

DER STAHLBAU

Schriftleitung:
 Dr.-Ing. A. Hertwig, Geh. Regierungsrat, Professor an der Technischen Hochschule Berlin, Berlin-Charlottenburg 2, Technische Hochschule
 Fernsprecher: C 1 Steinplatz 0011
 Professor W. Rein, Breslau, Technische Hochschule. — Fernsprecher: Breslau 421 61

Beilage
 zur Zeitschrift

DIE BAUTECHNIK

Fachschrift für das ge-
 samte Bauingenieurwesen

Preis des Jahrganges 10 RM und Postgeld

5. Jahrgang

BERLIN, 11. November 1932

Heft 23

Alle Rechte vorbehalten.

Aus Dauerversuchen mit Lichtbogenschweißungen.¹⁾

Ein Beitrag zur Frage der Bemessung und Anordnung der Kehlnähte. Messung von Spannungen in Schweißverbindungen.

Von Otto Graf, Professor an der Technischen Hochschule Stuttgart.

Bei Erörterungen über die Bemessung der Kehlnähte ist die Frage zu stellen, ob lange schwache oder kurze starke Nähte die widerstandsfähigeren Verbindungen liefern, wenn oftmalige Belastung und Entlastung der Schweißverbindungen stattfindet. Die im folgenden zuerst beschriebenen Versuche sollen auf die Bedeutung dieser Frage in bezug auf die Dauerfestigkeit der Schweißverbindungen aufmerksam machen. Weiter war u. a. zu prüfen, ob die Anschlüsse mit allmählich anschwellenden Nähten den üblichen fortlaufend gleich stark angesetzten überlegen sind. Dabei trat wieder die Frage der Gestaltung der Kehlschlüsse allgemein auf; hierzu sind neuere Beobachtungen mitgeteilt, u. a. Messungen zur Feststellung der Spannungen, die durch Schweißraupen verschiedener Stärke und Herstellungsart entstehen.

1. Versuche mit kurzen und langen Kehlnähten.

Die Körper nach Abb. 1 bis 4 hatten lange schwache Längskehlnähte (im Falle der Abb. 4 auch Quernähte), die Körper nach Abb. 5 bis 7 kurze

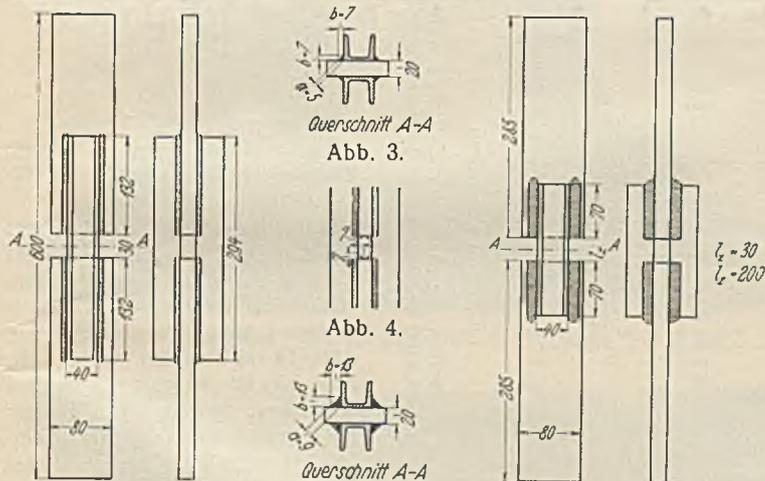


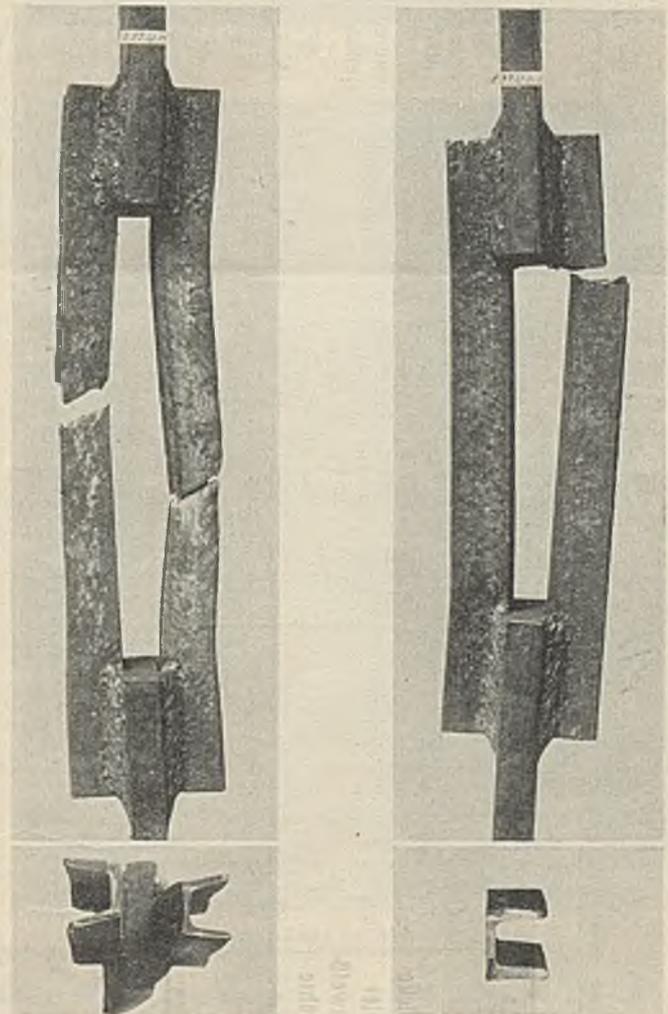
Abb. 1. Abb. 2. Abb. 7. Abb. 5. Abb. 6.
 Abb. 1 bis 7. Ausbildung und Abmessungen der Prüfkörper.

starke Längskehlnähte derart, daß die nach DIN 4100 maßgebenden Flächen der Raupen in beiden Fällen fast gleich groß waren. Damit kam im Falle der Abb. 1 bis 4 mehr □- und Flachstahl, im Falle der Abb. 5 bis 7 mehr Schweißmaterial in die Verbindungstellen²⁾.

¹⁾ 3. Teil der Dauerversuche mit Schweißverbindungen. Der 1. Teil ist in der Schrift „Dauerfestigkeit von Stählen mit Walzhaut, ohne und mit Bohrung, von Niet- und Schweißverbindungen“, VDI-Verlag 1931, S. 38ff., veröffentlicht. Dort ist für Kehlschweißungen die Dauerfestigkeit bei Ursprungsbelastung und bei hoher Grundlast mitgeteilt. Im 2. Teil, der in der Bautechn. 1932, Heft 30 u. 32, S. 395ff., erschienen ist, sind Untersuchungen mit Stumpfschweißungen und mit Kehlschweißungen verschiedener Herstellungsart untersucht worden. Dabei zeigte sich, daß die Stumpfschweißung der Kehlschweißung bei Ursprungsbelastung bis jetzt überlegen ist. Weiter wurde festgestellt, daß die Nahtlänge der Kehlschweißung bei der Dauerfestigkeit weitergehenden Einfluß hat als bei der gewöhnlichen statischen Untersuchung.

²⁾ Eine Naht enthält bei Abb. 1 rd. 3,5 cm³, bei Abb. 5 rd. 5,5 cm³ Schweißmaterial.

Über die gewöhnlichen Zugversuche ist in den Spalten 6 bis 10 der Zusammenstellung 1 berichtet. Der Bruch trat gemäß Abb. 8 ein; in allen Fällen war die Zugfestigkeit der □-Profile maßgebend. Die Schweißstellen hielten stand. Die rechnermäßigen Anstrengungen unter der Höchstlast sind in den Spalten 8 und 9 der Zusammenstellung 1 angegeben.



Gewöhnlicher Zugversuch
 max σ 40,8 kg/mm²
 Bruch nach $\sigma = 0,5$
 $\tau: \sigma = 0,5$

Dauerzugversuch
 1 271 000 Lastwechseln
 13,0 kg/mm²
 0,5

Abb. 8.

Abb. 9.

Abb. 8 u. 9. Brucherscheinungen.

