

Einfluss der Gestalt der Schweissverbindung auf ihre Widerstandsfähigkeit

Autor(en): **Graf, O.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH
Kongressbericht**

Band (Jahr): **2 (1936)**

PDF erstellt am: **21.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-2691>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

III a 3

Einfluß der Gestalt der Schweißverbindung auf ihre Widerstandsfähigkeit.

Influence de la forme des assemblages soudés sur leur résistance.

Influence of the Form of Welded Connections to Strength
and Resistance.

O. Graf,

Professor an der Technischen Hochschule, Stuttgart.

Die Auffassungen über die zweckmäßige Gestaltung der Schweißverbindungen, insbesondere der Verbindungen, die vornehmlich oftmals wiederkehrende Anstrengungen erfahren, sind in allen beteiligten Ländern seit 1931 weitgehend geändert worden. Damit ist auch die Gestaltung geschweißter Bauwerke, ihre bauliche Durchbildung und ihre Herstellung wesentlich beeinflusst worden. Bis zu der genannten Zeit hatte man die Erkenntnisse und Erfahrungen über die Dauerfestigkeit von Konstruktionselementen¹ in den Vorschriften unbeachtet gelassen. Als 1931 mit einigen Versuchen gezeigt wurde,² daß die damaligen Gepflogenheiten zur Herstellung von Schweißverbindungen für Maschinen, Brücken oft nicht oder nur beschränkt beibehalten werden dürfen, trat im Gebiet der Schweißtechnik die Aufgabe in den Vordergrund, dem entwerfenden und überwachenden Ingenieur die Grundlagen zu liefern, die ihn instandsetzen, schweißgerecht zu konstruieren und Bauwerke zu schaffen, die zweckmäßig bemessen sind und die sachgemäß hergestellt werden können.

Die Fragen, die uns hierbei begegneten und noch begegnen, sind etwa folgende:

1. Wie soll die Schweißnaht an sich beschaffen sein, wenn sie in Stumpfnähten, in Stirnkehlnähten, in Flankenkehlnähten oftmals wiederkehrenden Anstrengungen oder wenn sie ruhenden Anstrengungen bis an die Grenze des zur Zeit Möglichen ausgesetzt werden soll?
2. Welche Art der Schweißverbindungen (Stumpfnah, Flankenkehlnah usw.) ist besonders geeignet zur Aufnahme von oftmals wiederkehrenden Belastungen (Zug, Druck, Zug und Druck wechselnd, Biegung, Scherung usw.)?

¹ Vgl. dazu *Graf*: Die Dauerfestigkeit der Werkstoffe und der Konstruktionselemente, Verlag Julius Springer, Berlin 1929.

² Vgl. u. a. *Graf*: Dauerfestigkeit von Stählen mit Walzhaut, ohne und mit Bohrung, von Niet- und Schweißverbindungen, VDI.-Verlag, Berlin 1931.

3. Wie sind die Erkenntnisse nach 1. und 2. bei der Gestaltung der Bauelemente anzuwenden, u. a. beim Anschluß von Zugstäben, beim Stoß von Trägern, bei der Verstärkung von Trägern durch Gurtflaschen, beim Anschluß von Querträgern an Hauptträger usw.?
4. Welche Bedeutung haben die beim Schweißen und nach dem Schweißen entstehenden Spannungen?

Die Fragen lassen sich nach den heutigen Erkenntnissen wohl grundsätzlich beantworten; im einzelnen ist manche Teilfrage, die den entwerfenden und den überwachenden Ingenieur oft beschäftigt, noch nicht soweit behandelt, daß die Anwendung der Erkenntnisse ohne weiteres möglich ist.

a) Zur ersten Frage sei folgendes bemerkt. Aus vielen älteren Dauerversuchen war bekannt, daß Bauelemente, die oftmals wiederkehrende Lasten tragen sollen, mit allmählichen Querschnittsübergängen zu versehen sind, damit Spannungsschwellen tunlichst vermieden werden. Dementsprechend mußte erwartet werden,

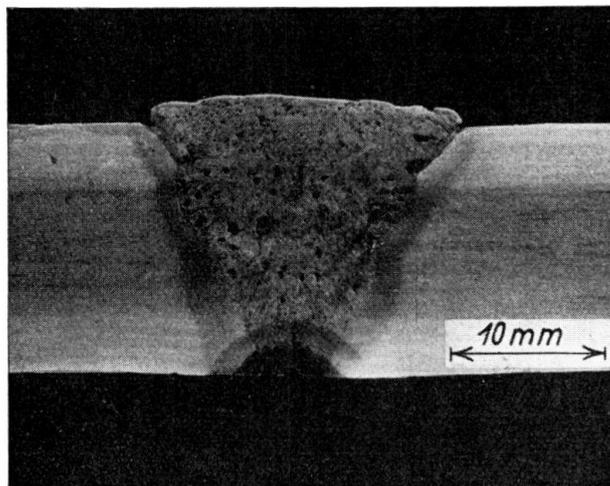


Fig. 1.

daß Stumpfnähte, die auf Zug oder Druck belastet werden, geringwertig ausfallen, wenn sie gemäß Fig. 1 Randkerben aufweisen oder Kerben in der Wurzel der Schweißnaht haben oder Bindefehler enthalten. Der Versuch zeigt selbstverständlich, daß diese Auffassung richtig ist und daß demgemäß porearme Nähte mit nachgeschweißter Wurzel und mit allmählich anlaufenden Schweißnähten viel höhere Dauerfestigkeiten liefern als Nähte nach Fig. 1.

