

Berichte des Deutschen Ausschusses für Stahlbau

Herausgegeben vom Deutschen Stahlbau-Verband, Berlin im NS.-Bund Deutscher Technik

Heft 13

**Einfluß der Nahtform und der Schweißausführung
auf die Querverspannung beim Schweißen
unter Einspannung**

**Vergleichende Dauerbiegeversuche
an geschweißten Vollwandträgern mit verschiedenen
Gurtprofilen und an genieteten Vollwandträgern**

Berichtersteller:

Georg Bierett, Berlin und Kurt Albers
Staatliches Materialprüfungsamt Berlin-Dahlem

Mit 34 Textabbildungen



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH
1942

Berichte des Deutschen Ausschusses für Stahlbau

Herausgegeben vom Deutschen Stahlbau-Verband, Berlin im NS.- Bund Deutscher Technik

Heft 13

**Einfluß der Nahtform und der Schweißausführung
auf die Querverspannung beim Schweißen
unter Einspannung**

**Vergleichende Dauerbiegeversuche
an geschweißten Vollwandträgern mit verschiedenen
Gurtprofilen und an genieteten Vollwandträgern**

Berichtersteller:

Georg Bierett, Berlin und Kurt Albers

Staatliches Materialprüfungsamt Berlin-Dahlem

Mit 34 Textabbildungen



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH
1942

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung
in fremde Sprachen, vorbehalten.
Copyright 1942 by Springer-Verlag Berlin Heidelberg
Ursprünglich erschienen bei Springer-Verlag O.H.G. in Berlin 1942

ISBN 978-3-7091-9723-3 ISBN 978-3-7091-9970-1 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-7091-9970-1

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
I. Einfluß der Nahtform und der Schweißausführung auf die Querverspannung beim Schweißen unter Einspannung.	
A. Versuchsaufgabe	1
B. Versuchsausführung und Versuchsumfang	2
Einspannung	2
Material und Schweißung	2
Messungen	3
C. Ergebnisse	4
a) Einspannkräfte in den fertig geschweißten Proben	4
b) Schrumpfungen und Spannungsbildung während des Schweißens	6
D. Zusammenfassung	9
II. Vergleichende Dauerbiegeversuche an geschweißten Vollwandträgern mit verschiedenen Gurtprofilen und an genieteten Vollwandträgern.	
1. Einleitung	11
2. Umfang der Untersuchung und Form der Prüfkörper	12
3. Versuchseinrichtung und Versuchsdurchführung	13
4. Versuchsergebnisse	15
5. Schlußfolgerungen	22

I. Einfluß der Nahtform und der Schweißausführung auf die Querverspannung beim Schweißen unter Einspannung.

A. Versuchsaufgabe.

Die steigende Anwendung von geschweißten Stumpfstößen im Großträgerbau und besonders bei der Ausbildung von Universalträgerstößen machte eine versuchsmäßige Erfassung der hierbei auftretenden Schrumpfwirkungen und -spannungen erforderlich. Auf Antrag des erstgenannten Berichterstatters genehmigte der Deutsche Ausschuß für Stahlbau in der Sitzung vom 15. Mai 1936 die Durchführung von entsprechenden Laboratoriumsuntersuchungen. Gleichzeitig mit diesen Laboratoriumsuntersuchungen veranlaßte Ministerialdirigent Geh. Baurat Professor Dr.-Ing. e. h. Schaper auf Vorschlag des Staatlichen Materialprüfungsamtes Berlin-Dahlem Untersuchungen zur Klärung der besonderen Verhältnisse bei der Baustellenstoßschweißung der Reichsautobahnbrücken. Die beiden Forschungsaufgaben sollten sich ergänzen. Während die Laboratoriumsversuche einige wichtige, auf die Schweißausführung und Nahtform bezügliche Grundfragen beantworten sollten, sollte durch die Untersuchungen an den Stößen der Brückenträger ein Überblick über die Auswirkung aller für die Schrumpfung- und Spannungsverhältnisse maßgeblichen Faktoren — konstruktive Bedingungen, wie Nahtanordnung und Nahtform, Herstellungsbedingungen wie freie Dehnlängen, Ausbildung der Verspannungsvorrichtungen, Auflagerbedingungen usw. und der Schweißfolge — gewonnen werden. Über diese Untersuchungen an den Bauwerken ist bereits ausführlich berichtet worden¹. Sie lieferten trotz der Schwierigkeiten der betriebsmäßig vorzunehmenden und nicht systematisch nach den einzelnen Faktoren abzustellenden Untersuchungen sehr klare Erkenntnisse über günstige Herstellungsbedingungen für geschweißte Baustellenstöße. Die Laboratoriumsuntersuchungen waren auf den Gedanken abgestellt, daß sich bei der Universalstoßschweißung starke Einspannwirkungen für die einzelnen Nähte nicht umgehen lassen würden. Demzufolge waren bei diesen Untersuchungen in allen Fällen Stumpfnachtschweißungen unter starken Einspannwirkungen vorgesehen. Die Feststellungen bei den gleichzeitig laufenden Bauwerksuntersuchungen zeigten aber bald, daß für die Universalstoßschweißung bei einigermaßen zweckentsprechenden konstruktiven, montagetechnischen und schweißtechnischen Bedingungen — bei den letzteren besonders hinsichtlich der Schweißfolge — sehr wohl Verhältnisse hergestellt werden können, bei denen diese Querverspannungen stark zurücktreten gegenüber anderen mit den Schrumpfungsvorgängen zusammenhängenden Erscheinungen, deren Unschädlichmachung erforderlich ist. Von den ursprünglich geplanten Laboratoriumsversuchen wurde deshalb nur ein kleiner Teil ausgeführt. Die wenigen ausgeführten Versuche haben für die Zwecke des Stahlbaus insofern Bedeutung, als aus den Ergebnissen die Gefährdung der Wurzellagen von Stumpfnähten bei Beginn der Schweißung und weiterhin die besonders große Gefahr, die für diese bei Zwischenabkühlungen zwischen den einzelnen Lagen vorliegt, hervorgeht. Die ebenfalls aus den Ergebnissen zu entnehmenden Verspannungskräfte nach Fertigstellung der Nähte sind nach Feststellungen an den Bauwerken für die Trägerstoßschweißung von geringerer Bedeutung; sie behalten natürlich ihre Bedeutung für alle Schweißungen, die zwangsläufig unter großen Querverspannungen ausgeführt werden müssen, wie z. B. Einschweißungen, Rißschweißungen u. dgl. Im folgenden wird über diese Untersuchungen berichtet.

¹ Bierett, G.: Untersuchungen zur Ermittlung günstiger Herstellungsbedingungen für die Baustellenstöße geschweißter Brückenträger. Berichte des Deutschen Ausschusses für Stahlbau, Ausgabe B, Heft 10. Berlin: Springer 1940. S. a. Elektroschweißung 9 (1938) S. 225—232 und 12 (1941) S. 94—118.

B. Versuchsausführung und Versuchsumfang.

Einspannung.

In einem Einspannrahmen sollten Versuchsbleche von $300 \cdot 30 \text{ mm}^2$ aus Baustahl St 52 durch Stumpfnähte miteinander verbunden werden. Die Versuchsanordnung, die Ausbildung

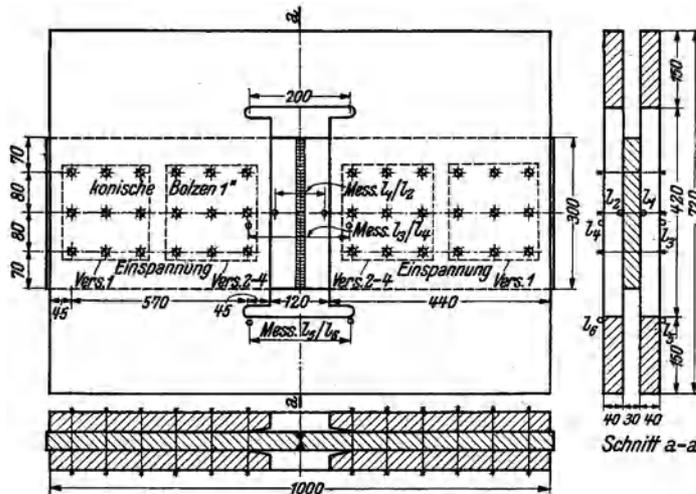


Abb. 1. Einspannrahmen für Schweißversuche.

des schweren Einspannrahmens und die Art der Einspannung geht aus Abb. 1 hervor. Zwischen zwei 40 mm dicken Platten wurden die Versuchsbleche mit konischen Bolzen von 1", deren Bohrungen vor jedem Versuch neu aufgerieben wurden, eingespannt. Die Versuchsbleche wurden darauf durch Stumpfnähte verschiedener Nahtform und unter verschiedenen Schweißbedingungen verschweißt. Durch Abänderung der Einspannlängen in den verschiedenen Versuchen durch Benutzung der äußeren oder der inneren Einspannbohrungen nach Abb. 1 konnte die Größe der Einspannung geändert werden. Eine Einspannung der bei der Trägerschweißung möglicherweise in Betracht kommenden Art, die sich durch Benutzung nur der axial angeordneten Bohrungen hätte herstellen lassen (entspricht der durch die Stegteile für die Gurtnähte bewirkten Einspannung) kam wegen der einleitend geschilderten Feststellungen bei den Bauwerksschweißungen nicht mehr zur Anwendung.

Material und Schweißung.

Verwendet wurden geblühte Bleche nachstehender Zusammensetzung (in %):

$$\begin{aligned} C &= 0,16; \quad Si = 0,52; \quad Mn = 1,43; \quad P = 0,030; \quad S = 0,018; \\ Cu &= 0,44; \quad Ni = 0,05; \quad Cr = 0,02; \quad Mo = 0,10; \quad N = 0,006. \end{aligned}$$

Die Bleche wurden ebenso wie das Material zu dem Einspannrahmen von der Gutehoffnungshütte Oberhausen A.G. zur Verfügung gestellt.

Für die Nahtschweißungen wurden ummantelte Elektroden Kjellberg St 52 A von 4 und 5 mm Durchmesser verwendet. Die Schweißung wurde im Beisein von Beamten des Staatlichen

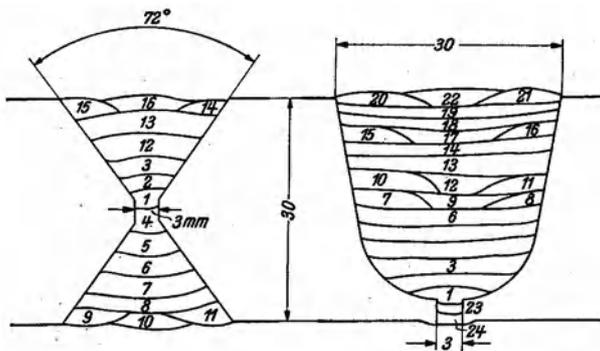


Abb. 2. Nahtformen und Lagenaufbau.

Materialprüfungsamtes Berlin-Dahlem von der Firma Hein, Lehmann & Co, Berlin-Tempelhof ausgeführt.

Von den ursprünglich zunächst in Aussicht genommenen 20 Versuchen gelangten aus den früher genannten Gründen nur vier Versuche zur Ausführung. Diese Versuche unterschieden sich hinsichtlich der Nahtform, der Größe der Einspannung und in der Schweißausführung, wobei im allgemeinen die Nähte in kontinuierlicher Schweißweise in einer Wärme hergestellt wurden und in einem Fall die Naht mit regelmäßigen Abkühlungspausen nach jeder Lage bzw. nach jeder Lagengruppe geschweißt wurde. Die Zusammenstellung 1 gibt einen Überblick über die in den einzelnen Versuchen gewählten Bedingungen. Alle Nähte wurden mit Gleichstrom geschweißt und alle Lagen von

oben gelegt. Die Nahtform und die Lagenanordnung ist in Abb. 2 dargestellt. Die verschiedenen Einspannverhältnisse im Versuch 1 gegenüber denen des Versuchs 2 bis 4 sind in Abb. 1 angedeutet.

Zusammenstellung 1. Angaben über die Versuchsbedingungen.

Versuch Nr.	Art der Einspannung	Nahtform	Schweißausführung	Gesamtschweißzeit ¹	Schweißdraht	Schweißweg	Bemerkungen
1.	elastisch	X-Naht	In einer Wärme geschweißt	3 Std.	1., 2., 4. u. 5. Lage Draht 4 mm \varnothing 170 Amp. Weitere Lagen 5 mm \varnothing 220 Amp.	Alle Lagen von einem Ende zum anderen, wechselnde Schweißrichtung bei aufeinanderfolgenden Lagen.	
2.	starr	X-Naht	In einer Wärme geschweißt	3 Std.	Wie bei Versuch 1		
3.	starr	U-Naht	Mit Abkühlungspaus.geschweißt; Pausen nach der 1., 2., 3., 4., 6., 9., 12., 14., 17., 19., 22. Lage (s. Abb. 2)	6 Std. ²	1. und 2. Lage Draht 4 mm \varnothing 170 Amp. Weitere Lagen 5 mm \varnothing 220 Amp.		
4.	starr	U-Naht	In einer Wärme geschweißt	3 Std.	Wie bei Versuch 3		Wurzellagen 23 und 24 nicht mehr geschweißt.

