

Ausbildung und Herstellung geschweisster Bauten

Autor(en): **Bühler, A.**

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-2693>

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 b 2

Ausbildung und Herstellung geschweißter Bauten.

Projet et exécution des ouvrages soudés.

Design and Execution of Welded Structures.

A. Bühler,

Sektionschef für Brückenbau S.B.B., Bern.

I. Wesen und Messung der Wärme- und Schrumpfspannungen.

1. *Das Wesen der Wärme- und Schrumpfspannungen.*

Bei der Ausbildung und Herstellung geschweißter Bauten beanspruchen die durch den Schweißvorgang erzeugten Wärmespannungen und die in der Folge durch die Abkühlung entstehenden Schrumpfspannungen besondere Aufmerksamkeit. Beim Schweißen einer Naht muß örtlich eine verhältnismäßig große Wärmemenge zugeführt werden, damit die zu schmelzenden Teile des Baustoffes und der Schweißdrähte sich verbinden.¹

Beim Erwärmen dehnt sich der die Naht umgebende Baustoff aus, während der weiter abliegende, eher kühl bleibende Baustoff die Ausdehnungsvorgänge behindert. In der Nähe der Naht entsteht daher eine Druckbeanspruchung und Stauchung des Baustoffes, begünstigt durch die Erhitzung, während der übrig bleibende Querschnitt eines Stabes Biegungs- und Zugspannungen erleidet und in Grenzfällen allenfalls sogar gereckt werden kann.

Beim Abkühlen einer heißen Naht und des sie umgebenden Baustoffes leisten die weiter abliegenden, kühleren Stabteile nach Rückgang der Biegungs- und Zugspannungen nunmehr entgegengesetzten Widerstand, so daß im fertigen Stab die Nahtzone schließlich in der Hauptsache unter Zug, die Restzone dagegen unter entsprechenden Druck zu stehen kommt. Durch exzentrische Lage einer Naht in bezug auf die Stabaxe oder durch die stets vorkommenden ungleichen Erwärmungen können sich beträchtliche Verschiedenheiten sowie Störungen und Änderungen in den Spannungsbildern ergeben. Von einer linearen Spannungsverteilung kann nicht mehr die Rede sein, besonders in der Naht und ihrer Umgebung.²

Ferner werden in der Naht selbst und bei den Übergängen von den Nahtzonen zum Baustoff bleibende Formänderungen auftreten. Teile des Baustoffes werden gestaucht und hernach wieder gereckt. Die beim Schweißen auftretenden, oft

¹ Wörtmann: Schweiz. Bauzeitung 5. XI. 1932. Übertragene Wärmemenge 1150 k cal/kg Schweiß; sie muß aber abhängig sein von der Anzahl Schweißlagen und der Masse der zu verschweißenden Teile.

² Bierett: Versuche zur Ermittlung von Schrumpfspannungen. Z. V. d. I. 9. VI. 34.

erheblichen Verformungen der Stabteile beweisen das Eintreten großer innerer Spannungen.³

Dieses Bild bleibt im allgemeinen dasselbe, wenn einzelne Teile zu Trägern und einzelne Stäbe zu Fachwerken vereinigt werden. Es kommen aber im letzteren Falle zu den erwähnten inneren Spannungen noch weitere Spannungen dazu, die sich aus der gegenseitigen Behinderung der Längenänderungen der Träger und Stäbe entwickeln. Dieser Umstand ist besonders bei der Verstärkung von Brücken zu beachten.

Es ist klar, daß sich bei einer solchen Sachlage die Wärmespannungen und die sich hernach entwickelnden Schrumpfspannungen nur annähernd bestimmen lassen und zwar auch aus dem Grunde, weil die Formänderungen zum Teil im

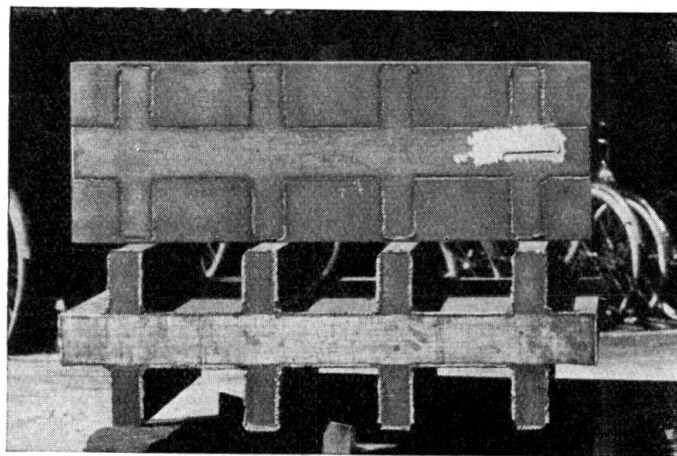


Fig. 1.

Mißlungener Versuch des Aufschweißens einer Schienenstahlplatte auf St. 37. Nach dem Erkalten brachen die Schweißnähte aus dem hochgeköhlten Stahl aus.

Gebiete der Plastizität liegen. Es ist daher nicht überraschend, daß die beim Schweißen zur Verwendung gelangenden Baustoffe große Dehnungsfähigkeit haben müssen, wenn Risse vermieden werden wollen (Fig. 1).

Allenfalls können die Bauteile nach dem Schweißen mehr oder weniger erhitzt oder ausgeglüht werden, mit nachfolgendem langsamem Erkalten, um die Spannungen zu vermindern oder auszulöschen. Doch sind diese beiden Verfahren nicht oft anwendbar und bei den kleineren Werkstätten, die sich in erster Linie der Schweißverfahren bedienen, meistens undurchführbar⁴. Sind es doch gerade die kleinen und mittleren Unternehmungen, die sich am meisten des elektrischen Schweißens bedienen, weil die Vorrichtungen dazu nicht sehr kostspielig und stets rasch bereit sind.

