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

Band: 2 (1936)

Artikel: Erfahrungen bei ausgeführten Bauwerken in Deutschland

Autor: Kommerell, O.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-2705

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 08.08.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

IIId 6

Erfahrungen bei ausgeführten Bauwerken in Deutschland.

Observations sur les ouvrages exécutés en Allemagne.

Experience obtained with Structures Executed in Germany.

Dr. Ing. O. Kommerell,
Direktor bei der Reichsbahn, im Reichsbahnzentralamt, Berlin.

I. Einleitung.

Die Anregung zum Schweißen im Stahlbau ging in Deutschland vom Verein Deutscher Ingenieure, Fachausschuß für Schweißtechnik aus, der im Jahre 1930 „Richtlinien für die Ausführung geschweißter Stahlbauten im *Hochbau*" herausbrachte.[1] Zur selben Zeit wurde bekannt, daß in Amerika schon verschiedene *Brücken* geschweißt wurden, auch wurde ein Entwurf von amerikanischen „Richtlinien für geschweißte Brücken" im Eng. New. Rec. 1929 vom 22. August von *G. D. Fish* veröffentlicht.[2] Das Interesse für das Schweißen im Stahlbau war in Deutschland durch diese Veröffentlichungen stark geweckt, wenn sie auch zunächst noch wenig befriedigten, da es den Anschein hatte, daß die Teile nur handwerksmäßig zusammengeschweißt wurden und Formeln zur *Berechnung* der Schweißnähte nur bei einachsigem Spannungszustand gegeben waren. Das Schweißen führte sich in größerem Umfang in Deutschland erst ein, als durch weitere Veröffentlichungen[3] der Weg gezeigt wurde, wie man die Schweißnähte auch bei Biegung und bei zweiachsigen Spannungszuständen rechnen kann. Diese Vorschläge führten schließlich unter Berücksichtigung von *Versuchen* mit geschweißten Bauteilen (wobei die Proben zunächst nur rein statisch beansprucht wurden), im Jahre 1931 zu amtlichen in ganz Deutschland gültigen „*Vorschriften für geschweißte Stahlbauten* (Hochbau und Brücken)". Mit dem Erscheinen dieser Vorschriften setzte nun in Deutschland eine stürmische Entwicklung ein. Damals war man der Auffassung, daß es genügt, die Bauteile der geschweißten Brücken ebenso wie bei genieteten zu berechnen und nur die Schweißnähte unter Berücksichtigung schwellender und wechselnder Beanspruchung entsprechend dick auszuführen. Man war sich aber damals schon darüber einig, daß nur systematische Dauerfestigkeitsversuche Klarheit schaffen konnten. Die Versuche, die einen

---

[1] Die Elektroschweißung, Heft 1, 1930.

[2] Dr. Ing. *R. Bernhard:* Zeitschrift für Elektroschweißung. Heft 2, 1930 und Bautechnik, 1930, S. 117.

[3] Dr. Ing. *Kommerell:* „Berechnung, bauliche Durchbildung und Ausführung geschweißter Eisenbahnbrücken", Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin 1930.

Aufwand von rd. 50000 *RM* verursachten, habe ich in meinem Bericht zum Berliner Kongreß „Einfluß häufig wechselnder Belastungen auf geschweißte Bauwerke" eingehend dargelegt, auch habe ich dort die neuen, auf den gewonnenen Erkenntnissen aufgebauten Berechnungsgrundlagen näher erläutert.

In dem folgenden soll zum Teil an der Hand ausgeführter Beispiele auf die gemachten *Erfahrungen* bei geschweißten Brücken eingegangen werden. Wo es notwendig erscheint, wird auf Bauweisen, die durch die Entwicklung überholt sind und bei uns nicht mehr so ausgeführt werden, besonders hingewiesen. Die Vorteile der geschweißten Bauweise gegenüber der genieteten sind kurz folgende:

1. Das Bohren von Nietlöchern und das Schlagen von Nieten fällt fast gänzlich fort;
2. Die Verschwächung des Querschnitts (durch Nietlöcher) entfällt; hierdurch und durch die Möglichkeit, zu verbindende Teile ohne Zuhilfenahme von Winkelstählen unmittelbar zusammenzuschweißen, ergibt sich eine Gewichtsersparnis von 15—20 %;
3. Rahmenecken, die bei der genieteten Bauweise oft sehr verwickelt werden, lassen sich viel einfacher durch Schweißen herstellen;
4. Geschweißte Bauwerke wirken ruhiger und befriedigen vom ästhetischen Standpunkt aus mehr als genietete;
5. Bei der geschweißten Bauweise kann man leichter in der Blechdicke wechseln als bei der Nietbauweise (z. B. in der Stegblechdicke);
6. Vollwandträger können in geschweißter Bauweise leicht mit größerer Stützweite ausgebildet werden als in genieteter Bauweise. Während bei uns die Grenze der Stützweise bei genieteten Blechträgern etwa bei 30 m lag, sind geschweißte vollwandige Träger schon bis 54 m Stützweite ausgeführt worden, so daß vorläufig bei uns kein Bedürfnis, Fachwerkbrücken zu schweißen, besteht.

Die Schwierigkeiten, die bei der Aufstellung von geschweißten Fachwerkbrücken infolge der Schrumpfungen der Schweißnähte entstehen, ferner die größere Empfindlichkeit der Schweißnähte bei außermittigem Kraftangriff und bei beginnenden Flankenkehlnähten und bei Stirnkehlnähten haben uns vorläufig von der Ausführung vollständig geschweißter Fachwerkbrücken abgehalten. Es ist aber nicht ausgeschlossen, daß man später bei großen Brücken dazu übergeht, die Gurtungen und die einzelnen Füllstäbe für sich in der Werkstatt zu schweißen und die Anschlüsse der Füllstäbe an die Knotenbleche auf der Baustelle zu nieten. Überhaupt kann man auch bei geschweißten Vollwandbrücken die Nietbauweise ruhig da anwenden, wo sie gegenüber dem Schweißen Vorteile bietet z. B. beim Anschluß der Querträger an die Hauptträger, bei Windverbänden usw. Da im *Hochbau* im wesentlichen nur ruhende Belastungen in Frage kommen, so können hier unbedenklich auch Fachwerke in geschweißter Bauweise ausgeführt werden.

Die bauliche Durchbildung geschweißter Vollwandbrücken wurde wesentlich beeinflußt von den Berechnungsvorschriften und insbesondere von den zulässigen Spannungen.

Während man im Anfang Kehlnähte für viel besser und zuverlässiger als Stumpfnähte hielt, haben sich die Anschauungen nach Ausführung von Dauer-

festigkeitsversuchen in Pulsatormaschinen vollständig geändert. Es rührt dies daher, daß der Kraftfluß bei Stumpfstößen ein natürlicherer ist, während die Kräfte bei Flankenkehlnähten erst umgeleitet werden müssen, wodurch Spannungsspitzen mit ihren Kerbwirkungen entstehen. Bekanntlich sind Schweißverbindungen besonders empfindlich gegen solche Kerbwirkungen.

II. Geschweißte Vollwandträger.

A. Stegbleche.

Das Schweißen bietet den Vorteil, daß man bei Vollwandträgern leicht in der Höhe und in der Dicke der Stegbleche wechseln kann, wodurch selbst bei größerer Stützweite Träger mit auf die ganze Länge durchgehenden Gurtplatten (unter Umständen Träger mit gekrümmten Gurtungen) verwendet werden können. Dies hat den Vorteil, daß Stöße in den Gurtungen nicht notwendig werden, was zugleich dem guten Aussehen solcher Bauwerke sehr förderlich ist

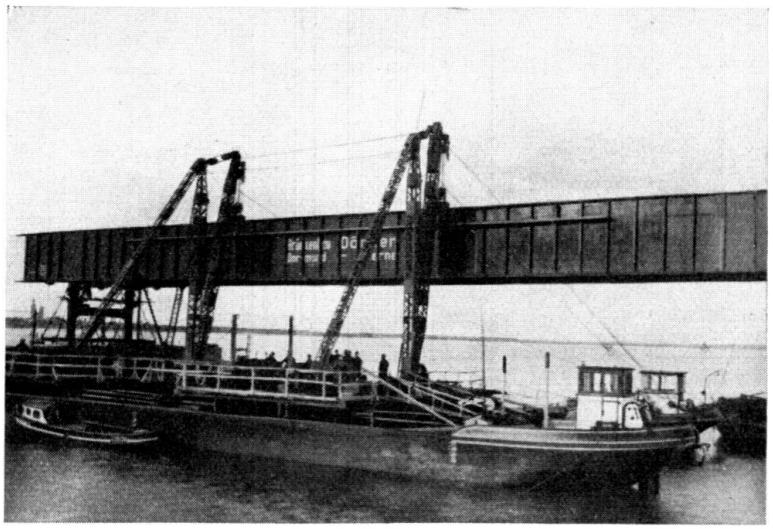


Fig. 1.
Beförderung geschweißter Vollwandträger mit 54 m Stützweite.

und die Möglichkeit bietet, die Hauptträger vollständig in der Werkstatt anzufertigen und zu schweißen. Bei der Deutschen Reichsbahn wurden Hauptträger von 54 m Stützweite in einem Stück auf große Entfernungen auf Eisenbahnwagen von der Werkstatt bis zur Baustelle befördert, von Kränen auf einem Schiff gefaßt, an Ort und Stelle gebracht und dort auf das fertige Mauerwerk abgesetzt (Fig. 1).

Des guten und ruhigen Aussehens wegen hat man bei uns oft Parallelträger mit einer auf die ganze Länge durchlaufenden Gurtplatte selbst dann den Vorzug gegeben, wenn auch in einzelnen Teilen die Querschnitte nicht voll ausgenützt waren, weil dabei durch Wegfall von Gurtplattenstößen und Gurtplatten verschiedener Dicke Kosten gespart wurden und eine große Vereinfachung eintrat. Solche Bauwerke befriedigen auch in ihrem Aussehen besser als Bauwerke mit Gurtplatten, die in der Dicke abgestuft sind. Dabei hatte man erst in jüngerer Zeit von der Möglichkeit, je nach dem Bedürfnis in der Stegblechdicke zu wechseln, Gebrauch gemacht. Ein solcher Fall tritt oft bei durchlaufenden Trägern

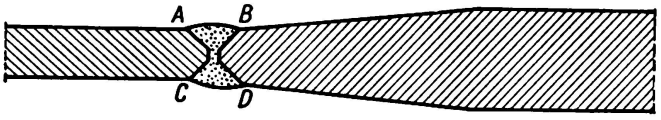


Fig. 2.

ein, wenn über Stützen große Biegemomente auftreten. Auch kann mit solch dickeren Stegblechen die Spannung in der Nähe von Gurtstößen in wünschenswerter Weise herabgemindert werden. Man kann mit Hilfe von X-Nähten leicht wie in Fig. 2 gezeigt, von einer Stegblechdicke auf die andere übergehen. Es empfiehlt sich aber, das dickere Blech in der Nähe der Stoßstelle auf das dünnere Blech abzuarbeiten und durch Abschmirgeln bei A, B, C, D einen allmählichen Übergang von der Schweiße zum Blech herzustellen. Die Ver-