Messungen.

Während der Schweißung und nach Fertigstellung der Nähte wurden die Querschrumpfung der Nähte und die Formänderungen an dem Rahmen quer zur Nahtichtung gemessen. Die Meßanordnung ist in Abb. 1 angegeben. Die Querschrumpfung wurde in Nahtmitte auf beiden Seiten auf einer Meßlänge von 10 cm gemessen. Außerdem wurde zur Bestimmung der Schrumpfkraft die Abstandsänderung der Rahmenöffnung durch die Messungen l_3 und l_4 erfaßt. Es zeigte sich leider zu spät, daß auch diese Formänderungen bei fortschreitender Schweißung durch die Wärme beeinflußt wurden und nur bei Beginn der Schweißung zur einwandfreien Kraftbestimmung geeignet sind. Bei dem letzten Versuch wurden deshalb noch die Messungen l_5 und l_6 in größerer Entfernung vom Wärmezentrum ausgeführt. Die Meßlänge bei l_3 bis l_6 betrug 20 cm. Alle diese Messungen wurden mit dem Setzdehnungsmesser nach Siebel-Pfender ausgeführt.

Zur Ermittlung der Kräfte und der Spannungsverhältnisse in den Nähten wurden die Spannungen in den Nahtzonen nach Fertigstellung durch Zerlegen der geschweißten Platten bestimmt. Diese Messungen dienten weiterhin als Grundlage zur Auswertung der Messungen am Rahmen während der Schweißung. Sie wurden folgenderweise ausgeführt:

Nach Fertigstellung der Nähte wurden an den 150 mm breiten Rahmenblechen neben den Nähten an den vier Kanten jedes Teils Setzdehnungsmessungen auf 10 cm Länge vor und nach Lösen der Einspannbolzen vorgenommen. Gleichzeitig wurden in den Nahtzonen an den Nahtenden, in Nahtmitte und in den Viertelpunkten Messungen auf 5 cm Länge ausgeführt, wobei zu einer einwandfreien Bestimmung der quer zur Naht wirkenden Spannungen bei den Meßstellen in Nahtmitte und in den Viertelpunkten diese Messungen auch in Nahtichtung ausgeführt wurden. Die Anordnung dieser Messungen geht aus der Skizze auf Abb. 3 hervor. Die Meßstellen am Rahmen sind durch die senkrechten Linien 1 bis 4 und durch die waagerechten Linien a bis d gegeben.

Die Messungen am Rahmen und an den Proben ergaben zwei unabhängig voneinander gewonnene Werte für die Einspannkraft. Diese Werte für die Einspannkräfte konnten außer-

¹ In der Gesamtschweißzeit sind die Zeiten für Wurzelaukreuzen, Schlackenentfernung usw. enthalten.

² Die Abkühlungspause betrug durchschnittlich 20 Minuten, wobei eine Abkühlung der Naht auf Handwärme erreicht wurde. Die Pause zwischen der 14. und 15. Lage dauerte aus betrieblichen Gründen 20 Stunden. Da auch bei dieser langen Pause kein anderer Effekt eingetreten sein kann und auch nach den Ergebnissen nicht eingetreten ist als bei den normalen Abkühlungspausen von 20 Minuten, ist bei der Angabe der Schweißzeit auch diese Pause zu 20 Minuten in Rechnung gesetzt worden.

dem als Grundlage zur Bestimmung der Ausbildung der Einspannkkräfte im Verlauf der Schweißung benutzt werden, die durch die Messungen am Rahmen 1₃ bis 1₆ erfaßt waren, soweit diese Messungen als unbeeinflußt von Temperaturwirkungen angesehen werden konnten.

Die Spannungsverteilung in den Nähten wurde durch vollständige Zerlegung der Nahtzonen und Ausführung der 5 cm-Messungen vor und nach Zerlegung bestimmt.

C. Ergebnisse: Schrumpfungen und Spannungen.

a) Einspannkkräfte in den fertig geschweißten Proben.

Aus Zweckmäßigkeitsgründen sollen die Spannungen in den fertig geschweißten Proben zuerst behandelt werden. Diese Spannungen sind ermittelt, indem nach der vollen Erkaltnng die Einspannbolzen gelöst und entfernt wurden, dabei die Formänderungen der Nahtzonen nach Abschnitt B gemessen wurden und danach die Nahtzonen unter Bestimmung der dabei eintretenden Formänderungen zerlegt wurden. Die bei Lösung der Einspannung ermittelten

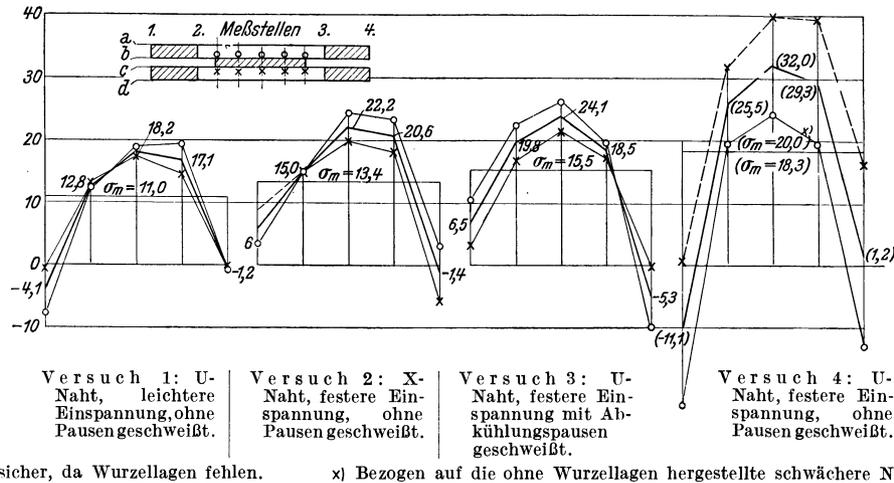


Abb. 3. Querspannungen in den vier Proben nach dem Erkalten.

Zusammenstellung 2. Einspannkkräfte.

	Spannungen im Einspannrahmen in kg/mm ²							
	Versuch 1				Versuch 2			
	1	2	3	4	1	2	3	4
a	0,7	-7,1	-5,9	1,3	1,6	-7,4	-11,9	0,2
b	-1,8	-9,6	-9,1	-1,8	0,9	-8,0	-10,1	2,0
c	1,3	-5,7	-5,2	1,2	-0,7	-12,8	-13,1	-1,0
d	-2,6	-9,6	-9,4	-3,0	1,2	-10,9	-11,2	0,9
Mittel	-0,6	-8,0	-7,4	-0,6	0,7	-9,8	-11,5	0,5
	-4,3		-4,0		-4,6		-5,5	
Rahmen	$\sigma_m =$				$\sigma_m =$			
Probe	11,0				13,4			
	Versuch 3				Versuch 4			
	1	2	3	4	1	2	3	4
a	-1,8	-11,4	-8,9	0,2	-0,8	-6,1	-4,3	-4,9
b	0,4	-9,2	-9,7	0,2	-1,8	-8,7	-10,4	-1,2
c	-2,2	-14,9	-10,5	-8,2	-1,0	-14,2	-11,3	-5,9
d	1,6	-11,1	-5,5	-2,0	-1,2	-14,4	-9,3	-3,9
Mittel	-0,5	-11,7	-8,6	-2,5	-1,3	-10,9	-8,8	-4,0
	-6,1		-5,5		-6,1		-6,4	
Rahmen	$\sigma_m =$				$\sigma_m =$			
Probe	15,5				16,7			

Formänderungen dienten zur Bestimmung der Querverspannungen infolge der Einspannung, die Messung der durch das Zerlegen eintretenden Formänderungen ermöglichte die Berechnung der inneren Querverspannungen. Die zusammengesetzten Spannungen aus beiden Einflüssen ergeben das Spannungsbild für die fertig geschweißte Naht. Abb. 3 zeigt diese Spannungsbilder für alle vier Proben. Die Darstellungen zeigen die Spannungsbilder für beide Nahtseiten und für die Mittelspannung. Aus dem letzteren läßt sich die mittlere Querverspannung berechnen, die ebenfalls eingetragen ist. Die bei Lösung der Einspannung an den Rahmen festgestellten Entlastungen sind in der unter Abb. 3 befindlichen Zusammenstellung 2 angegeben, aus denen die mittlere Rahmenspannung und aus dieser wiederum durch Einsetzen der Querschnittsverhältnisse von Rahmen und Proben die mittlere Nahtquerspannung berechnet worden ist.

Bei der Probe 4, bei der die beiden rückwärtigen Wurzellagen aus besonderen Umständen heraus nicht gelegt worden sind, beziehen sich die Spannungsbilder auf die Gesamtdicke, der auch der angegebene Mittelwert von $18,3 \text{ kg/mm}^2$ entspricht, während der ebenfalls eingetragene Wert von $20,0 \text{ kg/mm}^2$ der etwas schwächeren Nahtzone entspricht. Wie der Vergleich mit den Rahmenmessungen zeigte, sind jedoch die Spannungen für diese Proben zu hoch bestimmt.

Bei den Versuchen 1 bis 3 lieferten die Messungen an den Rahmen die gleiche Querverspannung wie die Messungen an den Proben selbst bei Berücksichtigung der bei der Kurvenform des Spannungsbildes für die Berechnung der mittleren Spannung möglichen Genauigkeit. Bei Versuch 4 wurde aus den Rahmenmessungen eine mittlere Querverspannung von $16,7 \text{ kg/mm}^2$ bestimmt, aus den Messungen an der Probe eine Querverspannung von $18,3 \text{ kg/mm}^2$. Höchstwahrscheinlich ist dieser Wert jedoch zu groß: entweder sind infolge der sehr hohen Spannungen bei dieser Probe (nach der Messung rd. 40 kg/mm^2 max. auf einer Seite) selbst bei der durch die Lösung der Bolzen vorgenommenen Entlastung die rückläufigen Formänderungen nicht vollkommen elastisch gewesen, so daß die Spannungen etwas größer bestimmt worden sind, als sie tatsächlich waren, oder in den zur Spannungsberechnung benutzten Formänderungen der offenen Wurzelseite ist ein gewisser Betrag durch die Veränderung der offenen Wurzel beim Lösen der Bolzen eingegangen. Der Abstand der beiden Spannungslinien für Wulst- und Wurzelseite gibt deshalb auch kein Maß für die Biegespannungen. Der aus den Rahmenmessungen bestimmte Wert von $16,7 \text{ kg/mm}^2$ ist deshalb für die Bewertung zugrunde zu legen.

Der Vergleich der Spannungsbilder und Spannungswerte untereinander besagt folgendes:

1. Durch die kürzere Einspannlänge bei Versuch 2 steigt die Querverspannung von $11,0$ auf $13,4 \text{ kg/mm}^2$. Die Steigerung ist im Verhältnis der merklich verkürzten Einspannlänge recht mäßig.

2. Durch den größeren Nahtquerschnitt der U-Naht gegenüber der X-Naht (660 gegen 380 mm^2) steigt die Querverspannung bei gleichen äußeren Einspannverhältnissen und gleichen Schweißbedingungen von $13,4$ auf $16,7 \text{ kg/mm}^2$ (Versuch 2 und 4). Die Steigerung ist im Verhältnis der sehr verschiedenen Nahtquerschnitte (Verhältnis $1:1,7$) nicht besonders hoch.

3. Durch die regelmäßigen Abkühlungspausen nach den einzelnen Lagen bzw. Lagengruppen in Versuch 3 wird die Querverspannung gegenüber dem in einer Wärme geschweißten Versuchsstück 4 von $16,7$ auf $15,5 \text{ kg/mm}^2$ ermäßigt.

Allgemein besagen die Ergebnisse, daß beim Schweißen unter Einspannung die Dehnlängen nicht zu beschränkt sein sollen, und daß kleine Nahtquerschnitte angewendet werden sollten. Es ist darauf hinzuweisen, daß in der Praxis, wenigstens im Stahlbau, Schweißarbeiten unter so hohen Einspannwirkungen nur selten auszuführen sind und daß deshalb hiermit kein Urteil gegen die U-Naht abgegeben wird, die sich übrigens mit wesentlich geringerem Querschnitt, als in den Versuchen aus lehrhaften Gründen angewendet wurde, herstellen läßt.

Die unter Punkt 3 gemachte Feststellung bezüglich des Einflusses der Abkühlungspausen bedarf vor allgemeiner Schlußfolgerung der Ergänzung durch die Feststellungen im Verlauf der Schweißung. Die stärkere Einspannwirkung bei der in einer Wärme geschweißten Probe ist an sich bei den vorliegenden Verhältnissen ohne weiteres durch die breitere Erhitzungszone und die entsprechend größere Stauchung während des Ausdehnungsvorgangs erklärlich.

b) Schrumpfungen und Spannungsbildung während des Schweißens.

Erst die Verfolgung der Schrumpfungen und der Spannungsbildung während der Schweißung ermöglicht eine Beurteilung der Zweckmäßigkeit der verschiedenen Bedingungen. Die Ausführung der diesbezüglichen Messungen, die nur bei den Versuchen 2 bis 4 mit starrer Einspannung vorgenommen worden sind, war bereits in Abschnitt B besprochen worden. Die Ergebnisse dieser Messungen sind in den Abb. 4 bis 7 graphisch dargestellt.