Bei Kehlnähten war der Einfluß der Nahtform ebenso festzustellen. Nähte nach Fig. 2 sind geringwertig, Nähte nach Fig. 3 hochwertig.³

Hieraus entstand die Forderung, daß die Herstellung von hochbeanspruchten Schweißverbindungen von einer Eignungsprüfung der beteiligten Schweißer und der in Aussicht genommenen Werkstoffe abhängig zu machen ist. Die Handwerker müssen die sachgemäße Herstellung der Schweißnähte beherrschen. Für den *verwendeten Werkstoff, für die Elektroden und für den Baustoff* — namentlich für Baustoffe hoher Festigkeit — muß von unabhängiger Stelle nachgewiesen sein, daß eine innerlich und äußerlich gute Schweißnaht hergestellt

³ Vgl. u. a. Graf: „Der Stahlbau“ 1933, S. 81 u. f., auch Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure, 1934, S. 1423 u. f.

werden kann, auch muß vom Lieferer eindeutig angegeben werden, wie der Werkstoff aufgebaut sein soll, wie mit der Elektrode verfahren werden muß oder darf, wenn man die gute Schweißnaht verbürgen will und muß.

Wer die Gewährleistung übernehmen soll, daß hochbeanspruchte Schweißnähte genügend tragfähig sind, muß Hilfsmittel haben, welche die Güte der Schweißung erkennen lassen; er kann nur auf Grund fortlaufender Feststellungen an fertigen Schweißungen beurteilen, wer gute Schweißungen zuverlässig ausführen kann; er muß finden, ob bei den ausführenden Männern die Verantwortung voll getragen wird, die zu solchen Arbeiten gehört.

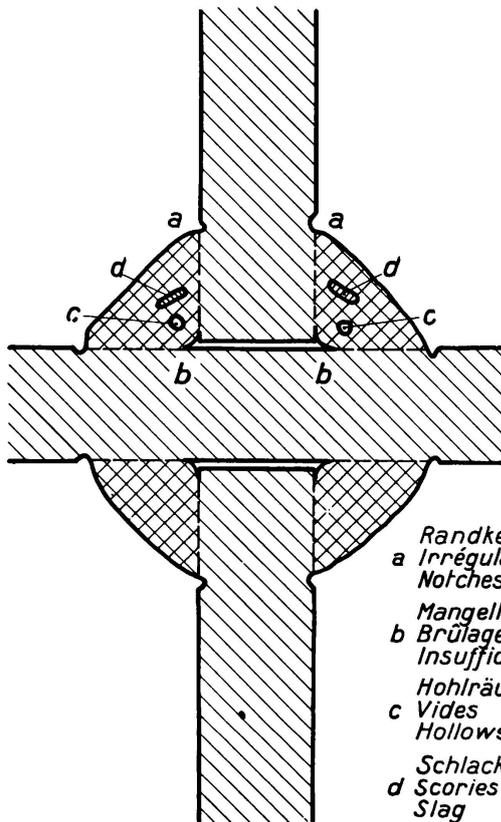


Fig. 2.

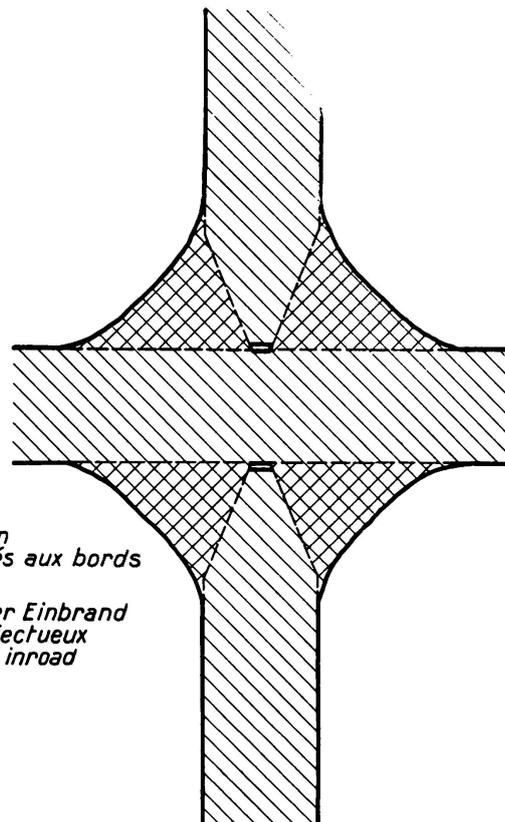


Fig. 3.

Randkerben
a Irrégularités aux bords
Notches
Mangelhafter Einbrand
b Brûlage défœctueux
Insufficient inroad
Hohlräume
c Vides
Hollows
Schlacken
d Scories
Slag

Die Hilfsmittel zur Prüfung der Güte der Schweißnähte sind wesentlich verbessert worden. Die Geräte zur Durchstrahlung der Schweißverbindungen sind leistungsfähiger und billiger geworden. Damit ist es möglich geworden, für hochbeanspruchte wichtige Stumpfnähte zu verlangen, daß sie vor der Ablieferung durchstrahlt werden.⁴

b) Zur zweiten Frage — welche Art der Verbindung ist unter den mannigfaltigen praktischen Verhältnissen zu bevorzugen? — sind umfassendere Feststellungen als zur ersten Frage gemacht worden, weil die Entwicklung der Grundlagen für die Konstruktion der geschweißten Bauwerke dringlicher erschien.