Die Ergebnisse der Dauerzugversuche finden sich in den Spalten 11 bis 19 der gleichen Zusammenstellung. Die Zahlen in den Spalten 12 und 13 lassen erkennen, daß es sich um Dauerzugversuche handelte, die von einer ruhenden Grundlast $\sigma_u = 0,5$ kg/mm² ausgingen. Gesucht wurde die obere Belastungsgrenze σ_o , die im Wechsel zwischen σ_u und σ_o

Zusammenstellung 1.
Probekörper nach Abb. 1 bis 7, hergestellt durch die Firma D. Lichtbogenschweißung, Gleichstrom, 150 Amp. Stromstärke; bunte Seelenelektroden Union KS 37 mit 4 mm Durchmesser. Zugfestigkeit der C-Profile, ermittelt durch Kugeldruckversuche (DIN 1605 II) im Flansch $K_z = 43 \text{ kg/mm}^2$.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19			
Reihe	Bauart der Nietverbindungen	Dicke der Schweißnähte a	Anschlußlänge der C-Profile l	Abstand der beiden 20 mm dicken Flachstäbe l_z	Gewöhnliche Zugversuche			Rechnungsmäßige Zugversuche			Rechnungsmäßige Dauerzugversuche, $n = 350$ Lastwechsel in der Minute			Bemerkungen	Dauerzugversuch σ_{max}	Gewöhnlicher Zugversuch σ_{max}					
					Bezeichnung der Probekörper	Rechnungsmäßige Zugfestigkeit σ_{St}	Rechnungsmäßige Zugfestigkeit σ_{max}	Rechnungsmäßige Zugfestigkeit σ_{max}	Bezeichnung der Probekörper	Zuganstrengung der C-Stähle an der Streckgrenze σ_{St}	Zuganstrengung der C-Stähle unter der Höchstlast σ_{max}	Zuganstrengung der C-Stähle unter der Schweißnähte σ_{max}	Bezeichnung der Probekörper				Zuganstrengung der C-Stähle an der unteren Belastungsgrenze σ_{u2}	Zuganstrengung der C-Stähle an der oberen Belastungsgrenze σ_o	Zuganstrengung der C-Stähle an der Schweißnähte σ_o	Zahl der Belastungswechsel bis zum Bruch bzw. bis zum Ende des Versuchs	
Lg VI b ₂			rd. 70	30	E 37. C E 1	28,8	42,3	20,9	0,49	E 37. C E 3	0,5	13,0	0,2	6,5	0,50	504 000	C-Prof. gebrochen	0,31			
Lg VI b ₃	Abb. 5 bis 7	rd. 9	rd. 70	200	E 37. C H 1	28,9	40,8	21,6	0,53	E 37. C H 4	0,5	18,0	0,2	9,2	0,51	253 100	C-Prof. gebrochen	0,44			
Lg VI a ₁	Abb. 1 bis 3	rd. 5	rd. 130	30	E 37. C A 1	29,6	41,7	21,7	0,52	E 37. C A 2	0,5	13,0	0,2	6,3	0,48	415 800	C-Prof. gebrochen	0,31			
Lg VI a ₂	Abb. 1 u. 4	rd. 5	rd. 130	30	E 37. C C 1	28,9	42,2	20,3 ³⁾	0,48	E 37. C C 3	0,5	13,0	0,2 ³⁾	6,5 ³⁾	0,50	220 700	C-Prof. gebrochen	0,31			

¹⁾ Berechnet mit dem theoretischen Querschnitt der C-Profile; die Maße der C-Profile weichen nur unwesentlich von den Sollmaßen ab. — ²⁾ Gültig für die Schweißverbindungen mit dem kleinsten Scherquerschnitt der Schweißnähte. ϕ ist nach DIN 4100 berechnet. — ³⁾ Ohne Berücksichtigung der Quernähte.

2 000 000 mal erreicht werden konnte, ohne daß ein Bruch eintrat³⁾. Wird von der kleinen Grundlast abgesehen, so handelt es sich um die Ursprungsfestigkeit D_{zu} .

Die Dauerzugfestigkeit fand sich mit langen schwachen Nähten nach Abb. 1 bis 3 zu 7 kg/mm^2 , mit kurzen starken Nähten nach Abb. 5 bis 7 zu 9 kg/mm^2 . (Spaltweite $l_z = 30 \text{ mm}$)

Hiernach haben hier die kurzen starken Nähte nach Abb. 5 bis 7 eine bessere Wirkung gehabt als die langen schwachen nach Abb. 1 bis 3.

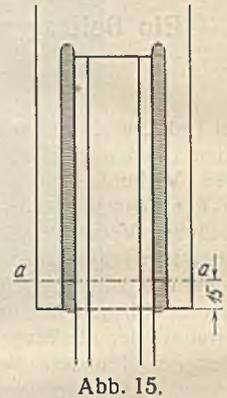


Abb. 15.

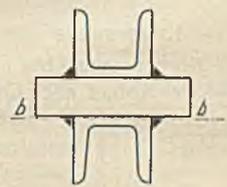


Abb. 16.

Zur Beurteilung dieses Unterschiedes sei das Folgende hervorgehoben.

Der Bruch der Verbindung trat bei den Dauerversuchen stets im C-Profil am Eintritt zur Schweißstelle ein, wie Abb. 9 bis 12 allgemein erkennen lassen und wie Abb. 13 anschaulich dartut. In Abb. 13 ist besonders deutlich erkennbar, daß links am Beginn der Schweißbraue der Bruch eingeleitet wurde⁴⁾. Hier war der Bruch zu erwarten, weil an der Schweißstelle eine große Unstetigkeit im Kräftefluß liegt und eine scharf ausgeprägte Spannungsschwelle geschaffen ist, was bei der Übertragung oft wiederkehrender, stark wechselnder Lasten bekanntlich große Bedeutung hat.

³⁾ Wenn in einzelnen Fällen die Versuche nur bis 1 oder 1,5 Millionen Lastwechsel durchgeführt worden sind, so geschah dies mit Rücksicht auf die zur Verfügung stehenden Mittel und auch, weil das Ergebnis genügend klargelegt erschien.

⁴⁾ Vgl. auch Graf, Die Dauerfestigkeit der Werkstoffe und der Konstruktionselemente, S. 45 ff. Berlin 1929, Verlag Julius Springer.

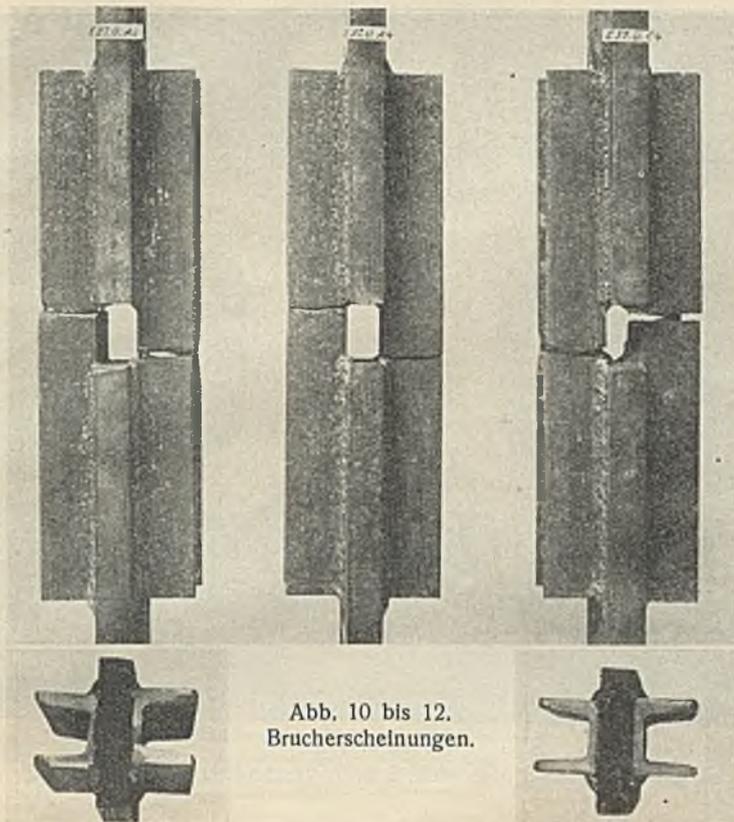


Abb. 10 bis 12.
Brucherscheinungen.

Bruch nach 415 800
zwischen $d = 0,5$ und $13,0$
 $\tau : \sigma = 0,5$

1 197 100
9,0
0,5

1 149 200 Lastwechseln
8,0 kg/mm^2
0,5

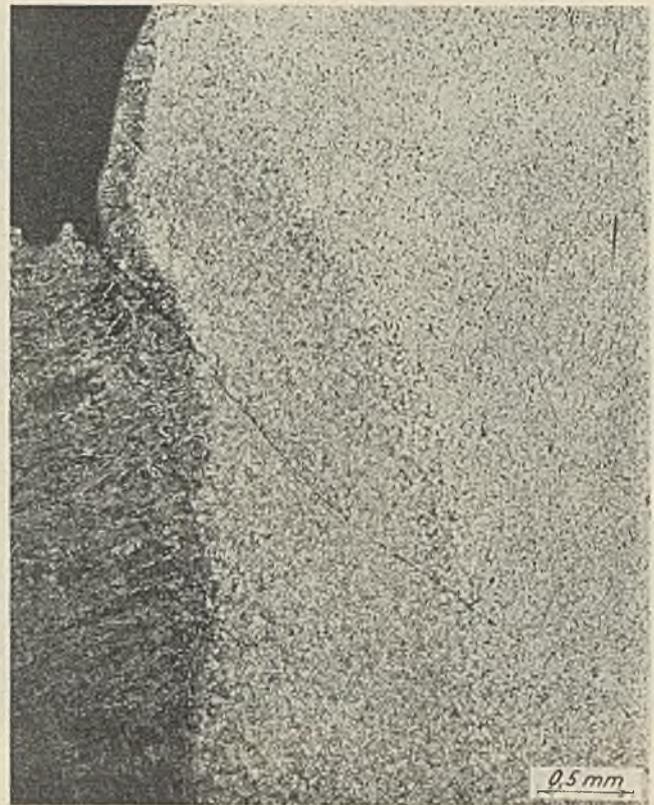


Abb. 17. Riß r in Abb. 14, links.