Die Darstellung der Ausbildung der Querschrumpfung, gemessen auf 10 cm Meßlänge

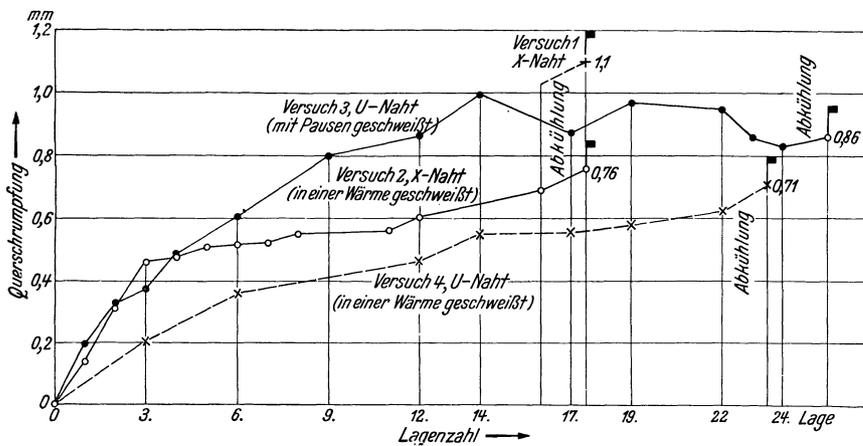


Abb. 4. Querschrumpfung für die X- und U-Nahtschweißungen. Messungen l_1/l_2 auf 10 cm, Mittelwerte.

gleichmäßig nach beiden Seiten der Naht oben und unten, in Abb. 4 besagt folgendes:

Der wesentlichste Anteil der Gesamtschrumpfung tritt bei diesen Dicken bereits lange vor Fertigstellung der Nähte ein. Besonders im Anfang der Schweißung ist die Schrumpfung verhältnismäßig groß,

so daß in diesem Stadium Gesichtspunkte zur Erleichterung der Schrumpfung zur Vermeidung der Reißgefahr besonders im Vordergrund stehen müssen.

Zwischen den beiden Ausführungsarten des Versuchs 3 und 4 für die U-Naht ergeben sich ganz beträchtliche Unterschiede in dem Schrumpfverlauf. Nach Fertigstellung der Naht sind die Unterschiede jedoch nicht sehr erheblich. (Bei vollständiger Fertigschweißung der Probe vom Versuch 4, Wurzellagen 23 und 24, hätten sich wahrscheinlich überhaupt keine wesentlichen Unterschiede ergeben.) Die größeren Schrumpfungen im Verlauf der Schweißung bei der Schweißung mit Pausen ist ohne weiteres aus den Zwischenabkühlungen erklärlich. Aus den Kurven ist abzu-

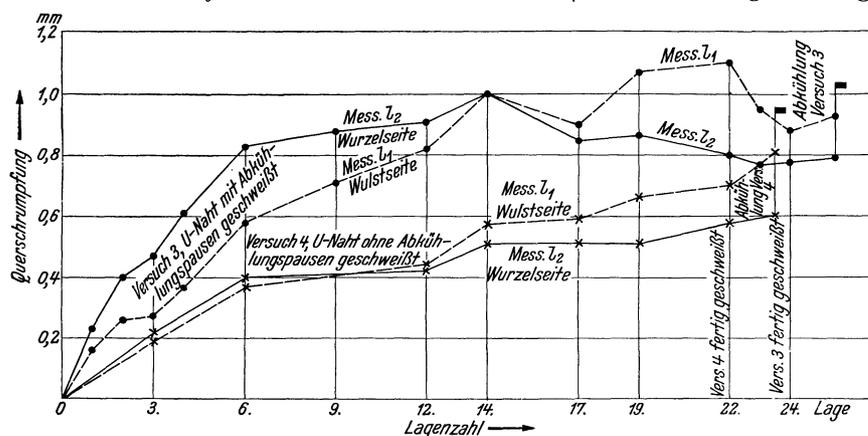


Abb. 5. Querschrumpfung auf Ober- und Unterseite für die U-Nahtschweißungen. Messungen l_1 und l_2 auf 10 cm.

lesen, daß die Nahtbeanspruchungen während der Schweißung wesentlich ungünstiger sein müssen als bei der Schweißung in einer Wärme, worauf zurückzukommen sein wird.

Die Schrumpfungen nach Fertigstellung und Abkühlung betragen in Versuch 1: 1,1 mm; in Versuch 2: 0,76 mm; in Versuch 3: 0,86 mm und in Versuch 4: 0,71 mm. Diese Werte sind ganz wesentlich kleiner, als die, die sich bei freier Schweißung ergeben hätten. Nach Malisius¹ hätten sich für die X-Naht ungefähr 2,2 mm und für die U-Naht 3,2 mm Querschrumpfung ergeben müssen. Die weichere Einspannung bei Versuch 1 wirkt sich in diesem Sinne durch größere Querschrumpfung aus.

¹ Vgl. Elektroschweißg. 7 (1936) S. 1ff.

Für die Beurteilung von Abkühlungspausen bei der Nahtschweißung sind die in Abb. 5 dargestellten Ergebnisse wesentlich. In dieser sind für die Versuche 3 und 4 die auf 10 cm gemessenen Querschrumpfungen wie in Abb. 4 dargestellt, jedoch nicht die Mittelwerte aus den Messungen l_1 und l_2 , sondern deren Einzelergebnisse für die obere und untere Seite. Während sich bei der in einer Wärme geschweißten U-Naht oben und unten sehr gleichmäßige Verhältnisse einstellen und eine Neigung zur Winkelschrumpfung sich erst bei Schweißung der oberen Lagen andeutet, sind die Verhältnisse bei der Schweißung mit Pausen in dieser Hinsicht von Anfang an sehr ungleichmäßig. Am Ende der Schweißung sind hier zwar die Unterschiede für beide Schweißarten nicht sehr erheblich, was aber im wesentlichen darauf zurückzuführen sein dürfte, daß bei dem Versuch 4 die schließenden Wurzellagen fehlten, so daß die Verhältnisse für diese Probe ungünstiger erscheinen (ebenso wie im zugehörigen Spannungsbild der Abb. 3), als es natürlicherweise ist. Die Schweißung mit Pausen bewirkt offenbar nachteilige Biegungseinflüsse, wie es besonders deutlich aus den Bauwerksuntersuchungen hervorgeht¹.

Die in Abb. 6 dargestellten Abstandsänderungen l_3 und l_4 waren an sich für die Berechnung der Spannungsbildung im Verlauf der Schweißung vorgesehen worden. Sie sind jedoch wegen unvorhergesehener Wärmeeinflüsse nur für die Berechnung der Spannungen zu Beginn der Schweißung brauchbar. Wie sich aus dem Verlauf der Kurven, besonders für Versuch 3 und 4 im Abkühlungsbereich zeigt, der eher einer Spannungsabnahme bei der einsetzenden Abkühlung entsprechen würde, sind die aus der Kraftwirkung zu erwartenden Abstandsverminderungen durch gegen-

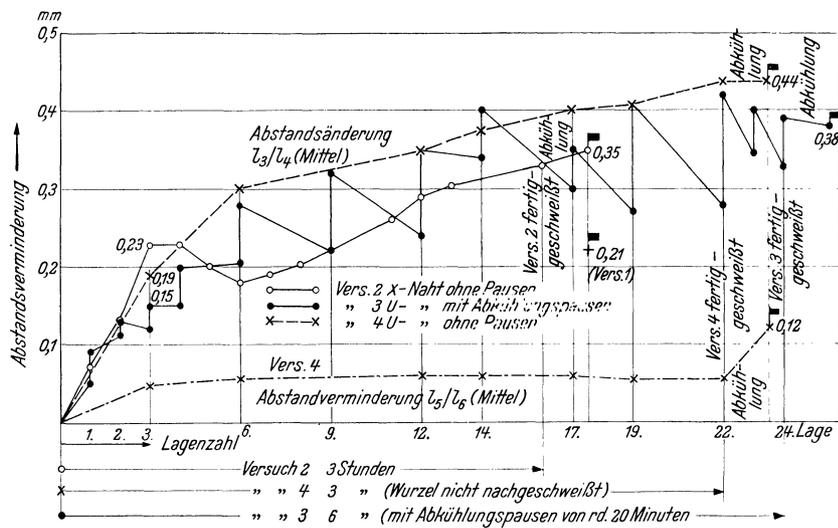


Abb. 6. Abstandsverminderung in den Meßstrecken des Einspannrahmens.

wirksamkeit zu erwartenden Abstandsverminderungen durch gegen-

Zusammenstellung 3. Querschrumpfungen, Abstandsänderungen im Rahmen und Einspannkraft.

	1	2	3		4		5	6	7	8
			nach 3. Wurzellage	nach Fertig-schweißung und Erkalten	nach 3. Wurzellage	nach Fertig-schweißung und Erkalten				
Nahtform, Einspannung, Schweißung	Querschrumpfung auf 10 cm gemessen Mess. l_1/l_2 nach Fertig-schweißung und Erkalten mm	Abstandsänderung des Rahmens auf 20 cm gemessen Mess. l_3/l_4	Abstandsänderung des Rahmens auf 10 cm gemessen Mess. l_5/l_6	Einspannkraft t	Federkonstante des Einspannrahmens (7 : 4) t mm					
1 X-Naht, elastisch eingespannt, in einer Wärme geschweißt	1,10	nicht gemessen	0,21	—	—	100	480			
2 X-Naht, starr eingesp., in einer Wärme geschweißt	0,76	0,23	0,35	—	—	120	340			
3 U-Naht, starr eingesp., mit Abkühlungspause geschweißt	0,86	0,15	0,38	—	—	140	370			
4 U-Naht, starr eingesp., in einer Wärme geschweißt	0,71	0,19	0,44	0,045	0,12	150	340			

¹ A. a. O. Fußnote 1, S. 1.

läufige thermische Dehnungen im weiteren Verlauf der Schweißung beeinflusst worden. Bei dem letzten Versuch sind deshalb noch die außerhalb der Wärmebeeinflussung angeordneten Messungen l_5 und l_6 ausgeführt worden. Unbeeinflusst sind jedoch bei l_3/l_4 die nach völliger Erhaltung festgestellten Werte.

Qualitativ läßt sich jedoch auch aus den Messungen l_3/l_4 der ungünstige Einfluß der Abkühlungspausen der Probe 3 auf die Spannungsverhältnisse entnehmen. Der Verlauf der Kurve l_5/l_6 für Versuch 4 besagt, daß die weitaus größte Beanspruchung zu Beginn der Schweißung eintritt.

Zur Berechnung der Beanspruchungen zu Beginn der Schweißung und soweit wie möglich auch für den weiteren Verlauf der Schweißung sind in den Zusammenstellungen 3 und 4 die

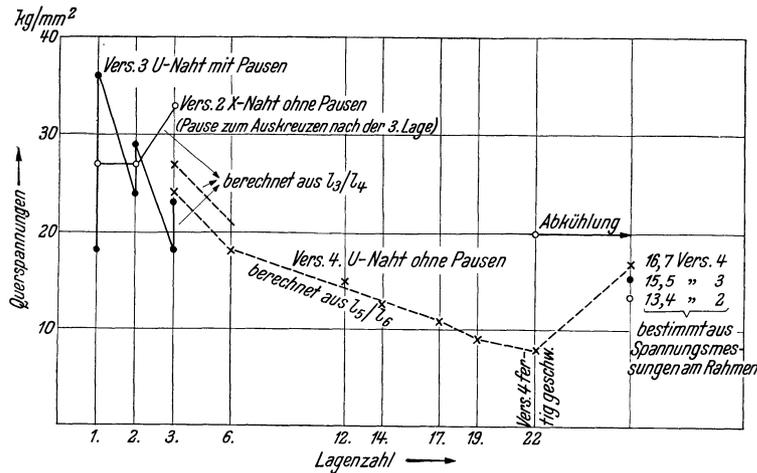


Abb. 7. Nahtquerspannungen im Verlauf der Schweißung.

die andersartige Einspannung des Versuchs 1 ergibt sich naturgemäß ein anderer Wert wie bei den Versuchen 2 bis 4.)

Die Spannungsberechnung in Zusammenstellung 4 ist folgendermaßen durchgeführt. Für die fertige und erkaltete Probe sind die mittleren Querverspannungen und damit die Einspannkraft bekannt. Diese Kraft entspricht einer bekannten Abstandsänderung l_3/l_4 bzw. l_5/l_6 . Daraus läßt sich aus den Messungen l_3/l_4 , die im Anfang der Schweißung thermisch unbeeinflusst sind, durch einfache Verhältnisbildung die Schrumpfkraft in diesem Zustand berechnen und dadurch durch Einsetzen des jeweiligen Nahtquerschnitts die mittlere Querspannung. Für Versuch 4 läßt sich aus den Messungen l_5/l_6 die Spannungsausbildung für den ganzen Verlauf der Schweißung verfolgen.