Früher und auch jetzt noch macht man nicht selten aufmerksam, daß die Widerstandsfähigkeit bei Zugbelastung bei Verbindungen mit Flankenkehlnähten

⁴ Vgl. Vorläufige Vorschriften für geschweißte, vollwandige Eisenbahnbrücken, Deutsche Reichsbahn-Gesellschaft, Berlin 1935, S. 11 und 13.

durch Schweißfehler weit weniger betroffen wird als die Tragkraft von Stumpfnähten. Auch sei die Zurichtung bei Flankenkehlnahtverbindungen einfacher als bei Stumpfnähten. Aus diesen Feststellungen heraus ist früher der Flankenkehlnahtverbindung wohl allgemein der Vorzug gegeben worden. Dazu muß hervorgehoben werden, daß sachgemäß hergestellte gute Stumpfnähte gegenüber oftmals wiederkehrenden Lasten bedeutend tragfähiger sind als Verbindungen mit Flankenkehlnähten, weil am Beginn der Flankenkehlnähte immer große Span-

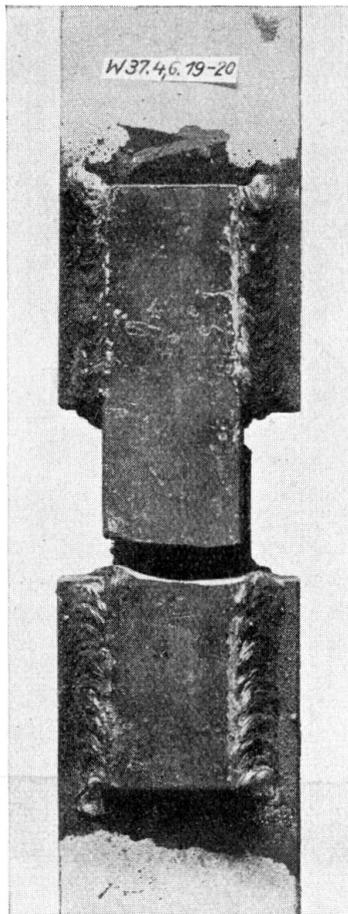


Fig. 4.

Verbindung mit Flankenkehlnähten nach dem Dauerversuch.



Fig. 5.

Verbindung mit Flankenkehlnähten nach dem Zerreiversuch (Abmessungen vor dem Versuch wie bei Fig. 4).

nungsschwellen auftreten, jedenfalls viel größere als in Stumpfnähten.⁵ Der Bruch erfolgt demgemäß beim Dauerversuch mit Ursprungsbelastung nach Fig. 4; der Vergleich mit Fig. 5, gültig für den einfachen Zerreiversuch an einem gleichen Stück und anwendbar für die Erkundung des Widerstands gegen ruhende Lasten erinnert, daß der Zerreiversuch über die Bedeutung der Spannungsschwellen keine Auskunft gibt. Fig. 4 und 5 machen aufmerksam, daß die *Verbindung mit Flankenkehlnähten bei der Aufnahme ruhender Lasten bevorzugt angewandt werden kann, nicht aber bei der Aufnahme bewegter Lasten.*

⁵ Vgl. u. a. „Stahlbau“ 1933, S. 81 u. f.

Weiter ist zu beachten, daß die Herstellung guter Stumpfnähte durch die Entwicklung der Schweißumformer, durch Bereitstellen geeigneter Elektroden, durch die tiefere Schulung der Handwerker und Ingenieure, durch die Fortschritte der Prüftechnik u. a. m. so verbessert worden ist, daß die Herstellung guter Stumpfnähte in gut geleiteten Werkstätten jetzt verbürgt werden kann.

Mit dieser grundsätzlichen Auseinandersetzung über die Geeignetheit der Art der Verbindung und über das zweckmäßige Gebiet der Anwendung der einzelnen Arten mußte untersucht werden, ob die Widerstandsfähigkeit der Verbindungen gegen oftmals wiederholte Zugbelastungen durch die Ermittlung der Ursprungszugfestigkeit allgemein geltend bestimmt ist. Es ist demgemäß verfolgt worden, ob beim oftmaligen Wechsel zwischen gleich großen Zug- und Druckkräften, auch ob bei gleichzeitiger Wirkung von ruhenden und von oftmals wiederkehrenden Zuglasten die Schwingungsweite, welche ertragen wird, gleich oder annähernd gleich der Ursprungszugfestigkeit ist. Viele Versuche⁶ zeigten, daß die Ursprungszugfestigkeit für den praktischen Bereich die ertragbare Schwingungsweite hinreichend angibt. Damit entstand der Vorschlag,⁷ für die Bemessung der geschweißten Verbindungen folgende einfache Richtlinien anzuwenden:

- a) Gegenüber ruhenden Lasten und gegenüber der Gesamtbelastung ist die Streckgrenze des Werkstoffs maßgebend.
- b) Für bewegte Lasten ist die Schwingungsweite entscheidend, die bei oftmals wiederkehrenden Lasten ertragen und die der Einfachheit halber bei Ursprungsbelastung⁸ ermittelt werden kann.

Fig. 6 zeigt als Beispiel die Ergebnisse der Prüfung einer Stumpfschweißung. Die Widerstandsfähigkeit gegen die ruhende Last und gegen die Gesamtlast ist durch die Zugfestigkeit und durch die Streckgrenze begrenzt. Die Schwingungsweite, die bei oftmals wiederkehrender Last ertragen wird, ist bei der Ursprungsbelastung zu $S = 14,5 \text{ kg/mm}^2$, bei der Streckgrenze zu $S = 13,1 \text{ kg/mm}^2$ ermittelt worden.

Man kann demnach die zulässige Spannung für die ruhende Last und für die Gesamtlast und unabhängig davon die zulässige Spannung für die oftmals wiederkehrende Last wählen. Wird beispielsweise die zulässige Spannung zum 0,8fachen der ermittelten Widerstandsfähigkeit festgesetzt, so würden im Falle der Fig. 6 die zulässigen Spannungen betragen:

- a) für ruhende Lasten und für die Gesamtlasten $37,8 \cdot 0,8 = \text{rd. } 30 \text{ kg/mm}^2$
und
- b) gegen oftmals wiederkehrende Lasten $14,5 \cdot 0,8 = \text{rd. } 11 \text{ kg/mm}^2$.

Die zulässige Höchstspannung wäre also 30 kg/mm^2 . Von dieser Höchstspannung dürften 11 kg/mm^2 durch bewegte Lasten hervorgerufen werden.