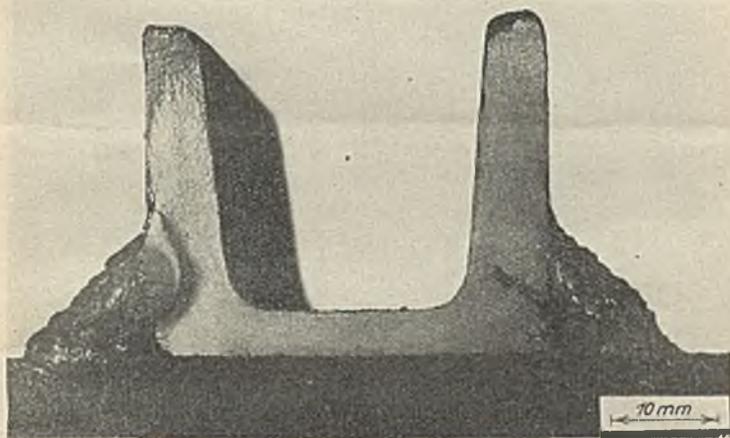


Abb. 13. Bruchfläche des Körpers E 37. □ E 5 nach Abb. 5 bis 7.

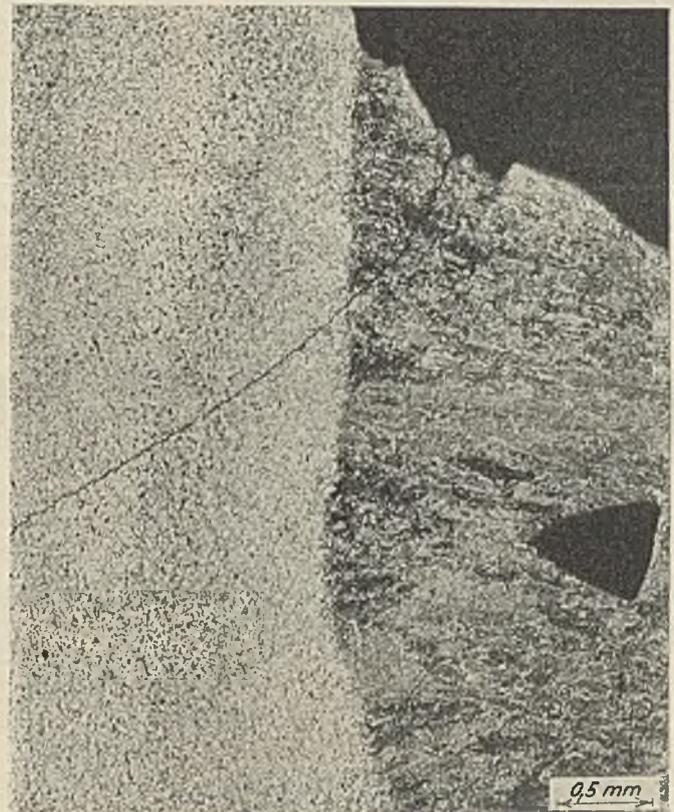


Abb. 18. Riß r in Abb. 14, rechts.



Abb. 14. Aus Körper E 37. □ A 4 nach Abb. 1 bis 3,
geschnitten bei $b\ b$, Abb. 16.

Der Anfang der Risse ließ sich an den Verbindungstellen ermitteln, die nicht zum Bruch kamen. Hier waren feine Risse festzustellen, wie sie in Abb. 14, 17 u. 18 angegeben sind. Am Ende der Schweißung erscheint ein zur Zugrichtung stark geneigter Riß, damit anzeigend, daß die entscheidende Anstrengung im Übergang zur Schweißung liegt und daß diese Anstrengung von der vermittelten Spannung, die bei der Bemessung der Schweißstellen errechnet wird, wesentlich abweichen muß.

Allerdings erscheint der Rißverlauf in den zu vergleichenden Schweißverbindungen nicht wesentlich verschieden. Es waren deshalb andere Ursachen für die Verschiedenheit der Dauerzugfestigkeit zu suchen.

Dabei ist zunächst das Gefüge betrachtet worden. Aus diesen Untersuchungen seien Abb. 19 bis 24 wiedergegeben. Abb. 19 bis 21 zeigen

Einzelheiten aus einer schwachen Kehlnaht, die nach Abb. 20 einlagig hergestellt wurde. Abb. 22 bis 24 gehören zu einer starken Naht, die an der in Abb. 23 dargestellten Stelle wahrscheinlich vierlagig war. Wesentliche Unterschiede des Gefügestandes der ein- und mehrlagigen Nähte waren nicht zu erkennen. — Dann wurde die Brinellhärte (Kugeldurchmesser 2,5 mm) in den ein- und mehrlagigen Raupen festgestellt, um zu sehen, ob in der mehrlagigen Raupe die untere Lage weicher sei als die einlagige Raupe. Eindeutige Unterschiede sind dabei nicht aufgetreten.

Für den Unterschied der Dauerfestigkeit der Schweißverbindungen nach Abb. 1 bis 3 und 5 bis 7 waren also andere Ursachen als die Beschaffenheit des Materials der Schweißraupen zu suchen. Eine Erklärung dürfte in folgendem zu suchen sein.

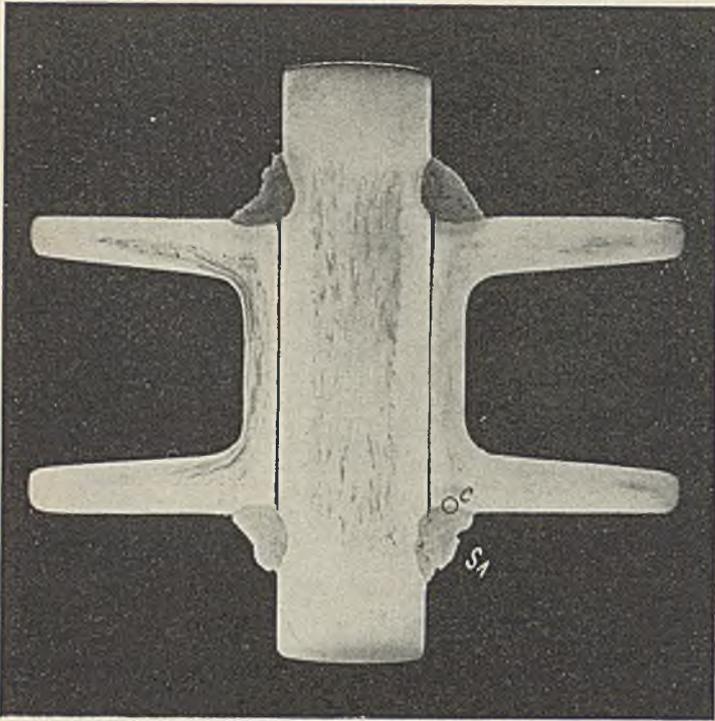


Abb. 19.

Körper E 37. C A 4 nach Abb. 1 bis 3, geschnitten bei *a a*, Abb. 15.

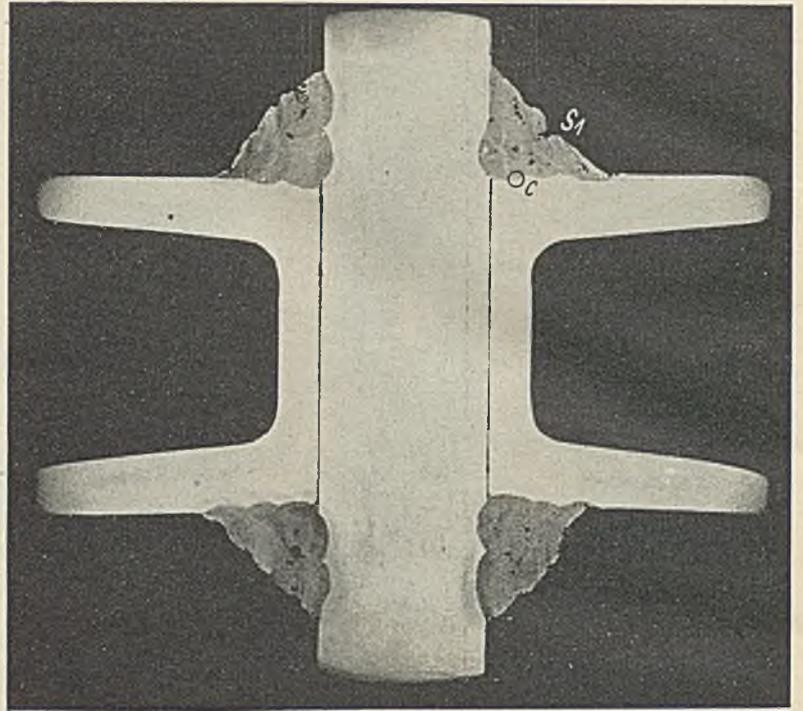


Abb. 22.

Körper E 37. C H 3 nach Abb. 5 bis 7, geschnitten bei *a a*, Abb. 15.

