

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

10. Jahrgang

BERLIN, 15. Januar 1937

Heft 2

Alle Rechte vorbehalten.

Versuche über das Verhalten von genieteten und geschweißten Stößen in Trägern I 30 aus St 37 bei oftmals wiederholter Belastung.

Von Otto Graf, Stuttgart.

Schon bei der Durchführung der Zugversuche mit geschweißten Verbindungen, über die zuletzt in der Schrift „Dauerfestigkeitsversuche mit Schweißverbindungen“¹⁾ berichtet worden ist, trat die Frage auf, ob die Widerstandsfähigkeit geschweißter Verbindungen in der Zugzone von Trägern ebenso groß zu erwarten ist wie bei den Zugversuchen. Einen vorläufigen Einblick gewährten im Jahre 1933 ausgeführte Versuche mit ungeschweißten Trägern²⁾. Diese Versuche ergaben, daß die Zugzone eines Profilträgers ungefähr ebenso widerstandsfähig ist wie ein Flachstab beim Zugversuch. Darauf ist im Frühjahr 1934 ein Arbeitsplan für Versuche aufgestellt worden, die zeigen sollten, ob Schweißverbindungen in der Zugzone von Profilträgern ebenso beurteilt werden können wie Schweißverbindungen, die nur auf Zug beansprucht sind. Dabei war auch zu erkunden, wie oft angewandte Decklaschen von Stumpfstoßen in der Zugzone von Trägern zu bewerten sind³⁾.

Der Arbeitsplan ist nach wiederholten Besprechungen mit Herrn Dr.-Ing. Klöppel und mit Herrn Reichsbahndirektor Dr.-Ing. Schaechterle am 26. Juli 1934 dem Ausschuß für Versuche im Stahlbau vorgelegt worden. Nach der Beratung im Ausschuß ist der im folgenden wiedergegebene Arbeitsplan in einer Arbeitsgruppe, welcher die Herren Dr.-Ing. Klöppel⁴⁾, Reichsbahndirektor Dr.-Ing. Schaechterle und der Bericht angehörten, endgültig festgelegt worden. Herr Baurat Dr.-Ing. G. J. Bohny hat erwirkt, daß das Werk Sterkrade der Gutehoffnungshütte die kostenlose Herstellung und Lieferung der Versuchskörper übernahm.

A. Arbeitsplan.

Die Versuchskörper waren Träger I 30 aus St 37. Die Länge betrug 3200 mm, die Auflagerentfernung 3000 mm. Die Belastung erfolgte in der Regel an zwei symmetrisch zur Mitte der Balkenlänge gelegenen Stellen im Abstand von 550 mm.

Die Träger waren entweder in der Mitte oder in den äußeren Balkenteilen durch Nietverbindungen oder Schweißverbindungen gestoßen.

1. Reihe 1, Träger nach Bild 1 und 2, in der Mitte durch eine Nietverbindung gestoßen. Über den Widerlagern und unter den Laststellen hatten die Stege Versteifungen aus L 60·60·10 mm erhalten.

Die Einzelheiten der Nietverbindung sind in Bild 12 u. 13, Zusammenstellung 1, dargestellt. Die Verhältniszahlen für $\sigma : \sigma_f : \tau$ betragen 1 : 0,9 : 0,5. Die inneren Flächen der Nietverbindung waren mit Mennige gestrichen.

Über die Herstellung der Nietverbindung wurde aus Sterkrade folgendes mitgeteilt.

¹⁾ S. 18 ff. Berlin 1935, VDI-Verlag.

²⁾ Stahlbau 1934, S. 169 ff.

³⁾ Die Versuche zur Erkundung der zweckmäßigen Gestaltung von Laschenenden und von Gurtverstärkungen sind inzwischen nach einem besonderen Plan erweitert ausgeführt worden.

⁴⁾ Vgl. auch Klöppel, Elektroschweißung 1935, S. 73.

Der Durchmesser der Rohniete betrug am Schaftende 15,7 mm, am Setzkopf 16,3 mm. Die Glühfarbe der Niete war hellgelb. Das Schaftende der Niete wurde vor dem Einbringen der Niete kurze Zeit in Wasser getaucht. Das Schlagen der Niete geschah mit einem Preßlufthammer

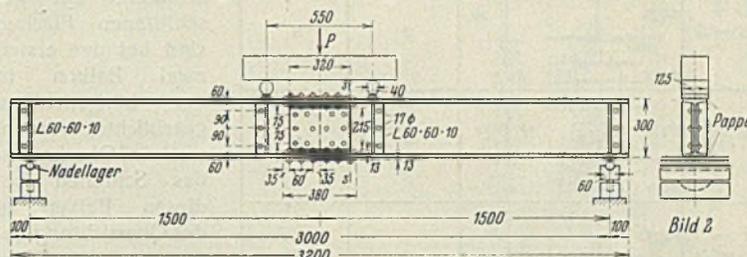


Bild 1 u. 2.

von den Niles-Werken, Type RN 23a, Hammergewicht 9,6 kg, Döppergewicht 1,2 kg. Der Überdruck der Preßluft betrug 6,5 bis 7 at. Die Nietzeit ist zu 8 bis 12 sek angegeben worden.

2. Reihe 2, Träger nach Bild 3 bis 5 sowie nach Bild 14, 15 u. 16 (Zusammenstellung 1) mit einer Stumpfnaht. Die Naht wurde mit dem Lichtbogen geschweißt. Die Flächen der Fugen waren brenngeschnitten, die Brennhaut abgeschmirgelt. Die Flanschen und der Steg der Träger

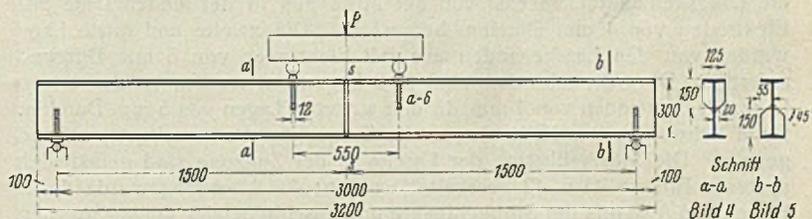


Bild 3 bis 5.

erhielten V-Nähte mit einem Öffnungswinkel von 70°. Zuerst wurde der Steg geschweißt, dann sind die Flanschen geschlossen worden, zuletzt auf der Zugseite. Die V-Nähte sind an der Wurzel nachgeschweißt worden.

Geschweißt wurde mit den umhüllten „Pan“-Stäben, in der ersten Lage mit 4 mm Durchm. bei 30 bis 35 Volt und 150 bis 180 Ampere, in der zweiten und in den weiteren Lagen mit 5 mm Durchm. bei rd. 35 Volt und rd. 200 bis 210 Ampere.

Die fertige Schweißnaht wurde nicht bearbeitet.

3. Reihe 3, Träger mit schrägen Stumpfnahten nach Bild 17, 18 u. 19, sonst wie Bild 3 bis 5. Die Stumpfnahte in den Flanschen lagen unter 45° zur Achse des Trägers. Die Schweißung geschah wie bei der Reihe 2.

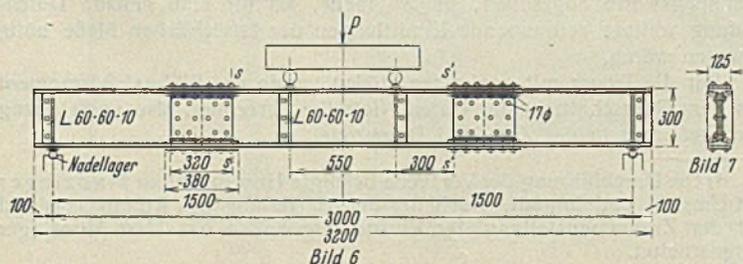


Bild 6 u. 7.

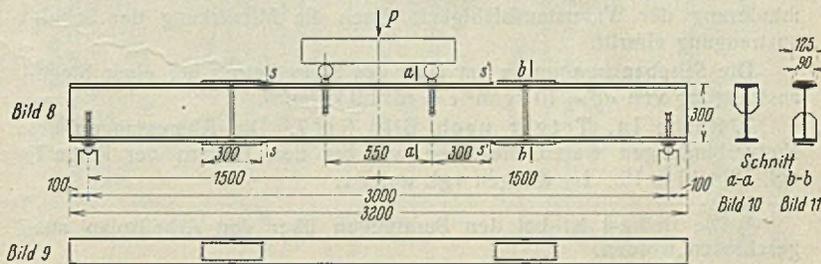


Bild 8 bis 11.

4. Reihe 5⁵⁾, Träger mit Schweißverbindungen nach Bild 20 bis 22, sonst nach Bild 3 bis 5. Die Stumpfnäht ist hier sowohl in der Druckzone als auch in der Zugzone mit rechteckig begrenzten Laschen gedeckt. Die Laschenstärke beträgt 13 mm. Die Lasche ist

Versuchsreihe	Bauart des Trägerstoßes	Dauerbiegefestigkeit D_b für 2.000.000 Lastspiele bei $\sigma_{\tau} = 1 \text{ kg/mm}^2$	
		1 Stoß in der Mitte zwischen den Lasten kg/mm^2	2 Stöße außerhalb der Laststellen ¹⁾ kg/mm^2
1 und 1a.		14	14
2 und 2a.		16	15
3 und 3a.		18	-
5		(12)	-
5' und 5a.		18	18
5'b		-	18
6 und 6a.		11	11

¹⁾ Mit Beanspruchung durch Querkräfte

Zusammenstellung 1 (Bild 12 bis 31).

Kehlnähte an den Laschenenden durch das Schleifen sehr schwach wurden.