Die Berechnungsergebnisse sind in Abb. 7 graphisch dargestellt. Man entnimmt daraus die außerordentlich hohe Beanspruchung bei Beginn der Schweißung, die ungünstige Wirkung der Zwischenabkühlung, den starken Spannungsabfall nach Erreichung einer gewissen Dicke, solange die Naht warm gehalten wird, und das starke Ansteigen der Spannungen bei der Abkühlung. Die größte Gefahr liegt bei Beginn der Schweißung vor. Da sich bekanntlich auch in Richtung der Nähte, also senkrecht zu den Querspannungen sehr hohe Spannungen ausbilden, ist die Bruchgefahr infolge des verminderten Formänderungsvermögens in diesem Zustand besonders groß. Kontinuierliches Schweißen sollte deshalb hier immer angewendet werden. Die durch das Auskreuzen der Wurzel bedingte Abkühlungspause der sonst in einer Wärme geschweißten X-Naht wird durch einen deutlichen Spannungsanstieg nach der 3. Lage sichtbar. Ein Warmhalten durch Brenner auf der anderen Seite ist empfehlenswert.

Gegen Zwischenabkühlungen bei derartigen Nähten spricht also die Gefährdung der Nähte durch hohe Spannungen besonders bei noch geringer Nahtdicke, sobald mit Querverspannungen äußerer oder innerer Art (lange Nähte) zu rechnen ist, und allgemein bei freiem Schweißen und Schweißen unter Einspannung die verstärkten Biegeeinflüsse, die sich je nach den äußeren Verhältnissen als stärkere Winkelschrumpfungen oder als Biegespannungen auswirken können. Für Zwischenabkühlungen kann — jedoch nur nach Erreichung einer gewissen

wichtigsten Meßergebnisse wiedergegeben. Zusammenstellung 3 enthält die Querschrumpfung nach Erkalten, die Abstandsänderung l_3/l_4 und l_5/l_6 nach der 3. Lage und nach Fertigstellung und Erkalten und die aus den Spannungsmessungen der Abb. 3 und Zusammenstellung 2 ermittelten Einspannkraft. Ferner ist noch die aus Spalte 7 und 4 errechnete Federkonstante des Einspannrahmens angegeben, die für die Einordnung dieser Versuchsergebnisse in andere Versuche von Wert sein kann. (Für

Zusammenstellung 4. Spannungsbildung während der Schweißung.

Versuch	Zustand	Messung	Mittlere Quer- spannung aus der Messung am Rah- men (bzw. an der Probe)	Voller Naht- querschnitt	Kraft	Jeweiliger Nahtquer- schnitt	Beanspruchung der Naht
		l_3/l_4 mm	kg/mm ²	cm ²	t	cm ²	kg/mm ²
2	fertig und erkaltet	0,35	13,4	30×3,0	120	—	—
	1. Lage	0,07	—	—	24	30×0,3	27
	2. „	0,13	—	—	44,5	30×0,55	27
	3. „	0,23	—	—	79	30×0,80	33
3	fertig und erkaltet	0,38	15,5	30×3,0	140	—	—
	1. Lage	0,045	—	—	16,5	30×0,3	18
	nach der Abkühlung	0,09	—	—	33	—	36
	2. Lage	0,11	—	—	40,5	30×0,55	24
	nach der Abkühlung	0,13	—	—	48	—	29
	3. Lage	0,12	—	—	44	30×0,80	18
4	nach der Abkühlung	0,15	—	—	55	—	23
	fertig und erkaltet	0,44	16,7	30×3,0	150	—	—
	3. Lage	0,19	—	—	65	30×0,8	27
		Messung l_5/l_6 mm					
	fertig und erkaltet	0,12	16,7	30×3,0	150	—	—
	3. Lage	0,045	—	—	57	30×0,8	24
	6. „	0,055	—	—	69	1,3	18
	12. „	0,060	—	—	75	1,7	15
	14. „	0,060	—	—	75	2,0	12,5
	17. „	0,060	—	—	75	2,2	11
19. „	0,055	—	—	69	2,5	9	
22. „	0,055	—	—	69	2,8	8	

Nahtdicke — bei vorliegenden starken Verspannungen der Gesichtspunkt der Geringhaltung der im Endzustand zurückbleibenden Verspannung sprechen. Sofern derartige Gesichtspunkte oder besondere Verhältnisse die Einlegung von Abkühlungspausen nach Erreichung einer größeren Nahtdicke notwendig machen, kann zur Gegenwirkung erfolgreich von dem Hilfsmittel des Stemmens Gebrauch gemacht werden.

Bei stärkeren Einspannwirkungen ist die Naht geringeren Querschnitts hinsichtlich der bleibenden Verspannung günstiger. Es darf hierbei nicht übersehen werden, daß im Stahlbau, wie aus den Bauwerksmessungen hervorging, eine Einspannwirkung bei den Gurtplatten im allgemeinen nicht vorliegt (bei der normalerweise angewendeten Schweißfolge zwischen Steg- und Gurtnähten stehen die Gurtnähte im Endzustand in der Regel unter Druckkräften). Aus den Ergebnissen ist deshalb für die allgemeinen Zwecke des Stahlbaus nichts Nachteiliges hinsichtlich der Eignung der U-Naht zu folgern. Zu beachten ist dagegen die beim rückwärtigen Auskreuzen der Wurzel der X-Naht vorliegende Reißgefahr infolge hoher Spannungen durch die zwangsläufig eintretende Abkühlung, sofern nicht zusätzlich gewärmt wird. Bei der einseitigen Naht liegt diese Gefährdung nicht vor.

D. Zusammenfassung.

Zur Verfolgung der Spannungsverhältnisse in Stumpfnähten dickerer Platten im Verlauf der Schweißung und nach Fertigstellung der Nähte wurden X- und U-Nähte bei verschiedener Schweißausführung unter verhältnismäßig starren Einspannbedingungen geschweißt. Untersucht wurde hierbei besonders der Einfluß von Zwischenabkühlungen in einer Wärme. Durch geeignete Messungen wurden die Spannungen im Verlauf der Schweißung und nach der Fertigstellung ermittelt.

Nach den Meßergebnissen liegt die weitaus größte Gefahr bei Beginn der Schweißarbeiten bei noch dünnen Nähten vor. Ein kontinuierliches Schweißen ohne Zwischenabkühlungen

sollte hier immer angewendet werden. Dieser Gesichtspunkt sollte bei der in der Regel bei noch dünner Naht vorgenommenen rückwärtigen Auskreuzung von X-Nähten beachtet werden und bei stärkeren Verspannungswirkungen innerer oder äußerer Art gegebenenfalls zu einer Warmhaltung der Naht Veranlassung geben.

Zur Vermeidung ungünstiger Biegeeinflüsse (Winkelschrumpfungen oder Biegespannungen) ist die Schweißung in einer Wärme grundsätzlich vorzuziehen. Wenn es bei nicht vermeidbaren starken Einspannwirkungen (z. B. Einschweißaufgaben) zur Herabminderung der nach dem Erkalten zurückbleibenden Verspannung oder aus sonstigen Gründen trotzdem zweckmäßig erscheint, nach Erreichung einer gewissen Nahtdicke Zwischenabkühlungen eintreten zu lassen, kann diesen Biegeeinflüssen durch Stemmen entgegengewirkt werden. Bei starken Einspannwirkungen empfiehlt sich — wie bekannt — die Beschränkung der Größe der Nahtquerschnitte. Für die gewöhnlichen Verhältnisse des Stahlbaus, besonders für die Gurtnahtschweißung im Universalstoß, hat dieser Gesichtspunkt keine überragende Bedeutung (andere Gesichtspunkte weisen natürlich auch hier auf eine Beschränkung der Nahtquerschnitte hin). Die U-Naht ist hier nicht ungünstiger als die X-Naht anzusehen.

Für den Stahlbau haben besonders die Beobachtungen über die Spannungsbildung bei Beginn der Schweißarbeiten Bedeutung.

II. Vergleichende Dauerbiegeversuche an geschweißten Vollwandträgern mit verschiedenen Gurtprofilen und an genieteten Vollwandträgern.

1. Einleitung.

Die Entwicklung des geschweißten Trägers größerer Abmessungen führte zu einer immer stärkeren Zurückdrängung der anfangs als Gurtplatten verwendeten Breitflachstähle durch die in verschiedener Form auf den Markt kommenden Sonderprofile. Das zuerst entwickelte Dörnen-Wulstprofil war in dem Bestreben entstanden, die bei den Breitflachstählen in den hochbeanspruchten Halsnahtzonen verbleibende Längsfuge zu vermeiden und — in einer allgemeinen Übertragung der Erkenntnisse über das Dauerfestigkeitsverhalten geschweißter Teile — durch Verwendung von Stumpfnähten einen für wechselnde Beanspruchungen besonders gut geeigneten Träger zu schaffen. Ähnliche Gesichtspunkte könnte man aus der Form des Krupp-St-Profiles herauslesen, wenn auch bei der Schaffung dieses Profils die Herausverlegung der Halsnaht aus der Nähe der Platte des Profils die größere Rolle gespielt haben dürfte. Wie das Wulstprofil läßt auch die bisweilen gebräuchliche Anordnung des aus Breitflachstählen hergestellten Trägers mit zugeschärften Stegblechkanten, durch die eine stumpfnahtähnliche Anordnung der Halsnähte möglich ist, die Anschauung erkennen, daß die bei der normalen Kehlnahtanordnung verbleibende Längsfuge als ungünstig anzusehen ist. Im Gegensatz hierzu verzichtet das vielfach gebräuchliche Nasenprofil auf die Stumpfnahtanordnung. Seine Schaffung ist zu begründen mit der Herausverlegung der Halsnähte aus den Platten der Profile selbst, aus Rücksichten auf den Zusammenbau und in einer Behebung der bei Breitflachstählen vorhandenen Schrumpfverbiegung der Platten.

Für eine richtige Entwicklung des geschweißten Trägers war es zweifellos wichtig zu klären, ob die bei Breitflachstählen und bei Nasenprofilen vorhandene Längsfuge eine erhebliche Gefährdung des Trägers bei stark wechselnden Beanspruchungen bedeutet. Eine Beantwortung dieser Frage aus den Ergebnissen von vorliegenden Dauerversuchen mit Bauelementen war in Anbetracht der Beanspruchungsverhältnisse der Halsnahtzonen nicht möglich. Etwaige sich mit dieser Frage befassende Versuche mußten in der Bemessung der Träger auf die bei Bauwerken normaler Größe erfahrungsgemäß auftretenden Beanspruchungsverhältnisse abgestellt sein, d. h. es mußte durch eine nicht zu unterschreitende Mindestgröße der Versuchsträger eine praktischen Verhältnissen entsprechende Größe zwischen Nahtschubspannungen und Nahtlängsspannungen gewährleistet sein. Diese nicht zu umgehende Forderung und die daraus sich ergebenden Bedingungen für die Versuchsanlagen sind der eigentliche Grund, weshalb diese für den Trägerbau so wichtigen Versuche nicht viel früher ausgeführt worden sind. Die Schaffung einer Trägerversuchsanlage für schwingende Beanspruchungen mit verhältnismäßig großen möglichen Kraftwirkungen im Staatlichen Materialprüfungsamt Berlin-Dahlem ermöglichte die Durchführung derartiger Versuche.

Von vornherein durfte bei diesen Untersuchungen nicht außer acht gelassen werden, daß diese Versuche nur eine Beantwortung der eingangs des vorhergehenden Absatzes gestellten Frage zulassen würden, daß aber nicht hieraus ein allgemeines Urteil über die Schweißsonderprofile gewonnen werden konnte. Die im Anfang gestreiften Gesichtspunkte, die bei der Schaffung dieser Sonderprofile maßgebend waren, besagen schon, daß eine solche Beurteilung nur unter Berücksichtigung mehrerer, in ihrer Art recht verschiedener Gesichtspunkte möglich ist. —

Im Februar 1936 wurde nach Schaffung der versuchstechnischen Grundlagen auf einer Sitzung des Deutschen Ausschusses für Stahlbau beschlossen, Dauerbiegeversuche mit großen geschweißten Biegeträgern durchzuführen. Die Versuche sollten Aufschluß über das Verhalten

geschweißter Blechträger mit verschiedenen Gurtplatten (Schweiß-Sonderprofile) bei Dauerbeanspruchung geben. Zum Vergleich zwischen geschweißter und genieteter Bauweise wurden auch einige genietete Blechträger geprüft.

Im Zusammenhang mit diesen Versuchen wurden außerdem zwei Versuche mit aus zwei halben Peiner Trägern mit eingeschweißtem Stegblech bestehenden Vollwandträgern im Auftrage der Ilse der Hütte, Peine, durchgeführt, die im Versuchsprogramm des Deutschen Ausschusses für Stahlbau nicht vorgesehen waren.

Da es sich um eine Aufgabe zur Klärung des Einflusses der Gestaltung und der hierdurch bedingten Beanspruchungsverhältnisse handelte, wurden die Untersuchungen im wesentlichen Teil an Trägern aus Baustahl St 37 ausgeführt und nur für ein bestimmtes Profil durch einige vergleichende Versuche mit Trägern aus St 52 ergänzt.