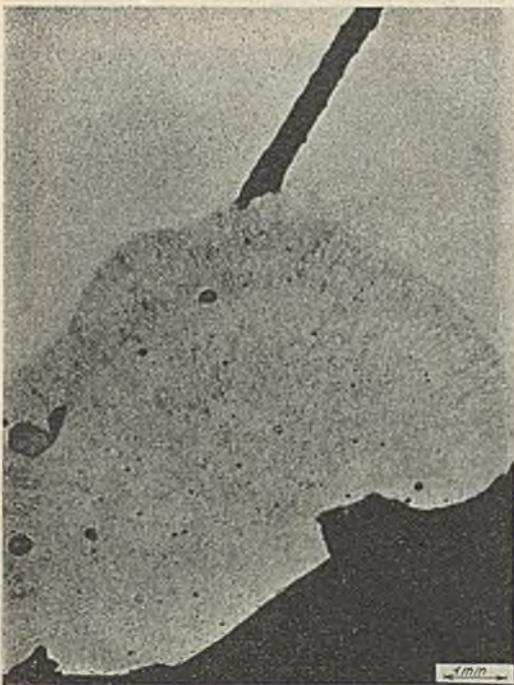


Abb. 20.

Schweißstelle *s*₁ in Abb. 19.



Abb. 21.

Aus der Schweißung in Abb. 19; Übergang von der Schweißung zum C-Profil bei *c*.

Die C-Profile sind — wie immer bei solchen Verbindungen — außermittig an die Flachstäbe angeschlossen. Wenn ein Körper nach Abb. 25 bis 27 an den Enden durch Zugkräfte belastet wird, so biegen sich die C-Profile wegen ihres außermittigen Anschlusses derart, daß ihr Abstand *f* kleiner wird. Die Änderung von *f* wird unter sonst gleichen Umständen kleiner mit Zunahme der Länge der Raupe bzw. mit Zunahme des Längsschnitts der Raupe, wie aus Zusammenstellung 2 anschaulich hervorgeht. Die Änderungen von *f* sind von Biegungen des C-Profils begleitet, die am Beginn der Schweißnaht bei *aa* (Abb. 25) in den C-Profilen die Zuganstrengungen um so mehr vermindern, je größer die Durchbiegung *f* unter sonst gleichen Umständen wird. Im vorliegenden Falle sind die Durchbiegungen mit den starken kurzen Raupen am größten ausgefallen, weshalb die Zugspannung bei *aa* in diesem Falle kleiner er-

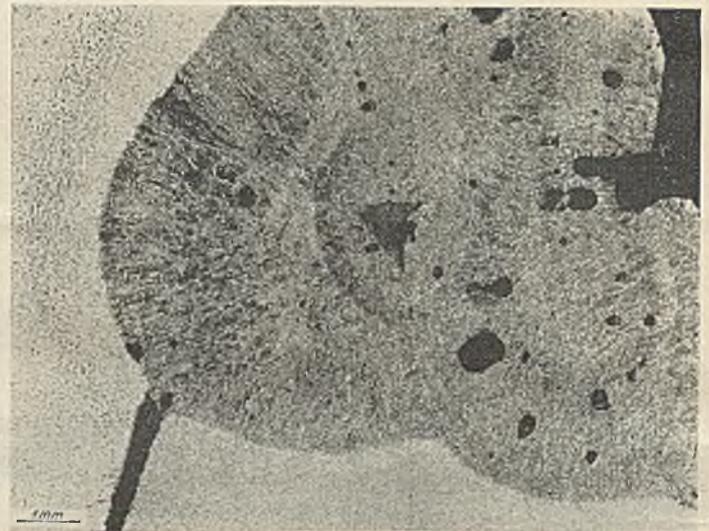


Abb. 23. Schweißstelle *s*₁ in Abb. 22.

wartet werden mußte als mit den langen schwachen Raupen; dementsprechend ist mit den starken kurzen Raupen nach Abb. 5 bis 7 eine höhere Dauerfestigkeit entstanden als mit den langen schwachen Raupen nach Abb. 1 bis 3. In der gleichen Richtung mußte sich die Änderung der freien Länge *l*_z, Abb. 5, geltendmachen. Durch Verlängerung von *l*_z = 30 mm auf *l*_z = 200 mm ist die Dauerfestigkeit von 9 auf 11 kg/mm² gestiegen, vgl. Zusammenstellung 1⁵⁾.

Durch weitere Versuche wird zu verfolgen sein, inwieweit diese Feststellung bei der Gestaltung von Schweißverbindungen ausgenutzt werden kann.

⁵⁾ Die Quernähte nach Abb. 4 haben eine Verminderung der Dauerfestigkeit gebracht, wie zu erwarten stand.

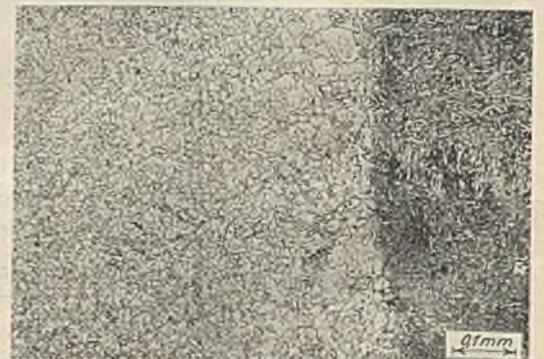


Abb. 24.

Aus der Schweißung in Abb. 22; Übergang von der Schweißung zum C-Profil bei *c*.

Zusammenstellung 2.

1	2	3	4	5	6	7
Bezeichnung der Proben	Art der Schweißnaht	Dicke a der Raupen mm	Länge der Raupen mm	Scherquerschnitt von 4 Schweißraupen f_s cm ²	Federnde Änderung des Abstandes f	
					bei $\sigma = 6 \text{ kg/mm}^2$ mm	bei $\sigma = 10 \text{ kg/mm}^2$ mm
W 37. 40. 1—2	lang u. schwach	4,7	130	24	— 0,029	— 0,046
W 37. 40. 3—4	kurz u. stark	10,3	66	27	— 0,034 (— 0,038) ²⁾	— 0,054 (— 0,061) ²⁾
E 37. □ H 5	kurz u. stark	8,2	70	23	— 0,040	— 0,067
E 37. □ H 5	kurz u. stark ¹⁾	8,2	33 ¹⁾	11	— 0,086	— 0,151 ²⁾

¹⁾ □-Profile und Raupen an den in Abb. 25 u. 27 strichpunktiert gezeichneten Stellen abgesägt.

²⁾ Außerdem 0,006 mm bleibende Änderung.

³⁾ Bezogen auf $f_s = 24 \text{ cm}^2$, zum einfachen Vergleich Änderungen umgekehrt proportional f_s .

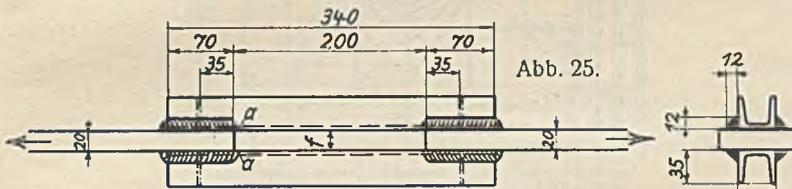


Abb. 25.

Abb. 26.

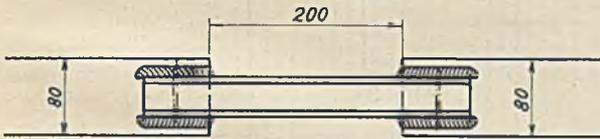


Abb. 27.

Abb. 25 bis 27. Ausbildung und Abmessungen der Prüfkörper.

2. Versuche mit Kehlan schlüssen von veränderlicher Stärke.

Bei Erörterungen über die Widerstandsfähigkeit der Kehlan schlüsse bei oftmals wiederholter Belastung wurde darauf aufmerksam gemacht, daß bei solchen Anschlüssen mit bisher üblicher Ausführung der Übergang der Kräfte vom angeschlossenen Stab in das Knotenblech u. a. von plötzlichen erheblichen Querschnittsveränderungen begleitet sei. Zur Milderung dieser Bedingung könne die Anordnung einer Schweißnaht beitragen, die vom Eingang des Stabes in den Anschluß allmählich oder stufenweise ansteige,

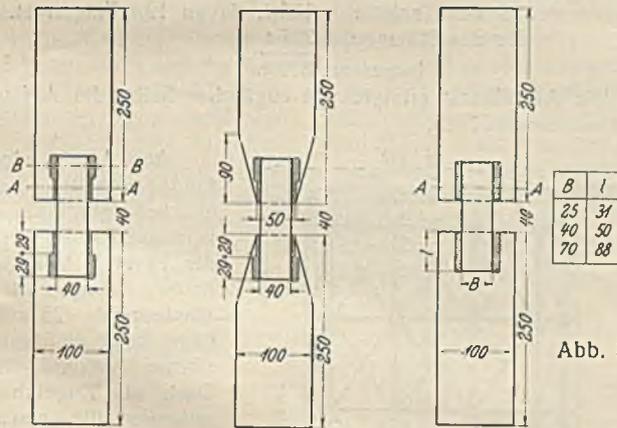


Abb. 28.

Abb. 32.

Abb. 29.

Abb. 31.¹⁾

Abb. 33.

Abb. 30.

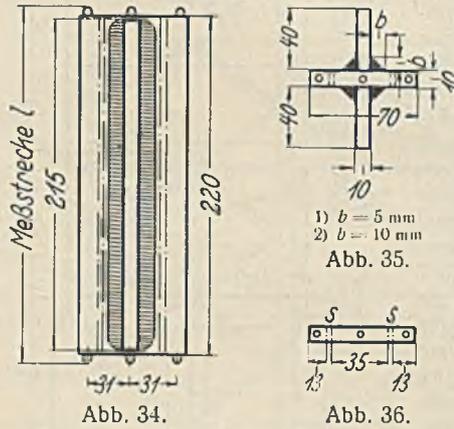
¹⁾ Schweißnähte wie in Abb. 28 bis 30.