Unter Umständen kann bei dicken Werkstücken das Schweißen in warmem

³ Reinhold und Heller: Die Schrumpferscheinungen an der elektrisch geschweißten Schlachthofbrücke in Dresden. Bautechnik 21. X. 1932.

⁴ Die bis zu 45 mm starken Rohre der Druckleitung des Etzelwerkes werden geglüht bei einer Temperatur von etwa 625°, die während 26 Stunden konstant zu halten ist. Dadurch sollen die durch das Schweißen verursachten inneren Spannungen und die ungünstige Gußstruktur der Schweißnähte (Widmannstädt'sches Gefüge) zum Verschwinden gebracht werden. Auch die Rundnähte, die auf dem Bauplatz herzustellen sind, werden ausgeglüht.

Zustände (100° bis 300°) von großem Vorteil sein.⁵ Wenn das Erwärmen für die Arbeiter nicht mit Unzuträglichkeiten verbunden wäre, dürfte das Schweißen im warmen Zustande die Schrumpfspannungen erheblich herabzusetzen vermögen.

2. Vorrichtungen zur Messung der Wärme- und Schrumpfspannungen.

Die Messung der *Wärmespannungen* ist meines Wissens bis anhin noch selten durchgeführt worden, weil es schwierig ist, in der Nähe der Schweißstelle mit feinen Meßvorrichtungen zu arbeiten und weil infolge des Wärmeaustausches mit der Luft und des Wärmeflusses im Stabe selbst der Spannungszustand sich fortwährend und rasch ändert. Immerhin könnten an den zu schweißenden Stäben mittels Dehnungsmessern die sich abspielenden Vorgänge einigermaßen verfolgt werden.

Wesentlich für den Entwerfenden eines Bauwerkes sind indessen die nach dem Wärmeausgleich mit der Umgebung verbleibenden Schrumpfspannungen. Diese können auf verschiedenen Wegen annähernd festgestellt werden, nämlich durch:

- a) Messung der Abstandänderung zweier Marken vor und nach dem Schweißvorgang,
- b) Anbohrungen und Messung der dabei entstehenden Dehnungen in dem umgebenden Baustoff (Mathar)⁶,
- c) Messung der Gitterabstände durch das Röntgenverfahren,⁷
- d) Zerlegen des Prüfstückes und Messung der Dehnungen der Einzelstücke,
- e) Lackierverfahren (vernis adhérent fragile).⁸

Die Verfahren a, b, c und e können als zerstörungsfrei gelten, während beim Verfahren d das Prüfstück unbrauchbar wird. Das Verfahren c ist überdies noch unentwickelt und das Verfahren e ist nur für diejenigen Zonen anwendbar, die nicht stark erhitzt werden.

Wir selbst haben uns des Verfahrens a bedient, das einfach ist und auch von Leuten, die im Messen weniger geübt sind, benützt werden kann.

Keines dieser Verfahren dürfte vollkommen sein; allen haftet der Nachteil an, daß sie über die im Innern eines Stabes verbleibenden Schrumpfspannungen keinen zuverlässigen Schluß zulassen. Selbst beim Zerlegen eines Prüfstückes kann voraussichtlich trotz eingehender Vorkehrungen mit Sicherheit auf die Größe der inneren Spannungen nicht genau geschlossen werden. Die Meßverfahren bleiben daher vorderhand in der Hauptsache auf die Feststellung der Dehnungsverhältnisse an der Oberfläche eines Prüfstückes beschränkt, werden aber dennoch für die praktischen Zwecke guten Aufschluß zu geben vermögen.

Für die Messung der Schrumpfspannungen muß ein Dehnungsmesser gewählt werden, der nicht wie die üblichen Dehnungsmesser während der Verformung am Bauteil belassen, sondern jeweilen vor und nach der Verformung am zu messenden Oberflächenfeld angesetzt wird.

⁵ Mitteilungen der Escher-Wyß A.G., Nr. 5, Mai 1928.

⁶ Müllenhoff: Eigenspannungen in Schweißnähten, Elektroschweißung Heft 6, 1935.

⁷ Röntgenographische Feinuntersuchungen an Brückentragwerken, Schweizerische Bauzeitung, 12. I. 1935.

⁸ Verfahren von Portevin, Génie civil 8. II. 1934, Maybach, Motorenfabrik, Friedrichshafen.

Das Belassen des Dehnungsmessers am Bauteil während dessen Verformung kommt deshalb in der Regel nicht in Frage, weil dies zu lange dauern würde und die Anzeige des Dehnungsmessers während des Schweißens am Bauteil durch Hitze, Schläge oder Unachtsamkeit des Schweißers gefälscht würde und der Dehnungsmesser selbst Schaden leiden könnte.

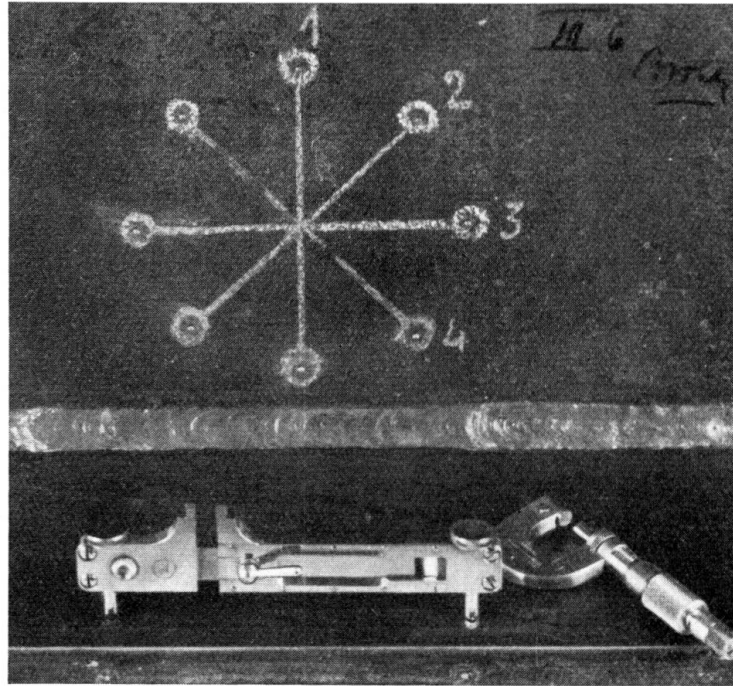


Fig. 2.