2. Umfang der Untersuchung und Form der Prüfkörper.

Es wurden insgesamt 19 Träger verschiedener Ausführung geprüft, deren Querschnitte in Abb. 1 dargestellt sind. Die Träger wurden von folgenden Werken geliefert¹

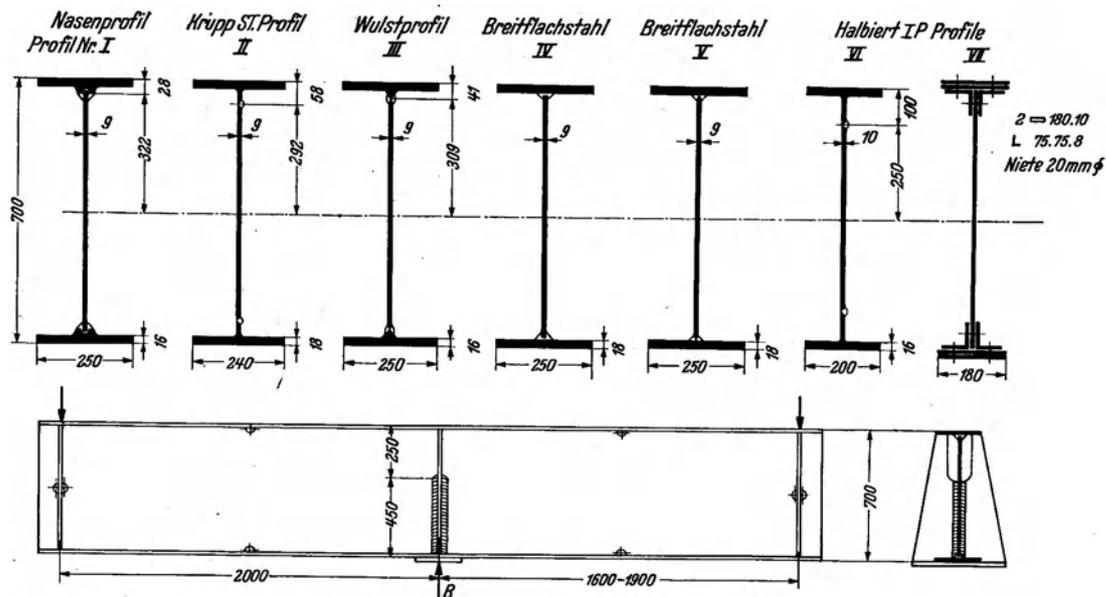


Abb. 1. Abmessungen der Versuchsträger.

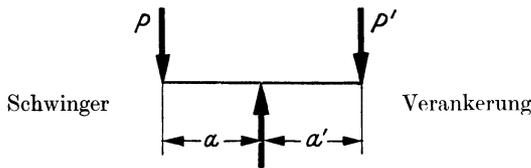
- Profil I, zwei Träger aus St 37 mit Dortmunder Union-Nasenprofilen, geliefert von Dortmunder Union-Brückenbau, Dortmund.
- Profil II, zwei Träger aus St 37 mit Kruppschen ST-Profilen, geliefert von Fried. Krupp A.G., Friedrich-Alfred-Hütte, Rheinhausen.
- Profil III, drei Träger aus St 37 mit Dörnen-Wulstprofilen, zwei Träger aus St 52 mit Dörnen-Wulstprofilen, geliefert von Johannes Dörnen, Dortmund-Derne.
- Profil IV, zwei Träger aus St 37 mit gewöhnlichen Breitflachstählen, Stegblechkanten nicht zugeschärft, geliefert von der MAN, Werk Gustavsburg, Mainz-Gustavsburg.
- Profil V, zwei Träger aus St 37 mit gewöhnlichen Breitflachstählen, Stegblechkanten zugeschärft, geliefert von Aug. Klönne, Dortmund.
- Profil VI, zwei Träger aus halben Peiner Trägern mit eingeschweißtem Stegblech, geliefert von der Ilse der Hütte, Peiner Walzwerk, Peine.
- Profil VII, zwei genietete Träger aus St 37, zwei Ersatzträger ebenfalls genietet¹, geliefert von Steffens & Nölle A.G., Berlin-Tempelhof.

Die statischen Querschnittswerte sind der Zusammenstellung 1 zu entnehmen.

¹ Die Ersatzträger hatten Gurtwinkel $80 \cdot 80 \cdot 8$ statt $75 \cdot 75 \cdot 8$. Die Ersatzträger waren erforderlich, da durch ein Versehen die zuerst gelieferten Träger auch im Zuggurt über der Mittelstütze mit versenkten Nieten, die im Druckgurt für eine einwandfreie Auflagerung notwendig waren, ausgeführt waren.

Zusammenstellung 1. Statische Querschnittswerte und Spannungen für Last $P = 1000$ kg.

Profil	Versuch	Trägheitsmoment J_x cm ⁴	Widerstandsmoment W_x cm ³	Abstand der Schweißnaht von der neutralen Faser e_x cm	Statisches Moment S cm ³	Kragarm a cm	Rückarm a' cm	P kg	P' kg	Randspannung σ_R kg/cm ²	Normalspannung in der Naht σ_1 kg/cm ²	* Schubspannung in der Naht τ_1 kg/cm ²	Hauptspannung in der Naht σ_H kg/cm ²
I	1 u. 2	127 700	3650	32,2	1569	162,5	200,0	1000	813	44,5	40,9	13,7	45,1
II	3 u. 4	126 900	3627	29,2	1650	188,5	200,0	1000	943	52,0	43,4	14,5	47,8
III	9, 10, 11, 12 u. 13	127 300	3637	30,9	1607	200,0	173,0	1000	1156	55,0	48,6	16,2	53,5
IV	5 u. 6	126 650	3620	33,2	1535	200,0	154,5	1000	1294	55,3	52,4	17,4	57,6
V	14 u. 15	126 650	3620	33,2	1535	200,0	154,5	1000	1294	55,3	52,4	17,4	57,6
VI	18 u. 19	101 600	2900	25	1370	200,0	160,0	1000	1250	69,0	49,3	16,9	54,6
VII ²	7 u. 8	171 900	3760 ⁴	—	—	200,0	185,0	1000	1081	53,2	—	—	—
VIII ³	16 u. 17	174 500	3830 ⁴	—	—	200,0	180,0	1000	1110	52,2	—	—	—



$$^1 \sigma_H = \frac{1}{2} \sigma_1^2 + \frac{1}{2} \left(\sigma_1^2 + 4 \tau_1^2 \right).$$

² genieteteter Träger mit Gurtwinkeln 75 · 75 · 8.

³ genieteteter Träger mit Gurtwinkeln 80 · 80 · 8.

⁴ W_{x_n} unter Berücksichtigung des Nietlochabzuges.

* Die Träger waren so dimensioniert, daß $\tau_1 : \sigma_1$ rd. $\frac{1}{3}$ wurde.

Die Träger waren so groß bemessen worden, wie es die vorhandene Versuchseinrichtung gestattete. Bei der Bemessung wurde das Verhältnis von Normalspannung zu Schubspannung in der Halsnaht $\sigma_1 : \tau \approx 3 : 1$ zugrunde gelegt, um eine einheitliche Grundlage, die im Bereich der praktischen Verhältnisse liegt, zu erhalten. Für die Bemessung der genieteteten Träger wurden ähnliche Abmessungen angestrebt, um zu vergleichbaren Ergebnissen zu kommen. Die Spannungen der genieteteten Träger wurden unter Berücksichtigung des Nietlochabzuges bestimmt.

3. Versuchseinrichtung und Versuchsdurchführung.

Die Versuchseinrichtung ist in Abb. 2 schematisch dargestellt (s. a. die Abb. 3 und 4). Die Versuchsträger waren ungefähr in der Mitte gestützt und am Rückarm mit einer Tra-

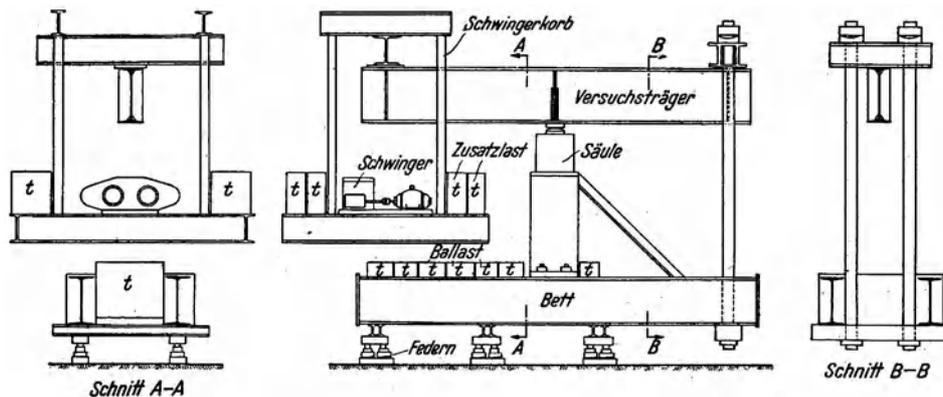


Abb. 2. Dauerbiegeanlage mit Schwinger.

verse gehalten. Die Belastung griff am freien Kragarm an. Die schwingende Last wurde durch einen Losenhausen-Schwinger erzeugt. Die Maschine besteht aus zwei gegenläufig um-

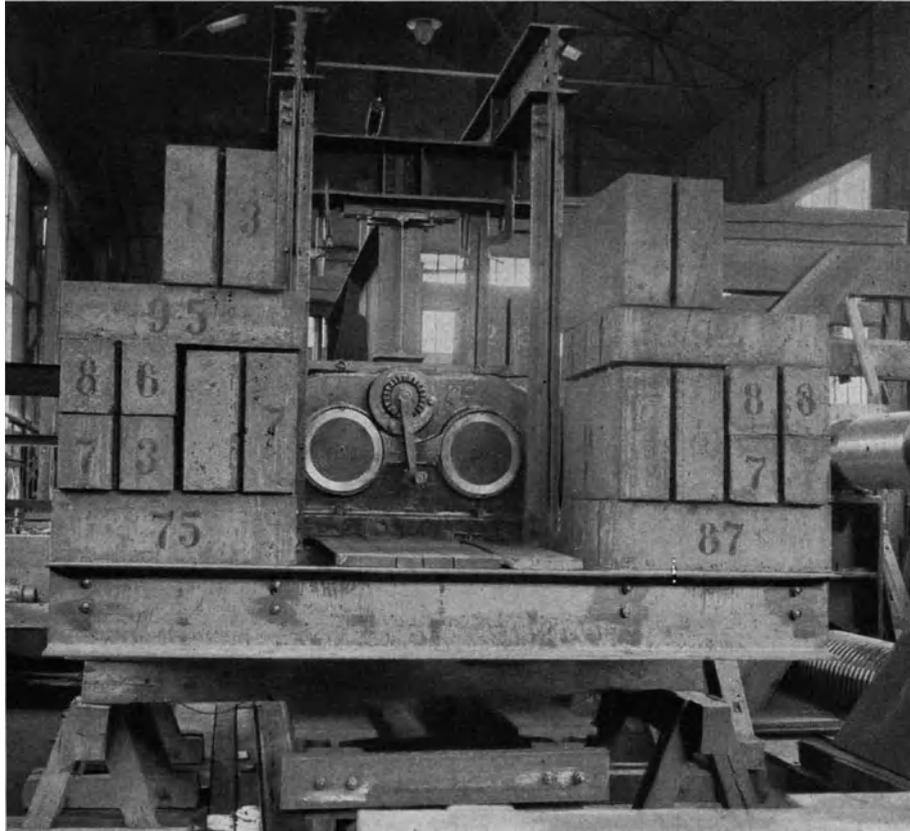


Abb. 3. Versuchsanordnung.

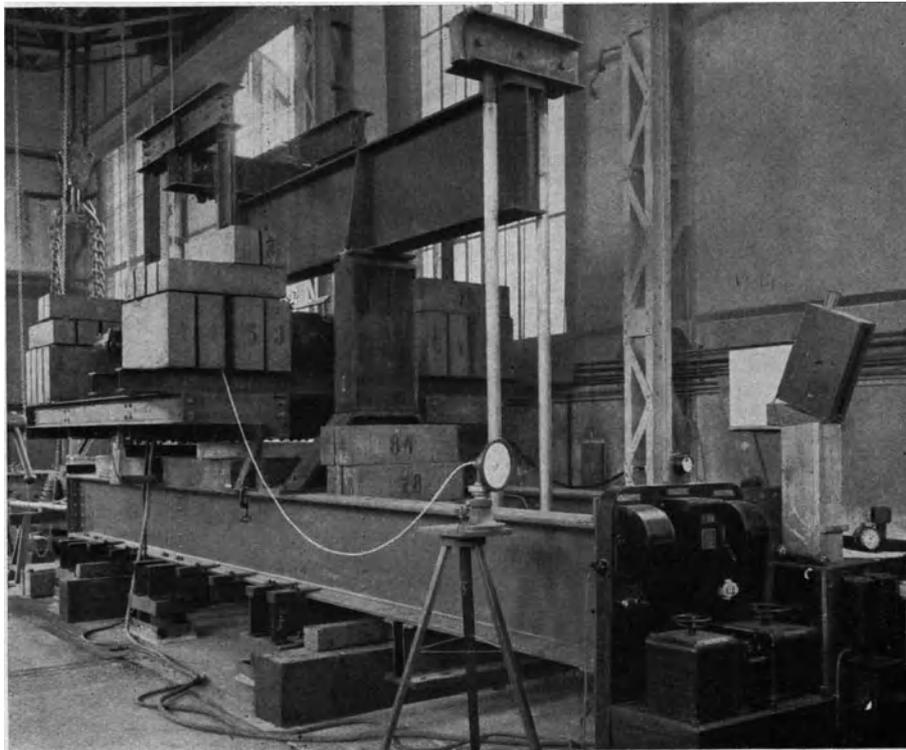


Abb. 4. Versuchsanordnung.

laufenden Massen, deren Außermitteigkeit gegen die Drehachsen stufenweise verstellt werden kann. Die waagerechten Komponenten der Fliehkräfte heben sich auf, während die senkrechten Komponenten sich summieren. Die Massen werden von zwei synchronlaufenden Elektromotoren angetrieben. Die Größe der schwingenden Last wird sowohl durch die Einstellung der Außermitteigkeit wie durch die Steuerung der Drehzahl geregelt. Der Korb des Schwingers war so eingerichtet, daß er außer der Schwingermaschine noch zusätzliche Gewichte zur Erzeugung der gewünschten Mittelspannung aufnehmen konnte.

