibende negative Werte, also bleibende Abnahmen des Säulendurchmessers ergeben, so wuchsen die negativen Werte bei den ersten Laststufen mit der Zahl der Wiederholungen des Entlastens; bei den späteren Laststufen, also bei höheren Belastungen, nahmen dagegen die negativen Werte beim wiederholten Entlasten ab und gingen schließlich in positive über (s. z. B. Säule 2, 4, 7 Tab. 12). Hierzu kommt, daß sich auch in der

Abb. 12.

Säulen 1 bis 3 mit Ringbewehrung (0,5 cm Durchmesser, geschweißt).



Bruchlast = 172 170 kg



= 180 440 kg



= 183 280 kg.

Abb. 13.

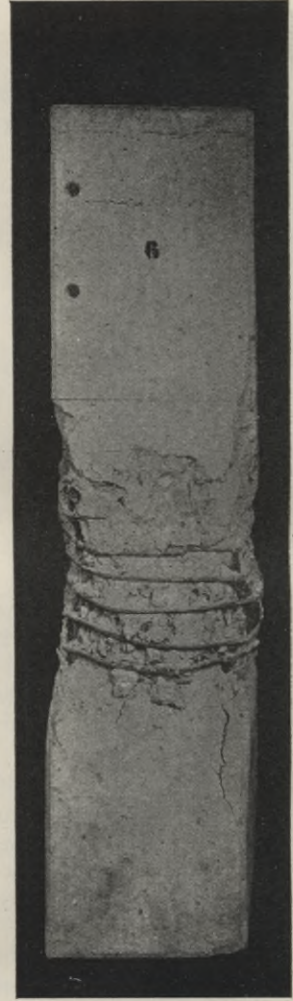
Säulen 4 bis 6 mit Ringbewehrung (0,7 Durchmesser, geschweißt).



Bruchlast = 201 350 kg



= 182 470 kg

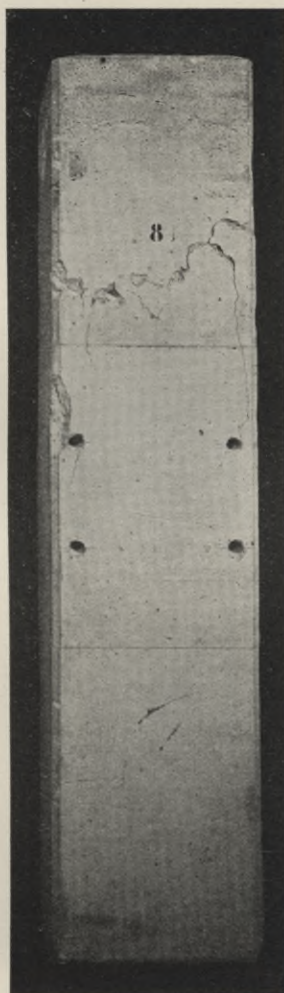


= 196 680 kg

Abb. 14.
Säulen 7 bis 9 mit Ringbewehrung (0,5 cm Durchmesser, umgehakt).



Bruchlast = 191 200 kg



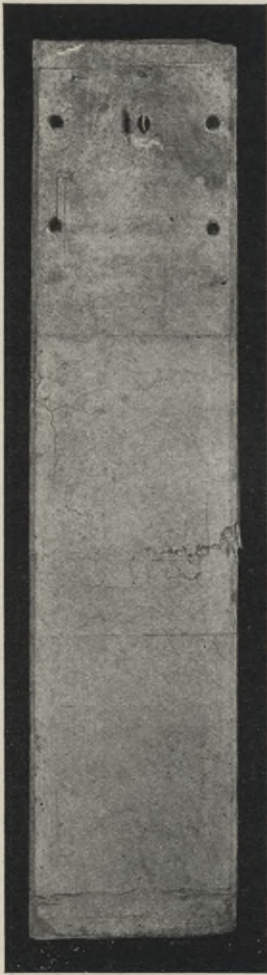
= 186 530 kg



= 195 060 kg.

Abb. 15.

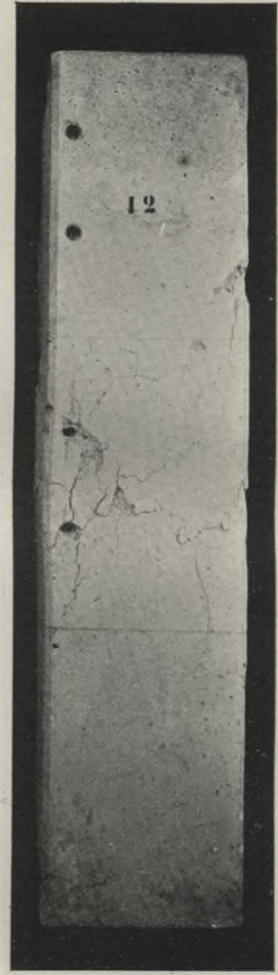
Säulen 10 bis 12 mit Ringbewehrung (0,7 cm Durchmesser, umgehakt).



Bruchlast = 176720 kg



= 196680 kg



= 204190 kg.

Abb. 16.
Säulen 13 bis 15 mit Diagonalbügel (0,5 cm Durchmesser).



Bruchlast = 185 520 kg

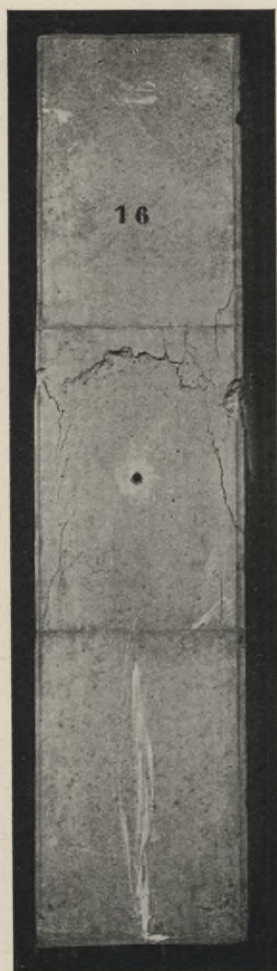


= 174 240 kg

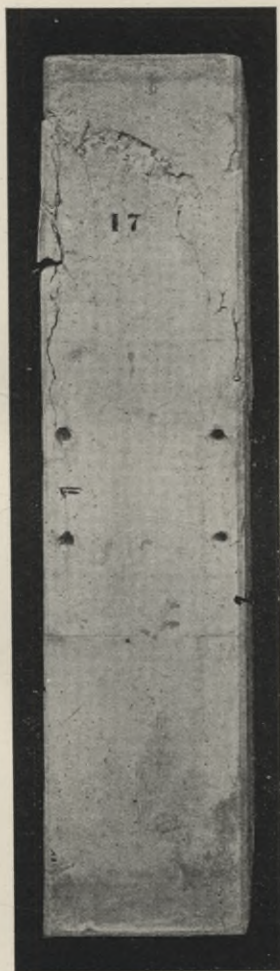


= 184 500 kg.

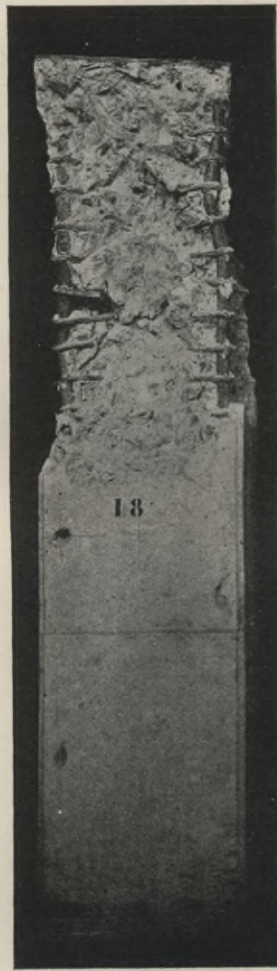
Abb. 17.
Säulen 16 bis 18 mit Diagonalbügel (0,7 cm Durchmesser).



Bruchlast = 182880 kg

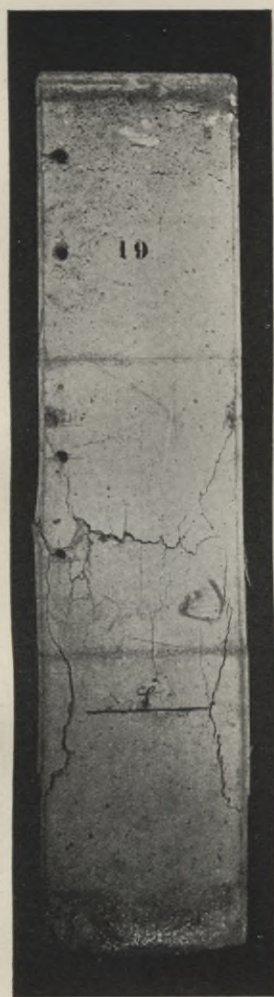


= 183280 kg

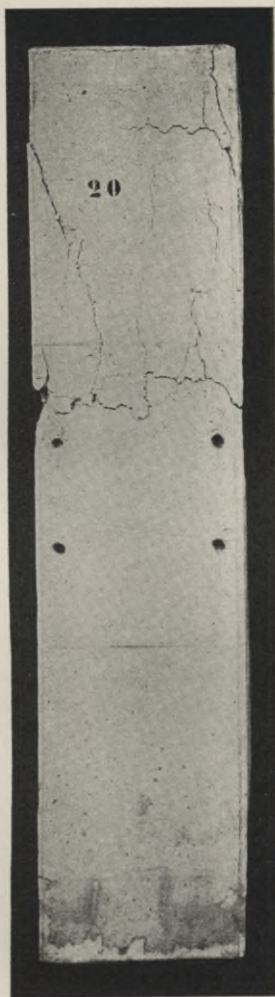


= 153090.

Abb. 18.
Säulen 19 bis 21 mit Spiralbewehrung (0,5 cm Durchmesser).



Bruchlast = 198710 kg



= 165950 kg

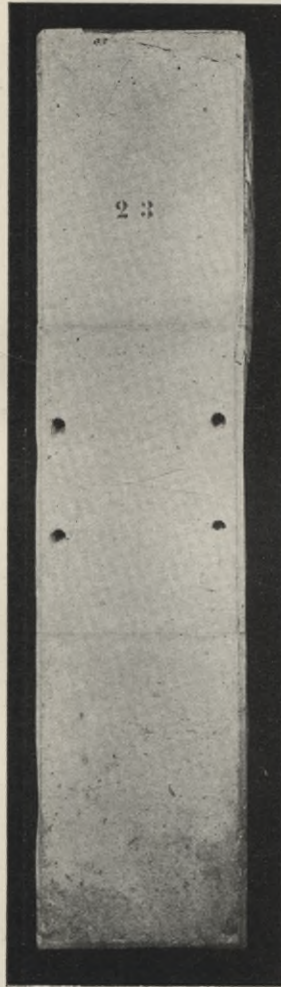


= 174240 kg.

Abb. 19.
Säulen 22 bis 24 mit Spiralbewehrung (0,7 cm Durchmesser).



Bruchlast = 204 800 kg



= 171 340 kg



= 196 680 kg

Abb. 20.

Säulen 26 und 27 ohne Bewehrung.



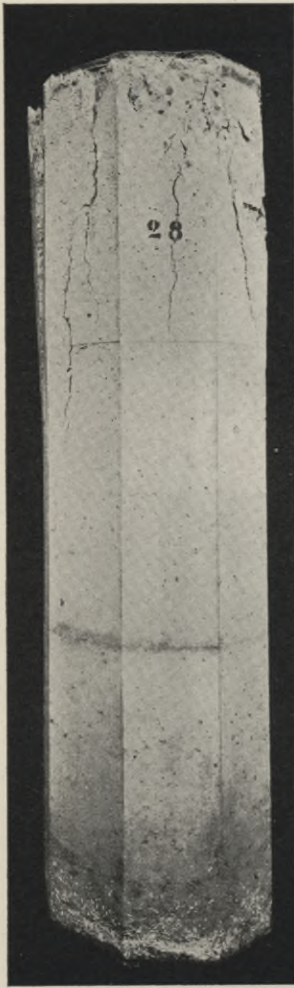
Bruchlast = 179 210 kg



= 176 730 kg.

Abb. 21.

Säulen 28 bis 30 mit Ringbewehrung (0,5 cm Durchmesser, geschweißt).



Bruchlast = 206 010 kg



= 186 730 kg



= 194 240 kg.

Abb. 22.
Säulen 31 bis 33 mit Ringbewehrung (0,7 cm Durchmesser, geschweißt).



Bruchlast = 215 950 kg



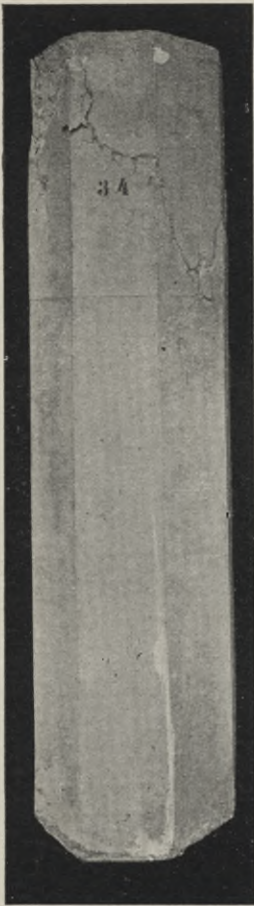
= 203 780 kg



= 225 700 kg.

Abb. 23.

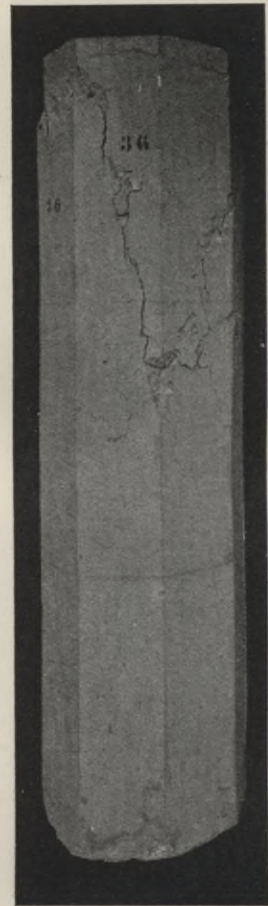
Säulen 34 bis 36 mit Ringbewehrung (0,5 cm Durchmesser, umgehakt).



Bruchlast = 165 320 kg



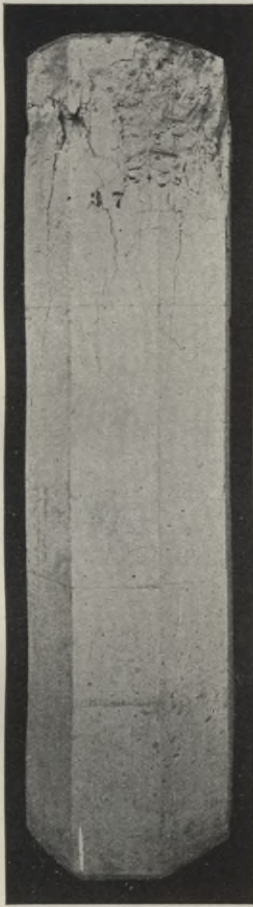
= 189 170 kg



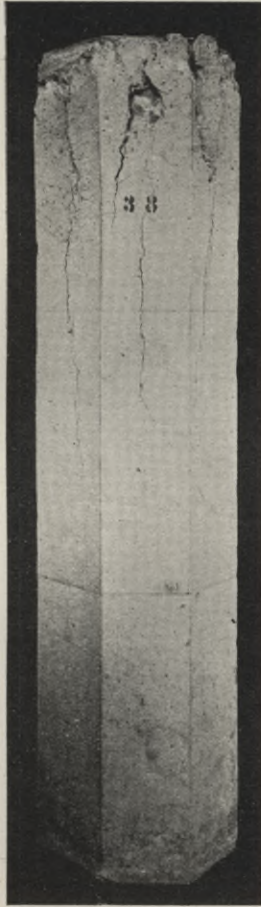
= 194 040 kg.

Abb. 24.

Säulen 37 bis 39 mit Ringbewehrung (0,7 cm Durchmesser, umgehakt).



Bruchlast = 209050 kg



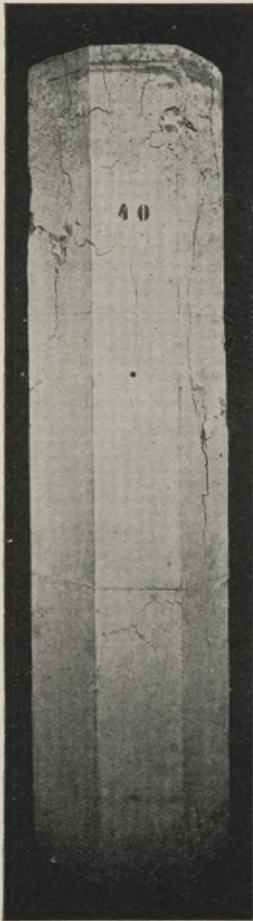
= 203990 kg



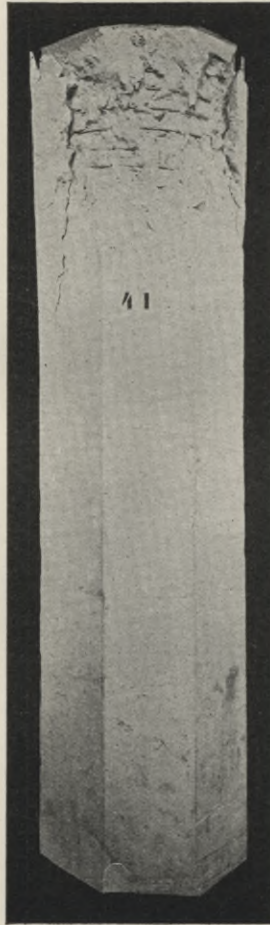
= 214940 kg.

Abb. 25.

Säulen 40 bis 42 mit Spiralbewehrung (0,5 cm Durchmesser).



Bruchlast = 205410 kg



= 162010 kg



= 194650 kg.

Abb. 26.
Säulen 43 bis 45 mit Spiralbewehrung (0,7 cm Durchmesser).



Bruchlast = 210070 kg



= 192420 kg



= 192620 kg.

Abb. 27.
Säulen 46 bis 48 ohne Bewehrung.



Bruchlast = 174850 kg



= 179420 kg



= 170090 kg

Abb. 28.
Säulen 49 bis 51 mit Ringbewehrung (0,7 cm Durchmesser, umgehakt).



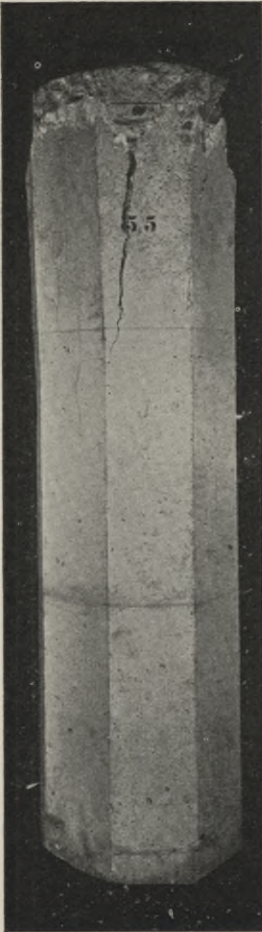
Bruchlast = 251 180 kg

= 246 460 kg

= 215 960 kg.

Abb. 29.

Hohle Säulen 55 bis 57 mit Spiralbewehrung (0,7 cm Durchmesser).
Durchmesser des Hohlraumes = 10 cm; Durchmesser der Spirale = 28 cm.



Bruchlast = 174 660 kg



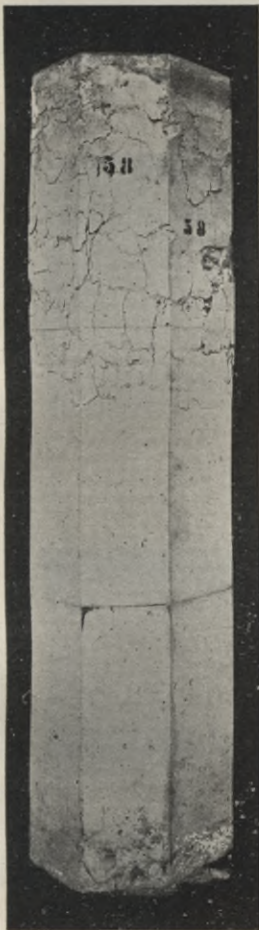
= 177 150 kg



= 165 950 kg.

Abb. 30.

Hohle Säulen 58 bis 60 mit Spiralbewehrung (0,7 cm Durchmesser).
 Durchmesser des Hohlraumes = 10 cm; Durchmesser der Spirale = 28 cm.



Bruchlast = 197700 kg



= 199520 kg

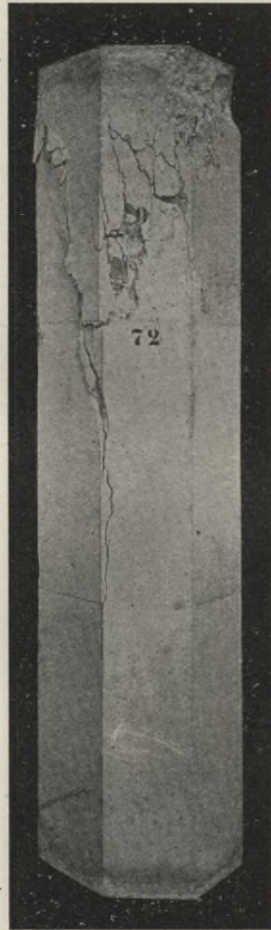


= 185720 kg.

Abb. 30a.

Hohle Säule ohne Bewehrung.

Durchmesser des Hohlraumes = 10 cm.

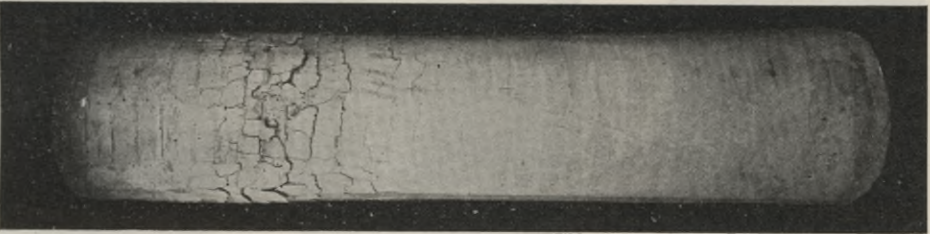


Bruchlast = 141680 kg.

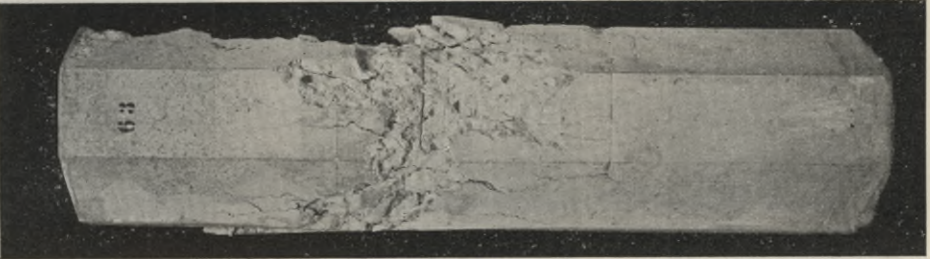
Abb. 31. Säulen 61 bis 64 mit Spiralbewehrung (62 und 64 ohne Schale).
Durchmesser des Spiraleisens bei 61 und 62 = 0,5 cm, bei 63 und 64 = 0,7 cm.



Bruchlast = 177.360 kg



= 152.680 kg



= 200.740 kg



= 196.270 kg.

Abb. 32.

Säulen 65 bis 67 mit Spiralbewehrung (1,2 cm Durchmesser, $\sigma_s = 3400$ kg/qcm).



Bruchlast = 375 240 kg



= 376 240 kg



= 367 870 kg.

Mitte einiger Säulen, wo die Gesamtquerdehnungen durchweg positive Werte ergeben hatten, nach dem Entlasten negative Werte einstellten und daß am Säulende die negativen bleibenden Dehnungen z. T. größer waren als diejenigen unter der Belastung. Eine sichere Erklärung hierfür konnte nicht gefunden werden. Es möge aber darauf hingewiesen werden, daß hier vielleicht die Neigung des Betons, beim Erhärten zu schwinden, eine Rolle spielte, indem beim wiederholten Be- und Entlasten die Spannungen ausgelöst wurden, die dadurch in dem erhärtenden Beton entstanden waren, daß die Bewehrungen dem Schwinden durch Reaktionskräfte entgegenwirkten, sofern der Beton an ihnen haftete.

Abgesehen von der Probe, ergaben sich für die bewehrten Säulen, in Uebereinstimmung mit den früheren Versuchen, bei Belastungen bis zu 73,7 t in der Mitte geringere Querdehnungen als für die unbewehrten Säulen, bei höheren Belastungen stellte sich aber das umgekehrte Verhältnis ein. Für die Messungen am Säulende tritt diese Umkehr z. T. schon bei etwa 33,3 t Belastung ein.

Ein ausgesprochener Einfluß der Verschiedenartigkeit der Querbewehrungen auf die Querdehnung der Säulen tritt bei den vorliegenden Versuchen nicht zutage.

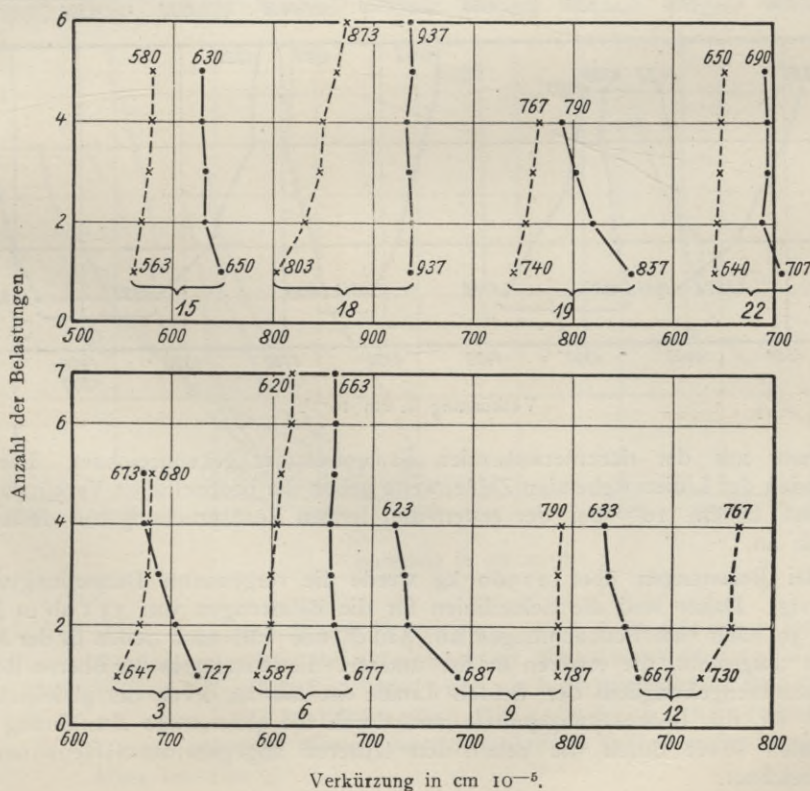
b) Längenänderungen der Längseisen in den Säulen mit quadratischem Querschnitt.

Die für die einzelnen Laststufen bis zu 145800 kg Höchstlast beim wiederholten Be- und Entlasten beobachteten gesamten, bleibenden und federnden Längenänderungen der Längseisen sind in Tab. 14—21 zusammengestellt.

Abb. 33.

Verkürzung der Längseisen beim wiederholten Belasten der Säulen bis 12 530 kg.

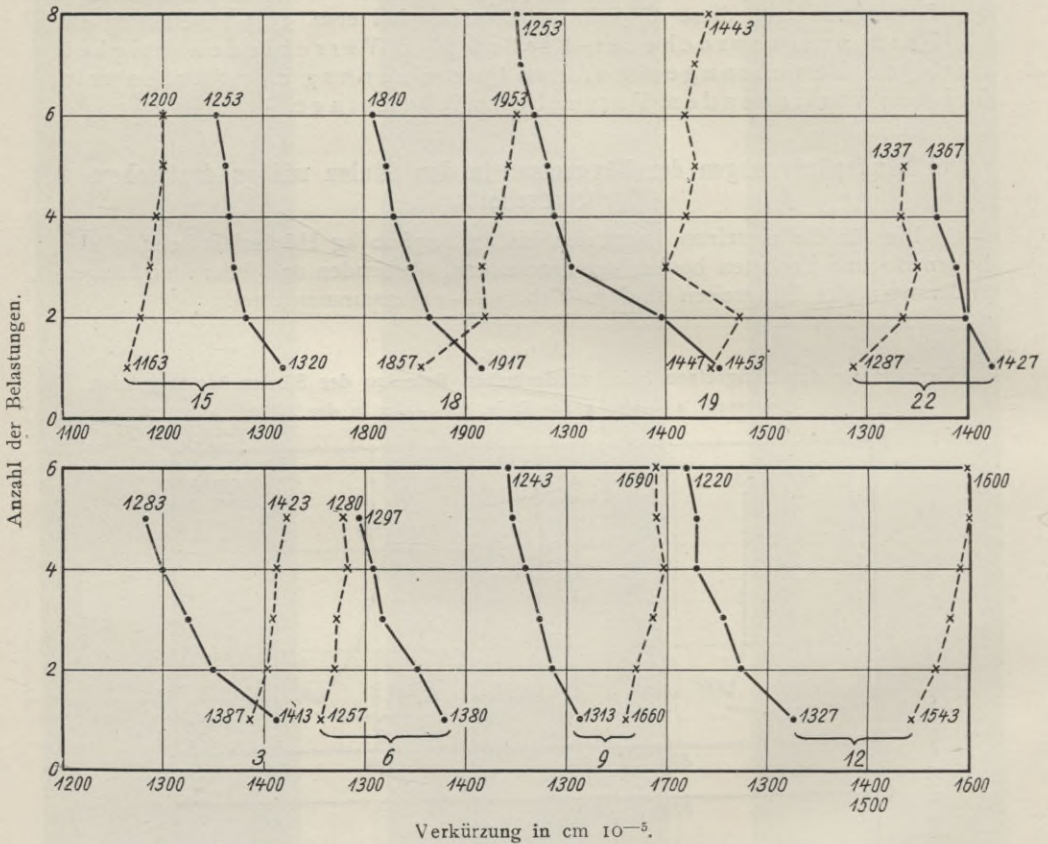
Gemessen: ● —● am Ende, x - - - x in der Mitte.



Für die Säulen 3, 6, 9, 12, 15, 18, 19 und 22, bei denen die Messungen am Säulenende und in der Mitte gleichzeitig erfolgten (s. Abschnitt V. 1 Reihe C), ist der Verlauf der Gesamt-Längenänderungen bei den wiederholten Beanspruchungen mit den gleichen Belastungen durch Schaulinien dargestellt. Abb. 33 und 34 zeigen die Linien für 12530 und 22960 kg Belastung, und zwar haben hier die Linien für die Beobachtungen am Säulenende und in der Mitte derselben Säule den gleichen Nullpunkt des Koordinatensystems. Die für das Säulenende geltenden Linien sind voll ausgezogen, diejenigen für die Mitte der Säulen gestrichelt. Die Zugehörigkeit der Linienpaare zu derselben Säule ist durch

Abb. 34.

Verkürzung der Längseisen beim wiederholten Belasten der Säulen bis 22960 kg.
Gemessen: ● —● am Ende, x - - - x in der Mitte.



Klammern mit der darunterstehenden Säulenummer gekennzeichnet. Die an den Enden der Linien stehenden Zahlenwerte geben die beobachteten Verkürzungen der Eisen in cm 10⁻⁵ bei der ersten und letzten Beanspruchung mit derselben Laststufe an.

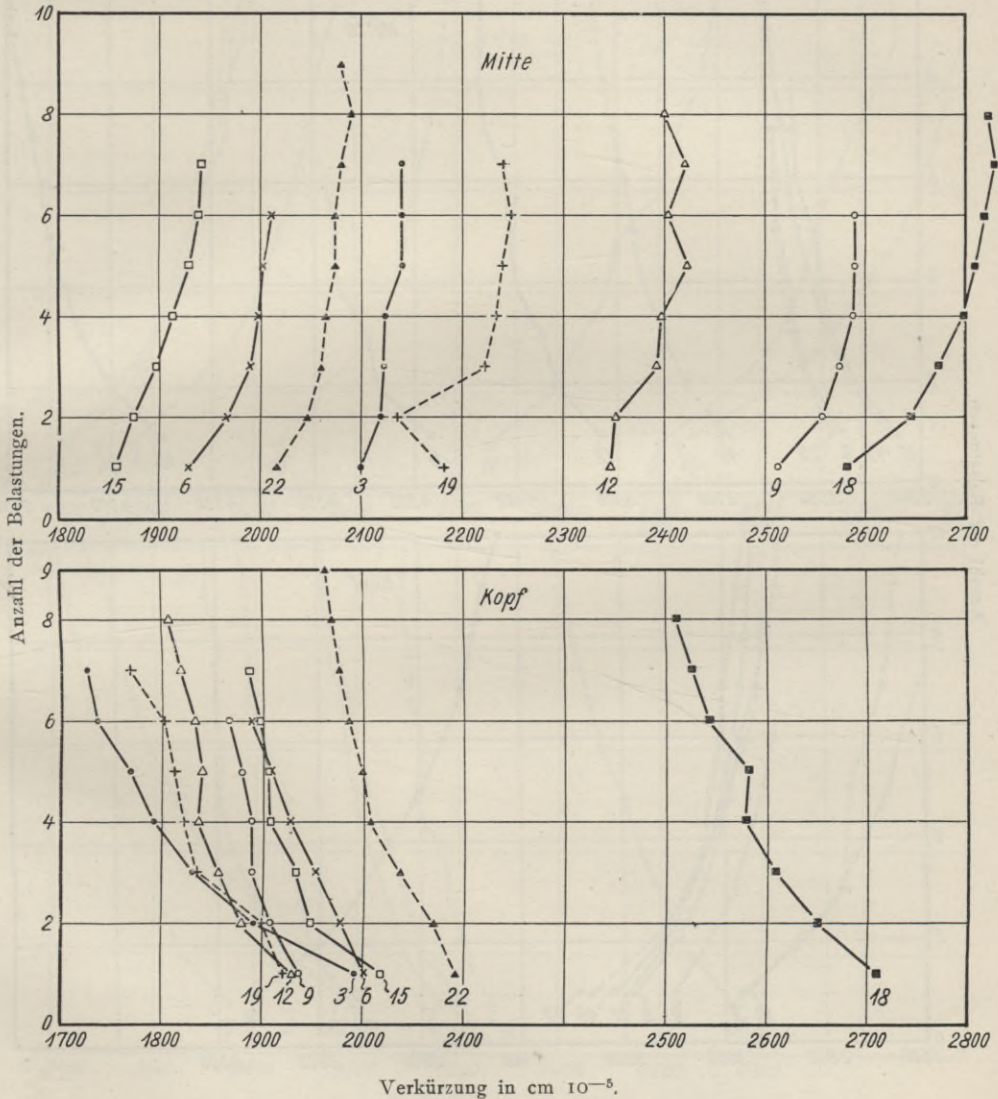
Bei Belastungen über 22960 kg wurde die vorgenannte Darstellungsweise zu sperrig. Daher sind die Schaulinien für die Belastungen von 33 t ab in Abb. 35 bis 39 nach den Beobachtungen am Säulenende und nach denen in der Mitte getrennt dargestellt, die ersteren in der unteren, die letzteren in der oberen Reihe. Die Zusammengehörigkeit der beiden Linien ist hierbei durch die gleichartigen Zeichen für die Beobachtungspunkte und durch die gleichartige Ausführung der Schaulinien sowie durch die neben den letzteren angegebenen Säulenummern gekennzeichnet.

Aus der Neigung der Schaulinien Abb. 33 bis 39 ergibt sich für die Belastungen bis zu 145800 kg Höchstlast,

- a) daß die **Gesamtverkürzungen der Eisen** in der **Mitte** aller Säulen und unter allen Laststufen bei Wiederholung derselben Beanspruchung **zunahmen**. Dagegen nahmen

Abb. 35.

Verkürzung der Längseisen beim wiederholten Belasten der Säulen bis 33330 kg.

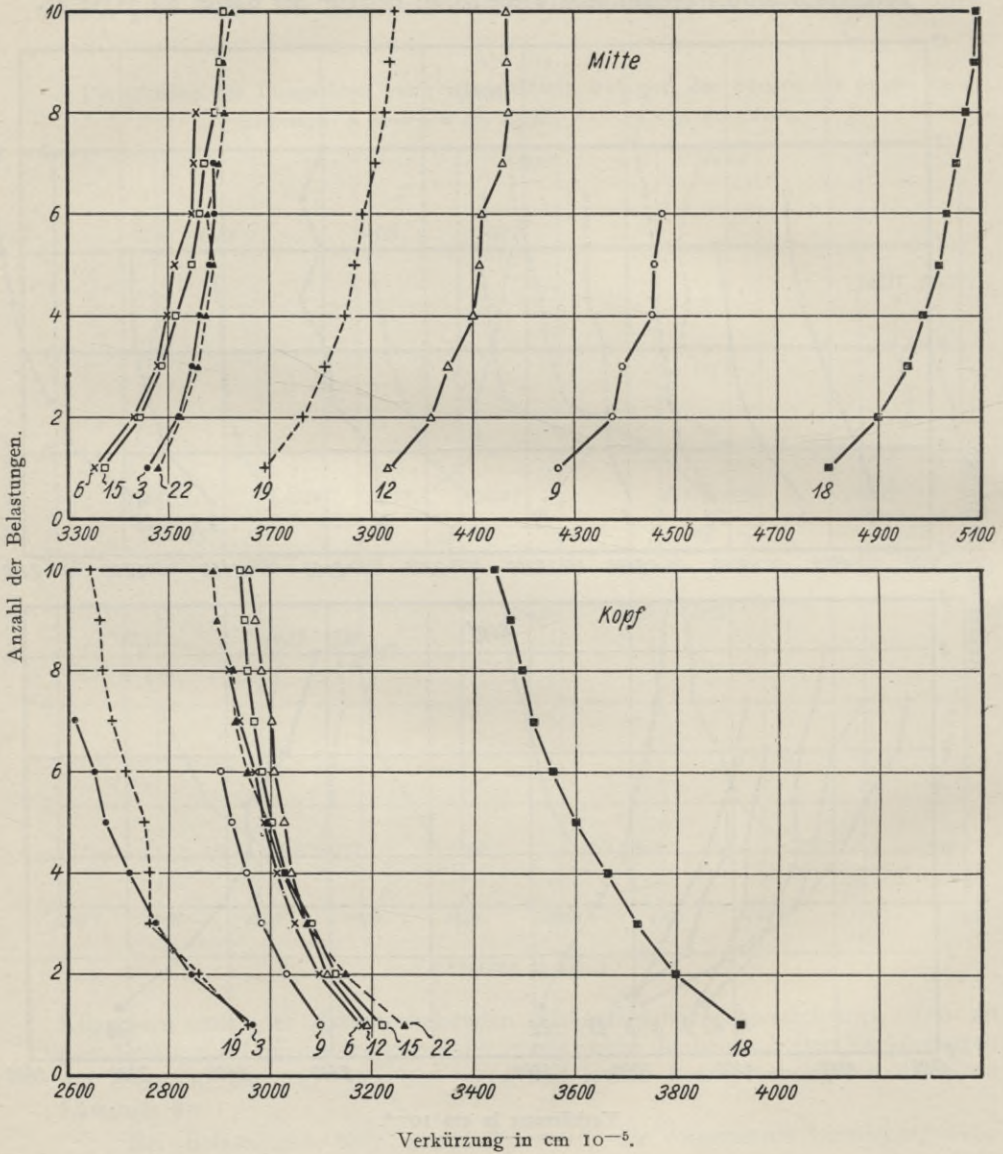


- b) die Gesamt-Verkürzungen der Längseisen am **oberen Säulenende** bei wiederholter Beanspruchung der Säule mit der gleichen Belastung bei **geringeren** Belastungen **ab** und erst bei höheren Belastungen ebenfalls zu. Die Grenze zwischen diesem verschiedenartigen Verhalten der Längseisen liegt etwa bei 100 t.

- c) die **federnden** Verkürzungen der Längseisen zeigen nach den Werten der Tab. 14—21 beim wiederholten Belasten der Säulen das gleiche Verhalten wie die Gesamtverkürzungen.

Abb. 36.

Verkürzung der Längseisen beim wiederholten Belasten der Säulen bis 53750 kg.

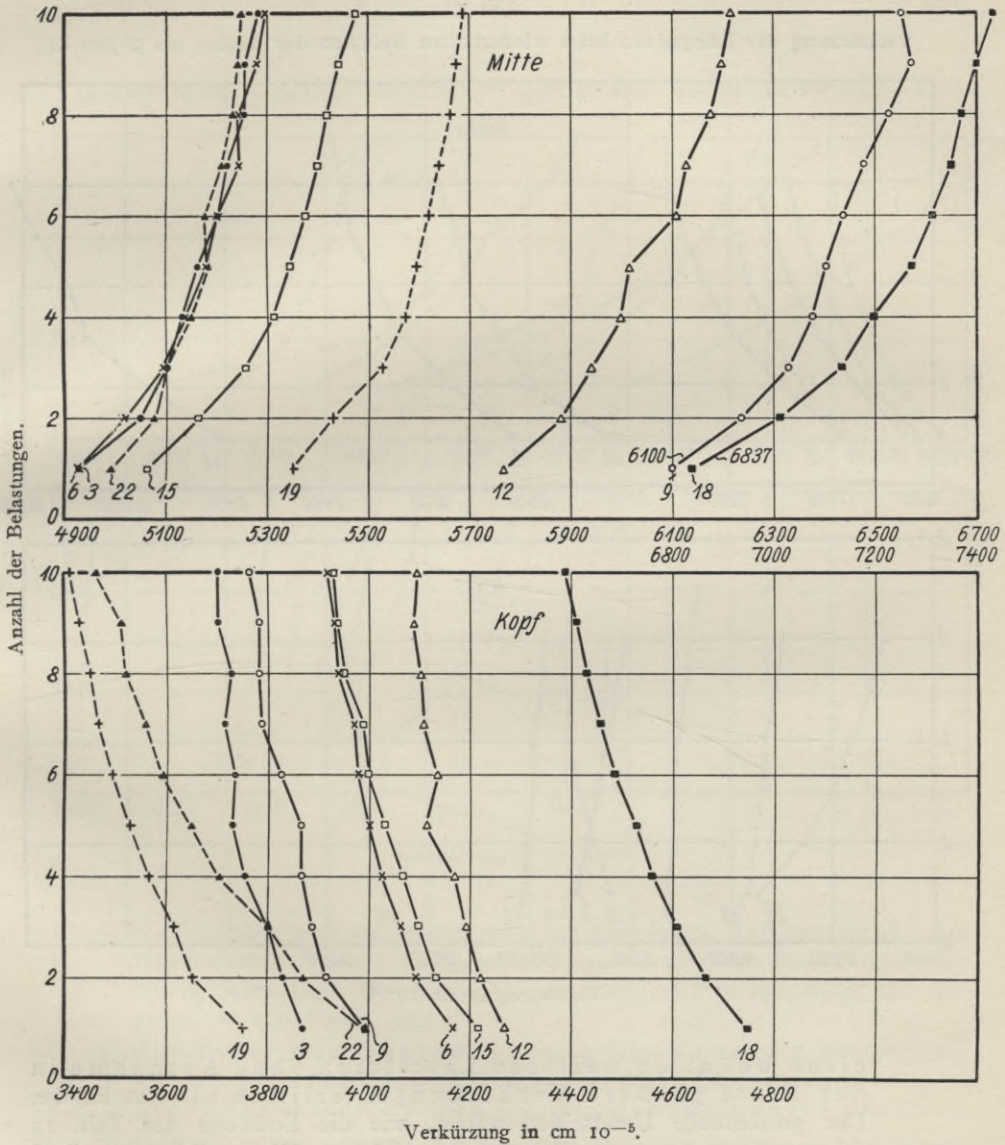


- d) die Beobachtungen Tab. 14—21 für die **bleibenden** Längenänderungen der Längseisen nach dem Entlasten der Säulen lassen die beachtenswerte Erscheinung zutage treten, daß die Längseisen sich in der Säulen**mitte** bleibend **verkürzten**, und zwar zunehmend mit der Zahl der Belastungswechsel,

daß dagegen die Länge der Eisen am Säulenende nach dem Entlasten auf 2090 kg größer gefunden wurde, als sie ursprünglich in der mit 2090 kg belasteten Säule gewesen war. Hierbei wuchs diese Längenzunahme der Eisen mit der Zahl der Lastwechsel.