Setzdehnungsmesser System Meyer.

Die Forderung, den Dehnungsmesser während der Verformung nicht am Bauteil belassen zu müssen, erfüllt der Setzdehnungsmesser System Meyer (Fig. 2).

Das Messen mit dem Setzdehnungsmesser hat außerdem den Vorteil, daß zum Messen aller Meßstellen nur *ein* Meßgerät benötigt wird.

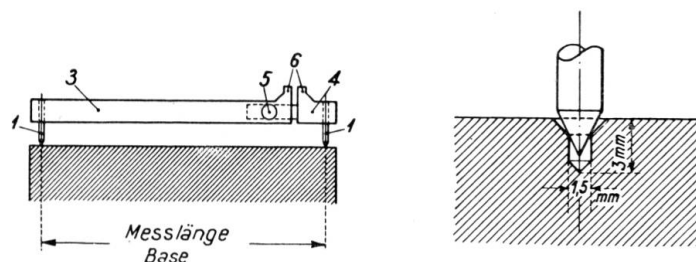


Fig. 3.

Zum Meßvorgang mit dem Setzdehnungsmesser.

Der Meßvorgang ist folgender (vergl. Fig. 3): Die Meßlänge wird durch die Spitzen (1) bestimmt, die im Bauteil durch zwei mit Versenkung versehene Löcher festgelegt werden. Der Setzdehnungsmesser, der aus zwei ineinander verschiebbaren Stäben (3) und (4) besteht, wird vor und nach der Verformung mit

den Spitzen (1) in die Löcher am Bauteil gesetzt. Nach dem Einsetzen der Spitzen in die Löcher werden die Stäbe mittels der Schraube (5) festgelegt und der Abstand der Meßbacken (6) mit einem Mikrometer gemessen. Nach einiger Übung erhält man eine Meßgenauigkeit von ± 1 bis $\frac{2}{1000}$ mm. Es wurde absichtlich davon abgesehen, die Dehnungsänderungen vermittels einer Meßuhr zu messen, um nicht unüberprüfbare Fehler hineinzubringen. Zur Prüfung des Setzdehnungsmessers wird ein Vergleichsstab verwendet. Der Bestand der kleinen Bohrungen kann in einfacher Weise und auf lange Zeit so gesichert werden, daß sie gut eingefettet und mit einem Verbandstreifen zugeklebt werden.

II. Durchgeführte Messungen.

1. Aufschweißen von Lamellen auf Walzträgern.

An zwei schweren Trägern Nr. 100 DIV, die zum Bau der Betondecke für die 20 m weite Unterführung der Rue Voltaire in Genf bestimmt waren und bei denen die Untergurte durch je eine Lamelle 260×20 mm verstärkt werden

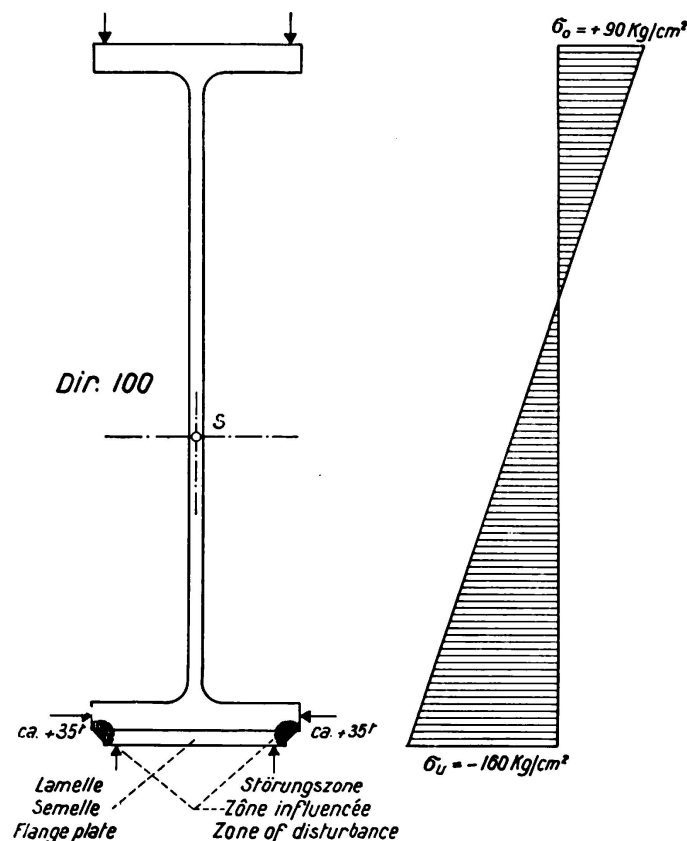


Fig. 4.

Störungszone bei den Trägern der Unterführung der Rue Voltaire in Genf.

mußten, wurden Ende des Jahres 1929 die Dehnungen an verschiedenen Stellen gemessen.