Hiernach wäre für den entwerfenden Ingenieur eine einfache Tafel aufzustellen, welche zunächst die zulässigen Zuganstrengungen gegenüber bewegten Lasten und dann die Höchstbeanspruchungen durch ruhende und bewegte Zuglasten zusammen angibt. Für die höchste Anstrengung durch ruhende Lasten

⁶ Vgl. u. a. „Stahlbau“ 1933, S. 92 u. f., „Stahlbau“ 1935, S. 164 u. f.

⁷ Vgl. „Stahl und Eisen“ 1933, S. 1218 u. f.

⁸ Hier ist wie in der folgenden Erörterung die Ursprungsbelastung verstanden, welche bei 2 Millionen Lastspielen eben noch getragen wird.

ist die Stahlsorte maßgebend; die Art der Verbindung kann dabei außer Betracht bleiben, wenn für ihre Ausführung gewisse Mindestbedingungen erfüllt werden. Für die Begrenzung der zulässigen Anstrengungen durch oftmals wiederkehrende Lasten ist vor allem eine Abstufung nach der Art der Verbindung nötig (Stumpfnähte, Flankenkehlnähte, Stirnkehlnähte).

Noch einfacher liegen die Verhältnisse bei Verbindungen, die auf *Druck* beansprucht sind. Hier ist es eine Selbstverständlichkeit, daß die Stumpfnahf für die Aufnahme von Druckkräften allgemein zu bevorzugen ist. Es ist in der

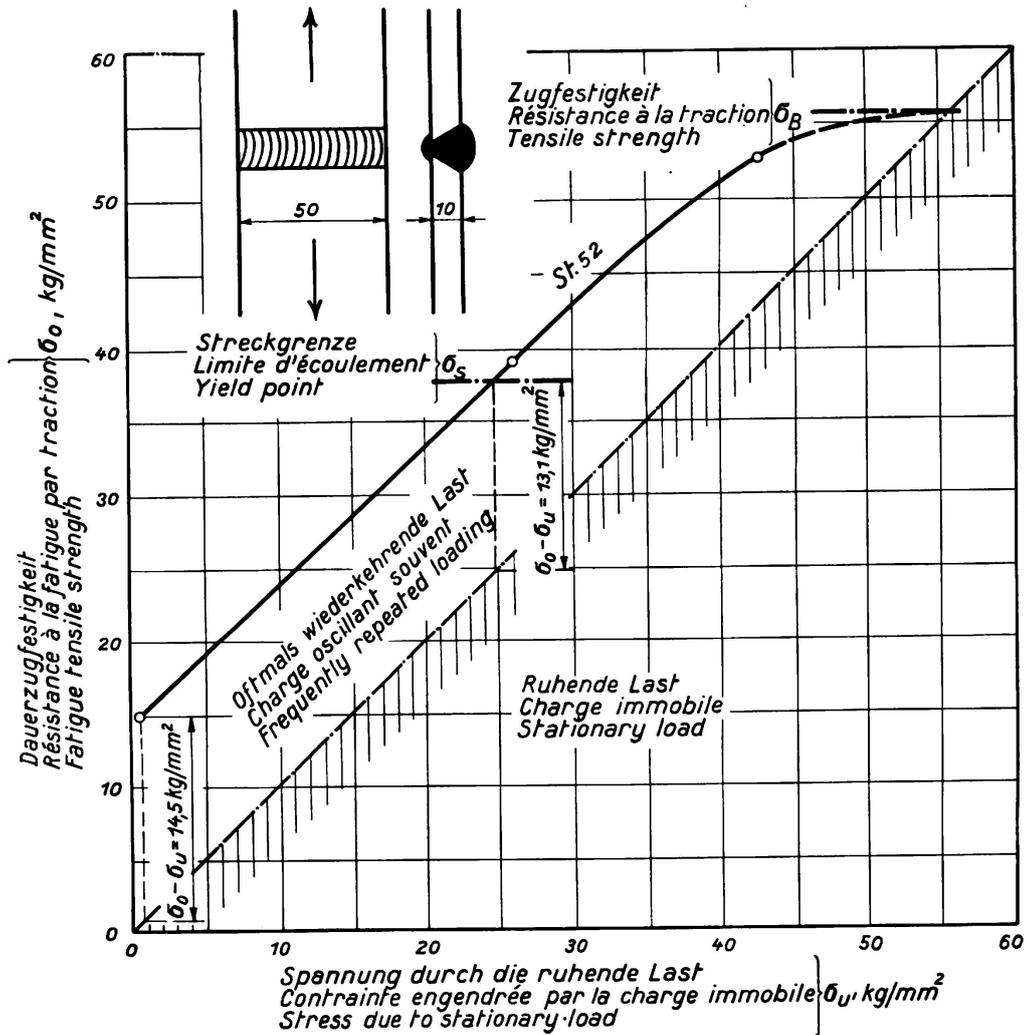


Fig. 6.

Regel nicht schwierig, Stumpfnähte herzustellen, welche die Übertragung von ruhenden Druckkräften in gleichem Maße wie bei ungestoßenen Stücken ermöglichen. Handelt es sich um die Aufnahme von oftmals wiederkehrenden Druckkräften, so ist zu beachten, daß an un stetigen Querschnittsänderungen, also u. a. an Randkerben der Stumpfnähte, an Kerben in der Wurzel solcher Nähte, Spannungsschwellen auftreten,⁹ die an der oberen Lastgrenze zu örtlichen bleibenden Verformungen führen, wodurch beim Entlasten Zuganstrengungen

⁹ Vgl. „Stahl und Eisen“ 1933, S. 1219.

im Kerbgrund hervorgerufen werden. Deshalb entstehen in rohen Stumpfnähten unter oftmals wiederholten Drucklasten Querrisse ebenso wie unter oftmals wiederkehrenden Zuglasten, allerdings unter weit höheren Gesamtanstrengungen.¹⁰ Man kann annehmen, daß die Ursprungsdruckfestigkeit von Stumpfnähten ordentlicher Ausführung bei St. 37 etwa an der Quetschgrenze liegt; deshalb kann man die zulässige Druckanstrengung von Stücken aus St. 37 ohne und mit Stumpfnähten in den heute üblichen Grenzen gleich groß wählen.