Abb. 37.

Verkürzungen der Längseisen beim wiederholten Belasten der Säulen bis 73 710 kg.



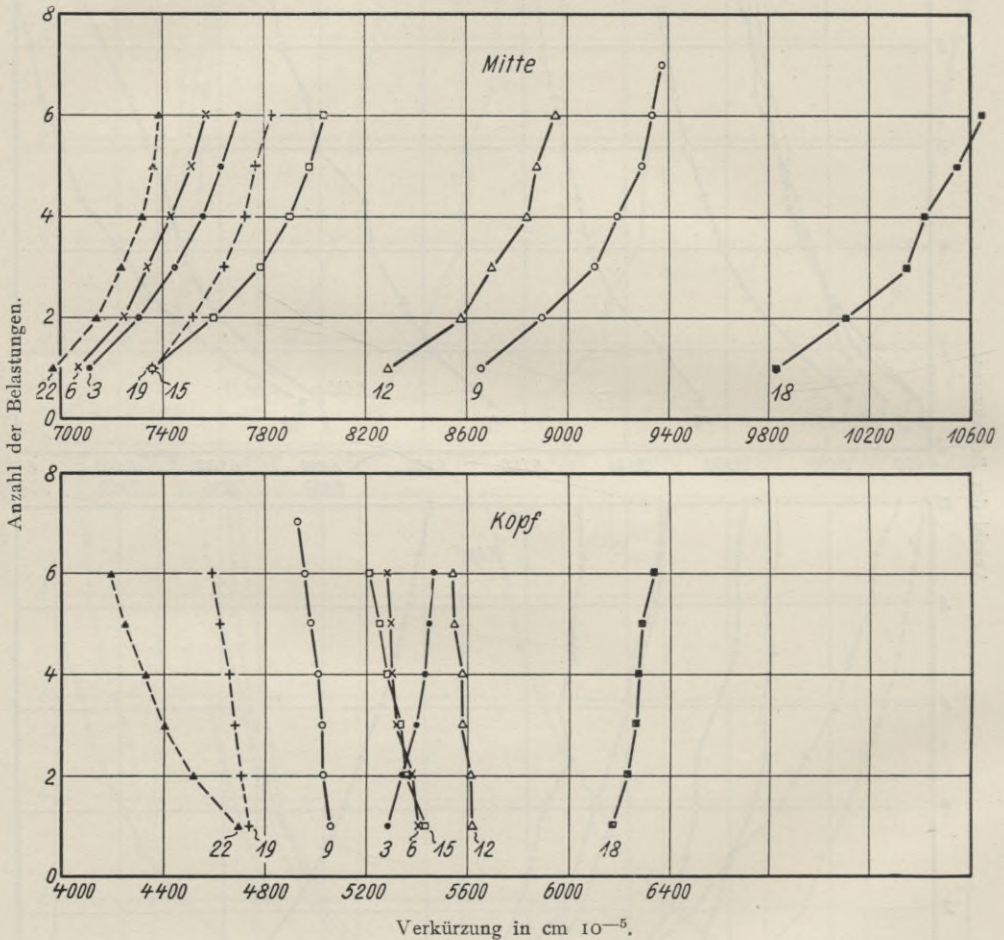
Die Erklärung für diese eigenartige Erscheinung suche ich darin, daß die Längseisen infolge Schwindens des an ihnen haftenden Betons unter Druckspannungen kommen, die sich beim Lastungswechsel allmählich auslösen, indem der Zusammenhang zwischen Beton und Eisen sich lockert.

In Tab. 22 sind die bei dem letztmaligen Lastwechsel für die einzelnen Laststufen erzielten Längenänderungen der Eisen (s. Tab. 14 bis 21), getrennt nach den Messungen am Ende der Säulen und in deren Mitte, gegenübergestellt. Vergleich man zunächst die beiden Mittelwerte für die Säulen gleicher Bewehrung miteinander, so ergibt sich, daß

- e) die Gesamtverkürzungen der Längseisen bei 12530 kg Belastung teils am Ende, teils in der Mitte die größeren waren, daß aber die Längs-

Abb. 38.

Verkürzung der Längseisen beim wiederholten Belasten der Säulen bis 98500 kg.



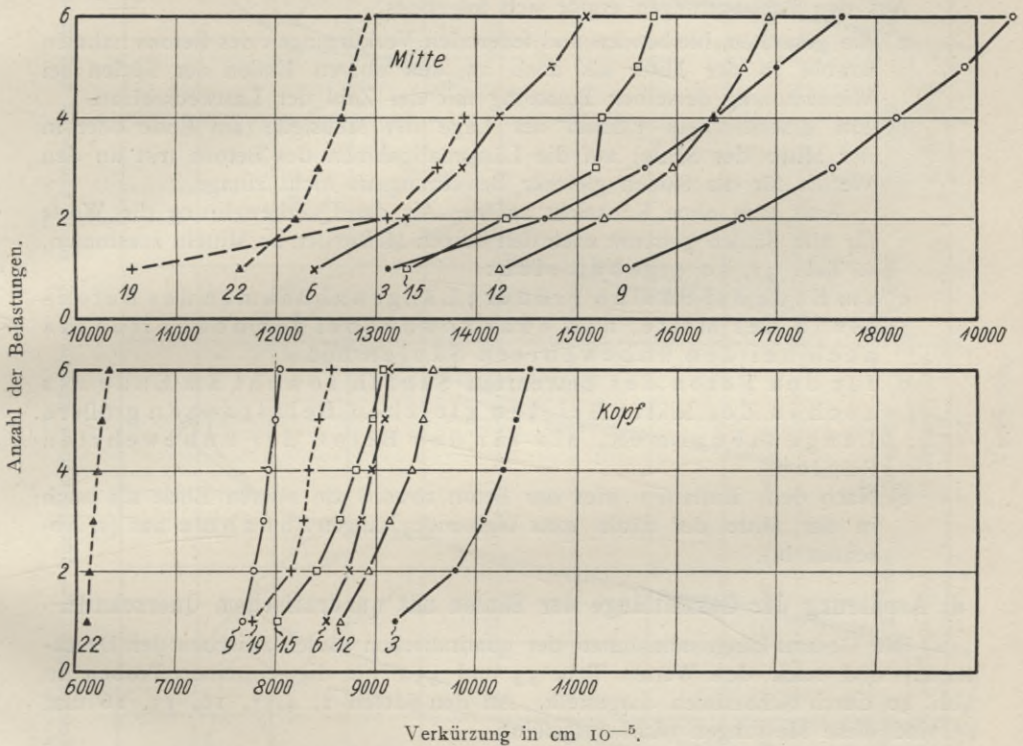
eisen bei allen weiteren Laststufen ohne Ausnahme in der Mitte größere Verkürzungen erlitten als am Ende. Der prozentuelle Unterschied wächst, wie die Endwerte der Tab. 22 zeigen, mit zunehmender Belastung der Säulen. Hieraus folgt aber, daß die Längseisen bei derselben Belastung der Säule in deren Mitte höher beansprucht waren, also einen größeren Anteil der Gesamtbelastung aufnahmen als an den Enden der Säulen.

Der Vergleich der Mittelwerte für die Messungen in der Mitte und am Ende der Säulen bei der gleichen Bewehrungsform ergibt, daß

f) die Längseisen in den mit umgehakten Ringen und mit Diagonal-Bügeln bewehrten Säulen sowohl am Ende als auch in der Mitte bei der stärkeren Querbewehrung (0,7 cm-Eisenstärke) ausnahmslos größere Verkürzungen erlitten als bei der schwächeren (0,5 cm) Querbewehrung. Das Gleiche gilt bei den Säulen mit geschweißten Ringen für die Längenänderungen der Eisen in der Mitte; dagegen war die Längenabnahme der Längseisen bei den Säulen mit geschweißten Ringen am Ende und bei den spiralbewehrten Säulen an beiden Meßstellen (Mitte und Ende) bei den dickeren Quereisen die geringere.

Abb. 39.

Verkürzung der Längseisen beim wiederholten Belasten der Säulen bis 145800 kg.



Vergleicht man schließlich noch die Mittelwerte Tab. 22 für die vier verschiedenen Formen der Querbewehrung bei gleichem Eisendurchmesser und gleicher Lage der Meßstelle (am Ende oder in der Mitte) mit einander, so ergibt sich, daß

g) die Form der Querbewehrung bis zu 145,8 t Belastung keinen gesetzmäßigen Einfluß auf die Längenänderungen der Längseisen in den quadratischen Säulen ausübte.

In Heft 21, Seite 55, hatte ich der Ansicht, „daß der Beton oder Mörtel zwischen den Endflächen der Längseisen und der Druckfläche (der Beton- oder Mörtel-Zylinder über den Längseisen) zuerst zerstört werde und dann Sprengwirkungen äußere“, die Beobachtung entgegengehalten, „daß der Beton oder die Abgleichschicht an den Stellen über den Längseisen aus der Endfläche der Säule meßbar herausgetreten war“, und aus dieser Beobachtung geschlossen, „daß nach dem Freiwerden der Druckfläche nach außen rückwirkende Kräfte ausgelöst sein

mußten“. Diese Ansicht findet in dem vorstehend unter d) zusammengefaßten Ergebnis, daß die Längseisen nach dem Belasten und Wiederentlasten der Säulen sich an deren Ende tatsächlich sogar länger erwiesen, als sie vor dem Versuch gewesen waren, volle Bestätigung und dürfte nunmehr die Erscheinung der eigenartigen Ribbildungen in den Druckflächen über den Längseisen (s. Abb. 18 Heft 21) ihre endgültige Erklärung gefunden haben.

e) Längenänderungen des Betons in den Säulen mit quadratischem Querschnitt.

Die für die einzelnen Laststufen beim wiederholten Be- und Entlasten der Säulen beobachteten gesamten, bleibenden und federnden Längenänderungen des Betons der bewehrten Säulen sind in Tab. 23 bis 30 zusammengestellt. Tab. 31 enthält die Beobachtungen an den unbewehrten Säulen.

Aus den Beobachtungen ergibt sich folgendes:

- a) die gesamten, bleibenden und federnden Verkürzungen des Betons nahmen sowohl in der Mitte als auch an den oberen Enden der Säulen bei Wiederholung derselben Belastung mit der Zahl der Lastwechsel zu.
- b) Ein gesetzmäßiger Einfluß der Lage der Meßstelle (am Ende oder in der Mitte der Säule) auf die Längenabnahmen des Betons tritt an den Werten für die Säulen gleicher Bewehrungsart nicht zutage.

Faßt man ohne Rücksicht auf die Art der Querbewehrung die Werte für alle Säulen getrennt nach den beiden Meßstellen zu Mitteln zusammen, s. Tab. 32, so ergeben sich:

- c) am Ende der Säulen größere Längenabnahmen des Betons als in der Mitte, und zwar sowohl bei den bewehrten als auch bei den unbewehrten Säulen und
- d) für den Beton der **bewehrten** Säulen sowohl am Ende als auch in der Mitte bei den gleichen Belastungen **größere** Längenabnahmen, als für den Beton der unbewehrten Säulen.
- e) Nach dem Entlasten wies der Beton sowohl am oberen Ende als auch in der Mitte der Säule stets bleibende Längenabnahme auf (s. Abschnitt b.).

d) Aenderung der Gesamtlänge der Säulen mit quadratischem Querschnitt.

Die Gesamt-Längenabnahmen der quadratischen Säulen zwischen den Druckplatten sind nach den Werten Tab. 33 und 33a für die einzelnen Proben in Abb. 40 durch Schaulinien dargestellt. An den Säulen 1, 4, 7, 10, 13, 16 und 25 sind diese Messungen nicht ausgeführt.

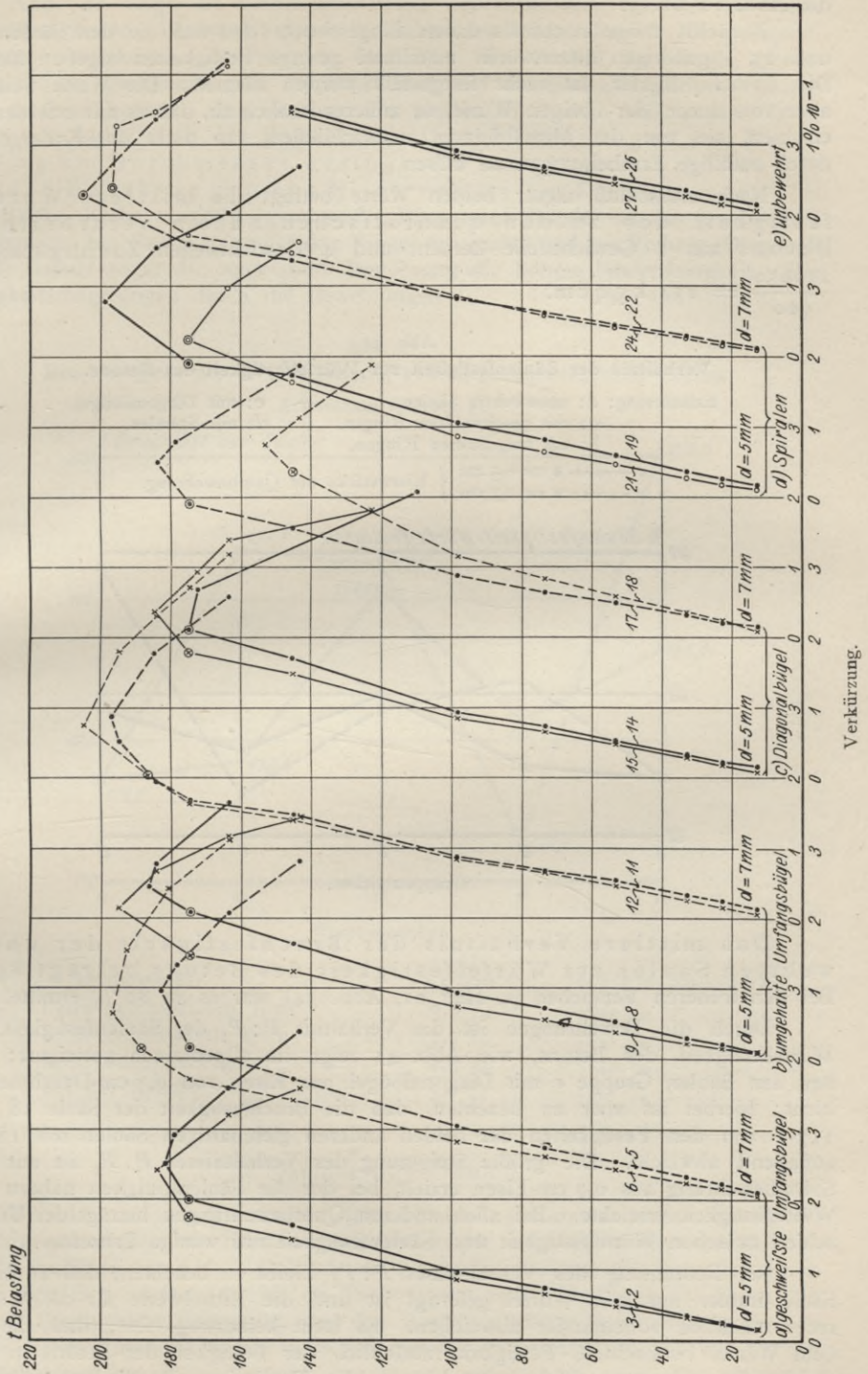
Die Mittelwerte Tab. 33 lassen erkennen, daß die Längenabnahmen der Säulen zwischen den Druckplatten bis zu 145,8 t-Belastung durch keine der vier verschiedenartigen Bewehrungen gesetzmäßig beeinflusst sind. Sowohl die gesamten als auch die bleibenden sowie die federnden Verkürzungen sind bei den bewehrten Säulen meist etwas größer als bei den unbewehrten; ferner sind sie auch bei den Säulen mit den Querbewehrungen aus Eisen von 0,7 cm Durchmesser meistens sogar größer als bei den Säulen mit der schwächeren Querbewehrung (0,5 cm-Durchmesser).

Die Schaulinien Abb. 40 lassen erkennen, daß nach dem Eintritt der ersten Risse bei den an den einzelnen Schaulinien durch Kreise gekennzeichneten Belastungen noch eine weitere Steigerung der Belastung möglich war.

e) Die Festigkeit der quadratischen Säulen.

Die für die quadratischen Säulen beobachteten Belastungen beim Beginn der Ribbildung und die Bruchlasten sind aus Tab. 34 zu ersehen. Den letzteren sind zugleich die Bruchlasten der mit den Säulen gleichzeitig gefertigten Würfel

Abb. 40. Gesamt-Längenabnahme der quadratischen Säulen in $\frac{1}{10} \cdot 10^{-4}$, gemessen zwischen den Druckplatten.



gegenübergestellt. Die an den Säulen zu beobachtenden Brucherscheinungen zeigen die Abb. 12 bis 32.

Zunächst möge nochmals darauf hingewiesen sein, daß die den Säulen 20 und 23 zugehörigen Betonwürfel auffallend geringe Festigkeiten ergeben haben. Die Ursache hierfür hat nicht festgestellt werden können. Die Werte weichen aber von denen der übrigen Würfel so außerordentlich ab, daß es mir erforderlich erschien, sie von der Mittelbildung auszuschließen, um nicht das Endergebnis durch zufällige Erscheinungen zu trüben.

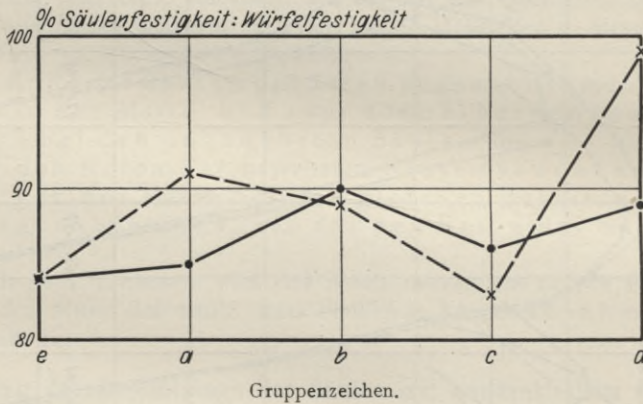
Nach Ausschluß dieser beiden Werte beträgt die mittlere Würfel-festigkeit des zu den quadratischen Säulen verarbeiteten Betons aus 1 Gewichtsteile Zement und 4 Gewichtsteilen Zuschlagsmaterial $\frac{210650}{900} = 234 \text{ kg/qcm}$.

Abb. 41.

Verhältnis der Säulenfestigkeit zur Würfel-festigkeit des Betons.

Erläuterung: *e*: unbewehrte Säulen, *c*: mit Diagonalbügel,
a: mit geschweißten Ringen, *d*: mit Spiralen,
b: mit umgehakten Ringen,

● —● = 0,5 cm } Eisenstärke der Querbewehrung.
 x - - - x = 0,7 cm }



Das mittlere Verhältnis der Bruchfestigkeit der unbewehrten Säulen zur Würfel-festigkeit des Betons beträgt 84%. Bei den früheren Versuchen (s. Heft 21, Abb. 34) war es zu 80% ermittelt.

Durch die Bewehrungen ist das Verhältnis $P:P_1$ der Säulenfestigkeit zur Würfel-festigkeit des Betons, wie Abb. 41 zeigt, im allgemeinen gesteigert; nur bei den Säulen Gruppe c mit Diagonalbügel aus Eisen von 0,7 cm-Durchmesser nicht; hierbei ist aber zu beachten, daß die Bruchfestigkeit der Säule 18 mit 153 t von den Festigkeiten der beiden anderen gleichartigen Säulen mit 183 t auffallend abweicht. Die größte Steigerung des Verhältnisses $P:P_1$ ist mit der Spiralbewehrung aus 0,7 cm-Eisen erzielt, bei der die Säulenfestigkeit nahezu die Würfel-festigkeit erreichte. Bei allen anderen Querbewehrungen beträgt der Unterschied zwischen Würfel-festigkeit und Säulenfestigkeit nur wenige Prozente.

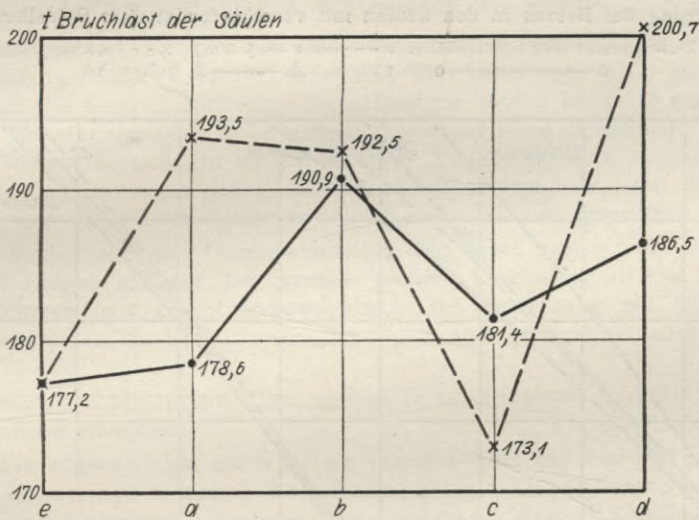
Bei Beurteilung des Verhältnisses $P:P_1$ bleibt zu beachten, daß zu jeder Säule immer nur ein Würfel gefertigt ist und die Einzelwerte für die Würfel recht erheblich voneinander abweichen. Es steht keineswegs fest, daß die an dem Würfel beobachtete Festigkeit tatsächlich der Festigkeit des Betons in der gleichzeitig gefertigten Säule entspricht (s. die Ergebnisse für die unbewehrten Säulen). Daher kommt m. E. die Wirkung der verschiedenartigen Bewehrungen besser in den absoluten Säulenfestigkeiten zum Ausdruck.

Abb. 42 zeigt die Gegenüberstellung der Mittelwerte für die absoluten Säulenfestigkeiten. Hiernach lieferten die Säulen mit Diagonalbügeln die geringsten mittleren Festigkeiten. Im übrigen wird man den Einfluß der Ringe, gleichgültig ob sie geschweißt oder umgehakt sind, auf die Säulenfestigkeit als gleichgroß erachten können. Aus der Lage der beiden Linienzüge Abb. 42 zueinander ergibt sich ferner, daß die Säulen mit Querbewehrungen aus Eisen von 0,5 cm Durchmesser geringere Festigkeiten besaßen als bei den Bewehrungen aus Eisen von 0,7 cm Durchmesser. Bei den Säulen Reihe a und d (geschweißte Ringe und Spirale) ist der Unterschied beträchtlich, bei Reihe b (umgehakte Ringe) nur gering und bei Reihe c (Diagonalbügel) lieferte sogar die schwächere Bewehrung die höhere Säulenfestigkeit. Die Festigkeitssteigerungen durch die Bewehrungen

Abb. 42.

Bruchfestigkeit der verschiedenartig bewehrten quadratischen Säulen.

Erläuterung s. Abb. 41.



Gruppenzeichen.

	0,5 cm	0,7 cm Eisenstärke
betragen für		
beim geschweißten Ring	0,8 ⁰ / ₀	9,2 ⁰ / ₀
beim umgehakten Ring	7,7 ⁰ / ₀	8,6 ⁰ / ₀
beim Diagonalbügel	2,4 ⁰ / ₀	— 2,3 ⁰ / ₀
bei der Spirale	5,2 ⁰ / ₀	13,2 ⁰ / ₀

2. Achtseitige Säulen.

Bei den achtseitigen Säulen (Nr. 28 bis 45 Tab. 1) waren die Querbewehrungen ebenso wie bei den quadratischen (Nr. 1 bis 24) in allen drei Formen sowohl aus Eisen von 0,5 cm als auch von 0,7 cm Durchmesser gefertigt. Außerdem sind noch drei Säulen (65 bis 67 Tab. 1) mit Spiralbewehrung aus Eisen von 1,2 cm Durchmesser untersucht, um den Einfluß stärkerer Bewehrung kennen zu lernen. Die Ganghöhe betrug auch bei den 1,2 cm-Spiralen ebenso wie bei den schwächeren 3 cm.

Diese stärker bewehrten Säulen sind S. 2 und 3 unter Reihe E genannt, ihre Ergebnisse sollen aber der Kürze wegen im nachstehenden gleich mit besprochen werden.

a) Längenänderungen des Betons in den achtseitigen Säulen.

Die für die einzelnen Laststufen beim wiederholten Be- und Entlasten der Säulen beobachteten gesamten, bleibenden und federnden Längenänderungen des Betons der bewehrten Säulen 28 bis 45 und 65 bis 67 (s. Tab. 1) sind in Tab. 35 bis 41 zusammengestellt. Tab. 42 enthält die Beobachtungen für die unbewehrten Säulen 46 bis 48 und Tab. 43, die Gegenüberstellung der bei dem letztmaligen Lastwechsel für die einzelnen Laststufen erzielten Verkürzungen am Ende und in der Mitte der Säulen.

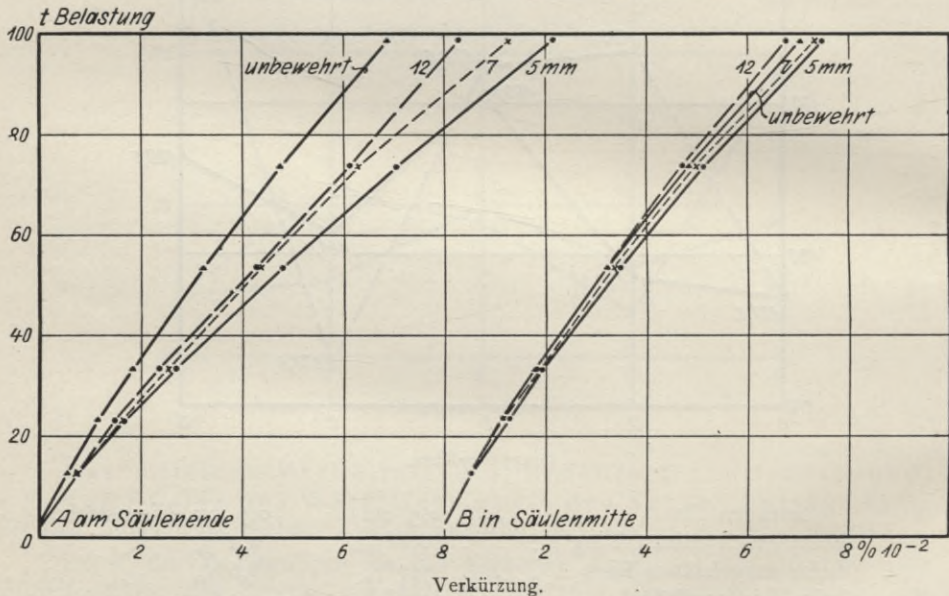
Aus den Beobachtungen ergibt sich folgendes:

- a) Die gesamten, bleibenden und federnden Verkürzungen des Betons nahmen sowohl in der Mitte der Säulen als auch an deren oberem Ende bei Wiederholung derselben Belastung mit der Zahl der Lastwechsel zu.

Abb. 43.

Verkürzung des Betons in den Säulen mit verschieden starker Spiralbewehrung.

Durchmesser des Spiraleisens: ● —●—● = 5 mm; x - - - x = 7 mm;
o ——— o = 12 mm. ▲ ———▲ unbewehrt.



- b) Mit nur zwei Ausnahmen (Säule 31 und 35) sind die Verkürzungen bei den bewehrten Säulen an deren Ende größer als in der Mitte. Dies Ergebnis tritt in dem steileren Verlauf der Linien B, Abb. 43, gegenüber den Linien A deutlich zutage; es deckt sich mit den Mittelwerten aus den Beobachtungen an den bewehrten quadratischen Säulen (s. Abschnitt 1 c). Von den unbewehrten Säulen Nr. 46 bis 48 (s. Tab. 43) zeigt nur Säule 47 ebenfalls die größten Verkürzungen bei allen Laststufen am oberen Ende, bei den beiden anderen Säulen Nr. 46 und 48 ist dagegen schon von 33 bez. 53 t Belastung ab, die Verkürzung in der Mitte die größere.

- c) Ebenso wie bei den quadratischen Säulen, ward die **Verkürzung des Betons** der **bewehrten** achtseitigen Säulen sowohl am Ende als auch in der Mitte bei den gleichen Belastungen **größer** als die des Betons in den **unbewehrten**

Säulen. Der Unterschied war bei den Säulen mit Spiralbewehrung größer als bei den Säulen mit Ringen und am Ende der Säulen größer als in der Mitte (s. a. Abb. 43). Diese Beobachtung gilt im allgemeinen für Belastungen bis 98500 kg und selbst 145800 kg, nur bei den mit umgehakten Ringen aus 0,7 cm-Eisen und Spiralen aus 1,2 cm-Eisen bewehrten Säulen war die Verkürzung des Betons in Säulenmitte von 33 und 53 t ab geringer als in den unbewehrten Säulen.

- d) Bei derselben Bewehrungsform war die Verkürzung des Betons in den Säulen für die gleichen Belastungen bei Bewehrungen aus 0,5 cm-Eisen größer als bei den Querbewehrungen aus 0,7 cm-Eisen (s. a. Abb. 43).
- e) Die Verkürzung des Betons war bei gleicher Stärke des Bewehrungs Eisens in den spiralbewehrten Säulen größer als in den ringbewehrten. Der Unterschied war an den Säulenenden größer ($\cong 15\%$) als in der Mitte ($\cong 2-3\%$).

b) Aenderung der Gesamtlänge der Säulen.

Die Gesamtverkürzungen der achtseitigen Säulen zwischen den Druckplatten sind in Tab. 44 und 45 zusammengestellt; die Mittelwerte Tab. 44 lassen erkennen, daß die Gesamtverkürzung der achtseitigen Säulen bis zu 33,3 t Belastung durch die Bewehrungen den unbewehrten gegenüber nicht gesetzmäßig beeinflusst ist. Bei höheren Belastungen ist die federnde Verkürzung aller bewehrten Säulen größer als die der unbewehrten, anscheinend überwiegt aber auch die Gesamtverkürzung mit wachsender Belastung immer mehr bei den bewehrten Säulen.

Die Säulen mit den Querbewehrungen aus Eisen von 0,7 cm Durchmesser zeigten bei Ringen kleinere, bei Spiralen größere Verkürzung als die Säulen mit der schwächeren (0,5 cm) Querbewehrung. Bei Bewehrung mit Spiralen aus 1,2 cm-Eisen waren die Verkürzungen der Säulen aber geringer als bei den 0,5 cm-Spiralen.

Die nach den Mittelwerten Tab. 44 und 45 aufgetragenen Schaulinien Abb. 44 lassen folgendes erkennen:

- α) Die unbewehrten Säulen (Linie *i* Abb. 44) verkürzten sich bis zu etwa 100 t der Belastung nahezu proportional, bei höherer Belastung wuchs die Verkürzung in stärkerem Maße, so daß die Schaulinie *i* bei der Ordinate 100 einen Knick aufweist.
- β) Die Schaulinien *f*, *g*, *h* für die bewehrten Säulen (Gruppe A mit 0,5 cm-Eisen, B mit 0,7 cm-Eisen) zeigen bei etwa 100 t Belastung den gleichen Knick wie die Linie *i*; oberhalb 145 t verlaufen sie aber zunächst wieder steiler, bis sie bei etwa 175 t starke Krümmung im Sinne stärker anwachsender Verkürzung der Säulen annehmen.

Bis zum ersten Knick bei 100 t war die Verkürzung der bewehrten Säulen teils geringer, teils größer als die der unbewehrten; die Unterschiede sind aber nur sehr klein und auch zwischen 100 und 145 t Belastung ist die Neigung der Schaulinien *f*, *g* und *h* für die bewehrten Säulen (abgesehen von Linie *h* für die mit 0,7 cm starken Spiralen bewehrten Säulen) annähernd die gleiche, wie die der Schaulinie *i* für die unbewehrten Säulen. Diese gute Uebereinstimmung in dem Verlauf der Schaulinien beweist,

- γ) daß **die Bewehrungen** bis zu 145 t Belastung **keinen wesentlichen Einfluß auf den Widerstand der Säulen gegen Druckbeanspruchung ausüben**. 145 t sind aber diejenige Belastung, bei der an den unbewehrten Säulen die ersten Risse, also die beginnende Zerstörung des Betons, wahrgenommen wurden.

Der steilere Verlauf oberhalb 145 t deutet darauf, daß

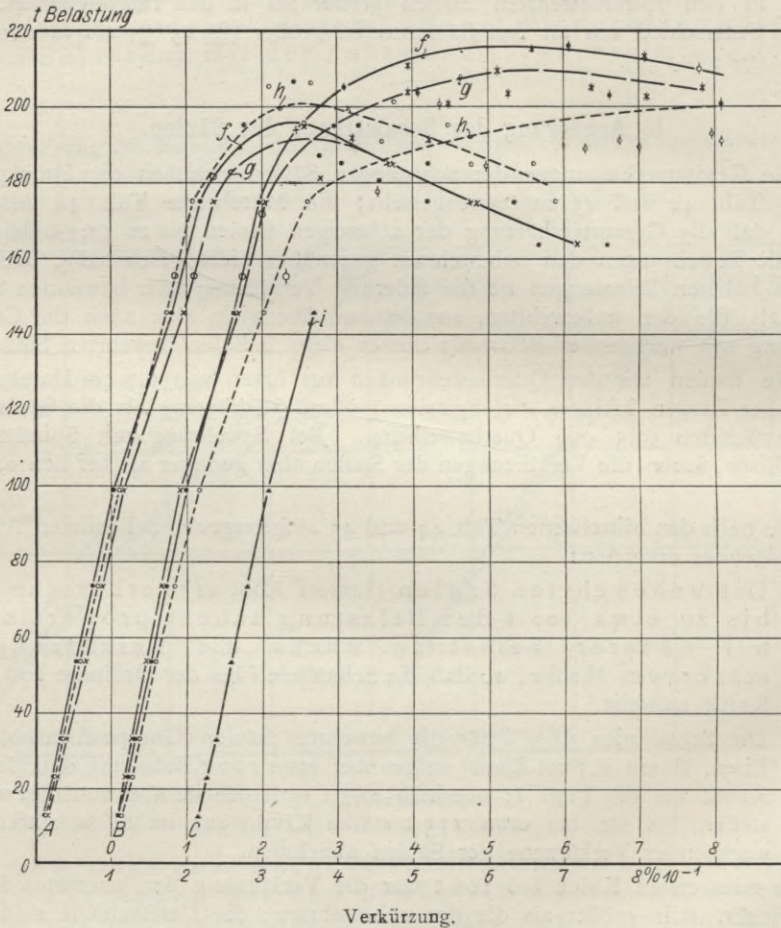
- d) der Einfluß der Bewehrung mit Ueberschreitung von 145 t, d. h. mit dem Beginn der Zerstörung des Betons sich geltend machte.

Abb. 44.

Gesamtverkürzung der achtseitigen Säulen mit wachsender Belastung.

Art der Querbewehrung: $\left\{ \begin{array}{l} f = \text{geschweißte Ringe,} \\ g = \text{umgehakte Ringe}^1), \end{array} \right. \left| \begin{array}{l} h = \text{Spiralen}^1), \\ i = \text{unbewehrt.} \end{array} \right.$

Durchmesser der Bewehrungsseisen: $\left\{ \begin{array}{l} A = 0,5 \text{ cm,} \\ B = 0,7 \text{ cm,} \\ C = \text{unbewehrt.} \end{array} \right.$



Mit Ueberschreitung von 180 t nahm nicht nur die Ausdehnung der Risse im Beton der bewehrten Säulen stark zu, sondern zum Teil fiel die Schale, d. i. der Beton außerhalb der Bewehrung, vollständig ab (s. Abb. 21 bis 26 und 32). Trotzdem konnte die Belastung bis zu den aus Tab. 46 ersichtlichen Höchstbelastungen weiter gesteigert werden. Hierbei machte sich aber der Einfluß der Geschwindigkeit, auf die der Wasserzufluß zum hydraulischen Zylinder eingestellt, mit der also der Kolben der Presse bewegt wurde, deutlich geltend.

¹⁾ Zu *g* ist Säule 34 und zu *h* Säule 41 und 44 außer acht gelassen, weil sie nach Formänderung und Druckfestigkeit augenscheinlich fehlerhaft waren.

c) Die Festigkeit der achtseitigen Säulen.

Bei Bildung der Mittelwerte in Tab. 46 sind die Ergebnisse für die Säulen 34 (Reihe g) sowie 41 und 44 (Reihe h) ausgeschlossen; Säule 34 weicht sowohl hinsichtlich der Verkürzungen als auch in der Bruchbelastung so erheblich von den beiden anderen gleichartig bewehrten Säulen 35 und 36 ab, daß sie als fehlerhaft angesehen werden mußte. Für die Säulen 41 und 44 gilt das unter Abschnitt e Seite 20 zu den Säulen 20 und 23 Gesagte.

Die mittlere Würfelfestigkeit des zu den achtseitigen Säulen verarbeiteten Betons beträgt $\frac{210730}{900} = 234 \text{ kg/qcm}$ und das mittlere Verhältnis der Bruchfestigkeit der unbewehrten Säulen zur Würfelfestigkeit des Betons 81% .

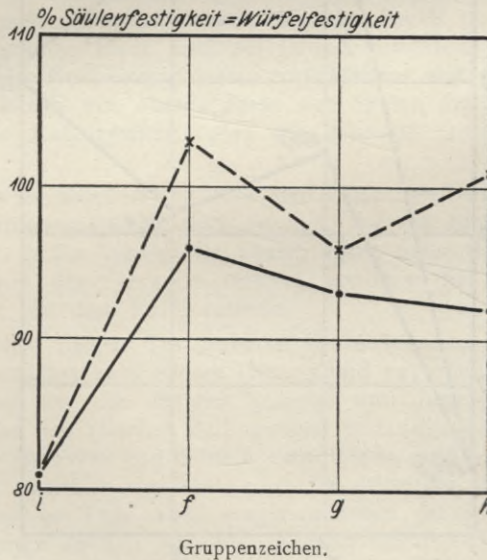
α) Einfluß der Bewehrungen aus Eisen von 0,5 und 0,7 cm Durchmesser.

Abb. 45.

Verhältnis der Säulenfestigkeit zur Würfelfestigkeit des Betons.

Art der Querbewehrung: $\begin{cases} i = \text{unbewehrte Säulen,} \\ f = \text{mit geschweißten Ringen,} \\ g = \text{mit umgehakten Ringen,} \\ h = \text{mit Spiralen.} \end{cases}$

— Bewehrung aus 0,5 cm-Eisen,
 - - - - - Bewehrung aus 0,7 cm-Eisen.



Durch die Bewehrungen mit Eisen aus 0,5 und 0,7 cm Durchmesser ist das Verhältnis der Säulenfestigkeit P zur Würfelfestigkeit P_1 des Betons (s. Abb. 45) am meisten durch die Bewehrung mit geschweißten Ringen (Reihe f) gesteigert. Im Mittel für alle drei Bewehrungsformen beträgt das Verhältnis $P:P_1$ bei der 0,5 cm starken Bewehrung 94% , bei der 0,7 cm starken Bewehrung 100% . Bei der letzteren ist also in der bewehrten Säule die Würfelfestigkeit des Betons erreicht.

Die mittleren absoluten Bruchfestigkeiten der Säulen zeigen die Schaulinien Abb. 46. Hiernach ist die höchste Säulenfestigkeit bei Bewehrung mit 0,5 cm-Eisen mit der Spirale und bei Bewehrung mit 0,7 cm-Eisen

mit den geschweißten Ringen erzielt. Die Festigkeitssteigerungen durch die Bewehrungen betragen:

bei	geschweißten Ringen	umgehakten Ringen	Spiralen
aus 0,5 cm-Eisen:	12,0	9,6	14,5 $\frac{0}{0}$
aus 0,7 cm-Eisen:	23,1	10,8	15,2 $\frac{0}{0}$
im Mittel:	17,6	14,7	14,8 $\frac{0}{0}$

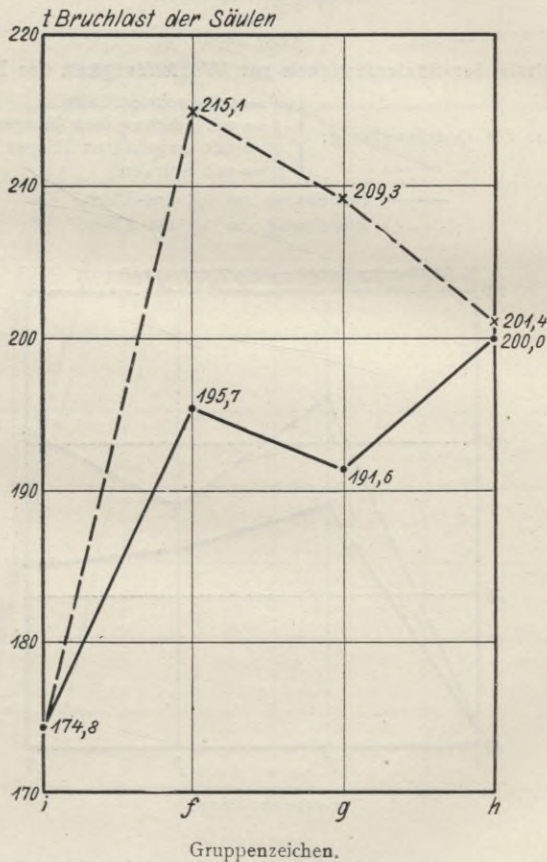
bezogen auf die Festigkeit der unbewehrten Säulen.

Abb. 46.

Bruchfestigkeit der verschiedenartig bewehrten achtseitigen Säulen.

Art der Querbewehrung: $\left\{ \begin{array}{l} i = \text{unbewehrte Säulen,} \\ f = \text{mit geschweißten Ringen,} \\ g = \text{mit umgehakten Ringen,} \\ h = \text{mit Spiralen.} \end{array} \right.$

— Bewehrung aus 0,5 cm-Eisen,
 - - - - - Bewehrung aus 0,7 cm-Eisen.



Hiernach gibt sich ein erhöhter Einfluß der Bewehrung aus 0,7-cm-Eisen gegenüber derjenigen aus 0,5 cm-Eisen nur bei den Ringen zu erkennen. Im übrigen haben die Ringe sich bezüglich des Einflusses auf die Festigkeit der Säulen mit den Spiralen als gleichwertig erwiesen, sofern der Ringabstand gleich der Steigung der Spirale gewählt wird.

Zu beachten bleibt hierbei noch, daß die den Spiralen entnommenen Zugproben (s. Tab. 9 und 46) höhere Streckgrenzen und höhere Bruchfestigkeiten ergaben als die Proben aus den Ringen (s. Abschnitt IX, 2.).