Abb. 28 bis 33. Ausbildung und Abmessungen der Prüfkörper.

Abb. 28 bis 30; auch solle das Knotenblech nach Abb. 31 gestaltet werden. Untersuchungen mit Körpern nach Abb. 31 und mit solchen nach Abb. 32 u. 33 zeigten nun, daß auf die vorgeschlagene Weise eine nennenswerte Verbesserung der Dauerzugfestigkeit bei der jetzt üblichen Lichtbogenschweißung nicht erwartet werden kann. Es fand sich die Dauerzugfestigkeit — in gleicher Weise wie unter A ermittelt — bei den Körpern nach Abb. 31 zu 9 kg/mm², bei den Körpern nach Abb. 32 auch zu 9 kg/mm².

Die Spannungsschwellen, die bei der Kraftübertragung in den Körpern nach Abb. 31 u. 32 auftraten und die für die Größe der Dauerfestigkeit maßgebend sind, waren hiernach nicht wesentlich verschieden. Da die ermittelte Dauerzugfestigkeit viel zu klein ist, um eine Ausnutzung des Stahles etwa wie bei der Nietverbindung zu ermöglichen, muß entweder die Gestaltung der Schweißverbindung wesentlich anders als hier geschehen, oder es muß das Material am Eintritt der Schweißstelle gegen oftmals wiederholte Beanspruchung wesentlich leistungsfähiger gemacht werden. Daß das letztere zur Zeit in erster Linie anzustreben ist, ergibt sich schon aus früheren Feststellungen⁶⁾.

3. Einige Messungen über Spannungen in Schweißverbindungen, hervorgerufen durch Schweißraupen verschiedener Stärke und Art.⁷⁾



1) $b = 5 \text{ mm}$
2) $b = 10 \text{ mm}$
Abb. 35.

Abb. 34.

Abb. 36.

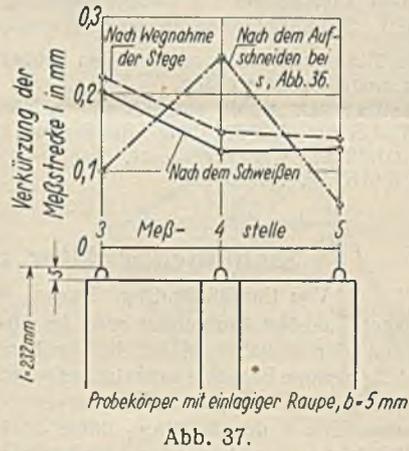
Wenn aus drei Flachstähen eine Verbindung nach Abb. 34 u. 35 hergestellt wird, entstehen beim Erkalten der Schweißraupen Verkürzungen der Flachstähe. Diese Verkürzungen lassen sich durch Bestimmung der Länge der Strecken l , Abb. 34, vor und nach dem Schweißen feststellen.

Abb. 37 zeigt die Ergebnisse solcher Messungen an einem Stück, das durch Lichtbogenschweißung⁸⁾ mit einlagiger Raupe ($b = 5 \text{ mm}$, Abb. 35) hergestellt

war. Die Länge l hat sich hiernach an den außenliegenden Meßstellen 3 und 5 um 0,20 bzw. 0,13 mm, in der Mitte bei 4 um 0,125 mm verkürzt⁹⁾. Diese Verkürzungen würden, wenn die Dehnungszahl der gesamten Formänderungen zu $\alpha = 1/2\,000\,000$ vorausgesetzt wird, durch die mittleren Spannungen

18,2 bzw. 11,8 bzw. 11,4 kg/mm²

hervorgerufen.



Probekörper mit einlagiger Raupe, $b = 5 \text{ mm}$
Abb. 37.

Um nun zu erfahren, welche Spannungen in den Flachstähen nach dem Schweißen vorhanden sind, wurden von dem Kreuz nach Abb. 35 zunächst die Stege mit den Raupen so weit abgehobelt, daß das Profil 70 · 10 mm zurückblieb. Dabei haben sich die Strecken l erneut verkürzt, wie der gestrichelte Linienzug in Abb. 37 anzeigt. Schließlich ist der Flachstahl an den in Abb. 36 mit s bezeichneten, in Abb. 35 u. 36 strichpunktierten Stellen aufgeschnitten worden. Dabei wurden die außenliegenden Streifen von dem Druck der Schweißraupen befreit; die Verkürzungen der Strecke l , vgl. den strichpunktierten Linienzug in Abb. 37, gingen bei der Meßstrecke 3 auf 0,10 mm, bei der Meßstelle 5 auf 0,055 mm zurück; dagegen ist die Verkürzung an der Stelle 4 noch erheblich gewachsen; sie betrug jetzt 0,25 mm.

Besonders wichtig sind die Längenänderungen bei den Stellen 3 und 5. Zunächst ergab sich hier durch das Schweißen und durch die Schrumpfkraft der Schweißraupe eine Verkürzung um 0,20 bzw. 0,13 mm; nach dem Aufschneiden des Materials bei s , Abb. 36, gingen die Verkürzungen auf 0,10 bzw. 0,055 mm zurück, d. h. es verlängerten sich die Strecken l gegenüber dem Zustande nach dem Schweißen

bei 3 um 0,10
bei 5 0,07 mm.

Die Verlängerung bei 3 und 5 gegenüber dem Zustande nach dem Schweißen gibt das Maß für die Druckkräfte, die in dem abgetrennten

⁶⁾ Vgl. Bautechn. 1932, S. 395 ff., wonach mit Gasschmelzschweißung wesentlich höhere Dauerfestigkeiten erzielt wurden als bei den soeben und früher mitgeteilten Versuchen mit Lichtbogenschweißung.

⁷⁾ Vgl. auch Lottmann, Z. d. Vdl 1930, S. 1340 ff., auch Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft 1928, S. 175 ff.; ferner Bierett, Stahlbau 1932, S. 94 ff., sowie Schröder, Bauing. 1932, S. 268 ff. und Elektroschweißung 1932, S. 41 ff.

⁸⁾ Gleichstrom; 170 Ampere; 17 V; blanke Elektroden „Böhler B-Elite“, Kennfarbe hellgelb.

⁹⁾ Werden die Verkürzungen auf die Raupenlänge von 215 mm bezogen (vgl. Abb. 34), so betragen sie 0,93 bzw. 0,60 bzw. 0,58 mm auf 1 m.

Streifen nach dem Schweißen wirksam waren, bis die Streifen losgelöst wurden. Wird der Einfachheit wegen angenommen, diese Druckkraft sei über die gesamte Länge des Streifens gleich wirksam gewesen, so ergibt sich bei Einführung der Dehnungszahl $\alpha = 1/2\ 000\ 000$ die Druckspannung bei Meßstelle 3 zu $\sigma = rd. 9,1$ zu $\sigma = rd. 6,4\text{ kg/mm}^2$.

Die gleichen Messungen sind an einer Verbindung mit stärkeren Schweißraupen, ebenfalls mit Lichtbogenschweißung, gemacht worden (vgl. Abb. 35, $b = 10\text{ mm}$). Die Ergebnisse finden sich in Abb. 38.

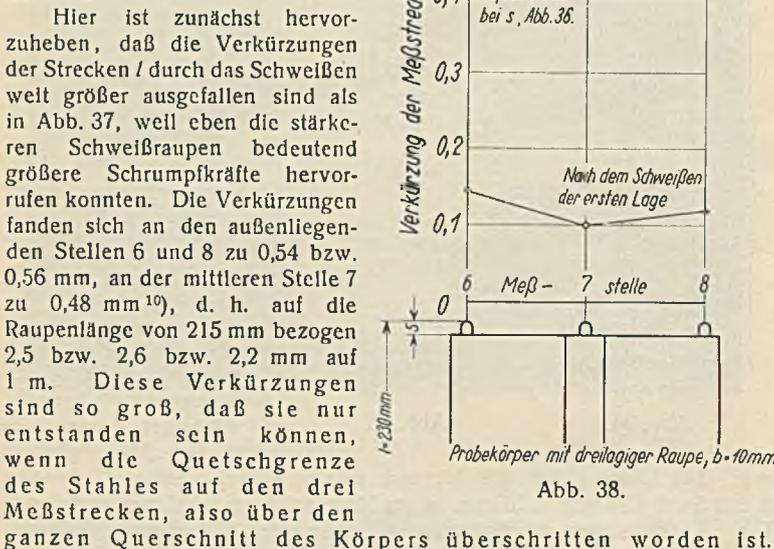


Abb. 38.

Hier ist zunächst hervorzuheben, daß die Verkürzungen der Strecken l durch das Schweißen weit größer ausgefallen sind als in Abb. 37, weil eben die stärkeren Schweißraupen bedeutend größere Schrumpfkraft hervorgerufen konnten. Die Verkürzungen fanden sich an den außenliegenden Stellen 6 und 8 zu 0,54 bzw. 0,56 mm, an der mittleren Stelle 7 zu 0,48 mm¹⁰⁾, d. h. auf die Raupenlänge von 215 mm bezogen 2,5 bzw. 2,6 bzw. 2,2 mm auf 1 m. Diese Verkürzungen sind so groß, daß sie nur entstanden sein können, wenn die Quetschgrenze des Stahles auf den drei Meßstrecken, also über den ganzen Querschnitt des Körpers überschritten worden ist.