5. Reihe 5', Träger mit einer Schweißverbindung nach Bild 23 bis 25, sonst nach Bild 3 bis 5. Die Laschen waren kürzer gewählt als bei der Reihe 5. Beim Anschweißen der Laschen wurden die Längskehlnähte zunächst von der Mitte aus in der ersten Lage mit Elektroden von 4 mm Durchm. hergestellt. Die zweite und dritte Lage wurden von den Laschenenden aus mit Elektroden von 5 mm Durchm. gefertigt. Die Stirnkehlnähte sind in 6 Lagen entstanden, in der ersten Lage mit Elektroden von 4 mm, in den weiteren Lagen von 5 mm Durchm. Beim Schweißen der Nähte lagen die Träger jeweils zweckentsprechend geneigt. Die Stirnkehlnähte der Lasche in der Zugzone sind gemäß den späteren Bildern 41 u. 42 bearbeitet worden; der Übergang wurde durch Fräsen des Auslaufs der Stirnkehlnähte und anschließender kurzer Strecken der Längskehlnähte sorgfältig bearbeitet und ausgerundet; in dem bearbeiteten Übergang blieben keinerlei Walz- oder rohe Schweißstellen zurück.

6. Reihe 6, Träger mit einer Schweißverbindung nach Bild 29 bis 31, sonst wie Bild 3 bis 5. Die Stumpfnäht war durch Laschen gedeckt, die gegen ihre Enden hin verschmälert waren und nahezu spitz ausliefen. Die verbliebene schmale Stirn der Laschen ist nicht verschweißt worden. Die Laschen sind nicht bearbeitet worden. Beim Anschweißen der Laschen wurden die Längskehlnähte an den Stirnenden begonnen und jeweils bis zur Mitte der Laschenlänge geführt.

Die weiteren Untersuchungen erstreckten sich auf Träger, die ihre Verbindungen nicht in der Balkenmitte, sondern in den äußeren Balkenteilen besaßen, so daß zu den Biegeanstrengungen noch Schubanstrengungen traten. Die Ergebnisse dieser Versuche sollten zeigen, ob gegenüber den Feststellungen an den Trägern nach Bild 1 bis 5 eine Verminderung der Widerstandsfähigkeit durch die Mitwirkung der Schubanstrengung eintritt.

Die Schubanstrengung τ am Hals des Stegs betrug bei einer Biegeanstrengung von $\sigma_b = 10 \text{ kg/m}^2$ $\tau = \text{rd. } 1,9 \text{ kg/mm}^2$.

7. Reihe 1a, Träger nach Bild 6 u. 7. Die Abmessungen der Nietverbindungen waren dieselben wie bei den Trägern der Reihe 1, vgl. Bild 12 u. 13. Im übrigen vgl. unter 1.

⁵⁾ Die Reihe 4 ist bei den Beratungen über den Arbeitsplan ausgeschlossen worden.

8. Reihe 2a, Träger mit Stumpfnähten nach Bild 14 bis 16, sonst wie Bild 8 bis 11. Die Herstellung erfolgte wie bei der Reihe 2.

9. Reihe 3a, Träger mit schrägen Stumpfnähten nach Bild 17 bis 19, sonst wie Bild 8 bis 11. Vgl. unter 3.

10. Reihe 5'a, mit Stumpfnähten und Laschen nach Bild 8 bis 11 sowie nach Bild 23 bis 25. Die Enden der Laschen in der Zugzone waren wie bei den Trägern der Reihe 5' bearbeitet.

11. Reihe 5'b, Träger mit Stumpfnähten und Laschen nach Bild 26 bis 28, sonst wie Bild 8 bis 11. Die Stumpfnähte und die Laschen sind in gleicher Weise bearbeitet worden wie bei den Trägern der Reihen 5' und 5'a. Der Unterschied besteht lediglich in der Anwendung von Decklaschen am Steg.

12. Reihe 6a, Träger mit Stumpfnähten und Laschen nach Bild 29 bis 31, sonst wie Bild 8 bis 11. Die Schweißverbindungen waren dieselben wie bei den Trägern der Reihe 6.

Wegen der Kosten sind von den Trägern unter Ziffer 7 bis 12 (Lastanordnung nach Bild 6 u. 8) nur wenige geprüft worden; man begnügte sich mit der Feststellung, ob bei gleicher Biegeanstrengung der Stoßstelle mehr oder weniger Lastspiele bis zum Bruch ertragen werden als bei der Lastanordnung nach Bild 1 u. 3.

B. Eigenschaften der Werkstoffe.

Die Festigkeitseigenschaften des Stahls in den Trägern sind von der Hauptprüfungsanstalt der Gutehoffnungshütte in Oberhausen festgestellt worden. Entsprechend den Vorbereitungen, welche das Hüttenwerk für die Herstellung der Träger getroffen hat, war das Material gleichmäßig ausgefallen. Die obere Streckgrenze von Probestäben, die den Flanschen entnommen waren, ist zu 22,2 bis 26,7 kg/mm^2 , im Mittel zu 25,0 kg/mm^2 ermittelt worden; die untere Streckgrenze lag zwischen 22,2 und 25,3 kg/mm^2 ; sie betrug im Mittel 24,0 kg/mm^2 . Die Zugfestigkeit fand sich im Mittel zu 38,0 kg/mm^2 , die Bruchdehnung zu 30% und die Querschnittsverminderung zu 59%. Proben aus dem Steg lieferten die obere Streckgrenze im Mittel zu 27,0 kg/mm^2 , die untere Streckgrenze zu 25,6 kg/mm^2 , die Zugfestigkeit zu 40,8 kg/mm^2 , die Bruchdehnung zu 27,8% und die Querschnittsverminderung zu 59%. Die Prüfung des Materials zu den Stegglaschen und zu den Flanschglaschen der genieteten Träger ergab Werte, die nahe den eben berichteten liegen.

C. Durchführung der Versuche⁶⁾.

Durch die Versuche sollte für die beschriebenen Träger jeweils die Last festgestellt werden, die mindestens zweimillionenmal getragen werden kann, ohne daß ein Bruch eintritt. Die Zahl der Belastungen, die minutlich wirkte, betrug bei den Trägern nach Bild 1 bis 5 in der Regel 160 in der Minute, bei den späteren Versuchen 210 in der Minute. Verwendet wurde eine hydraulisch betriebene Biegeeinrichtung; die Belastungen wurden mit einem Pulsator des Losenhausenwerks in Düsseldorf hervorgerufen.

Im einzelnen sei noch hervorgehoben, daß die Träger durch Nadel-lager gestützt waren. Damit wurde die Reibung an den Auflagern auf ein Kleinstmaß zurückgeführt. Man konnte auch erwarten, daß durch diese Lagerung die freie Beweglichkeit des Trägers gewährleistet war, und daß deshalb die Größe der Dauerbiegefestigkeit der Träger durch Reibungswiderstände nicht erhöht wurde.

D. Versuchsergebnisse.

Über die durchgeführten Versuche ist kurz in Zusammenstellung 2 berichtet. Die Spalten 1 bis 9 enthalten die Ergebnisse der Versuche mit Trägern, die in der Mitte gestoßen waren (Träger nach Bild 1 bis 5). Die Spalten 10 bis 16 gehören zu den Versuchen mit Trägern, die in den äußeren Balkenteilen gestoßen waren, wie sie in Bild 6 bis 11 dargestellt sind. Die in den Spalten 4, 5, 11 und 12 angegebenen Spannungen sind für die geschweißten Träger mit dem Widerstandsmoment $W_x = 653 \text{ cm}$ berechnet, das nach DIN 1025 für Träger I 30 gilt.

Nach Durchführung der Versuche sind die Querschnitte von drei Trägern an sauber bearbeiteten Querschnitten des mittleren Balkenteils sorgfältig ermittelt worden. Dabei wurde festgestellt, daß die tatsächlichen Abmessungen von den Sollabmessungen nur sehr wenig abwichen; im Mittel waren das Trägheitsmoment und das Widerstandsmoment ein wenig kleiner als der Tabellenwert. Der Unterschied betrug im Mittel rd. 1%. Bei dieser Sachlage wurde von einer Korrektur der Spannungswerte abgesehen, um so mehr, als für eine genaue Durchführung weitere zeitraubende Ermittlungen der tatsächlichen Maße nötig gewesen wären.

Für die Träger mit genieteten Stößen wurde das Widerstandsmoment aus dem Querschnitt in der ersten Nietreihe berechnet, also unter Abzug der Nietlöcher in der Zug- und Druckzone.

⁶⁾ Die Durchführung der Versuche besorgte Herr Ingenieur Munzinger mit Umsicht und Sorgfalt. Auch bei der Aufstellung des Arbeitsplans und bei der Zusammenstellung der Versuchsergebnisse hat Herr Munzinger mitgearbeitet.

Zusammenstellung 2.
Ergebnisse der Dauerbiegeversuche mit genieteten und geschweißten Trägern I 30 aus St 37.
Versuchsordnung nach Bild 1 bis 11.