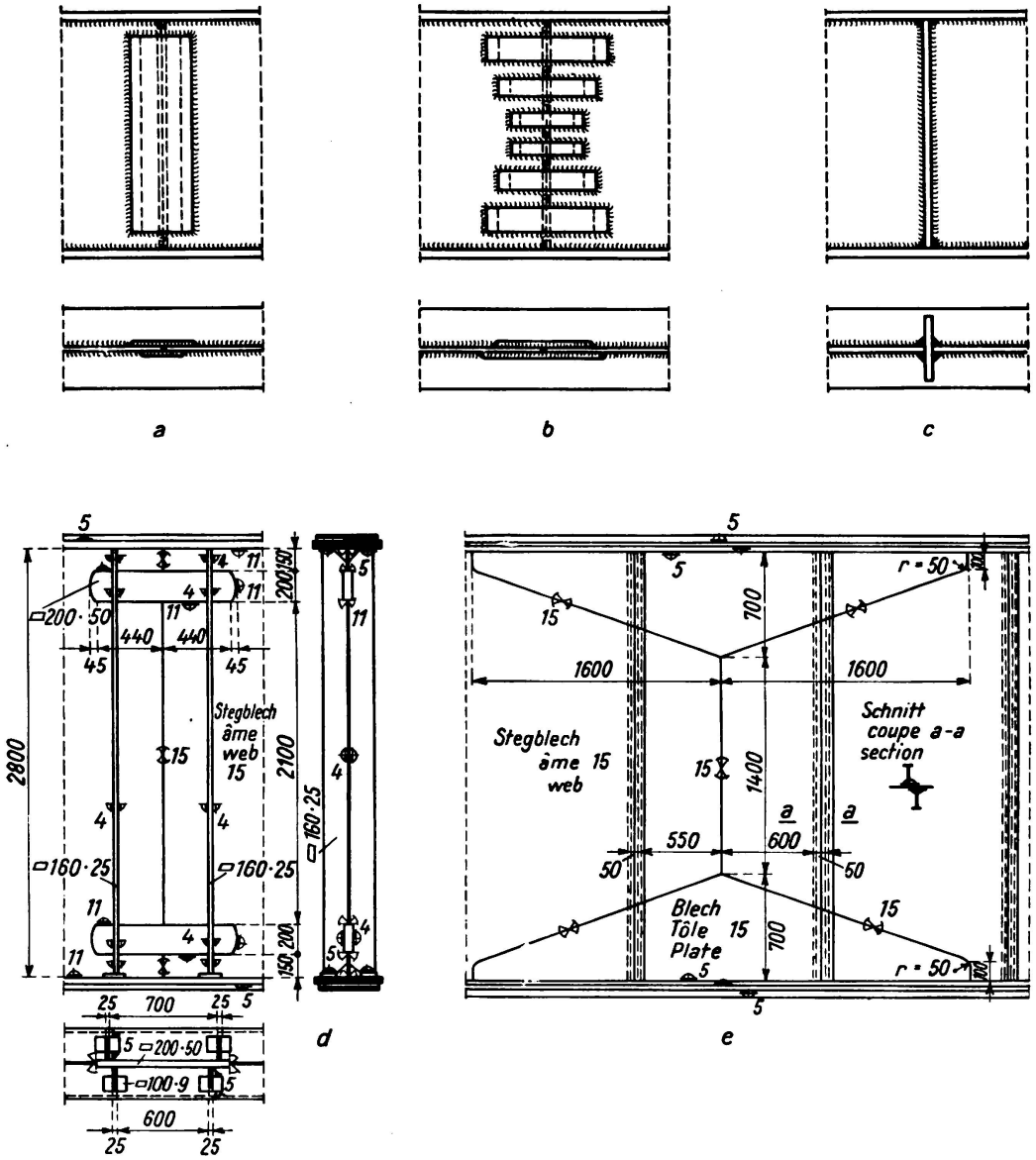


Fig. 3a — e.
Veraltete Stegblechstöße.

wendung des Stumpfstoßes beim Stegblechstoß an beliebiger Stelle wurde erst durch die neuen Berechnungsvorschriften möglich und wird jetzt ausschließlich angewendet. Vorher wurden alle möglichen, in den Figuren 3a bis e dargestellten, jetzt veralteten Bauweisen[4] angewendet, weil früher die Stumpfnaht nur mit 0,75 σ_{zul} beansprucht werden durfte. Diese Bauweisen hatten etwas gekünsteltes an sich, ihre Ausführung war oft wegen der Schrumpfspannungen schwierig, und ihre Wirkungsweise ist nach dem heutigen Stand der Erkenntnis im Brückenbau wegen der Dauerbeanspruchung problematisch.

Einbetonierte Walzträger werden gerne sowohl bei Eisenbahn- als auch bei Straßenbrücken verwendet. Die Vorzüge dieser Bauweise sind Einfachheit in der Ausführung durch gewöhnliche Tiefbauunternehmerfirmen, geringe Unterhaltungskosten, Gleichmäßigkeit im Oberbau, weil das Schotterbett über das Bauwerk unverändert durchgeführt werden kann. Da die Entwässerung eine geneigte Betonoberfläche verlangt, so richtete sich die Bauhöhe nach der Trägerhöhe am tiefsten Punkt der Betonoberfläche. Naturgemäß ist die Betonüberdeckung bei gewalzten Trägern am höchsten Punkt der Betonüberdeckung überflüssig dick, so daß die Stützweite auf etwa 15 m bei Eisenbahnbrücken beschränkt war. Verwendet man aber geschweißte Träger, die in der Mitte höher als an den Enden sind (Fig. 4), so kann die Betonüberdeckung überall gleich sein, die Träger sind dabei wegen der Anpassung an den Verlauf der Biegemomentenlinie besser ausgenützt, so daß auch Träger größerer Stützweite bei der geschweißten Bauweise noch wirtschaftlich sein können.

B. Gurtungen.

Bei den ersten geschweißten Bauwerken verband man einfach die noch aus Winkeln und Blechen bestehenden Bauteile statt durch Nieten mittels Kehlnähten[5] (Fig. 4a und b). Es setzte sich aber bald die Erkenntnis durch, daß vollständig neue Formen entwickelt werden müssen und, daß Winkeleisen zur Verbindung der einzelnen Bauteile entbehrt werden können. Bald wurden als Gurtungen von Vollwandträgern auseinandergeschnittene Breitflanschträger[6] verwendet und die Stege durch eingesetzte Bleche, deren Höhe dem Momentenverlauf angepaßt war, mittels Stumpfnähten verschweißt. Auch entwickelten sich bald für die Gurtungen gewalzte *Sonderprofile* mit der Absicht, die Schweißnaht zur Verbindung des Stegs mit der Gurtung an Stellen zu legen, die nicht so hoch bebeansprucht sind (Fig. 5a, b, c). Um die aus Breitflachstahl bestehenden Gurtplatten mit dem Steg zu verbinden, verwendete man ursprünglich unterbrochene Kehlnähte, weil zur Aufnahme der Schubspannungen solche rechnungsmäßig auszureichen schienen. Versuche[7] mit Trägern zeigten aber bald, daß die Dauerfestigkeit bei Trägern mit durchgehenden Kehlnähten wesentlich höher war als bei unterbrochenen (beginnende und endigende Kehlnähte). Deshalb dürfen nach unseren neuen Vorschriften für geschweißte vollwandige Eisenbahnbrücken unter-

[4] Siehe *Schaper:* „Feste stählerne Brücken", Abb. 92—97. Verlag Wilhelm Ernst, Berlin 1934.

[5] Siehe *Bondy:* „Ausgewählte Schweißkonstruktionen", Band 1, Blatt 79 und 80, VDJ-Verlag Berlin 1930.

[6] *Ulbricht:* Stahl und Eisen 1931, S. 253; Bautechnik 1931, S. 263, 332, 497, 498.

[7] *Hochheim:* Mitteilungen aus den Forschungsanstalten der Gutehoffnungshütte 1932, 1, S. 225 (siehe *Kommerell,* Erläuterungen Teil II, S. 65).

brochene Nähte und Schlitznähte nicht mehr bei Brücken ausgeführt werden. (Im Hochbau ist eine solche Vorschrift nicht notwendig.) Damit das Stegblech im Verhältnis zu den Gurtungen nicht zu dünn wird, verlangen die neuen Vorschriften den Nachweis der größten Scherspannung in der neutralen Faser und

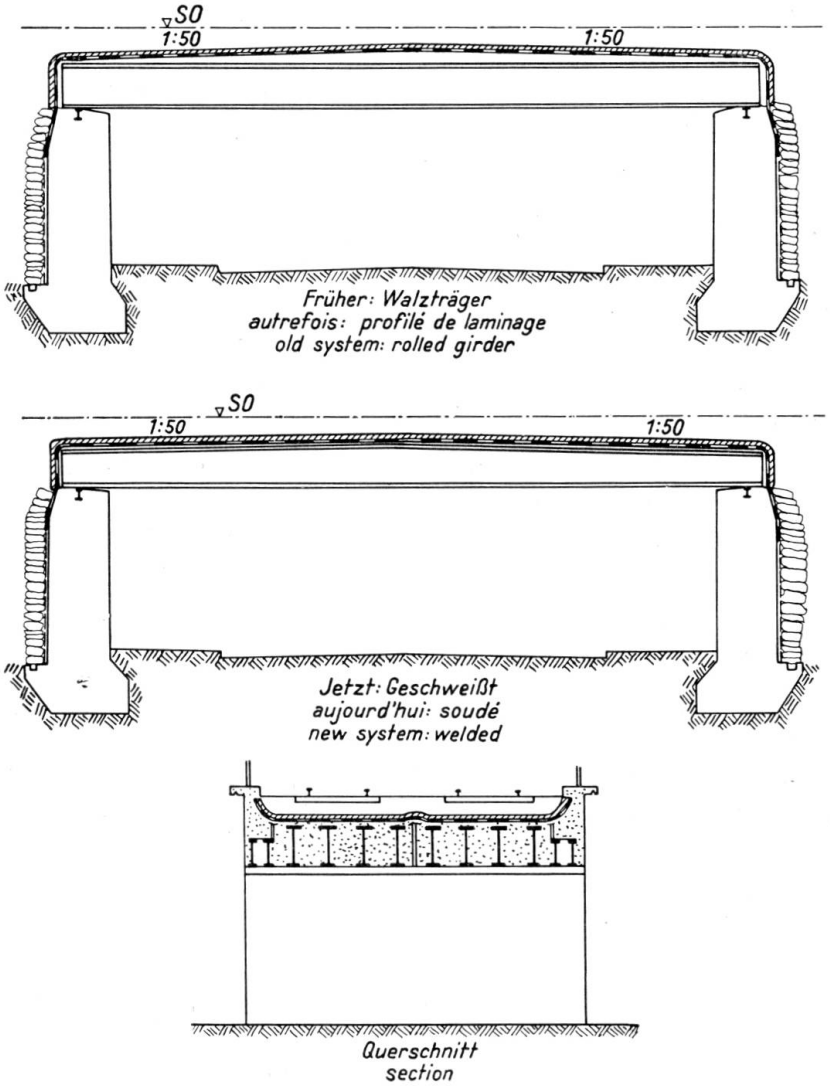


Fig. 4.

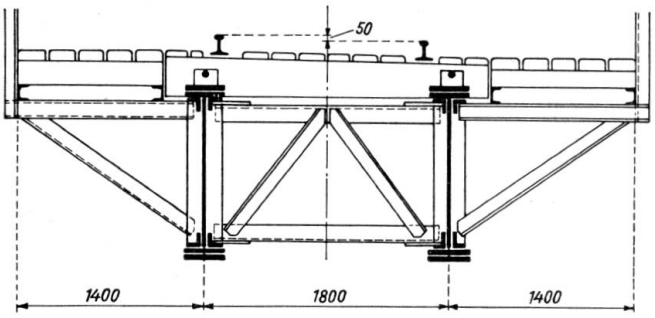


Fig. 4a.