Weitere Beobachtungen führten schließlich zu der Auffassung, daß die Ergebnisse der Zug- und Druckversuche auch für die Zug- bzw. Druckzone von Profilträgern gelten.¹¹

Weiter mußte untersucht werden, wie die Flankenkehlnähte und die Stirnkehlnähte zu bemessen sind, wenn die Kräfte als Scherkräfte wirken. Bei Verbindungen mit Flankenkehlnähten nach Fig. 4, die mit verschiedener Nahtlänge durch oftmals wiederkehrende Zugkräfte beansprucht worden sind, war die Ursprungsscherfestigkeit zu mindestens 10 kg/mm^2 abzuschätzen.¹²

Bei Belastung der mit Flankenkehlnähten angeschlossenen Stäbe durch oftmals wiederkehrende Druckkräfte ist die Ursprungsfestigkeit bis rund 12 kg/mm^2 ermittelt worden.

Wenn man die Nähte der Flankenkehlnahtverbindungen auf Grund dieser Feststellungen bemessen würde, käme man zu kleineren Nähten als sie heute verlangt werden. Dieses Ergebnis kann bei oftmals belasteten Verbindungen nicht ohne weiteres angewandt werden, weil die Abmessungen der Nähte die Spannungsschwelle am Nahtanfang beeinflussen. Deshalb ist bis auf weiteres eine Begrenzung des Verhältnisses der Scherspannung der Naht zur Anstrengung des angeschlossenen Stabes angezeigt. Bei Stücken nach Fig. 4 hat die Ursprungszugfestigkeit mit Abnahme von $\rho : \sigma$ zugenommen; mit $\rho : \sigma = 0,5$ war der Höchstwert der Ursprungszugfestigkeit annähernd erreicht.¹³

c) Zur dritten Frage, welche die Anwendung der grundlegenden Feststellungen auf die jeweils vorliegende Einzelaufgabe betrifft, ist die Antwort nur schrittweise zu erringen, weil die konstruktive Gestaltung der Verbindung technische und wirtschaftliche Grenzen hat.

Bei der Anwendung von Verbindungen mit Flankenkehlnähten muß man sich zur Zeit entweder damit abfinden, daß diese Verbindungen für die Aufnahme oftmals wiederkehrender Lasten weniger geeignet sind und daß ihre zulässige Beanspruchung entsprechend kleiner zu wählen ist als mit Stumpfnähten, oder man sucht durch Wahl geeigneten Werkstoffs oder durch bauliche Änderung der Verbindung die Spannungsschwellen zu mindern. Man hat u. a. versucht, durch eine besondere Form der Schweißnaht und durch verschiedene Verteilung des Schweißgutes, z. B. durch allmählich anlaufende Schweißnaht, durch Veränderung der Dicke und Länge der Flankenkehlnaht, durch Wahl verschiedener Querschnittsformen der Naht die Tragfähigkeit der Flankenkehlnahtverbindungen

¹⁰ Vgl. „Stahlbau“ 1936, S. 71 und 72.

¹¹ Vgl. u. a. „Stahlbau“ 1934, S. 169 u. f. Über Versuche mit Walzträgern, die mit Stumpfnähten usf. gestoßen sind, wird besonders berichtet werden.

¹² „Bautechnik“ 1932, S. 415.

¹³ „Bautechnik“ 1932, S. 415, ferner Dauerversuche mit Schweißverbindungen, VdI.-Verlag 1935, S. 25.

zu erhöhen. Man fand aber, daß allein mit den angegebenen Mitteln für den Stahlbau nicht viel zu erreichen ist. Mehr kann geholfen werden durch besondere Auswahl der Querschnittsformen der angeschlossenen Stäbe und durch die zugehörige Anordnung der Nähte. Bei rechteckigem Querschnitt der auf Zug angeschlossenen Stäbe wurde die Ursprungszugfestigkeit erhöht, wenn statt Flacheisen mit dem Querschnitt $80 \cdot 10$ mm, solche mit $50 \cdot 16$ mm oder Quadrateisen gewählt wurden und wenn dabei der Anschluß mit starken, kurzen Flankenkehlnähten geschah.¹⁴ Bedeutend höhere Ursprungszugfestigkeiten sind entstanden, wenn die Anschlüsse mit [-Eisen und Stirnkehlnähten gebaut wurden; die höchste Ursprungszugfestigkeit, nämlich 12 kg/mm^2 entstand mit Verbindungen nach Fig. 7.¹⁵

So ist der Unterschied der Tragfähigkeit der wichtigsten Schweißverbindungen, die für oftmals beanspruchte Zugverbindungen in Stahlbauwerken angewendet — der rohen Stumpfnähte einerseits, der rohen Flankenkehlnahtverbindungen andererseits — allmählich kleiner geworden. Während für gute Stumpfnähte die Ursprungszugfestigkeit mit rd. 18 kg/mm^2 angesetzt werden kann, ist sie zur Zeit für konstruktiv gut entwickelte Flankenkehlnahtverbindungen nach Fig. 7 bis rd. 12 kg/mm^2 zu erwarten. Bei der Stumpfnahat kann die Gewähr für die angegebene Tragfähigkeit nur übernommen werden, wenn sie bei einer Durchleuchtung als einwandfrei befunden wurde. Bei der Flankenkehlnahtverbindung ist die Durchleuchtung nicht nötig, wenn die Herstellung geübten, sorgfältig arbeitenden Handwerkern oblag.