Nach dem Abhebeln der Stege und der Raupen und nach dem Aufschnneiden des Flachstahles bei s , s, Abb. 36, gingen die Verkürzungen bei 6 und 8 um 0,09 bzw. 0,105 mm zurück; bei 7 ist die Verkürzung noch um 0,08 mm größer geworden¹¹⁾. Die Längenänderungen bei 6 und 8

¹⁰⁾ Auf den Umstand, daß die Zusammendrückungen außen größer waren als in der Mitte, soll später eingegangen werden.
¹¹⁾ Das mittlere, rd. 35 mm breite Stück wurde später noch auf 20 bzw. 10 mm Breite abgearbeitet. Dabei hat sich die Länge der Strecke 7 bei 20 mm Breite um 0,003 mm weiter verkürzt, dann bei 10 mm Breite um 0,016 mm verlängert.

geben wieder ein Maß für die Anstrengungen, die in den Rändern des breiten Flachstahles herrschen; sie errechnen sich nach der bereits angegebenen Art

$$\text{bei } 6 \quad \text{zu } \sigma = 8,2$$

$$\text{bei } 8 \quad \text{zu } \sigma = 9,5\text{ kg/mm}^2,$$

also im Mittel etwas größer als bei der zuerst besprochenen Verbindung mit einlagigen Raupen.

Gleiche Versuche wurden mit Verbindungen ausgeführt, die mit Gasschmelzschweißung hergestellt waren. Die Formänderungen, die sich hier nach dem Aufschnneiden der Verbindung auslösten, sind in den gestrichelten Linienzügen der Abb. 39 angegeben. Auch hier waren die federnden Längenänderungen der äußeren Meßstrecken von der Dicke der Schweißraupen innerhalb der gewählten Grenzen nicht erheblich beeinflusst.

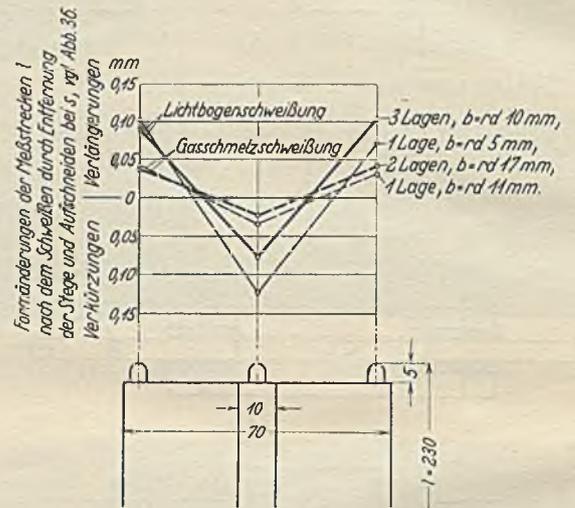


Abb. 39.

In Abb. 39 finden sich zum Vergleich auch die vorhin beschriebenen Längenänderungen der Verbindungen mit Lichtbogenschweißung. Hier nach sind die federnden Längenänderungen und damit die Spannungen an den Rändern der breiten Flachstahle nach Gasschmelzschweißung weit kleiner geblieben als nach Lichtbogenschweißung.

Alle Rechte vorbehalten.

Stahlhochbehälter mit geringer Bauhöhe.

Von Baurat Dr.-Ing. Dr.-Ing. h. c. F. Bohny, Lindau i. Bodensee.

Als Hochbehälter mit geringer Bauhöhe bezeichnet man im allgemeinen Wasserbehälter, bei denen der Behälter selbst bei großem Fassungsvermögen eine verhältnismäßig geringe Bauhöhe aufweist, während die Höhe des Stützgerüsts — also die Höhe des ganzen Bauwerkes — beliebig sein kann und je nach dem Zweck des Behälters höher oder niedriger ausgeführt ist. Dadurch entstehen meist besonders standsichere Formen solcher Anlagen, Verteilung der stets großen Lasten auf eine große Bodenfläche — daher einfache und billige Gründungen —, geringe Schwerpunkthöhe des Behälterinhalts, also geringe Förderhöhe und geringe Wasserdruckschwankungen. Als Nachteile sind die Schwierigkeiten zu verzeichnen, die Lasten richtig auf die bei solchen Behältern notwendigen vielen Stützen zu verteilen, d. h. die Verteilung so vorzunehmen, daß der Behälterboden und die Behälterwände keine Biegungsspannungen erleiden. Eine weitere Frage ist die Ausbildung des Daches und dessen Stützung, die, wie bei den bekannten Ölbehältern, den sogenannten Tanks, mittels Stützen im Innern oder mittels eines Kuppelgespärres usw. erfolgen kann. Dem Spielraum und der Geschicklichkeit des Konstrukteurs verbleibt da ein ganz außerordentlich großes Feld der Betätigung, alle möglichen Formen sind schon für solche Behälter vorgeschlagen und ausgeführt worden¹⁾. Man ist daher auch nicht an die kreisrunde Form des Behälters gebunden. Wenn das Gewicht auf viele Stützpunkte verteilt wird, kann jede beliebige Form der Anlage gewählt werden.

In Abb. 1 ist ein Wassertank mit Stützgerüst in quadratischer Form, also ein Viereckbehälter dargestellt, wie er für eine Anlage nach Südafrika entworfen worden ist. Bei den gewählten Abmessungen beträgt der Inhalt rd. 3400 m³. Die Gewichte betragen:

für den Tank . . . 135 t, davon 19 t Trägerrost.
für das Stützgerüst 237 t
Insgesamt 372 t.

Die Ausführung erfolgte von englischer Seite, die Anfrage erfolgte im Hochsommer 1928.

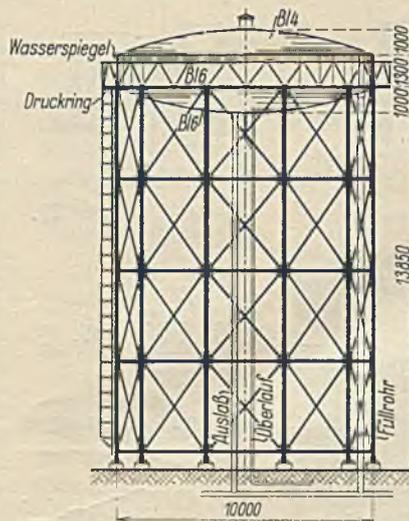


Abb. 2. Wasserbehälter in Kreisform für San Martin, Argentinien.

Abb. 2 zeigt einen kleinen runden Behälter, der Ende des gleichen Jahres für die Wasserversorgung von San Martin in der Provinz Mendoza, Argentinien, ausgeschrieben war. Wasserinhalt 125 m³. Der Behälter zeigt die typische Form solcher Anlagen, Boden und Dach als Kugelabschnitt, dazwischen die einfache zylindrische Außenwand. Die Einzelabmessungen gehen aus der Abbildung näher hervor, ein Druckring zwischen Boden und Mantel nimmt die Zugkräfte aus den Meridianspannungen des Bodens auf. Das Gewicht des Bauwerkes beträgt rd. 30 t, wovon auf den Behälter selbst mit der Plattform rd. 14 t entfallen.

Die Abbildung stellt einen deutschen Gegenvorschlag mit senkrechten Pfosten des Stützgerüsts dar. Der ursprüngliche Vorschlag vom Gesundheitsministerium in Buenos Aires sah Schrägpfeiler vor, in Rücksicht auf die Lage des Aufstellungsortes des

¹⁾ Siehe hierzu den umfassenden Aufsatz „Der Stahlbehälterbau“ von Oberingenieur E. Kottenmeier in Hannover-Herrenhausen in „Der Stahlbau“ 1930, Heft 2, 5 und 7 (Sonderdruck Berlin 1930, Wilh. Ernst & Sohn), insbesondere die Gleichgewichtsuntersuchungen für gewölbte Behälter in Heft 7, S. 73/79.

Tanks im Erdbebengebiet. Die Ausführung erfolgte mit senkrechten Pfosten nach Abb. 2.

Abb. 3 zeigt einen niederen Behälter auf einem hohen Gerüst, erbaut 1929/30 für die Zeche Heinrich in Überruhr. Wassereinhalt 150 m³. Das Gewicht des ganzen Bauwerks beträgt rd. 27 t, wobei der Behälter mit Plattform rd. 12 t wiegt. Auffallend in der Wirkung des Gerüsts sind die kräftigen Querriegel und die dünnen Schrägen, wie sie fast durchwegs bei amerikanischen Vorschlägen und Ausführungen zu finden sind. In der Höhe des Mantelbodens ist wieder ein Druckring ein-

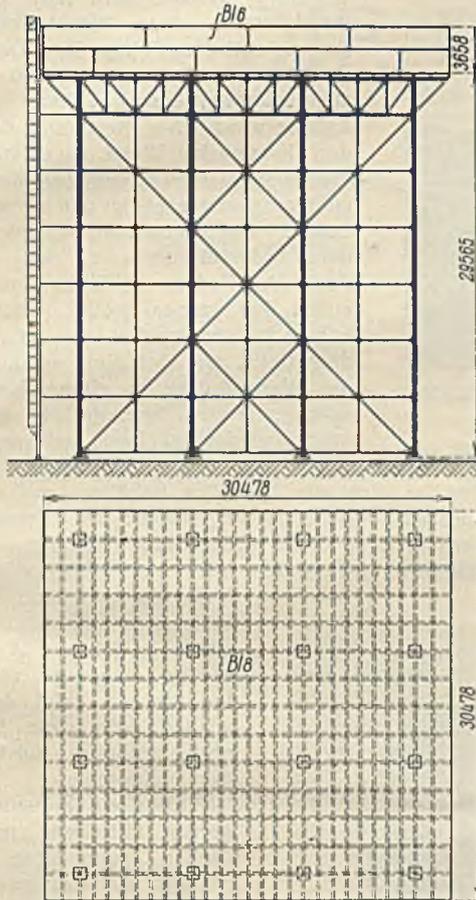


Abb. 1. Wasserbehälter in quadratischer Form.

geschaltet. Bei der Beschränkung der Stützensahlen — wie in vorliegendem Falle auf vier Stück — krägt der Behälter zwischen den Stützpunkten stark balkonartig vor. In diesem Falle, d. h. bei verhältnismäßig niederen Behältern, besteht die Notwendigkeit, den Behältermantel noch auf Biegung zu untersuchen und die Mantelränder besonders steif auszubilden.