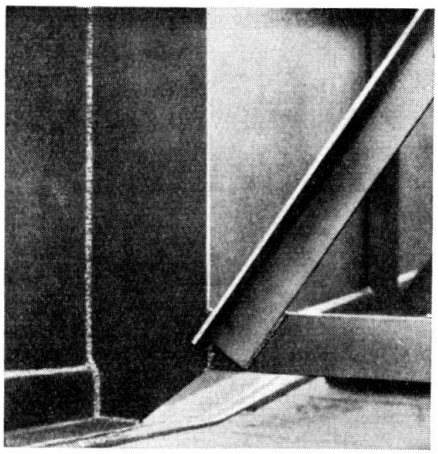


Fig. 4b.

der Hauptspannung im Stegblech am Übergang zu den Gurtungen. Die Hauptspannung wird wegen Überwiegen des Einflusses der Biegespannung um so größer, je weiter die Anschlußnähte zwischen Gurtung und Steg von der Neutralachse entfernt sind, deshalb sind die in Fig. 5 angegebenen Sonderprofile

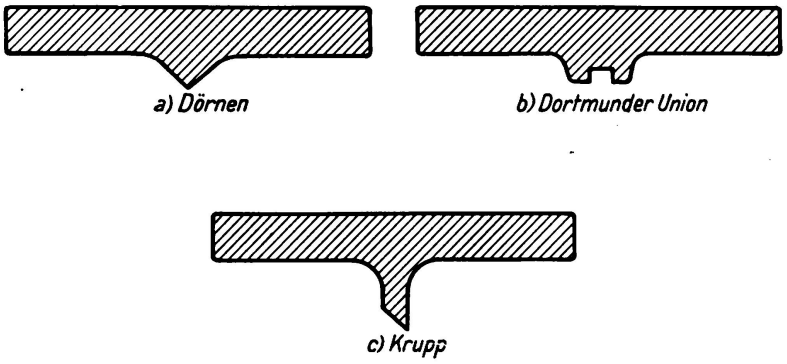


Fig. 5. Sonderprofile für Gurtungen.

den gewöhnlichen Breitflachstählen mit ihren Anschlüssen durch Kehlnähte vorzuziehen. Bei gleicher Tragfähigkeit ist bei den Kehlnähten ein Kehlmaß von etwa $a = \frac{t}{2}$ notwendig (Fig. 6). Bei den Sonderprofilen Fig. 5a und c wird weniger Schweißgut erforderlich (geringere Schrumpfspannungen). Der Kraftfluß ist ein günstigerer. Stumpfnähte können besser ausgeführt und geröntget werden. Bei den Kehlnähten besteht die Gefahr, daß nicht bis in die Wurzel durchgeschweißt wird, daß der Einbrand in den Flächen AB des Gurts und den Flächen CD und EF nicht gut oder zu tief wird.

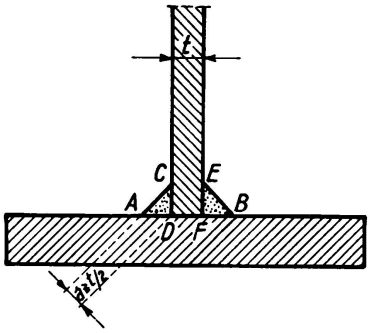


Fig. 6. veraltet.

Für die Verbindung des Stegblechs mit dicken Gurtplatten (bei uns schon bis rund 8 cm Dicke ausgeführt) ist es wegen der bei so dicken Platten zu erwartenden hohen Schrumpfsspannungen besonders wichtig, daß der Mutterwerkstoff und die Schweiße in der Lage sind, diese hohen Schrumpfspannungen durch plastische Verformungen abzubauen, sobald die Schrumpfspannungen zusammen mit der ersten Belastung die Fließgrenze erreicht haben. Der Mutterwerkstoff darf daher nicht beim raschen Abkühlen zu Härtungserscheinungen neigen. Hierauf ist besonders bei legierten Stählen (St. 52) zu achten. Die fertige Schweiße soll aus demselben Grunde dehnfähig, nicht spröde sein.

Aus wirtschaftlichen Gründen ist es bei größeren Brücken notwendig, den Gurtquerschnitt der Momentenlinie anzupassen. Nach den früheren Vorschriften

war die Übertragung von Zugkräften durch Stumpfnähte allein nicht zulässig. Man konnte sich also nur durch Aufschweißen weiterer Gurtplatten mittels Kehlnähten helfen. Eine solche Bauweise wird sich auch heute nicht ganz vermeiden lassen, wenn auch die nach den neuen Vorschriften zulässige Stumpfschweißung die Möglichkeit geschaffen hat, ohne weiteres von einer dünneren Platte auf eine dickere Platte überzugehen. Es muß aber der Übergang ein allmählicher sein, weil plötzliche Querschnittsübergänge bei Dauerbeanspruchung ungünstig sind. Wenn nun auch unsere neuen Vorschriften in Gurtungen, die auf Zug beansprucht sind, den *Stumpfstoß ohne Laschendeckung* zulassen. so sind zur Zeit vorsichtshalber solche Stöße immer noch durch aufgenietete oder aufgebolzte, sogenannte Sicherheitslaschen, gedeckt worden, die im Stande sind, den ganzen Zug im Gurt auch dann aufzunehmen, wenn die Stumpfnaht reißen sollte. Ich betrachte diese Vorsichtsmaßnahme nur als vorübergehend und nicht als endgültig und glaube, daß man später, wenn weitere Erfahrungen vorliegen, und wenn man sich von der unbedingten Haltbarkeit solcher Stumpfnähte durch wiederholtes Röntgen und durch Schütteln der Bauwerke mittels Schwungmaschinen überzeugt hat, dazu übergehen wird, die Stumpfnähte in Zuggurten ohne solche Sicherheitslaschen anzuwenden. Dabei wird man den Anfang bei Brücken aus St. 37 machen, wobei man auch berücksichtigen muß,

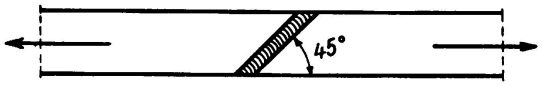


Fig. 7.

daß nach den Vorschriften solche Stumpfnähte unter 45° (Fig. 7) angelegt, in der Wurzel einwandfrei durchgeschweißt und geröntget werden müssen. (Es empfiehlt sich, sofort die erste Schweißlage auf Risse durch Röntgen zu untersuchen.) Auch müssen die Schweißraupen durch Abschmirgeln so sorgfältig bearbeitet werden, daß ein sanfter und allmählicher Übergang von der Schweißraupe zum Blech mit glatter Oberfläche entsteht. Bei solchen Nähten kann mit einer Ursprungsfestigkeit von 22 kg/mm² gerechnet werden, während die Vorschriften nur eine Spannung von $0{,}8 \times 14 = 11{,}2$ kg/mm² also rund die Hälfte zulassen.

Da die Herabsetzung der zulässigen Spannung auf das 0,8fache nur für den Zuggurt gilt, so ergibt sich von selbst das wünschenswerte Versetzen der Gurtplattenstöße im Zug- und Druckgurt. Gedrückte Gurtplatten, die nicht durch Nähte unmittelbar mit dem Steg (durchlaufend) verbunden sind, müssen, wenn sie breiter als ihre 30fache Dicke sind, durch Niete oder Bolzen verbunden werden, um ein Ausbeulen zu verhindern. (Das Nieten genügt auch bei großen Dicken vollständig und ist billiger als das Verbolzen.) Durchgehende Kehlnähte haben bei guter Ausführung dieselbe Ursprungsfestigkeit wie gute Stumpfnähte. Dagegen muß an allen Stirnkehlnähten und an allen Stellen, an denen Flankenkehlnähte beginnen oder endigen, die zulässige Spannung entsprechend den Vorschriften herabgesetzt werden. Hierauf muß nicht nur bei den durch Kehlnähte angeschlossenen Gurtplatten, sondern auch beim Anschluß anderer Bauteile wie z. B. Querträger, Windverbandsknotenblechen usw. geachtet werden.

Zu welchen ungünstigen Stoßverbindungen man infolge der alten Vor-

schriften kam, sei nur an zwei Beispielen[8] (Fig. 8a und b) gezeigt. Um den Übergang von einer dünneren Gurtplatte zu einer dickeren herzustellen, wurde in beiden Fällen die dickere Platte so ausgeschnitten, daß die dünnere Platte mittels V-Naht mit der dickeren verschweißt, und der verbleibende Teil der dickeren Platte verwendet wurde, um durch Kehlnähte eine Verlaschung herzustellen. Nach den heutigen Anschauungen sind die dabei angewendeten V-Nähte in ihrer Dauerfestigkeit beeinträchtigt, weil sie nicht in der Wurzel nachgeschweißt werden konnten. Aus den vorher erörterten Gründen wird durch Kehlnähte die Überlaschung sogar noch verschlechtert, weil durch die Stirnkehlnähte die Dauerfestigkeit auch im Mutterwerkstoff vermindert wird. Auch

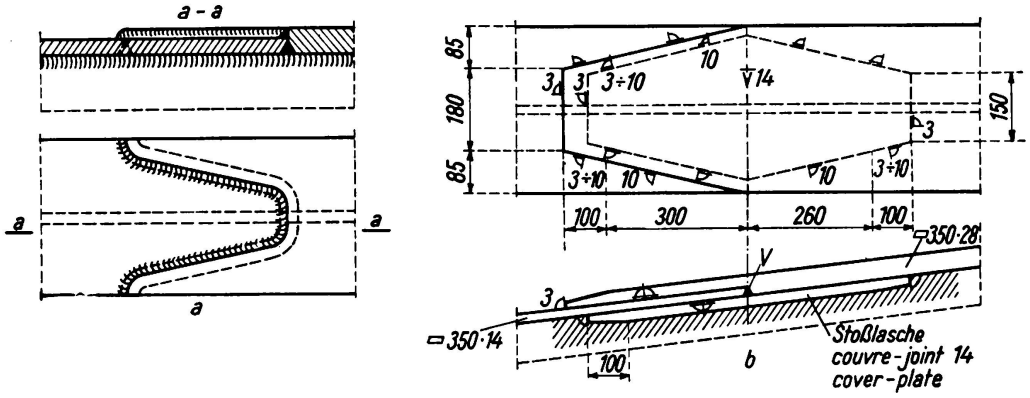


Fig. 8a/b.
Veraltete Gurtplattenstöße.

die Decklasche in Fig. 8b kann dies nicht ganz ausgleichen. Im Kuratoriumsbericht ist ein Fall erörtert, bei dem ein Stumpfstoß ohne aufgeschweißte beiderseitige Decklaschen höhere Dauerfestigkeiten ergab als mit solchen Decklaschen. Man wird also, wo es irgendwie geht, den reinen Stumpfstoß der Gurtplatten anwenden; im anderen Fall, wenn weitere Gurtplatten mittels Kehlnähten angeschlossen werden müssen, sind die Gurtplatten wie Fig. 9[9] (siehe Fig. 27, Referat III a 1) zeigt, abzuflachen. Die Stirnkehlnaht und der Beginn der Flankenkehlnähte müssen bearbeitet werden.