Reihe	Bauart der Stoßstellen	3			4			5			6			7			8			9			10			11			12			13			14			15			16		
		Dauerbiegeversuche mit Trägern, die in der Mitte gestoßen sind, vgl. Bild 1 bis 5			Dauerbiegeversuche mit Trägern, die in den äußeren Balkenteilen gestoßen sind, vgl. Bild 6 bis 11			Dauerbiegeversuche mit Trägern, die in der Mitte gestoßen sind, vgl. Bild 1 bis 5			Dauerbiegeversuche mit Trägern, die in den äußeren Balkenteilen gestoßen sind, vgl. Bild 6 bis 11			Dauerbiegeversuche mit Trägern, die in der Mitte gestoßen sind, vgl. Bild 1 bis 5			Dauerbiegeversuche mit Trägern, die in den äußeren Balkenteilen gestoßen sind, vgl. Bild 6 bis 11			Dauerbiegeversuche mit Trägern, die in der Mitte gestoßen sind, vgl. Bild 1 bis 5			Dauerbiegeversuche mit Trägern, die in den äußeren Balkenteilen gestoßen sind, vgl. Bild 6 bis 11			Dauerbiegeversuche mit Trägern, die in der Mitte gestoßen sind, vgl. Bild 1 bis 5			Dauerbiegeversuche mit Trägern, die in den äußeren Balkenteilen gestoßen sind, vgl. Bild 6 bis 11			Dauerbiegeversuche mit Trägern, die in der Mitte gestoßen sind, vgl. Bild 1 bis 5			Dauerbiegeversuche mit Trägern, die in den äußeren Balkenteilen gestoßen sind, vgl. Bild 6 bis 11			Dauerbiegeversuche mit Trägern, die in der Mitte gestoßen sind, vgl. Bild 1 bis 5			Dauerbiegeversuche mit Trägern, die in den äußeren Balkenteilen gestoßen sind, vgl. Bild 6 bis 11		
		Bezeichnung der Proben	Rechnungsmäßige Biegeanstrengung im Querschnitt S-S an der unteren Belastungsgrenze $\sigma_{u,b}$ kg/mm ²	$\sigma_{o,b}$ kg/mm ²	Zahl der Lastspiele bis zum Bruch oder bis zum Ende des Versuchs N	Bemerkungen	Schwingungswerte $\sigma_{o,b} - \sigma_{u,b}$ kg/mm ²	in der Minute n	Zahl der Lastspiele bis zum Bruch oder bis zum Ende des Versuchs N	Bezeichnung der Proben	Rechnungsmäßige Biegeanstrengung im Querschnitt S-S an der unteren Belastungsgrenze $\sigma_{u,b}$ kg/mm ²	$\sigma_{o,b}$ kg/mm ²	Schwingungswerte $\sigma_{o,b} - \sigma_{u,b}$ kg/mm ²	in der Minute n	Zahl der Lastspiele bis zum Bruch oder bis zum Ende des Versuchs N	Bemerkungen	Bezeichnung der Proben	Rechnungsmäßige Biegeanstrengung im Querschnitt S-S an der unteren Belastungsgrenze $\sigma_{u,b}$ kg/mm ²	$\sigma_{o,b}$ kg/mm ²	Schwingungswerte $\sigma_{o,b} - \sigma_{u,b}$ kg/mm ²	in der Minute n	Zahl der Lastspiele bis zum Bruch oder bis zum Ende des Versuchs N	Bemerkungen																				
1 und 1a	Bild 12 und 13 Genieteteter Stoß	GHH 37.1.1	1	21	160	Bruch des Trägers an einer äußeren Nietreihe der Zugzone	20	160	GHH 37.1.A.1	1	15	14	210	1 548 900	Bruch des Trägers in der Zugzone im Querschnitt S-S, Bild 6																												
		GHH 37.1.2	1	16	160		15	160	1 080 500																																		
		GHH 37.1.3	1	15	160		14	160	1 080 500																																		
2 und 2a	Bild 14 bis 16 Senkrechter Stumpfstoß	GHH 37.2.1	1	18	160	Bruch der Stumpfnahse in der Zugzone Nicht gebrochen Nicht gebrochen	17	160	GHH 37.2.A.1	1	17	16	210	436 800	Bruch einer Stumpfnahse in der Zugzone																												
		GHH 37.2.4	1	17	160		16	160	1 587 400																																		
		GHH 37.2.3	1	16	160		15	160	2 208 600																																		
		GHH 37.2.2	1	14	160		13	160	2 149 700																																		
3 und 3a	Bild 17 bis 19 Schräger Stumpfstoß unter 45°	GHH 37.3.1 ¹⁾	1	26	160	Bruch der Stumpfnahse in der Zugzone Nicht gebrochen	25	160	GHH 37.3.A.1	1	19	18	210	384 500	Bruch einer Stumpfnahse in der Zugzone																												
		GHH 37.3.2 ¹⁾	1	22	160		21	160	482 300																																		
		GHH 37.3.4	1	20	160		19	160	830 900																																		
		GHH 37.3.3	1	18	160		17	160	2 106 300																																		
5	Bild 20 bis 22 Senkrechter Stumpfstoß mit rechteckigen Laschen an den Flanschen; Laschenenden in der Zugzone zuggeschärft	GHH 37.5.1 ²⁾	1	25	160	Bruch des Trägers am Anfang der Lasche der Zugzone	24	160	GHH 37.5.A.1	1	18	17	210	1 280 900 ⁹⁾	Bruch des Trägers in der Zugzone zwischen den Laststellen ⁷⁾																												
		GHH 37.5.2 ²⁾	1	18	160		17	160	237 000																																		
		GHH 37.5.3	1	15	160		14	160	628 700																																		
5' und 5'a	Bild 23 bis 25 Senkrechter Stumpfstoß mit rechteckigen Laschen an den Flanschen; Übergang der Stirnkehlnähte an den Laschen der Zugzone gefräst	GHH 37.5'.1	1	19,3	210	Bruch des Trägers am Stirnkehlnahseübergang der Lasche der Zugzone Bruch einer Stirnkehlnahse und des Trägers am Anfang der Lasche	18,3	210	GHH 37.5'.A.1	1	18	17	210	1 819 600 ⁹⁾	Bruch der Stirnkehlnahse und des Trägers am Anfang einer Lasche i. der Zugzone (24mm vom Querschnitt S-S entfernt, d. Auflager zu, Bild 8)																												
		GHH 37.5'.2	1	18	210		17	210	1 836 700 ⁹⁾																																		
5'b	Bild 26 bis 28 Wie Reihe 5', außerdem Laschen am Steg								GHH 37.5'B.1	1	20	19	210	438 600	Bruch des Trägers in der Zugzone zwischen den Laststellen ¹⁰⁾ Nicht gebrochen																												
									GHH 37.5'B.2	1	18	17	210	2 470 000																													
6 und 6a	Bild 29 bis 31 Senkrechter Stumpfstoß mit Laschen an den Flanschen, Laschenenden verjüngt	GHH 37.6.1 ⁴⁾	1	15	160	Bruch des Trägers i. der Zugzone beim Eintritt in die Schweißstelle Nicht gebrochen Bruch des Trägers i. der Zugzone beim Eintritt in die Schweißstelle	14	160	GHH 37.6.A.1	1	12	11	210	1 385 300	Bruch des Trägers in der Zugzone beim Eintritt in die Schweißstelle, im Querschnitt S-S, vgl. Bild 8 u. 29																												
		GHH 37.6.3 ⁴⁾	1	13	160		12	160	958 300																																		
		GHH 37.6.2 ⁴⁾	1	11	160		10	160	2 090 800																																		
		GHH 37.6.B.1	1	13	160		12	160	1 011 200																																		
		GHH 37.6.B.2	1	12	160		11	160	1 459 700 ⁵⁾																																		

1) Schweißnahtoberfläche an den Flanschen geschmirgelt. — 2) An den Laschen auch Stirnkehlnähte. — 3) Nach 1 704 100 Lastspielen einmal um rd. 1 kg/mm² überlastet. — 4) Enden der Schweißnahte der Laschen abgemeißelt. — 5) Der Träger erfuhr nach 673 000 und nach 1 350 500 Lastspielen je eine vorübergehende Mehrbelastung von rd. 1,5 kg/mm². — 6) Nach 292 200 Lastspielen einmal um rd. 1,5 kg/mm² überlastet. — 7) Bruchbeginn an einer Rostnarbe oder einer Hiebnarbe. — 8) Lastentfernung 650 mm. — 9) Nach 532 100 Lastspielen einmal um rd. 1,5 kg/mm² überlastet. — 10) Krümmung des Trägers in der Richtung der x-Achse vor dem Versuch 5,8 mm; die Krümmung wurde während des Versuchs noch bedeutend größer.

1. Träger der Reihe 1 nach Bild 1 u. 2 sowie Träger der Reihe 1a nach Bild 6 u. 7, mit Nietverbindungen gestoßen.

Den Zahlenreihen in den Spalten 4 bis 8 der Zusammenstellung 2 sowie den sonst vorliegenden Beobachtungen ist zu entnehmen, daß die Träger der Reihe 1 nach Bild 1 u. 2 zweimillionenmal dem Lastspiel von $\sigma_{ub} = 1 \text{ kg/mm}^2$ bis $\sigma_{ob} = 14 \text{ kg/mm}^2$ unterworfen werden können, ohne daß ein Bruch eintritt. Die Schwingungswerte, welche zweimillionenmal ertragen wird, ist also zu 13 kg/mm^2 ermittelt worden.

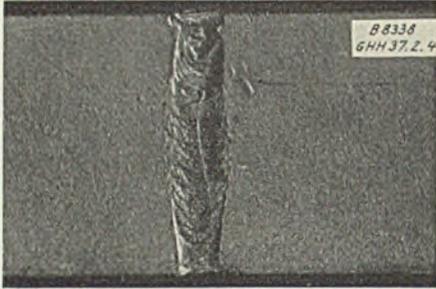


Bild 32. Stumpfnahse in der Zugzone des Trägers 37.2.4 der Reihe 2 nach dem Versuch.