Im Verfolg solcher Erwägungen ist es verständlich, wenn früher — als die Herstellung guter Stumpfnähte noch weniger zuverlässig gelang — den etwaigen Mängeln der Stumpfnähte in wichtigen Fällen von vornherein durch *Laschen* begegnet wurde, die über die Stumpfnähte gelegt waren. Damit gelang es, die Tragfähigkeit gegen ruhende Lasten so zu sichern, daß der Widerstand des angeschlossenen Querschnitts beim Zerreiversuch voll maßgebend wurde. Wenn aber oftmals wiederkehrende Lasten zu übertragen waren, hat die einfache Decklasche nur dann eine Verbesserung gebracht, wenn die Stumpfnähte schlecht waren. Mit guten Stumpfnähten entstanden unter bescheidenen Anstrengungen Brüche nach Fig. 8, weil am Laschenanfang durch die plötzliche Querschnittsänderung hohe Spannungsschwellen auftraten. Man mußte deshalb diejenige Bauart der Decklaschen suchen, welche dieselbe Tragkraft bringt wie eine gute Stumpfnahat allein. Dies ist zuerst mit Laschen gelungen, die nach Fig. 9 bearbeitet waren. Im Falle der Fig. 9 ist die Lasche a so breit als möglich angesetzt, an den Stirnflächen mit starken, allmählich und stetig auslaufenden Kehlnähten b angeschlossen, seitlich mit schwächeren Nähten befestigt, dann soweit örtlich bearbeitet, daß alle Kerben bei c beseitigt sind, welche im Gebiet der Kraffteintragung von Belang sein können.¹⁶ Diesen Bedingungen kann allerdings nur entsprochen werden, wenn gute Elektroden verwendet werden.

Das über die Gestaltung der Laschen Gesagte gilt sinngemäß auch für den Anlauf von Gurtverstärkungen an Balken. Über zugehörige Versuche wird demnächst gesondert berichtet.

¹⁴ Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure, 1934, S. 1424.

¹⁵ Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure, 1934, S. 1424.

¹⁶ Der zugehörige ausführliche Bericht an den Deutschen Ausschuß für Stahlbau ist in Vorbereitung.

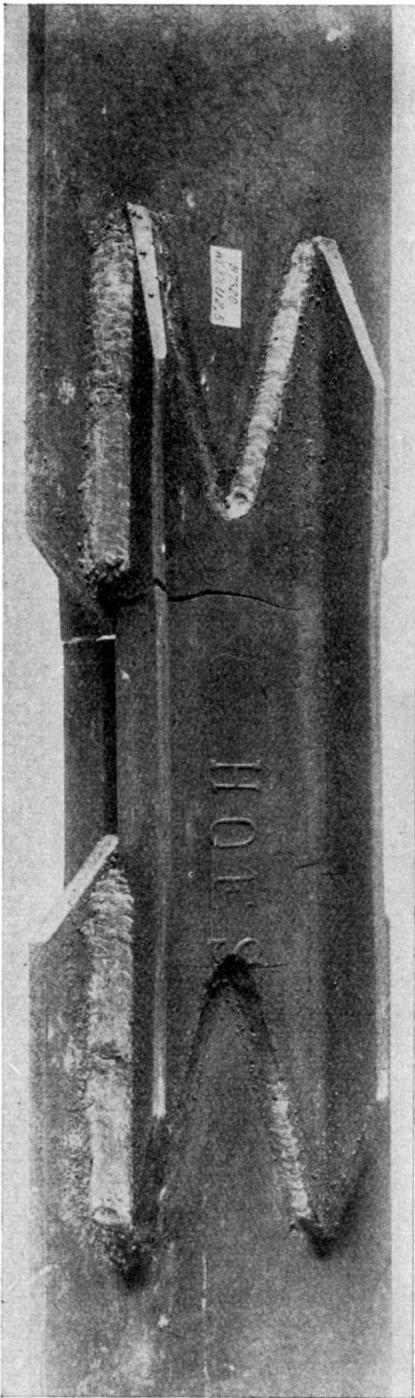


Fig. 7.



Fig. 8.

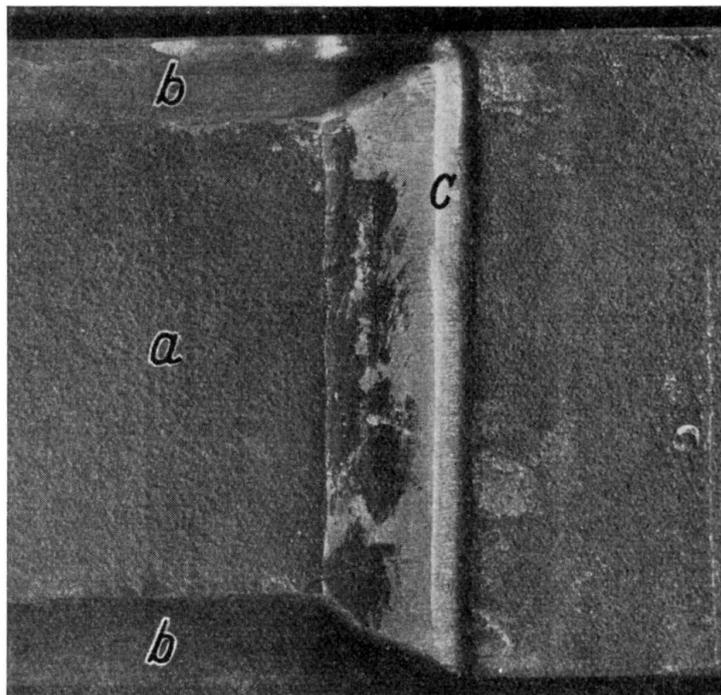


Fig. 9.