Was nun die Ausführung der Nähte selbst betrifft, so ergaben *Dauerfestigkeitsversuche mittels Pulsatormaschinen, daß bei allen Kehlnähten die Dauerfestigkeit erheblich sank, wenn nicht bis in die Wurzel geschweißt wurde.* Ein guter Nahteinbrand in der Wurzel ist daher besonders wichtig. Um dies zu erreichen und gleichzeitig den seitlichen Einbrand im Mutterwerkstoff nicht zu groß zu bekommen, soll der zu verwendende Schweißdraht nicht zu dick sein. Bei Verwendung zu dicker Schweißdrähte beim Beginn des Schweißens besteht die Gefahr, daß der Schweißer in dem Bestreben, ja in der Wurzel guten Einbrand zu bekommen, zu viel vom Mutterwerkstoff wegbrennt (s. Fig. 10). Bei Kehlnähten ist zu tiefer Einbrand in den Seitenwänden nicht gut, weil durch die Gefügeänderung eine gewisse Schwächung des Querschnitts eintritt, die bei

[8] *Schaper:* „Feste stählerne Brücken", Abb. 88 und 89.

[9] Die in *Kommerell,* Erläuterungen Teil II, S. 73 im Bild 27V angedeutete Bearbeitung ist nicht so gut und überholt.

dynamisch beanspruchten Teilen eine Herabminderung der Dauerfestigkeit zur Folge hat. Bei bis zu 20 mm dicken Bauteilen sollte man aber keine dünneren Drähte als 3 mm ø, bei dickeren Querschnitten als 20 mm Drähte nicht unter 4 mm ø verwenden. Die Stromstärke muß den zu verschweißenden Bauteilen angepaßt sein. Müssen dicke Querschnittsteile zusammengeschweißt werden — und dies gilt auch bei Stumpfnähten — so läuft man bei zu geringer Stromstärke wegen zu rascher Ableitung der Wärme, Gefahr, daß die Schweiße nicht gut in den Mutterwerkstoff einbrennt. Da aber die Stromstärke auch vom Schweißdrahtquerschnitt abhängt, so hat *Dr. Dörnen* mit Erfolg ▮ oder ▮ förmige Querschnitte der Schweißdrähte verwendet. Wichtig ist auch, daß der Mutterwerkstoff durchweg homogen ist und keine Doppelungen — wie dies hin und wieder bei hochsilizierten Stählen vorkommt — aufweist. Bei so fehlerhaftem Werkstoff ist es in vereinzelten Fällen schon vorgekommen, daß infolge der Schrumpfungen beim Schweißen die angeschweißten Teile sich innerhalb der Einbrandzone aus dem Mutterwerkstoff loslösten. Aus diesem Grunde muß auch von dem Schweißen alter Bauwerke aus Schweißeisen abgeraten werden.

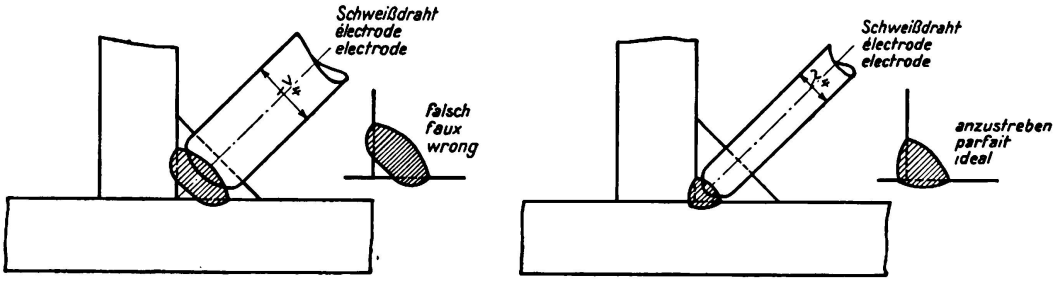


Fig. 10.

An anderer Stelle habe ich auf die Wichtigkeit des *guten Einbrands in der Wurzel bei Stumpfnähten* hingewiesen. Die Ursprungsfestigkeit in der Wurzel gut durchgeschweißter Stumpfnähte liegt bei Probestählen aus St. 37 bei $\rho_U = 18$ kg/mm². Sie kann bei Fehlern in der Wurzel bis auf $\rho_U = 12$ kg/mm² herabsinken. Wo es irgendwie geht, sollte daher nach dem Schweißen von einer Seite und Drehen des Werkstücks, die Wurzel vollständig von Schlacken gereinigt werden und so viel von der Schweiße und dem Mutterwerkstoff beseitigt werden, bis eine vollkommen blanke, fehlerfreie Oberfläche freigelegt ist. Dann erst darf von der Gegenseite die Wurzel verfüllt werden. Beim Beginn der Stumpfschweißung ist es im Gegensatz zu der Verschweißung bei Kehlnähten zwecklos, mit besonders dünnen Schweißdrähten vorzuschweißen. Ist nämlich die erste Schweißlage zu dünn, so ist es bei großer Dicke der zu verbindenden Querschnitte schon vorgekommen, daß die erste Schweißlage wegen der Schrumpfspannungen gerissen ist, eine solche Gefahr ist um so größer, je mehr die durch die Stumpfnaht zu verbindenden Teile dem Schrumpfen Widerstand leisten. Man tut daher gut, bei langen Bauteilen großen Querschnitts schon die erste Schweißlage auf Schrumpfrisse durch Röntgenstrahlen prüfen zu lassen. Es ist dies deshalb zweckmäßig, weil dann die Kosten für die Be-

seitigung solcher Fehler viel kleiner sind, als wenn die Fehler erst festgestellt werden, wenn die Schweißnaht schon vollständig verfüllt ist. Mit Vorteil hat man die beiden zu verschweißenden Bauteile durch Zugvorrichtungen oder Pressen während der Abkühlung der Schweißraupe einander genähert, weil hierdurch die Reibung der zum Schweißen aufgelegten Bauteile vermindert wird, so daß sie leichter dem Schrumpfen folgen können. Bei dicken Stumpfnähten hat es sich auch als zweckmäßig erwiesen, von *einer* Seite zunächst nur etwa ein Drittel zu verschweißen, dann nach Bloßlegen der Wurzel zunächst die Gegenseite zuzuschweißen und zum Schluß erst vollständig die andere Seite zu verfüllen (s. Fig. 11). Auch ein Erwärmen[10] der Bauteile bis zur Abkühlung der ersten Schweißlage vermag die Gefahr der Rißbildung zu vermindern. Zur Untersuchung der Stumpfnähte, selbst bei Dicken von 80 bis 100 mm, haben sich Röntgenstrahlen als ausgezeichnet erwiesen. Mittels der Röntgendurchleuchtung ist es gelungen, nach und nach vollständig einwandfreie Stumpfnähte zu erzielen, nachdem zuvor mehrmals die Beseitigung mangelhafter Schweißnähte verlangt wurde. Die Nachprüfung mittels Röntgenstrahlen hat sich als außerordentlich

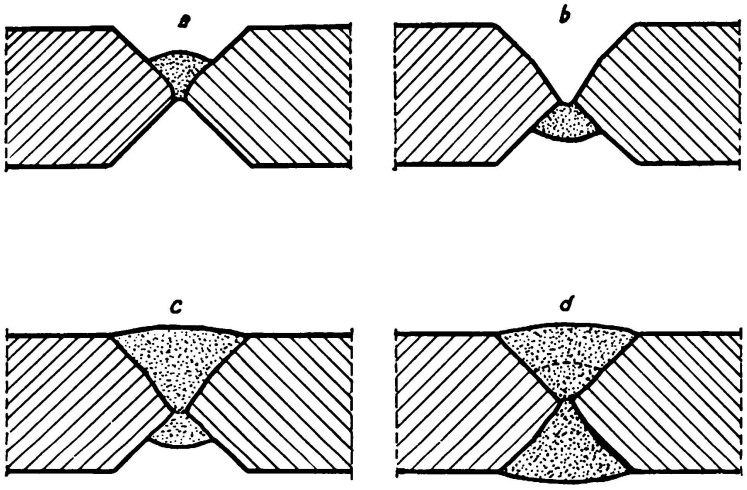


Fig. 11.

a) Schweißen von einer Seite.
b) Drehen und Freilegen der Wurzel. Röntgen.
c) Ausschweißen der Wurzel und verfüllen.
d) Drehen und verfüllen. Röntgen.

erzieherisch ausgewirkt, und man kann den Schweißern gut zeigen, auf was es dabei ankommt. Nachdem die Stahlbaufirmen sich — wie es bei Brückenschweißungen grundsätzlich verlangt wurde — eigene Röntgenapparate beschafft hatten, haben sich die Firmen, die sich anfänglich nur ungern die Apparate beschaffen wollten, von dem großen Wert und der Bedeutung der Durchstrahlung überzeugt und gehen immer mehr dazu über, grundsätzlich schon in der Werkstatt alle wichtigen Schweißnähte zu durchleuchten, damit sie nicht Gefahr laufen, erst am fertigen Bauwerk nach Durchleuchten der Schweißnähte durch Bedienstete des Auftraggebers schlechte Schweißnähte zurückgewiesen zu bekommen.

[10] Siehe *Bierett* „Stahlbau" 24. April 1936.

C. Aussteifungen.

Daß sowohl die Gurtungen aus Breitflachstählen als auch aus Sonderprofilen nach Fig. 5a, b, c sorgfältiger, nämlich *spaltlos*, gegeneinander abgestützt werden müssen, als bei genieteten Trägern, war von vornherein klar, da die dünne Naht zur Verbindung der schweren Gurtplatten mit dem verhältnismäßig dünnen Steg nicht so widerstandsfähig ist gegen seitliche Kräfte (insbesondere im Druckgurt) als die durch die Gurtwinkel erzielte gute Aussteifung. Auch verlangte man für die Stegblechaussteifungen kleinere Abstände als bei genieteten Bauwerken. Während man im Anfang die Aussteifungen unbedenklich an beide Gurtungen anschweißte, haben die Dauerfestigkeitsversuche mit Kehlnähten senkrecht zur Kraftrichtung und mit beginnenden oder endigenden Flankenkehlnähten später zu der Erkenntnis geführt, daß wegen der bedeutenden Herabsetzung der Dauerfestigkeit in solchen Fällen das Anschweißen der Aussteifungen und Trägeranschlüsse im Zuggurt im Brückenbau verboten werden müsse. Man half sich mit scharf eingepaßten Unterlagsplättchen (Fig. 12, siehe Fig. 12 V, Referat III a 1), die man nur mit den Aussteifungen selbst verschweißen darf. An Punkt A, von dem ab die Aussteifungen am Stegblech angeschweißt werden dürfen, darf die Biegespannung im Stegblech nicht größer als $\sigma = \alpha \cdot \sigma_{zul}$ sein.

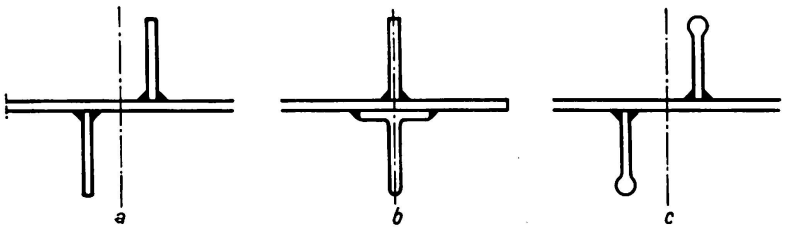


Fig. 13.