Die Mittelstütze ruhte auf einem aus schweren Trägern gebildetem Bett, an dem auch die Haltespindeln zur Verankerung des Rückarms befestigt waren. Das Bett stand auf zwölf starken Pufferfedern und war mit Gewichtsbarren zur Erhöhung der Masse belastet. Diese Art der federnden Lagerung der Versuchseinrichtung hatte sich als erforderlich erwiesen, da sich bei den ersten Versuchen, die auf starren Fundamenten ausgeführt wurden, in der Nachbarschaft erhebliche Störungen bemerkbar machten.

Die Belastung, die zur Erzeugung der gewünschten Mittelspannung aufgebracht werden mußte, wurde rechnerisch bestimmt. Die Schwingbreite der Spannungen wurde durch einen Dehnungsmesser am Zuggurt gemessen und nach Erfordernis verändert. Diese Einrichtung ist in Abb. 5 dargestellt. Sie bestand aus einem Martensschen Spiegelapparat (Meßfeder und bewegliche Schneide mit Spiegel). Ein von der Lichtquelle L durch einen Spalt auf den beweglichen Spiegel S_1 fallender Lichtstrahl wird gebrochen und fällt auf den festen Spiegel S_2 , der am Versuchsträger befestigt ist, wird hier nochmals gebrochen und fällt auf die Mattscheibe M mit Millimeterteilung. Durch die doppelte Strahlbrechung wird der Einfluß der Trägerbewegung ausgeschaltet und die Schwingbreite des Lichtstrahls gibt in bestimmbarer Vergrößerung die Längenänderung der Meßstrecke und damit auch die Schwingbreite der Zugspannungen im Zuggurt an.

Beim Bruch der Versuchsträger schaltete die Anlage sich selbsttätig aus, so daß die Versuche bei genügender Gewähr für konstante Ausschläge zeitweilig unbewacht laufen konnten. Die Lastwechselzahl wurde an einem Zählwerk festgestellt.

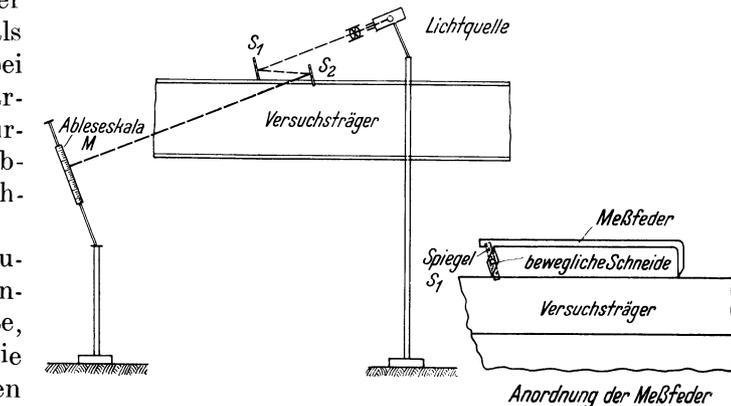


Abb. 5. Dynamische Dehnungsmessung zur Ermittlung des Spannungsausschlags.

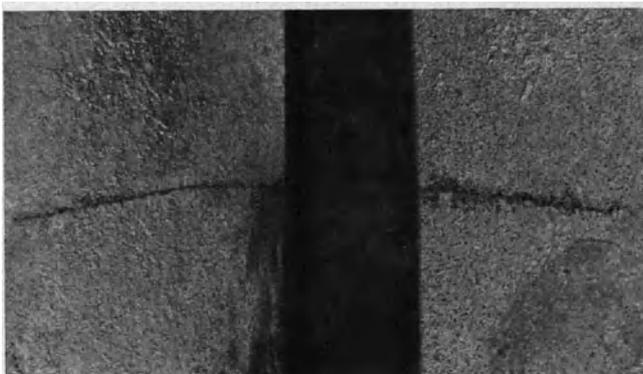
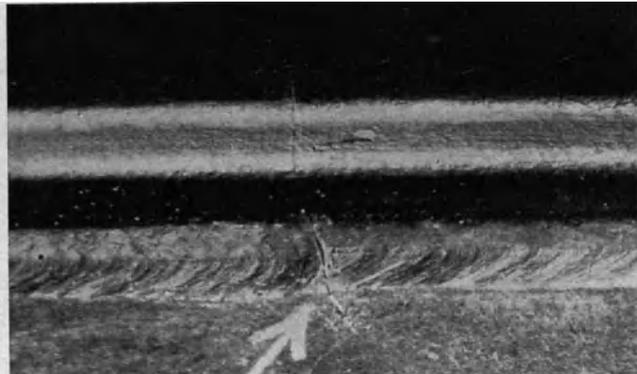
4. Versuchsergebnisse.

Die Prüfspannungen im Querschnitt über der Stütze sind in der Zusammenstellung 2 angegeben. Bei den Profilen I bis IV betragen die Hauptspannungen in den Halsnähten $\sigma_u^H = \sim 200 \text{ kg/cm}^2$ und $\sigma_0^H = \sim 2000 \text{ kg/cm}^2$ bzw. $\sim 2200 \text{ kg/cm}^2$. Beim Profil V lagen die Spannungen etwas höher. Die Unterschiede in den unteren Spannungsgrenzen sind für das Ergebnis unwesentlich. Ausschlaggebend ist der Spannungsausschlag. Für das Profil VI mit erheblichen Unterschieden zwischen Randspannung und Nahtspannung und den genieteten Träger VII mußten die Randspannungen für die Wahl der Schwingbreite zugrunde gelegt werden.

Die Brüche auf der Zugseite der Träger sind nicht bei allen Versuchen an der höchstbeanspruchten Stelle über der Mittelstütze eingetreten, sondern häufig in mehr oder weniger großen Abständen von diesem Querschnitt. Für die Beurteilung der Ergebnisse sind also nicht die Prüfspannungen (Zusammenstellung 2) sondern die Beanspruchungen an der Bruchstelle maßgebend. Diese sind in der Zusammenstellung 3 mit den ertragenen Lastwechselzahlen und Angaben über die Brüche wiedergegeben.

Zusammenstellung 2. Prüfspannungen im Querschnitt größter Beanspruchungen in kg/cm^2 .

Versuch	Profil	Randspannung			Hauptspannung in der Halsnaht			Bemerkung
		obere σ_o^R	untere σ_u^R	schwingende σ_a^R	obere σ_o^H	untere σ_u^H	schwingende σ_a^H	
1	I	2000	220	± 890	2040	220	± 910	St 37
2	I	2165	195	± 985	2200	200	± 1000	„ 37
3	II	2180	220	± 980	2000	200	± 900	„ 37
4	II	2400	220	± 1090	2200	200	± 1000	„ 37
9	III	2055	205	± 925	2000	200	± 900	„ 37
12	III	2060	200	± 930	2000	195	± 900	„ 37
10	III	2270	210	± 1030	2210	200	± 1005	„ 37
13	III	2060	200	± 930	2000	195	± 900	St 52
11	III	2270	210	± 1030	2210	200	± 1005	„ 52
5	IV	1905	185	± 860	1990	190	± 900	St 37
6	IV	2100	190	± 955	2190	200	± 995	„ 37
14	V	2060	210	± 925	2150	220	± 965	„ 37
15	V	2265	205	± 1030	2360	210	± 1075	„ 37
18	VI	2050	310	± 870	1470	220	± 625	„ 37
19	VI	2230	130	± 1050	1590	95	± 750	„ 37
7	VII ¹	1855	195	± 830	—	—	—	genietet
8	VII ¹	2200	200	± 1000	—	—	—	„
17	VII ¹	2200	200	± 1000	—	—	—	„
16	VII ¹	2200	200	± 1000	—	—	—	„

Abb. 6. Versuch 1, Dortmunder Union Nasenprofil, waagerechter Riß von den Aussteifungskehlnähten ausgehend nach $1,978 \cdot 10^6$ Lastwechseln. Der Anriß führte nicht zum Versagen des Trägers.Abb. 7. Versuch 2, Dortmunder Union Nasenprofil, Riß in der Schweißnaht von einem Elektrodenansatz ausgehend, $1,20 \cdot 10^6$ Lastwechsel, $\sigma_o^H = 1900 \text{ kg/cm}^2$, $\sigma_u^H = 210 \text{ kg/cm}^2$ im Bruchquerschnitt.

Die beigegebenen Abb. 6 bis 25 zeigen die Bruchstellen.

Bei Versuch 1 (Abb. 6) und Versuch 3 (Abb. 8) traten an den Enden der Aussteifungskehlnähte waagerechte Entlastungsrissse nach $1,978$ bzw. $1,315 \cdot 10^6$ Lastwechseln ein. Diese Risse, die aus der Zusammenwirkung der (ziehenden) Schrumpfspannungen und der (drückenden) Belastungsspannungen an diesen Stellen in Verbindung mit der hier vorhandenen Kerbwirkung zu erklären sind, erwiesen sich jedoch als ungefährlich, denn diese beiden Träger haben als die einzigen über $2 \cdot 10^6$ Lastwechsel ohne Bruch ertragen.

Bei den Versuchen 4 (Abb. 9), 18 (Abb. 19) und 19 (Abb. 20 und 21) rissen die Gurtplatten von den Kanten ausgehend, also ohne Zusammenhang mit der Schweißung, ein. Bei Versuch 18 ging der Riß von einer Kerbstelle an der Kante aus.

Der Riß bei Versuch 9 wurde durch die zu hoch hinaufgezogenen Kehlnähte der mittleren Aussteifung verursacht (Abb. 10).

¹ Bei den genieteten Trägern sind die Spannungen unter Berücksichtigung des Nietlochabzuges angegeben.

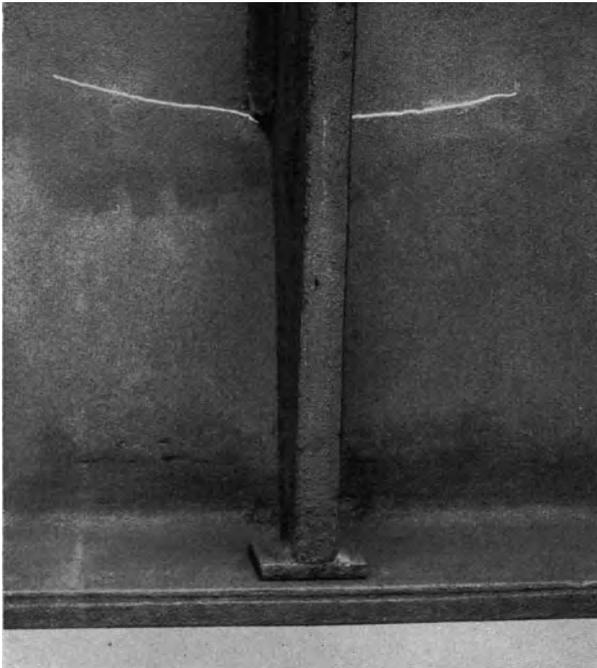


Abb. 8. Versuch 3, Krupp-St.-Profil, waagerechter Riß von den Aussteifungskehlnähten ausgehend, nach $1,315 \cdot 10^6$ Lastwechseln. Der Anriß führte nicht zum Versagen des Trägers.

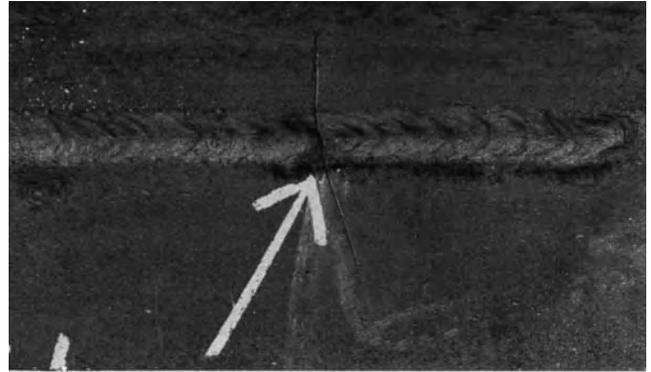


Abb. 11. Versuch 12, Dörnen-Wulstprofil. Riß in der Halsnaht vom Elektrodenansatz ausgehend, $0,799 \cdot 10^6$ Lastwechsel $\sigma_o^H = 1830 \text{ kg/cm}^2$, $\sigma_u^H = 170 \text{ kg/cm}^2$ im Bruchquerschnitt.