Es ergab sich, daß der von der Schweißung nicht unmittelbar beeinflusste Obergurt, in 5 Schnitten gemessen, unter eine mittlere Spannung von $+ 90 \text{ kg/cm}^2$ zu stehen kam. Daraus ergibt sich, daß längs den beiden Schweißnähten eine

Kraft von etwa 70 t wirken muß, das heißt, infolge der Ausführung der Kehlnähte, also der dabei entstandenen Erhitzung und nachfolgenden Schrumpfung, verkürzt sich die Kehlnaht und der umgebende Baustoff so, daß zwischen diesen gestörten und den übrigen ungestörten Zonen eine Störungskraft von je 35 t auftritt (Fig. 4).

Es ist klar, daß die gestörten Zonen auf diese Weise unter sehr hohe Zugspannungen versetzt werden und darum auch bei Ermüdungsversuchen leicht anbrechen, was den frühzeitigen Bruch des ganzen Trägers zur Folge haben kann.

Die Dehnungsmessungen in der Nähe der Kehlnähte ergaben Druckspannungen von 160 kg/cm^2 im Mittel, was annähernd ebenfalls auf die Störungskräfte von $2 \times 35 \text{ t}$ führt. Es ist indessen nicht ganz sicher, ob die bei den Kehlnähten ausgeführten Messungen nicht bereits in die Störungszonen selbst fielen, womit die Druckspannungen zu klein erhalten würden.⁹

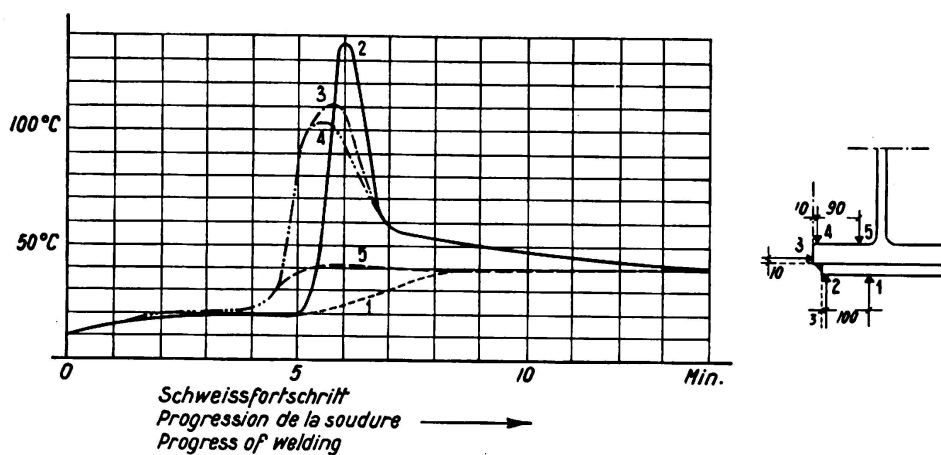


Fig. 5.

Messung mit Thermoelementen an den Trägern der Unterführung der Rue Voltaire in Genf.

Messungen mit Thermoelementen an den Trägern und den Lamellen bei der Ausführung der ersten Raupe der Kehlnähte ergaben den in Fig. 5 dargestellten Verlauf, woraus die örtliche heftige Wärmewirkung zum Ausdruck kommt.

2. Herstellung einer vollwandigen Bahnbrücke.

Anlässlich der Erstellung der ersten vollwandigen geschweißten Bahnbrücke auf der Linie Beinwil—Reinach im Jahre 1934 wurden verschiedene Messungen in der Werkstätte durchgeführt, um die Schrumpfspannungen festzustellen. In verschiedenen Schnitten wurden die Dehnungen nach dem Schweißen der Kehlnähte festgestellt (Fig. 6).

Es kann aus den Messungen geschlossen werden, daß die Störungskraft die Größenordnung von 30 bis 60 t haben dürfte, indem aus den Randspannungen der Gurtlamellen (-350×45 und -350×30) auf mittlere Beanspruchungen von 200 bis 450 kg/cm^2 geschlossen werden kann. Im Stehblech konnte keine regelmäßige Verteilung der Dehnungen festgestellt werden. Es ist dies insofern

⁹ Bierett: Versuche zur Ermittlung der Schrumpfspannungen in geschweißten Stumpfnahtverbindungen. Vortrag vor dem Fachausschuß für Schweißtechnik V.d.I. 1934.

verständlich, als der Wärmefluß beim Schweißen in erster Linie in die Lamelle und nur zum kleinen Teil in das Stehblech übergeht. Zudem ist das verhältnismäßig dünne Stehblech leicht großen Verbiegungen ausgesetzt. Immerhin erleidet dieses, wo keine anderweitigen Schweißungen einen Einfluß ausüben, ausgesprochene und örtlich sehr hohe Druckbeanspruchungen (bis 1700 kg/cm^2). Die