Die Stegblechaussteifungen[11] werden meist aus Flachstählen Fig. 13a, ⊥-Stählen (Fig. 13b) oder Wulststählen (Fig. 13c), manchmal auch aus ⊥-Stählen oder Schienen gebildet. Um eine Häufung der Schweißnähte am Stegblech zu vermeiden, versetzt man die Aussteifungen (Fig. 13a und c) oder man verwendet auf einer Seite Flachstähle, auf der anderen Seite ⊥- oder ⊤-Stähle.

Die Nähte zur Verbindung der Aussteifungen mit dem Stegblech sollen nicht dicker als notwendig sein. Bei kleinen Brücken genügt ein Kehlmaß a = 3 bis 4 mm. Wegen der Schrumfspannungen, die durch die Aussteifungen beim Aufschweißen ins Stegblech kommen, schweißt man meist die Aussteifungen auf die Stegbleche, ehe diese an die Gurtung angeschweißt werden.

D. Fahrbahnträger.

1. Fahrbahnlängsträger.

Die Fahrbahnlängsträger müssen an den Querträgeranschlüssen grundsätzlich durchschießende Platten bekommen. Diese Anordnung ist beim Anschweißen der Längsträger an die Querträger noch wichtiger als beim Nieten, denn die Schweißnähte, die ähnlich beansprucht werden wie auf Kopfabreißen be-

[11] Siehe *Schaper:* „Feste stählerne Brücken", S. 63.

anspruchte Niete sind gegen eine solche Beanspruchungsart noch empfindlicher als genietete Anschlüsse. Es treten dabei natürlich gewisse Einspannungsmomente auf, die — um eine umständliche Berechnung zu vermeiden — nach den Deutschen Vorschriften für Eisenbahnbrücken, wie folgt, zu berücksichtigen sind:

Tafel[12]

1	2	3	4
Nr.	Bezeichnung	$\gamma' \cdot M_0$	
		St 37	St 52
1	Feldmoment in den Endfeldern und an den Fahrbahnunterbrechungen	1,0 M_0	1,2 M_0
2	Feldmoment in den Mittelfeldern	0,8 M_0	1,1 M_0
3	Stützmoment an Zwischenlängsträgern	0,75 M_0	0,9 M_0

M_0 ist das größte Biegemoment bei einem auf zwei Stützen frei aufliegenden Fahrbahnlängsträger.

In den Beiwerten (γ') der Tafel, Spalten 3 und 4, ist die Dauerfestigkeit berücksichtigt.

Die durchschießenden Platten an den Fahrbahnlängsträgern sind mit den Werten der Tafel, Spalten 3 und 4, Zeile 3, zu berechnen.

Die Anschlüsse sind für einen gedachten Auflagerdruck
max $A' = 1{,}2\ (A_g + \varphi \cdot A_p)$ zu bemessen. Dabei ist $\gamma = 1$ zu setzen.

Da bei den durchschießenden Platten die zum Anschluß an die Obergurte der Fahrbahnlängsträger dienenden Kehlnähte als an den Querträgern unterbrochen zu betrachten sind (Beispiel siehe Fig. 14), so hat man es bei B und C mit beginnenden oder endigenden Kehlnähten zu tun, bei denen die zulässige Spannung entsprechend ermäßigt werden muß.

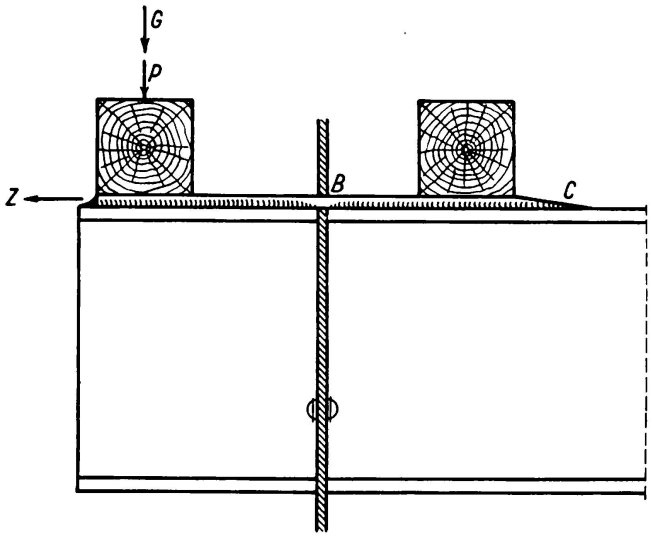


Fig. 14.

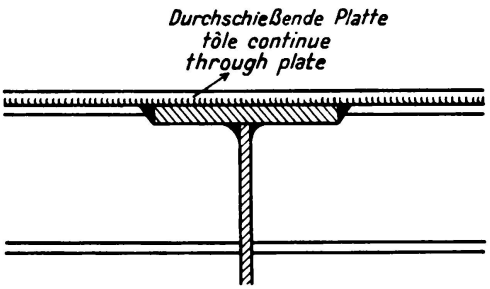


Fig. 15.

[12] Nähere Begründung siehe *Kommerell,* Erläuterungen Teil II, S. 61. Beispiele für die Berechnung siehe ebenda S. 107—117.

Liegt, wie in Fig. 15, die Oberkante der Fahrbahnlängsträger ebenso hoch wie diejenige des Querträgers, so dürfen die Längsträger mit den Querträgern durch Stumpfnähte und die durchschießenden Platten auch mit den Querträgern verschweißt werden. Namentlich bei den Stirnkehlnähten auf den Querträgern zur Verbindung der durchschießenden Platten mit den Querträgern sind ganz allmähliche Übergänge von den Nähten zum Blech zu schaffen (leichte Stirnkehlnähte).

Bei großen Brücken, bei denen die Fahrbahn erst auf der Baustelle eingebaut werden kann, geht man zweckmäßig so vor, daß zuerst der in der Brückenmitte oder in dessen Nähe liegende Querträger an die Hauptträger angeschlossen wird, dann werden die an diesen Querträger anzuschließende Längsträger angeschweißt und die durchschießenden Platten aufgebracht, sodann werden die folgenden Querträger an die fertig eingebauten Längsträger angeschweißt. Ist dies erledigt, dann erst werden diese Querträger an die Hauptträger angeschlossen. In dieser Weise wird bis zu den Endquerträgern fortgefahren, die letzten Endlängsträger werden erst auf der Baustelle auf die notwendige Länge abgelängt. Auf diese Weise entstehen möglichst wenig Schrumpfspannungen.

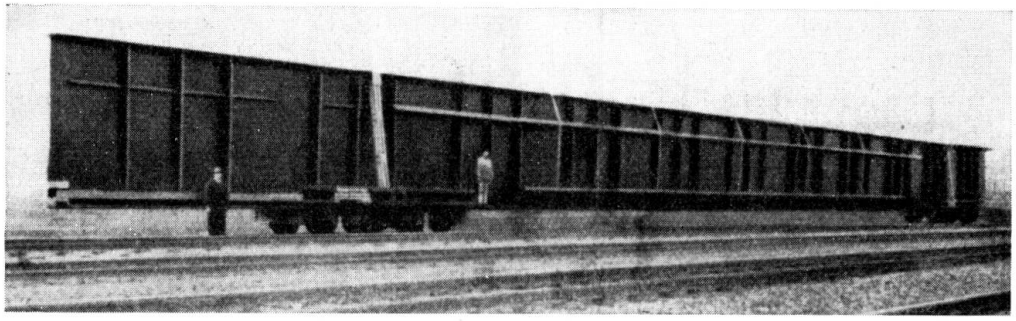


Fig. 16.

2. Querträger.

Für die Querträgeranschlüsse bei Eisenbahnbrücken gelten folgende Vorschriften:

Die Anschlüsse der Querträger an die Hauptträger sind so zu bemessen, daß ein Einspannmoment max M von mindestens 25 % des größten Feldmoments der Querträger aufgenommen werden kann.

Der Auflagerdruck der Querträger auf die Hauptträger ist nach der Formel

$$\max A' = 1{,}2 \cdot (A_g + \varphi \cdot A_p)$$

zu berechnen.

Das Einspannmoment des Querträgers am Hauptträger kann nicht größer sein als der Widerstand, den der Hauptträger dem Verdrillen infolge der Durchbiegung des Querträgers entgegenstellen kann. Um die etwas umständliche Berechnung nicht in jedem Fall durchführen zu müssen, wurden 25 % vorgeschrieben. Dieser Wert dürfte im allgemeinen ausreichen.[13]

[13] Beispiele zur Berechnung eines Querträgers und des Verdrillungsmoments siehe *Kommerell*, Erläuterungen Teil II, S. 117—124.

Bei Brücken,[14] deren Hauptträger in einem Stück zur Baustelle befördert werden — z. B. sind Träger mit 61,7 m Länge und 3,82 m Höhe auf der Bahn befördert worden (Fig. 16) — kann Baustellenschweißung dadurch vermieden werden, daß die Anschlußteile für die Querträger- oder Querrahmen bereits in der Werkstatt angeschweißt werden und die Zwischenstücke auf der Baustelle mit genieteten Stößen eingefügt werden (Fig. 17). Müssen alle Stöße auf der Baustelle geschweißt werden, so sind die Querträgerstöße zweckmäßig in die Nähe der Momentennullpunkte zu verlegen. Auch hierbei muß durch Beiziehen dafür gesorgt werden, daß die Schrumpfspannungen sich nicht schädlich auswirken können.

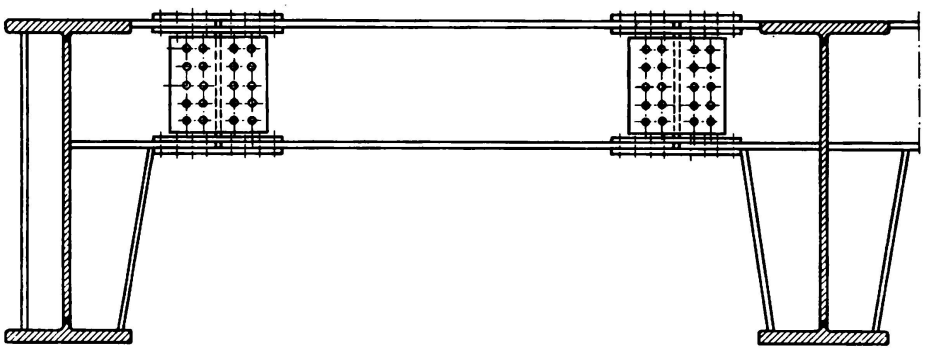
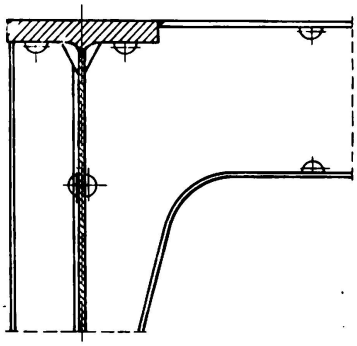


Fig. 17.

Querträger und Querrahmen dürfen an Gurtungen, die nur Druck bekommen, mit Stumpfnaht angeschweißt werden (s. Fig. 18). In Wechselgurten — wie sie über den Stützen durchlaufender Träger vorkommen können — muß bei einem solchen Anschweißen die zulässige Spannung entsprechend den Vorschriften herabgemindert werden.

Trotz Ausklinkungen sind, wie in Fig. 19 angedeutet, schon Risse entstanden. Man wird also die Stumpfschweißung vorziehen.