β) Bewehrung mit Spiralen aus Eisen von verschiedenem Durchmesser.

Die Ergebnisse der Reihe h (Tab. 46) sind dadurch in etwas getrübt, daß der Beton zu den Säulen mit den Spiralen aus 0,7 cm-Eisen auffallend geringe Festigkeit aufweist; sie beträgt nur $\frac{199\ 200}{900} = 221$ kg/qcm gegen $\frac{217\ 650}{900} = 242$ bzw. $\frac{216\ 130}{900} = 240$ kg/qcm bei den Säulen mit Spiralen aus 0,5 cm- bzw. 1,2 cm-Eisen. Es ist nicht ausgeschlossen, daß die vorerwähnte geringe Betonfestigkeit die Ursache dafür war, daß die Spirale aus dem 0,7 cm-Eisen nur um $201\ 350 - 200\ 030 = 1320$ kg höhere Säulenfestigkeit lieferte als die Spirale aus 0,5 cm-Eisen.

Ganz außerordentlich groß war die Steigerung der Säulenfestigkeit bei der 1,2 cm-Spirale, sie betrug gegenüber derjenigen bei der 0,5 cm-Spirale $373\ 120 - 200\ 030 = 173\ 090$ kg oder $86,5\%$ und gegenüber der unbewehrten $373\ 120 - 174\ 790 = 198\ 330$ kg oder 114% ; die Festigkeit der mit 1,2 cm-Spiralen bewehrten Säulen war also über doppelt so groß als die der unbewehrten.

Die Verhältniszahlen für die Säulenfestigkeit: Würfelfestigkeit des Betons ($P:P_1$) betragen 92, 101 und 174% . Hiernach wurde die Würfelfestigkeit des Betons mit der 0,7 cm-Spirale erreicht, bei der 1,2 cm-Spirale aber noch um 74% überschritten.

d) Lage des Bruches.

Bei den früheren Untersuchungen (Heft 5 und 21), zu denen die Versuchstücke in Holzformen gestampft waren, lag der Bruch der Säulen meistens an dem zuletzt gestampften Ende und auf Grund besonderer Versuche konnte ich die Ursache für diese Erscheinung darauf zurückführen, daß sofort nach beendetem Einstampfen der Beton am oberen Ende der Säulen den größten Wassergehalt und das geringste Raumgewicht, also die geringste Dichte besaß (s. Heft 5, S. 105—109).

Bei den hier zur Besprechung stehenden Versuchsreihen, zu denen die Proben in eisernen Formen gestampft sind, ist nun, wie die Lichtbilder Abb. 12—32 zeigen, eine sehr große Anzahl der Säulen nicht unter der oberen Druckplatte durch Herausscheren der Pyramide zerstört, sondern die Bruchstelle liegt mehr oder weniger weit von dem Ende entfernt.

Zur Aufklärung dieser den früheren Beobachtungen widersprechenden Erscheinung sind zunächst zwei Säulen (Nr. 73 und 74) ohne Bewehrung genau in der gleichen Weise wie die übrigen gefertigt und diesen Säulen, nachdem sie 80 Tage lang unter den gleichen Bedingungen gestanden hatten wie die übrigen, je drei Abschnitte in Form von Würfeln entnommen, und zwar ein Abschnitt am oberen Ende, der zweite in der Mitte und der dritte am unteren Ende. Die mit diesen Würfeln bei 90 Tage Alter vorgenommenen Gewichtsbestimmungen und Druckversuche führten zu den folgenden Ergebnissen:

Lage des Würfels in der Säule:		oben	Mitte	unten
Gewichte der Würfel in kg	aus Säule 73	63,5	63,9	64,9
	„ „ 74	63,3	64,6	65,4
	Mittel	63,4	64,3	65,2
Druckfestigkeit der Würfel in kg	aus Säule 73	190 500	171 700	195 800
	„ „ 74	187 800	182 400	206 500
	Mittel	189 150	177 050	201 150
Mittlere Würfelfestigkeit des Betons kg/qcm		210	197	224
Verhältniszahlen %	Gewicht	98,5	100	101,4
	Würfelfestigkeit	106,5	100	113,5

Die ermittelten Gewichte der Würfel bestätigen die frühere Beobachtung, daß das Raumbgewicht des Betons in den Säulen von unten (zuerst gestampftes Ende) nach oben hin abnimmt.

Die Druckfestigkeit des Betons war bei beiden Säulen in deren Mitte bei weitem am geringsten und unten am größten. Ohne dies Ergebnis verallgemeinern zu wollen, erscheint es mir hiernach aber ohne weiteres erklärlich, daß der Bruch der Säulen vielfach in der Mitte erfolgte.

Hier möge auch der Hinweis auf folgendes Ergebnis Platz finden. Die Würfelbarkeit des unmittelbar in die Würfelform eingestampften Betons, sowohl der quadratischen als auch der achtseitigen Säulen, hatte (s. S. 48 und 53) 234 kg/qcm betragen, an den von den Säulen abgetrennten Proben ist die Höchstfestigkeit am unteren Säulenende zu 224 kg/qcm ermittelt, sie geht aber für die Mitte auf 197 kg/qcm herunter. Diese Ergebnisse deuten darauf, daß der Beton in der Säule geringere Festigkeit besitzt als in dem gleichzeitig gefertigten Würfel.

Zur weiteren Aufklärung der Festigkeitsunterschiede des Betons aus verschiedenen Höhenlagen sind einer dritten unbewehrten Säule ebenfalls an beiden Enden und in der Mitte Betonproben entnommen, und zwar:

- a) 20 Minuten nach beendetem Stampfen;
- b) 5 Stunden nach beendetem Stampfen, d. h. nach Beginn des Abbindens und Nachlassen des Austretens von Wasser aus den Fugen der Form und
- c) der zwei Tage alten Säule beim Entformen.

Zur Probenentnahme für a) und b) wurde die Form mit der Säule umgelegt, eine Formwand abgehoben, die Betonproben schnell herausgestochen und die Form dann wieder aufgerichtet.

Die Untersuchung der entnommenen Proben auf Wassergehalt lieferte folgende Ergebnisse:

Probeentnahme	Wassergehalt des Betons		
	oben	Mitte	unten
20 Minuten nach beendetem Stampfen	10,2	8,0	6,4
	9,6	8,4	6,4
	Mittel	9,9	8,2
5 Stunden nach beendetem Stampfen	8,1	(11,2)	5,1
	7,1	6,2	5,6
	Mittel	7,6	[6,2]
aus der 2 Tage alten Säule	6,3	6,4	5,4
	6,4	6,4	6,0
	Mittel	6,4	6,4

Die Ergebnisse bestätigen zunächst die frühere Beobachtung (s. Heft 5, S. 109), daß der Wassergehalt des Betons in der Säule von unten nach oben hin stetig zunimmt. Weiter zeigt sich, daß die Unterschiede in den Werten sich bei höherem Alter des Betons immer mehr ausgleichen, daß der Wassergehalt aber auch nach zwei Tagen Erhärtung am unteren Ende der Säule immer noch am geringsten ist.

3. Zusammenfassung der Ergebnisse.

Die vorstehend besprochenen Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Bei wiederholtem Lastwechsel nahmen
 - a) die gesamten bleibenden und federnden Verkürzungen des Betons sowohl am Ende als auch in der Mitte der Säulen mit der Zahl der Lastwechsel zu;

- b) die Längseisen erlitten
- α) in Säulenmitte ebenfalls ständige Zunahme der Verkürzung;
 - β) am Säulenende dagegen nahmen ihre gesamten und elastischen Verkürzungen bei Laststufen bis zu 100 t ab, bei höheren ebenfalls zu und
 - γ) die Gesamtlänge der Eisen war am Säulenende nach dem Entlasten größer als vor dem Belasten.
2. Die Längenänderungen waren bei der gleichen Belastung am Säulenende andere als in der Mitte, und zwar war:
- a) die Verkürzung der Längseisen in der Mitte größer als am Ende, wobei der Unterschied mit der Größe der Belastung zunahm;
 - b) die Verkürzung des Betons sowohl bei den bewehrten als auch bei den unbewehrten Säulen in der Mitte geringer als am Ende;
 - c) die Verkürzungen der Eisen in Säulenmitte größer, am Ende kleiner als die des Betons.
3. Die Gesamtlängenabnahme der Säulen zwischen den Druckplatten war sowohl bei den quadratischen als auch bei den achtseitigen Säulen bis 100 t der Belastung nahezu proportional, bei höheren Belastungen wuchs die Verkürzung in stärkerem Maße als die Belastung. Bei mehr als 175 t trat eine sehr starke Verkürzung aller bewehrten Säulen ein.
4. Der allgemeine Einfluß der Bewehrungen äußerte sich wie folgt:
- a) Steigerung des Widerstandes der Säulen gegen Druckbeanspruchung durch die Bewehrungen war erst bei Belastungen über 145 t wahrnehmbar.
 - b) Bei Belastungen über 145 t waren die Verkürzungen des Betons und der ganzen Säulen für die gleichen Belastungen bei den bewehrten Säulen größer als bei den unbewehrten, besonders die des Betons am Ende der Säulen.
5. Aus dem Vergleich der verschiedenartigen Bewehrungen ergibt sich folgendes:
- a) Die Steigerung der Verkürzung des Betons und der Säulen durch die Bewehrung (s. 4 b) war bei der Spirale größer als bei der Ringbewehrung und demgemäß waren
 - b) die Verkürzungen des Betons und der Säulen unter Belastungen bis 145 t bei der Spiralbewehrung größer als bei der Ringbewehrung.
 - c) Die mit Ringen und Spiralen aus 0,7 cm-Eisen bewehrten Säulen zeigten etwas geringere Formänderungen als die mit 0,5 cm-Eisen bewehrten.
 - d) Die Bewehrung mit Diagonalbügeln hat bei den Säulen mit quadratischem Querschnitt keine Steigerung der Bruchfestigkeit bewirkt.
 - e) Geschweißte Ringe, umgehakte Ringe und Spiralen haben sich im Einfluß auf die Säulenfestigkeit als gleichwertig erwiesen.
 - f) Die Festigkeitssteigerung durch die Bewehrung mit Ringen oder Spiralen war bei den achtseitigen Säulen größer als bei den quadratischen. Sie betrug bei dem Beton aus 1 Raumteil Zement und 4 Raumteilen Zuschlagmaterial bei 0,5 cm Eisenstärke 12,0 und 4,6 $\frac{0}{0}$, bei 0,7 cm Eisenstärke 19,4 und 10,7 $\frac{0}{0}$.

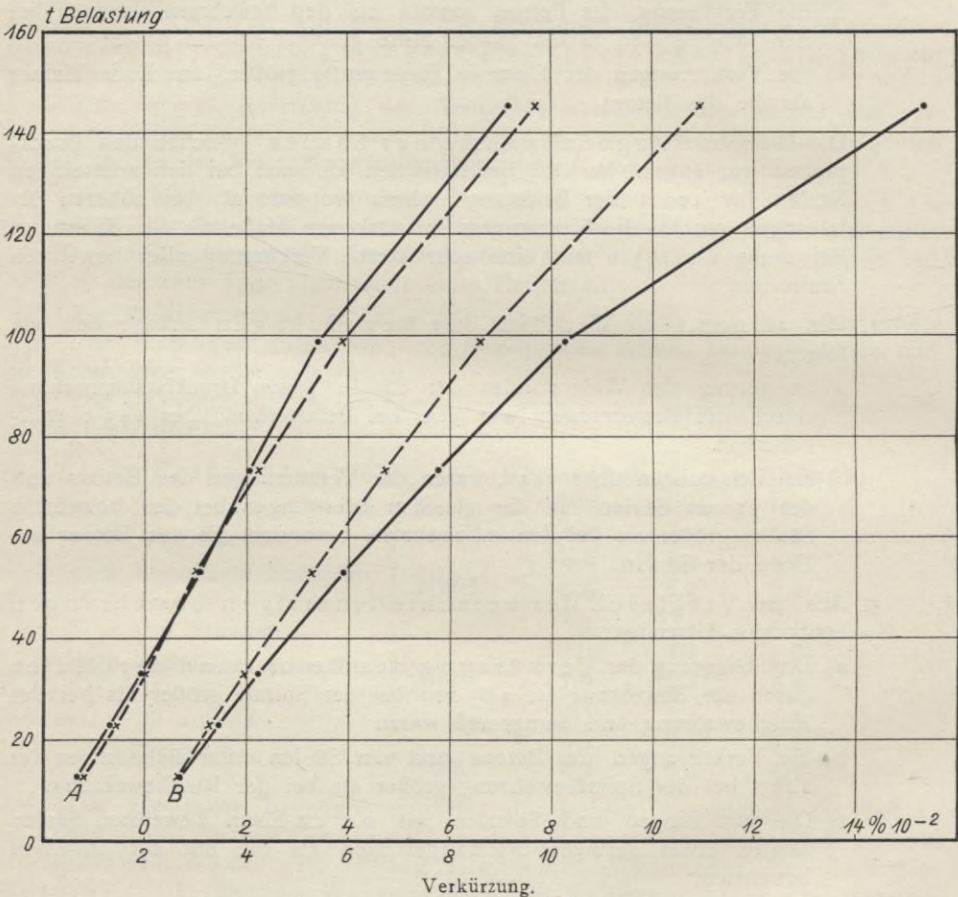
VI. Einfluß der fetteren Beton-Mischung. (Reihe B.)

Der Einfluß der fetteren Betonmischung ($1:2\frac{1}{2}$ gegenüber $1:4$) auf die Formänderungen und Festigkeit der Säulen (s. a. S. 2) ergibt sich aus dem Vergleich der unbewehrten Säulen 25—27 (Mischung $1:4$) mit den Säulen 52—54 (Mischung $1:2\frac{1}{2}$) und der mit umgehakten Ringen bewehrten Säulen 10—12 (Mischung $1:4$) mit den Säulen 49—51 (Mischung $1:2\frac{1}{2}$).

Abb. 47.

Einfluß der Zusammensetzung des Betons auf die Verkürzung der Längseisen in den Säulen bei den gleichen Belastungen.

Betonmischung: — = 1 Zement + 4 Zuschlag, - - - = 1 Zement + $2\frac{1}{2}$ Zuschlag.
Lage der Meßstellen: A am Säulende, B in Säulenmitte.



a) Die Querdehnung bei wachsender Belastung.

Die Beobachtungen für die Querdehnungen der Säulen aus der fetteren Mischung enthält Tab. 47. Hiernach sind für die Querdehnung am Säulende bei den ersten Laststufen negative Werte ermittelt, während der Säulendurchmesser in der Mitte mit der Belastung stetig zunahm. Ferner waren die Ausdehnungen in der Mitte bis zu den höchsten Laststufen größer als am Ende. Der Verlauf der Querdehnungen war also der gleiche wie bei den Säulen 10 und 11 sowie 25 und 26 aus dem mageren Beton (s. Tab. 12 und 13). Für die „bleibenden“ Dehnungen gilt das Seite 16 und 39 über die letzteren Gesagte für die Säulen aus der fetteren Mischung ebenfalls.

b) Längenänderungen der Längseisen.

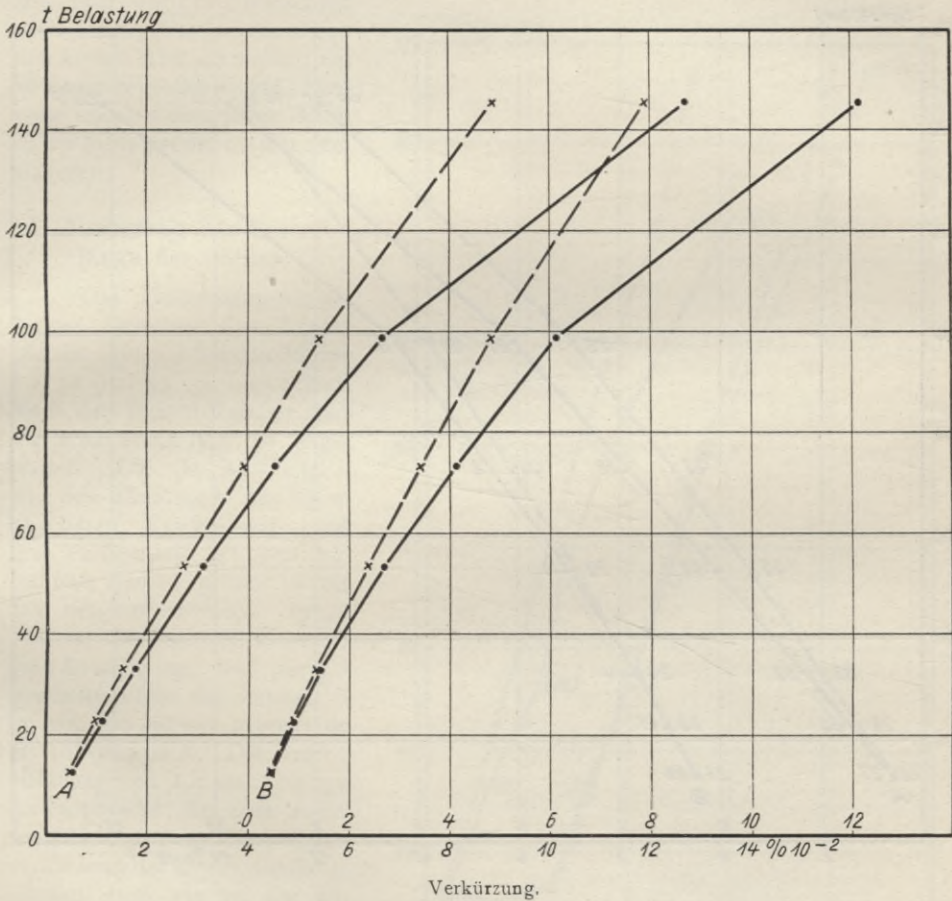
Die Längenänderungen der Längseisen (s. Tab. 48) sind bei der Säule 49 am Ende, bei Säule 50 in der Mitte und bei 51 gleichzeitig am Ende und in der Mitte beobachtet.

Die Ergebnisse bestätigen die an den Säulen aus dem mageren Beton aufgetretenen Erscheinungen (s. Abschn. V, S. 41), daß

Abb. 48.

Einfluß der Zusammensetzung des Betons auf dessen Verkürzung in den unbewehrten Säulen bei den gleichen Belastungen.

Betonmischung: — = 1 Zement + 4 Zuschlag; - - - = 1 Zement + 2½ Zuschlag.
Lage der Meßstellen: A am Säulenende, B in Säulenmitte.



- die gesamte und federnde Verkürzung der Längseisen in der Mitte bei Wiederholung derselben Beanspruchung zunimmt, am Säulenende dagegen bei geringen Belastungen ab- und erst bei höheren Belastungen ebenfalls zunimmt. Die Grenze für dies verschiedenartige Verhalten der Längseisen liegt auch bei dem fetten Beton bei etwa 100 t;
- die Längseisen nach dem Entlasten in der Säulenmitte bleibende Verkürzung, dagegen am Ende eine Längszunahme gegenüber der ursprünglichen Länge bei 2090 kg Anfangsbelastung aufweisen;
- die Gesamtlängenabnahme am Ende der Säule bei geringen Belastungen größer, bei höheren Belastungen aber kleiner ist als in der Mitte.

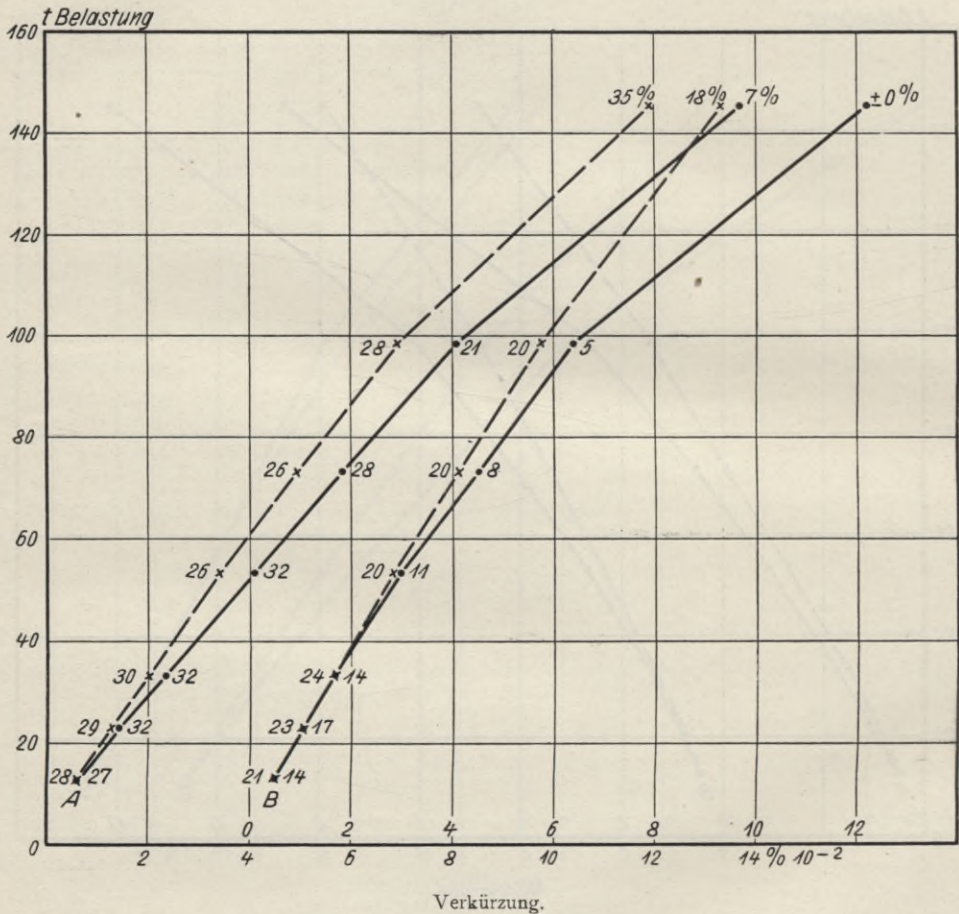
In Abb. 47 sind die Gesamtverkürzungen der Längseisen, beobachtet A am Ende und B in der Mitte der Säulen aus dem mageren (1 : 4) und fetten (1 : 2 $\frac{1}{2}$) Beton, durch Schaulinien gegenübergestellt. Hiernach hatte die Zusammensetzung des Betons auf die Längenänderungen der Längseisen am Säulende (Linien A)

Abb. 49.

Einfluß der Zusammensetzung des Betons auf dessen Verkürzung in den bewehrten Säulen bei den gleichen Belastungen.

Betonmischung: — = 1 Zement + 4 Zuschlag; - - - - = 1 Zement + 2 $\frac{1}{2}$ Zuschlag.
Lage der Meßstellen: A am Säulende, B in Säulenmitte.

Die %-Werte neben den Schaulinien bedeuten das Mehr an Verkürzung gegenüber den unbewehrten Säulen.



keinen wesentlichen Einfluß, in Säulen mitte (Linien B) erfuhren aber die Längseisen in den Säulen aus dem fetteren Beton wesentlich geringere Verkürzungen als in den Säulen aus dem mageren Beton.

c) Längenänderungen des Betons in den Säulen.

Die Beobachtungen für die Längenänderungen des Betons in den unbewehrten Säulen zeigt Tab. 49, die in den bewehrten Tab. 50. Die Mittelwerte sind in den Schaulinien Abb. 48 und 49 den Mittelwerten für die Säulen aus dem mageren Beton gegenübergestellt. Die ausgezogenen Linien liegen in den beiden

Abbildungen rechts von den gestrichelten. Dies besagt, daß der magere Beton (1:4) durchweg bei den gleichen Belastungen größere Verkürzung erlitt als der fette (1:2½), und zwar ist der Unterschied bei den unbewehrten Säulen (Abb. 48) größer als bei den bewehrten (Abb. 49). Die Neigung der Schaulinien Abb. 49 ist stärker als die der Linien Abb. 48; bei gleichen Belastungen hat sich also der Beton in den bewehrten Säulen mehr verkürzt als in den unbewehrten, und zwar war der Unterschied nach den $\%$ -Werten, die neben den Linien Abb. 49 stehen, am Säulenende größer als in Säulenmitte und bei dem fetten Beton in der Mitte größer als bei dem mageren.

d) Änderung der Gesamtlänge der Säulen.

Die Gesamtlängenänderungen zwischen den Druckplatten sind nur bei den Säulen 50, 51 und 53, 54 beobachtet. Nach den Werten Tab. 51 sind die Schaulinien Abb. 50 aufgetragen. Die im Abschnitt c aus den Messungen am Beton abgeleitete Erscheinung, daß die Verkürzung bei den bewehrten Säulen größer ist als bei den unbewehrten, findet hier für den fetten Beton darin eine Bestätigung, daß die gestrichelte Linie der Gruppe B in Abb. 50 stärker geneigt ist als in Gruppe A. Die beiden ausgezogenen Linien Abb. 50 laufen parallel; bei dem mageren Beton war also die Gesamtverkürzung der bewehrten Säule ebenso groß wie bei der unbewehrten. In beiden Gruppen A und B liegt die ausgezogene Linie rechts von der gestrichelten; die Verkürzung der Säulen aus dem mageren Beton war also größer als die der Säulen aus dem fetten Beton, und zwar war der Unterschied bei den bewehrten Säulen geringer als bei den unbewehrten.

Abb. 50.

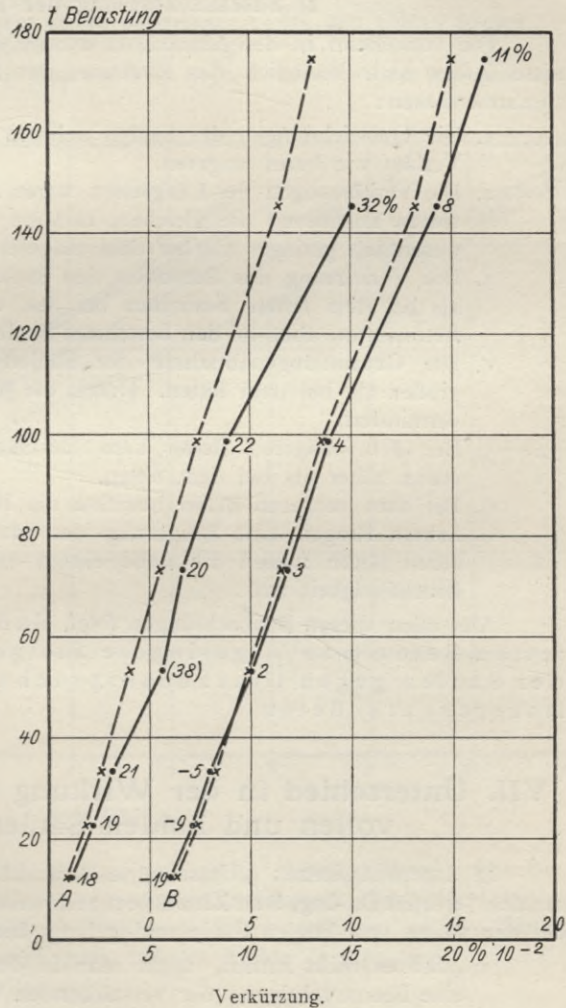
Einfluß der Zusammensetzung des Betons auf die Gesamtverkürzung der Säulen bei den gleichen Belastungen.

Betonmischung: — = 1 Zement + 4 Zuschlag;

--- = 1 Zement + 2½ Zuschlag.

A = unbewehrt; B = bewehrt mit umgehaken Ringen.

Die $\%$ -Werte neben den Schaulinien bedeuten das Mehr an Verkürzung bei den Säulen aus Beton 1:4.



e) Die Festigkeit der Säulen.

Nach Tab. 52 beträgt die Druckfestigkeit des fetten Betons, ermittelt an den mit den Säulen gleichzeitig gefertigten Würfeln, 293 500 kg = 326 kg/qcm gegen-

über $210\,430 = 234 \text{ kg/qcm}$ bei dem mageren. Ferner beträgt das Verhältnis $P:P_1$ der Säulenfestigkeit zur Würfelfestigkeit

bei den unbewehrten Säulen: 84% (mager) und 81% (fett)

„ „ bewehrten „ : 89% „ „ 84% „ „

Schließlich ist das Verhältnis der Bruchfestigkeit der bewehrten Säulen zu derjenigen der unbewehrten

bei dem mageren Beton = 108%

„ „ fetten „ = 100% .

Bei dem Beton $1:2\frac{1}{2}$ ist also die Bruchfestigkeit der Säulen durch die Bewehrung nicht gesteigert¹⁾.

f) Zusammenfassung der Ergebnisse.

Die vorstehend in den Abschnitten a bis e im einzelnen besprochenen Ergebnisse lassen sich bezüglich des Einflusses der fetteren Betonmischung wie folgt zusammenfassen:

1. Die Querdehnungen der Säulen nehmen beim fetten Beton den gleichen Verlauf wie beim mageren.
2. Die Verkürzungen der Längseisen waren am Säulenende bei beiden Betonsorten annähernd die gleichen, in Mitte der Säulen bei dem fetten Beton wesentlich geringer als bei dem mageren Beton.
3. Die Verkürzung des Betons in den Säulen war bei dem mageren größer als bei dem fetten, besonders bei den unbewehrten Säulen, bei beiden Betonsorten aber in den bewehrten Säulen größer als in den unbewehrten.
4. Die Gesamtlängenabnahme der Säulen war bei dem mageren Beton größer als bei dem fetten. Durch die Bewehrung wurde der Unterschied vermindert.
5. Bei dem mageren Beton kam die Säulenfestigkeit der Würfelfestigkeit etwas näher als bei dem fetten.
6. Bei dem mageren Beton bewirkte die Bewehrung der Säulen mit umgehakten Ringen eine Steigerung der Säulenfestigkeit um 8% , bei dem fetten Beton wiesen die unbewehrten und bewehrten Säulen die gleiche Bruchfestigkeit auf.

Aus allen diesen Beobachtungen folgt, daß die Bewehrung bei dem fetten Beton ($1:2\frac{1}{2}$) geringere Steigerung des Widerstandes der Säulen gegen Druckbeanspruchung bewirkte als bei dem mageren ($1:4$) Beton.

VII. Unterschied in der Wirkung der Umschnürung bei vollen und hohlen Säulen. (Reihe C.)

In einem Aufsatz: „Umschnürte Druckkörper aus Eisenbeton mit Hohlräumen“ erörtert Dr.-Ing. B a r k h a u s e n rechnerisch die Wirkung der Umschnürung bei der vollen und hohlen Säule und gelangt hierbei zu dem Ergebnis,

„daß es nicht zutrifft, wenn man in der Anbringung eines Hohlraumes eine Beeinträchtigung der verstärkenden Wirkung der Umschnürung sucht. Das Gegenteil ist bei geeigneter Wahl der Abmessungen richtig; denn bei gleichen Außenmaßen und gleicher Umschnürung kann der volle Pfahl zwar im ganzen höher belastet werden als der hohle, die mögliche Belastung der Querschnitteinheit ist aber bei letzterem höher; beim hohlen Pfahl ist also die Wirkung der Umschnürung stärker.“

¹⁾ Die Säule 51 zeigt den beiden zugehörigen (49 und 50) gegenüber auffallend geringe Bruchfestigkeit. Läßt man Säule 51 außer Betracht, so ergibt sich die mittlere Bruchfestigkeit zu $248\,820 \text{ kg} = 105\%$ des Mittels für die unbewehrten.

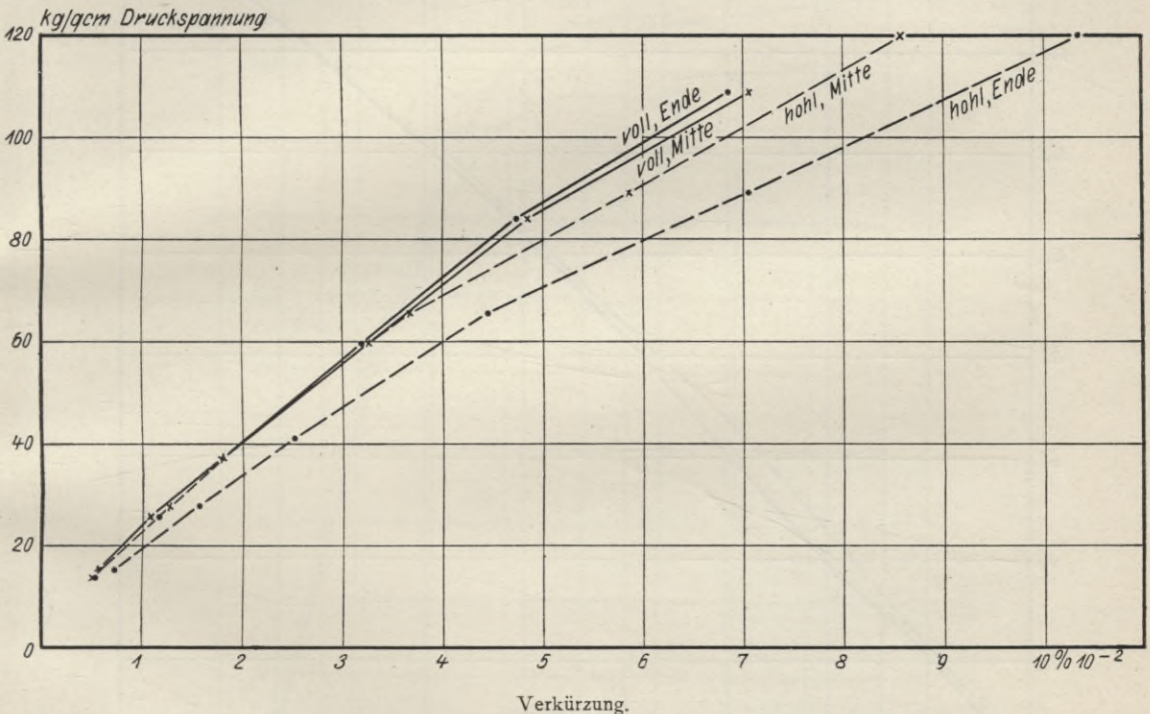
Zur Nachprüfung dieses auf dem Wege der Rechnung erzielten Ergebnisses durch den Versuch ist auf Antrag von Dr.-Ing. Koenen die Prüfung folgender achtseitiger hohler Säulen Nr. 55—60 und 72 beschlossen und ausgeführt worden, die mit den Säulen 43—45 aus Reihe A in Vergleich zu stellen waren.

Sämtliche Säulen, aus demselben Beton gefertigt, hatten die gleichen äußeren Abmessungen, und zwar betrug der von den acht Seitenflächen umschlossene Querschnitt 900 qcm; der Durchmesser des Hohlraumes betrug 10 cm, sein Querschnitt 78,5 qcm. Alle Säulen waren längs mit acht Rundeisen von 1,4 cm Durchmesser und quer mit einer an den Enden verschweißten Spirale mit 3 cm Ganghöhe aus Eisen von 0,7 cm Durchmesser bewehrt.

Abb. 51.

Verkürzung des Betons der unbewehrten achtseitigen vollen und hohlen Säulen bei gleichen Druckspannungen.

— volle Säulen 46—48; ---- hohle Säule 72; • am Ende, x in der Mitte der Säule gemessen.



Die Bewehrung war bei den Säulen 55—57 in gleicher Weise angeordnet wie bei den vollen Säulen 43—45; der Außendurchmesser der Spirale betrug 28 cm und demnach war der hiermit berechnete Kernquerschnitt bei den Säulen 43—45 = 615,7 qcm (= rund 616 qcm), bei den Säulen 55—57 = 615,7—78,5 = 537 qcm.

Zu den Säulen 58—60 erhielten die Spiralen 31,7 cm Durchmesser, so daß der Kernquerschnitt dieser Säulen 789,2—78,5 = 711 qcm betrug.

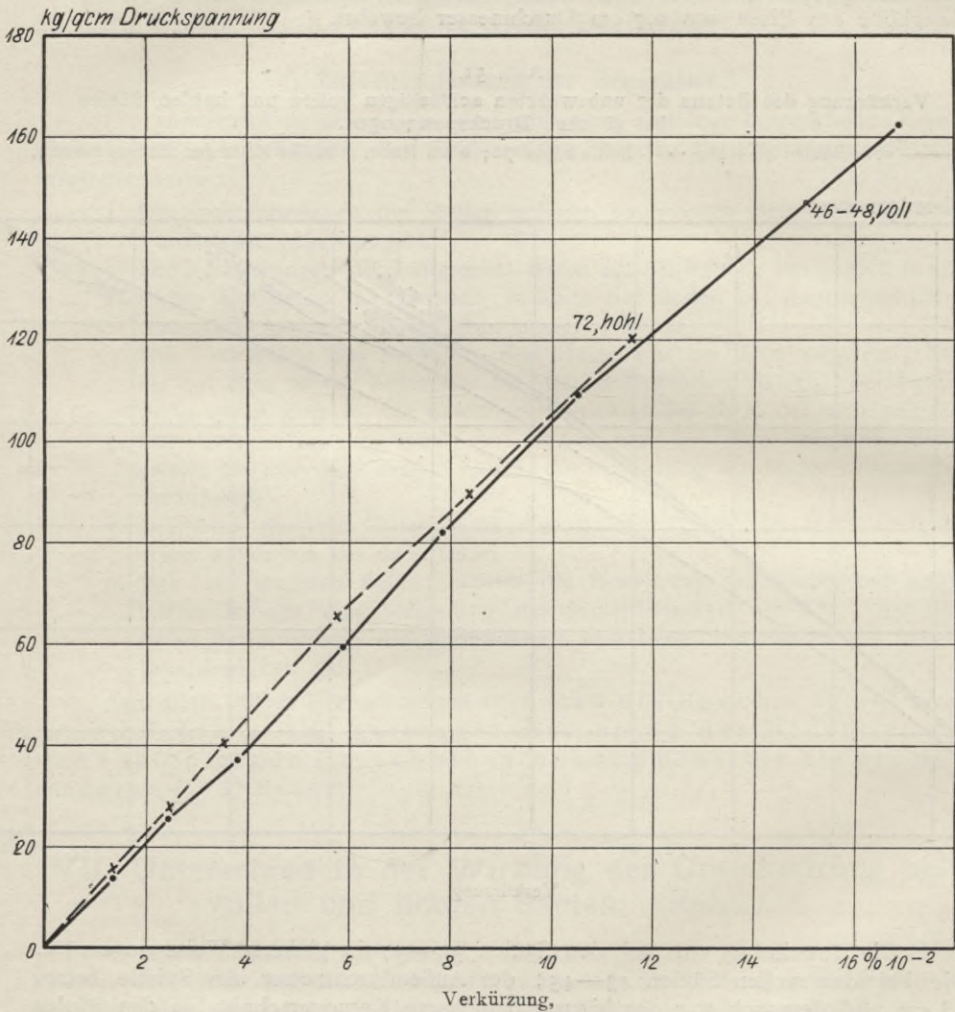
Die Säule 72 blieb unbewehrt; ihr Materialquerschnitt betrug 900—78,5 = 821,5 qcm.

Die bei stufenweiser Laststeigerung beobachteten Längenänderungen des Betons, gemessen in der Mitte und am oberen Ende der Säulen an deren Oberfläche, enthalten Tab. 53—55, die beobachteten Längenänderungen der Säulen, gemessen zwischen den beiden Druckplatten Tab. 56 und 57.

Nach den Werten der Tab. 53—55 sind die Schaulinien Abb. 51 aufgetragen; sie zeigen, daß der Beton bei gleichen Druckspannungen in der unbewehrten hohlen Säule 72, und zwar besonders an deren Ende, größere Verkürzungen erlitt als in den unbewehrten vollen Säulen 46—48. Die Gesamtverkürzung dieser Säulen, gemessen zwischen den Druckplatten, war dagegen nach

Abb. 52.

Gesamtverkürzungen der unbewehrten achtseitigen vollen und hohlen Säulen bei gleichen Druckspannungen.



den Schaulinien Abb. 52, zu deren Auftragung die durch Extrapolation ergänzten Werte der Tab. 56 dienten, bei den vollen Säulen etwas größer als bei den hohlen.

Den Verlauf der Gesamtverkürzungen der hohlen, spiralbewehrten Säulen 55—57 mit 537 qcm Kernquerschnitt und 58—60 mit 711 qcm Kernquerschnitt, bei gleichem Gesamtquerschnitt von 821,5 qcm für alle Säulen, zeigen die Schaulinien Abb. 53. Zum Vergleich sind auch die bis zu etwa 100 t Belastung reichende Schaulinie für die unbewehrte hohle Säule 72 sowie die Linie für die vollen bewehrten Säulen 43—45 mit aufgetragen. Ueber 160 t Belastung sind die Verkürzungen an den einzelnen Säulen bei verschiedenen Laststufen beobachtet

(s. Tab. 57); die Schaulinien stellen den Ausgleich für die weit streuenden Einzelwerte dar.

An der Lage der Linien zueinander zeigt sich zunächst, daß auch die hohlen Säulen, ebenso wie es bei den vollen beobachtet war, sich bei gleichen Belastungen unbewehrt (72) weniger verkürzen als bewehrt (55—57).

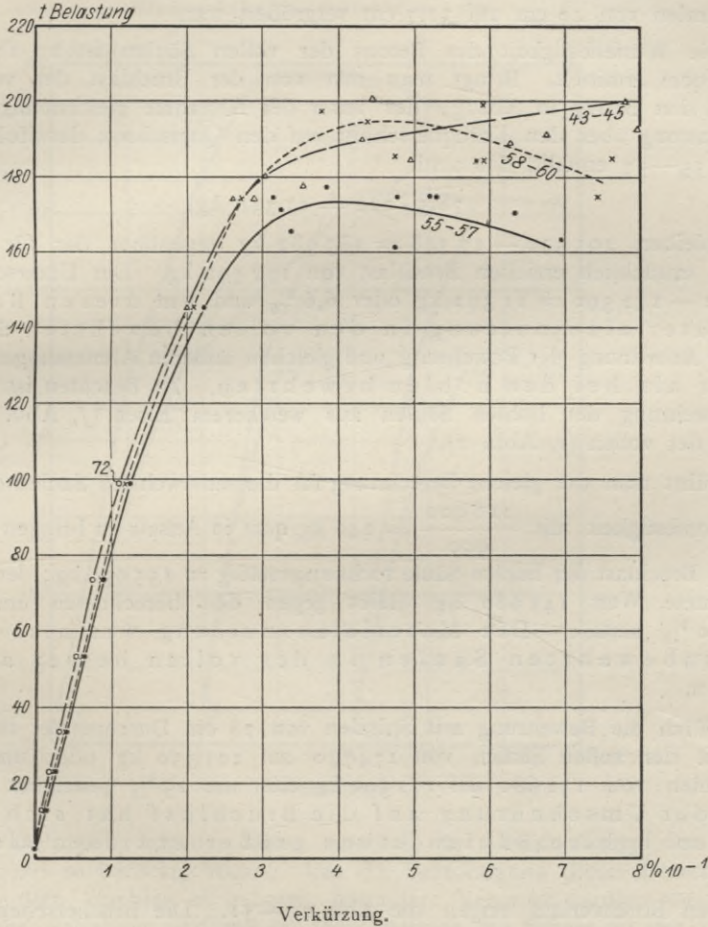
Abb. 53.

Gesamtverkürzungen der spiralbewehrten, achtseitigen, hohlen Säulen.

Gesamt-Materialquerschnitt = 821,5 qcm;

Kernquerschnitt bei 55 bis 57 = ● ——— ● = 537 qcm, bei 58 bis 60 = x - - - - x = 711 qcm.

○ ——— ○ hohle unbewehrte Säule 72.



Von den bewehrten Säulen verkürzten sich die mit kleinerem Kernquerschnitt (55—57) mehr als die mit dem größeren Kernquerschnitt (58—60); der Unterschied nimmt mit wachsender Belastung zu, wird aber erst bei Belastungen über 140 t wesentlich.