Zur Beurteilung dieser Zahl sei folgendes bemerkt. Bei früheren Versuchen mit Nietverbindungen aus St 37, in den Berührungsfächen mit Mennige gestrichen, fand sich der Zugwiderstand unter oftmals wiederkehrender Last

a) für zweireihige Verbindungen mit Zwischenanstrich⁷⁾

zu $\sigma_{oz} = 17 \text{ kg/mm}^2$

bei $\sigma_{uz} = 2 \text{ kg/mm}^2$

(also die Schwingungswerte S zu 15 kg/mm^2);

b) für gleiche Verbindungen mit anderen Stählen St 37⁸⁾, jedoch ohne Zwischenanstrich,

zu $\sigma_{oz} = 14$ bis $19,4 \text{ kg/mm}^2$, ebenfalls bei $\sigma_{uz} = 2 \text{ kg/mm}^2$ (Schwingungswerte $S = 12$ bis $17,4 \text{ kg/mm}^2$).

Das Ergebnis der Träger nach Bild 1 u. 2 ($S = 13 \text{ kg/mm}^2$) liegt also im Bereich der früheren Versuche. Außerdem ist zu beachten, daß es sich im vorliegenden Fall um breitere und dreireihige Verbindungen handelt, während die Zahlen der früheren Versuche zu schmalen zweireihigen Verbindungen gehören. Dazu weiß man, daß der Widerstand gegen oftmals wiederkehrende Zuglasten bei dreireihigen Verbindungen etwas kleiner ist als bei zweireihigen⁹⁾.

Der Bruch der Träger nach Bild 1 u. 2 erfolgte im Querschnitt SS des Bildes 1, also in der ersten Nietreihe, entsprechend dem, was von früheren Zugversuchen mit Nietverbindungen bekannt ist¹⁰⁾.

Von den Trägern der Reihe 1a, mit der Anordnung der Stöße nach Bild 6, ist ein Stück mit $\sigma_{ub} = 1 \text{ kg/mm}^2$ bis $\sigma_{ob} = 15 \text{ kg/mm}^2$ geprüft worden¹¹⁾. Die Zahl der Lastspiele bis zum Bruch betrug 1548900. Ein Träger nach Bild 1, in der Mitte gestoßen, mit denselben Anstrengungen geprüft, brach nach 1080500 Lastspielen. Diese Ergebnisse zeigen, daß die Lage der Stöße (nach Bild 1 im mittleren Balkenteil, der keine Quer-

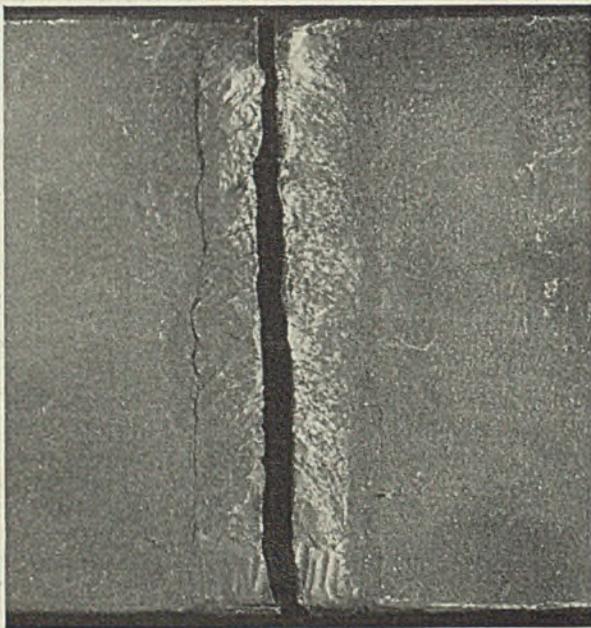


Bild 33. Stumpfnahse in der Zugzone des Trägers 37.2A.2 der Reihe 2a nach dem Versuch.

⁷⁾ Bild 34 des Heftes B 5 des Ausschusses für Versuche im Stahlbau.

⁸⁾ Vgl. Klöppel, Stahlbau 1936, S. 101.

⁹⁾ Vgl. Heft B 5 des Ausschusses für Versuche im Stahlbau, S. 42 ff., sowie Vorbericht zum 2. Kongreß der Internationalen Vereinigung für Brückenbau und Hochbau, 1936, S. 1001 ff., ferner Stahlbau 1936, S. 185 ff.

¹⁰⁾ Vgl. Heft B 5 des Ausschusses für Versuche im Stahlbau.

¹¹⁾ Die Anstrengungen σ_{ub} und σ_{ob} gelten für die Querschnitte SS und $S'S'$ in Bild 6.

käfte aufzunehmen hat oder nach Bild 6 in den äußeren Balkenteilen, die außer dem Biegemoment noch Querkraft widerstehen müssen) ohne erhebliche Bedeutung für die Widerstandsfähigkeit der Stöße war.

2. Träger der Reihe 2 nach Bild 3 bis 5 und Bild 14 bis 16 sowie Träger der Reihe 2a nach Bild 14 bis 16, sonst nach Bild 8 bis 11, mit Stumpfnähten gestoßen.

Nach Zusammenstellung 2 sind die Träger der Reihe 2 nach Bild 3 bis 5 unter $\sigma_{ub} = 1 \text{ kg/mm}^2$ bis $\sigma_{ob} = 16 \text{ kg/mm}^2$ nach 2 Millionen Lastspielen noch nicht gebrochen.

Die Schwingungswerte S , welche zweimillionenmal ertragen wurde, betrug also $S = 15 \text{ kg/mm}^2$; sie war um 2 kg/mm^2 höher als bei den genieteten Trägern.

Die Träger der Reihe 2a waren etwas weniger widerstandsfähig als diejenigen der Reihe 2; die Lastspiele, welche nahezu zweimillionenmal ertragen wurden, reichten von

$\sigma_{ub} = 1 \text{ kg/mm}^2$ bis $\sigma_{ob} = 15 \text{ kg/mm}^2$, vgl. Zusammenstellung 1 u. 2.

Die Werte der Dauerfestigkeit der Zugzone der Träger der Reihen 2 und 2a ($S = 15$ bzw. 14 kg/mm^2) liegen in dem Bereich, der bei Zugversuchen mit Stumpfnähten ähnlicher Beschaffenheit festzustellen war¹²⁾.

Der Bruch der Träger der Reihe 2 und der Reihe 2a erfolgte in der Stumpfnahse, gemäß Bild 32 bis 34.

Man sieht aus Bild 34, daß bei p erhebliche Hohlräume zurückgeblieben sind. Solche Mängel sind bei Stumpfnähten von Trägern wiederholt beobachtet worden.

3. Träger der Reihe 3 nach Bild 17 bis 19, sonst wie Bild 3 bis 5, und Träger der Reihe 3a, ebenfalls nach Bild 17 bis 19, sonst nach Bild 8 bis 11, mit schrägen Stumpfnähten.

Die Spannung, welche in der Zugzone der Träger der Reihe 3 zweimillionenmal ertragen wurde, betrug $\sigma_{ob} = 18 \text{ kg/mm}^2$; die Schwingungswerte war $S = 17 \text{ kg/mm}^2$.

Dieser Wert liegt deutlich über der Festigkeit, welche mit gewöhnlicher Stumpfnahse nach Bild 14 bis 16 bei der Reihe 2 festgestellt worden ist, vgl. Zusammenstellung 1. Dieses Ergebnis steht im Einklang mit den früheren Feststellungen, wonach die schräge Nahse nach Bild 17 u. 18 beim Dauerversuch mehr trägt als die gewöhnliche Nahse nach Bild 14 bis 16¹³⁾.

¹²⁾ Allgemein wird dabei zu beachten sein, daß die Höchstwerte, welche bei Zugversuchen mit stumpfgeschweißten Flachstäben wiederholt erreicht wurden ($S = 18 \text{ kg/mm}^2$), bei Balken nicht ohne weiteres zu erwarten sind, weil die Stumpfnähte in der Zugzone von Balken unter dem Steg schwieriger herzustellen sind als die Stumpfnähte von Flachstäben.

¹³⁾ Vgl. Stahlbau 1933, S. 81 ff., insbesondere S. 82 und S. 90. Allerdings ist dabei zu beachten, daß es sich bei den vorliegenden und bei den früheren Versuchen um Stäbe bis 20 mm Dicke handelte. Bei starken Stäben ist die Herstellung der schiefen Nahse schwierig; deshalb wird die Anwendung der schiefen Nahse in starken Gurtungen von Männern der Praxis zuweilen abgelehnt.

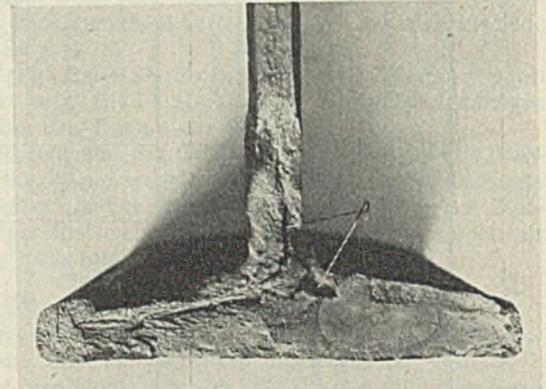


Bild 34. Bruchfläche in der Zugzone des Trägers 37.2A.2 der Reihe 2a.

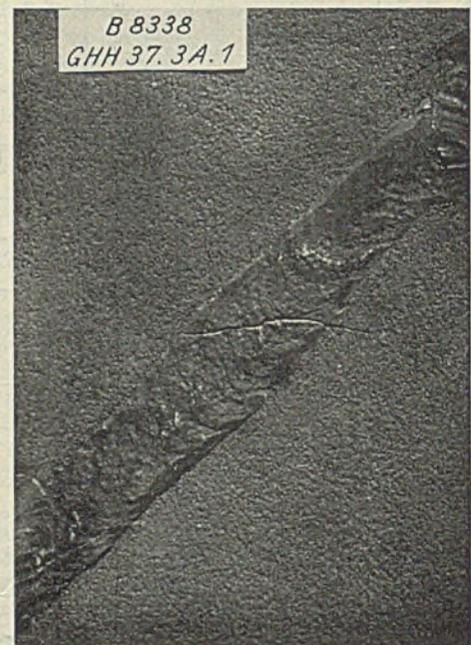


Bild 35. Schräge Stumpfnahse in der Zugzone des Trägers 37.3A.1 der Reihe 3a nach dem Versuch.