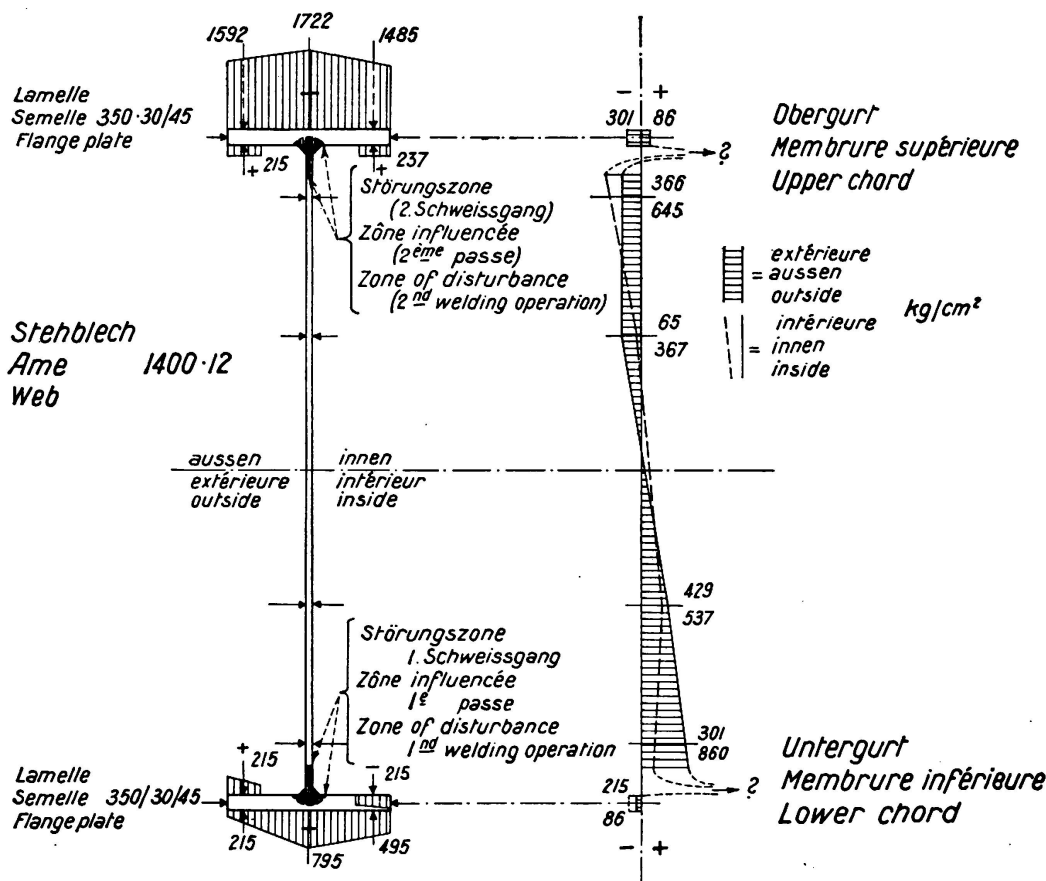


Fig. 6.

Messung von Schrumpfspannungen bei einer Vollwandbrücke der Linie Beinwil-Reinach.
(Ergebnisse in einem Schnitt).

Messungen der gesamten Verkürzungen der Träger ergaben rund $0,022 \text{ cm/m}$, was einer Spannung von $\frac{0,022}{100} \cdot 2\,150\,000 = 430 \text{ kg/cm}^2$ entspräche und mit den oben angegebenen größten Störungskräften in Übereinstimmung stände. Bei einer Stellwerkbrücke konnte sogar ein Schrumpfmaß von 1‰ festgestellt werden, was einer mittleren Trägerspannung von 2150 kg/cm^2 entspräche.

In den Störungszone steigen natürlich die den Druckspannungen das Gleichgewicht haltenden Zugspannungen auf sehr hohe Werte. Schätzt man diese Zone auf etwa 20 bis 25 cm^2 , so ist die Schweißnaht und der benachbarte Baustoff bis und über die Streckgrenze beansprucht. Bei mehrseitig durch ungestörten Baustoff umschlossenen Schweißnähten dürfte die Gefahr des Einreißen der Störungszone bei Dauerversuchen geringer als bei Randkehlnähten sein. Hierauf wird auch das gute Verhalten von geschweißten Biegeträgern vorstehender Bauart bei Dauerversuchen zurückzuführen sein.

3. Verstärkung einer schweißeisernen Fachwerkbrücke.

Anlässlich der Verstärkung einer Reihe gleich ausgebildeter schweißeiserner Brücken der Brüniglinie (Luzern—Interlaken) im Jahre 1934 (Fig. 7) stellten wir uns die Aufgabe, näherungsweise festzustellen, welchen Einfluß die Ausführung der Schweißungen auf die Bauteile besitze. Sodann wurde 5 Monate nach beendeter Schweißung eine nochmalige Messung an denselben Orten durchgeführt, um erkennen zu können, ob der vielfach behauptete Ausgleich der Störungskräfte durch den Betrieb sich vollziehe.

Was zunächst die durch das Anschweißen von Verstärkungsteilen hervorgerufenen Schrumpfspannungen anbelangt, wurden diese je am Obergurt, Unter-

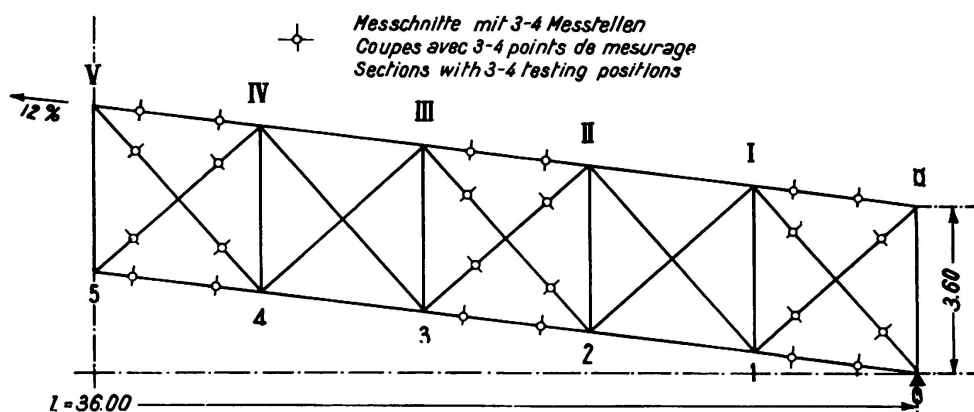


Fig. 7.

Trägernetz und Meßorte der schweißeisernen Brücken der Brüniglinie.

gurt und den Kreuzstreben von 3 Feldern, sowie an zwei Pfosten ermittelt. Je am Ende dieser Stäbe wurden 3 bis 4 Meßstellen am alten Querschnitt verteilt angebracht. Messungen an den neuen Verstärkungseisen wurden nicht durchgeführt, von der Erwägung ausgehend, daß diese Zusatzteile durch das Anpassen selbst hohe Spannungen erhalten, die nicht leicht ausgeschaltet werden könnten. Es hat sich allerdings herausgestellt, daß es sehr aufschlußreich gewesen wäre, wenn solche Meßstellen einbezogen worden wären.