Über amerikanische Hochbehälter mit geringer Bauhöhe sind kürzlich einige Veröffentlichungen erschienen²⁾. Die Ausführungen unterscheiden sich jedoch mit Ausnahme der Größe grundsätzlich nicht von den eben beschriebenen Konstruktionen. Nur das Steigrohr in Bauwerksmitte ist bei den Amerikanern mit verhältnismäßig großem Durchmesser ausgeführt. So zeigt ein Behälter für Columbus, Ohio, mit 9100 m³ Inhalt, 26,2 m Durchmesser auf 23 m hohem Gerüst ein mittleres Steigrohr von 3 m Durchmesser. Es liegt nahe, ein solch starkes Mittelrohr gleichzeitig zur

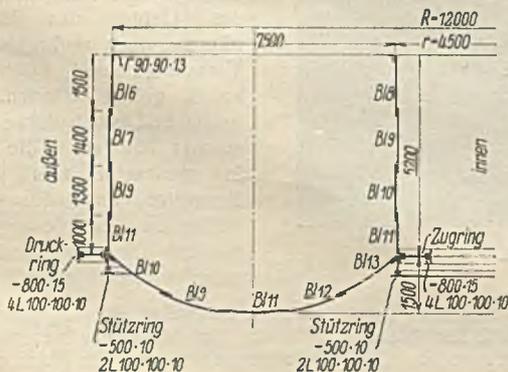


Abb. 5. Abmessungen des Ringbehälters für La Plata.

Stützung des Behälters mitzubedenken. Wie sich dann aber die Lasten

²⁾ Siehe „Bautechnik“ 1932, H. 36, S. 462, wo der sogenannte „Horton“-Behälter der Chicago Bridge and Iron Works näher beschrieben ist.

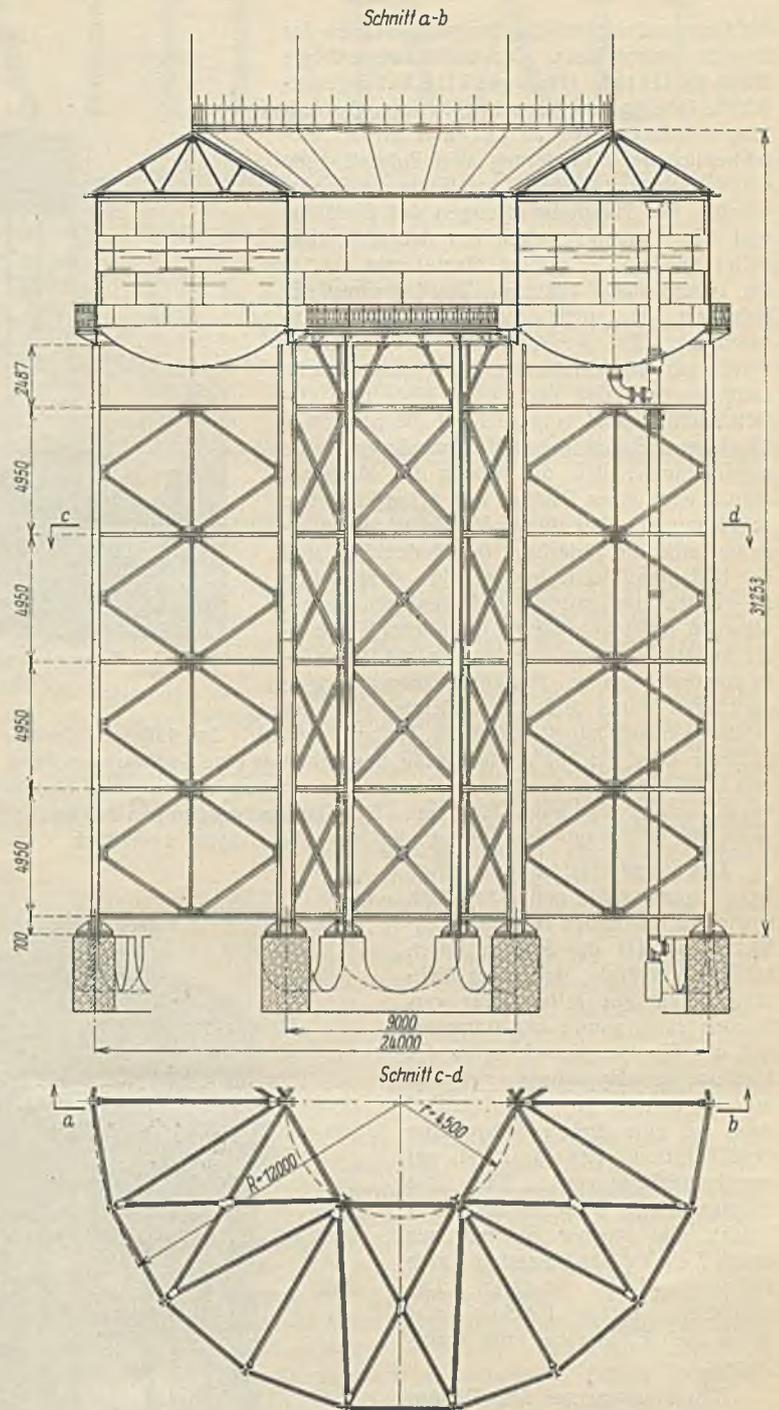


Abb. 4. Wasserbehälter in Ringform für La Plata.

auf Rohr- und Gerüststützen verteilen und welche Biegungen in den Bodenblechen auftreten, ist eine andere Frage. Offenbar macht man sich darüber jenseits des Ozeans keine Sorgen.

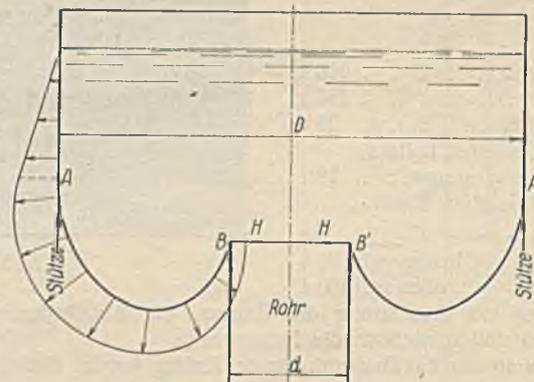


Abb. 7. Behälter nach amerikan. Patent.

Zu den Hochbehältern mit geringer Bauhöhe gehören auch die Ringbehälter auf Gerüsts. Ein solcher von 2500 m³ Inhalt, gebaut 1913/14 für die Stadt La Plata in Argentinien, ist in der Abb. 4 in einem Meridianschnitt und einem Schnitt durch das Gerüst dargestellt. Bestellerin war

die Generaldirektion des Gesundheitsamtes der Provinz Buenos Aires. Die Ausführung erfolgte durch die Gutehoffnungshütte Aktiengesellschaft, Oberhausen, einschließlich der Aufstellung des Bauwerkes an Ort und Stelle, einschließlich der Mitlieferung aller Rohrleitungen und sogar einschließlich Ausführung der Fundamente. Die Hauptabmessungen des Behälters und des Gerüsts gehen aus der Abbildung näher hervor. Der äußere Mantel ruht auf 18, der innere auf 6 Stützen. Die Lagerung des Behälters ist somit mehrfach statisch unbestimmt. Zur Vereinfachung der Rechnung wurde bei der Ermittlung der Auflagerdrücke angenommen, daß der Boden seine Last einfach nach dem Hebelgesetz auf die Stützringe überträgt. Zur weiteren Vereinfachung wurde angenommen, daß der Boden im Meridianschnitt nach einer Parabel von 1,5 m Pfeilhöhe gekrümmt ist. Mit diesen Vereinfachungen ergeben sich die Belastung der Bodenringe und der Bodenrandbleche in t je lfdm., desgleichen die Kräfte im mittleren Bodenblechstreifen, während die Mantelbleche in üblicher Weise — die äußeren auf Zug, die inneren auf Druck — zu bemessen waren. Mit den Beanspruchungen ging man dabei äußerst vorsichtig vor, die Höchstbeanspruchung wurde zu 1 t/cm^2 gewählt. Im äußeren Mantel, unterste Zone, ist bei Vollbelastung des Behälters eine Zugbeanspruchung von $0,755 \text{ t/cm}^2$ vorhanden, im inneren Mantel entsprechend eine Druckbeanspruchung von nur $0,284 \text{ t/cm}^2$. Die Stärkenabmessungen der Bleche, sowie der Stütz- und Bodenringe sind aus Abb. 5 näher ersichtlich.