Fig. 18.



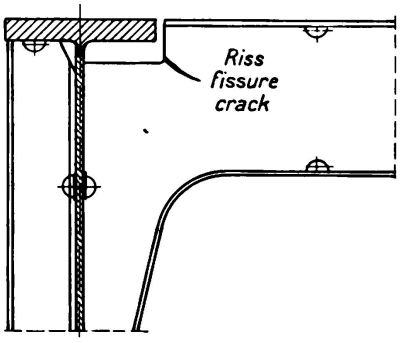


Fig. 19.

E. Wind-, Quer-, Brems- und Schlingerverbände.

Für solche Verbände gelten bei uns folgende Vorschriften:

1. Diese Verbände sind nach denselben Grundsätzen, wie bei genieteten Brücken zu berechnen. Insbesondere sind die Abmessungen der Füllstäbe

[14] Siehe *Schächterle:* Der geschweißte Vollwandträger, im „Bauingenieur", 17. April 1936, S. 135 und 136.

ohne Berücksichtigung wechselnder oder schwellender Beanspruchung zu berechnen. Die zulässigen Spannungen sind:

bei St. 37 $\sigma_{zul} = 1000\ kg/cm^2$
bei St. 52 $\sigma_{zul} = 1500\ kg/cm^2$

2. Bei den Anschlüssen der Füllstäbe an die Knotenbleche darf die errechnete Spannung in den Nähten höchstens

$$\sigma = \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{S}{F} \leqq \sigma_{zul}$$

sein, wo

bei Stümpfnähten . . . . . $\alpha = 0{,}8$
bei Stirnkehlnähten oder beim Beginn von Flankenkehlnähten . . . . . $\alpha = 0{,}65$ bei St. 37
und $\alpha = 0{,}55$ bei St. 52
zu setzen ist.

Wechselnde und schwellende Beanspruchungen werden, wie bei genieteten Brücken, einfach dadurch bei den Verbänden berücksichtigt, daß die zulässige Spannung auf $\sigma_{zul} = 1000\ kg/cm^2$ bei St. 37 und $\sigma_{zul} = 1500\ kg/cm^2$ bei St. 52 herabgesetzt wird.

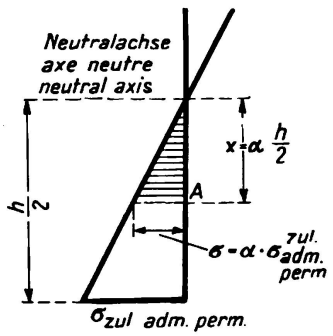
3. Werden die Knotenbleche an den Gurtungen angeschweißt, so ist zu beachten, daß die Spannungen in den Gurtungen entsprechend den α-Werten herabgesetzt werden müssen.

In manchen Fällen wird man die Knotenbleche der Verbände lieber an die Gurtungen annieten (Nietschwächung im Zuggurt!). Würde man die Füllstäbe an die Knotenbleche anschweißen, so würden wegen der auftretenden Schrumpfspannungen die Spannungen unklar und unübersichtlich, es empfiehlt sich daher, die Füllstäbe der Verbände an die Knotenbleche anzunieten.

„Irgendwelche Bauteile z. B. Aussteifungen oder Trägeranschlüsse, dürfen erst von da ab durch Kehlnähte an das Stegblech im Zugteil angeschlossen werden, wo die Biegespannung im Stegblech höchstens

$$\sigma = \alpha \cdot \sigma_{zul}$$ ist (Fig. 20).

Fig. 20.



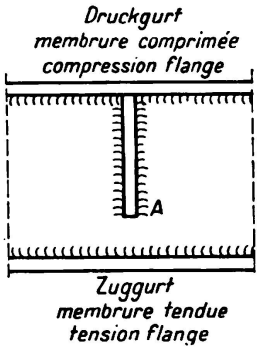


Fig. 21.

Der Abstand x von der Neutralachse wird

$$x = \frac{h}{2} \cdot \frac{\alpha \cdot \sigma_{zul}}{\sigma_{zul}} = \alpha \cdot \frac{h}{2}.$$

Der Wert α ergibt sich aus den Tafeln 2V und 3V, Zeilen 14 und 16 der Vorschriften."

Diese Vorschrift ist vollständig neu und ist sehr wichtig. Wohl hat man gewußt,[15] daß die Aussteifungen nicht im Zuggurt angeschweißt werden dürfen. Ein Dauerfestigkeitsversuch in der Staatlichen Materialprüfungsansalt in Dahlem mit einem geschweißten Blechträger, bei dem die Aussteifung nur etwas in die Zugzone hinein, also nicht ganz herabgeführt war (Fig. 21), hat gezeigt, daß hier Vorsicht am Platze ist, denn der Dauerbruch ging von Punkt A aus (beginnende Kehlnaht!).

Die im Arbeitsausschuß vertretenen Materialprüfanstalten hielten es für unbedenklich, daß die Aussteifungen oder Trägeranschlüsse im Druckgurt mit der Gurtung verschweißt werden. Dies ist sehr wichtig, weil sonst bei hohen Trägern und beim Auftreten großer Seitenkräfte, wie z. B. bei offenen Brücken, die bauliche Durchbildung am Anschluß der Gurtplatten an den Steg umständlich geworden wäre. Man hätte in vielen Fällen keilförmige Plättchen zwischen Gurtung und Aussteifung verwenden müssen.

F. Musterentwurf einer geschweißten, vollwandigen Eisenbahnbrücke.

Nachdem die neuen Reichsbahnvorschriften für geschweißte, vollwandige Eisenbahnbrücken über ein halbes Jahr eingeführt und eine größere Anzahl von Brücken nach diesen Vorschriften ausgeführt sind, werden z. Z., ähnlich wie für genietete Brücken bereits geschehen, auch Musterentwürfe für geschweißte, *vollwandige* Eisenbahnbrücken aufgestellt. In Fig. 22 werden die wichtigsten Teile eines zwar noch nicht genehmigten Entwurfs für eine vollwandige Brücke mit unbeschränkter Bauhöhe und durchgehender Bettung von 18 m Stützweite gezeigt. Die Trägerhöhe beträgt etwa $^1/_{10}$ der Stützweite, der Hauptträgerabstand 2,50 m und der Querträgerabstand bei 7 Feldern $\approx$ 2,57 m. Die Hauptträgergurte gehen in einer Dicke ungestoßen durch. Auf die Möglichkeit, bei Verwendung von Wulstflachstählen die Stumpfnaht zwischen den Gurten und dem Stegblech gut röntgen zu können, ist bereits hingewiesen. Die Obergurte der rahmenartig ausgebildeten Querträger sind mit den Gurten der Hauptträger durch Stumpfnähte verbunden. Zwischen den Hauptträgeruntergurten (Zuggurten) und den Querträgern sind ebenso wie zwischen den Hauptträgeruntergurten und den Aussteifungen Plättchen vorgesehen, die nach Herstellung der Schweißung scharf einzupassen sind. Die Aussteifungen der Hauptträger bestehen an den Querträgeranschlüssen aus I P — 16 und in den Feldmitten aus geteilten I — 34 und Flachstählen. Der Entwurf ist nach den neuen Vorschriften berechnet und unter Berücksichtigung der bisherigen Erfahrungen durchgebildet worden.

III. Verstärkung alter genieteter Fachwerkbrücken durch Schweißung.

A. Stoßverstärkung eines Untergurtstabes.

Die im Jahre 1932 ausgeführte Schweißung bezweckte die unzureichend erschienene Deckung des Stegblechstoßes durch Aufschweißen von Verstärkungs-

[15] *Kommerell,* Erläuterungen zu den Vorschriften für geschweißte Stahlbauten, 4. Auflage, I. Teil: Hochbauten, S. 51, Berlin 1934, Wilhelm Ernst & Sohn.

laschen — 50.15 zu verstärken. Diese Verstärkung entspricht nicht mehr den aus Dauerfestigkeitsversuchen gewonnenen Erkenntnissen. Es ist zu befürchten, daß wegen der beginnenden und endigenden Flankenkehlnähte und der Stirn-

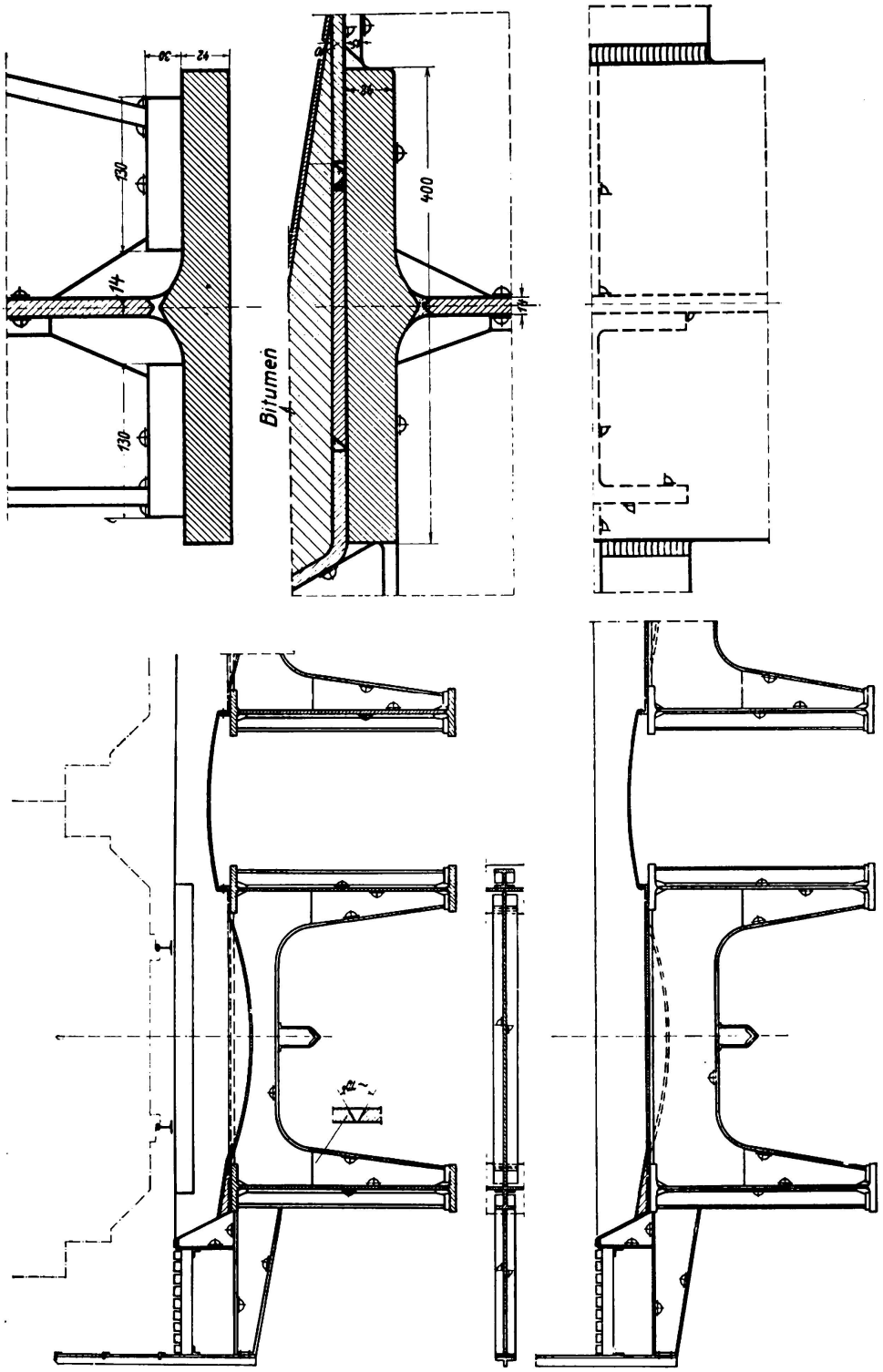


Fig. 22.

kehlnähte, die quer zur Kraftrichtung liegen, nach einiger Zeit Dauerbrüche an den Enden der Verstärkungslaschen und zwar im unverstärkten Untergurtstab eintreten. Jedenfalls kann nicht darauf gerechnet werden, daß wie bei einer

neuen Brücke $2 \cdot 10^6$ Lastwechsel bei voller Ausnutzung der zulässigen Spannungen erreicht werden. Die aufgeschweißten Verstärkungslaschen müßten nach den heutigen Erfahrungen bis in die Fachwerkknotenpunkte hineingeführt werden. Etwas verbessert könnte die vorgenommene Verstärkung dadurch werden, daß die Enden der Flankenkehlnähte und die Stirnkehlnähte zur Erzielung eines allmählichen Übergangs zur Blechebene bearbeitet werden. Aber auch dann kann günstigenfalls die Lebensdauer der Brücke nur um einige Jahre verlängert werden. (Fig. 23).