Die Messungen (Fig. 7) ergaben, daß infolge der durch das Schweißen eingetretenen Stabverkürzungen und durch die statisch unbestimmte Anordnung des Fachwerkes auch diejenigen Stäbe unter Spannung versetzt wurden, an denen nicht geschweißt wurde. Die mittleren Schwerpunktsspannungen aus beiden End-schnitten gemittelt, betragen bei größten Kantenspannungen von 840 kg/cm^2 :

		erste zweite*			
		Messung			
Obergurtstab . . .	0—I	— 47	— 113	}	unverstärkte Stäbe
Untergurtstab . . .	0—1	— 40	— 75		
Zugstrebe	0—1	+ 84	+ 133		
Zugstrebe	II—3	+ 221	+ 265		
Pfosten	1—I	— 304	— 250		
Pfosten	2—II	— 461	— 380		

Bei den unverstärkten Stäben, wie übrigens auch bei den verstärkten, sind die Spannungsbilder sehr verwickelt. Der Anschauung entsprechend sind die Gurte und Pfosten unter Druck versetzt und die Zugstreben auf Zug beansprucht worden.

Bei den verstärkten Bauteilen lassen sich die Störungskräfte aus den Dehnungen nicht einwandfrei berechnen. Die Messungen zeigen indessen, daß auch in diesen Stäben große Schrumpf- und Biegungsspannungen erzeugt wurden. Die mittleren Schwerpunktsspannungen betragen etwa (Mittel aus je 2 Endschnitten):

		<i>erste zweite*</i>			
		<i>Messung</i>			
(Werte geschätzt)	}	Obergurt . . . II—III	— 127	— 82	} verstärkte Stäbe
		Obergurt . . . VI—V	— 300	— 162	
		Untergurt . . . 2—3	— 165	— 220	
		Untergurt . . . 4—5	— 152	— 150	
		Druckstreben . . 0—I	— 400	— 400	
		Druckstreben . . 2—III	— 500	— 500	
		Druckstreben . . 4—V	— 500	— 500	
	Wechselstrebe . IV—5	— 600	— 600		

Nach Ablauf einer Betriebszeit von 5 Monaten wurden die Dehnungen erneut gemessen (* 2. Messung) und festgestellt, daß Änderungen wohl eingetreten waren, die sich aber sowohl in Ab- als auch in Zunahmen der Spannungen bemerkbar machten. Eine Regel läßt sich aus den gewonnenen Ziffern nicht herleiten. Es scheint verfrüht zu sein, jetzt schon der Hoffnung Ausdruck zu geben, daß mit der Zeit ein Spannungsausgleich in der Störungszone eintreten werde.

4. Herstellung einer gekrümmten, vollwandigen Bahnbrücke.

Im Jahre 1936 wurde bei Baden/Oberstadt eine 27 m weit gespannte, sehr schiefe, gekrümmte Bahnbrücke in geschweißter Ausführung erstellt, bei der die Querschwellen unmittelbar auf den vollwandigen Hauptträgern liegen. Die Brücke wurde als räumliches Tragwerk berechnet unter Berücksichtigung der Schiefe, weshalb der obere und untere Windverband sehr kräftig ausfielen. An den spitzen Enden des Überbaues ergaben sich negative Auflagerdrücke, weshalb verankerte Lager angeordnet werden mußten.

In einem Feld des einen Hauptträgers wurden Körner angebracht und nach dem Ausschweißen der Kehlnähte zwischen Lamellen und Stehblech die Formänderungen des Stehbleches und einige Dehnungen am Stehblech und an den Lamellen gemessen (Fig. 8 und 9). Die Ergebnisse waren folgende:

In beiden Gurtungen treten Druckspannungen auf und zwar sind diese in der zuerst geschweißten Untergurtung geringer, im Mittel 325 kg/cm², indem sie durch das Aufschweißen des Obergurtes entlastet wurden. Der Obergurt steht unter einer Spannung von etwa 675 kg/cm² im Mittel.

Im Stehblech ergaben sich ebenfalls unerwartet hohe Spannungen bis zu 950 kg/cm².

Eine schlimme Erscheinung zeitigte das Aufschweißen der Lamellen auf die

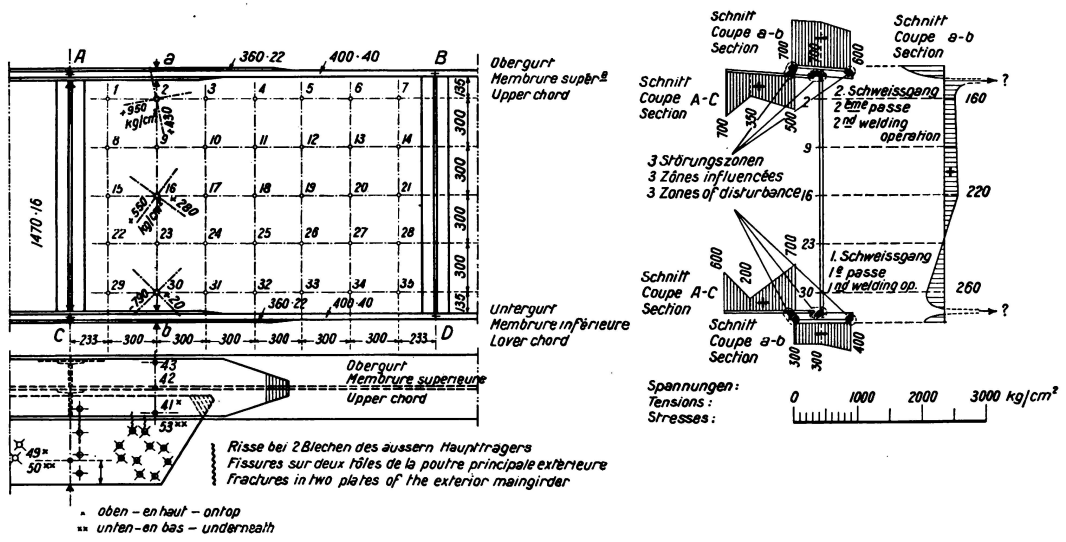


Fig. 8.