Ebenso ist bei der Anbringung von Stegblech-*aussteifungen* zu beachten, daß der Zuggurt gegenüber oftmals wiederkehrenden Lasten an Tragfähigkeit verliert, wenn die *Aussteifungen* am Zuggurt angeschweißt sind.¹⁷ Dabei ist außerdem wichtig, daß die angeschweißten *Aussteifungen* auch im Stegblech die Widerstandsfähigkeit mindern können.¹⁷

¹⁷ Vgl. Schulz und Buchholtz: „Stahl und Eisen“ 1933, S. 551.

träger gute Anschlüsse machen will. Die Anstrengung im Hauptträger ist dementsprechend zu wählen.

d) In der vierten Frage ist nach der Bedeutung der *mit dem Schweißen auftretenden Spannungen* gefragt. Es soll hier nicht erörtert werden, wie sich diese Spannungen entwickeln; es sei nur auf Ergebnisse der bisher vorliegenden Feststellungen verwiesen. Man weiß u. a., daß in Stumpfnähten und in Kehlnähten örtlich hohe Anstrengungen auftreten, die bis zur Fließgrenze reichen.¹⁹ Diese Anstrengungen verteilen sich in Stumpfnähten, die in einem Zug geschweißt sind derart, daß am Rand quer zur Naht Druckanstrengungen, im mittleren Teil Zugspannungen auftreten.²⁰ Die höchsten Anstrengungen herrschen örtlich eng begrenzt; deshalb sind nur kleine bleibende Änderungen nötig, um die örtlich hervortretenden Anstrengungen bedeutend zu mindern.²¹ Man kann auch aus vielen Dauerzugversuchen abschätzen, daß die durch das Schweißen ent-

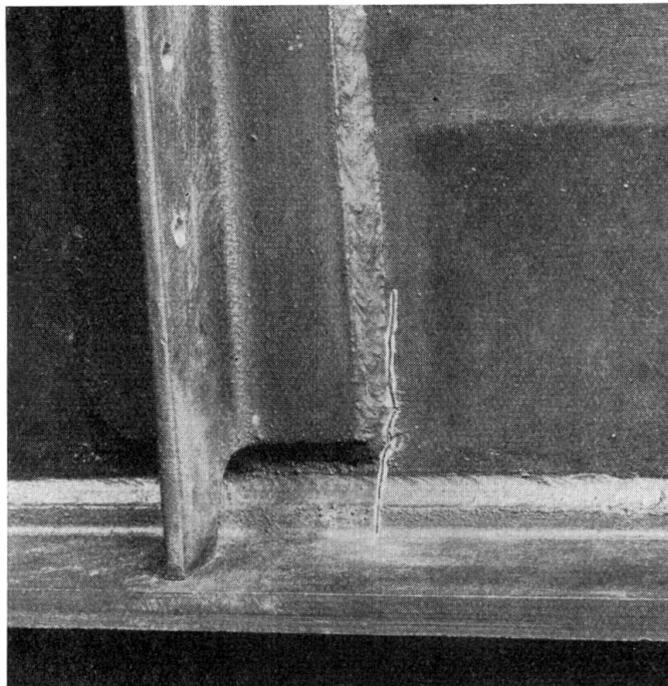


Fig. 11.

stehenden Anstrengungen (Eigenspannungen) jedenfalls insoweit ohne bedeutenden Einfluß auf die Widerstandsfähigkeit der Verbindungen bleiben, als es sich um Stücke handelt, die als Zugstäbe gestaltet sind und beim Schweißen an ihren Enden frei waren. Man kann überdies die Eigenspannungen durch das Schweißverfahren beeinflussen, auch durch den Werkstoff.²² Wichtiger als die Eigenspannungen dürfte folgende Erscheinung sein.

Wird ein Zugstab mit einer Stumpfnahat hergestellt, so treten in der Naht parallel der Stabkraft Verkürzungen auf, u. a. weil das in die Schweißlücke

¹⁹ Graf: „Stahlbau“ 1932, S. 181 und 182, sodann 1933, S. 93 und 94, sowie Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure, 1934, S. 1426.

²⁰ Vgl. u. a. Bierett: Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure, 1934, S. 709 u. f.

²¹ Bollenrath: „Stahl und Eisen“ 1934, S. 877.

²² Dazu tritt noch die Schweißrißempfindlichkeit, vgl. Bollenrath und Cornelius: „Stahl und Eisen“ 1936, S. 565 u. f.

geschmolzene Material beim Erstarren und Abkühlen schrumpft; die Schrumpfmaße wachsen mit der Breite der Schweißlücke, damit auch mit der Größe des Öffnungswinkels.²³ Sind die Zugstäbe an den Enden eingespannt, so wird das Schrumpfen der Schweißnaht mehr oder minder gehindert; außerdem machen sich dabei die Raumänderungen bemerkbar, welche durch Erwärmen und Abkühlen des neben der Schweißnaht liegenden Werkstoffs auftreten. Damit treten zu den schon erwähnten Eigenspannungen der Naht noch äußere Belastungen. Diese äußeren Belastungen (Schrumpflasten) werden am größten, wenn die Stablängen sehr kurz sind und wenn die Einspannung unnachgiebig ist. Das Schrumpfmaß muß dann mit einer kurzen Stablänge aufgehalten werden. Ist der Stab lang und die Einspannung mehr oder minder nachgiebig, so wird die Schrumpflast infolge der größeren Dehnung des langen Stabs und wegen der Formänderung der Bauteile, welche die Einspannung bewirken sollen, gemindert. Ist ein Stab beispielsweise 3 m lang und gibt die Einspannstelle bei der Stabanstrengung $\sigma = 1050 \text{ kg/cm}^2$ nicht nach, so entsteht bei dieser Spannung eine