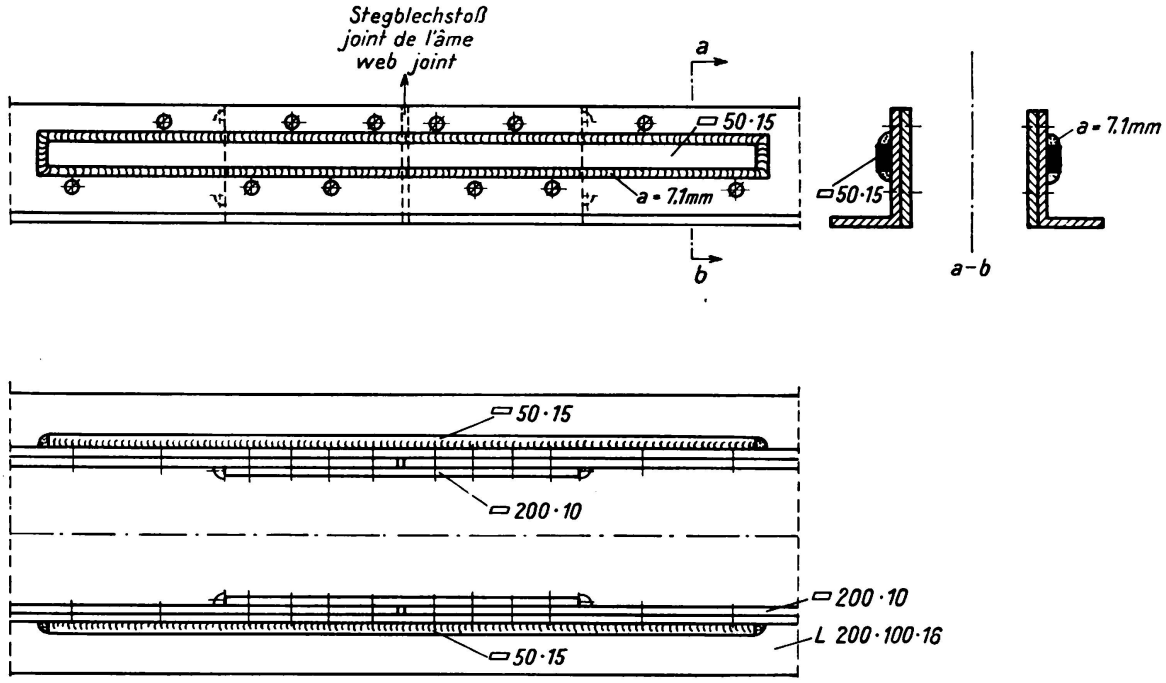


Fig. 23.

B. Verstärkung der Pfosten einer Fachwerkbrücke.

Im Jahre 1931 wurden sämtliche Pfosten der Brücke zur Erzielung größerer Sicherheit gegen seitliches Ausweichen der Druckgurte der oben offenen Brücke durch aufgeschweißte Platten — 180 · 14 verstärkt. Im allgemeinen enden diese Verstärkungsplatten etwa 10 cm unterhalb der Unterkante der 14 mm dicken Obergurtknotenbleche (Fig. 24). Die Verstärkungsplatten sind s. Z. mit beiderseitigen unterbrochenen Flankenkehlnähten, mit in den Zwischenräumen liegenden dünnen Dichtungsnähten und einer Dichtungsnaht vor dem Stirnende aufgeschweißt worden. An diesen Verstärkungen haben sich keine Schäden gezeigt.

Bei zwei Pfosten kamen die sonst gleich langen Verstärkungsplatten — 180 · 14 nahe an die Unterkanten der hier größeren Knotenbleche heran (Fig. 25 Punkt A). Da nun keine Möglichkeit mehr bestand, wie sonst eine dünne Kehlnaht zu schweißen, wurde die so entstandene Fuge A einfach überschweißt (Fig. 26). An einer Stelle ist diese Überschweißungsnaht eingerissen.

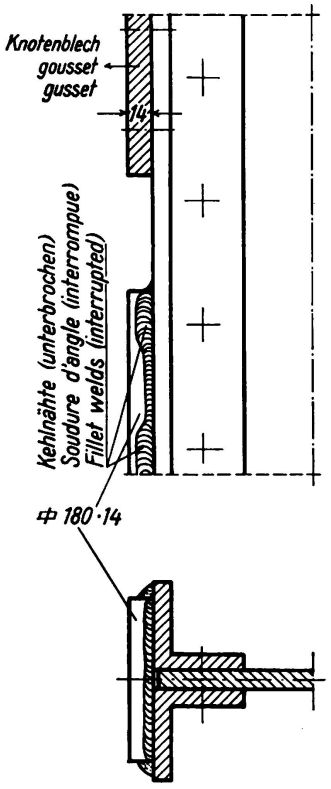
Da hier die Verstärkungsplatte — 180 · 14 mit dem Knotenblech verbunden wurde, gingen auch Spannungen aus der Verstärkungsplatte unmittelbar ins Knotenblech über. Durch die Kerbwirkung der Fuge unter der Überschweißung

ist wohl infolge der dynamischen Beanspruchung der Anriß in der Naht entstanden.[16])

Wenn schon die Verstärkungsplatte mit dem Knotenblech verschweißt werden sollte, so hätten zur Herstellung einer ordnungsgemäßen V-Naht die Knotenblechkante schräg abgearbeitet und auch das Ende der Verstärkungsplatte für eine V-Naht vorbereitet werden müssen (Fig. 27).

Die Schadnaht mußte ausgestemmt und durch eine ordnungsgemäße V-Naht ersetzt werden.

Fig. 24.



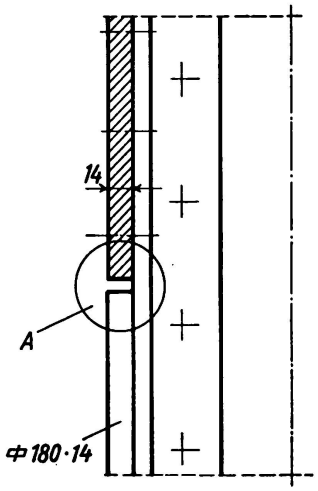


Fig. 25.

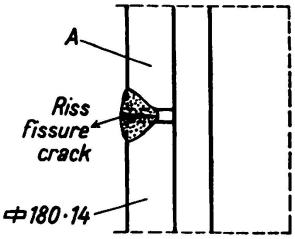
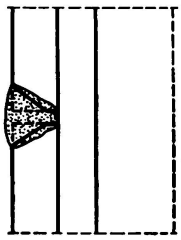


Fig. 26



Ftg. 27.

C. Verstärkung der Streben einer Fachwerkbrücke.

Wie wichtig es ist, bei Stabverstärkungen für eine einwandfreie Überleitung der von den Verstärkungsteilen aufzunehmenden Kräfte in die Knotenpunkte zu sorgen, zeigt folgendes Beispiel:

Die in Fig. 28 dargestellten Streben einer Fachwerkbrücke wurden im Winter 1930/31 durch Schweißung verstärkt. Erfahrungen lagen damals noch nicht vor, die ersten Schweißvorschriften kamen im Mai 1931 heraus. Die beiderseits auf die Stege der ⊏-Eisen aufgeschweißten Verstärkungsflacheisen A endeten hinter dem ersten, vorher versenkten Niet des Stabanschlusses (Fig. 28). Den Stabansschluß selbst glaubte man nach Ausweis der Rechnung genügend verstärkt zu haben, indem man das Ende des Stabes und die Beiwinkel mittels

[16] Über die ungünstige Wirkung von Kerben, siehe *Kommerell*, Erläuterungen zu den Vorschriften für geschweißte Stahlbauten, I. Teil, 1934, S. 39, Punkt c und Bilder 13 und 14.

Kehlnähten mit dem Knotenblech verband und auch die abstehenden Schenkel der Beiwinkel mit den abstehenden Flanschen der [-Eisen verschweißte.

Dreivierteljahr nach der Verstärkung riß, wie in Fig. 28 eingetragen, der Steg eines [-Eisens unmittelbar vor der Stirnkehlnaht des Verstärkungsflacheisens.

Als Ursachen des Dauerbruchs sind anzusehen:

a) *Spannungshäufung* im gerissenen [-Eisenquerschnitt, weil die Kräfte aus dem Verstärkungsflacheisen bei dieser Lösung erst durch den schon unter Spannung stehenden [-Eisensteg anstatt unmittelbar auf das Knotenblech geleitet wurden.

b) *Kerbwirkung der Stirnkehlnaht,* verstärkt durch die im gleichen Querschnitt liegenden Nietschwächungen des [-Eisens.

c) *Hohe Schrumpfspannungen.* Da der Stab während des Schweißens an beiden Enden fest vernietet ist, so entstehen hohe Schrumpfspannungen beim Abkühlen der Schweißnähte, denen zwar durch Erwärmen des Stabes während des Schweißens begegnet werden könnte. Doch ist hierbei — da ja der Stab unter Spannung durch das Eigengewicht der Brücke steht — Vorsicht am Platze. Die durch die Schweißung entstehenden Schrumpfspannungen lassen sich kaum berechnen, da im plastischen Bereich wegen Änderung des Elastizitätsmoduls das *Hook*'sche Gesetz nicht mehr gilt. Die tatsächlichen Spannungsverhältnisse werden daher sehr unklar und unsicher.

Die Anschlüsse der übrigen Schrägstäbe der Brücke wurden sogleich mit Behebung des erläuterten Schadenfalles, wie im Bild 29 gezeigt, nachträglich derart verbessert, daß die ursprünglichen Verstärkungen mittels hochkantig gestellten Flacheisenlaschen B mit den Knotenblechen verbunden wurden.

Nach einer weiteren Betriebsdauer von 4 Jahren und 5 Monaten, im Frühjahr 1936, zeigten sich fast gleichzeitig bei 5 Schrägstäben Risse wie in Fig. 29 dargestellt, die von einer Ecke der [-Eisen, die zwischen abgearbeitetem [-Eisenflansch und dem stehen gebliebenen [-Eisensteg gebildet wird, zu dem nächstgelegenen Nietloch führten.