Der Verlauf der Verkürzungen der bewehrten vollen Säulen 43—45 unterscheidet sich von dem der bewehrten hohlen Säulen 58—60 mit dem größeren Kernquerschnitt wesentlich erst bei Belastungen über 180 t. Die hohlen Säulen erreichten ihre Bruchlast bei etwa 0,5% Verkürzung, die vollen dagegen erst bei 0,8% Verkürzung.

Die Bruchbelastungen der unbewehrten Säulen betragen (s. Tab. 58):

für die vollen (46—48) 174 790 kg = 195 kg/qcm Druckspannung

„ „ hohle (72) 141 680 „ = 174 „ „ „

Hiermit sind bei der vollen Säule die wiederholt nachgewiesenen 81⁰/₀ der Materialfestigkeit im Würfel erreicht, bei der hohlen Säule dagegen nur 72⁰/₀.

Die mittleren Bruchbelastungen der bewehrten Säulen betragen (s. Tab. 58):

für die vollen mit 616 qcm Kernquerschnitt = 201 330 kg

„ „ hohlen „ 537 „ „ = 172 590 „

„ „ hohlen „ 711 „ „ = 194 310 „

Hiernach haben die vollen Säulen die größte Bruchlast ergeben, dieselbe wurde aber bei den hohlen Säulen dadurch nahezu erreicht, daß der Durchmesser der Spiralen von 28 cm auf 31,7 cm vergrößert war.

Die Würfelfestigkeit des Betons der vollen Säulen ist zu 199 200 kg = 221 kg/qcm ermittelt. Bringt man nun von der Bruchlast der vollen Säulen 43—45 den Betrag in Abzug, der unter der Annahme gleichmäßiger Verteilung der Belastung über den Kernquerschnitt auf den Querschnitt des Hohlraumes der Säulen 55—57 entfällt, das sind

$$78,5 \cdot 221 = 17\,348 \text{ kg,}$$

so verbleiben 201 330 — 17 348 = 183 982 kg gegenüber der für die Säulen 55—57 tatsächlich erzielten Bruchlast von 172 590 kg. Der Unterschied beträgt 183 982 — 172 590 = 11 392 kg oder 6,6⁰/₀ und um diesen Betrag war die Materialausnutzung in den vollen bewehrten Säulen bei gleicher Anordnung der Bewehrung und gleichen äußeren Abmessungen der Säulen besser als bei den hohlen bewehrten. Zu beachten ist hierbei, daß die Bewehrung der hohlen Säulen aus weicherem Eisen (*f*, Abb. 2) bestand, als die der vollen (*e*, Abb. 2).

Führt man die gleiche Berechnung für die unbewehrten Säulen durch, wobei die Betonfestigkeit mit $\frac{216\,000}{900} = 240$ kg/qcm in Ansatz zu bringen ist, so ergibt sich die Bruchlast der hohlen Säule rechnermäßig zu 155 950 kg; der für Säule 72 beobachtete Wert 141 680 kg bleibt gegen den berechneten um 14 270 kg oder 10⁰/₀ zurück. Die Materialausnutzung war also auch bei den unbewehrten Säulen in der vollen besser als in der hohlen.

Durch die Bewehrung mit Spiralen von 28 cm Durchmesser ist die Bruchfestigkeit der vollen Säulen von 174 790 auf 201 330 kg oder um 20⁰/₀, die der hohlen von 141 680 auf 172 590 kg oder um 25⁰/₀ gesteigert. Die Wirkung der Umschnürung auf die Bruchlast hat sich hiernach bei den hohlen Säulen etwas größer erwiesen als bei den vollen.

Den Bruchverlauf zeigen die Abb. 29—31. Die Brucherscheinungen sind bei den hohlen Säulen nicht wesentlich verschieden von denen der vollen Säulen 43—45, Abb. 26. Interessant ist es, daß die Pyramidenbildung, die zu der Zerstörung der Säulen führt, auch bei den hohlen Säulen deutlich hervortritt; in Abb. 29 führte sie zum Längsaufreißen der Schale am oberen Ende der Säule 55 und bei Säule 57, bei der die Zerstörung weiter getrieben ist, ist der Pyramidenstumpf, getragen von den eingeknickten Längseisen, abgehoben. Die gleiche Erscheinung tritt, wenn auch weniger deutlich, bei Säule 60, Abb. 30, zutage.

VIII. Einfluß des Betons außerhalb der Umschnürung. (Reihe D.)

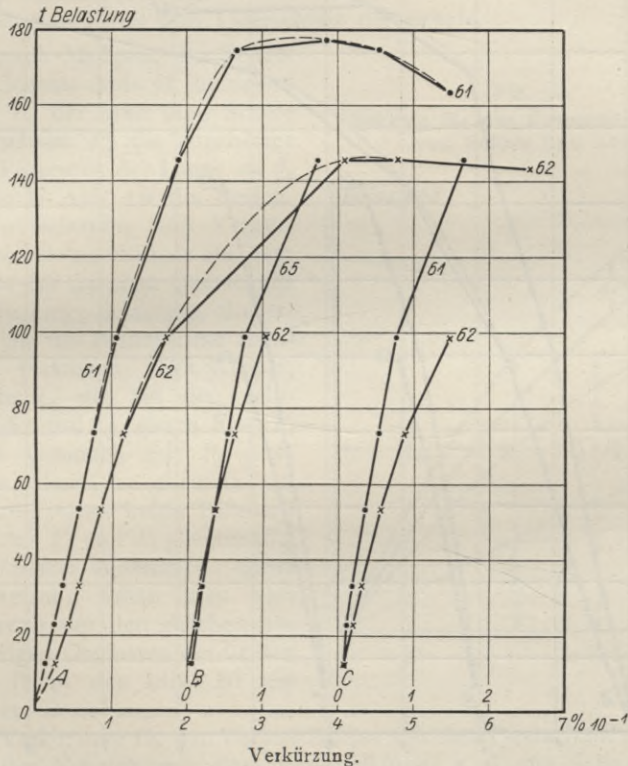
Bei Berechnung der Tragfähigkeit von umschnürten Eisen-Beton-Säulen, das sind solche, bei deren Prüfung auf Druckfestigkeit das Material außerhalb der Umschnürung, die Schale, vor Erreichung der höchsten Belastung abzuplatzen

Abb. 54.

Längenänderungen bei wachsender Belastung der spiralbewehrten Säulen
Nr. 61 mit und Nr. 62 ohne Schale.

- A: gemessen zwischen den beiden Druckplatten,
B: gemessen in Säulen-Mitte,
C: gemessen am Säulen-Ende.

Eisenstärke der Spirale = 5 mm.



pflegt, ist es Gebrauch, nur den Beton innerhalb der Umschnürung, den Betonkern, als tragend zu berücksichtigen. Um die Berechtigung dieser Berechnungsweise nachzuprüfen, erschien es geboten, besondere Versuche darüber anzustellen, bis zu welcher Belastung und mit welchem Betrage die Schale an der Lastaufnahme teilnimmt. Zu diesem Zweck sind vier Säulen gefertigt, von denen zwei mit Spiralen aus 5 mm-Eisen, zwei mit Spiralen aus 7 mm-Eisen bewehrt waren. Die Ganghöhe der Spiralen betrug 4 cm, ihr äußerer Durchmesser bei allen 4 Säulen 28 cm. Von den beiden gleichartig bewehrten Säulen war die eine achtseitig mit 900 qcm Querschnitt; bei den zweiten Säulen fehlte die Schale. Diese Säulen waren also zylindrisch bei 28 cm Durchmesser.

Um die Säulen ohne Schale möglichst unter den gleichen Bedingungen herzustellen, wie die Vergleichssäulen mit Schale, wurde ein zum Zylinder aufgerolltes Blech von 0,5 mm Dicke um das fertige Eisengerippe (8 Längseisen, an den Kreuzungsstellen mit der Spirale durch Bindendraht verbunden) eng herumgelegt

und durch Bänder zusammengehalten. Das Ganze wurde dann in dieselbe Form, in der auch die anderen Säulen gestampft sind, möglichst zentrisch hineingestellt und der Raum zwischen dem Blechmantel und den Formwandungen mit Sand fest ausgestampft.

Abb. 55.

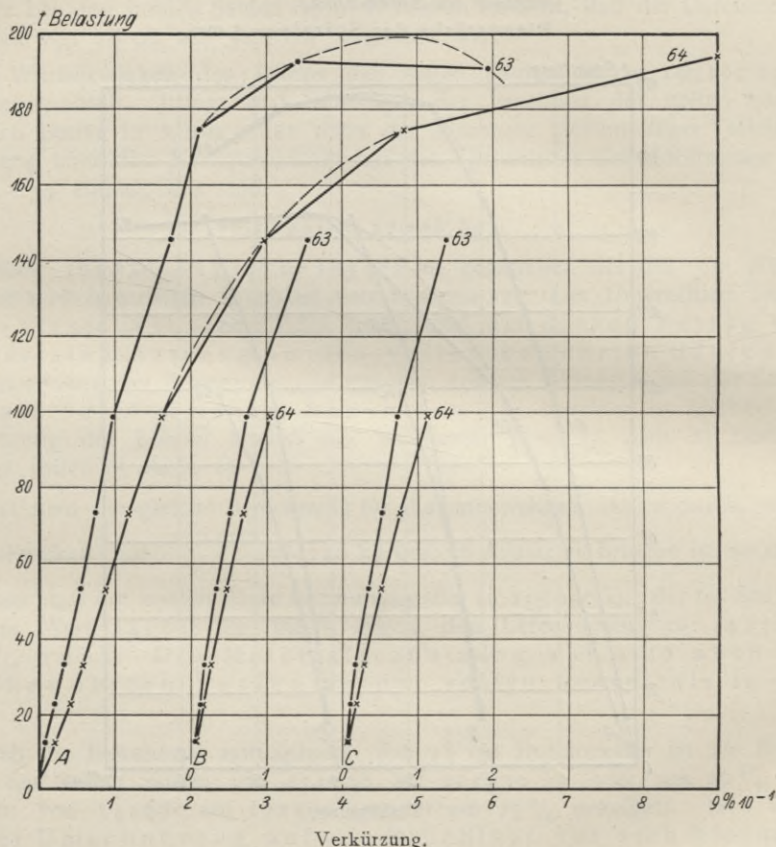
Längenänderungen bei wachsender Belastung der spiralbewehrten Säule Nr. 63 mit und Nr. 64 ohne Schale.

A: gemessen zwischen den beiden Druckplatten,

B: gemessen in Säulen-Mitte,

C: gemessen am Säulen-Ende.

Eisenstärke der Spirale = 7 mm.



Die Beobachtungen bei den einzelnen Laststufen für die Verkürzungen des Betons in den Säulen sind in Tab. 59 u. 60, diejenigen für die Säulen, gemessen zwischen den Druckplatten, in Tab. 61 zusammengestellt und nach den Mittelwerten sind die Schaulinien Abb. 54 und 55 aufgetragen; Abb. 54 enthält die Ergebnisse für die Säulen mit 5 mm-Spiralen, Abb. 55 diejenigen für die Säulen mit 7 mm-Spiralen. In beiden Abbildungen entsprechen die Linien Gruppe A den Gesamtverkürzungen der Säulen, Gruppe B den Verkürzungen des Betons in Säulenmitte, Gruppe C denen am Säulenende.

Nach der Lage der beiden Linien derselben Gruppe zueinander waren die Verkürzungen unter den gleichen Belastungen, wie nicht anders erwartet werden konnte, bei den Säulen ohne Schale größer als bei den Säulen mit Schale. Der Einfluß der Schale auf die Längenänderungen der Säulen ist also unverkennbar, und zwar macht er sich nach

dem Verlauf der Linien in den Gruppen A auch nach Ueberschreitung der Höchstlast noch bemerkbar.

Die Höchstlast selbst betrug nach den Werten der Tab. 62 bei den Säulen mit Schale 177360 und 200740 kg, bei den Säulen ohne Schale 152680 und 196270 kg, sie war also für die ersteren bei der 5 mm-Spirale um 16%, bei der 7 mm-Spirale um 2% größer als für die Säulen ohne Schale.

Die Zerstörungserscheinungen an den vier Säulen zeigen die Lichtbilder Abb. 31.

Um zu ermitteln, ob der Beton der Schale seiner Eigenfestigkeit entsprechend an der Tragfähigkeit der Säule teilnimmt, sei folgende Betrachtung angestellt.

Ist F = dem Gesamtquerschnitt der achtseitigen Säule,

F_k = dem Kernquerschnitt, entsprechend dem Außendurchmesser der Spirale,

so ist $F_s = F - F_k$ = dem Querschnitt der Schale.

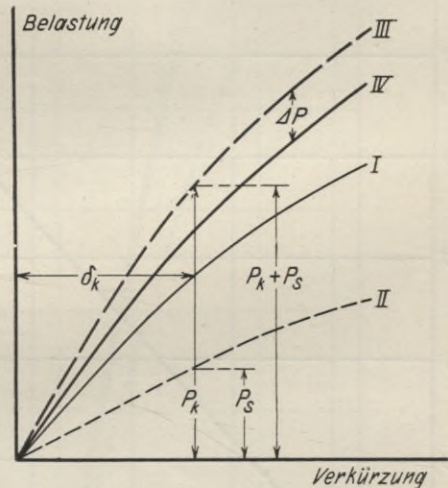
Ist nun nach Maßgabe der Schaulinie I in dem Schema Abb. 56 für irgend eine Belastung P_k der Säule ohne Schale mit dem Querschnitt F_k die zugehörige Verkürzung in Prozenten der Länge = δ_k und stellt Linie II Abb. 56 die Beziehungen zwischen Belastung und Verkürzung eines unbewehrten Prismas aus dem Beton der Säule dar mit dem Querschnitt F_s , so ist P_s diejenige Belastung, die erforderlich ist, um das Betonprisma ebenfalls um δ_k zu verkürzen. Ein Körper, dessen Querschnitt, wie bei den achtseitigen Säulen 61 und 63, gleich $F_k + F_s = F$ ist, muß demnach mit $P_k + P_s$ belastet werden, damit er ebenfalls um δ_k verkürzt wird, sofern beide Teile mit den Querschnitten F_k und F_s gleichmäßig an der Lastaufnahme teilnehmen. Unter dieser Voraussetzung erhält man also durch Summierung der den gleichen Abszissen zugehörigen Ordinaten der beiden Linien I und II in der Linie III die Darstellung der Beziehungen zwischen Belastung und Verkürzung für den Verbundkörper mit dem Querschnitt $F_k + F_s = F$.

Liefert dann der Versuch mit dem Verbundkörper z. B. die Schaulinie IV, so entsprechen die Unterschiede ΔP in den Ordinaten von III und IV für gleiche Abszissen den jeweiligen Verlusten an Festigkeit, die mit der Vereinigung beider Teile zum Verbundkörper, hier der Betonschale mit dem spiralbewehrten Kern, verbunden sind.

Nach diesen Gesichtspunkten sind die Tab. 63 und die Schaulinien Abb. 57 und 58 ausgeführt.

Tab. 63 enthält in den ersten fünf Reihen die Gesamtverkürzungen der hier zu betrachtenden Säulen, gemessen zwischen den Druckplatten. Wie schon oben gesagt ist, haftet den Beobachtungen für diese Verkürzungen dadurch eine gewisse Unsicherheit an, daß die Druckflächen trotz sorgfältigen Abgleichens nicht von gleich an überall voll zur Anlage kamen und daher bei geringen Belastungen infolge örtlicher Verdrückungen sich zu große Werte für die Verkürzungen der Säulen ergaben. In Abb. 54 und 55 tritt dieser Umstand darin zutage, daß die Schaulinien Gruppe A bei geringen Belastungen zunächst gegen die Abszisse hin gekrümmt sind, dann aber innerhalb eines gewissen Bereiches annähernd

Fig. 56.
Schema für das Zusammenwirken
von Schale und Kern.



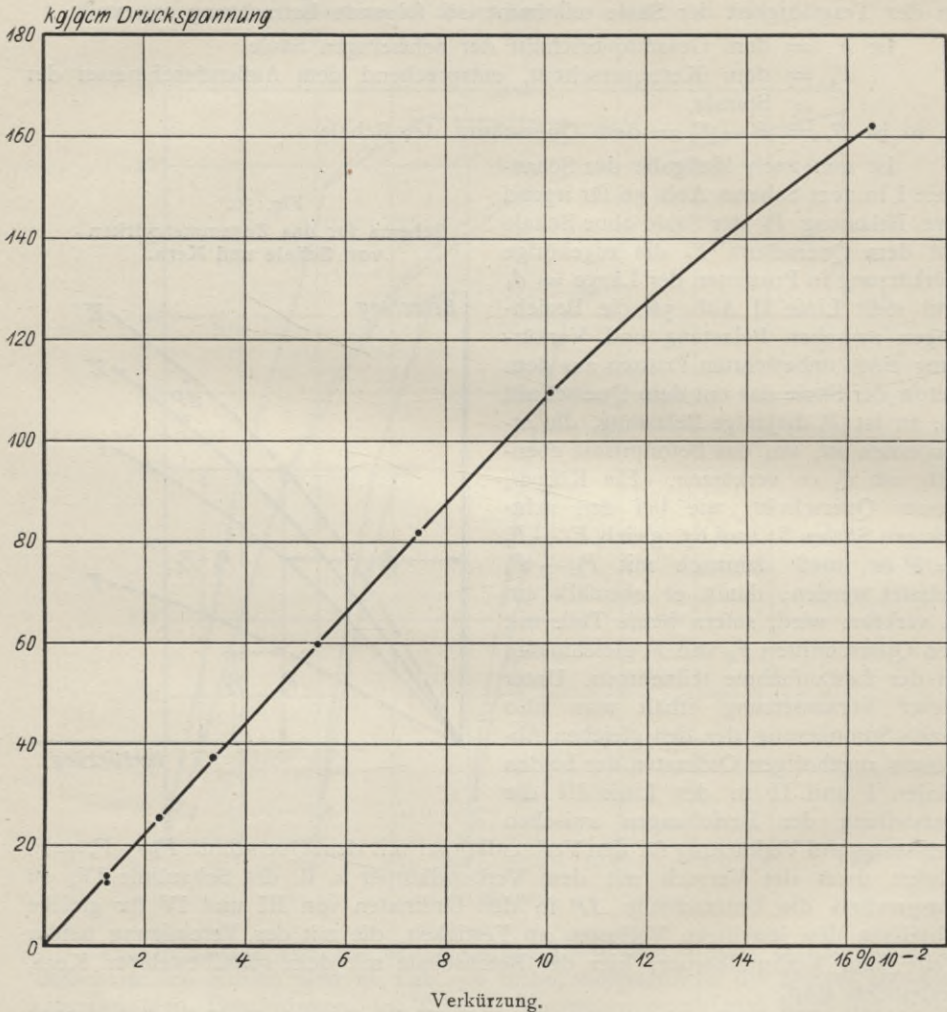
geradlinig verlaufen. Der annähernd geradlinige Verlauf ist auch für geringe Belastungen der wahrscheinlichste; daher sind nach ihm die Beobachtungswerte ausgeglichen und in Tab. 63 den weiteren Betrachtungen zugrunde gelegt.

Abb. 57 zeigt den Verlauf der Verkürzung der unbewehrten Säulen

Abb. 57.

Gesamtverkürzung δ der unbewehrten achtseitigen Säulen 46, 47, 48 bei wachsender Druckspannung.

Die Werte für δ sind durch Ausgleich und Extrapolation gefunden.



46—48 mit wachsender Druckspannung in kg/qcm; die Werte der letzteren sind in Tab. 63 über den Belastungswerten in Klammern angegeben.

Die Verkürzungen der Säulen 61 bis 64 sind in Abb. 58 zu Schaulinien aufgetragen, und zwar in Gruppe A für die Säulen 61 und 62 mit Spiralen aus 5-mm-Eisen, in Gruppe B für die Säulen 63 und 64 mit Spiralen aus 7-mm-Eisen. Die dritten, mit J bezeichneten Schaulinien stellen den errechneten Verlauf dar, den die Verkürzungen der runden Säulen 62 und 64 unter der Annahme gleichmäßiger Spannungsverteilung genommen hätten, wenn diese Säulen ebenso wie die Säulen 61 und 63 durch Hinzufügen der Schale sechsseitig gestaltet worden wären.

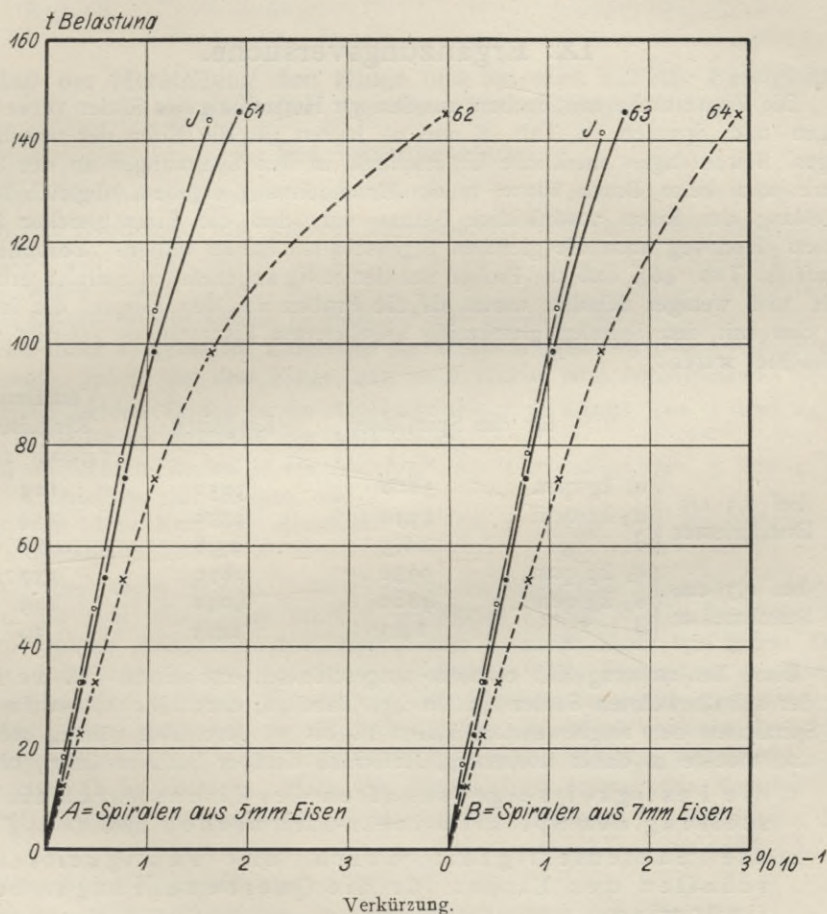
Der Gang der Berechnung war folgender:

An der Schaulinie Abb. 57 sind die Druck-Spannungen σ_s abgegriffen (s. Tab. 63), die erforderlich sind, um den Beton der Säulen, also auch den der Schale, um diejenigen Beträge zusammenzudrücken, um die die runden Säulen 62 und 64 sich unter den einzelnen Laststufen verkürzt hatten.

Aus diesen Druckspannungen σ_s sind dann die zugehörigen Druckbelastungen P_s nach der Gleichung $P_s = \sigma_s \cdot F_s$ berechnet, und schließlich aus der Summe

Abb. 58.

Gesamtverkürzung der gleichartig bewehrten Säulen 61 und 63 mit und 62 und 64 ohne Schale im Vergleich mit den berechneten Werten J .



$P + P_s = J$ die Belastungen, die hätten erforderlich sein müssen, die mit der Schale versehenen Säulen um die gleichen Beträge zusammenzudrücken, wie die runden Säulen ohne Schale, unter der Annahme, daß die Belastung über den Verbundkörper gleichmäßig verteilt ist und der Beton sich in der Schale ebenso verhält, wie im vollen Prisma.

Wie Abb. 58 erkennen läßt, sind für gleiche Verkürzungen die Ordinaten der Linien J größer als die der Linien 61 und 63. Dies besagt, daß die achtseitigen Säulen tatsächlich geringeren Widerstand gegen Druckbelastungen äußerten, als sich rechnermäßig aus den beiden Widerständen des Kernes und der Schale ergibt. Die Verminderung des Widerstandes beträgt, wie die in Tab. 63 weiter angestellten

Berechnungen ergeben, bei der Säule 61 etwa 7 bis 10% und bei der Säule 63 etwa 4—6%, während der Querschnitt der Schale 32% des Gesamtquerschnittes beträgt. Zu berücksichtigen ist hierbei, daß nur Einzelversuche vorliegen. Das erzielte Ergebnis kann daher keinen Anspruch auf große Zuverlässigkeit und auf Zulässigkeit der Verallgemeinerung machen. Immerhin geht aus den vorliegenden wenigen Versuchen zur Genüge hervor, daß die Schale der umschnürten Säulen einen wesentlichen Anteil an der Tragfähigkeit dieser Säulen hat. Dieser Einfluß erstreckt sich mindestens bis zur Erreichung der Höchstlast und daher ist es nicht zulässig, den Berechnungen der Festigkeitserhöhungen durch Umschnürungen nur den Kernquerschnitt zugrunde zu legen.

IX. Ergänzungsversuche.

Die Zugversuche mit Proben aus den zur Herstellung der Säulen verwendeten Ringen und Spiralen (s. Tab. 8 und 9) hatten für die Eisen der verschiedenartigen Bewehrungen merkliche Unterschiede in den Spannungen an der Streckgrenze und beim Bruch sowie in der Bruchdehnung ergeben, obgleich bei der Bestellung der Eisen ausdrücklich betont war, daß die Eisen gleichen Durchmessers durchweg auch die gleichen Eigenschaften haben sollten. Besonders fiel es auf (s. Tab. 46), daß die Proben aus den fertig angelieferten Spiralen erheblich fester und weniger dehnbar waren als die Proben aus den Ringen, die im Amt aus den mit den Spiralen gleichzeitig angelieferten Eisenstangen gefertigt waren. Beobachtet waren:

		für die Spiraleisen	Ringeisen	Verhältnis: Ringeisen gleich 100
bei 0,5 cm Durchmesser	σ_s kg/qcm	3800	3050	124
	σ_B kg/qcm	4940	4330	114
	δ %	16,3	23,8	69
bei 0,7 cm Durchmesser	σ_s kg/qcm	3930	2870	137
	σ_B kg/qcm	4800	4040	119
	δ %	14,3	24,3	59

Diese Beobachtung ließ es nicht ausgeschlossen erscheinen, daß die Festigkeit der spiralbewehrten Säulen 40 bis 45, Tab. 46, durch die höhere Festigkeit der Spiraleisen den ringbewehrten Säulen 28 bis 39 gegenüber günstig beeinflußt war und machte es daher notwendig, Aufschluß darüber herbeizuführen, ob

1. die Festigkeitseigenschaften des Eisens durch die Herstellung der Spiralen verändert werden und
2. die Säulenfestigkeit durch die Festigkeitseigenschaften des Eisens für die Querbewehrungen beeinflußt wird.

Ferner hatten die S. 55 besprochenen Versuche ergeben, daß die Bruchfestigkeit der mit Spiralen aus 1,2 cm-Eisen bewehrten Säulen über doppelt so groß war, als die Bruchfestigkeit der unbewehrten Säulen, während die Spiralen aus Eisen von 0,5 und 0,7 cm Durchmesser nur geringe Unterschiede in den Steigerungen der Bruchfestigkeiten der Säulen ergeben hatten. Es blieb daher durch weitere Versuche festzustellen,

3. ob die Bewehrungen mit Ringen auch bei 1,2 cm Eisendurchmesser die gleiche Festigkeitssteigerung liefert, wie die Spiralbewehrung.

Die Ausführung dieser drei Versuchsreihen wurde in der Sitzung des Arbeitsausschusses am 10. Oktober 1913 beschlossen.

Die bei den Versuchen mit den quadratischen Säulen gemachte Beobachtung, daß die Längseisen beim wiederholten Be- und Entlasten der Säule infolge der Druckbeanspruchung keine bleibenden Verkürzungen erlitten, sondern nach dem Entlasten bei den ersten Laststufen sogar Längenzunahme zeigten, glaubte ich S. 43 darauf zurückführen zu sollen, daß die Längseisen infolge Schrumpfens des an den Eisen haftenden erhärtenden Betons vor dem Versuch bereits unter Druckspannungen stehen und daß diese Druckspannungen beim Entlasten sich auslösen, indem die Haftung des Betons am Eisen nach und nach aufgehoben wird. Zur Nachprüfung dieser Erklärung genehmigte der Arbeitsausschuß in seiner Sitzung am 15. Mai 1914 die Ausführung einiger Versuche

4. über das Verhalten der Längseisen im erhärtenden Beton.

1. Einfluß der Herstellung der Ringe und Spiralen auf die Festigkeits-eigenschaften der Bewehrungseisen.

A. Das Versuchsmaterial.

Die Versuche sind mit zwei verschiedenen Eisen ausgeführt, und zwar

a) mit Rundeisen von 0,7 cm Durchmesser, aus dem auch die Spiralen zu den hohlen Säulen 55 bis 60 (s. Reihe VII S. 62) im Amt gefertigt waren und

b) mit zu diesem Zweck besonders ausgewalztem Eisen.¹⁾

Das unter a) genannte Rundeisen lag in drei Ringen von etwa 60 cm Durchmesser vor. Jedem der drei Ringe, gez. a, b und c, sind entnommen:

- α) an beiden Enden je ein Abschnitt von 1 m Länge, gez. 1 und 2, zur Prüfung im Zustande der Anlieferung,
 β) an beiden Enden je ein Abschnitt von 1 m Länge, gez. 3 und 4, zur Herstellung von Ringen und
 γ) von dem Rest ein Abschnitt von 50 m Länge zur Herstellung von Spiralen.

Mit den sechs Proben unter α) ist je ein Zugversuch ausgeführt. Ebenso ist den aus den Abschnitten unter β) gefertigten Ringen je eine Zugprobe und den zur Spirale gewickelten Abschnitten unter γ) einige Meter von jedem Ende entfernt, eine Zugprobe (gez. 5 und 6) entnommen. Die Proben aus den Ringen und Spiralen sind vor dem Versuch mit dem Holzhammer gerade gerichtet.

Als Ausgangsmaterial zur Herstellung der für diese Versuche besonders auszuwalzenden Eisen (s. oben unter b) dienten gewalzte Knüppel derselben Charge von je etwa 50 kg Gewicht. Nach der Werksanalyse enthielt das Material:

Kohlenstoff	Phosphor	Mangan	Schwefel	Silicium
0,05	0,05	0,5	0,035	0,008 ⁰ / ₀ .

Aus diesen Knüppeln wurden gewalzt:

- a) 180 m Rundeisen von 9,5 mm Durchmesser bez. Nr. 1
 b) 180 „ „ „ 8,2 „ „ „ Nr. 2
 c) 300 „ „ „ 7,4 „ „ „ Nr. 3 weich
 d) 300 „ „ „ 12,0 „ „ „ Nr. 9.

Von den Rundeisen a) wurden 12 Stangen je in drei Zügen ohne Zwischen-glühungen kalt gezogen, und zwar im Zuge:

- α) von 9,5 mm auf 8,8 mm Durchmesser
 β) „ 8,8 „ „ 8,2 „ „ „
 γ) „ 8,2 „ „ 7,4 „ „ „ bez. Nr. 5 besonders hart.

¹⁾ Die Herstellung dieser Proben erfolgte auf der Gewerkschaft Deutscher Kaiser, Hamborn, der auch an dieser Stelle für das bereitwilligste Entgegenkommen verbindlichst gedankt sein möge.

Von den Rundeisen b) wurden 36 Stangen in je einem Zuge kalt gezogen von 8,2 auf 7,4 mm Durchmesser — bez. Nr. 4 hart.

Aus den vorgenannten Proben sind gefertigt:

Nr. 6	aus Proben 3	die Ringe zur Bewehrung der Säulen	73 bis 75
Nr. 7	„ „	4 „ „ „ „	76 „ 78
Nr. 8	„ „	5 „ „ „ „	79
Nr. 10	„ „	9 „ „ „ „	80 „ 82
Nr. 11	„ „	9 „ Spiralen „ „	83 „ 85.

Um bescheinigen zu können, daß die einzelnen Eisensorten 1 bis 4 und 9 ihre verschiedenartige Festigkeit lediglich durch die verschiedenartige Behandlung bei der Erzeugung angenommen haben, sind sie im Beisein eines Beauftragten des Amtes hergestellt.

B. Die Herstellung der Ringe und Spiralen.

Die Ringe aus dem 0,7 cm-Rundeisen a) sowie die Ringe Nr. 6, 7, 8 und 10 aus den Walzstangen b) sind im Amt auf demselben kleinen Dreiwalzen-Apparat gebogen, der auch zur Herstellung der zu den untersuchten Säulen verwendeten Ringe benutzt worden war.

Die Spiralen sind im Beisein eines Beauftragten des Amtes bei der Firma Wayß & Freytag A.-G., Berlin SW. gewickelt. Dies schien erforderlich, um sicher zu sein, daß der Einfluß des Wickelns auf das Eisen tunlichst bei diesen Proben der gleiche war, wie bei der üblichen Herstellung der Spiralen zur praktischen Verwendung. Auch der Firma Wayß & Freytag sei an dieser Stelle für ihr Entgegenkommen bestens gedankt.

Zum Wickeln diente ein Holz-Dorn von etwa 23,5 cm Durchmesser, der mechanisch angetrieben das Eisen durch eine Bremse zog, so daß es straff gespannt war. Nach dem Abziehen vom Dorn betrug der Durchmesser der Spirale 25,4 cm.

Die Ringe aus dem 1,2 cm-Eisen, Material Nr. 10, Tab. 64, wurden in der Weise hergestellt, daß das Eisen zunächst ebenfalls zur Spirale gewickelt und diese dann in einzelne Abschnitte für die Bügel zerlegt wurde. Auf diese Weise ist erreicht, daß das Eisen der Ringe in den Säulen 80—82 die gleichen Eigenschaften besaß, wie das Eisen der Spiralen in den Säulen 83 bis 85.

C. Versuchsergebnisse.

Die Einzelwerte aus den Zugversuchen mit den besonders gewalzten Eisen und hieraus gefertigten Ringen und Spiralen enthält Tab. 64, die Einzelwerte für das 0,7 cm-Eisen Tab. 65. In Tab. 65 sind die Mittelwerte aus Tab. 64 nochmals mit aufgenommen und ferner Verhältniszahlen angegeben, die den Einfluß der Umformungen zu Ringen und Spiralen darstellen.

Die mittleren Beobachtungswerte für das 0,7 cm-Eisen sind in Abb. 59 zu Schaulinien aufgetragen und die Verhältniszahlen neben den Beobachtungspunkten niedergeschrieben. Abb. 59 zeigt, daß durch das Biegen zu Ringen und noch mehr durch das Wickeln zur Spirale die Streckgrenze σ_s gehoben und die Bruchdehnung vermindert ist, während die Bruchfestigkeit nicht wesentlich beeinflusst worden ist.

Die Ergebnisse für das besonders gefertigte Eisen sind in Abb. 60 durch Schaulinien dargestellt; die starken Linien gehören den geraden gewalzten oder gezogenen Stangen an, die feinen den aus den zugehörigen Spiralen entnommenen Proben.

Nach dem Verlauf der starken Linien, Abb. 60, haben durch das Warm-Auswalzen auf kleinere Durchmesser (Material 9, 1, 2, 3) Streckgrenze σ_s und Bruchdehnung δ in gleicher Weise um wenig zugenommen, während die Bruchfestigkeit σ_B unverändert blieb; durch das Kaltziehen (Material 4 und 5) sind σ_s und σ_B erheblich gesteigert und δ erheblich vermindert. Durch die Umformung

zu Spiralen (s. Abb. 60 die Lage der schwachen Linien zu den starken) sind sowohl σ_s als auch σ_B gehoben und δ vermindert. Bei dem bereits bei der Herstellung hart gezogenen Material 4 und 5 waren die Veränderungen von σ_s und σ_B geringer als bei dem warm gewalzten.

Das Eisen der zu den Säulen 40 bis 45 verarbeiteten Spiralen hatte für σ_s um 24 und 37 im Mittel um 31⁰/₀, für σ_B um 14 und 19 im Mittel um 17⁰/₀ höhere Werte ergeben als das Eisen der Ringe in den Säulen 28 bis 39. Nach der vorliegenden Untersuchung, Tab. 65, bewirkte die Umformung des Eisens zur Spirale bei dem 0,7 cm-Eisen Erhöhung von σ_s um 7⁰/₀ und von σ_B um 2⁰/₀. Diese Werte bleiben weit

Abb. 60.

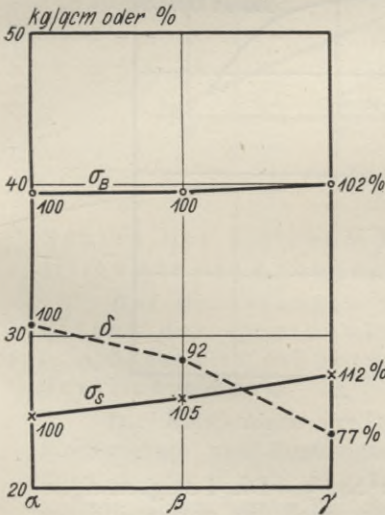
Einfluß der Umformung zu Spiralen auf die Festigkeit und Dehnung bei dem besonders gefertigten Eisen.

Material: 9 auf 1,18 cm Durchmesser . . .		} Stangen } gewalzte } kalt } (gezogene)
1	" 0,94 " " " " " " " " " " " "	
2	" 0,82 " " " " " " " " " " " "	
3	" 0,75 " " " " " " " " " " " "	
4	von 0,82 auf 0,74 cm Durchm. " " " " " " " " " " " "	
5	" 0,95 " 0,74 " " " " " " " " " " " "	
10, 6, 7, 8	zu Spiralen gewickelt.	

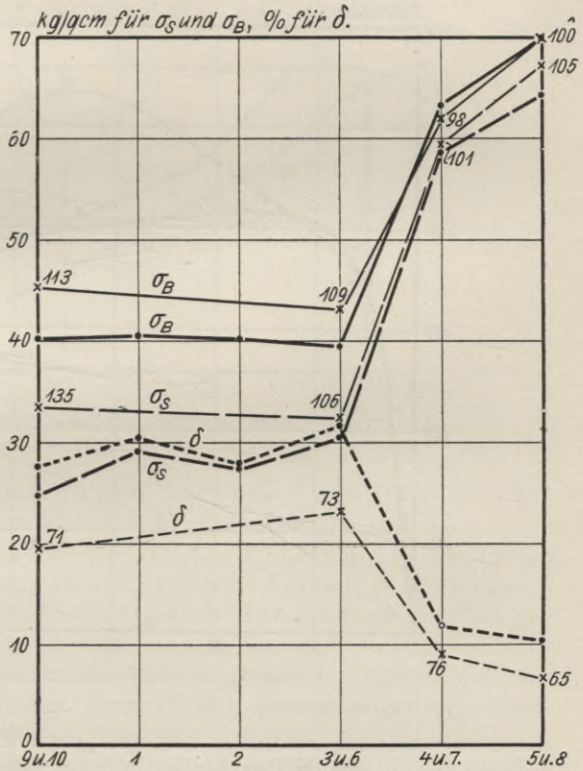
Die starken Linien gehören den Stangen an, die feinen den Proben aus Spiralen.

Abb. 59.
Einfluß der Umformung zu Ringen und Spiralen auf die Festigkeit und Dehnung des 0,7 cm-Eisens.

α : wie angeliefert,
 β : Ringe,
 γ : Spirale.



Materialzustand.



Materialzeichen.

hinter den erstgenannten zurück; die hohe Festigkeit des Spiraleisens der Säulen 40 bis 45 findet somit in dem Einfluß der Umformung keine volle Erklärung.

2. Einfluß der Festigkeitseigenschaften des Eisens für die Querbewehrungen auf die Druckfestigkeit der Säulen.

Zur Untersuchung gelangten sieben achtseitige Säulen, s. Tab. 71, mit 900 qcm Querschnitt und 1,3 m Länge bei 90 Tagen Alter, gefertigt aus dem gleichen Beton wie die Säulen der vorausgehenden Reihen. Sämtliche Säulen enthielten

als Bewehrung acht Längseisen von 1,4 cm Durchmesser und umgehakte Ringe aus Eisen von 0,7 cm Durchmesser im gegenseitigen Abstände von 3 cm.

Die Festigkeitseigenschaften der Längseisen, ermittelt durch Zug- und Druckversuche, sind aus Tab. 66 zu ersehen, und zwar handelt es sich um die Stangen mit dem Materialzeichen 14.

Die Ringe wurden aus 0,7 cm-Eisen im Amt getertigt, und zwar zu den drei Säulen 73 bis 75 aus dem warm gewalzten Eisen Nr. 3, Tab. 64, zu den drei Säulen 76 bis 78 aus dem kalt gezogenen Eisen Nr. 4, und zu der siebenten

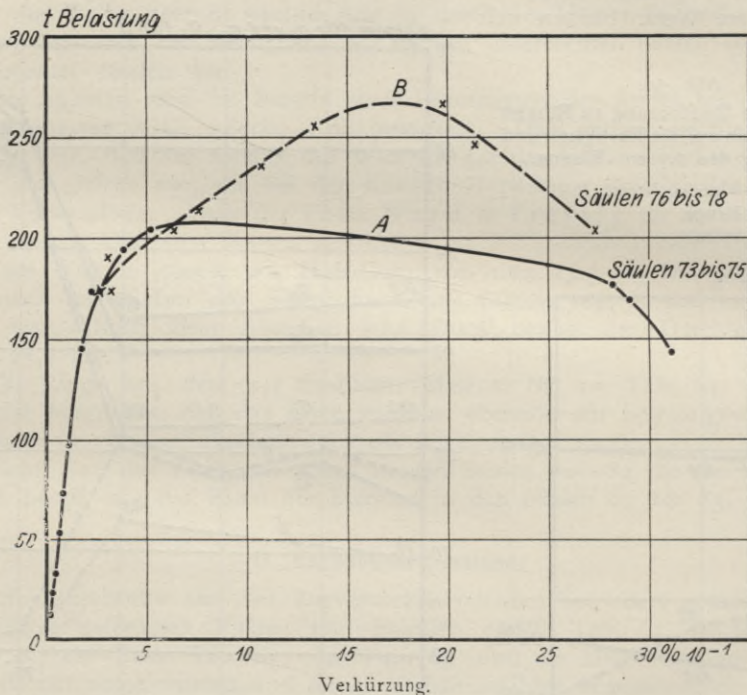
Abb. 61.

Verkürzung der mit Eisen verschiedener Festigkeit bewehrten Säulen bei wachsender Belastung.

Bewehrung mit Umfangsbügeln aus Eisen von 0,7 cm Durchmesser und den folgenden Festigkeiten:

A: $\sigma_P = 2660$ kg/qcm; $\sigma_S = 3040$ kg/qcm; $\sigma_B = 3950$ kg/qcm; $\delta = 31,6$ ‰.

B: " = 2520 " ; " = 5860 " ; " = 6310 " ; " = 11,9 ‰.



Säule 79 aus dem besonders hart gezogenen Eisen Nr. 5. Die Festigkeitseigenschaften des Eisens in den fertigen Ringen (allerdings nach dem unvermeidlichen Wiedergeraderichten¹⁾) sind aus Tab. 64 unter Nr. 6—8 zu ersehen.

Ueber die Festigkeitseigenschaften der unbewehrten Säulen geben die Versuche mit den Säulen 86—88 (Tab. 76) Aufschluß, die mit den Säulen 73—79 in der gleichen Reihe gefertigt sind. Die Mittelwerte für 86—88 sind daher in Tab. 71 mit aufgenommen. Schließlich ist auch wieder die Druckfestigkeit des Betons an Würfeln ermittelt, die mit den Säulen gleichzeitig gefertigt waren.