Meßstellen und Darstellung der Spannungen des inneren Hauptträgers.

Stehbleche. Zuerst wurden nämlich die Knotenbleche der Windverbände auf die Gurtplatten geschweißt und daraufhin erfolgte die Verschweißung mit dem Stehblech. Da die Windverbände vernietet sind, erhielten die Knotenbleche entsprechende Bohrungen. Bei näherer Prüfung ergab sich, daß einzelne Knotenbleche Risse aufwiesen, die durch Bohrungen gingen. Die Dehnungsmessungen zeigen die starke exzentrische Wirkung auf die Knotenbleche, wo bedeutende Zugspannungen herbeigeführt wurden.

Was die Formänderungen des Stehbleches anbelangt, so fielen sie beträchtlich aus, was aber nach den erwähnten Spannungen nicht verwunderlich ist. Die

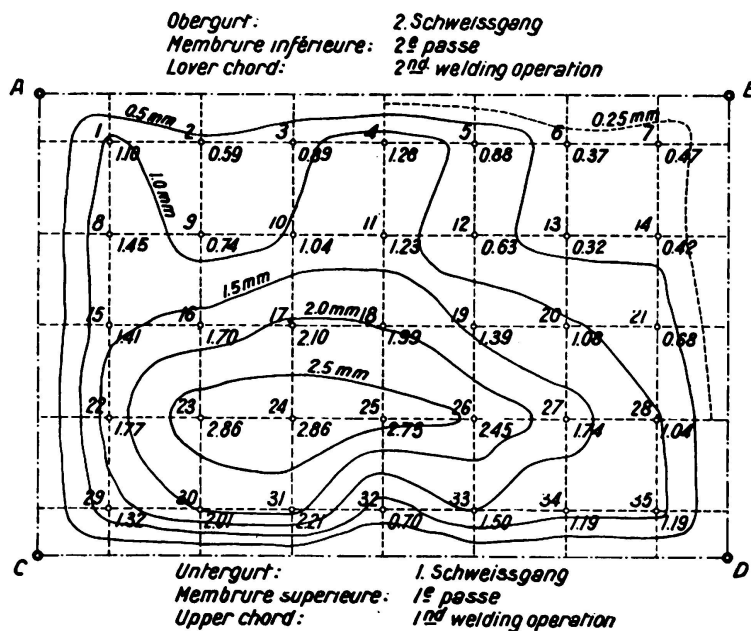


Fig. 9.

Schrumpfspannungen bei der Herstellung einer gekrümmten, vollwandigen Bahnbrücke.
 Verformung des Stehblechs. Isoflexien.

größte Ausweichung ergab sich zu 2,9 mm und zwar gegen den zuerst geschweißten Untergurt zu. Bei diesem Zustande war die andere Stehblechkante nur unvollkommen durch Heftschweißungen gehalten.

Die Schrumpfspannungen in den Gurtungen fielen im vorliegenden Falle auch darum groß aus, weil nicht nur eine Schweißnaht, sondern deren drei bei jeder Gurtung vorhanden sind, womit 3 Störungszonen zustande kamen, die entsprechenden Zugkräften (aus Schrumpfung) unterworfen sind und den Träger unter starken Druck setzen.

5. Ausblick auf umfassende Messungen.

Auf Grund der kaum als günstig anzusehenden Ergebnisse der vorstehend kurz berührten Messungen kann es keinem Zweifel unterliegen, daß zur Abklärung der Frage der Wärme, wie auch besonders der Schrumpfspannungen, viel mehr als bisher getan werden sollte. Die durch das Schweißen erzeugten Spannungen sind sehr groß und können bei dynamisch stark beanspruchten Bauten unter Umständen die Sicherheit eines Bauwerkes gefährden.

Für den Entwurf geschweißter Bauten wäre es von großer Bedeutung, einwandfreie, genaue Ergebnisse von systematischen Messungen der Wärme- und Schrumpfspannungen an verschiedenen Profilen, Trägern und dergleichen zu besitzen, um sich schon beim Entwurf von den beim Schweißen auftretenden zusätzlichen Spannungen ein Bild machen zu können.

Am zweckmäßigsten wäre es, zuerst die Verformungen ungleichmäßig erwärmter oder unterkühlter Flacheisen zu untersuchen und hierauf die Wirkung von mittig und außermittig auf solche Eisen aufgebrachtener Schweißnähte verschiedener Größe zu prüfen.

Anschließend hieran käme die Untersuchung von Flacheisen verschiedenen Querschnittes an die Reihe, die durch Längsnähte zu verbinden wären und schließlich müßten auch zusammengesetzte Profile, wie Träger und Stäbe mit und ohne Versteifungen geprüft werden. Der genaueren Feststellung der Störungszonen wäre die größte Aufmerksamkeit zu schenken.

Nach meiner Auffassung ließen sich hiebei äußerst wertvolle Ergebnisse gewinnen und auch die sich widersprechenden Aussagen nachprüfen, ob es richtiger sei, mit dünnen oder dicken Elektroden zu schweißen und welchem Vorgehen beim Schweißen der Vorzug gegeben werden müsse.