Abb. 9. Versuch 4, Krupp-St.-Profil. Riß von der Gurtplattenkante ausgehend, $0,586 \cdot 10^6$ Lastwechsel, $\sigma_o^R = 2280 \text{ kg/cm}^2$, $\sigma_u^R = 200 \text{ kg/cm}^2$ im Bruchquerschnitt.

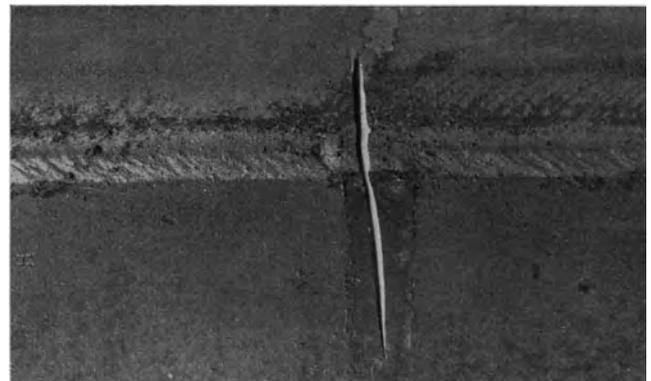


Abb. 12. Versuch 10, Dörnen-Wulstprofil. Riß in der Schweißnaht vom Elektrodenansatz (auf der Rückseite) ausgehend, $0,685 \cdot 10^6$ Lastwechsel, $\sigma_o^H = 2210 \text{ kg/cm}^2$, $\sigma_u^H = 200 \text{ kg/cm}^2$.



Abb. 10. Versuch 9, Dörnen-Wulstprofil. Riß von der zu dicht an dem Zuggurt endenden Aussteifungskehlnaht ausgehend, $0,992 \cdot 10^6$ Lastwechsel.

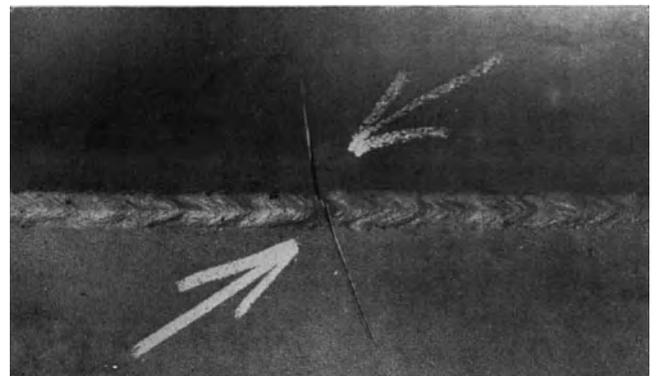


Abb. 13. Versuch 13, Träger aus St 52 mit Dörnen-Wulstprofil. Riß in der Halsnaht vom Elektrodenansatz ausgehend, $1,811 \cdot 10^6$ Lastwechsel, $\sigma_o^H = 1820 \text{ kg/cm}^2$, $\sigma_u^H = 180 \text{ kg/cm}^2$ im Bruchquerschnitt.

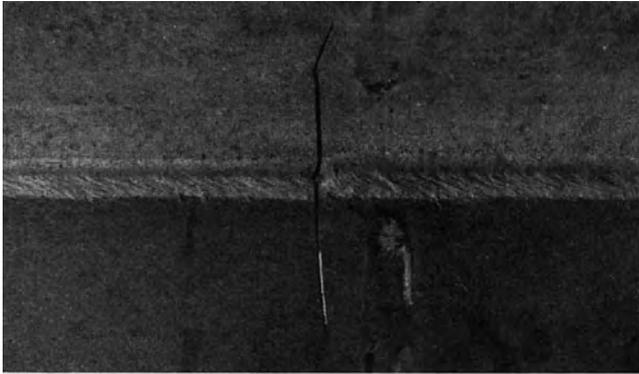


Abb. 14. Versuch 11, Träger aus St 52 mit Dörnen-Wulstprofilen. Riß in der Halsnaht vom Elektrodenansatz ausgehend, $0,585 \cdot 10^6$ Lastwechsel, $\sigma_o^H = 2210 \text{ kg/cm}^2$, $\sigma_u^H = 200 \text{ kg/cm}^2$ im Bruchquerschnitt.



Abb. 17. Versuch 14, Breitflachstahl mit zugeschärftem Stegblech. Riß in der Halsnaht vom Elektrodenansatz (auf der Rückseite) ausgehend, $0,903 \cdot 10^6$ Lastwechsel, $\sigma_o^H = 2150 \text{ kg/cm}^2$, $\sigma_u^H = 220 \text{ kg/cm}^2$.

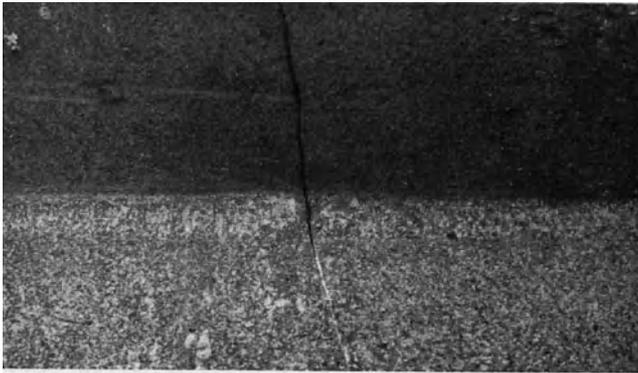


Abb. 15. Versuch 5, Breitflachstahl mit nicht zugeschärftem Stegblech. Riß in der Schweißnaht vom Elektrodenansatz ausgehend, $1,607 \cdot 10^6$ Lastwechsel, $\sigma_o^H = 1990 \text{ kg/cm}^2$, $\sigma_u^H = 190 \text{ kg/cm}^2$. Bruchquerschnitt liegt über der Mittelstütze.

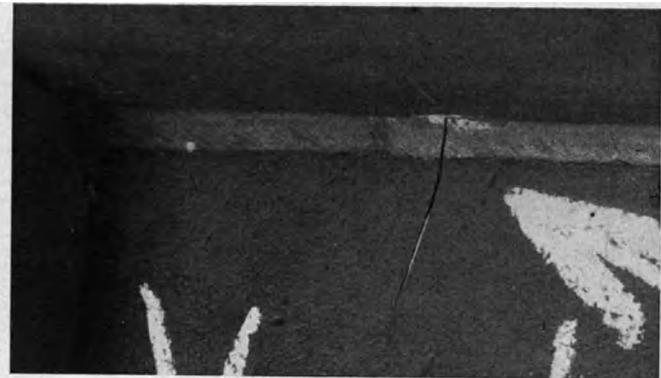


Abb. 18. Versuch 15, Breitflachstahl mit zugeschärftem Stegblech. Riß in der Halsnaht vom Elektrodenansatz (auf der Rückseite) ausgehend, $1,050 \cdot 10^6$ Lastwechsel, $\sigma_o^H = 2170 \text{ kg/cm}^2$, $\sigma_u^H = 190 \text{ kg/cm}^2$ im Bruchquerschnitt.

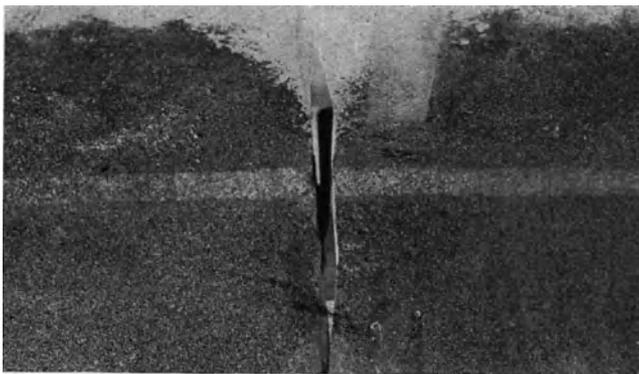


Abb. 16. Versuch 6, Breitflachstahl mit nicht zugeschärftem Stegblech. Riß in der Schweißnaht vom Elektrodenansatz ausgehend, $0,985 \cdot 10^6$ Lastwechsel, $\sigma_o^H = 2190 \text{ kg/cm}^2$, $\sigma_u^H = 200 \text{ kg/cm}^2$.



Abb. 19. Versuch 18, Gurte aus halben Peiner Trägern. Riß von der Gurtplattenkante ausgehend, $1,270 \cdot 10^6$ Lastwechsel, $\sigma_o^R = 2050 \text{ kg/cm}^2$, $\sigma_u^R = 310 \text{ kg/cm}^2$.

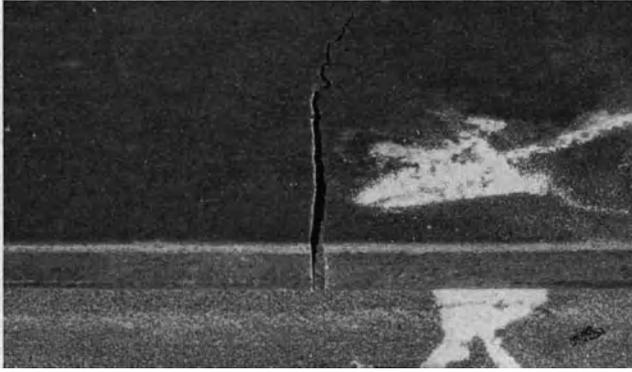


Abb. 20. Versuch 19, Gurte aus halben Peiner Trägern. Riß von der Gurtplattenkante ausgehend, $1,568 \cdot 10^6$ Lastwechsel, $\sigma_o^R = 2000 \text{ kg/cm}^2$, $\sigma_u^R = 120 \text{ kg/cm}^2$ im Bruchquerschnitt.

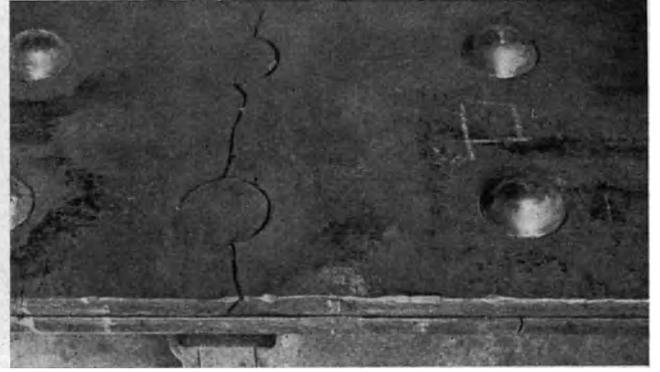


Abb. 23. Versuch 8, genietetes Träger mit versenkten Nieten, Riß durch die Nietlöcher, $0,170 \cdot 10^6$ Lastwechsel $\sigma_o^R = 2200 \text{ kg/cm}^2$, $\sigma_u^R = 200 \text{ kg/cm}^2$.

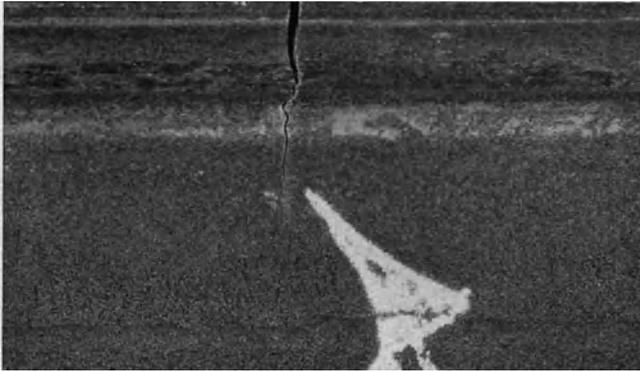


Abb. 21. Versuch 19, Gurte aus halben Peiner Trägern. Riß von der Gurtplattenkante ausgehend.



Abb. 24. Versuch 16, genietetes Träger, Riß durch Nietloch, $0,877 \cdot 10^6$ Lastwechsel, $\sigma_o^R = 2010 \text{ kg/cm}^2$, $\sigma_u^R = 190 \text{ kg/cm}^2$ an der Bruchstelle.

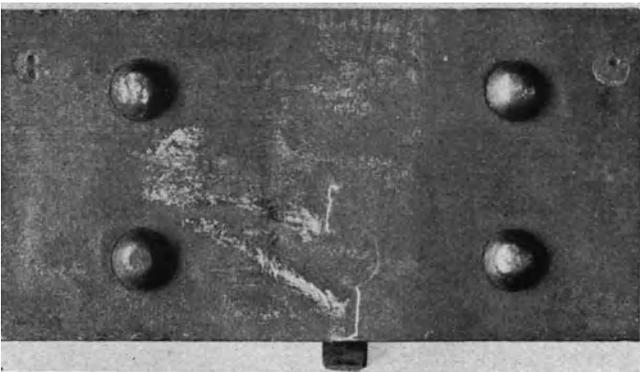


Abb. 22. Versuch 7, genietetes Träger mit versenkten Nieten, Riß durch die Nietlöcher, $0,418 \cdot 10^6$ Lastwechsel, $\sigma_o^R = 1855 \text{ kg/cm}^2$, $\sigma_u^R = 195 \text{ kg/cm}^2$.