Diese Risse sind auf Kerbwirkung zurückzuführen, da an dieser Stelle die Kräfte aus dem abstehenden [-Eisenflansch in das Stegblech abgeleitet werden. Es tritt klar hervor, daß beim Schweißen die Kerbgefahr viel größer ist als beim Nieten, denn erst durch die Verstärkungsschweißung wurden sowohl Beiwinkel als auch [-Eisen mit dem Knotenblech vollkommen starr verbunden. Hätte man von vornherein die Verstärkungsteile bis auf die Knotenbleche heraufgeführt, und auch die Verschweißung der Beiwinkel und der Stabköpfe unterlassen, so wären möglicherweise Schäden vermieden worden.

Nach dem heutigen Stande der Schweißtechnik würde man besser die beiden][-Eisen der Streben durch einen Steg verbinden, der, ohne die vorhandene Nietung der Stabanschlüsse wesentlich zu beeinflussen, leicht bis weit in den Knotenpunkt hineingeführt werden kann.

Bemerkenswert ist, daß sich die Kerbrisse nach Fig. 28 schon nach drei-

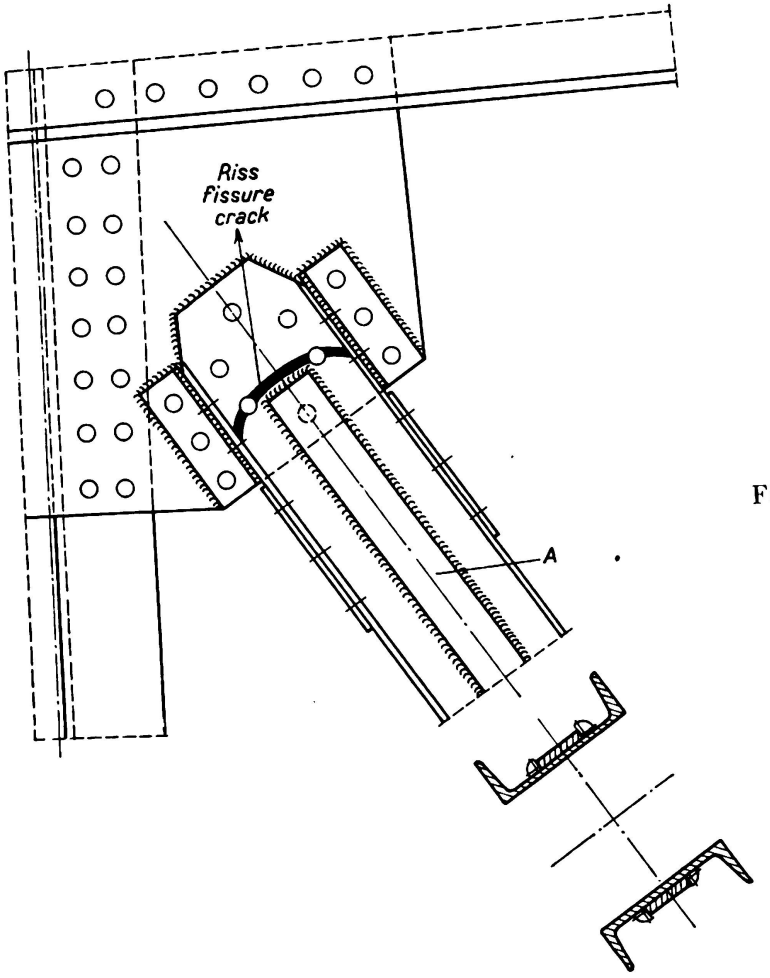


Fig. 28.

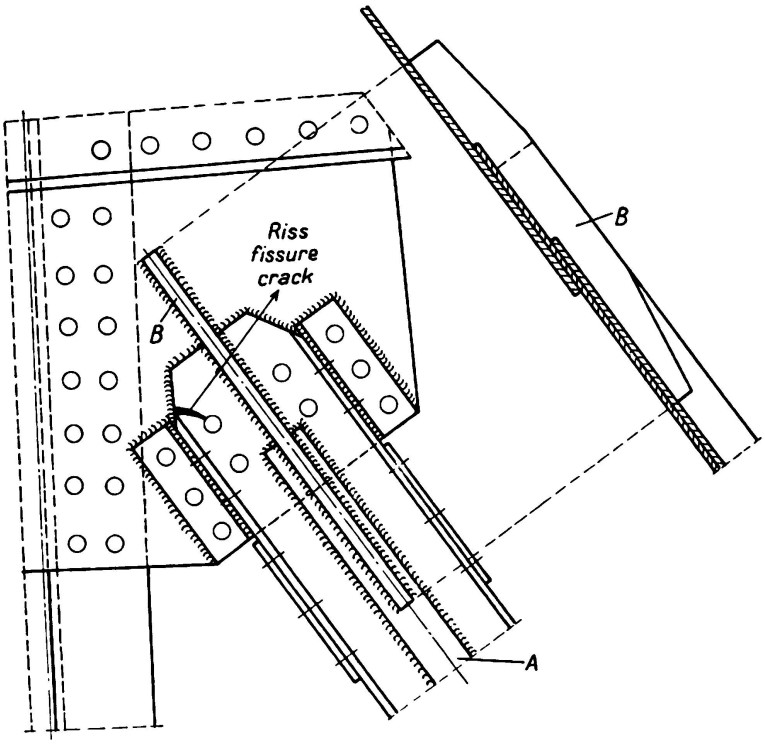


Fig. 29.

vierteljähriger Betriebsdauer, die Kerbrisse nach Fig. 29 erst nach einer solchen von 4 Jahren und 5 Monaten einstellten.

Es zeigt sich also, daß *bei Verstärkung genieteter Brücken durch Schweißung große Vorsicht am Platze ist.* Klarer würden die Verhältnisse, wenn die Brücke vor dem Schweißen abgestützt und die Verbindung des Stabes, wenigstens an einem Knotenpunkt, bis zur völligen Abkühlung gelöst würde. Damit geht allerdings der erhoffte Hauptvorteil beim Verstärken durch Schweißen verloren.

D. Aussteifung schlaffer Schrägstäbe durch Schweißung.

An einer älteren genieteten Brücke wurden die aus zwei Flacheisen bestehenden Zugstreben durch Schweißung zu steifen Stäben verstärkt. Bei der in den Fig. 30 und 31 gezeigten Brücke wurden zwischen die Flacheisen der Zugstreben Stegbleche eingeschweißt, aus denen zur Gewichtsersparnis bereits vor dem Schweißen Öffnungen herausgeschnitten waren. [Es muß hierbei darauf

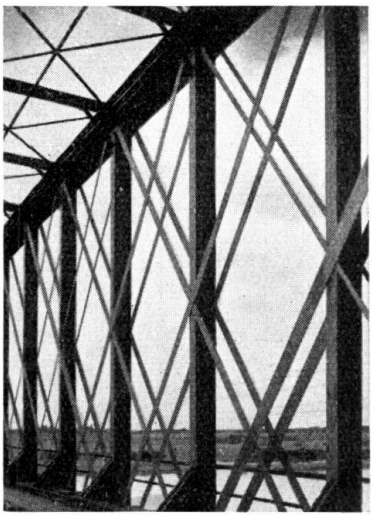


Fig. 30.

Fig. 31.

geachtet werden, daß die Versteifungsstege möglichst weit in die Knotenpunkte hineingeführt und die dort endenden Flankenkehlnähte zur Herabminderung der Kerbgefahr sorgfältig bearbeitet werden (Allmählicher Übergang)]. Durch das Einschweißen der Verstärkungsteile haben sich die ursprünglich schlaffen Diagonalen zusammengezogen und wurden erfreulicherweise gespannt. Trotzdem bleibt die Verstärkung ein Notbehelf, um die Lebensdauer der Brücke wenigstens für einige Jahre zu verlängern. Hier gilt bezüglich der unklaren Spannungsverhältnisse das im vorhergehenden Beispiel Gesagte.

In Fig. 32 ist dargestellt, wie bei einer anderen älteren Brücke die Flacheisenstreben durch Einnieten von ⊏-Eisen verstärkt wurden. Die Schweißung ist nur zur Verstärkung des Nietanschlusses im Knotenpunkt verwendet worden, da das Knotenblech bereits reichlich durch Nietbohrungen geschwächt und ein Weiterführen des ⊏-Eisens in den Knotenpunkt nicht möglich war. Die Arbeiten wurden im Jahre 1931 ausgeführt. Man hielt, damals noch ohne praktische und Versuchserfahrungen, diese Lösung für angängig. Nach den heutigen Er-

kenntnissen dürfen sowohl die vorhandenen Zugstreben als auch deren Anschlüsse nicht noch zusätzlich durch den Schweißanschluß des Verstärkungsteils beansprucht werden (Schäden siehe unter C,). Der Verstärkungsteil, hier ein ⊏-Eisen, muß unmittelbar an das Knotenblech angeschlossen werden, die Futterbleche müssen vor Inanspruchnahme durch den Anschluß bereits angeschlossen sein. Wenn auch noch keine Schäden aufgetreten sind, so ist doch anzunehmen, daß infolge von Spannungshäufungen und Kerbwirkung durch die Stirnkehlnähte die Lebensdauer der Brücke eine beschränkte ist.

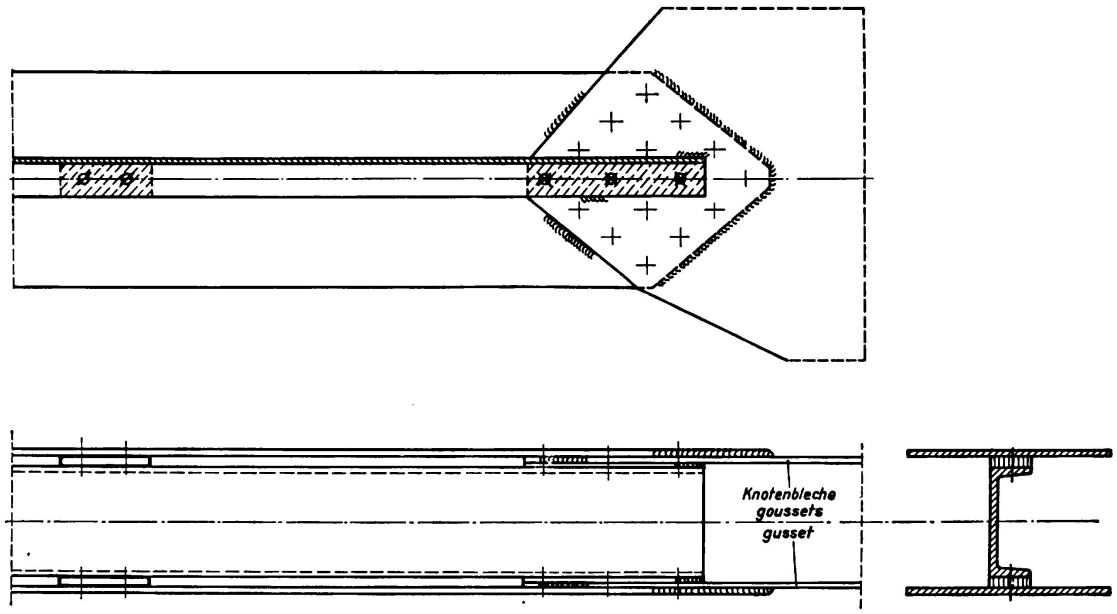


Fig. 32.