Bild 35 zeigt den Verlauf des Bruchrisses in der Zugzone eines Trägers der Reihe 3a. Bei den weiteren bis zum Bruch belasteten Trägern war der Rißverlauf ähnlich.

Bemerkenswert ist in Bild 35, daß der Schweißer den vorstehenden Teil der Naht entgegen der Anweisung weggemeißelt hat, insbesondere an den seitlichen Rändern¹⁴⁾.

Der zu Reihe 3a geprüfte Träger hatte eine grobe Fehlstelle (unverschweißte Stelle) bei *n* in Bild 36.

4. Träger der Reihe 5 nach Bild 20 bis 22, sonst nach Bild 3 bis 5. Stumpfnähte mit rechteckigen Laschen gedeckt.

Zunächst sind zwei Träger geprüft worden, deren Laschen Stirnkehlnähte hatten und deren

Laschenendgemäß Bild 38 bearbeitet waren. Ein weiterer Träger blieb an den Laschenenden ohne Stirnkehlnähte, sonst wurde er wie die anderen behandelt.

Es zeigte sich, daß die Widerstandsfähigkeit gegen oftmals wiederholte Belastung gering war; die Versuche wurden deshalb abgebrochen.

Nach den Ergebnissen der drei Versuche kann geschätzt werden, daß der Widerstand der Zugzone der Träger gegen oftmalige Belastung etwa 12 kg/mm² betrug, also erheblich kleiner blieb als bei den Trägern ohne Laschen, vgl. Zusammenstellung 1.

Der Bruch der Träger, deren Laschen mit Stirnkehlnähten versehen waren, erfolgte nach Bild 38. Der Träger ohne Stirnnaht brach nach

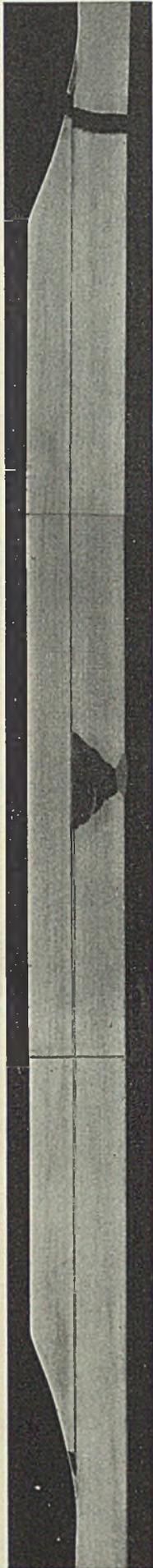


Bild 40. Längsschnitt durch die Schweißverbindung am Flansch der Zugzone des Trägers 37.5.2 der Reihe 5.

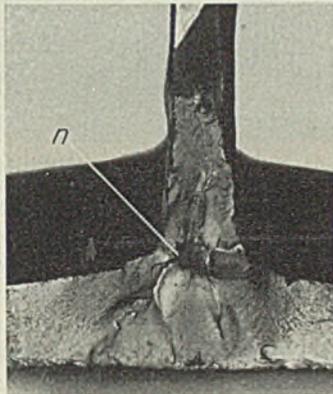


Bild 36. Bruchfläche des Trägers 37.3A.1 der Reihe 3a.

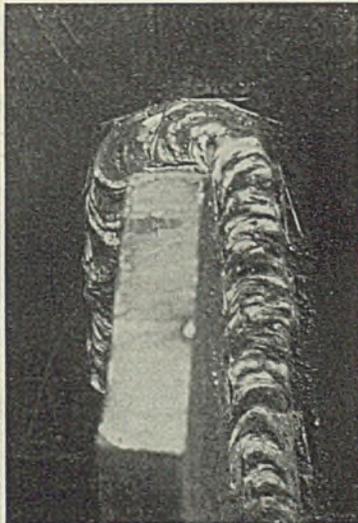


Bild 37. Spuren von Meißelhieben längs einer Kehlnaht.

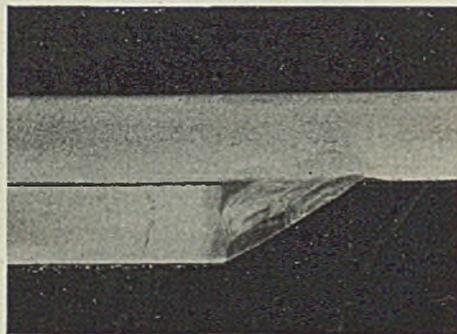


Bild 42. Schnitt durch eine Stirnkehlnaht der Lasche am Flansch der Zugzone des Trägers 37.5'.1 der Reihe 5'.

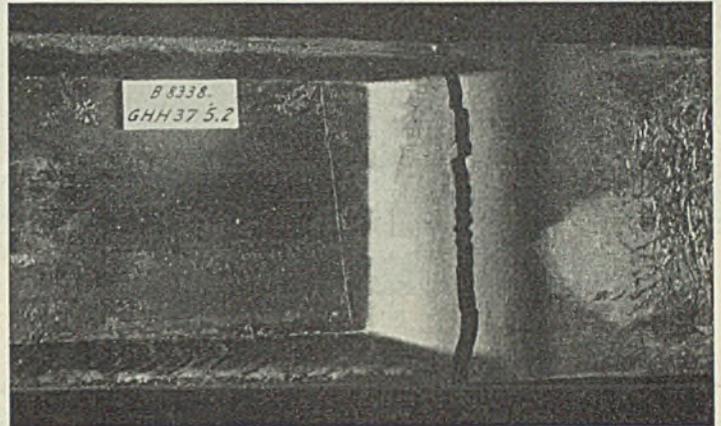


Bild 38. Träger 37.5.2 der Reihe 5 nach dem Versuch.

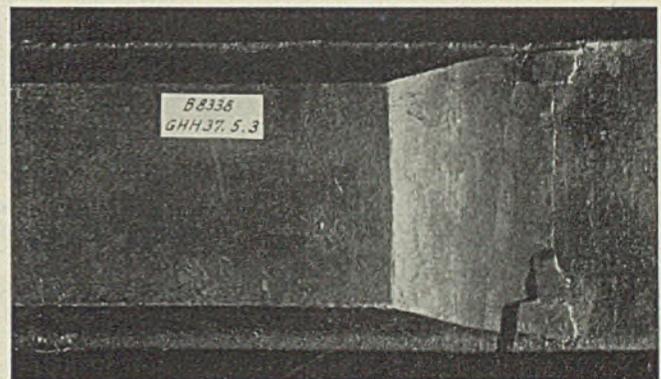


Bild 39. Lasche des Trägers 37.5.3 der Reihe 5 nach dem Versuch.

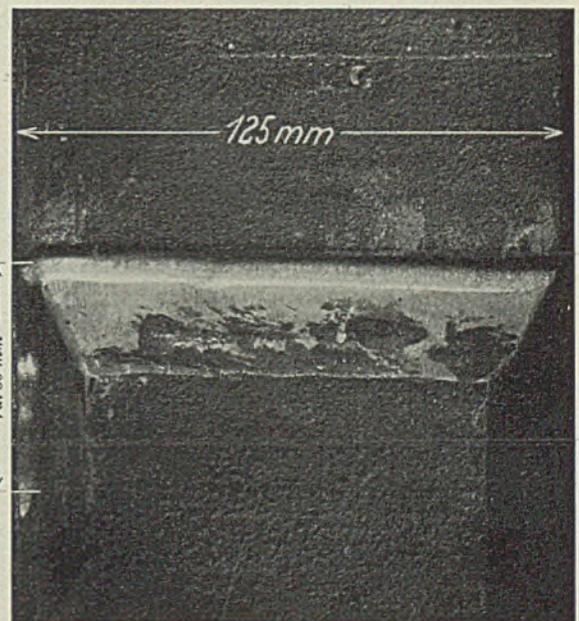


Bild 41. Laschenende des Trägers 37.5'.1.

Bild 39. Bild 40 zeigt einen Längsschnitt des Trägers 35 5 2 mit der Lasche der Zugzone.

Auf diese Feststellungen wird in einem Bericht über die zweckmäßige Gestaltung der Laschenenden näher eingegangen.

¹⁴⁾ Auch sonst war das Bestreben zu erkennen, die Nähte nachträglich sauber zu machen, z. B. wurden die Versteifungen des Trägerstegs gemäß Bild 37 behandelt. Es dürfte angezeigt sein, solche Arbeit nur ausführen zu lassen, wenn es sicher ist, daß sie nicht schadet.

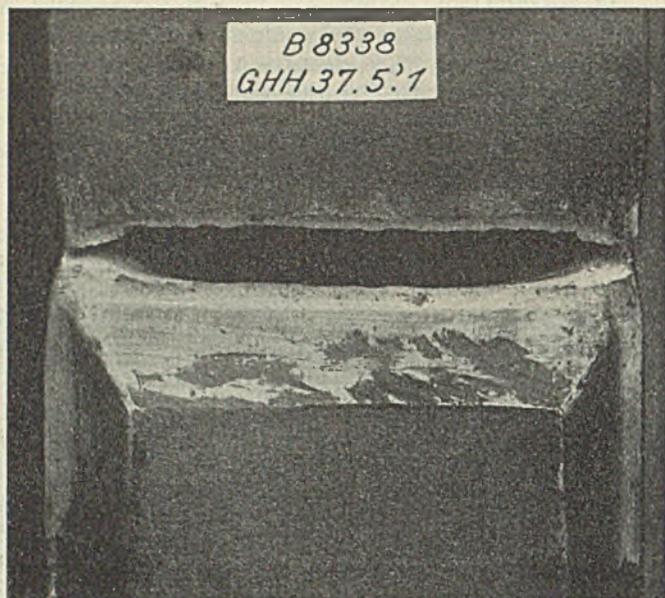


Bild 43.