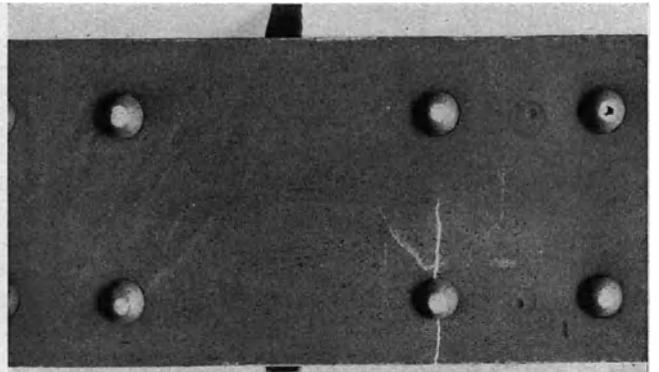


Abb. 25. Versuch 17, genietetes Träger, Riß durch die Nietlöcher, $0,253 \cdot 10^6$ Lastwechsel, $\sigma_o^R = 1940 \text{ kg/cm}^2$, $\sigma_u^R = 180 \text{ kg/cm}^2$ an der Bruchstelle.

Zusammenstellung 3.

Spannungen im Querschnitt der Bruchstelle in kg/cm² und Lastwechselzahlen bis zum Bruch.

Versuch	Profil	Randspannung			Hauptspannung in der Halsnaht			Größte schwingende Halsnahtbeanspruchung max σ_a^H außerhalb des Bruches	Lastwechsel 10 ⁶	Brucheintritt
		obere σ_o^R	untere σ_u^R	schwingende σ_a^R	obere σ_o^H	untere σ_u^H	schwingende σ_a^H			
1	St 37 I	2000	220	± 890	2040	220	± 910	± 910	2,076	Waagerechter, ungefährlicher Riß am Ende der Aussteifung nach 1,978 · 10 ⁶ Lastwechseln festgestellt. Träger nicht gebrochen (Abb. 6).
2	„ 37 I	1840	200	± 820	1900	210	± 845	± 1000	1,200	Riß in der Halsnaht des Zuggurts von einem Elektrodenansatz ausgehend (Abb. 7).
3	St 37 II	2180	220	± 980	2000	200	± 900	± 900	2,001	Waagerechter, ungefährlicher Riß am Ende der Aussteifung nach 1,315 · 10 ⁶ Lastwechseln. Träger nicht gebrochen (Abb. 8).
4	„ 37 II	2280	200	± 1040	2110	190	± 960	± 1000	0,586	Riß im Zuggurt von der Gurtplattenkante ausgehend (Abb. 9).
9	St 37 III	2055	205	± 925	2000	200	± 900	± 900	0,992	Riß, ausgehend von den zu hoch gezogenen Aussteifungskehlnähten (Abb. 10).
12	„ 37 III	1900	180	± 860	1830	170	± 830	± 900	0,799	Riß in der Halsnaht des Zuggurts von einem Elektrodenansatz ausgehend. Die Belastung war während 31 000 Lastwechseln 14% zu hoch (Abb. 11).
10	„ 37 III	2270	210	± 1030	2210	200	± 1005	± 1005	0,685	Riß in der Halsnaht des Zuggurts von einem Elektrodenansatz ausgehend (Abb. 12).
13	St 52 III	1840	180	± 830	1820	180	± 820	± 900	1,811	desgl. Abb. 13.
11	„ 52 III	2270	210	± 1030	2210	200	± 1005	± 1005	0,585	desgl. Abb. 14.
5	St 37 IV	1905	185	± 860	1990	190	± 900	± 900	1,607	desgl. Abb. 15.
6	„ 37 IV	2100	190	± 955	2190	200	± 995	± 995	0,985	desgl. Abb. 16.
14	St 37 V	2060	210	± 925	2150	220	± 965	± 965	0,903	desgl. Abb. 17.
15	„ 37 V	2040	180	± 930	2170	190	± 990	± 1075	1,050	desgl. Abb. 18.
18	St 37 VI	2050	310	± 870	1470	220	± 625	± 625	1,270	Riß im Zuggurt von einer Kerbstelle an der Gurtplattenkante ausgehend (Abb. 19).
19	„ 37 VI	2000	120	± 940	1560	90	± 735	± 750	1,568	Riß im Zuggurt von der Gurtplattenkante ausgehend (Abb. 20 und 21.)
7	St 37 VII	1855	195	± 830	—	—	—	—	0,418	Riß durch die Löcher der Senkniete im Zuggurt über der Stütze. Feiner Anriß nach 309 000 Lastwechseln (Abb. 22).
8	„ 37 VII	2200	200	± 1000	—	—	—	—	0,170	Riß durch die Löcher der Senkniete im Zuggurt über der Stütze (Abb. 23).
16	„ 37 VII	2010	190	± 910	—	—	—	—	0,877	Riß durch Nietlöcher im Zuggurt (Abb. 24).
17	„ 37 VII	1940	180	± 880	—	—	—	—	0,253	Riß durch Nietlöcher im Zuggurt (Abb. 25).

Alle übrigen geschweißten Träger zeigten Risse, die von Elektrodenansatzstellen in den Halsnähten ausgingen (Abb. 7, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 und 18). Die Bruchflächen dieser Träger zeigten bei genauer Untersuchung keine Fehlstellen, die den Bruchausgang veranlaßt haben könnten.

Bei den genieteten Trägern trat der Bruch erwartungsgemäß durch die Nietlöcher im Zuggurt ein (Abb. 22, 23, 24 und 25).

Die Abb. 26 und 27 ermöglichen eine einheitliche Beurteilung der Versuchsergebnisse. Beide Abbildungen sind für die Spannungen in den Bruchquerschnitten, die nicht immer mit den am höchsten beanspruchten Querschnitten über dem Mittelauf-
lager zusammenfallen, aufgestellt. Die Versuchspunkte liegen demnach auf der ungünstigen Seite, was bei der allgemeinen Beurteilung der Ergebnisse zu berücksichtigen ist.

In Abb. 26 sind die Schwingbreiten der Hauptspannungen an der Bruchstelle über den ertragenen Lastwechselzahlen angegeben. Die Versuche 4, 18 und 19 sind besonders gekennzeichnet worden, da hier die eingetretenen Brüche nicht von den Halsnähten ausgingen. Ebenso sind die Ergebnisse der beiden nicht gebrochenen Träger Versuch 1 und 3 eingetragen und durch kleine Pfeile als nicht gebrochen gekennzeichnet worden. Die genieteten Träger fehlen selbstverständlich in dieser Zusammenstellung. Wesentliche Unterschiede im Verhalten der verschiedenen Trägerausführungen sind aus dieser Zusammenstellung nicht erkennbar. Die Punkte lassen sich zwanglos durch zwei Grenzlinien (Wöhlerlinien) umgrenzen; man kann auf Schwingfestigkeiten (Hauptspannungen in den Halsnähten) an der $2 \cdot 10^6$ Lastwechselgrenze von rd. 1600 bis 1800 kg/cm² schließen. Nur der Versuch 12 fällt nach der ungünstigen Seite hin heraus. Die Schwinglast war bei diesem Versuch zeitweilig 14% zu hoch. Außerdem war der

Elektrodenansatz an der Bruchstelle besonders stark ausgeprägt. Versuch 9 liegt trotz der ungünstigen Ausführung der Aussteifungsnähte noch im Rahmen der übrigen Ergebnisse.

In Abb. 27 sind die Randspannungen im Bruchquerschnitt der Auftragung zugrunde gelegt. In dieser Zusammenstellung sind alle Versuche enthalten. Die geschweißten Träger ergeben ungefähr das gleiche Bild wie in Abb. 26. Auch in dieser Darstellung fällt Versuch 12 nach der ungünstigen Seite heraus, während Versuch 3 sich nach der günstigen Seite heraushebt. Die umgrenzenden Wöhlerlinien weisen auf Schwingfestigkeiten (Randspannungen) an der $2 \cdot 10^6$ Lastenwechselgrenze von rd. 1500—1800 kg/cm² hin. Die genieteten Träger haben sich mit einer Ausnahme wesentlich ungünstiger verhalten. Bei

Abb. 26 Schwingbreiten der Hauptspannung $2 \sigma_u^H$ in den Halsnähten.

Abb. 27. Schwingbreiten der Randspannung $2 \sigma_a^R$.

Versuch 7 und 8 haben die Senkniete wahrscheinlich das Ergebnis etwas nach der ungünstigen Seite hin beeinflußt.

Die beiden Träger aus St 52 zeigen keine merklichen Unterschiede gegen die aus St 37.

5. Schlußfolgerungen.

Die Abb. 26 und 27 zeigen, daß ein erkennbarer Unterschied im Verhalten der verschiedenen geschweißten Trägersausbildungen hinsichtlich der Dauerfestigkeit nicht besteht. Die Schweiß-Sonderprofile lassen sich also nicht aus Gesichtspunkten begründen, die mit den Beanspruchungsverhältnissen in den Halsnahtzonen in Verbindung stehen. Ihre Bedeutung liegt zunächst in der gegebenen herstellungstechnischen Erleichterung und Verbesserung, also in der z. B. beim Nasenprofil geschaffenen Erleichterung des Zusammenbaus und im allgemeinen in der Herabsetzung von Gefahren, die beim unmittelbaren Aufschiessen der Halsnähte auf dicke Gurtplatten vorliegen können. Zwischen Sonderprofilen läßt sich aus diesen Versuchen keine Überlegenheit der die Stumpfnahnt ermöglichenden Profile gegenüber den Sonderprofilen mit Kehlnahntanordnung, selbst nicht gegen die gewöhnlichen Breitflachstähle ableiten. Hieraus ergeben sich auch gewisse Hinweise für den Beurteilungsmaßstab für die als Stumpfnähte ausgeführten Halsnähte hinsichtlich mäßiger Mängel in der Wurzelverschweißung usw.

Bei weit aus den Zonen größter Beanspruchung herausgezogenen Halsnahtzonen, wie es z. B. bei Verwendung von halbierten Peinerträgern möglich ist und auch durch die neuere Entwicklung in den Sonderprofilen angestrebt wird, könnte durch diese Sonderprofile eine absolute Tragfähigkeitssteigerung erreicht werden, wozu aber auch andererseits die Gewähr gegeben sein müßte, daß die Walzprodukte selbst eine Beschaffenheit haben, durch die annähernd die Voraussetzungen zur Erreichung der Dauerfestigkeit des Stabes mit Walzhaut gegeben sind. Das hat jedoch auch nur dann Bedeutung, wenn die Verwendung derartiger Profile nicht die Anordnung weiterer Längsnähte zur Auflage weiterer Gurtplatten erforderlich macht.

Für die Träger aus St 37 kann mit Schwingfestigkeiten (Randspannung) von 1500 bis 1800 kg/cm² gerechnet werden. Bei der nur geringen Unterspannung von rd. 200 kg/cm² entsprechen diese Schwingungsbreiten ungefähr den Ursprungsfestigkeiten. Diese Werte liegen demnach wesentlich tiefer, als die Ursprungsfestigkeit von ungestoßenen Stäben aus St 37 mit Walzhaut, die mit rd. 2500 kg/cm² anzunehmen ist.

Die Art und Lage der Brüche zeigt deutlich die Bedeutung, die den Kerben zukommt. Kleine Kerben an den Elektrodenansätzen werden nicht zu vermeiden sein, jedoch ist dem möglichst glatten Übergang an den Ansatzstellen stärkstes Augenmerk zu schenken.

Nach den Reichsvorschriften ist bei $\frac{\min \sigma}{\max \sigma} = 0$ für St 37 $\gamma = 1$, für die Randspannungen $\alpha = 1$ und für die Hauptspannung in den Halsnähten $\alpha = 1,1$ zu setzen. Bei $\min \sigma = 0$ ergibt sich also die zulässige Randspannung $\sigma_{zul}^R = 1400$ kg/cm² und die zulässige Hauptspannung in der Halsnaht $\sigma_{zul}^H = \alpha \cdot 1400 = 1540$ kg/cm². Die Auftragung der Ergebnisse in Abb. 27 zeigt, daß im vorliegenden Fall eine Trennung bei der Beurteilung nach dem Ausgang der Risse von der Halsnaht oder der Außenkante nicht notwendig ist. Einer zulässigen Randspannung von 1400 kg/cm² steht eine Mindestursprungsfestigkeit von 1500 kg/cm² und der zulässigen Hauptspannung von 1540 kg/cm² in den Halsnähten steht eine Mindestursprungsfestigkeit von 1600 kg/cm² gegenüber.

Für die Beurteilung geschweißter Träger aus Baustahl St 52 reichen die beiden ausgeführten Versuche natürlich nicht aus. Aus den beiden Versuchspunkten läßt sich auf Haupt- und Randspannungen für $2 \cdot 10^6$ Lastwechsel von 1600—1700 kg/cm² schließen, denen zulässige Spannungen (Linien Ia und IVa des Spannungshäuschens) von 1700 kg/cm² gegenüberstehen.

Beachtet man, daß die genieteten Träger sich erheblich ungünstiger verhalten haben und daß sich diese trotz der gleichen zulässigen Beanspruchungen erfahrungsgemäß im Betrieb ausgezeichnet bewährt haben, haben die Versuche nichts ergeben, was gegen die geltenden Bemessungsregeln geschweißter Träger bei Dauerbeanspruchung spricht.