Bei Prüfung der Säulen wurden unter stufenweiser Laststeigerung und wiederholtem Be- und Entlasten die Längenänderungen des Betons in Mitte der Säulen

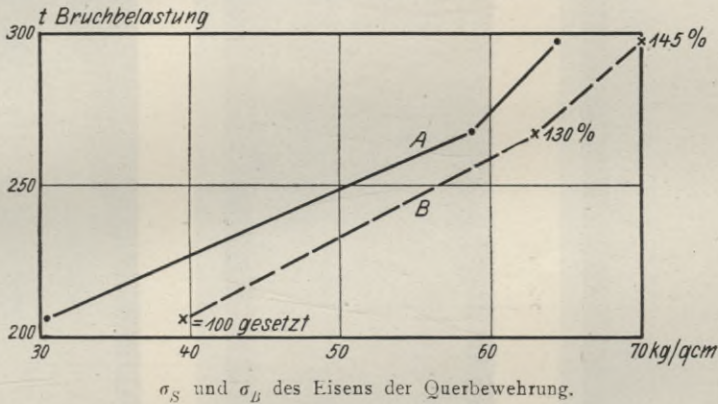
¹⁾ Rudeloff. Untersuchungen über den Einfluß voraufgegangener Formänderungen auf die Festigkeitseigenschaften der Metalle, Mitteilungen a. d. Königl. technischen Versuchsanstalten 1901, Ergänzungsheft I.

auf 15 cm Länge (s. Tab. 67—69), sowie die Längenänderungen der Säulen zwischen den Druckplatten gemessen (s. Tab. 70).

Nach den Mittelwerten Tab. 67—69 und 70 sind weder die Längenänderungen des Betons noch die der Säulen zwischen den Druckplatten durch die Festigkeitseigenschaften des Eisens der Ringe bei Belastungen bis zu 174 t (s. a. Abb. 61) nennenswert beeinflusst. Allerdings sind die Mittelwerte für Säule 79 mit dem härtesten Eisen etwas geringer als die Gesamtmittel in den andern beiden Gruppen (73 bis 75 und 76 bis 78), indessen finden sich in den letzteren auch Säulen von ebenso geringer Verkürzung, so daß man dem Ergebnis des Einzelversuches 79 keine große Bedeutung beimessen kann, zumal die Verkürzungen der Säulen 73 bis 75 mit dem weichsten Eisen 6, Tab. 64, etwas geringer waren als die der Säulen 76—78 mit dem hartgezogenen Eisen 7 und sämtliche bewehrten

Abb. 62.
Einfluß der Festigkeit des Eisens der Querbewehrung
auf die Bruchlast der Säulen.

Linie A nach σ_s , B nach σ_B des Eisens aufgetragen.



Säulen bei gleichen Belastungen größere Verkürzungen erlitten als die unbewehrten Säulen 86—88, Tab. 74 und 75.

Bei Belastungen über 200 t tritt der Einfluß des festeren Eisens der Querbewehrungen in vermindelter Verkürzung (s. Abb. 61) und erhöhter Bruchfestigkeit der Säulen (s. Tab. 71) deutlich zutage.

Die Beziehungen der beobachteten Säulenfestigkeiten (s. Tab. 71) zu den Streckgrenzen und Zugfestigkeiten der Eisen in den Ringen zeigen die Schaulinien A und B Abb. 62. Die Festigkeitssteigerung gegenüber den „weich“ bewehrten Säulen beträgt bei den „hart“ bewehrten 30% und bei der „besonders hart“ bewehrten sogar 45%.

Nach den der Tab. 71 weiter angefügten Verhältniszahlen beträgt die Bruchfestigkeit der unbewehrten Säulen 79%, die der „weich“ bewehrten 104%, die der „hart“ bewehrten 130% und die der „besonders hart“ bewehrten 145% der Würfelfestigkeit des Betons.

Die Säulenfestigkeit ist durch die „weiche“ Bewehrung um 31%, durch die „harte“ um 71% und durch die „besonders harte“ sogar um 90% gegenüber der Festigkeit der unbewehrten Säulen gesteigert.

Die Zerstörungserscheinungen an den Säulen 73 bis 79 zeigen die Abb. 63—65. Die Zusammendrückungen sind bei einigen Säulen soweit gesteigert, daß die Ringe unter Ausknicken der Längseisen rissen.

Abb. 63.

Säulen 73 bis 75 mit Ringbewehrung (0,7 cm Durchmesser, umgehakt).
Bewehrung aus weichem Eisen ($\sigma_s = 3040 \text{ kg/qcm}$).



Bruchlast = 194 650 kg



= 202 360 kg



= 219 000 kg.

Abb. 64.

Säulen 76 bis 78 mit Ringbewehrung (0,7 cm Durchmesser, umgehakt).
Bewehrung aus hartem Eisen ($\sigma_s = 5860$ kg).



Bruchlast = 262 100 kg



= 272 800 kg



= 267 590 kg.

Abb. 65.

Säule 79 mit Ringbewehrung (0,7 cm Durchmesser, umgehakt).
Bewehrung aus besonders hartem Eisen ($\sigma_s = 6410$ kg/qcm).



Bruchlast = 296720 kg.

3. Vergleich der Bewehrungen mit Ringen und Spiralen aus Eisen von 1,2 cm Durchmesser.

Hierzu sind außer drei achtseitigen unbewehrten Säulen Nr. 86 bis 88 je drei Säulen mit Ring- (Nr. 80 bis 82) und Spiral-Bewehrung (Nr. 83 bis 85) aus demselben Beton und unter Verwendung desselben Eisens von 1,2 cm Durchmesser gefertigt.

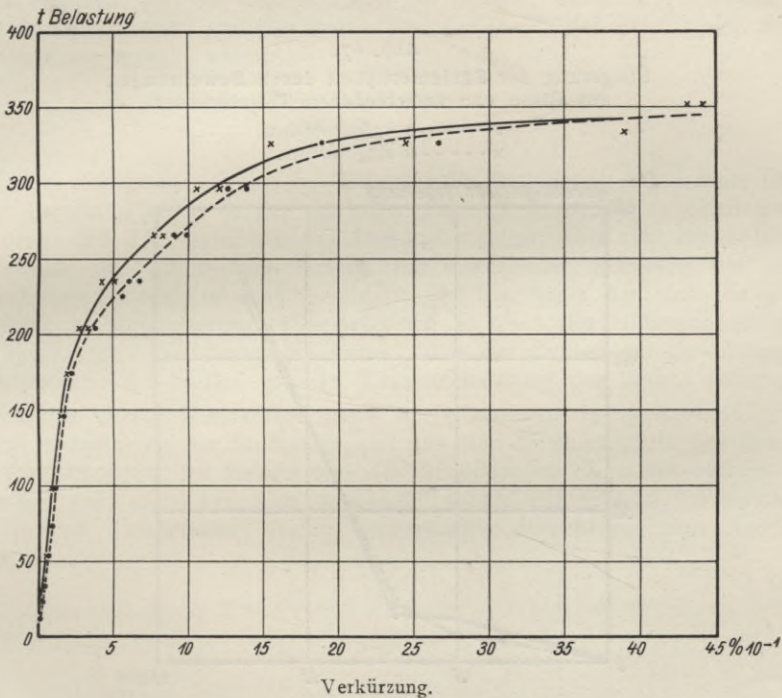
Die Ringe waren umgehakt, die Spiralen an den Enden verschweißt. Die Ganghöhe der Spiralen betrug 3 cm und ebensogroß war auch der mittlere Abstand zwischen den Ringen.

Abb. 66.

Verkürzung der mit Ringen und Spiralen aus demselben Eisen bewehrten achtseitigen Säulen bei wachsender Belastung.

Eisendurchmesser = 1,2 cm.

— spiralbewehrt, - - - ringbewehrt.



Als Längsbewehrung enthielten die Säulen 80 bis 85 acht Rundeseisen von 1,6 cm Durchmesser, deren Festigkeitseigenschaften aus Tab. 66 unter Material-Zeichen 15 zu ersehen sind.

Die Ringe und Spiralen waren aus den in Tab. 64 unter Nr. 9 genannten Walzstangen gefertigt. Daß das Eisen in beiden tatsächlich die gleichen Festigkeitseigenschaften besaß, zeigen die in Tab. 64 unter Nr. 10 und 11 aufgeführten Versuchsergebnisse. Hiernach war im Mittel $\sigma_s = 3370$ kg/qcm, $\sigma_B = 4530$ kg/qcm und $\delta = 19,5$ ‰.

Die in Tab. 72 bis 74 enthaltenen Beobachtungswerte lassen erkennen, daß die Verkürzungen des Betons, gemessen in der Mitte der Säulenlänge, auch in dieser Versuchsreihe wieder bei den bewehrten Säulen größer waren als bei den unbewehrten; die Unterschiede der Gesamtverkürzungen betragen für die ringbewehrten Säulen etwa 11 ‰, für die spiralbewehrten etwa 15 ‰. Schon hieraus ergibt sich, daß die Verkürzungen des Betons in den spiralbewehrten Säulen etwas größer waren als in den ringbewehrten Säulen. Die Unterschiede sind indessen

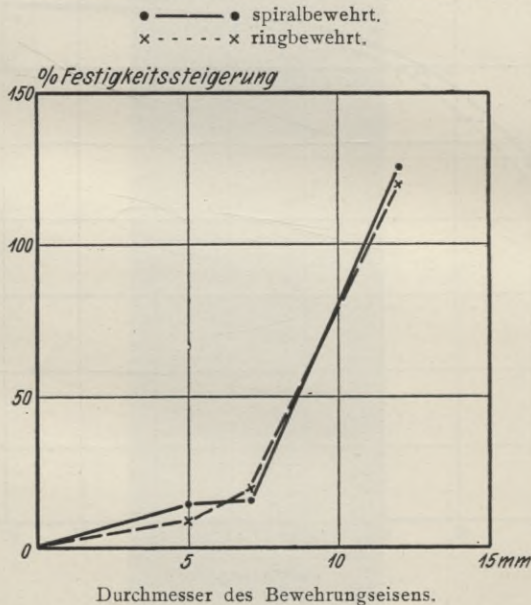
unwesentlich, zumal wenn man die Unterschiede in den Verkürzungen der drei gleichartigen Säulen, die nebenbei bemerkt bei den spiralbewehrten Säulen größer waren als bei den ringbewehrten, mit in Betracht zieht.

Den Verlauf der Längenänderungen der Säulen, gemessen zwischen den Druckplatten, zeigen die nach den Beobachtungs-Werten Tab. 75 in Abb. 66 aufgetragenen Schaulinien. Hiernach sind die Verkürzungen der spiralbewehrten Säulen etwas kleiner als die der ringbewehrten Säulen, aber auch sie können als belanglos angesehen werden.

Die Zerstörungserscheinungen an den Säulen 80 bis 88 zeigen die Abb. 68 bis 70.

Die mittlere Bruchbelastung (s. Tab. 76) beträgt bei den ringbewehrten Säulen 345 820 kg und bei den spiralbewehrten Säulen 351 750 kg; sie ist also bei den letzteren um 1,7% größer als bei den ersteren. Dieser an sich schon geringe Unterschied verliert vollends an Bedeutung, wenn man beachtet, daß die

Abb. 67.
Steigerung der Säulenfestigkeit durch Bewehrungen
aus Eisen von verschiedenem Durchmesser.



spiralbewehrte Säule 84 von allen die geringste Festigkeit aufwies. Ebenso wird man auch dem Unterschiede in den Verhältniswerten ($P:P_1$) 100 für die Bruchlasten der Säulen zu denen der Würfel, die bei den spiralbewehrten Säulen 182, bei den ringbewehrten aber nur 175 beträgt, um deswillen keine praktische Bedeutung beimessen können, weil die Einzelwerte bei den spiralbewehrten Säulen außerordentlich schwanken, zwischen 173 und 192, bei den ringbewehrten Säulen dagegen gut untereinander übereinstimmen (173 bis 177).

Die Steigerungen der Säulenfestigkeit durch Ringe und Spiralen aus Eisen von verschiedenem Durchmesser (0,5, 0,7 und 1,2 cm) zeigen die Schaulinien Abb. 67.

Faßt man die besprochenen Ergebnisse zusammen, so ergibt sich, daß die Ringbewehrung sich der Spiralbewehrung auch bei der Eisenstärke von 1,2 cm als gleichwertig erwiesen hat.

4. Das Verhalten der Längseisen im erhärtenden Beton.

Die Ergänzungsversuche Reihe 4 über das Verhalten der Längseisen im erhärtenden Beton sind noch nicht abgeschlossen. Ihre Ergebnisse werden später veröffentlicht werden.

Hier sei nur kurz erwähnt, daß die Längenänderungen der in den Beton eingebetteten Eisen den Längenänderungen des Betons folgten. Bis zum vierten Tage nach Anfertigung der Proben dehnten der erhärtende Beton und mit ihm die Längseisen sich aus. Dann trat Schrumpfen des Betons ein. Zugleich verkürzten die Längseisen sich, und zwar derart, daß sie bei etwa 8 Tagen Alter des Betons ihre ursprüngliche Länge wieder erreicht hatten und von nun ab in dem weiter schrumpfenden Beton Stauchungen erlitten.

Hiernach unterliegt es keinem Zweifel, daß die S. 43 besprochene Beobachtung, nach der die Längseisen in den Säulen nach deren Entlasten größere Länge besaßen als vor dem Belasten der Säulen, tatsächlich auf das Auslösen der Druckspannungen zurückzuführen ist, die durch das Schrumpfen des Betons in dem Eisen erzeugt waren.

X. Schlußwort.

Die vorliegenden Versuche liefern volle Bestätigung der bereits in meinem ersten Bericht (Heft 5, S. 71) aus den früheren Versuchen abgeleiteten Schlußfolgerung, daß die Verteilung der Druckspannungen über den Beton- und Eisen-Querschnitt der Säulen sich sowohl mit wachsender Belastung als auch beim wiederholten Lastwechsel ständig ändert, und tun ferner dar, daß die Spannungsverteilung in den einzelnen Querschnitten je nach der Höhenlage in der Säule verschieden ist. Sie bestätigen ferner, daß der Einfluß der Bewehrung auf die Bruchfestigkeit der Säulen von der Zusammensetzung des Betons abhängt.

Unter diesen Umständen habe ich einstweilen davon Abstand genommen, auf die Berechnung der Säulenfestigkeit aus der Druckfestigkeit des Betons sowie den Querschnitten des Betons und der eingebetteten Eisen einzugehen. Ich behalte mir vor, diese Frage zu behandeln, sobald die nächste Versuchsreihe über den Einfluß verschieden starker prozentueller Bewehrung zum Abschluß gebracht ist.

Abb. 68.

Säulen 80 bis 82 mit Ringbewehrung (1,2 cm Durchmesser, umgehakt, $\sigma_s = 3380$ kg/qcm).



Bruchlast = 348 230 kg



= 334 970 kg



= 354 260 kg.

Abb. 69.

Säulen 83 bis 85 mit Spiralbewehrung (1,2 cm Durchmesser, $\sigma_s = 3350$ kg/qcm).



Bruchlast = 364 400 kg

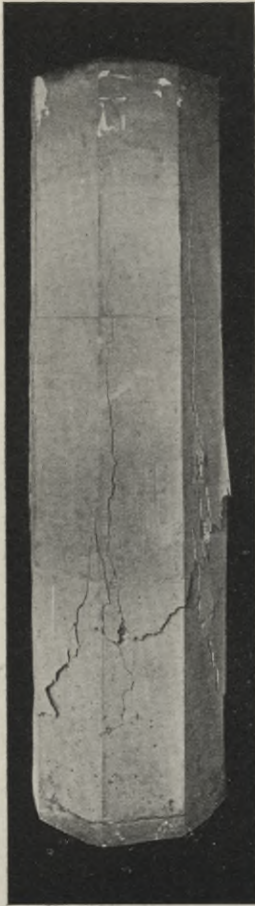


= 333 370 kg



= 357 470 kg

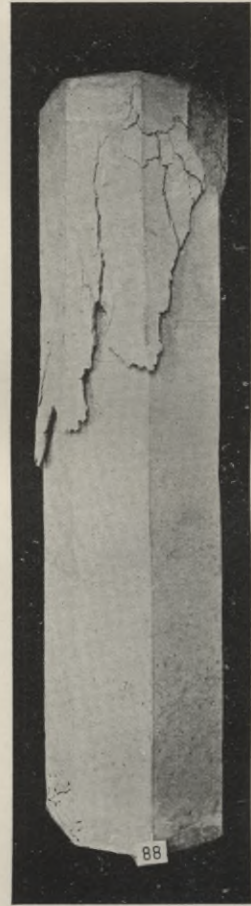
Abb. 70.
Säulen 86 bis 88 ohne Bewehrung.



Bruchlast = 155 370 kg

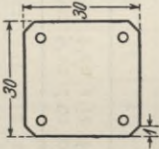


= 167 400 kg



= 145 880 kg.

Tabelle 1. Die Abmessungen und Bewehrungsweisen der untersuchten Säulen.
Sämtliche Säulen hatten 1,30 m Länge.

Reihen- zeichen	Gegenstand der Untersuchung	Gruppen- zeichen	Säulen- Nr.	Säulen- Querschnitt	Bewehrungen			Zusammen- setzung des Betrans in Raumteilen	
					Längs- Anzahl	Durch- messer cm	Form		Quer- Eisen- Durchmesser cm
A	Einfluß verschiedenartiger Querbewehrung bei der gleichen Längsbewehrung	a	1-3 4-6		4	2	geschweißte Ringe	0,5	5
		b	7-9				umgehakte Ringe	0,5	
		c	10-12 13-15 16-18				Diagonalbügel	0,5 0,7	
		d	19-21				Spirale	0,5	
		e	22-24 25-27				unbewehrt	0,7	
		f	28-30 31-33				geschweißte Ringe	0,5 0,7	
		g	34-36 37-39				umgehakte Ringe	0,5 0,7	
		h	40-42 43-45				Spirale	0,5 0,7	
		i	46-48				unbewehrt	0,7	
		B	Einfluß fetterer Beton- mischung (im Vergleich mit den Säulen 10-12 und 25-27)				k	49-51	
l	52-54			unbewehrt					
C	Hohle Säulen (im Vergleich mit den Säulen 43-48)	m	55-57	s. Tabelle 56	8	1,4	Spirale	0,7	3
		n	58-60				unbewehrt		
		o	72				unbewehrt		
D	Einfluß der Schale (des Betons außerhalb der Umschnürung)	—	61	Wie bei Gruppe f bis h; bei 62 und 64 dgl. aber außerhalb der Spirale kein Beton	8	1,4	Spirale	0,5	4
			62						
E	Einfluß stärkerer Spi- rale im Vergleich zu den Säulen 40-45	—	63	Wie bei Gruppe f bis h	8	1,6	Spirale	0,7	3
			64						
			65-67						

1 Zement
auf
4 Kiessand

1 Zement
auf
2 1/2 Kiessand

1 Zement
auf
4 Kiessand

Tabelle 2. Die physikalischen Eigenschaften des zu den Säulen verwendeten Zementes.
(Die Versuche sind in Abt. 2 für Baumaterialprüfung nach den Normen vom Dezember 1909 ausgeführt.)

Unter- suchung Nr.	Tag der Prüfung	Raumgewicht in kg/l		Siebfeinheit			Abbindeversuch			Glüh- verlust %	Spezif. Gewicht		Raum- beständigkeits- Probe				
		ein- gelaufen <i>R_l</i>	ein- gerüttelt <i>R_r</i>	Rückstand auf den Sieben mit folgender Maschenzahl für 1 qcm			Wasser- zusatz %	Erhärtungs- Anfang			Abgebunden			un- geglüht	aus- geglüht		
		240	324	600	900	5000		Std.	Minuten	Std.	Minuten						
1	3. III. 13	1,159	1,978	0,0	0,2	1,8	2,2	19,7	26,5	5	—	11	—	0,98	3,134	3,248	bestanden
2	2. VII. 13	1,143	1,847	0,0	0,2	2,0	2,0	19,8	26,0	5	30	10	30	2,05	3,125	3,259	bestanden

Tabelle 3. Festigkeitseigenschaften des zu den Säulen verwendeten Zementes.
(Die Versuche sind in Abt. 2 für Baumaterialprüfung nach den Normen vom Dezember 1909 ausgeführt.)
Mörtel aus 1 Gewichtsteil Zement und 3 Gewichtsteilen Normensand. Wasserzusatz = 8,5 0/0.

Unter- suchung Nr.	Eigen- schaft	Tag der Probe- fertigung	Art der Lagerung bis zur Prüfung	Alter bei der Prüfung in Tagen	Einzelwerte für die Festigkeit bei Versuch Nr.										Mittlere Bruch- festigkeit kg/qcm	Verhältnis- werte für die Bruch- festigkeit %	Mittleres Raumgewicht von 5 Proben bei dem folgenden Alter in Tagen	
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			1	7
1	Zug- festigkeit	6. III. 13	unter Wasser	7	21,4	21,1	22,4	22,9	23,5	21,6	22,4	22,6	21,5	22,2	22,2	100	2,286	2,314
2		3. VII. 13			20,0	19,7	21,9	20,7	19,9	21,8	20,0	20,4	21,9	21,8	93,6	2,300	2,314	
1		6. III. 13		7	21,2	21,6	21,4	22,8	22,2	21,6	22,1	22,7	22,0	21,6	100	2,239	—	
2		3. VII. 13	unter		21,6	21,3	21,8	21,6	21,3	21,8	22,0	22,0	21,3	21,6	98,7	2,220	—	
1	Druck- festigkeit	6. III. 13	Wasser	28	31,8	31,6	31,2	31,7	31,4	30,5	31,0	30,6	31,8	31,5	100	—	2,276	
2		3. VII. 13			29,4	29,6	30,4	29,6	30,3	30,2	30,6	30,8	29,2	30,0	95,9	—	2,256	
1		6. III. 13	1 Tag a. d. Luft, 6 Tage unter Was- ser; dann a. d. Luft	28	37,6	37,0	37,8	37,0	37,0	37,6	37,0	37,8	38,0	37,6	100	2,239	2,200	
2		3. VII. 13			34,7	34,2	34,6	34,6	34,3	35,6	35,4	35,8	35,3	35,7	93,6	2,220	2,183	

Tabelle 4. Untersuchung des Sand- und Kiesmaterials. (Ausgeführt in der Abt. 2 für Baumaterialprüfung.)

Bezeichnung des Materials	Gewicht für I 1			Spezi- fisches Gewicht δ	Dichtig- keitsgrad $\theta = \frac{R_r}{\delta}$	Undichtig- keitsgrad $u = \frac{V}{I - V}$	Gehalt an ab- schläm- baren Be- standteilen $\frac{0}{0}$	Kornzusammensetzung des getrockneten Materials												
	feucht eingel- füllt ¹⁾		trocken					Rückstand $\frac{0}{0}$	Drahtsiebe mit quadratischen Löchern						von Maschenweite in mm					
	R_f	R_l	R_r						mit Maschen auf 1 qcm						von Maschenweite in mm					
					25	15	10	7	4	9	20	60	120	324	900					
Kiessand I auf Sieb mit 25 mm Maschenweite abgesiebt ²⁾	1,511 ³⁾	1,753	2,035	2,586	0,787	0,213	1,0	Gesamt auf den Sieben	0,0	11,4	15,4	21,7	27,8	33,7	39,3	49,9	63,9	80,9	97,1	
Sand II auf Sieb mit 11 mm Maschenweite abgesiebt	1,422 ³⁾	1,646	1,952	2,635	0,741	0,259	—	zwischen je zwei Sieben	0,0	11,4	4,0	6,3	6,1	5,9	5,6	10,6	14,0	17,0	16,2	2,9
Kies III Körnung von 11 bis 25 mm	1,479 ³⁾	1,384	1,838	2,699	0,681	0,319	—	Gesamt auf den Sieben	0,0	—	0,0	6,4	15,4	22,6	29,6	43,6	59,6	76,8	95,8	
Kiessand IV Mischung von II u. III zu gleichen Ge- wichts-Teilen	1,674 ³⁾	1,825	2,090	2,652	0,788	0,212	—	zwischen je zwei Sieben	0,0	64,2	25,6	7,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,5	0,9	0,8
Kiessand V Mischung aus 5 II + 3 III 4	1,600 ³⁾	1,804	2,071	2,611	0,793	0,207	—	Gesamt auf den Sieben	0,0	32,7	51,1	56,4	60,5	64,6	68,0	74,0	80,4	88,9	98,0	
Kiessand VI Mischung aus 3 II + 5 III 4	1,682 ³⁾	1,837	2,107	2,644	0,797	0,203	—	zwischen je zwei Sieben	0,0	32,7	18,4	5,3	4,1	4,1	3,4	6,0	6,4	8,5	9,1	2,0
								Gesamt auf den Sieben	0,0	23,6	36,2	43,5	46,9	51,4	56,1	64,2	73,9	85,8	97,4	
								zwischen je zwei Sieben	0,0	23,6	12,6	7,3	3,4	4,5	4,7	8,1	9,7	11,9	11,6	2,6
								Gesamt auf den Sieben	0,0	46,6	64,6	72,3	75,4	77,9	80,2	83,9	88,5	93,4	98,5	
								zwischen je zwei Sieben	0,0	46,6	18,0	7,7	3,1	2,5	2,3	3,7	4,6	4,9	5,1	1,5

¹⁾ Im 10-Liter-Gefäß ermittelt. ²⁾ Rückstand = 13,25 $\frac{0}{0}$. ³⁾ Die Feuchtigkeitsgehalte betragen bei I = 2,4 $\frac{0}{0}$; II = 5,0 $\frac{0}{0}$; III = 2,0 $\frac{0}{0}$; IV = 3,3 $\frac{0}{0}$; V = 4,1 $\frac{0}{0}$; VI = 3 $\frac{0}{0}$.

Tabelle 5.

Druckfestigkeit der verschiedenen Beton-Mischungen.

Hergestellt aus 4 Raumteilen Kiessand und 1 Raumteil Zement. In Mischmaschine gemischt und von Hand eingestampft. Nach 2 Tagen entformt und dann bis zum achten Tage angehäßt; geprüft bei 28 Tagen Alter.

Reihe Nr.	Verwendeter Kiessand		Wasserzusatz bezogen auf die trockene Mischung %	MittleresRaum- gewicht der 5 Probewürfel bei Alter in Tagen		Druckfestigkeit in kg/qcm der Probe						
	Ma- terial- zei- chen (siehe Tab. 4)	Zusammen- setzung in Raumteilen		2	28	1	2	3	4	5	Mittel	
		Kies 11 bis 25 mm										Sand 0 bis 11 mm
1	VI	5	3	8,0	2,413	2,401	346	343	353	352	363	351
2	IV	1	1	8,0	2,381	2,373	324	327	330	331	323	327
3	V	3	5	8,0	2,390	2,381	350	349	360	376	363	360
4	V	3	5	8,75 ¹⁾	2,354	2,340	299	300	308	314	305	305

Tabelle 6.

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

Die Versuchsstücke waren Zylinder mit dem vollen Querschnitt der Walzstangen und der Länge gleich dem dreifachen Durchmesser.

Ver- such Nr.	Abmessungen				Elastizitäts- zahl $\frac{1}{\alpha} = E$ kg/qcm	Spannungen kg/qcm		Längseisen der Säulen
	Ganze Länge cm	Meß- länge cm	Durch- messer cm	Quer- schnitt qcm		Proportiona- litätsgrenze σ_P	Quetsch- grenze σ_S	
1	6,0	3,0	2,00	3,14	2 085 000	2870	3080	1 bis 24 und 49 bis 51
2			2,01	3,17	2 065 000	2840	3150	
3			2,00	3,14	2 065 000	2870	2880	
Mittel			—	—	2 070 000	2860	3040	
6	4,2	2,5	1,41	1,561	2 020 000	2880	3090	30, 34 bis 39, 44 bis 45 und 55 bis 64 (Lieferung a)
7			1,41	1,561	2 045 000	2560	2770	
8			1,40	1,539	1 960 000	2600	2920	
Mittel			—	—	2 010 000	2680	2930	
11	4,2	2,5	1,39	1,517	2 045 000	1980	2860	28, 29, 31 bis 33 und 40 bis 43 (Lieferung b)
12			1,39	1,517	2 100 000	2970	3300	
13			1,41	1,561	1 950 000	1920	2880	
Mittel			—	—	2 030 000	2290	3010	
16	4,8	2,5	1,60	2,011	2 045 000	2090	2390	65 bis 67
17			1,60	2,011	1 990 000	2390	2800	
18			1,60	2,011	2 025 000	2390	2690	
Mittel			—	—	2 020 000	2290	2630	

¹⁾ Bei diesem Wasserzusatz befand sich der Beton aus dem Kiessand V im gleichen Zustande der Weichheit wie der Beton aus den beiden Kiessanden VI und V (Reihe 1 und 2) mit 8% Wasserzusatz.

Tabelle 7. Ergebnisse der Zugversuche mit den Eisen für die Längsbewehrung der Säulen.

Probe Nr.	Längseisen der Säulen	Abmessungen		Elastizitätszahl $\frac{1}{\alpha} = E$ kg/qcm	Spannungen kg/qcm		$\frac{\sigma_S}{\sigma_B} \cdot 100$ %	Bruchdehnung auf $l = 11,3\sqrt{f}$ %	Querschnittsverminderung %
		Durchmesser cm	Querschnitt qcm		Streckgrenze σ_S	Bruchgrenze σ_B			
4	1 bis 24	2,00	3,14	2 120 000	2600	3810	68	31,9	68
5	und	2,01	3,17	2 035 000	2840	3900	73	27,8	70
Mittel	49 bis 51	—	—	2 077 500	2720	3860	71	29,9	69
9	30, 34 bis 39,	1,4	1,54	2 050 000	3120	4060	77	26,2	68
10	44,45 u. 55 bis 64	1,4	1,54	2 010 000	3080	4120	75	29,2	69
Mittel	(Lieferung a)	—	—	2 030 000	3100	4090	76	27,7	69
14	28,29,31 bis 33	1,40	1,54	1 980 000	2760	3900	71	34,3	73
15	und 40 bis 43	1,41	1,56	1 990 000	2720	3730	73	29,6	75
Mittel	(Lieferung b)	—	—	1 985 000	2740	3820	72	32,0	74
19	65 bis 67	1,60	2,01	2 030 000	2770	4100	68	31,4	63
20		1,60	2,01	2 055 000	2400	3580	67	37,5	73
Mittel		—	—	2 042 500	2590	3840	68	34,5	68

Tabelle 8. Ergebnisse der Zugversuche mit den Querbewehrungen. I. Eisen von 0,5 cm Durchmesser

Versuch Nr.	Eisen verwendet zu den Säulen	Form, in der das Eisen eingeliefert	Abmessungen		Spannungen kg/qcm		$\frac{\sigma_S}{\sigma_B} \cdot 100$ %	Bruchdehnung auf $l = 5$ cm %	Zustand der Proben	
			Durchmesser cm	Querschnitt qcm	Streckgrenze σ_S	Bruchgrenze σ_B				
47	1 bis 3	Fertige geschweißte Ringe	0,48	0,181	2930	4140	71	24,0	kalt gerade gerichtet ohne Schweißstelle	
48			0,47	0,173	3010	4360	69	25,6		
49			0,47	0,173	2310	3580	65	26,0		
Mittel			—	—	2750	4030	68	25,2		
80			0,47	0,173	2770	3700	75	—		mit Schweißstelle in der Mitte
81	0,50	0,196	3110	4540	69	20,0				
Mittel	—	—	2940	4120	72	20,0				
53	7 bis 9	Fertige Ringe mit Hakenenden	0,48	0,181	3260	4700	69	24,6		
54			0,51	0,204	3770	5200	72	26,8		
55			0,47	0,173	2890	4510	64	—		
Mittel			—	—	3310	4800	68	25,7		
59	13 bis 15	Fertige Diagonalbügel	0,51	0,204	3380	4900	69	27,0	kalt gerade gerichtet	
60			0,48	0,181	3480	5000	70	23,6		
61			0,51	0,204	3630	5150	70	19,0		
62			0,49	0,189	3330	4890	68	26,2		
Mittel			—	—	3460	4990	69	24,0		
63	19 20 21	Fertige Spiralen	0,51	0,204	2940	4310	68	21,8		
64			0,51	0,204	2890	4070	71	25,1		
65			0,51	0,204	3190	4360	73	24,8		
Mittel			—	—	3010	4250	71	23,9		
36	28 und 29	Stangen (zu geschweißten Ringen verwendet)	0,49	0,189	3390	4450	76	25,0	ungerichtet	
37			0,52	0,212	2880	4080	71	26,1		
38			0,51	0,204	2900	4260	68	23,9		
39			0,48	0,181	3160	4560	69	23,6		
40			0,50	0,196	3010	4340	69	22,4		
31			30	0,50	0,196	2810	4490	63		22,9
32				0,51	0,204	2940	4360	67		27,5
33				0,50	0,196	3060	4230	72		18,2
34				0,51	0,204	3020	4160	74		25,4
35				0,50	0,196	3220	4340	74		23,0
Mittel	—	—	3050	4330	70	23,8				
41	40	Fertige Spiralen	0,47	0,173	3760	5090	74	16,2	kalt gerade gerichtet	
86			0,46	0,166	4330	5200	83	15,2		
87			0,49	0,189	3700	4520	82	16,6		
42			0,47	0,173	3760	5090	74	18,1		
43	42	0,49	0,189	3440	4820	71	15,4			
Mittel	—	—	3800	4940	77	16,3				

Tabelle 9. Ergebnisse der Zugversuche mit den Querbewehrungen.
II. Eisen von 0,7 cm Durchmesser.

Ver- such Nr.	Eisen verwendet zu den Säulen	Form, in der das Eisen eingeliefert	Abmessungen		Spannungen kg/qcm		$\frac{\sigma_S}{\sigma_B} \cdot 100$ %	Bruch- dehnung auf $l = 7$ cm %	Zustand der Proben	
			Durch- messer cm	Quer- schnitt qcm	Streck- grenze σ_S	Bruch- grenze σ_B				
50	4 bis 6	fertige geschweißte	0,70	0,385	3220	4230	76	25,0	kalt gerade gerichtet ohne Schweißstelle	
51			0,73	0,419	3080	4100	75	20,0		
52			0,72	0,407	3150	4130	76	29,8		
Mittel		—	—	3150	4150	76	24,9			
71		Ringe	—	0,72	0,407	3070	4050	76	16,9	mit Schweiß- stelle in der Mitte
72				0,73	0,419	2740	4040	68	20,0	
Mittel	—			—	2910	4050	72	18,5		
56	10 bis 12	fertige Ringe mit Hakenenden	0,69	0,374	3400	4520	75	22,9	kalt gerade gerichtet	
57			0,71	0,396	3080	4120	75	33,2		
58			0,69	0,374	3000	4150	72	22,9		
Mittel		—	—	3160	4260	74	26,3			
66	22 23 24	fertige Spiralen	0,69	0,374	3080	4410	70	28,7	kalt gerade gerichtet	
67			0,69	0,374	2760	3880	71	24,3		
68			0,69	0,374	3130	4440	71	20,0		
Mittel			—	—	2990	4240	71	24,3		
21	31 bis 33	Stangen (zu ge- schweißten Ring- verwendet)	0,68	0,363	2840	4000	71	24,8	ungerichtet	
22			0,69	0,374	2760	3850	72	25,1		
23			0,68	0,363	3000	4220	71	24,4		
24			0,68	0,363	2810	4000	70	23,5		
25			0,68	0,363	2810	4000	70	22,7		
26			0,68	0,363	2950	4050	73	23,1		
27			0,68	0,363	2950	4160	71	25,6		
28			0,68	0,363	2810	4000	70	24,2		
29			0,68	0,363	2920	4050	72	23,4		
30			0,68	0,363	2870	4020	71	25,9		
Mittel	—	—	2870	4040	71	24,3				
44	43 44 45	fertige Spiralen	0,65	0,332	4070	4850	84	15,9	kalt gerade gerichtet	
45			0,65	0,332	3920	4830	81	15,7		
46			0,64	0,322	4040	4820	84	13,7		
88			0,63	0,312	3810	4780	80	12,4		
89			0,64	0,322	3830	4700	82	14,0		
Mittel	—	—	3930	4800	82	14,3				
82	55 bis 60 ²⁾	Ringe von etwa 60 cm Durch- messer (zu Spiralen verwendet)	0,66	0,342	2200	3740	59	33,8	kalt gerade gerichtet	
83			0,65	0,332	2230	3770	59	31,4		
84			0,66	0,342	2160	3600	60	28,8		
85			0,66	0,342	2140	3800	62	—		
Mittel	—	—	2180	3730	60	31,3				

1) Die Zerreißproben sind den Enden der einzelnen fertig eingelieferten Spiralen entnommen.

2) Die Zerreißproben 82, 83 und 84, 85 entstammen zwei verschiedenen Stangen.

Tabelle 10. Ergebnisse der Zugversuche mit den Querbewehrungen.
III. Eisen von 1,2 cm Durchmesser.

Ver- such Nr.	Eisen verwendet zu den Säulen	Form, in der das Eisen eingeliefert	Abmessungen		Spannungen kg/qcm		$\frac{\sigma_S}{\sigma_B} \cdot 100$ %	Bruch- dehnung auf $l = 12$ cm %	Zustand der Proben	
			Durch- messer cm	Quer- schnitt qcm	Streck- grenze σ_S	Bruch- grenze σ_B				
73	65	fertige Spiralen	1,19	1,112	3330	4450	75	18,5	kalt gerade gerichtet	
74	66		1,20	1,131	3400	4540	75	16,7		
75	67		1,18	1,094	3470	4490	77	17,5		
Mittel	—	—	—	—	3400	4490	76	17,6		
76	dgl.	Stangen	1,18	1,094	2930	4030	73	17,5	im Amt geschweißt	
77			1,18	1,094	3060	4130	74	15,0		
Mittel			—	—	3000	4080	74	16,3		
78			1,19	1,112	3600	4630	78	15,8		ungerichtet
79	1,20	1,131	3540	4580	77	14,2				
Mittel	—	—	—	—	3570	4610	78	15,0		

Tabelle 11.

Druckfestigkeit des zu den Säulen verarbeiteten Betons.

Würfel von 30 cm Kantenlänge; Druckfläche = 900 qcm; Inhalt = 27 000 ccm.
Alter = 90 und 91 Tage.

Ifd. Nr.	Nr. der zugehörigen Säulen und des Würfels	Angefertigt			Gewicht des Würfels bei Prüfung kg	Raumgewicht des Betons g/ccm	Bruchfestigkeit		Zusammensetzung des Betons
		am	bei Luft-				Belastung P kg	Spannung σ_{-B} kg/qcm	
			Feuchtigkeit %	Wärme C°					
1	1	6. III. 13	67	16	61,80	2,289	209 200	231	1 Raumteil Zement und 4 Raumteile Kies- sand
2	4	8.	62	17	62,20	2,304	222 300	247	
3	10	11.	59	16	62,10	2,300	211 800	235	
4	7	13.	54	17	62,30	2,307	215 700	240	
5	13	15.	61	17	62,80	2,326	217 000	241	
6	16	18.	55	17	62,20	2,304	218 300	243	
7	25	27.	57	18,5	61,70	2,285	210 500	234	
8	5	3. IV. 13	70	17	61,50	2,278	202 500	225	
9	2	5.	68	17	61,40	2,274	202 500	225	
10	61, 62	8.	70	14	61,40	2,274	201 200	223	
11	63, 64	12.	47	18	62,50	2,315	219 700	244	
12	17	12.	48	18	61,20	2,267	210 500	234	
13	14	15.	48	17	61,80	2,289	201 200	223	
14	8, 34	17.	53	15	61,70	2,285	201 200	223	
15	35	19.	54	19	61,70	2,285	202 500	225	
16	26, 47	22.	56	16	62,00	2,296	223 600	248	
17	11, 37	26.	76	17	62,00	2,296	222 300	247	
18	3, 38	29.	60	22,5	62,35	2,309	215 700	240	
19	6, 36	3. V. 13	64	19,5	62,10	2,300	210 500	234	
20	12, 39	6.	63	18	62,30	2,307	214 400	237	
21	9, 46	8.	50	15	62,50	2,315	222 300	247	
22	28	13.	58	19	62,60	2,319	222 300	247	
23	15, 31	15.	50	20	62,70	2,322	215 700	240	
24	18, 43	17.	58	16	61,70	2,285	197 200	219	
25	19, 40	20.	59	16	63,10	2,337	217 000	241	
26	22, 55	22.	56	17,5	62,50	2,315	210 500	234	
27	27, 58	24.	80	16	62,00	2,296	197 200	219	
28	32	27.	70	17	61,90	2,293	195 800	218	
29	29	29.	70	20	61,50	2,278	190 500	212	
30	20, 41	31.	67	24	59,40	2,204	144 600	161	
31	23, 44	3. VI. 13	77	24	60,50	2,241	162 200	180	
32	21, 59	5.	80	22	62,00	2,296	199 900	221	
33	24, 56	7.	59	21	61,70	2,285	197 200	219	
34	30	10.	50	19,5	62,00	2,296	201 200	223	
35	33	12.	69	17,5	62,30	2,307	215 700	240	
36	42	14.	63	16,5	61,90	2,293	218 300	243	
37	45	17.	—	—	61,80	2,289	201 200	223	
38	48	19.	52	23	61,10	2,263	202 500	225	
39	57	21.	57	20,5	61,10	2,263	206 500	229	
40	60	24.	80	19	61,50	2,278	185 000	201	
41	65	26.	67	19,5	62,00	2,296	214 400	238	
42	66	28.	68	16,5	62,05	2,298	217 000	241	
43	67	1. VII. 13	79	17,5	61,80	2,289	211 800	235	
Mittel	—	—	62	18	61,88	2,292	206 500	229	
44	49	29. III. 13	57	19,5	62,80	2,326	284 500	316	
45	52	1. IV. 13	69	18	62,60	2,319	290 600	323	
46	53	10. IV. 13	62	16	62,80	2,326	290 600	323	
47	50	24. IV. 13	63	17,5	62,60	2,319	291 900	324	
48	51	27. V. 13	70	17	62,80	2,326	270 400	300	
49	54	29. V. 13	70	20	62,95	2,331	299 300	333	
Mittel	—	—	65	18	62,76	2,325	287 900	320	

Tabelle 13. Vergleich der Querdehnungen des Betons in der Mitte und am Ende der Säulen.
 Letzte Beobachtung nach wiederholtem Be- und Entlasten (s. Tab. 12).