Träger 37.5.1 der Reihe 5' nach dem Versuch.

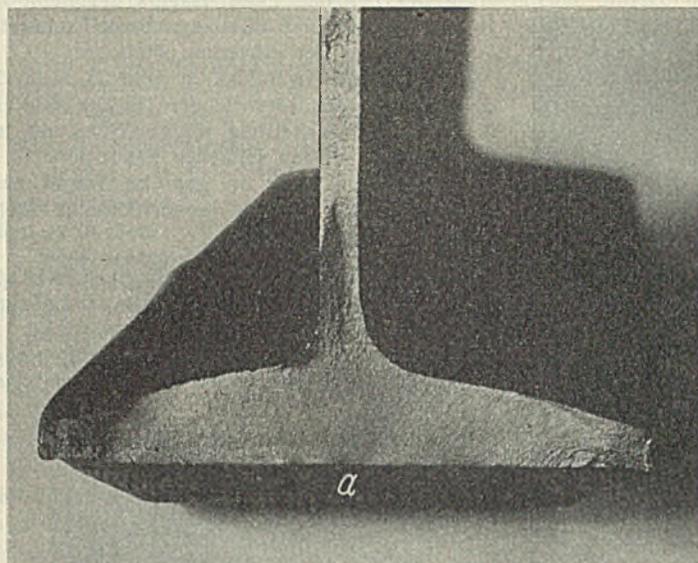


Bild 44.

Bruchfläche des Trägers 37.5.1 der Reihe 5'.

5. Träger der Reihe 5' nach Bild 23 bis 25, sonst nach Bild 3 bis 5, und Träger der Reihe 5'a nach Bild 23 bis 25, sonst nach Bild 8 bis 11. Stumpfnähte mit rechteckigen Laschen gedeckt.

Die Art der Bearbeitung der Laschenenden ist aus Bild 41 u. 42 ersichtlich. Am Ansatz der Stirnkehlnaht und an den Enden der Flankenkehlnähte ist durch Fräsen und Schmirgeln ein allmählicher Übergang geschaffen worden, der in der Ausrundung keinerlei rohe Stellen enthielt.

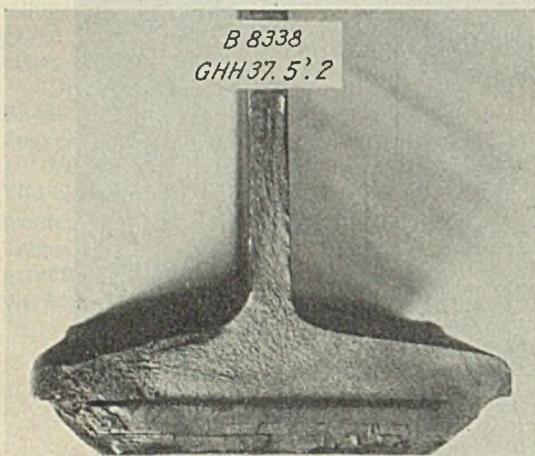


Bild 46.

Bruchfläche des Trägers 37.5.2 der Reihe 5'.

Die Schwingungswerte waren also 17 kg/mm². Die Tragkraft der Träger der Reihe 5' und der Reihe 5'a erreichte damit die

Die Widerstandsfähigkeit der Träger der Reihen 5' und 5'a war recht befriedigend. Die Beanspruchung, welche nahezu zweimillionenmal ertragen wurde, wechselte von $\sigma_{ub} = 1 \text{ kg/mm}^2$ bis $\sigma_{ob} = 18 \text{ kg/mm}^2$.

Bild 43 u. 44 zeigen den Verlauf des Bruchrisses in einem Träger, der am Anfang der Stirnkehlnaht brach. Bild 44 deutet an, daß es sich um einen gleichmäßigen Bruchverlauf handelt; der Bruch begann an der unteren Fläche des Trägers, vermutlich bei *a*.

In den Bildern 45 bis 48 sind Träger dargestellt, die am inneren Ende der Stirnkehlnaht der Laschen gebrochen sind. Der Bruch begann in den Laschen am inneren Auslauf der Schweißnaht. Auf die Bedeutung dieses Bruchverlaufs wird in dem schon erwähnten besonderen Bericht eingegangen.

6. Träger der Reihe 5'b nach Bild 26 bis 28, sonst nach Bild 8 bis 11 mit Steglaschen.

Die Widerstandsfähigkeit der Träger der Reihe 5'b (mit Steglasche) fand sich ebenso groß wie bei der Reihe 5' (ohne Steglasche). Im übrigen sei auf die Zusammenstellungen 1 und 2 verwiesen.

7. Träger der Reihe 6 nach Bild 29 bis 31, sonst nach Bild 3 bis 5, und Träger der Reihe 6a nach Bild 29 bis 31, sonst nach Bild 8 bis 11. Stumpfnähte mit Laschen, die nach ihren Enden verschmälert waren und nahezu spitz ausliefen.

Die Beanspruchung, welche zweimillionenmal ertragen wurde, betrug für Reihe 6 und für Reihe 6a $\sigma_{ob} = 11 \text{ kg/mm}^2$ bei $\sigma_{ub} = 1 \text{ kg/mm}^2$.

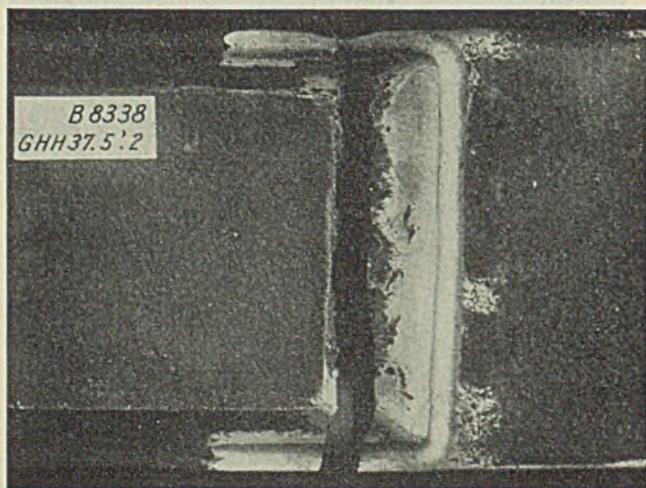


Bild 45.

Träger 37.5.2 der Reihe 5' nach dem Versuch.

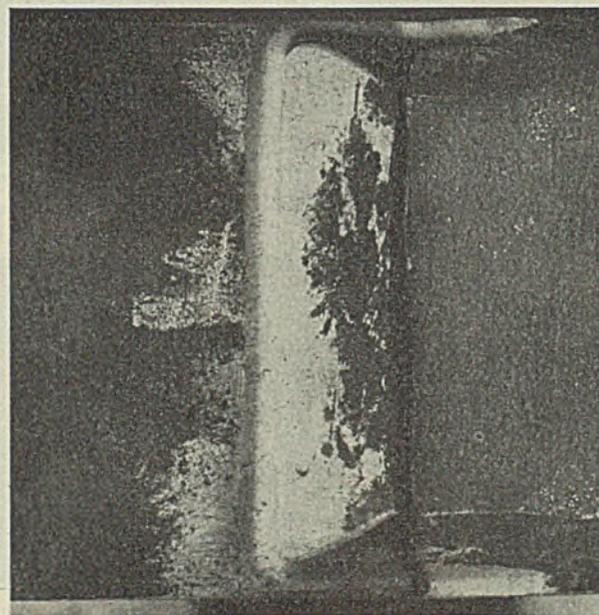


Bild 47.

Träger 37.5'A.2 der Reihe 5'a nach dem Versuch.

Festigkeit der Träger der Reihe 3 mit schräger Stumpfnahnt bei guter Ausführung. Durch die gewählte Befestigung der Laschen und die Art der Bearbeitung der Nähte entstand ein Trägerstoß, der nach den heutigen Auffassungen als vollwertig zu bezeichnen ist.

Die Festigkeit ist also kleiner geblieben als bei Reihe 5 und viel kleiner als bei der Reihe 5'. Die Laschenform nach Bild 30 u. 49 ist hiernach unzureichend.

Der Bruch der Träger erfolgte am Laschenende nach Bild 49.

8. Feststellungen an Trägern der Reihen 5'a und 5'b, die im mittleren nicht geschweißten Teil gebrochen sind.

Zwei Träger, die in den äußeren Teilen gestoßen waren, brachen im mittleren ungeschweißten Teil. Damit wurde festgestellt, welche Biegeanstrengungen Träger ohne Schweißstellen oftmals aufnehmen können.

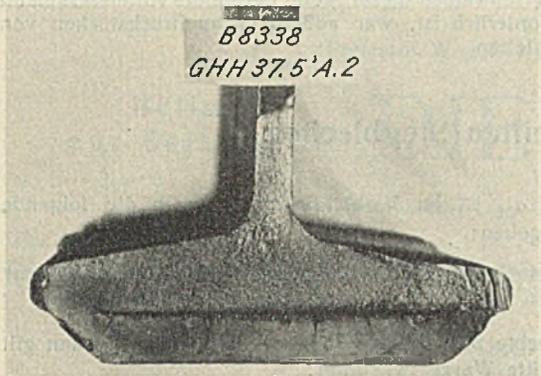


Bild 48. Bruchfläche des Trägers 37.5'A.2 der Reihe 5'a.