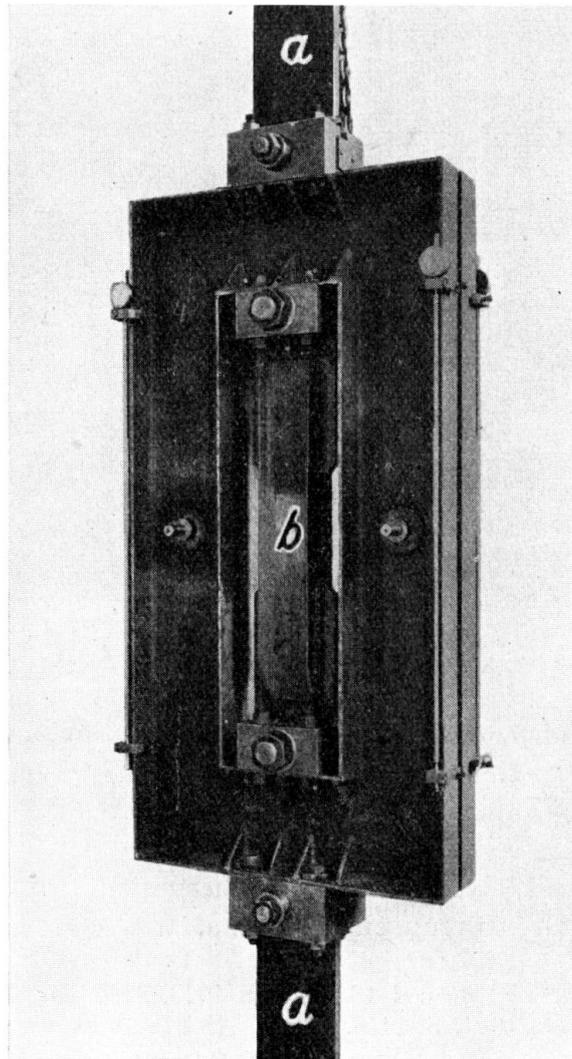


Fig. 12.

²³ Vgl. u. a. *Lottmann*: Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure 1930, S. 1340 u. f., *Malisius*: Elektroschweißung 1936, S. 1 u. f.

Längenänderung von rd. 1,5 mm. Nach dem bisher Bekannten wäre damit die Schrumpfung eines Schweißquerschnitts von rd. 100 mm² ausgeglichen. Wäre die freie Stablänge nur 0,5 m und die Einspannung wieder unnachgiebig, so müßte die Schrumpfspannung über die Streckgrenze steigen, um ein Schrumpfmaß von 1,5 mm auszugleichen.

Die so errechneten Schrumpflasten sind in Wirklichkeit kleiner, weil sich die Formänderungen während der Abkühlung des Werkstoffs neben und in der Schweißstelle entwickeln. Immerhin wird an den Beispielen erkennbar sein, daß beim Zusammenbau geschweißter Bauwerke die Wahl der Reihenfolge der Schweißstellen und die Art der Herstellung der Nähte besondere Aufmerksamkeit erfordert.

Überdies ist zu beachten, daß die während der Herstellung der Schweißung auftretenden Schrumpflasten in der Schweißnaht besonders hohe Anstrengungen hervorrufen können, solange nur ein Teil der Schweißnaht eingelegt ist und dieser Teil abkühlen kann. Die Schrumpflast ist in solchen Fällen noch nicht groß, die Federung des Bauteils aber sehr klein, so daß die Schrumpfung fast ganz von der teilweise eingelegten Naht aufgenommen werden muß. Deshalb ist die Naht tunlichst in einem Zug unter möglicher Hintanstellung der Abkühlung auszuführen; auch muß der erste Teil der Naht besonders dehnbar sein.

Um ein Bild der tatsächlichen Schrumpflasten zu erhalten, hat der Verfasser im Jahr 1934 Versuche zur Bestimmung der Schrumpflasten aufgenommen. Ein Gestell nach Fig. 12 trägt an den Enden starke Querstücke mit je einer Bohrung. Mit Bolzen, welche durch diese Bohrungen gesteckt werden und von denen einer konisch bearbeitet ist, können starke Flacheisen a a praktisch unverschieblich eingespannt werden. Die inneren Enden der Flacheisen werden durch Schweißungen verbunden, im Falle der Fig. 12 mit \square -Eisen b durch Flankenkehlnähte. Die bisher durchgeführten Versuche lieferten unter den gewählten Verhältnissen bei Stumpfnähten Schrumpflasten von rd. 250 kg/cm². Weitere Mitteilungen aus diesen Versuchen folgen in einem besonderen Bericht.

Die beim Schweißen auftretenden Verformungen sind beim Aufrichten von Stahlbauten sorgsam zu beachten, weil die Verformungen u. a. zu wesentlichen Änderungen der Auflagerbedingungen führen können. Dazu ist die Größe und Richtung der Verformungen vor dem Aufrichten zu erkunden. Die zugehörigen Erfahrungszahlen sind allerdings zur Zeit noch nicht genügend entwickelt.

Zusammenfassung.

Die Anwendung der Schweißung im deutschen Brückenbau und im deutschen Hochbau war von zahlreichen Untersuchungen begleitet, welche vor allem die Auswahl der Art der Verbindungen und ihre Gestaltung für die jeweils vorliegenden Aufgaben ermöglichen. Besonders umfangreiche Arbeiten erstrecken sich auf die Ermittlung der Tragfähigkeit der Schweißverbindungen und der Konstruktionselemente unter oftmals wiederkehrenden Lasten, wie sie in Brücken, Kranen usw. vorkommen.²⁴ Zahlreiche Versuche sind ferner der Ermittlung der Formänderungen gewidmet, welche nach dem Schweißen in der Verbindung selbst und im Bauwerk zurückbleiben. Hierzu sind weitere Feststellungen nötig.

²⁴ Vgl. unter den schon genannten Arbeiten u. a. die im VdI.-Verlag im Jahr 1935 erschienene Schrift „Dauerfestigkeitsversuche mit Schweißverbindungen“.