Säule Nr.	Querbewehrung		Lage der Meßstelle	bei den folgenden Belastungen in kg																Federnde Querdehnung δ'' in $\frac{1}{10} \cdot 10^{-5}$							
	Art	Eisen- stärke cm		Gesamt-Querdehnung δ in $\frac{1}{10} \cdot 10^{-5}$																Bleibende Querdehnung δ' in $\frac{1}{10} \cdot 10^{-5}$				Federnde Querdehnung δ'' in $\frac{1}{10} \cdot 10^{-5}$			
				12 530	22 960	33 330	53 750	73 710	98 500	145 800	12 530	22 960	33 330	53 750	73 710	98 500	145 800	12 530	22 960	33 330	53 750	73 710	98 500	145 800			
1	Ge- schweißte Ringe	0,5	32	182	283	537	825	1345	6543	10	22	45	105	173	333	2553	70	157	235	432	643	987	3452				
2			27	52	62	40	340	785	2270	18	42	73	73	73	2	145	770	5	8	17	113	333	632	1998			
4	Ringe	0,7	38	87	150	313	517	880	2800	2	18	20	2	27	127	880	47	110	172	317	488	742	1845				
5			38	62	55	385	855	1775	3558	7	28	42	133	333	835	1795	28	32	17	245	513	907	1662				
7	umgehakte Ringe	0,5	48	98	165	345	550	878	2328	15	35	52	33	3	82	625	67	160	218	378	547	795	1650				
8			2	37	67	78	252	730	2518	8	45	73	130	47	110	923	8	13	8	57	285	590	1512				
10	Ringe	0,7	45	97	170	352	630	1147	5923	22	47	62	55	27	78	1973	73	148	235	407	655	1062	3467				
11			48	92	115	73	62	365	1598	20	57	88	137	162	122	282	27	35	23	65	223	475	1258				
13	Diagonal- bügel	0,5	58	117	187	342	540	900	2815	5	7	15	23	68	175	990	53	110	172	318	472	723	1767				
14			3	2	3	57	198	460	1215	7	17	20	20	2	40	255	12	17	23	77	197	403	935				
16	Diagonal- bügel	0,7	58	130	205	388	648	1148	5543	3	10	22	43	98	255	2370	55	118	183	345	547	877	2940				
17			3	7	17	42	213	482	1360	13	25	48	62	47	12	318	18	23	33	102	257	458	967				
21	Spirale	0,5	60	113	152	317	532	922	4178	5	22	60	57	32	63	1472	67	137	215	373	563	840	2475				
20			10	5	73	345	782	2002	—	10	30	45	35	58	510	—	0	37	120	382	718	1443	—				
24	Spirale	0,7	65	128	183	338	517	842	2857	2	10	37	50	53	0	733	68	142	223	390	572	833	1987				
23			20	32	7	250	678	1417	—	8	28	60	42	60	315	—	10	3	55	288	610	1060	—				
25	unbewehrt	—	78	160	253	452	703	1093	2382	7	13	30	65	128	258	780	70	145	223	383	568	825	1602				
26			5	8	50	185	362	598	1535	3	20	33	3	65	125	522	0	32	83	180	297	463	1013				

~*

Tabelle 20. Längenänderungen der Längseisen bei stufenweiser Laststeigerung und wiederholtem Entlasten auf 2090 kg Anfangsbelastung. Art der Querbewehrungen: Spirale aus 5-mm-Eisen.

Säule Nr.	Gemesen	Belastungsreihe	Gesamtverkürzung — d_e in $\frac{0}{10} \cdot 10^{-5}$										Bleibende Verkürzung — d_e in $\frac{0}{10} \cdot 10^{-5}$										Federnde Verkürzung — d_e in $\frac{0}{10} \cdot 10^{-5}$																		
			bei den folgenden Belastungen in kg										bei den folgenden Belastungen in kg										bei den folgenden Belastungen in kg																		
			12 530	22 960	33 330	53 750	73 710	88 500	105 567	145 800	12 530	22 960	33 330	53 750	73 710	88 500	105 567	145 800	12 530	22 960	33 330	53 750	73 710	88 500	105 567	145 800	12 530	22 960	33 330	53 750	73 710	88 500	105 567	145 800							
19		in der Mitte	1	740	1447	2183	3690	5353	7367	10567	—	3	—	33	+	87	257	1433	743	1440	2217	3603	5097	6810	9133	743	1440	2217	3603	5097	6810	9133	743	1440	2217	3603	5097	6810	9133		
			2	753	1473	2137	3767	5430	7523	13113	—	3	—	17	87	107	297	1673	750	1490	2153	3660	5133	6930	9140	750	1490	2153	3660	5133	6930	9140	750	1490	2153	3660	5133	6930	9140		
			3	760	1400	2223	3813	5527	7647	13607	—	3	—	13	60	117	333	1743	757	1460	2237	3997	5493	7320	9577	757	1460	2237	3997	5493	7320	9577	757	1460	2237	3997	5493	7320	9577		
			4	767	1420	2233	3850	5573	7733	13887	—	3	—	13	60	130	353	1880	748	1480	2247	3720	5220	7057	92007	748	1480	2247	3720	5220	7057	92007	748	1480	2247	3720	5220	7057	92007		
			5	767	1430	2240	3870	5597	7773	—	3	—	10	60	140	367	1963	749	1490	2250	3730	5230	7067	—	—	749	1490	2250	3730	5230	7067	—	—	749	1490	2250	3730	5230	7067	—	—
			6	760	1420	2247	3883	5620	7827	—	3	—	7	60	133	383	—	—	—	1487	2253	3743	5247	—	—	1487	2253	3743	5247	—	—	—	—	1487	2253	3743	5247	—	—	—	—
			7	760	1430	2240	3910	5640	—	—	—	—	—	—	160	393	383	—	—	1490	—	—	—	—	—	1490	—	—	—	—	—	—	—	1490	—	—	—	—	—	—	—
			8	760	1443	—	3930	5663	—	—	—	—	—	—	160	393	383	—	—	1490	—	—	—	—	—	1490	—	—	—	—	—	—	—	1490	—	—	—	—	—	—	—
			9	760	—	3940	5673	—	—	—	—	—	—	—	157	403	383	—	—	1490	—	—	—	—	—	1490	—	—	—	—	—	—	—	1490	—	—	—	—	—	—	—
			10	760	—	3943	5687	—	—	—	—	—	—	—	170	407	383	—	—	1490	—	—	—	—	—	1490	—	—	—	—	—	—	—	1490	—	—	—	—	—	—	—
			11	760	—	3957	5713	—	—	—	—	—	—	—	170	407	383	—	—	1490	—	—	—	—	—	1490	—	—	—	—	—	—	—	1490	—	—	—	—	—	—	—
20		am Ende	1	857	1453	1923	2960	3750	4737	7763	—	53	—	370	—	613	—	880	910	1673	2293	3573	4570	5750	8643	910	1673	2293	3573	4570	5750	8643	910	1673	2293	3573	4570	5750	8643		
			2	820	1397	1900	2860	3653	4707	8140	—	77	—	393	—	660	—	863	897	1647	2293	3520	4523	5763	9003	897	1647	2293	3520	4523	5763	9003	897	1647	2293	3520	4523	5763	9003		
			3	803	1307	1837	2767	3617	4683	8280	—	93	—	427	—	700	—	867	897	1590	2263	3467	4493	5757	9147	897	1590	2263	3467	4493	5757	9147	897	1590	2263	3467	4493	5757	9147		
			4	790	1290	1823	2763	3567	4663	8323	—	293	—	443	—	707	—	847	1583	2267	3470	4480	5767	9177	—	1583	2267	3470	4480	5767	9177	—	—	1583	2267	3470	4480	5767	9177	—	—
			5	1283	1813	2733	3527	4620	8443	—	—	—	—	447	—	730	—	840	1587	2260	3463	4430	5730	9283	—	1587	2260	3463	4430	5730	9283	—	—	1587	2260	3463	4430	5730	9283	—	—
			6	1270	1803	2717	3493	4593	—	—	—	—	—	303	—	453	—	840	1573	2257	3460	4433	—	—	—	1573	2257	3460	4433	—	—	—	—	1573	2257	3460	4433	—	—	—	—
			7	1257	1770	2690	3463	—	—	—	—	—	—	—	—	—	947	—	—	1560	—	—	—	—	—	1560	—	—	—	—	—	—	—	1560	—	—	—	—	—	—	—
			8	1253	—	2673	3447	—	—	—	—	—	—	—	—	—	967	—	—	1560	—	—	—	—	—	1560	—	—	—	—	—	—	—	1560	—	—	—	—	—	—	—
			9	—	—	2663	3427	—	—	—	—	—	—	—	—	—	967	—	—	1560	—	—	—	—	—	1560	—	—	—	—	—	—	—	1560	—	—	—	—	—	—	—
			10	—	—	2643	3410	—	—	—	—	—	—	—	—	—	973	—	—	1560	—	—	—	—	—	1560	—	—	—	—	—	—	—	1560	—	—	—	—	—	—	—
			11	—	—	2633	3397	—	—	—	—	—	—	—	—	—	980	—	—	1560	—	—	—	—	—	1560	—	—	—	—	—	—	—	1560	—	—	—	—	—	—	—
21		in der Mitte	1	662	1429	2229	3880	5730	8264	—	18	67	142	299	549	985	644	1362	2087	3582	5182	7278	—	—	644	1362	2087	3582	5182	7278	—	—	644	1362	2087	3582	5182	7278	—	—	
			2	667	1452	2255	3935	5828	8102	—	18	73	157	322	579	1049	649	1379	2099	3630	5250	7554	—	—	649	1379	2099	3630	5250	7554	—	—	649	1379	2099	3630	5250	7554	—	—	
			3	677	1465	2284	3992	5914	8774	—	22	83	165	325	615	1060	655	1382	2119	3667	5298	7714	—	—	655	1382	2119	3667	5298	7714	—	—	655	1382	2119	3667	5298	7714	—	—	
			4	684	1465	2299	4025	5974	8842	—	30	90	170	370	635	1082	654	1377	2129	3655	5339	7760	—	—	654	1377	2129	3655	5339	7760	—	—	654	1377	2129	3655	5339	7760	—	—	
			5	690	1473	2305	4059	6014	8934	—	—	—	90	382	642	1107	—	—	—	1383	2135	3677	5372	7827	—	1383	2135	3677	5372	7827	—	—	—	1383	2135	3677	5372	7827	—	—	—
			6	1477	2309	4083	6045	8960	—	—	—	—	—	179	394	649	—	—	—	1383	2130	3690	5397	—	—	1383	2130	3690	5397	—	—	—	—	1383	2130	3690	5397	—	—	—	—
			7	—	—	2315	4109	6075	—	—	—	—	—	—	395	665	—	—	—	1371	2130	3714	5410	—	—	1371	2130	3714	5410	—	—	—	—	1371	2130	3714	5410	—	—	—	—
			8	—	—	4119	6095	—	—	—	—	—	—	—	402	685	—	—	—	1371	2130	3714	5410	—	—	1371	2130	3714	5410	—	—	—	—	1371	2130	3714	5410	—	—	—	—
			9	—	—	4134	6127	—	—	—	—	—	—	—	413	695	—	—	—	1371	2130	3714	5410	—	—	1371	2130	3714	5410	—	—	—	—	1371	2130	3714	5410	—	—	—	—
			10	—	—	4148	6154	—	—	—	—	—	—	—	427	719	—	—	—	1371	2130	3714	5410	—	—	1371	2130	3714	5410	—	—	—	—	1371	2130	3714	5410	—	—	—	—
			11	—	—	4158	6175	—	—	—	—	—	—	—	427	719	—	—	—	1371	2130	3714	5410	—	—	1371	2130	3714	5410	—	—	—	—	1371	2130	3714	5410	—	—	—	—
21		am Ende	1	677	1324	1927	3137	4000	5405	9749	—	74	—	362	—	599	—	614	750	1528	2289	3735	4810	6367	10362	750	1528	2289	3735	4810	6367	10362	750	1528	2289	3735	4810	6367	10362		
			2	644	1267	1870	2995	3942	5428	10705	—	87	—	405	—	662	—	567	730	1505	2275	3657	4799	6410	11332	730	1505	2275	3657	4799	6410	11332	730	1505	2275	3657	4799	6410	11332		
			3	630	1229	1839	2935	3928	5454	11134	—	88	—	439	—	702	—	520	719	1497	2277	3638	4807	6454	11652	719	1497	2277	3638	4807	6454	11652	719	1497	2277	3638	4807	6454	11652		
			4	627	1230	1807	2897	3892	5462	11405	—	97	—	423	—	725	—	417	724	1500	2230	3622	4800	6482	11382	724	1500	2230	3622	4800	6482	11382	724	1500	2230	3622	4800	6482	11382		
			5	627	1227	1827	2854	3862	5462	11749	—	—	—	448	—	742	—	359	1522	2275	3595	4768	6489	12107	—	1522	2275	3595	4768	6489	12107	—	—	1522	2275	3595	4768	6489	12		

Tabelle 21. Längenänderungen der Längseisen bei stufenweiser Laststeigerung und wiederholtem Entlasten auf 2090 kg Anfangsbelastung. Art der Querbewehrungen: Spiralen aus 7-mm-Eisen.

Säule Nr.	Ge-messen	Be-lastungs-reihe	Gesamtverkürzung — d_e' in 10^{-5}										Bleibende Verkürzung — d_e' in 10^{-5}										Federnde Verkürzung — d_e'' in 10^{-5}									
			bei den folgenden Belastungen in kg										bei den folgenden Belastungen in kg										bei den folgenden Belastungen in kg									
			12 530	22 960	33 330	53 750	73 710	98 500	145 800	174 240	12 530	22 960	33 330	53 750	73 710	98 500	145 800	12 530	22 960	33 330	53 750	73 710	98 500	145 800								
22		1	640	1287	2017	3480	4993	6973	11640	15880	17	33	73	170	333	573	1407	623	1253	1943	3310	4660	6400	10233								
		2	643	1337	2047	3520	5080	7140	12197		20	37	67	187	347	610	1567	623	1300	1980	3333	4733	6530	10297								
		3	647	1340	2060	3553	5103	7243	12437		33	27	73	187	367	657	1643	613	1313	1987	3367	4737	6587	10793								
		4	647	1333	2063	3573	5153	7317	12667		33	30	77	203	373	683	1697	613	1303	1987	3370	4780	6633	10970								
		5	650	1337	2073	3583	5187	7363	12767		73	200	77	200	377	707	1707	2000	3717	2000	3717	4810	6657	11060								
		6				3580	5180	7393	12940		77	210	87	210	387			1997	3703	1997	3703	4793										
		7				3597	5213				90	207	90	207	393			1990	3723	1990	3723	4820										
		8				2090	3613	5233			87	220	87	220	400			2003	3727	2003	3727	4833										
		9				2080	3607	5243						233	417						3707	4827										
		10				3627	5247							237	427						3723	4820										
		11				3640	5257																									
23		1	707	1427	2093	3263	3993	4687	6130	8030	10	40	103	353	680	1203	1923	717	1467	2197	3617	4673	5890	8053								
		2	687	1400	2070	3147	3867	4510	6153		17	47	153	417	773	1300	1907	703	1447	2223	3563	4640	5810	8060								
		3	693	1390	2037	3073	3803	4403	6197		3	73	167	463	830	1363	1913	697	1463	2203	3537	4633	5767	8110								
		4	693	1370	2007	3030	3703	4327	6250		3	73	180	490	873	1410	1803	697	1443	2187	3520	4577	5750	8143								
		5	690	1367	2000	2997	3647	4250	6277		3	73	190	507	910	1443	1883	697	1443	2190	3503	4557	5693	8160								
		6				1987	2957	3590	4190	6350		200	527	200	527	940			2187	3483	2187	3483	4530									
		7				1977	2933	3560			210	557	210	557	960			2187	3490	2187	3490	4520										
		8				1970	2923	3520			213	553	213	553	980			2183	3477	2183	3477	4497										
		9				1963	2897	3490			213	553	213	553	980			2183	3477	2183	3477	4497										
		10				2887	3460				563	993	563	993	1013			3460	4483	3460	4483											
		11				2870	3430				570	1013	570	1013				3457	4473	3457	4473											
24		1	597	1262	1970	3405	4992	7185			24	62	129	257	480	850	1200	573	1200	1842	3149	4512	6335									
		2	607	1282	1999	3472	5107	7402			18	70	133	277	518	880	1212	589	1212	1805	3185	4588	6520									
		3	608	1293	2014	3532	5175	7537			24	75	139	309	550	998	1219	585	1219	1875	3222	4625	6588									
		4	612	1300	2032	3547	5250	7595			80	80	144	314	575	964	1220	1889	1220	1889	3234	4675	6632									
		5				3574	5285	7669			87	87	148	323	602	972	1225	1895	1225	1895	3250	4684	6697									
		6				3574	5315	7749			92	92	147	334	598			1898	1230	1898	3264	4717										
		7				3597	5332				159	350	159	350	612			1897	1230	1897	3275	4720										
		8				3640	5379				157	353	157	353	623			1902	1244	1902	3287	4755										
		9				3640	5385				358	637	358	637				3282	4748	3282	4748											
		10				3655	5389				368	644	368	644				3287	4745	3287	4745											
		11				3674	5409																									
25		1	604	1233	1815	2867	3672	4707	7180	9502	5	10	47	200	407	619	885	599	1244	1862	3067	4069	5315	8065								
		2	603	1224	1794	2784	3599	4642	7359		7	10	67	249	440	667	937	597	1217	1860	3032	4030	5309	8295								
		3	609	1224	1779	2735	3555	4612	7479		5	24	82	273	477	699	932	604	1247	1860	3068	4032	5310	8410								
		4	609	1222	1770	2700	3528	4584	7535		87	87	147	290	502	723	935	1857	2900	1857	2900	4030	5307	8470								
		5				1779	2690	3500	4560	7619		95	95	159	305	510	740	982	1864	2995	1864	2995	4010	5300	8600							
		6				1755	2672	3470	4547	7700		97	97	159	320	524			1854	2992	1854	2992	3994									
		7				1757	2649	3455						327	532						2975	3989										
		8				2640	3440							327	554						2967	3993										
		9				2625	3424							338	553						2964	3977										
		10				2614	3432							342	552						2955	3984										
		11				2612	3404																									

Tabelle 23. Längenänderungen des Betons, bei stufenweiser Laststeigerung und wiederholtem Entlasten auf 2090 kg Anfangsbelastung. Art der Querbewehrungen: Geschweißte Ringe aus 5-mm-Eisen.

Säule Nr.	Gre- messen	Be- lastungs- reihe	Gesamtverkürzung — δ_b in $\% \cdot 10^{-5}$										Bleibende Verkürzung — δ'_b in $\% \cdot 10^{-5}$										Federnde Verkürzung — δ''_b in $\% \cdot 10^{-5}$									
			12 530	22 960	33 330	53 750	73 710	98 500	145 800	163 870	12 530	22 960	33 330	53 750	73 710	98 500	145 800	163 870	12 530	22 960	33 330	53 750	73 710	98 500	145 800	163 870						
1	am Ende	1	620	1347	2130	3703	5210	7260	12303	17387	37	137	243	463	693	1150	3023	5923	583	1210	1887	3240	4517	6110	9280	11463						
		2	643	1373	2163	3793	5313	7430	13120	18120	53	153	250	500	740	1283	3333	5923	590	1220	1913	3293	4573	6147	9787							
		3	643	1393	2187	3840	5373	7553	13503	18503	53	163	267	520	773	1383	3703	5923	590	1230	1920	3320	4600	6170	9800							
		4	653	1403	2197	3877	5427	7687	13883	18883	57	173	277	530	783	1417	3880	5923	597	1230	1930	3327	4613	6210	10003							
		5	663		2207	3900	5453	7750	14157		70		280	580	833	1527	4097	5923	593	1927	3320	4620	6223		10060							
		6	673		2213	3933	5490	7807	14357			283	590	833	4207	4350		5923	593	1930	3343	4607		10150								
		7			2223	3780	5480		14500				470	883	4427			5923	593	1930	3310		3323	10150								
		8				3810			14627				487					4427			3323		3327		10200							
		9				3837			14413												3323											
		10				3853															3323											
		11				3890															3327											
2	in der Mitte	1	523	1160	1813	3153	4563	6430	10780		37	100	160	333	540	830	1763		487	1060	1653	2820	4023	5600	9017							
		2	553	1187	1840	3220	4680	6630	11540		43	110	173	353	593	907	2037		510	1077	1667	2867	4087	5723	9503							
		3	553	1190	1883	3267	4733	6757	11983		43	113	190	383	600	943	2270		510	1077	1693	2883	4133	5813	9713							
		4	557	1197	1887	3297	4780	6840	12383		50	113	193	393	623	980	2460		507	1083	1693	2903	4157	5860	9923							
		5	557	1213	1893	3313	4807	6893	12683			113	197	397	627	997				507	1100	1697	2917	4180	5897							
		6		1210	1897	3330	4843	6947				117	207	403	650	1000				507	1093	1690	2927	4193	5947							
		7		1213	1917	3347	4873	6993				220	420	653	1027					507	1093	1697	2927	4220	5967							
		8		1213	1917	3360	4870	7033				217	427	663	1057					507	1700	2933	4207	5977								
		9			1927	3367	4903	7063					443	687	1070						1700	2933	4217	6027								
		10				3403	4927	7090														2923										
3	in der Mitte	1	497	1074	1689	2927	4245	6059	10299		25	90	148	288	470	707	1825		472	984	1540	2639	3775	5352	8474							
		2	509	1105	1717	3005	4359	6207	11110		33	94	158	312	488	804	2117		475	1012	1559	2694	3870	5404	8994							
		3	519	1119	1729	3040	4410	6322	11640		37	105	169	330	504	844	2235		482	1014	1560	2710	3907	5479	9405							
		4	524	1123	1740	3060	4424	6410	11870		40	109	172	345	535	881	2419		500	1015	1569	2715	3898	5530	9452							
		5	528	1129	1757	3075	4452	6465	12087			180	349	519	910	2590				500	1577	2727	3934	5555	9497							
		6			1764	3087	4472	6527	12335				180	350	524	910				500	1583	2737	3948	5555	9497							
		7				1764	3092	4490						542	910					500	1583	2737	3948	5555	9497							
		8					4529							542	910					500	1583	2737	3948	5555	9497							
		9					4542							569	910					500	1583	2737	3948	5555	9497							
		10					4565							585	910					500	1583	2737	3948	5555	9497							
11					4585													500	1583	2737	3948	5555	9497									

Tabelle 25. Längenänderungen des Betons bei stufenweiser Laststeigerung und wiederholtem Entlasten auf 2090 kg Anfangsbelastung. Art der Querbewehrungen: Umgchakte Ringe aus 5-mm-Eisen.

Säule Nr.	Be- lastungs- reihe	Gesamtverkürzung — d_b in $\% \cdot 10^{-5}$										Bleibende Verkürzung — d'_b in $\% \cdot 10^{-5}$										Federnde Verkürzung — d''_b in $\% \cdot 10^{-5}$									
		12 530	22 960	33 330	53 750	73 710	98 500	145 800	174 240	12 530	22 960	33 330	53 750	73 710	98 500	145 800	12 530	22 960	33 330	53 750	73 710	98 500	145 800								
beiden folgenden Belastungen in kg																															
7	1	473	1023	1603	2917	4263	6003	10137	14003	23	70	143	327	593	970	2287	450	953	1460	2590	3670	5033	7850								
	2	477	1087	1677	2997	4377	6163	10703	14003	27	80	167	367	650	1050	2587	450	1007	1510	2623	3727	5113	8117								
	3	483	1060	1687	3040	4433	6263	11070	14003	30	80	167	380	700	1117	2743	453	980	1520	2660	3733	5147	8327								
	4	480	1053	1700	3073	4503	6357	11237	30	80	173	403	723	1180	1180	2773	450	973	1527	2670	3780	5177	8463								
	5	483	1063	1710	3090	4503	6450	11403	30	83	173	430	710	1237	1237	2917	450	980	1537	2660	3793	5213	8487								
	6	1067	1720	3113	4527	6490	11603		83	83	180	430	730	1263	1263	3000	983	1540	1530	2660	3797	5227	8603								
	7	1060	1727		4540	6557	11670				197			1310	1310	3067			1530		3797	5247	8603								
	8	1730				6003	11770							1337	1337	3213						5267	8557								
	9					6630	11870									3197							8673								
	10					11937																									
8	1	493	1050	1687	2903	4307	6267	10843	12743	20	80	160	257	483	890	1963	473	970	1527	2647	3823	5377	8880								
	2	493	1077	1717	2963	4413	6457	11643	12743	23	87	173	283	517	843	2197	470	990	1543	2680	3897	5613	9447								
	3	507	1083	1723	3010	4460	6537	12077	23	97	177	303	523	923	923	2430	483	987	1547	2707	3937	5613	9647								
	4	517	1087	1730	3053	4523	6623	12510	23	90	183	317	547	940	940	2563	483	997	1547	2737	3977	5683	9947								
	5	1093	1733	3063	4553	6700	12810		100	100	183	320	563	983	983	2700	483	993	1550	2737	3990	5717	10110								
	6	1103	1730	3073	4577	6737	13043		113	113	180	340	577	990	990	2733	483	990	1550	2737	3990	5717	10110								
	7	1113	1737	3083	4623				123	123	180	340	577	990	990	2737	483	990	1550	2737	3990	5717	10110								
	8	1123		3097	4663				133	133	180	340	577	990	990	2737	483	990	1550	2737	3990	5717	10110								
	9	1130		3107	4680								370	640	640	2730	483	990	1550	2737	3990	5717	10110								
	10			3113	4683								370	653	653	2737	483	990	1550	2737	3990	5717	10110								
	11			3133	4707								370	643	643	2743	483	990	1550	2743	3990	5717	10110								
9	1	463	977	1505	2635	3834	5570	9354	12547	-2	42	70	182	319	678	1497	465	935	1435	2454	3515	4882	7857								
	2	463	993	1535	2712	3937	5739	9923	12547	+7	47	82	210	358	717	1762	457	947	1454	2502	3579	5022	8162								
	3	459	1000	1535	2737	3992	5870	10512	-2	49	80	222	370	757	1762	1912	460	952	1455	2505	3612	5113	8570								
	4	462	992	1542	2750	4035	5934	10774	34	34	87	230	400	791	791	2063	460	959	1455	2520	3635	5144	8710								
	5	978	1547	2750	4079	5988	11047		32	32	85	229	417	812	812	2110	460	947	1462	2524	3662	5177	8937								
	6	984	1545	2754	4100	6010							444	790	790	2110	460	947	1462	2524	3662	5177	8937								
	7			4122	6025								452	790	790	2110	460	947	1462	2524	3662	5177	8937								
	8			4150									467	790	790	2110	460	947	1462	2524	3662	5177	8937								
	9			4197									494	790	790	2110	460	947	1462	2524	3662	5177	8937								
	10			4199									494	790	790	2110	460	947	1462	2524	3662	5177	8937								
	11			4198									490	790	790	2110	460	947	1462	2524	3662	5177	8937								

Tabelle 27. Längenänderungen des Betons bei stufenweiser Laststeigerung und wiederholtem Entlasten auf 2090 kg Anfangsbelastung. Art der Querbewehrungen: Diagonalbügel aus 5-mm-Eisen.

Säule Nr.	Be- lastungs- reihe	Gesamtverkürzung — d_b in $\% \cdot 10^{-5}$										Bleibende Verkürzung — d_b in $\% \cdot 10^{-5}$										Federnde Verkürzung — d_b in $\% \cdot 10^{-5}$									
		12 530	22 960	33 330	53 750	73 710	98 500	145 800	174 240	12 530	22 960	33 330	53 750	73 710	98 500	145 800	12 530	22 960	33 330	53 750	73 710	98 500	145 800								
13		547	1047	1643	2890	4190	6047	10587	15170	17	87	137	340	567	1007	2340	530	960	1507	2550	3623	5040	8247								
		557	1077	1673	2937	4310	6263	11170		23	110	177	373	613	1063	2730	533	967	1497	2563	3697	5200	8440								
		557	1087	1687	2973	4343	6327	11603		33	170	190	377	643	1170	2857	523	977	1497	2597	3700	5157	8747								
		4	557	1093	1703	2990	4397	6393	11870	40	110	197	397	683	1190	3020	550	983	1507	2593	3713	5203	8850								
		5	517	1097	1713	3010	4437	6467	12070	37	110	210	403	683	1277	3167	480	987	1503	2607	3753	5190	9237								
	am	6	517	1100	1727	3020	4467	6530	12270	40	120	210	420	703	1273	3253	477	1013	1517	2600	3753	5257	9017								
	Ende	7	517	1107	1737	3040	4487	6563	12437	37		227		733	1287	3393	480		1500		3753	5277	9043								
		8	520		1737		4523	6623	12537					757	1300	3470						3757	9067								
		9				4540	6733	12670							1387	3493						3757	9067								
		10					6750									1390						5273	9177								
		11						6750														5010									
14		510	1100	1737	3087	4573	6653	12393		23	80	157	350	587	1003	2627	487	1020	1580	2737	3987	5650	9767								
		527	1117	1780	3213	4713	6930	13593		33	87	183	373	653	1117	3247	493	1030	1597	2840	4060	5813	10347								
		3	537	1130	1817	3257	4797	7110	14427	40	90	187	403	677	1190	3737	497	1040	1630	2853	4120	5920	10690								
		4	537	1140	1823	3263	4853	7207	15027	47	97	203	423	693	1217	4023	490	1043	1620	2840	4160	5990	11003								
	in der	5	540	1150	1833	3290	4877	7393	15660	103	103	200	440	693	1263	4327		1047	1633	2850	4183	6000	11333								
	Mitte	6	1163	1853	3320	4907	7373	15993			110	207	447	720				1053	1647	2873	4187										
		7	1170		1857	3327	4950					203	457	737					1653	2870	4213										
		8		1863		3327	5000						453	760						2873	4240										
		9			3353	5003							453	773							2900	4230									
		10			3357	5020																									
15		470	1015	1603	2780	4073	5807	9883		12	59	125	254	445	745	1697	458	957	1479	2527	3629	5082	8187								
		2	477	1034	1624	2837	4167	5972	10615	23	64	130	279	480	795	1914	454	970	1494	2575	3687	5177	8702								
		3	489	1047	1640	2872	4235	6100	11049	30	70	140	287	522	847	2035	458	977	1500	2585	3714	5254	9013								
		4	495	1055	1649	2895	4272	6173	11347	34	80	144	304	534	894	2192	462	975	1505	2594	3739	5280	9150								
	in der	5	495	1064	1665	2922	4292	6229	11134		89	150	309	535	913	2267		975	1515	2614	3757	5315	9317								
	Mitte	6	1062	1667	2927	4322	6279	11733			147		312	544					1520	2615	3778										
		7		1674		2942	4339						320	550						2622	3788										
		8			2950	4347							327	562						2624	3785										
		9			2959	4370							332	562						2627	3804										
	10			2960	4389								347	580						2614	3809										
	11			2975	4402																										

Tabelle 29. Längenänderungen des Betons bei stufenweiser Laststeigerung und wiederholtem Entlasten auf 2090 kg Anfangsbelastung. Art der Querbewehrungen: Spirale aus 5-mm-Eisen.

Säule Nr.	Be- lastungs- reihe	Gesamtverkürzung — δ_b in $\frac{0}{10} \cdot 10^{-5}$											Bleibende Verkürzung — δ'_b in $\frac{0}{10} \cdot 10^{-5}$											Federnde Verkürzung — δ''_b in $\frac{0}{10} \cdot 10^{-5}$										
		12530	22060	33330	53750	73710	98500	145800	19530	22960	33330	53750	73710	98500	145800	19530	22960	33330	53750	73710	98500	145800												
19	in der Mitte	1	490	1060	1674	2867	4175	5890	9688	26	72	145	254	414	683	1525	465	989	1528	2614	3762	5207	8163											
		2	497	1077	1687	2932	4245	6026	10360	30	78	150	277	450	729	1687	467	999	1538	2655	3795	5299	8674											
		3	502	1099	1694	2957	4317	6125	10694	32	92	158	284	450	783	2725	470	1007	1535	2674	3827	5342	7968											
		4	502	1100	1710	2978	4370	6197	12027	30	99	168	302	503	793	2935	—	1002	1542	2677	3867	5404	9092											
		5	502	1105	1717	2984	4389	6235	12272	30	104	173	315	510	823	3007	—	1002	1542	2685	3879	5412	9265											
		6	1115	1722	3014	4404	6280	12553	—	114	170	170	319	522	823	—	997	1552	—	—	—	—	—	—										
		7	1110	1717	3024	4420	6324	—	—	115	—	—	322	533	—	—	995	—	—	—	—	—	—	—										
		8	1110	—	3035	4445	—	—	—	—	—	—	330	547	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—										
		9	—	—	3045	4457	—	—	—	—	—	—	330	544	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—										
		10	—	—	3050	4474	—	—	—	—	—	—	335	555	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—										
		11	—	—	3059	4483	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—										
20	in der Mitte	1	630	1407	2187	3707	5333	7480	—	33	90	157	310	570	1007	—	597	1317	2030	3397	4763	6473	—											
		2	653	1417	2203	3783	5423	7790	—	33	97	167	350	593	1073	—	620	1320	2037	3433	4830	6717	—											
		3	653	1447	2240	3830	5513	7940	—	37	100	183	353	640	1090	—	617	1347	2057	3477	4873	6850	—											
		4	657	1450	2253	3863	5553	8007	—	43	107	180	393	650	1117	—	613	1343	2073	3470	4903	6890	—											
		5	667	1457	2263	3900	5603	8097	—	—	107	183	410	673	1153	—	—	1350	2080	3490	4930	6943	—											
		6	1460	2270	3927	5633	8473	—	—	—	—	187	423	680	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—										
		7	—	2277	3957	5663	—	—	—	—	—	—	423	703	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—										
		8	—	—	3967	5690	—	—	—	—	—	—	430	723	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—										
		9	—	—	3970	5717	—	—	—	—	—	—	443	733	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—										
		10	—	—	4000	5743	—	—	—	—	—	—	443	733	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—										
		11	—	—	4010	5763	—	—	—	—	—	—	463	753	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—										
21	am Ende	1	640	1467	2340	4193	6027	8430	14563	60	197	390	843	1370	2173	5137	580	1270	1950	3350	4657	6257	9427											
		2	667	1507	2417	4323	6173	8717	16163	73	213	410	907	1453	2357	5627	593	1293	2007	3417	4720	6360	10537											
		3	687	1530	2460	4403	6290	8920	16797	83	230	450	963	1543	2490	5980	603	1300	2010	3440	4747	6430	10817											
		4	693	1547	2490	4460	6363	9063	17263	93	247	533	1000	1593	2583	6350	600	1300	1957	3460	4770	6480	10913											
		5	703	1603	2577	4503	6383	9160	17730	93	270	553	1027	1630	2667	6603	—	1333	2023	3477	4753	6493	11127											
		6	1600	2590	4533	6493	9287	—	—	—	—	560	1057	1697	—	—	—	1327	2030	3470	4797	—	—	—										
		7	1603	—	2610	4563	6533	—	—	—	—	563	1093	1740	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—										
		8	—	—	2623	4597	6560	—	—	—	—	—	1133	1773	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—										
		9	—	—	—	4637	6590	—	—	—	—	—	1160	1797	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—										
		10	—	—	—	4660	6630	—	—	—	—	—	1170	1837	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—										
		11	—	—	—	4683	6667	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—										

Tabelle 32.
Vergleich der Verkürzungen des Betons in der Mitte und am Ende
der Säulen.

Letzte Beobachtung nach wiederholtem Be- und Entlasten.

Säule Nr.	Querbewehrung		Ver- kürzung gemessen	Gesamtverkürzung — δ_b in $\text{‰} \cdot 10^{-5}$ bei den folgenden Belastungen in kg							
	Form	Eisen- durch- messer cm		12 530	22 960	33 330	53 750	73 710	98 500	145 800	
1	geschweißte Ringe	0,5	am Ende	673	1403	2223	3890	5480	7807	14413	
4		0,7		490	1077	1730	3193	4557	6653	13203	
7	umgehakte Ringe	0,5		483	1060	1730	3113	4540	6630	11937	
10		0,7		660	1480	2340	4080	5833	8087	13643	
13	Diagonal- bügel	0,5		520	1107	1737	3040	4540	6750	12737	
16		0,7		507	1067	2043	3107	4710	6881	14010	
21	Spiralen	0,5		703	1603	2623	4683	6667	9287	17697	
24		0,7		460	1017	1707	3230	4823	6893	12503	
2	geschweißte Ringe	0,5		in der Mitte	557	1213	1927	3403	4927	7090	12683
3					528	1129	1764	3092	4585	6527	12335
5		0,7	640		1380	2173	3827	5740	8510	16670	
6			562		1137	1767	3110	4680	6687	12879	
8	umgehakte Ringe	0,5	517		1130	1737	3133	4707	6737	13043	
9			462		984	1545	2754	4198	6025	11047	
11		0,7	500		1070	1627	2933	4403	6303	12153	
12			493		1048	1685	3047	4603	6537	12245	
14	Diagonal- bügel	0,5	540		1170	1863	3357	5020	7373	15993	
15			495		1062	1674	2975	4402	6279	11733	
17		0,7	463	983	1590	2890	4403	6457	12160		
18			647	1370	2150	3787	5618	8179	—		
19	Spiralen	0,5	502	1110	1717	3059	4483	6280	12553		
20			667	1460	2277	4010	5763	8473	—		
22		0,7	542	1143	1740	3024	4377	6108	10337		
23			507	1163	1910	3403	5070	7263	—		
Mittel für die bewehrten Säulen, gemessen			am Ende	562	1227	2017	3567	5144	7374	13643	
			in der Mitte	542	1160	1820	3113	4811	6927	12756	
25	unbewehrt		am Ende	583	1243	1967	3347	4903	7203	13607	
27				457	993	1587	2860	4243	6130	11853	
Mittel				570	1118	1777	3104	4573	6667	12730	
26			in der Mitte	393	813	1340	2550	4033	6053	12040	
27				483	993	1567	2847	4270	6213	12330	
Mittel				438	903	1454	2699	4152	6133	12185	

Tabelle 33. Längenänderungen der quadratischen Säulen, gemessen zwischen den beiden Druckplatten bis 174 240 kg Belastung. Letzte Beobachtung nach wiederholtem Be- und Entlasten (s. Tab. 23 bis 31).

Säulen Nr.	Querbewehrung		Gesamtverkürzung in $\% \cdot 10^{-4}$										Bleibende Verkürzung in $\% \cdot 10^{-4}$										Federnde Verkürzung in $\% \cdot 10^{-4}$									
	Form	Eisen- durch- messer	12 530	22 960	33 330	53 750	73 710	98 500	145 800	174 240	12 530	22 960	33 330	53 750	73 710	98 500	145 800	12 530	22 960	33 330	53 750	73 710	98 500	145 800								
bei den folgenden Belastungen in kg																																
2	ge- schweißte Ringe	0,5	119	231	342	554	733	987	1622	1982	46	90	131	216	278	359	604	73	142	211	338	456	628	1018								
3			108	210	307	480	656	864	1438	1715	39	72	103	159	218	277	503	69	138	204	321	439	586	936								
Mittel			113	221	325	517	695	926	1530	1849	43	81	117	188	248	318	554	71	140	208	330	448	607	977								
5	Ringe	0,7	106	231	344	557	754	1045	1729	2180	14	64	108	191	260	369	630	92	167	237	366	495	676	1099								
6			87	179	269	446	632	849	1434	1712	25	52	85	138	201	264	489	63	127	184	309	431	585	945								
Mittel			97	205	307	502	693	947	1582	1946	20	58	97	165	231	317	560	78	147	211	338	463	631	1022								
8	um- gehakete Ringe	0,5	99	203	307	524	733	965	1644	2081	27	66	97	179	266	341	638	72	138	210	344	468	625	1006								
9			74	153	231	388	560	752	1249	1469	16	31	49	85	137	183	347	57	122	182	303	424	569	902								
Mittel			87	178	269	456	647	859	1447	1775	22	49	73	132	202	262	493	65	130	196	324	446	597	954								
11	Diagonal- Bügel	0,7	111	226	325	520	692	893	1452	1685	38	80	115	184	246	296	499	73	146	210	336	447	597	953								
12			93	194	293	485	668	872	1401	1642	23	51	84	150	216	268	454	70	143	209	335	453	604	948								
Mittel			102	210	309	503	680	883	1427	1664	31	66	100	167	231	282	477	72	145	210	336	450	601	951								
14	Diagonal- Bügel	0,5	116	220	321	512	744	981	1712	2207	37	81	125	209	267	347	636	79	153	222	350	477	634	1076								
15			97	209	316	502	677	898	1517	1796	29	71	112	180	239	309	541	67	139	204	322	438	589	976								
Mittel			107	215	319	507	711	940	1615	2002	33	76	119	195	253	328	589	73	146	213	336	458	612	1026								
17	Spiralen	0,7	123	226	327	505	677	909	1570	1916	50	86	123	182	235	298	558	71	140	204	323	441	611	1012								
18			96	234	368	607	859	1195	2384	—	19	68	128	237	346	478	939	78	165	240	370	514	717	1321								
Mittel			110	230	348	556	768	1052	1977	—	35	77	126	210	291	388	749	75	153	222	347	478	664	1167								
19	Spiralen	0,5	108	244	361	597	807	1059	1741	—	37	102	152	268	356	454	772	70	142	209	329	451	606	969								
20			106	201	287	472	664	924	1563	—	24	47	77	136	201	286	494	82	154	211	336	463	638	1069								
21			82	183	283	472	652	888	1643	—	15	42	76	133	189	252	509	67	141	207	339	463	636	1075								
Mittel	99	209	310	514	708	957	1649	—	25	64	102	179	249	331	612	73	146	209	335	459	627	1038										
22	Spiralen	0,7	92	189	286	475	646	848	1380	—	27	52	84	148	205	266	459	65	137	202	327	441	583	921								
23			106	218	331	526	723	974	1573	—	23	57	100	167	238	333	513	83	162	231	358	485	651	1060								
24			77	158	254	441	629	856	1476	—	8	21	50	119	188	262	520	69	137	204	323	442	594	956								
Mittel	92	188	290	481	666	893	1476	—	19	43	78	145	210	284	497	72	145	212	336	456	609	979										
26	unbewehrt	unbewehrt	128	232	332	506	684	906	1520	—	56	98	133	198	260	331	573	73	134	198	308	424	575	947								
27			88	193	291	465	639	867	1496	—	22	52	85	145	202	267	510	67	141	206	320	438	600	986								
Mittel			108	213	312	485	661	887	1508	—	89	75	109	172	231	299	542	70	138	202	314	431	588	967								

Tabelle 33a.

Längenänderungen der quadratischen Säulen, gemessen zwischen den Druckplatten, bei Belastungen über 174 240 kg.

Säulen Nr.	Querbewehrung		Bedeutung der Werte	Belastungen P in kg und die zugehörigen Gesamt-Verkürzungen — δ in $\% \cdot 10^{-4}$						
	Form	Eisen- durchmesser cm								
2	ge- schweißte Ringe	0,5	P	180 440	178 390	163 870	143 140	—	—	
			— δ	2 468	2 880	3 543	4 359	—	—	
3			P	183 280	163 870	143 140	—	—	—	
			— δ	2 378	3 166	3 552	—	—	—	
5			0,7	P	182 470	180 440	178 390	163 870	143 140	—
				— δ	2 958	3 196	3 319	4 065	4 804	—
6			P	188 560	196 680	192 620	180 440	163 870	—	
			— δ	2 163	2 668	3 542	4 407	5 134	—	
8	um- gehakte Ringe	0,5	P	186 530	184 500	163 870	—	—	—	
				— δ	2 459	2 746	3 643	—	—	—
9			P	195 060	184 500	163 870	143 140	—	—	
			— δ	2 124	2 663	3 124	3 413	—	—	
11		0,7	P	184 700	194 650	196 680	184 500	163 870	—	
			— δ	1 956	2 522	2 875	3 740	4 587	—	
12			P	186 530	204 190	194 650	184 500	174 240	163 870	
			— δ	2 033	2 747	3 784	4 294	4 685	5 151	
14	Diagonal- Bügel	0,5	P	172 580	109 940	—	—	—	—	
				— δ	2 698	4 229	—	—	—	—
15			P	184 500	172 170	163 870	122 400	—	—	
			— δ	2 343	2 951	3 389	3 805	—	—	
17			0,7	P	183 280	178 390	143 140	—	—	—
				— δ	2 501	2 796	3 869	—	—	—
18			P	153 050	143 140	122 400	—	—	—	
			— δ	2 747	3 113	3 877	—	—	—	
19	Spiralen	0,5	P	198 710	184 500	163 870	143 140	—	—	
				— δ	2 797	3 524	4 035	4 683	—	—
20				P	165 950	163 870	143 140	122 400	101 630	—
				— δ	2 115	2 517	2 933	3 527	4 938	—
21				P	163 870	143 140	122 400	—	—	—
				— δ	2 996	3 635	4 567	—	—	—
22			0,7	P	204 800	184 500	163 870	143 140	—	—
				— δ	2 290	3 363	4 166	5 185	—	—
23		P		171 310	163 870	143 140	122 400	—	—	
		— δ		2 071	2 491	3 542	4 669	—	—	
24			P	196 680	194 650	184 500	163 870	143 140	—	
			— δ	2 428	3 279	3 463	4 125	4 966	—	

Tabelle 34.