Das Stützgerüst ist auf ständige Last, Eigengewicht und Wasserlast, sowie auf Winddruck von 250 kg/m^2 berechnet. Da die Stützen durch kräftige Verbände nach allen Richtungen hin gut miteinander verbunden sind, wurde angenommen, daß der Winddruck sich nach der Navierschen Hypothese auf die Stützen verteilt. Insgesamt entfiel dann auf eine äußere Stütze eine Größtbelastung von rd. 110 t, auf eine Innenstütze von rd. 200 t. Die äußeren Stützen bestehen aus einem I B 30, die inneren Stützen aus einem I 45, auf den Flanschen durch aufgelegte $\square 28$ verstärkt. Die Sicherheit gegen Knicken war damit nach Euler eine rund sechsfache.

Die Fundamente des Turmes bestehen aus zwei voneinander getrennten Bodenringen von 3 m Höhe und 1,6 m bzw. 1,8 m Breite. Die Bodenpressung ergibt sich damit bei obigen Stützendrücken zu 2 kg/cm^2 außen und $2,7 \text{ kg/cm}^2$ innen. Die Gewichte des Bauwerkes betragen:

Stützgerüst	218 t
Behälter	127 t
Dachkonstruktion	29 t
Treppen, Geländer, Leitern, Dachverzierung usw.	19 t
Gußeisen zu den Fundamenten	3 t
Insgesamt	396 t
	oder rd. 400 t,

dazu kommen als Ausrüstung die Rinnen, die Abfallrohre mit ihren Befestigungen und schließlich die Fundamente.

Der Vertrag auf das Bauwerk wurde Anfang August 1913 gezeichnet, die Anlieferung aller Bauteile auf dem Bauplatze sollte innerhalb zehn Monaten danach erfolgen, die Aufstellung sollte weitere drei Monate später vollendet sein. Es gelang dem Lieferwerke trotz Verzögerungen in der Plangenehmigung, verursacht durch die notwendige Neuberechnung und Neubemessung der behördlich vorgesehenen Konstruktion, die Hauptteile der Stahlkonstruktion und der Rohrleitungen noch vor Beginn des Welt-

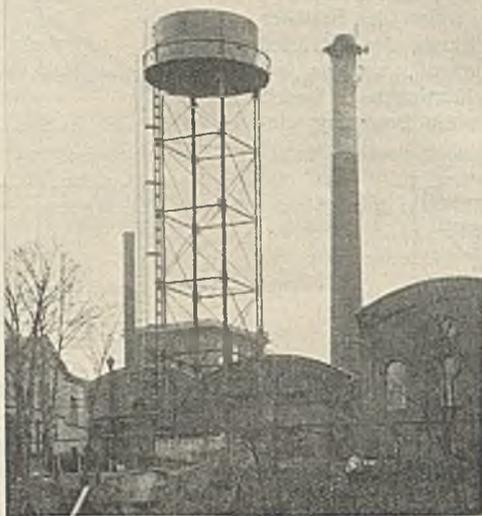


Abb. 3. Wasserbehälter für Zeche Heinrich, Überrauch.

krieges zu verschiffen. Die Aufstellung erfolgte mittels eines hohen Drehkranes im Mittelpunkt der Anlage. Die Übergabe des fertigen Behälters erfolgte in den ersten Tagen des Jahres 1915. Die ganze Konstruktion ist in Flußstahl von Normalgüte ausgeführt. Abb. 6 zeigt ein Bild des fertigen Bauwerkes³⁾.

Ein amerikanischer Vorschlag, von der Chicago Bridge and Iron Comp. stammend, ist in einem Patent vom Juli dieses Jahres enthalten (Abb. 7). Der kreisrunde Behälter ist durch einen kreisrunden Boden abgeschlossen, dessen äußerer Rand in die Zylinderwand des Behälters übergeht und dort in üblicher Weise abgestützt wird, und dessen innerer Rand am Zugring des Zentralzuführungsrohres endigt und da seine Stützung findet. Die Meridiankurve des Bodens soll dabei so geformt sein, daß vom tiefsten Punkt des Bodens die Krümmungsradien nach außen hin immer größer, nach innen hin immer kleiner werden. In der Abbildung ist dargestellt, wie bei einer solchen Bodenform die Wasserdrücke in einem Meridianschnitte wirken, dessen Seillinie bei gefülltem Behälter wieder möglichst mit der Kurve des Bodens zusammenfallen muß, wenn keine Biegungskräfte auftreten sollen. Man hat es also wie bei allen Behältern mit dünnen Wandungen auch hier mit einer einfachen Aufgabe des Gleichgewichtes zu tun, die zeichnerisch leicht durch schrittweises Vorgehen — sogenannte Iteration — gelöst werden kann. Man kann dabei die Horizontalkräfte ganz an den Stützring des Steigrohres überleiten, so daß außen bei A und A' ein waagerechter Zugring unnötig wird. Im übrigen zeigt der Vorschlag wieder, wie viele Möglichkeiten noch bezüglich solcher Behälterformen bestehen.

Über die Stützung durch ein großes Mittelrohr und die Bedenken gegen diese Konstruktion ist oben schon einiges gesagt worden. Im vorliegenden Falle ist allerdings durch die muldenartige Form des Ringbodens diesen Bedenken einigermaßen Rechnung getragen, was zweifellos in der Absicht des Erfinders lag.

Das Gebiet des Behälter- und Tankbaues, wobei ich vor allem auch an die üblichen Behälter für die Lagerung von Öl, Petroleum, Benzin und Säuren denke, ist außerordentlich groß und mit ihren neuzeitlichen Ansprüchen, wie schwimmende Dächer usw., außerordentlich vielseitig. Es wäre sehr zu begrüßen, wenn die Firmen, die das Gebiet des Behälterbaues pflegen, noch mehr als bisher ihre Vorschläge und Erfahrungen bekannt geben würden. Die statische und konstruktive Behandlung solcher Bauwerke, die Ausführung in genieteteter und geschweißter Bauweise, auch die vielen Möglichkeiten der Montage sind besonders interessant und bemerkenswert.

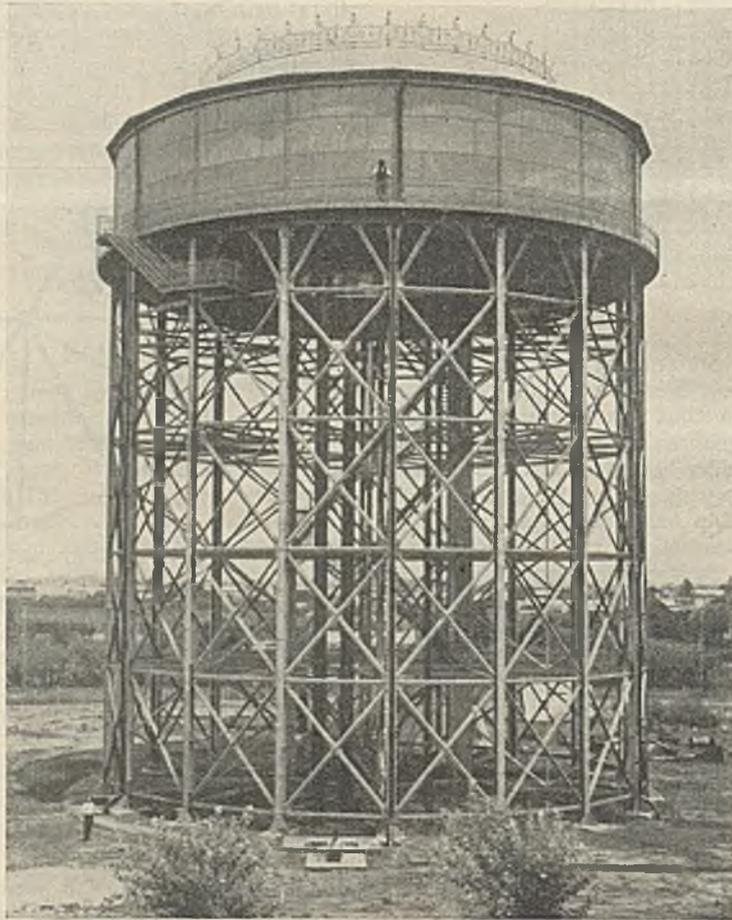


Abb. 6. Wasserturm La Plata.

³⁾ Ein Wasserturm genau gleicher Bauweise von sogar 3700 m^3 Inhalt ist bereits 1912 für dieselbe Behörde von der Firma Neuman in Eschweiler gebaut worden. Beide Behälter stehen auf der Plaza de las Armas in La Plata.

INHALT: Aus Dauerversuchen mit Lichtbogenschweißungen. — Stahlhochbehälter mit geringer Bauhöhe.

Für die Schriftleitung verantwortlich: Geh. Regierungsrat Prof. A. Hertwig, Berlin-Charlottenburg.
Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin W 8.
Druck der Buchdruckerei Gebrüder Ernst, Berlin SW 68.