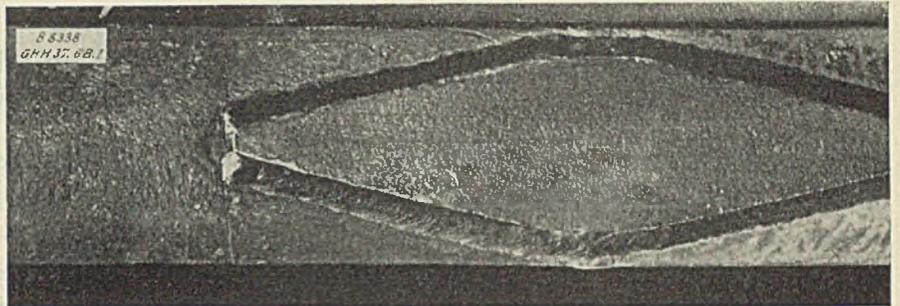


Bild 49. Bruchriß in der Zugzone des Trägers 37.6B.1 der Reihe 6.

Es brach:

- a) der Träger 5'A.1 der Reihe 5'a nach 1 280 000 Lastspielen zwischen $\sigma_{ub} = 1,3$ und $\sigma_{ob} = 23,7$ kg/mm²;
- b) der Träger 5'B.1 der Reihe 5'b nach 438 600 Lastspielen zwischen $\sigma_{ub} = 1,3$ und $\sigma_{ob} = 26,2$ kg/mm².

Hiernach ist zu schätzen, daß der ungeschweißte Träger bei 2 Millionen Lastspielen noch $\sigma_{ob} = 22,5$ bis 23,0 kg/cm² erträgt. Die Schwingungswerte (Ursprungsfestigkeit) ist also 21,5 kg/mm²¹⁵⁾.

Der Bruch erfolgte an leichten Rostnarben gemäß Bild 50 u. 51¹⁶⁾.

9. Zusammenfassung der Versuchsergebnisse.

Aus den Ergebnissen der Versuche sei folgendes hervorgehoben.

- a) Die Schwingungswerte, die zweimillionenmal in der Zugzone¹⁷⁾ ertragen wurde, betrug bei einer ruhenden Grundlast von $\sigma_{ub} = 1$ kg/mm² bei den genieteten Trägern (Reihen 1 und 1a) . . . S = 13

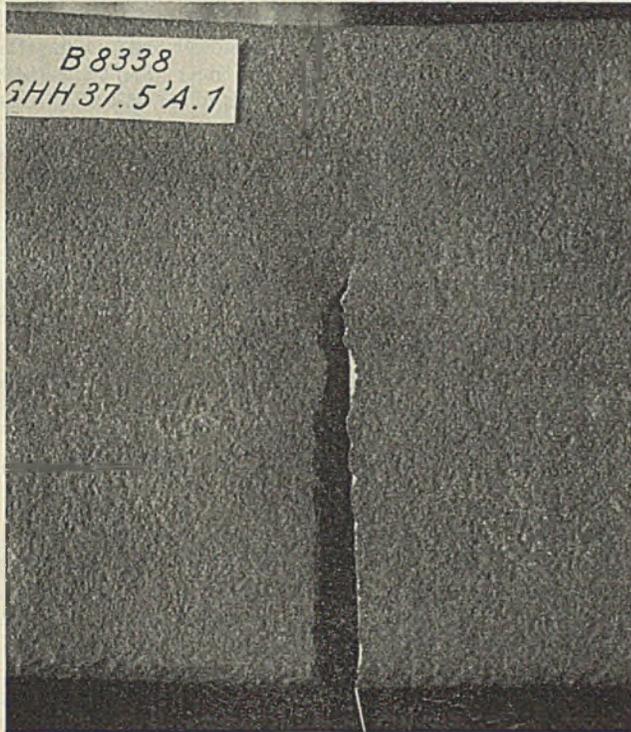


Bild 50. Bruchstelle in der Zugzone* des Trägers 37.5'A.1 der Reihe 5'a; Seitenflächen des Flansches nicht geschlichtet.

¹⁵⁾ Diese Feststellung gab Veranlassung, vor den weiteren Versuchen mit Trägern der Reihen 5'a und 5'b die Versuchskörper 37.5'A.2, 37.5'B.1 und 37.5'B.2 im mittleren Balkenteil die Seitenflächen der Flansche der Zugzone sorgfältig mit der Feile zu schlichten.

¹⁶⁾ Bei früheren Zugversuchen mit Stäben, welche nicht angerostet waren und die Walzhaut besaßen, ist die Ursprungszugfestigkeit zu rd. 25 kg/mm² und mehr festgestellt worden (vgl. Heft B 5 der Berichte des Ausschusses für Versuche im Stahlbau, S. 18, Bild 29).

¹⁷⁾ Über die Widerstandsfähigkeit der Druckzone bei Trägern mit Stumpfnähten vgl. Stahlbau 1936, S. 71 u. 72.

- bei Trägern mit Stumpfnah in der Mitte (Reihe 2) . . . S = 15 kg/mm²
- bei Trägern mit Stumpfnähten in den äußeren Balkenteilen (Reihe 2a) . . . S = 14 "
- bei Trägern mit schräger Stumpfnah in der Mitte (Reihe 3) S = 17 "
- bei Trägern mit Stumpfnah in der Mitte mit rechteckigen bearbeiteten Laschen gedeckt (Reihe 5) . . . S = 11 "

- mit rechteckigen Laschen gedeckt, die am Ende eine starke Stirnkehlnah besaßen und am Nahtanfang gemäß Bild 41 u. 42 bearbeitet waren (Reihe 5') S = 17 kg/mm²
- bei Trägern mit Stumpfnah und Laschen in den äußeren Balkenteilen, sonst wie Reihe 5' (Reihe 5'a) . . . S = 17 "
- bei Trägern mit Steglaschen, sonst wie Reihe 5'a (Reihe 5'b) S = 17 "
- bei Trägern mit Stumpfnah in der Mitte oder in den äußeren Balkenteilen, mit Laschen gedeckt, die an ihren Enden verschmälert waren, ohne Stirnnaht (Reihen 6 und 6a) . . . S = 10 "
- bei Trägern ohne Schweißnah im mittleren Balkenteil und die dort gebrochen sind (vgl. Ziffer 8 des Berichts) S = 21,5 "
- b) Hiernach ist die Widerstandsfähigkeit der Träger mit schrägen Stumpfnähten (Reihe 3) sowie der Träger mit Stumpfnähten und Decklaschen nach Bild 23 bis 28 (Reihen 5', 5'a und 5'b) hochwertig und gleich groß ausgefallen.

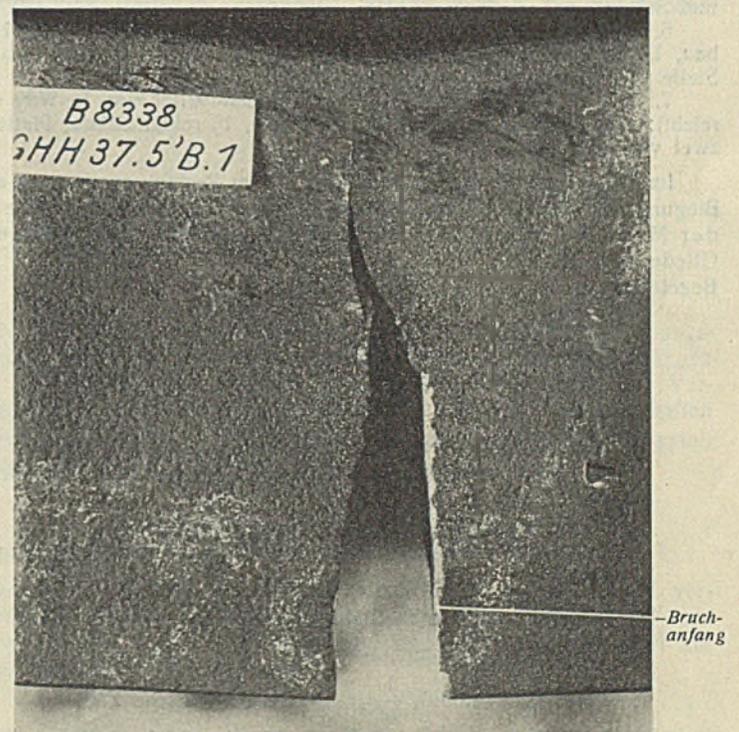


Bild 51. Bruchstelle in der Zugzone des Trägers 37.5'B.1 der Reihe 5'b; Seitenflächen des Flansches an der Bruchstelle geschlichtet.

c) Wenn die Sicherung von Stumpfnähten durch Laschen verlangt wird, so geschieht das zweckmäßig mit Laschen nach Bild 23 bis 25¹⁸⁾, deren Schweißnähte gemäß Bild 41 u. 42 bearbeitet sind.

d) Die Träger mit schrägen Stumpfnähten (Reihe 3) waren widerstandsfähiger als die Träger mit gewöhnlichen Stumpfnähten (Reihe 2)¹⁹⁾.

¹⁸⁾ Über weitere Arten der Ausführung der Laschenenden ist ein besonderer Bericht in Vorbereitung. — ¹⁹⁾ Über Zugversuche mit Schweißverbindungen mit schrägen Stumpfnähten vgl. Stahlbau 1933, S. 81 ff. Vgl. auch Fußnote 13 des vorliegenden Berichtes.