Festigkeit der Säulen mit quadratischem Querschnitt.

Querschnitt = 30 × 30 cm; Längsbewehrung: 4 Rundisen von 2 cm Durchmesser.
Länge = 1,3 m; Alter: 90 Tage.

Versuch Nr.	Säule			Querbewehrung			Belastung beim Beginn der Riß- bildung kg	Bruchbelastung		Verhältnis der Festigkeit Säule zu Würfel $\frac{P}{P_1} \cdot 100\%$
	Nr.	angefertigt bei mittlerer		Form	Eisen- durch- messer cm	Längs- abstand cm		der Säulen P kg	des zu- gehörigen Würfels P ₁ kg	
		Zimmer- wärme C°	relativer Luftfeuch- tigkeit %							
1	1	16	67	Geschweißte	0,5	5	172 170	172 170	209 200	82
14	2	17	68				174 240	180 440	202 500	89
30	3	22,5	60				174 240	183 280	215 700	85
Mittel		19	65				173 550	178 630	209 130	85
3	4	17	62	Ringe	0,7	5	196 680	201 350	222 300	91
13	5	17	70				174 240	182 470	202 500	90
33	6	19,5	64				188 560	196 680	210 500	93
Mittel		18	65				186 490	193 500	211 770	91
7	7	17	54	Umgehakte	0,5	5	191 200	191 200	215 700	89
22	8	15	53				174 240	186 530	201 200	93
37	9	15	50				174 240	195 060	222 300	88
Mittel		16	52				179 890	190 930	213 070	90
5	10	16	59	Ringe	0,7	5	174 240	176 730	211 800	83
28	11	17	76				186 730	196 680	222 300	88
35	12	18	63				186 530	204 190	214 400	95
Mittel		17	67				182 500	192 530	216 170	89
8	13	17	61	Diagonal- Bügel	0,5	5	185 520	185 520	217 000	85
21	14	17	48				174 240	174 240	201 200	87
40	15	20	50				174 240	184 500	215 700	86
Mittel		18	53				178 000	181 420	211 300	86
9	16	17	55	Bügel	0,7	5	182 880	182 880	218 300	84
20	17	18	48				174 240	183 280	210 500	87
42	18	16	58				145 800	153 090	197 200	78
Mittel		17	54				167 640	173 080	208 670	83
44	19	16	59	Spirale	0,5	5	174 240	198 710	217 000	92
54	20	24	67				(145 800)	(165 950)	(144 600)	—
58	21	22	80				174 240	174 240	199 900	87
Mittel		21	69				174 240	185 500	[208 450]	[89]
46	22	17,5	56	Spirale	0,7	5	204 800	204 800	210 500	97
56	23	24	77				(145 800)	(171 340)	(162 200)	—
60	24	21	59				196 680	196 680	197 200	100
Mittel		21	64				200 740	200 740	[203 850]	[99]
10	25	18,5	57	Unbewehrt	—	—	—	175 700	210 500	83
25	26	16	56					179 210	223 600	80
48	27	16	80					176 730	197 200	90
Mittel		17	64				177 210	210 430	84	

Die Bruchlasten der den Säulen 20 und 23 zugehörigen Betonwürfel sind von der Mittelbildung ausgeschlossen, da sie von denen der übrigen Würfel auffallend abweichen. Die Ursache für diese Abweichungen hat nicht ermittelt werden können.

Tabelle 35 (Fortsetzung). Längenänderungen des Betons bei stufenweiser Laststeigerung und wiederholtem Entlasten auf 2090 kg Anfangsbelastung. Art der Querbewehrungen: Geschweißte Ringe aus 5-mm-Eisen.

Säule Nr.	Be- lastungs- reihe	Gesamtverkürzung — d_b in $\frac{0}{10} \cdot 10^{-5}$										Bleibende Verkürzung — d_b in $\frac{0}{10} \cdot 10^{-5}$										Federnde Verkürzung — d_b in $\frac{0}{10} \cdot 10^{-5}$									
		12 530	22 960	33 330	53 750	73 710	98 500	145 800	174 240	12 530	22 960	33 330	53 750	73 710	98 500	145 800	12 530	22 960	33 330	53 750	73 710	98 500	145 800	12 530	22 960	33 330	53 750	73 710	98 500	145 800	
in der Mitte	1	480	1093	1813	3087	4510	6487	11287	20	100	250	413	613	940	2190	460	993	1563	2673	3897	5547	9097	460	993	1563	2673	3897	5547	9097		
	2	487	1130	1830	3157	4607	6650	12287	23	147	263	439	633	997	2563	463	983	1567	2747	3973	5653	9723	463	983	1567	2747	3973	5653	9723		
	3	493	1180	1853	3187	4667	6747	12953	27	157	267	443	663	1033	2793	466	1027	1587	2743	4003	5713	10160	466	1027	1587	2743	4003	5713	10160		
	4	507	1193	1860	3203	4707	6853	13420	30	173	270	457	687	1083		477	1020	1590	2747	4020	5770		477	1020	1590	2747	4020	5770			
	5	513	1203	1863	3237	4733	6917		33	193	287	457	723	1103		480	1010	1577	2780	4010	5813		480	1010	1577	2780	4010	5813			
	6	520	1220	1870	3243	4780	6967		37	200	293	480	730	1140		483	1020	1577	2763	4050	5827		483	1020	1577	2763	4050	5827			
	7	517	1220	1883	3273	4797	7027		37	203	300	480	740			480	1017	1583	2797	4057			480	1017	1583	2797	4057				
	8	517	1230	1893	3283	4823			37	213	307	493	750			480	1017	1587	2790	4073			480	1017	1587	2790	4073				
	9	517	1233	1900	3290	4853			213	213	310	507	750			1020	1590	2783	4103				1020	1590	2783	4103					
	10		1240	1903	3293	4857			217	217	313		753			1023	1590			4103			1023	1590			4103				
	11		1247	1903	4867																										
am Ende	1	610	1283	2040	3503	5010	6930	11203	23	130	287	563	913	1477	3357	587	1153	1753	2940	3763	5453	7847	587	1153	1753	2940	3763	5453	7847		
	2	613	1313	2073	3583	5130	7097	12027	40	147	307	593	983	1577	3893	573	1167	1767	2990	4147	5820	8133	573	1167	1767	2990	4147	5820	8133		
	3	620	1340	2090	3620	5190	7190	12537	47	170	313	633	1027	1657	4150	573	1170	1777	2987	4163	5833	8387	573	1170	1777	2987	4163	5833	8387		
	4	627	1347	2103	3653	5250	7293	12917	53	180	320	650	1073	1723		573	1167	1783	3003	4177	5870		573	1167	1783	3003	4177	5870			
	5	643	1357	2113	3677	5287	7370		63	187	330	660	1113	1777		580	1170	1783	3017	4173	5893		580	1170	1783	3017	4173	5893			
	6	650	1370	2123	3693	5330	7407		73	197	340	700	1143	1817		577	1173	1783	2993	4187	5890		577	1173	1783	2993	4187	5890			
	7	650	1377	2143	3720	5360	7467		80	203	347	693	1157			570	1173	1797	3027	4203			570	1173	1797	3027	4203				
	8	650	1390	2150	3740	5393			77	213	360	710	1177			573	1177	1790	3030	4217			573	1177	1790	3030	4217				
	9	650	1397	2163	3743	5413			220	220	360	713	1190			1177	1803	3030	4223				1177	1803	3030	4223					
	10		1410	2170	3750	5420			227	227	363		1197			1183	2140			4223			1183	2140			4223				
	11		1410	2170	5433																										

Tabelle 36 (Fortsetzung). Längenänderungen des Betons bei stufenweiser Laststeigerung und wiederholtem Entlasten auf 2090 kg Anfangsbelastung. Art der Querbewehrungen: Geschweißte Ringe aus 7-mm-Eisen.

Säule Nr.	Be- lastungs- reihe	bei den folgenden Belastungen in kg														Fedemde Verkürzung — δ_b in $\% \cdot 10^{-5}$					
		Gesamtverkürzung — δ_b in $\% \cdot 10^{-5}$							Bleibende Verkürzung — δ_b in $\% \cdot 10^{-6}$												
		22960	33330	53750	73710	98500	145800	19530	22960	33330	53750	73710	98500	145800	12530	22960	33330	53750	73710	98500	145800
in der Mitte	1	367	1000	1643	3003	4490	6470	10	153	283	450	663	943	—	363	847	1360	2553	3827	5527	—
	2	397	1003	1650	3070	4587	6660	80	167	293	490	703	1023	—	317	837	1357	2580	3883	5630	—
	3	413	1010	1663	3100	4647	6730	93	180	310	497	727	1053	—	320	830	1353	2603	3920	5677	—
	4	427	1013	1667	3110	4690	6800	103	190	327	510	743	1097	—	323	823	1340	2600	3947	5703	—
	5	433	1013	1663	3123	4707	6860	103	193	330	530	770	1123	—	330	820	1333	2593	3937	5737	—
	6	437	1017	1670	3150	4743	6897	103	193	333	540	790	—	—	333	800	1337	2610	3953	—	—
	7	443	1023	1670	3157	4770	—	—	217	337	560	800	—	—	807	807	1333	2597	3970	—	—
	8	1023	1023	1670	3167	4777	—	—	227	347	567	800	—	—	797	797	1323	2600	3977	—	—
	9	1030	1030	1670	3183	4793	—	—	237	353	570	817	—	—	793	793	1317	2613	3977	—	—
	10	1023	1023	1673	3193	4827	—	—	240	360	573	837	—	—	783	783	1313	2620	3990	—	—
	11	1017	1017	1677	3193	4833	—	—	240	363	—	—	—	—	777	777	1313	—	—	—	—
	12	1030	1030	1683	—	—	—	—	—	367	—	—	—	—	1317	—	—	—	—	—	—
	13	1680	—	—	—	—	—	—	—	370	—	—	—	—	1310	—	—	—	—	—	—
	14	1683	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
am Ende	1	517	1240	1980	3630	5473	7950	—	67	223	690	1323	2273	—	553	1173	1757	2940	4150	5677	—
	2	533	1263	2023	3803	5717	8237	—	83	240	773	1457	2473	—	557	1180	1783	3030	4260	5763	—
	3	560	1280	2053	3877	5857	8393	—	97	263	817	1560	2610	—	567	1183	1790	3060	4297	5783	—
	4	573	1287	2073	3933	5953	8513	—	100	283	867	1620	2737	—	573	1187	1790	3067	4333	5777	—
	5	573	1293	2080	3983	6020	8617	—	113	297	897	1690	2793	—	573	1183	1783	3087	4330	5823	—
	6	580	1303	2107	4020	6083	8690	—	7	120	310	927	1730	—	573	1183	1797	3093	4353	—	—
	7	583	1310	2120	4060	6143	—	—	130	313	957	1773	—	—	1180	1807	1807	3103	4367	—	—
	8	1313	2137	4080	4113	6257	—	—	133	323	983	1793	—	—	1180	1817	1817	3097	4387	—	—
	9	1323	2143	4113	4133	6257	—	—	140	330	997	1857	—	—	1183	1817	1817	3117	4400	—	—
	10	1327	2150	4133	4133	6270	—	—	143	340	1017	1887	—	—	1183	1810	1810	3117	4383	—	—
	11	1327	2157	4157	4157	6303	—	—	143	350	—	—	—	—	1183	1807	1807	—	—	—	—
	12	1340	2170	4170	4170	6353	—	—	143	353	—	—	—	—	1183	1817	1817	—	—	—	—
	13	2180	—	—	—	—	—	—	—	357	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	14	2180	—	—	—	—	—	—	—	370	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Tabelle 37 (Fortsetzung). Längenänderungen des Betons bei stufenweiser Laststeigerung und wiederholtem Entlasten auf 2090 kg Anfangsbelastung. Art der Querbewehrungen: Umgehakte Ringe aus 5-mm-Eisen.

Säule Nr.	Gemessen	Belastungsreihe	Gesamtverkürzung — d_b in $\frac{0}{10} \cdot 10^{-5}$										Bleibende Verkürzung — d_b in $\frac{0}{10} \cdot 10^{-5}$										Federnde Verkürzung — d_b in $\frac{0}{10} \cdot 10^{-5}$									
			bei den folgenden Belastungen in kg										bei den folgenden Belastungen in kg										bei den folgenden Belastungen in kg									
			12 530	22 960	33 330	53 750	73 710	98 500	145 800	12 530	22 960	33 330	53 750	73 710	98 500	145 800	12 530	22 960	33 330	53 750	73 710	98 500	145 800									
		1	443	983	1500	2590	3783	5540	—	30	107	197	307	483	827	—	413	877	1303	2283	3300	4713	—									
		2	463	997	1533	2657	3870	5703	—	63	120	207	343	503	857	—	400	877	1327	2313	3367	4847	—									
		3	477	1003	1557	2663	3923	5767	—	70	133	213	353	517	893	—	407	870	1343	2310	3407	4873	—									
		4	503	1010	1557	2687	3960	5810	—	77	143	213	357	557	913	—	427	867	1343	2330	3403	4897	—									
		5	507	1013	1560	2693	3993	5890	—	80	143	217	350	573	937	—	427	870	1343	2343	3420	4920	—									
		6	513	1020	1567	2703	4030	5937	—	143	143	223	360	600	—	—	877	1343	1343	2343	3430	—	—									
		7		1023	1573	2053	4057						363	617						2357	3440											
		8				2063	4067						363	633						2367	3433											
		9				2060	4110						377	633						2350	3477											
		10				2080	4127						383	647						2363	3480											
		11				2090	4143																									
		1	677	1420	2140	3550	5063	7217	—	60	183	303	523	830	1440	—	617	1237	1837	3027	4233	5777	—									
		2	703	1447	2170	3660	5187	7447	—	87	203	327	560	883	1543	—	617	1243	1843	3100	4303	5903	—									
		3	723	1460	2197	3687	5263	7580	—	100	217	333	580	930	1630	—	623	1243	1863	3107	4333	5950	—									
		4	740	1473	2203	3717	5317	7677	—	117	230	337	593	980	1700	—	623	1243	1867	3123	4337	5977	—									
		5	750	1480	2217	3740	5360	7790	—	120	217	337	607	1007	1800	—	630	1263	1880	3133	4353	6657	—									
		6	760	1483	2223	3753	5403	7887	—	220	220	347	620	1043	—	—	1263	1877	1877	3133	4360	—	—									
		7		1487		3767	5437						627	1063						3140	4373											
		8				3777	5473						643	1103						3133	4370											
		9				3783	5517						653	1103						3130	4413											
		10				3807	5533						660	1130						3147	4403											
		11				3810	5570																									

Tabelle 38 (Fortsetzung). Längenänderungen des Betons bei stufenweiser Laststeigerung und wiederholtem Entlasten auf 2090 kg Anfangsbelastung. Art der Querbewehrungen: Umgehakte Ringe aus 7-mm-Eisen.

Säule Nr.	Be-lastungs-reihe	Gesamtverkürzung — δ_b in $\% \cdot 10^{-5}$											Bleibende Verkürzung — δ_b in $\% \cdot 10^{-5}$											Federnde Verkürzung — δ_b in $\% \cdot 10^{-5}$										
		bei den folgenden Belastungen in kg																																
		12530	22960	33330	53750	73710	98500	145800	174240	174240	12530	22960	33330	53750	73710	98500	145800	12530	22960	33330	53750	73710	98500	145800										
in der Mitte	1	507	1070	1680	2943	4330	6283	10803	15867	± 0	10	73	177	380	740	1800	507	1060	1607	2767	3950	5543	9003											
	2	510	1070	1720	3007	4417	6477	11467	7	13	93	223	383	797	2030	503	1057	1627	2783	4033	5680	9437												
	3	510	1080	1737	3060	4417	6567	11967	10		93	237	463	843	2263	500		1643	2823	4043	5723	9703												
	4	513		1753	3087	4580		12250			93	230	517		2393			1660	2857	4063		9857												
	5			1747	3093	4660		12567			90	233	237	553	2543			1657	2860	4107		10033												
	6			1743	3100	4667		12733				237	237	553							2863	4113												
	7				3117	4720						247	247	583							2870	4137												
	8				3147	4737						603	273	603							2873	4133												
	9				3157	4790						293	293	620							2877	4170												
	10				3177	4797						297	297	620							2880	4177												
	11				3180	4797																												
am Ende	1	553	1183	1820	3073	4410	6217	10353	14867	13	27	80	200	417	817	2037	540	1157	1740	2873	3993	5400	8317											
	2	557	1183	1850	3117	4473	6393	11063	13	27	100	243	420	880	940	2313	543	1157	1750	2873	4053	5513	8750											
	3	557	1187	1863	3173	4560	6480	11503	13		100	260	503	1070	1157	2550	543		1763	2913	4057	5507	8953											
	4	557		1877	3187	4630		11773			107	253	557	1157	1273	2737			1770	2933	4073		9037											
	5			1877	3200	4693		12070			107	260	603	603		2873			1770	2940	4090		9197											
	6			1877	3213	4717		12263				270	270	617							2943	4100												
	7				3230	4757						273	273	630							2957	4127												
	8				3253	4787						300	300	657							2953	4130												
	9				3267	4827						310	310	680							2957	4147												
	10				3287	4833						320	320	677							2967	4157												
	11				3293	4837																												

Tabelle 41 (Fortsetzung). Längenänderungen des Betons bei stufenweiser Laststeigerung und wiederholtem Entlasten auf 2090 kg Anfangsbelastung. Art der Querbewehrungen: Spiralen aus 12-mm-Eisen.

Säule Nr.	Be-lastungs-reihe	Gesamtverkürzung — d'' in $\% \cdot 10^{-5}$										Bleibende Verkürzung — d' in $\% \cdot 10^{-5}$										Federnde Verkürzung — d''' in $\% \cdot 10^{-5}$									
		12 530	22 960	33 330	53 750	73 710	98 500	145 800	174 240	12 530	22 960	33 330	53 750	73 710	98 500	145 800	12 530	22 960	33 330	53 750	73 710	98 500	145 800								
in der Mitte	1	530	1143	1783	3003	4343	6180	10 393	14 127	53	103	197	317	493	783	1830	477	1040	1587	2687	3850	5397	8563								
	2	540	1163	1813	3083	4457	6330	11 017		57	113	187	330	533	847	2093	483	1050	1627	2753	3923	5483	8923								
	3	557	1193	1833	3110	4510	6433	11 327		60	120	207	340	547	890	2213	497	1063	1627	2770	3963	5543	9113								
	4	567	1197	1847	3150	4553	6533	11 613		60	127	210	363	560	930	2327	507	1070	1637	2787	3993	5603	9287								
	5	577	1200	1857	3170	4590	6590	11 787		60	147	213	377	597	963	2400	517	1053	1643	2793	3993	5627	9387								
	6	580	1210	1863	3187	4640	6637	11 893		153	153	220	377	597	963	2400	517	1053	1643	2810	4043										
	7	1213	1867	3203	4653					153	200	377	603	603				1060	1667	2827	4050										
	8	1193	1850	3217	4677					203	387	603							1647	2830	4073										
	9		1860	3227	4690					227	393	627							1633	2833	4063										
	10		1880	3243	4717					227	397								1653	2847	4073										
	11		1883	3250	4733																										
am Ende	1	560	1250	2007	3627	5210	7177	11 660	16 017	43	127	287	693	1133	1753	3617	517	1123	1720	2933	4077	5423	8043								
	2	580	1280	2050	3703	5353	7343	12 430		57	147	293	753	1220	1880	4060	523	1133	1757	3010	4133	5463	8370								
	3	587	1297	2097	3813	5427	7460	12 837		57	153	310	797	1267	1973	4300	530	1143	1787	3017	4160	5487	8537								
	4	593	1313	2103	3873	5473	7567	13 203		60	160	317	833	1307	2050	4533	533	1153	1787	3040	4167	5517	8670								
	5	597	1320	2117	3900	5517	7633	13 443		60	180	330	860	1363	2123	4710	533	1140	1787	3040	4153	5510	8733								
	6	603	1333	2137	3927	5587	7700	13 640		60	187	353	870	1427	2123	4710	533	1147	1783	3057	4160										
	7	1340	2150	3950	5607					187	353	883	883	1420				1153	1797	3067	4187										
	8	1347	2160	3967	5627					363	910	1430							1797	3057	4197										
	9		2167	3987	5650					383	927	1463							1783	3060	4187										
	10		2190	4013	5687					390	930								1800	3083	4197										
	11		2200	4020	5707																										

Tabelle 45. Längenänderungen der achtseitigen Säulen, gemessen zwischen den Druckplatten, bei Belastungen über 174 240 kg.

Säulen Nr.	Querbewehrung		Bedeutung der Werte	Belastungen P in kg und die zugehörigen Gesamt-Verkürzungen — δ in $\% \cdot 10^{-4}$					
	Form	Eisen- durchmesser cm							
28	ge- schweißte Ringe	0,5	P	194 650	206 010	194 650	184 500	174 240	163 870
			$-\delta$	2 783	3 447	4 274	5 192	6 312	7 546
29			P	186 730	180 440	174 240	163 870	—	—
			$-\delta$	3 741	4 541	5 180	6 634	—	—
30			P	194 240	184 500	174 240	163 870	153 510	—
			$-\delta$	3 926	4 026	5 776	7 133	[8 851]	—
31		0,7	P	204 800	214 530	215 960	212 910	204 800	—
			$-\delta$	3 082	4 634	[6 023]	[7 030]	[8 961]	—
32			P	203 790	202 770	200 740	—	—	—
			$-\delta$	4 031	[6 589]	[8 076]	—	—	—
33			P	225 090	225 700	225 090	223 060	216 970	—
			$-\delta$	3 785	[5 124]	[5 525]	[7 211]	[8 114]	—
34	um- gehakte Ringe	0,5	P	165 290	159 730	153 510	—	—	—
			$-\delta$	3 098	4 104	4 942	—	—	—
35			P	174 240	181 170	184 500	174 240	163 870	—
			$-\delta$	2 623	3 773	4 670	5 838	7 150	—
36			P	194 040	184 500	174 240	—	—	—
			$-\delta$	3 546	4 724	5 721	—	—	—
37		0,7	P	203 790	209 050	204 800	—	—	—
			$-\delta$	3 915	5 110	7 804	—	—	—
38			P	191 400	200 740	203 380	202 770	—	—
			$-\delta$	3 197	4 453	5 239	[7 052]	—	—
39			P	194 650	210 880	214 940	212 910	210 880	—
			$-\delta$	2 476	3 898	5 572	7 060	7 723	—
40	Spiralen	0,5	P	204 800	205 410	200 740	194 650	184 500	—
			$-\delta$	3 084	3 641	4 715	5 423	6 584	—
41			P	162 000	159 730	153 510	151 430	—	—
			$-\delta$	2 672	3 239	3 821	5 511	—	—
42			P	194 650	190 590	184 500	174 240	—	—
			$-\delta$	3 540	4 563	5 763	6 872	—	—
43		0,7	P	200 330	210 070	206 820	—	—	—
			$-\delta$	4 350	7 748	10 188	—	—	—
44			P	177 740	191 000	192 420	190 590	—	—
			$-\delta$	3 517	6 724	7 935	11 722	—	—
45			P	184 500	188 560	189 780	191 000	192 620	—
			$-\delta$	4 974	6 271	6 985	[8 059]	[9 266]	—
65	1,2	1,2	P	204 800	230 370	293 240	—	—	—
			$-\delta$	2 736	4 101	8 701	—	—	—
66			P	204 800	235 240	255 690	—	—	—
			$-\delta$	2 898	5 228	6 896	—	—	—
67			P	204 800	224 080	245 440	—	—	—
			$-\delta$	2 653	3 669	6 361	—	—	—

Tabelle 46. Festigkeit der achtseitigen Säulen.
 Querschnitt = 900 qcm; Länge = 1,3 m; Alter = 90 Tage. Längsbewehrung: 8 Rundseisen von 1,4 cm Durchmesser.

Versuch Nr.	Säule		Querbewehrung		Belastung beim Beginn der Rißbildung kg	Bruchbelastung		Verhältnis- festigkeit Säule zu Würfel $P/P_1 \cdot 100$ o/o	Verhältnis der Bruchbe- lastungen, unbewehrt = 100 gesetzt	Eisen für Querbewehrung	
	Nr.	angefertigt bei mittlerer Zimmer- wärme C°	relativer Luft- feuchtigkeit o/o	Form		Eisen- durch- messer cm	Längs- abstand cm			der Säulen P kg	des zu- gehörigen Würfels P ₁ kg
39	28	19	58	f ge- schweißte Ringe	0,5	3	20610	222300	112,0	4330	23,8
52	29	70	186730				190500				
62	30	19,5	174240				201200				
Mittel		20	59				195660	204670			
41	31	20	50	g um- gehaltene Ringe	0,7	3	174240	215700	123,1	4040	24,3
50	32	17	145970				203780				
63	33	17,5	145970				225700				
Mittel		18	63				215140	209070			
23	34	15	53	h Spiralen	0,5	3	145800	(105320)	109,6	4330	23,8
24	35	19	174240				202500				
34	36	19,5	145800				210500				
Mittel		18	57				191610	204730			
29	37	17	76	i unbewehrt	0,7	3	145800	209050	119,8	4040	24,3
31	38	22,5	174240				203990				
36	39	18	194650				214940				
Mittel		18	66				209330	217470			
45	40	16	59	j unbewehrt	0,5	3	174240	205410	114,5	4940	16,3
55	41	24	145800				(162010)				
64	42	16,5	145800				218300				
Mittel		19	63				200030	217650			
43	43	16	58	k unbewehrt	0,7	3	174240	210070	115,2	4800	14,3
57	44	24	145800				(162200)				
65	45	—	145800				201200				
Mittel		20	68				201350	199200			
69	65	19,5	67	l unbewehrt	1,2	3	204800	375240	213,5	4490	17,6
70	66	16,5	68				145800	217000			
71	67	17,5	79				225090	211800			
Mittel		18	71				373120	214400			
38	46	15	50	m unbewehrt	—	—	145800	174850	100	—	—
26	47	16	56				145800	179420			
66	48	23	52				145800	170090			
Mittel		18	53				174790	216130			

Tabelle 51. Längenänderungen der Säulen Reihe B, gemessen zwischen den Druckplatten.
 Bis 145 800 kg letzte Beobachtung nach wiederholtem Be- und Entlasten. (S. Tab. 49 und 50.) Betonmischung: 1 Raumteil
 Zement auf $2\frac{1}{2}$ Raumteile Zuschlagsmaterial.

Säulen Nr.	Querbewehrung		Bedeutung der Werte	Verkürzung — δ in $\frac{0}{10} \cdot 10^{-4}$								
	Form	Eisen- durch- messer cm		bei den folgenden Belastungen in kg								
50	umgehakte Ringe	0,7	Gesamt- Verkürzung	12 530	22 960	33 330	53 750	73 710	98 500	145 800	174 240	204 800
51				140	258	353	514	652	819	1268	1429	1691
Mittel				112	203	300	476	659	887	1367	1557	1979
53	unbewehrt			126	231	327	495	656	863	1318	1493	1885
54				107	199	282	436	584	764	1210	1379	1661
Mittel				76	157	231	378	518	691	1076	1243	1527
50	umgehakte Ringe	0,7	Bleibende Verkürzung	69	118	152	211	255	320	458	—	—
51				20	51	88	146	228	304	484	—	—
Mittel				45	85	120	179	242	312	536	—	—
53	unbewehrt			41	68	93	142	186	234	405	—	—
54				19	35	53	91	127	168	294	—	—
Mittel				30	52	73	117	157	201	350	—	—
50	umgehakte Ringe	0,7	Federnde Verkürzung	71	140	201	303	398	525	765	—	—
51				92	153	213	330	432	584	889	—	—
Mittel				82	147	207	316	415	535	827	—	—
53	unbewehrt			66	132	189	295	399	531	806	—	—
54				57	122	178	286	391	524	782	—	—
Mittel				62	127	184	291	395	528	794	—	—
50	umgehakte Ringe	0,7	Belastung kg	215 960	230 170	246 460	235 240	204 800	184 500	163 870	—	—
51				—	1985	2684	3255	3716	—	4008	—	—
Mittel				2618	—	—	—	—	—	—	—	—

Tabelle 52. Einfluß fetterer Beton-Mischung auf die Festigkeit der Säulen und den Wirkungsgrad der Bewehrung.

Säulen mit quadratischem Querschnitt von 30×30 cm.

Länge = 1,3 m; Längsbewehrung: 4 Rundstaben von 2 cm Durchmesser; Alter = 90 Tage.

Versuch Nr.	Säule		Zusammen- setzung des Betons	Querbewehrung			Belastung beim Beginn der Rißbildung kg	Bruchbelastung		Verhältnis der Festigkeit Säule zu Würfeln $\frac{P}{P_1} \cdot 100$ %
	Nr.	angefertigt bei mittlerer Zimmer- wärme C°		relativer Luft- feuchtigkeit %	Form	Eisen- durch- messer cm		Längs- abstand cm	der Säulen P kg	
5	10	16	59	umgehakte Ringe	0,7	5	174 240	176 730	211 800	83
28	11	17	76				186 730	196 680	222 300	88
35	12	18	63				186 530	204 190	214 400	95
Mittel		17	66				182 500	192 530	216 170	89
10	25	18,5	57	unbewehrt			—	175 700	210 500	83
25	26	16	56				—	179 210	223 600	80
48	27	16	80				—	176 730	197 200	90
Mittel		17	64				—	177 210	210 430	84
11	49	19,5	57	umgehakte Ringe	0,7	5	204 800	251 180	284 500	88
27	50	17,5	63				204 800	246 460	291 900	84
51	51	17	70				174 240	215 960	270 400	80
Mittel		18	63				194 610	237 870	282 270	84
12	52	18	69	unbewehrt			—	234 220	290 600	81
17	53	16	62				238 260	239 900	290 600	83
53	54	20	70				204 800	238 480	299 300	80
Mittel		18	67				[221 530]	237 530	293 500	81

Tabelle 54 (Fortsetzung). Längenänderungen des Betons bei stufenweiser Laststeigerung und wiederholtem Entlasten auf 2090 kg Anfangsbelastung. Hohle Säulen: Materialquerschnitt = 821,5 qcm, Kernquerschnitt = 711 qcm. Art der Querbewehrungen: Spirale aus 7 mm-Eisen.

Säule Nr.	Gemessen	Be-lastungs-reihe	Gesamtverkürzung — d_b in $\% \cdot 10^{-5}$										Bleibende Verkürzung — d'_b in $\% \cdot 10^{-5}$										Federnde Verkürzung — d''_b in $\% \cdot 10^{-5}$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
			12530	22960	33330	53750	73710	98500	145800	145800	12530	22960	33330	53750	73710	98500	145800	12530	22960	33330	53750	73710	98500	145800	12530	22960	33330	53750	73710	98500	145800																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
			bei den folgenden Belastungen in kg																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
			603	1270	1960	3440	5130	7593	—	47	113	213	433	703	1280	—	557	1157	1747	3007	4427	6313	613	1283	2020	3527	5253	7957	—	50	120	230	477	760	1357	—	563	1163	1790	3050	4493	6000	630	1303	2040	3597	5363	8120	—	57	140	247	497	833	1417	—	570	1170	1800	3100	4530	6703	637	1313	2053	3623	5460	8280	—	60	143	253	523	863	1473	—	1167	1803	3137	4637	6860	1327	1317	2063	3673	5520	8397	—	150	260	537	883	1537	—	1177	1810	3140	4613	—	1327	1327	2083	3683	5570	8503	—	153	280	543	957	—	—	1173	1820	3170	4650	—	1340	1340	2103	3713	5620	—	—	287	553	973	—	—	—	1817	1817	3183	4697	—	2103	2103	3743	5700	—	—	—	293	560	1003	—	—	—	1810	1810	3183	4697	—	2117	2117	3753	5743	—	—	—	300	550	1013	—	—	—	1817	1817	3203	4730	—	2120	2120	3750	5760	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2390	1523	2390	4240	6423	9847	—	57	127	250	577	1187	2780	—	680	1397	2140	3663	5237	7067	743	1553	2470	4377	6657	10577	—	67	140	273	647	1357	3123	—	677	1413	2197	3730	5300	7453	753	1573	2490	4473	6837	10950	—	77	153	293	710	1497	3397	—	677	1420	2197	3763	5340	7553	753	1583	2520	4530	6987	11223	—	77	163	303	757	1587	3610	—	677	1427	2217	3773	5400	7613	753	1590	2537	4600	7100	11470	—	—	170	333	810	1733	3767	—	1427	2220	3817	5450	7670	1593	1593	2557	4637	7190	11640	—	—	177	340	823	1823	—	—	1430	2223	3827	5423	—	1607	1607	2570	4670	7280	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1430	2230	3847	5457	—	1617	1617	2580	4707	7373	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2233	3847	5503	—	—	2590	2590	4733	7430	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2233	3847	5503	—	—	2610	2610	4760	7513	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2233	3857	5500	—	—	2613	2613	4777	7557	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2250	3883	5530	—	—

Tabelle 55.
Längenänderungen des Betons bei stufenweiser Laststeigerung und wiederholtem Entlasten auf 2090 kg Anfangsbelastung.
Hohle Säulen: Materialquerschnitt = 821,5 qcm. Ohne Bewehrung.

Säule Nr.	Ge- messen	Be- lastungs- reihe	Gesamtverkürzung — δ_b in $\% \cdot 10^{-5}$											Bleibende Verkürzung — δ'_b in $\% \cdot 10^{-5}$											Federnde Verkürzung — δ''_b in $\% \cdot 10^{-5}$																																																																																																																																																																																																																						
			bei den folgenden Belastungen in kg																																																																																																																																																																																																																																												
			12350	22960	33330	53750	73710	98500	12530	22960	33330	53750	73710	98500	12350	22960	33330	53750	73710	98500	12350	22960	33330	53750	73710	98500																																																																																																																																																																																																																					
		1	533	1207	1893	3393	5073	7683	33	110	213	513	927	1860	500	1097	1680	2880	4147	5823			2	570	1237	1970	3553	5277	8057	37	120	240	550	1023	2020	533	1100	1690	2967	4257	6037			3	580	1263	1980	3600	5480	8513	43	137	253	587	1110	2213	537	1100	1717	2967	4293	6097			4	583	1273	1990	3647	5607		47	147	267	617	1167	2317	537	1117	1713	2983	4313	6197			5	583	1273	1990	3647	5607			153	273	627	1213			1120	1717	3020	4393					6		1273	2017	3660	5620				283	657	1253				1733	3003	4367					7		1273	2023	3697	5707				287	657	1317				1737	3040	4390					8			2033	3697	5737				293						1740							9			2037		5770										4400							10					5837										4440							11					5877																
		1	677	1490	2313	4077	6043	9153	57	210	370	603	1403	2727	620	1280	1943	3273	4640	6427			2	700	1527	2380	4223	6277	9667	70	233	413	877	1537	2960	630	1293	1967	3347	4740	6707			3	710	1540	2413	4293	6433	10017	80	250	433	927	1660	3203	630	1290	1980	3367	4773	6780			4	720	1560	2433	4353	6543	10290	87	253	440	963	1737	3407	633	1307	1993	3390	4807	6883			5	723	1570	2453	4393	6683			260	453	967	1810				2000	3427	4873					6		1577	2477	4427	6740				463	1030	1867				2013	3397	4873					7			2487	4450	6830				487	1033	1953				2000	3417	4877					8			2503	4463	6857				497		1973				2007	4883						9			2513		6913						2013					4900						10					7000						2013					4923						11					7043						2077										

Tabelle 56. Längenänderungen der Säulen, Reihe C, gemessen zwischen den beiden Druckplatten bis 145800 kg Belastung.

Letzte Beobachtung nach wiederholtem Be- und Entlasten (s. Tab. 53 bis 55).

Säulen Nr.	Zustand der Säulen	Äußerer Durchmesser der Spirale cm	Querschnitt		Verkürzungen in $\% \cdot 10^{-4}$								
			des Materials qcm	des Kerns qcm	Art	beobachtet bei den folgenden Belastungen in kg							
						12530	22960	33330	53750	73710	98500	145800	
43 44 45	voll	28	900	616	Gesamt	106	226	327	547	778	1083	2018	
						126	264	396	613	837	1149	1918	
						169	300	413	624	869	1255	2106	
Mittel						184	263	382	595	828	1162	2014	
55 56 57	hohl	28	821,5	537		124	257	386	640	881	1214	2094	
						127	260	372	583	829	1173	2251	
						128	276	422	671	952	1338	2325	
Mittel						126	264	393	631	887	1242	2223	
58 59 60	hohl	31,7	821,5	711		104	219	335	553	773	1053	1895	
						136	271	402	643	921	1304	2214	
						137	276	407	649	907	1234	2144	
Mittel						126	255	381	615	867	1197	2084	
Mittel 46--48	voll	unbewehrt	900	—		128	253	371	580	778	1047	1682	
72	hohl		821,5	—		84	194	304	527	789	1110	—	
Mittel 43--45	voll	28	900	616		41	90	133	215	307	437	812	
55 56 57	hohl	28	821,5	537		bleibend	43	88	140	242	332	452	823
							43	94	144	224	323	457	1026
							47	114	187	300	425	578	986
Mittel					44		99	157	255	360	496	945	
58 59 60	hohl	31,7	821,5	711	24		56	100	175	245	334	711	
					45		99	152	247	364	524	926	
					46		104	157	253	355	472	886	
Mittel					38		86	136	225	321	443	841	
Mittel 46--48	voll	unbewehrt	900	—	44		92	140	227	298	395	—	
72	hohl		821,5	—	5		34	74	147	257	373	—	
Mittel 43--45	voll	28	900	616	93		172	246	380	521	725	1204	
55 56 57	hohl	28	821,5	537	federnd		81	171	248	399	550	763	1271
						84	167	229	360	507	716	1225	
						81	163	235	371	527	759	1339	
Mittel						82	167	237	377	528	746	1278	
58 59 60	hohl	31,7	821,5	711		80	165	236	379	529	719	1186	
						91	172	250	396	557	780	1288	
						91	172	250	396	552	762	1258	
Mittel						87	170	245	390	546	754	1244	
Mittel 46--48	voll	unbewehrt	900	—		84	161	231	353	479	651	—	
72	hohl		821,5	—		80	160	229	380	533	737	—	

Tabelle 57.

Längenänderungen der Säulen, Reihe C, gemessen zwischen den beiden Druckplatten bei über 145 800 kg Belastung.

Säulen Nr.		55	-56	57	58	59	60
Außerer Durchmesser der Spirale cm		28			31,7		
Querschnitt qcm	des Materials	821,5			821,5		
	des Kerns	537			711		
	165 950	—	—	3367	—	—	—
	171 110	3236	—	—	—	—	—
	174 240	4795	3112	—	2209	2900	3057
	174 650	5297	—	—	—	—	—
Gesamtverkürzung	177 130	—	3836	—	—	—	—
	185 720	—	—	—	—	—	4750
in $\% \cdot 10^{-4}$	197 700	—	—	—	3774	—	—
bei den	199 520	—	—	—	—	5947	—
neben-	194 650	—	—	—	4387	—	—
stehenden	184 500	—	—	—	5862	7613	5929
Belastungen	174 240	—	5223	—	7289	—	7447
in kg	170 090	6344	—	—	—	—	—
	163 870	6975	—	—	—	—	8928
	161 800	—	—	4754	—	—	—
	159 730	—	—	6202	—	—	—
	143 140	9165	—	—	—	—	—

Tabelle 58. Vergleich hohler Säulen mit vollen. Achtseitige Säulen mit Spiralbewehrung. Länge = 1,3 m. Längsbewehrung: 8 Rundeisen von 1,4 cm Durchmesser. Spirale: Ganghöhe = 3 cm, Eisendurchmesser = 0,7 cm.

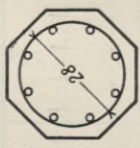
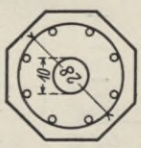
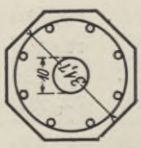
Versuch Nr.	Säule			Säulenquerschnitt				Belastung beim Beginn der Ribbildung kg	Bruchbelastung	
	Nr.	Zimmerwärme C°	angefertigt bei mittlerer relativer Luftfeuchtigkeit %/10	Form	Durchmesser des Hohlraumes cm	Größe des Querschnittes qcm			der Säulen P kg	des zugehörigen Würfels P ₁ kg
						Hohlraum	Gesamt	Kern		
43	16	58		voll	—	900	616	174 240	210 070	197 200
57	24	77						145 800	(192 420)	(162 200)
65	—	—						145 800	192 620	201 200
Mittel	20	68						155 280	201 330	199 200
47	17,5	56						145 800	174 660	210 500
61	21	59					537	145 800	177 150	197 200
67	20,5	57						98 500	165 950	206 500
Mittel	20	57						130 030	172 590	204 730
49	16	80		10	78,5	821,5		174 240	197 700	197 200
59	22	80					711	145 800	199 520	199 900
68	19	80						145 800	185 720	185 000
Mittel	19	80						155 280	194 310	194 030
Mittel für 46—48	18	53	unbewehrt	voll	—	900	—	145 800	174 790	216 130
32	18	64		10	78,5	821,5	—	98 500	141 680	215 700

Tabelle 60. Längenänderungen des Betons bei stufenweiser Laststeigerung und wiederholtem Entlasten auf 2090 kg Anfangsbelastung. Art der Proben: Zylindrische spiralbewehrte Säulen von 1,3 m Länge ohne Schale. Durchmesser = äußerer Durchmesser der Spirale = 28 cm; Ganghöhe der Spirale = 4 cm; Eisenstärke der Spirale bei Nr. 62 = 5 mm, bei Nr. 64 = 7 mm.