- e) Durch Laschen auf den Stumpfnähten des Stegs wurde die Widerstandsfähigkeit gegen oftmals wiederholte Belastungen nicht gesteigert, vgl. Zusammenstellung 1, Reihen 5'a und 5'b.
- f) Die genieteten Träger der Reihe 1 trugen bei $\sigma_{ob} = 14 \text{ kg/mm}^2$ die Last $P = 11550 \text{ kg}$, die geschweißten Träger der Reihe 3 bei $\sigma_{ob} = 18 \text{ kg/mm}^2$ $P = 19200 \text{ kg}$ (weiteres vgl. unter D.1).
- g) Die Niet- und Schweißverbindungen in den äußeren Balkenteilen, die außer dem Biegemoment noch Querkräfte aufnehmen mußten, erwiesen

- sich ebenso widerstandsfähig als die Verbindungen in den mittleren Balkenteilen (vgl. unter A nach Ziffer 6).
 - h) Die Stumpfnähte der Träger hatten wiederholt Fehlstellen in dem Anschluß des Stegs an die Flanschen, z. B. bei p in Bild 34²⁰⁾.
- ²⁰⁾ Daß für das Verschweißen dieser Stelle besondere Aufmerksamkeit und Sachkenntnis erforderlich ist, war außerdem an Bruchstücken von Brückenträgern festzustellen.

Ein Beitrag zur Stabilität des horizontal ausgesteiften Stegbleches.

Alle Rechte vorbehalten.

Von Doz. Dr. Miloslav Hampf, Prag.

In letzter Zeit erschienen mehrere Arbeiten über die Stabilität der allseitig gelenkig gelagerten ebenen Rechteckplatte mit und ohne Steife. In diesen Arbeiten werden mittels des Energiekriteriums die kleinsten Werte der kritischen Ausbeulungsspannungen bestimmt, wobei die „Wölb-funktion“ durch das trigonometrische Polynom

$$(1) \quad w = \sum_{n=1}^{i} \sum_{m=1}^{j} A_{n,m} \cdot \sin \frac{n \pi x}{a} \cdot \sin \frac{m \pi y}{b}$$

approximiert wird; dabei bedeuten a, b die Seiten der Platte. Die weitere Rechnung führt auf eine Determinante \mathcal{L} von der Ordnung $i + j$. Die Wurzeln der Gleichung $\mathcal{L} = 0$ ergeben dann die kritischen Spannungen. Die Genauigkeit des Resultates hängt von der Zahl ($i \cdot j$) der Glieder des Polynoms ab. Die Platte kann durch reinen Druck, Biegung oder Schub oder durch Kombination von diesen reinen Belastungen beansprucht sein. Wir führen im folgenden einige neuere Arbeiten von verschiedenen Autoren an mit der Zahl der von ihnen benutzten Glieder bei gleichzeitiger Angabe des untersuchten Belastungsfalles:

1. S. Timoshenko, Der Eisenbau 12 (1921), S. 147: drei bis fünf Glieder, reiner Druck, Schub, Biegung, vertikale Steifen.
2. S. Timoshenko, Eng. 1934, S. 207: sechs Glieder, Biegung und Schub, vertikale Steifen (nach Mitteilung von H. St. Way).
3. O. Stein, Stahlbau 7 (1934), S. 57: vier Glieder, Biegung und Schub.
4. O. Stein, Bauing. XVII (1936), S. 308: sechs Glieder, Biegung und Schub.
5. Chwalla, Bauing. XVII (1936), S. 81: neun Glieder, Biegung und Schub.
6. Chwalla, Vorbericht des II. Int. Kongresses für Brücken- u. Hochbau, Berlin 1936: neun Glieder, Biegung und Schub, eine horizontale Steife in einem Viertel der Plattenhöhe.
7. S. Way, A. S. M. E. 1936, (mir im Manuskript von H. Way überreicht): acht Glieder, a) Biegung und Schub, b) reiner Schub, Platte mit zwei vertikalen Steifen.

Im folgenden will ich die Resultate meiner Rechnungen für eine durch Biegung und Schub beanspruchte Platte mit einer horizontalen in der Mitte der Platte liegenden Steife anführen. Ich benutzte neun Glieder der Gl. (1).

Bezeichnung:

- a Länge
- b Höhe
- h Dicke

$$\beta = \frac{a}{b}$$

- σ_0 die kritische Biegungsspannung bei reiner Biegung
- σ die kritische Biegungsspannung bei Kombination von Biegung und Schub
- τ_0 die kritische Schubspannung bei reinem Schub
- τ die kritische Schubspannung bei Kombination von Biegung und Schub

$$D = \frac{E h^3}{12(1-\mu^2)}$$
 die Steifigkeit der Platte

$$B = EJ$$
 die Steifigkeit der Steife

$$E = \text{Elastizitätsmodul, } \frac{1}{\mu} = \frac{10}{3}$$
 die Poissonsche Zahl

$J =$ das Trägheitsmoment des Profils der Steife in bezug zu der Mittelebene der Platte (angenähert)

$$\gamma = \frac{B}{Db}$$

$$\sigma_e = \frac{\pi^2 D}{b^2 h} = \frac{\pi^2}{12(1-\mu^2)} \cdot \frac{E h^2}{b^2}$$

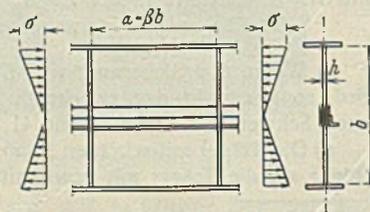


Bild 1.

1. Reine Biegung ($\tau = 0$) (Bild 1):

Nach Auflösung der Gl. $\mathcal{L} = 0$ bekommt man drei Wurzeln für die kritischen Spannungen bzw. für die Beul-

ziffern $k_\sigma = \frac{\sigma_0}{\sigma_e}$. Nur die kleinsten Werte haben praktische Bedeutung.

Die erste Wurzel σ_{0I} ist im Verhältnis zu σ_e durch die folgende Funktion von β, γ gegeben:

$$\frac{\sigma_{0I}}{\sigma_e} = \frac{225 \pi^2}{32} \cdot \frac{1 + 4 \beta^2}{\beta^2} \sqrt{\frac{(1 + \beta^2)^2 (1 + 9 \beta^2)^2 + 2 \gamma [(1 + \beta^2)^2 + (1 + 9 \beta^2)^2]}{3^6 (1 + \beta^2)^2 + 5^4 (1 + 9 \beta^2)^2 + 5408 \gamma}}$$

Bezeichnen wir die rechte Seite dieser Gleichung mit $f(\beta, \gamma)$, dann gilt für die zweite und dritte Wurzel wie folgt:

$$\frac{\sigma_{0II}}{\sigma_e} = f\left(\frac{\beta}{2}, \gamma\right) \quad \frac{\sigma_{0III}}{\sigma_e} = f\left(\frac{\beta}{3}, \gamma\right)$$

Wenn die Funktion $f(\beta, \gamma)$ genau genug bestimmt ist, gilt ähnlich für die weiteren Wurzeln $\frac{\sigma_{0IV}}{\sigma_e} = f\left(\frac{\beta}{4}, \gamma\right), \frac{\sigma_{0V}}{\sigma_e} = f\left(\frac{\beta}{5}, \gamma\right)$ usw.

Die Werte $\frac{\sigma_{0I}}{\sigma_e}$ für verschiedene Werte von β, γ sind in folgender Tafel angegeben.

Tafel I. Für $k_\sigma = \frac{\sigma_{0I}}{\sigma_e}$.

$\beta \backslash \gamma$	0	1	5	10	∞
0,35	32,4	36,0	37,5	37,8	38,2
0,40	29,4	33,6	35,82	36,25	37,0
0,45	27,0	31,8	35,0	35,6	36,43
0,50	25,6	30,9	34,92	36,0	37,2
0,55	24,7	30,25	35,2	36,6	
0,60	24,2	30,0	35,9	37,7	40,4
0,65	23,9	29,8	36,8	39,0	
0,70	23,95	29,8	37,7	40,5	45,2
0,75	24,21	30,0			
0,80	24,66	30,3			
0,85	25,15	30,6			
0,90	25,6	31,0			
0,95	26,3				
1,00	27,2	32,8			

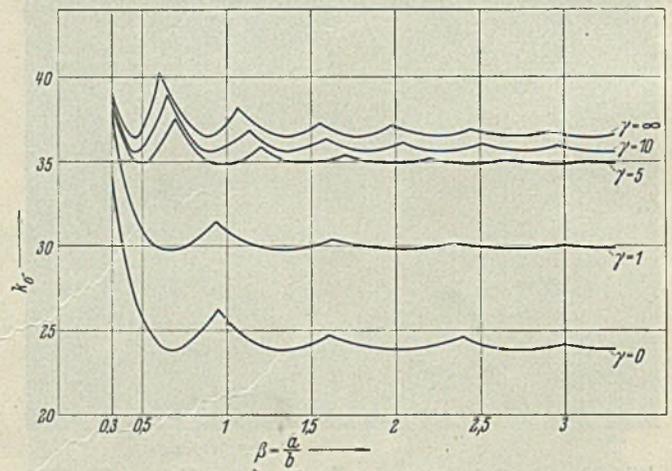


Bild 2.

Die Werte der kleinsten Beulziffern $k_\sigma = \frac{\sigma_0}{\sigma_e}$ sind in Bild 2 graphisch dargestellt. (Schluß folgt.)

INHALT: Versuche über das Verhalten von genieteten und geschweißten Stößen in Trägern I 30 aus St 37 bei oftmals wiederholter Belastung. — Ein Beitrag zur Stabilität des horizontal ausgesteiften Stegbleches.

Verantwortlich für den Inhalt: Geh. Regierungsrat Prof. A. Hertwig, Berlin-Charlottenburg.
Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin W 9.
Druck der Buchdruckerei Gebrüder Ernst, Berlin SW 68.