Säule Nr.	Geme-ssen-reihe	Gesamtverkürzung $-\delta_b$ in $\frac{0}{10} \cdot 10^{-5}$										Bleibende Verkürzung $-\delta_b'$ in $\frac{0}{10} \cdot 10^{-5}$										Federnde Verkürzung $-\delta_b''$ in $\frac{0}{10} \cdot 10^{-5}$									
		bei den folgenden Belastungen in kg																													
		12530	22960	33330	53750	73710	98500	12530	22960	33330	53750	73710	98500	12530	22960	33330	53750	73710	98500	12530	22960	33330	53750	73710	98500						
62	in der Mitte	1	283	1020	1773	3473	5630	8940	—	3	233	403	730	1243	1930	287	787	1370	2743	4387	7010										
		2	310	1060	1800	3607	5807	9440	10	243	433	810	1313	2190	300	817	1367	2797	4493	7250											
		3	320	1060	1793	3613	5906	9873	18	277	490	860	1317	2343	303	783	1303	2753	4590	7530											
		4	327	1050	1783	3627	5993	10173	20	303	483	923	1410	2440	307	747	1300	2703	4583	7733											
		5	330	1047	1790	3653	6083	10267	27	307	513	950	1410	2440	303	740	1277	2703	4583	7733											
		6	340	1047	1800	3670	6373	—	33	310	530	967	1410	2440	307	737	1270	2703	4583	7733											
		7	340	1050	1800	3673	—	—	40	577	1013	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020										
		8	347	—	1790	3673	—	—	—	573	1020	1050	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—									
		9	—	—	1790	3680	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—									
		10	—	—	—	3680	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—									
	am Ende	1	813	1770	2787	4937	7803	12287	47	253	397	977	2160	4347	767	1517	2390	3960	5643	7940											
		2	833	1863	2853	5207	8220	13387	67	267	427	1120	2370	5023	767	1597	2427	4087	5850	8363											
		3	847	1890	2893	5293	8423	14160	67	283	473	1213	2523	5477	780	1667	2420	4080	5900	8683											
		4	850	1900	2927	5393	8623	14653	77	287	497	1287	2670	5653	773	1613	2430	4107	5953	9000											
		5	867	1913	2950	5483	8820	14940	87	293	513	1333	2780	5820	777	1620	2437	4150	5953	9000											
		6	877	1917	2983	5557	—	—	100	297	533	1380	2870	6053	777	1620	2450	4177	6053	9000											
		7	893	1920	2997	5603	—	—	107	—	547	1433	3000	3000	787	—	—	—	—	—	—										
		8	903	—	3007	5640	—	—	—	—	560	1460	—	—	—	—	—	—	—	—	—										
		9	—	—	3017	5673	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—										
		10	—	—	—	5710	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—										
	in der Mitte	1	717	1563	2443	4283	6323	9240	33	153	267	493	870	1473	683	1410	2177	3790	5453	7767											
		2	727	1593	2500	4390	6473	9650	47	150	267	523	907	1623	680	1443	2233	3867	5507	8027											
		3	733	1607	2530	4457	6627	9823	43	163	290	553	957	1690	677	1443	2240	3903	5670	8133											
		4	743	1617	2543	4500	6703	9997	50	163	303	567	970	1757	693	1453	2240	3933	5733	8240											
		5	747	1630	2560	4530	6760	10163	60	170	300	600	1017	1820	687	1460	2260	3930	5743	8343											
		6	773	1640	2573	4557	6817	10257	67	187	303	607	1037	1820	707	1453	2270	3950	5780	8343											
		7	773	1647	2593	4573	6877	—	70	190	323	617	1083	—	703	1457	2270	3957	5793	—	—										
		8	780	1660	2600	4593	6907	—	—	—	323	623	623	1083	—	—	—	—	—	—	—										
		9	—	—	2603	4620	6937	—	—	—	—	330	633	1093	—	—	—	—	—	—	—										
		10	—	—	2613	4633	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—										
11	—	—	—	4653	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—												
	am Ende	1	783	1740	2703	4730	6940	10077	13	93	203	440	817	1547	770	1647	2500	4290	6123	8530											
		2	800	1750	2767	4837	7097	10503	0	87	213	460	870	1737	800	1663	2520	4377	6227	8767											
		3	803	1763	2790	4903	7267	10737	0	97	227	490	937	1850	803	1667	2563	4413	6330	8887											
		4	807	1767	2810	4947	7353	10917	3	100	243	517	970	1977	803	1667	2567	4430	6383	8940											
		5	810	1783	2823	4973	7423	11127	17	100	237	530	1017	2083	793	1683	2587	4443	6407	9043											
		6	830	1797	2837	5010	7490	11270	33	127	240	533	1063	—	797	1670	2597	4477	6447	—	—										
		7	837	1807	2853	5020	7553	—	40	137	257	547	1107	—	797	1670	2597	4473	6447	—	—										
		8	847	1820	2863	5033	7600	—	—	—	253	557	1130	—	—	—	—	—	—	—	—										
		9	—	—	2860	5083	7637	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—										
		10	—	—	—	5097	7670	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—										
11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—												

Tabelle 61. Längenänderungen der Säulen Reihe D, gemessen zwischen den Druckplatten.

Bis 145 800 kg letzte Beobachtung nach wiederholtem Be- u. Entlasten (s. Tab. 59 u. 60).

Säulen Nr.	Gesamt				Bleibend				Federnd				
	61	62	63	64	61	62	63	64	61	62	63	64	
Verkürzung in $\% \cdot 10^{-4}$	0,5		0,7		0,5		0,7		0,5		0,7		
Durchm. des Eisens der Spiralen cm	0,5		0,7		0,5		0,7		0,5		0,7		
Zustand der Säulen	mit Schale	ohne Schale	mit Schale	ohne Schale	mit Schale	ohne Schale	mit Schale	ohne Schale	mit Schale	ohne Schale	mit Schale	ohne Schale	
Be- lastungen in kg	12530	120	248	95	211	45	135	22	92	76	114	72	119
	22960	231	415	206	410	77	207	60	192	155	208	146	218
	33330	343	556	320	585	113	258	101	270	231	298	219	315
	53750	559	845	541	886	183	368	187	387	378	477	354	500
	73710	773	1163	743	1185	257	475	255	486	516	688	488	700
	98500	1054	1723	987	1606	345	724	325	612	710	1000	662	994
	145800	1892	4780	1743	2981	692	—	603	1413	1201	—	1139	1568
	174240	2661	—	2114	4830	—	—	—	—	—	—	—	—
	177340	3844	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	192620	—	—	3410	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	194650	—	—	—	9025	—	—	—	—	—	—	—	—
	196270	—	—	—	9994	—	—	—	—	—	—	—	—
	194650	—	—	—	10949	—	—	—	—	—	—	—	—
	190590	—	—	5957	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	184500	—	—	—	15122	—	—	—	—	—	—	—	—
	174240	4555	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	163870	5486	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	153510	6400	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	143140	7615	6538	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	132770	—	8251	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	122400	—	9321	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Tabelle 62. Druckfestigkeit der Säulen mit und ohne Schale.

Spiralbewehrte Säulen von 1,3 m Länge; geprüft bei 45 Tagen Alter. Äußerer Durchmesser der Spiralen = 28 cm.

Säule Nr.	Form des Querschnittes	Bewehrung				Bruchbelastungen		Verhältniszahlen		Brucherscheinungen s. Abb.
		Längseisen		Quer		der Säulen P kg	des zugehörigen Würfels P_1 kg	$\frac{P}{P_1} \cdot 100$ %	Festigkeits- erhöhung durch die Schale. Werte f. Säulen ohne Schale = 100.	
		Anzahl	Durchmesser cm	Ganghöhe cm	Eisenstärke cm					
61	mit Schale, achtseitig				0,5	177 360	201 200	88,2	116	31
63					0,7	200 740	219 700	91,4	102	
62	ohne Schale, Kreisform	8	1,4	4	0,5	152 680	201 200	75,9	100	
64					0,7	196 270	219 700	89,3		

Tabelle 63. Zusammenwirken von Schale und Kern in den spiralbewehrten Säulen, abgeleitet aus den zwischen den Druckplatten beobachteten Verkürzungen.

Säule Nr.	Eisenstärke der Spirale cm	Säulen-Querschnitt			Gesamtverkürzung der Säulen δ in $\% \cdot 10^{-4}$, gemessen zwischen den Druckplatten bei den folgenden Belastungen P in kg. **)									
		Form	Größe in qcm.		(1,3,92)	(25,51)	(37,03)	(59,72)	(81,90)	(109,44)	(162,00)	(193,60)		
			gesamt F	Kern*) F_k	Schale F_s	12 530	22 960	33 330	53 750	73 710	98 500	145 800	174 240 kg	
46—48	unbewehrt			—	—	126	231	336	545	743	1 012	1 647		
61	0,5	achtseitig	900	616	284	134	246	358	574	788	1 069	1 907	2 676	
63	0,7			616	284	133	244	358	579	781	1 025	1 741	2 152	
62	0,5	rund	616	—	—	175	320	461	750	1 068	1 628	3 985	—	
64	0,7			—	—	186	342	495	796	1 095	1 516	2 891	4 740	
62	Der Verkürzung der Säulen entsprechende Druckspannung σ_s im Beton in kg/qcm. An der Schaulinie Abb. 57 abgegriffen													
64	Aus den Druckspannungen σ_s berechnete Belastungen P_s in kg. $P_s = \sigma_s \cdot F_s$													
62	Errechnete Gesamtbelastungen J für die beobachteten Verkürzungen. $J = P + P_s$													
64	Belastungen P der Säulen 61 und 63 bei den für die Säulen 62 und 64 beobachteten Verkürzungen.													
61	$AP = J - P$ in kg													
63	$AP = \frac{J - P}{P} \cdot 100$ in $\%.$													
61														
63														

*) Entsprechend dem äußeren Durchmesser d_a der Spiralbewehrung ($d_a = 28$ cm) und zugleich dem Durchmesser der runden Säulen 62 und 64.**) Die in Klammern zugefügten Werte stellen die den Belastungen entsprechenden Druckspannungen in kg/qcm dar, bezogen auf den Querschnitt $F = 900$ qcm der unbewehrten achtsseitigen Säulen 46—48.

Tabelle 64. Zugversuche mit dem Material der Querbewehrungen zu den Säulen 73 bis 85.

Probe Nr.	Material-Zeichen Nr.	Zustand der Bearbeitung	Verwendet		Abmessungen		Spannungen kg/qcm			Elastizitätszahl $\frac{1}{a} = E$	$\frac{\sigma_S}{\sigma_B}$ %	Bruchdehnung auf $0 =$ $11,3 \sqrt{f}$ %	
			zu	in den Säulen	Durchmesser d cm	Querschnitt f qcm	Proportionalitätsgrenze σ_P	Streckgrenze σ_S	Bruchgrenze σ_B				
1 2 3 Mittel	1	Aus Knüppeln von 50 kg Gewicht zu Stangen warm gewalzt	Stangen, Material Nr. 5	—	0,94 0,94 0,95 0,94	0,694 0,694 0,709 —	2740 1730 2680 2380	3030 2880 2820 2910	3980 4140 4020 4050	2 040 000 2 075 000 2 000 000 2 038 000	76 70 70 72	31,0 30,5 29,8 30,4	
1 2 3 Mittel	2		Stangen, Material Nr. 4	—	0,83 0,82 0,82 0,82	0,541 0,528 0,528 —	2590 1140 2080 1940	2770 2650 2840 2750	3920 4000 4110 4010	2 090 000 2 125 000 2 015 000 2 076 700	71 66 69 69	31,9 23,8 27,7 27,8	
1 2 3 Mittel	3		Ringen, Material Nr. 6	—	0,75 0,74 0,75 0,75	0,442 0,430 0,442 —	2710 2560 2720 2660	3170 3020 2940 3040	4000 3900 3950 3950	2 030 000 2 070 000 2 060 000 2 053 000	79 77 74 77	32,2 31,5 31,2 31,6	
1 2 3 Mittel	9		Ringen u. Spiralen, Material Nr. 10 u. 11	—	1,20 1,17 1,17 1,18	1,131 1,075 1,075 —	— — — —	2480 2410 2590 2490	4020 3960 4070 4020	— — — —	62 61 64 62	30,1 28,3 24,8 27,7	
1 2 3 Mittel	4		Aus Material Nr. 2 in einem Zuge von 8,2 auf 7,4 mm Durchmesser kalt gezogen	Ringen, Material Nr. 7	—	0,75 0,74 0,75 0,75	0,442 0,430 0,442 —	2040 3490 2040 2520	5880 6050 5650 5860	6240 6400 6000 6310	2 160 000 2 140 000 2 150 000 2 150 000	94 95 94 94	11,7 12,5 11,5 11,9
1 2 3 Mittel	5		Aus Material Nr. 1 in drei Zügen ohne Glühungen von 9,5 : 8,8 : 8,2 : 7,4 mm Durchm. kalt gezogen	Ringen, Material Nr. 8	—	0,74 0,74 0,74 0,74	0,430 0,430 0,430 —	2560 2560 2090 2400	6400 6630 6190 6410	6920 6880 7070 6990	2 045 000 2 070 000 2 065 000 2 060 000	93 95 88 92	10,2 9,9 10,5 10,2
1 2 3 Mittel	6		Aus Material Nr. 3 zur Spirale gewalzt	Ringen	73—75	0,73 0,73 0,73 0,73	0,419 0,419 0,419 —	— — — —	3220 3220 3220 3220	4240 4340 4340 4310	— — — —	74 74 74 74	25,5 22,4 21,2 23,0
1 2 3 Mittel	7		desgl. aus Material Nr. 4	Ringen	76—78	0,75 0,75 0,75 0,75	0,442 0,442 0,442 —	— — — —	5660 6110 6000 5920	6110 6180 6310 6200	— — — —	93 99 95 96	9,3 9,6 8,2 9,0
1 2 3 Mittel	8		desgl. aus Material Nr. 5	Ringen	79	0,74 0,74 0,74 0,74	0,430 0,430 0,430 —	— — — —	6280 6860 6980 6710	6980 7000 7000 6990	— — — —	90 98 100 96	6,4 6,2 7,1 6,6
1 2 3 Mittel	10	desgl.	Ringen	80—82	1,19 1,18 1,19 1,19	1,112 1,094 1,112 —	— — — —	3420 3290 3420 3380	4560 4520 4450 4510	— — — —	75 73 77 75	19,0 22,9 18,5 20,1	
1 2 3 Mittel	11	desgl. aus Material Nr. 9	Spiralen	83—85	1,19 1,17 1,19 1,18	1,112 1,075 1,112 —	— — — —	3330 3270 3460 3350	4490 4590 4550 4540	— — — —	74 71 76 74	18,0 20,5 17,8 18,8	

Tabelle 65. Einfluß des Biegens zu Ringen (Bügel) und Wickelns zu Spiralen auf die Zugfestigkeit der Bewehrungsseisen.

Material		Zustand der Bearbeitung	Probe Nr.	Abmessungen		Spannungen kg/qcm		$\frac{\sigma_S}{\sigma_B} \cdot 100$ %	Bruchdehnung auf $l = 11,3 \sqrt{f}$ %	
Ursprung	Zeichen			Durchmesser d cm	Querschnitt f qcm	Streckgrenze σ_S	Bruchgrenze σ_B			
Drahtringe von etwa 60 cm Durchmesser, verwendet zu den Säulen Nr. 55 bis 60	a	Wie angeliefert	1	0,65	0,332	2260	3770	60	34,0	
			2	0,66	0,342	2310	3890	59	33,9	
			Mittel	0,66	—	2290	3830	60	34,0	
	b		1	0,65	0,332	2500	3990	63	29,0	
			2	0,65	0,332	2680	4190	64	28,8	
			Mittel	0,65	—	2590	4090	64	28,9	
	c		1	0,65	0,332	2530	4010	63	30,0	
			2	0,65	0,332	2470	3830	65	29,6	
			Mittel	0,65	—	2500	3920	64	29,8	
	a	Zu Ringen von 28 cm Durchmesser gewalzt	3	0,65	0,332	2530	3890	65	28,2	
			4	0,66	0,340	2570	3790	68	30,2	
			Mittel	0,66	—	2550	3840	67	29,2	
	b		3	0,65	0,332	2560	4130	62	27,4	
			4	0,65	0,332	2890	4250	68	32,2	
			Mittel	0,66	—	2730	4190	65	29,8	
	c		3	0,66	0,340	2460	3740	66	25,3	
			4	0,65	0,332	2520	3860	65	26,2	
			Mittel	0,66	—	2490	3800	66	25,8	
	a	Zur Spirale von 25,4 cm Durchmesser gewickelt	5	0,66	0,342	2750	3830	72	23,7	
			6	0,66	0,342	2570	3800	68	23,7	
			Mittel	0,66	—	2660	3820	70	23,7	
	b		5	0,65	0,332	2800	4070	69	25,0	
			6	0,65	0,332	2680	4160	64	23,7	
			Mittel	0,65	—	2740	4120	67	24,4	
c	5		0,65	0,332	2800	4100	68	22,1		
	6		0,66	0,342	2840	4040	70	22,9		
	Mittel		0,66	—	2820	4070	69	22,5		
a	Verhältniszahlen: Einfluß des Walzens zum Ring	Mittel	—	—	111	100	111	86		
b		$\frac{3 \text{ u. } 4}{1 \text{ u. } 2} \cdot 100$	—	—	105	102	101	103		
c		—	—	—	100	97	103	87		
Mittel		%	—	—	105	100	105	92		
a	Verhältniszahlen: Einfluß des Wickelns zur Spirale	Mittel	—	—	116	100	116	70		
b		$\frac{5 \text{ u. } 6}{1 \text{ u. } 2} \cdot 100$	—	—	106	101	105	84		
c		—	—	—	113	104	108	76		
Mittel		%	—	—	112	102	110	77		
besonders gewalzte Stangen	3	warm gewalzt	Mittel-	0,75	—	3040	3950	77	31,6	
	9			1,18	—	2490	4020	62	27,7	
	4			0,75	—	5860	6310	94	11,9	
	5	besonders hart gezogen	Einzel-	0,74	—	6410	6990	92	10,2	
	6	Zur Spirale gewickelt aus Material Nr.	3 9 9 4 5	werte s. Tab. 64	0,73	—	3220	4310	74	23,0
	10				1,19	—	3380	4510	75	20,1
	11				1,18	—	3350	4540	74	18,8
	7				0,75	—	5920	6200	96	9,0
	8				0,74	—	6710	6990	96	6,6
	6:3	Verhältniszahlen, die Werte für den Anlieferungszustand gleich 100 gesetzt			—	—	106	109	96	73
10:9	135				112	125	73			
11:9	134				113	119	68			
7:4	101				98	102	76			
8:5	105				100	104	65			

Tabelle 66. Festigkeitseigenschaften des Materials der Längsbewehrungen zu den Säulen 73 bis 85.

Probe Nr.	Material		Abmessungen		Zugversuche			Druckversuche			Elastizitäts- zahl $\frac{1}{\alpha} = E$
	Zeichen Nr.	verwendet zu den Säulen	Durchmesser d cm	Querschnitt f qcm	Spannungen kg/qcm		Bruchdehnung auf $l = 11,3 \sqrt{f}$ %	Quetschgrenze σ_{-S}	Proportionali- tätsgrenze σ_{-P}	Bruchdehnung auf $l = 11,3 \sqrt{f}$ %	
					Streckgrenze σ_S	Bruchgrenze σ_B					
1	14	73 bis 79	1,42	1,584	3030	3940	77	3020	2550	32,8	2 019 000
2			1,40	1,539	3180	4170	76	3320	2850	30,2	2 070 000
3			1,45	1,651	2980	4090	73	—	—	—	—
Mittel			1,43	—	3060	4070	75	3170	2700	30,6	2 044 500
1	15	80 bis 85	1,61	2,036	3020	4110	74	3130	2680	29,3	1 854 000
2			1,60	2,011	3030	4280	71	3200	2660	30,0	2 015 000
3			1,61	2,036	2970	4160	71	—	—	—	—
Mittel			1,61	—	3010	4180	72	3170	2690	29,9	1 976 000

Tabelle 67. Längenänderungen des Betons
bei stufenweiser Laststeigerung und wiederholtem Entlasten auf 2090 kg Anfangsbelastung.
Querbewehrung: Umgehakte Ringe aus weichem Eisen (warm gewalzt, s. Tabelle 64, Material 3 und 6).

Säule Nr.	Ge- mes- sen	Be- lastungs- reihe	Gesamtverkürzung — d_b in $\% \cdot 10^{-5}$										Bleibende Verkürzung — d_b in $\% \cdot 10^{-5}$										Federnde Verkürzung — d_b in $\% \cdot 10^{-5}$									
			bei den folgenden Belastungen in kg																													
			12530	22960	33330	53750	73710	98500	145800	12530	22960	33330	53750	73710	12530	22960	33330	53750	73710	12530	22960	33330	53750	73710								
73		I	653	1372	2181	3839	5714	8338	15694	23	103	210	489	743	629	1269	1971	3350	4972	613	1285	1968	3483	5088								
			639	1399	2224	3999	5881				27	113	256	516	793	619	1295	1988	3503	5152	619	1312	2014	3553	5252							
			649	1412	2264	4043	5957				30	117	276	539	806	619	1302	2018	3590	5255												
			666	1439	2294	4093	6047				30	127	280	539	836																	
				1439	2308	4146	6097				137	290	556	842																		
				1455	2331	4153	6137				147	290	573	872																		
				1458	2334	4169	6180				150	293	569	886																		
				1465	2340	4179	6254				160	303	576	942																		
				1472	2344	4186	6284				167	303	586	946																		
				1488	2364	4202	6290				167	316	599	949																		
				1488	2364	4219																										
74	in der Mitte	I	506	1126	1778	3156	4751	7136	13853	27	80	173	363	603	480	1046	1605	2794	4149	493	1052	1612	2860	4292								
			523	1152	1861	3357	5088				27	87	200	392	673	496	1066	1655	2920	4382												
			526	1159	1871	3393	5142				27	100	233	433	733	499	1059	1638	2960	4409												
			526	1159	1888	3423	5215				100		226	450	746																	
				1159	1891	3429	5255						230	450	746																	
				1898	3429	5268																										
				1898		5298							230																			
						5335																										
						5365																										
						5361																										
			75		I	499	1086	1698	3127	4715	6963	13070	20	77	170	380	653	480	1009	1528	2747	4063	490	1019	1582	2811	4186					
506	1102	1772				3230	4858				17	83	190	420	673	490	1052	1612	2860	4216												
512	1112	1782				3277	4948				20	87	193	446	733	493	1026	1588	2831	4216												
515	1116	1805				3317	5014				20	93	200	473	769	496	1026	1605	2844	4246												
523	1128	1805				3353	5062				37	93	213	483	789	486	1032	1592	2870	4272												
523	1146	1828				3387	5115				37	100	213	516	819	486	1046	1615	2870	4296												
523	1142	1832				3413	5142				103	103	220	523	819																	
	1146	1838				3400	5152				103		226	486	819																	
	1152	1855				3417	5181				103		230	490																		
	1851	3413																														
Mittel für die letzte Belastungsreihe						572	1266	2094	3687	5611	—	—	81	123	259	513	849	585	1141	1780	3170	4753										

Tabelle 68. Längenänderungen des Betons bei stufenweiser Laststeigerung und wiederholtem Entlasten auf 2090 kg Anfangsbelastung. Querbewehrung: Umgehakte Ringe aus hartem Eisen (kalt gezogen, s. Tabelle 64, Material 4 und 7).

Säule Nr.	Ge-messen	Be-lastungs-reihe	Gesamtverkürzung — δ_b in $\frac{0}{10} \cdot 10^{-5}$												Bleibende Verkürzung — δ_b in $\frac{0}{10} \cdot 10^{-5}$						Federnde Verkürzung — δ_b in $\frac{0}{10} \cdot 10^{-5}$					
			beiden folgenden Belastungen in kg																							
			22 960	33 330	53 750	73 710	98 500	145 800	12 530	22 960	33 330	53 750	73 710	12 530	22 960	33 330	53 750	73 710	12 530	22 960	33 330	53 750	73 710			
77		1	626	1342	2157	3786	5708	8468	16417	27	70	173	270	616	599	1272	1984	3516	5092							
		2	632	1375	2197	3909	5887			27	80	190	343	656	606	1295	2007	3566	5231							
		3	643	1395	2228	3963	5974			37	90	193	392	679	606	1305	2035	3570	5295							
		4	626	1399	2244	4053	6041			13	93	210	413	706	613	1305	2035	3640	5335							
		5	626	1405	2261	4076	6114			10	93	213	420	736	616	1312	2048	3656	5378							
		6	629	1419	2264	4099	6131				103	220	430	716		1315	2045	3670	5415							
		7		1432	2278	4099	6180				120	226	440	746		1312	2051	3693	5435							
		8		1445	2291	4146	6237				120	236	443	766		1325	2055	3703	5471							
		9		1462	2301	4156	6260				130	236	446	786		1332	2065	3710	5475							
		10		1475	2304	4156	6314				133		436	793		1342		3720	5521							
		11		1472		4159	6327						436	796				3723	5531							
		12				4169	6340																			
			Mitte																							
78		1	616	1362	2188	3883	5708	8345	16184	20	83	170	376	636	596	1279	2018	3506	5071							
		2	626	1402	2234	3979	5894			20	83	163	390	679	606	1319	2071	3590	5215							
		3	636	1419	2244	4036	5997			27	93	173	400	719	609	1325	2071	3636	5278							
		4	643	1429	2271	4086	6074			33	100	203	423	746	609	1329	2068	3663	5328							
		5	643	1432	2281	4119	6154			37	100	193	456	759	606	1332	2088	3663	5395							
		6	649	1435	2294	4149	6161			30	103	210	440	749	619	1332	2085	3710	5411							
		7	649	1449	2301	4186	6204			33	110	213	470	796	616	1339	2088	3716	5408							
		8	649	1452	2318	4202	6247				110	216	470	803		1342	2101	3733	5444							
		9		1459	2341	4222	6260				113	216	480	779		1345	2125	3743	5481							
		10		1462	2341	4229	6307						470	833				3760	5475							
		11				4252	6354																			
			Mittel für die letzte Belastungsreihe																							
			639	1467	2323	4207	6349			22	123	226	453	815	616	1344	2095	3742	5503							

Bemerkung: Bei Prüfung der Säule 76 hatte der Spiegelapparat versagt, die Längenänderungen können daher nicht angegeben werden.

Tabelle 70.

Längenänderungen der Säulen mit umgehakten Ringen aus verschiedenartigem Eisen, gemessen zwischen den beiden Druckplatten.

1. Bis 174 240 kg Belastung, letzte Beobachtung nach wiederholtem Be- und Entlasten (s. Tab. 67 bis 69).

Säulen Nr.	Querbewehrung		Bedeutung der Werte	Verkürzung — δ in $\% \cdot 10^{-4}$								
	Form	Zustand des Eisens		bei den folgenden Belastungen in kg								
				12 530	22 960	33 330	53 750	73 710	98 500	145 800	174 240	
73	um- gehakte Ringe	weich	Gesamt-	143	284	401	623	865	1122	2082	2679	
74				138	291	427	678	939	1152	1950	2854	
75				109	230	348	566	767	909	1591	2234	
Mittel				130	268	392	622	857	1061	1874	2589	
76				hart	ver- kürzung	171	332	466	716	982	1219	2007
77		159	311			439	681	913	1111	1786	2532	
78		111	232			353	613	864	1066	1791	2758	
Mittel		147	292	419	670	920	1132	1861	2648			
79		besonders hart			95	210	321	550	775	975	1636	2237
73		um- gehakte Ringe	weich	bleibende	50	120	167	254	341			
74	47				109	171	261	356				
75	33				77	117	193	258				
Mittel	43				102	152	236	318				
76	hart				Ver- kürzung	73	155	222	334	456		
77			73	144		192	281	355				
78			38	77		116	209	307				
Mittel	61		125	177	275	373						
79	besonders hart				30	75	113	201	283			
73	um- gehakte Ringe		weich	federnde	93	165	234	368	524			
74		92			182	256	417	584				
75		77			155	231	373	509				
Mittel		87			167	240	386	539				
76		hart			Ver- kürzung	98	177	244	382	532		
77			87	167		247	400	557				
78			74	155		237	404	557				
Mittel		86	166	243	395	549						
79		besonders hart			65	135	208	350	492			

2. Bei Belastungen über 174 240 kg.

Säulen Nr.		73	74	75	76	77	78	
Zustand des Eisens der Bewehrung		weich			hart			
Gesamtverkürzung	174 240	—	3366	2308	2731	—	3269	
	191 000	—	—	—	—	3223	—	
	194 650	3877	—	—	—	—	—	
	204 800	—	—	10365	—	—	6327	
in $\% \cdot 10^{-4}$	214 940	—	—	—	7653	—	—	
	235 240	—	—	—	10500	—	10731	
bei den neben- stehenden	255 690	—	—	—	13384	—	—	
	265 950	—	—	—	—	—	19808	
	245 440	—	—	—	21327	—	—	
	204 800	—	—	—	—	—	27404	
Belastungen in kg	176 320	—	—	28250	—	—	—	
	163 870	—	30192	—	—	—	—	
	143 140	—	—	31038	—	—	—	
	—	—	—	—	—	—	—	

Tabelle 71. Druckversuche mit den Säulen 73 bis 79, deren Querbewehrungen aus Eisen verschiedener Festigkeit gefertigt sind.

Form der Säulen: achteitig mit 900 qcm Querschnitt und 1,30 m Länge.
 Längsbewehrungen: 8 Rundisen von 1,4 cm Durchmesser.
 Querbewehrungen: Umgehakte Ringe aus 0,7-cm Eisen; Abstand 3 cm.
 Alter bei der Prüfung: 90 Tage.

Säule Nr.	Eigenschaften des Eisens der Querbewehrungen 1)				Bezeichnung für den Zustand des Eisens	Festigkeit der Säulen			Verhältnis zwischen den Säulenfestigkeiten		
	Spannungen kg/qcm		$\frac{I}{\alpha} = E$	Bruch- dehnung %/o		Belastung beim Beginn der Ribbildung kg	Bruchbelastungen		Verhältnis $\frac{P}{P_1} \cdot 100$ %/o	P bei weichem Eisen	P für die unbewehr- ten Säulen gleich 100 gesetzt
	σ_p	σ_s					σ_B	der Säulen P kg			
73						122 550	194 650	198 500	98	100	131
74	2660	3040	3950	2 053 000	31,6	174 240	202 360	193 200	105		
75	—	3220	4310	—	23,0	174 240	219 000	198 500	110		
Mittel						157 010	205 330	196 730	104		
76						172 170	262 100	197 200	133	130	171
77	2520	5860	6310	2 150 000	11,9	174 240	272 800	191 800	142		
78	—	5920	6200	—	9,0	145 800	267 590	199 900	134		
Mittel						164 070	267 500	196 300	136		
79	2400	6410	6990	2 060 000	10,2	172 170	296 720	189 100	157	145	190
86—88						144 420	156 230	199 000	79	—	100

1) Von den beiden Zahlenreihen zu derselben Säule gilt die obere für Proben aus den gewalzten oder gezogenen Stangen, die untere für Proben aus den fertigen Ringen.

Tabelle 72. Längenänderungen des Betons in den Säulen der Ergänzungsreihe 3. 169

Tabelle 72. Längenänderungen des Betons bei stufenweiser Laststeigerung und wiederholtem Entlasten auf 2090 kg Anfangsbelastung. Querbewehrung: Umgehakte Ringe aus weichem Eisen von 1,2 cm Durchmesser (s. Tab. 64, Material 9 und 10).

Säule Nr.	Gemessen	Be-lastungs-reihe	Gesamtverkürzung — d_b in $\frac{0}{10} \cdot 10^{-5}$		bei den folgenden Belastungen in kg						Bleibende Verkürzung — d'_b in $\frac{0}{10} \cdot 10^{-5}$			Federnde Verkürzung — d''_b in $\frac{0}{10} \cdot 10^{-5}$					
			33330	53750	73710	98500	145800	12530	22960	33330	53750	73710	12530	22960	33330	53750	73710		
80	in der Mitte	1	523	1156	1825	3193	4759	6960	12008	70	93	143	276	486	452	1062	1682	2917	4272
		2	543	1219	1871	3277	4898	6960	12008	40	100	157	300	473	503	1119	1714	2977	4426
		3	559	1198	1918	3317	4958	6960	12008	50	103	186	316	503	509	1096	1698	3000	4456
		4	559	1202	1908	3353	5015	6960	12008	53	97	193	320	543	506	1106	1714	3034	4472
		5	566	1209	1925	3390	5045	6960	12008	110	110	183	330	533	506	1099	1742	3060	4512
		6		1215	1915	3383	5088	6960	12008	110	110	183	333	559	506	1106	1732	3030	4529
		7		1219	1918	3410	5115	6960	12008	200	200	356	356	559	506	1118	1718	3054	4555
		8				3430	5138	6960	12008	316	316	573	316	573	506			3114	4565
		9				3450	5168	6960	12008	363	363	583	363	583	506			3087	4585
		10				3460	5211	6960	12008	370	370	616	370	616	506			3090	4600
		11				3467	5211	6960	12008										
81	in der Mitte	1	486	1096	1725	2990	4419	6320	11192	20	93	163	323	493	466	1002	1562	2667	3926
		2	502	1132	1765	3090	4535	6320	11192	30	103	183	340	509	473	1029	1582	2751	4026
		3	513	1142	1778	3127	4605	6320	11192	43	103	193	350	533	470	1039	1585	2777	4073
		4	519	1146	1802	3157	4652	6320	11192	50	107	200	363	549	470	1039	1602	2794	4103
		5	529	1156	1818	3190	4695	6320	11192	53	117	203	370	556	476	1039	1615	2821	4139
		6	539	1172	1822	3207	4732	6320	11192	53	123	206	380	566	486	1049	1615	2827	4166
		7	539	1178	1828	3217	4759	6320	11192	123	123	206	383	563	486	1056	1622	2834	4196
		8		1182	1838	3247	4785	6320	11192	210	210	396	396	566	486	1056	1628	2854	4220
		9			1848	3250	4789	6320	11192	210	210	396	396	566	486	1056	1628	2854	4220
		10			1851	3270	4789	6320	11192	210	210	396	396	566	486	1056	1628	2854	4220
		11			3267	3267	4789	6320	11192	403	403	287	403	566	486	1056	1638	2857	4220
82	in der Mitte	(249)	1152	1825	3263	4992	7439	13303	10	77	147	346	619	240	1076	1678	2917	4372	
		2	533	1182	1858	3403	5145	7439	13303	27	87	157	403	656	506	1089	1702	3000	4489
		3	549	1199	1901	3467	5271	7439	13303	30	103	179	413	689	519	1096	1722	3054	4582
		4	549	1202	1904	3510	5338	7439	13303	30	107	190	416	716	519	1096	1715	3094	4622
		5	549	1209	1921	3533	5385	7439	13303	107	107	210	433	723	519	1102	1712	3100	4662
		6		1219	1951	3550	5411	7439	13303	107	107	220	450	716	519	1112	1732	3100	4695
		7		1215	1971	3566	5445	7439	13303	220	220	220	450	729	519	1112	1752	3117	4715
		8			3603	5475	7439	13303	466	466	756	466	756	519	1112	1752	3117	4715	
		9			3596	5501	7439	13303	463	463	709	463	709	519	1112	1752	3117	4715	
		10			3620	5524	7439	13303	466	466	756	466	756	519	1112	1752	3117	4715	
		11			3620	5554	7439	13303	466	466	766	466	766	519	1112	1752	3117	4715	
Mittelwerte für die letzten Beobachtungsreihen			551	1205	1921	3451	5185	—	—	45	118	210	413	649	504	1091	1703	3037	4521

Tabelle 73. Längenänderungen des Betons bei stufenweiser Laststeigerung und wiederholtem Entlasten auf 2090 kg Anfangsbelastung. Querbewehrung: Spiralen aus weichem Eisen von 1,2 cm Durchmesser (s. Tab. 64, Material 9 und 11).

Säule Nr.	Ge-messen.	Be-lastungs-reihe	bei den folgenden Belastungen in kg																		
			Gesamtverkürzung $-\delta_b$ in $\% \cdot 10^{-5}$					Bleibende Verkürzung $-\delta_b$ in $\% \cdot 10^{-5}$					Federnde Verkürzung $-\delta_b$ in $\% \cdot 10^{-5}$								
			12530	22960	33330	53750	73710	98500	145800	12530	22960	33330	53750	73710	12530	22960	33330	53750	73710		
83		I	626	1369	2191	3783	5598	8142	14116	37	90	173	340	539	589	1279	2018	3443	5058		
		2	636	1419	2204	3883	5738			17	97	193	363	609	619	1322	2011	3520	5128		
		3	656	1425	2231	3936	5818			47	113	196	390	633	609	1312	2035	3546	5185		
		4	663	1432	2248	3989	5891			37	120	203	406	639		1312	2045	3583	5251		
		5	663	1442	2264	4026	5947			37	127	193	410	659		1315	2071	3596	5288		
		6		1449	2264	4029	5987				130	196	413	676		1319	2068	3616	5311		
		7		1449	2264	4056	6047				130	406	699			1319		3650	5348		
		8		1475	4063	6077					133	403	706			1342		3660	5371		
		9		1462	4066							716							5388		
		10										719								5435	
			II																		
84		I	549	1162	1784	3137	4652	6763	11556	30	93	147	296	470	519	1068	1638	2840	4182		
		2	553	1182	1815	3217	4762			43	100	147	336	506	509	1082	1668	2880	4256		
		3	559	1185	1832	3267	4815			47	97	143	340	526	513	1089	1688	2927	4289		
		4	559	1185	1861	3297	4928			53	90	173	360	546	506	1096	1688	2937	4382		
		5	573	1185	1868	3337	4935			57	93	180	363	569	516	1092	1688	2974	4366		
		6	576	1185	1878	3344	4938				97	196	353	569		1089	1682	2990	4369		
		7		1185		3357	5025					200	366	583			1685	2990	4442		
		8		1891	3363	5045						193	355	613			1698	3010	4432		
		9		1918	3367	5082						206	350	626			1711	3017	4456		
		10		1928	3390	5108						206	363	633			1722	3027	4475		
		11		1931	3437	5138						206					1725		4519		
		12		1931	5117															4519	
85		I	470	1012	1612	2831	4163	6047	10423	23	63	157	313	519	446	949	1455	2517	3643		
		2	476	1039	1652	2910	4262			23	80	163	333	536	453	959	1489	2577	3726		
		3	480	1052	1665	2940	4329			27	87	173	353	559	453	966	1492	2587	3770		
		4	480	1062	1680	2980	4396			30	97	186	366	576	450	966	1502	2614	3820		
		5	486	1066	1698	2994	4436			30	97	193	376	599	456	969	1505	2617	3836		
		6	486	1079	1705	3000	4452				103	196	390	623	456	976	1508	2611	3830		
		7		1086	1705	3010	4492				103	203	396	629		982	1502	2614	3863		
		8		1086	1708	3037	4522					203	403	626			1505	2634	3896		
		9		1722	3054	4519						210	400	633			1512	2654	3886		
		10		1732	3057	4545						210		643			1522		3903		
		11		1738	4562															3903	
		Mittelwerte für die letzten Belastungsreihen		575	1244	1978	3520	5278	—	41	111	204	389	660	527	1138	1772	3114	4619		

Tabelle 75.

Längenänderungen der Säulen mit Bewehrungen aus 1,2 cm Eisen, gemessen zwischen den beiden Druckplatten bis 204800 kg Belastung. Letzte Beobachtung nach wiederholtem Be- und Entlasten (s. Tab. 72 bis 74).

Säulen Nr.	Form der Quer- bewehrung	Bedeutung der Werte	Verkürzung — δ in $\% \cdot 10^{-4}$								
			bei den folgenden Belastungen in kg								
			12530	22960	33330	53750	73710	98500	145800	174240	204800
80	umgehakte Ringe	Gesamt- Verkürzung	132	267	393	610	813	1015	1628	2174	3005
81			138	289	418	647	921	1087	1783	2317	3374
82			129	264	389	615	846	1208	1771	2313	3268
Mittel			133	274	400	624	860	1103	1727	2268	3216
83	Spirale		97	223	332	554	785	988	1564	2005	2715
84			134	282	427	652	861	1050	1656	2070	2854
85			96	208	315	516	722	913	1494	1949	2807
Mittel			109	238	358	574	789	983	1571	2008	2792
86	unbewehrt		123	231	326	508	723	975	—	—	—
87			140	263	381	601	821	1029	1793	—	—
88		129	248	355	576	841	1067	2194	—	—	
Mittel		131	247	354	562	795	1023	[1994]	—	—	
80	umgehakte Ringe	bleibende Verkürzung	48	99	143	209	271	—	—	—	—
81			58	130	185	275	397	—	—	—	—
82			47	97	150	234	314	—	—	—	—
Mittel			51	108	159	239	327	—	—	—	—
83	Spirale		27	68	106	178	259	—	—	—	—
84			55	117	181	269	324	—	—	—	—
85			28	62	95	152	217	—	—	—	—
Mittel			37	82	127	200	267	—	—	—	—
86	unbewehrt		40	77	105	158	233	—	—	—	—
87			63	111	158	249	342	—	—	—	—
88		49	91	131	215	338	—	—	—	—	
Mittel		51	93	131	207	304	—	—	—	—	
80	umgehakte Ringe	federnde Verkürzung	83	169	250	400	543	—	—	—	—
81			80	159	233	374	524	—	—	—	—
82			81	167	236	382	533	—	—	—	—
Mittel			81	165	240	385	533	—	—	—	—
83	Spirale		70	155	227	376	526	—	—	—	—
84			79	165	246	383	537	—	—	—	—
85			70	147	220	317	510	—	—	—	—
Mittel			73	155	231	359	524	—	—	—	—
86	unbewehrt		82	154	221	351	490	—	—	—	—
87			73	152	222	351	479	—	—	—	—
88		80	157	224	362	503	—	—	—	—	
Mittel		78	154	222	354	491	—	—	—	—	

Tabelle 75a.

Längenänderungen der Säulen mit Bewehrungen aus 1,2 cm Eisen, gemessen zwischen den beiden Druckplatten bei Belastungen über 204 800 kg.

Säulen Nr.		80	81	82	84	85
Form der Querbewehrung		umgehakte Ringe			Spirale	
Gesamtverkürzung in $\frac{0}{100} \cdot 10^{-4}$ bei den nebenstehenden Belastungen in kg	204 800	4143	3 846	3 904	3 388	3 000
	225 090		5 692			
	229 150					
	235 240		6 731	6 193	5 096	4 269
	265 950		9 808	9 077	8 270	7 731
	296 720		13 885	12 558	12 212	10 500
	326 940		26 577	18 962	24 442	15 500
	333 370				38 962	
	350 440			44 037		
	353 050					43 135
	330 960			59 788		62 808
322 920						
204 800	63 115					
186 530				67 212		

Tabelle 76.

Vergleich der Säulenfestigkeiten bei Bewehrung mit Ringen und Spiralen aus Eisen von 1,2 cm Durchmesser.

Achtseitige Säulen von 1,3 m Länge.

Alter: 90 Tage.

Säule Nr.	Bewehrung					Belastung beim Beginn der Reiß- bildung kg	Bruchbelastung		Verhältnis der Bruchfestigkeit		
	Längseisen		Quer				der Säulen P kg	des zu- gehörigen Würfels P ₁ kg	Säule zu Würfel $\frac{P}{P_1} \cdot 100$ %	bewehrt zu un- bewehrt %	
	Anzahl	Durch- messer cm	Form	Abstand oder Ganghöhe cm	Eisen- durch- messer cm						
80	8	1,6	um- gehakte Ringe	3	1,2	198 710	348 230	198 500	175	221	
81						174 240	334 970	193 200	173		
82						174 240	354 260	199 900	177		
Mittel						182 400	345 820	197 200	175		
83						Spirale	204 800	364 400	189 100		192
84							204 800	333 370	191 800		173
85	184 500	357 470	198 500	180							
Mittel	198 030	351 750	193 400	182							
86	unbewehrt	—	—	—	155 370	155 370	197 200	79	100		
87					132 010	167 400	199 900	84			
88					145 880	145 880	199 900	73			
Mittel					144 420	156 230	199 000	79			

Die Verwaltung der Landesbibliothek in Altenburg
 hat die Verzeichnisse der Bücher mit Verfasser und Verlag
 alphabetisch geordnet und veröffentlicht.
 Altenburg, 1912.

Verfasser	Titel	Verlag	Jahr
A. B.
C. D.
E. F.
G. H.
I. J.
K. L.
M. N.
O. P.
Q. R.
S. T.
U. V.
W. X.
Y. Z.

Druck von Oskar Bonde in Altenburg.

Verfasser	Titel	Verlag	Jahr
A. B.
C. D.
E. F.
G. H.
I. J.
K. L.
M. N.
O. P.
Q. R.
S. T.
U. V.
W. X.
Y. Z.

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307185

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000313146

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307186

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000313147

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307181

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307187

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000313148

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307188

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000313149

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307189

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000313150

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307190

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000313151

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307191

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000313152

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000300776