Soweit die Probestäbe zur Prüfung nicht zerstört werden müßten, wären sie statisch und dynamisch zu erproben.

III. Ausbildung geschweißter Bauten.¹⁰

1. *Statische Festigkeit und Ermüdungsfestigkeit geschweißter Bauteile.*

Wer die Einführungszeit und die nachfolgende stürmische Entwicklung in der Herstellung geschweißter Bauten miterlebt hat, wird sich noch gut erinnern, daß man eine Elektrodenmarke umso höher hätte bewerten sollen, je höher die Ergebnisse der gewöhnlichen Zugprobe ausfielen. Heute erreichen die meisten Elektroden bei sachgemäßem Verschweißen in einer Stumpfnahht bei einer statischen Erprobung die Festigkeit des Baustoffes, oder je nach der Form des Probestabes noch mehr. Es ist mehr eine Frage der Form des Prüfstabes geworden, welche Festigkeit zur Bedingung zu machen sei.

Eine Ernüchterung in der Beurteilung der Sachlage erfolgte beim Bekanntwerden der dynamischen Festigkeit der geschweißten Verbindungen. Es zeigte sich nämlich bald, daß nicht allein das Schweißgut für die Widerstandsfähigkeit maßgebend sei, sondern ebenso sehr die Anordnung (Stumpf- und Kehlnähte, Größe und Schärfe der Störungszone), Ausführung (dünne, dicke Elektroden, Kerben) und Form (überhöhte, volle oder hohle Naht) einer Schweißnaht. Diese drei Gesichtspunkte werden indessen noch heute von den Beteiligten zu wenig gewürdigt. Die Ursache hiezu bilden wohl die Veröffentlichungen über Versuche, bei denen die erwähnten Umstände nicht angegeben wurden, so daß deren Einfluß nicht abgeschätzt werden kann.

Schließlich fragt es sich, ob nicht Schweißdrähte gefunden werden könnten,

¹⁰ Die elektrische Schweißung im schweizerischen Stahlbau. Internat. Kongreß für Stahlbau, Lüttich, 1930. Ossature métallique Nr. 11, 1935.

deren Zusammensetzung günstigere Übergangszonen der Nähte als bisher ermöglichen und das Auftreten von Kerben verhindern würden.

Trotz der Bekanntgabe einer bereits unabsehbar gewordenen Menge Versuchsergebnisse ist es schwierig, wenn nicht unmöglich, die Wöhlerlinien für die verschiedenen Spannungsgrenzen und Beanspruchungsarten anzugeben, aus denen erst die Kurven der zulässigen Spannungen in der zumeist gewählten *Goodmannschen* Darstellung¹¹ in einwandfreier Weise gewonnen werden könnten. Diese Spannungsbilder werden überdies verschieden, je nach der Anzahl der bis zum Bruch angenommenen Wechsel, wobei auch die Querschnittsform einen Einfluß ausübt.

Während 2—3 Millionen Wechsel bei den Hauptträgern größerer Brücken bereits einer ziemlich langen Betriebszeit entsprechen, ist diese Anzahl für die Fahrbahnteile gering, so daß man viel besser, als es bis heute geschehen ist, über diese Verhältnisse unterrichtet sein sollte. Es wäre ein dankbares Feld für die Materialprüfungsanstalten, systematische auf einer Gemeinschaftsarbeit beruhende Versuche durchzuführen, um die grundlegenden Materialfestigkeiten bald in vollständiger Weise vermitteln zu können. Dabei wäre es nicht nötig, neben den Stumpfnähten noch Kreuzstöße, sowie Kehlnähte an verlaschten Stößen zu prüfen, da diese bei Zugstößen schlecht sind und in der Praxis für solche Zwecke nicht verwendet werden sollten. Vielmehr wäre es erwünscht, daß Nachbildungen ganzer Bauteile also der Wirklichkeit entsprechende Formen geprüft würden. Hierbei müßten die Probekörper so bemessen sein, daß die in der Praxis benötigten Materialfestigkeiten sich einwandfrei bestimmen lassen (wie Zug, Druck, Schub, Biegung, Verdrehung, Einfluß der Querschnittsformen). Dabei muß die *Güte der Ausführung der Schweißung* genau festgelegt werden.

Es ist auch darauf hinzuweisen, daß die Nähte nicht nur als Stoß- und Verbindungsmittel, sondern auch in ihrer Wirkung und nach Größe und Form auf den durchgehenden Baustoff bei bloßen Anschlüssen dringend der Untersuchung bedürfen, wie z. B. bei Pfosten vollwandiger Träger, Anschlüssen von Windverbandblechen und dergleichen. Im weitesten Sinne des Wortes sollten die sehr wichtigen Formziffern nachgewiesen werden.¹²

Um zu zeigen, daß z. B. Zugverbindungen durch Kreuzstöße nicht deswegen schlecht sind, weil sie mehr oder weniger gut geschweißt wurden, haben wir ebenfalls derartige Versuche machen lassen und daneben solche mit gleichgeformten, aber aus vollem Blech herausgearbeiteten Probestücken. Während die statischen Proben bei geschweißten Stücken etwas schlechter ausfielen als bei einteiligen Proben, verschwand der Unterschied im Kraftpulsator, womit der Beweis erbracht ist, daß diese Verbindungsart auf Zug grundsätzlich schlecht ist.¹³ Dasselbe könnte auch an entsprechenden Probestücken mit verlaschten Stößen bei Stirn- und Flankennähten gezeigt werden, wie diese oft in Vorschriften als maßgebende Proben angenommen sind.

¹¹ *Dustin*: Considérations sur l'endurance des assemblages soudés, Revue universelle des Mines, décembre 1935.

¹² *Thun*: Zur Frage der Formziffer, Z. V. d. I., 26. X. 1935.

¹³ Die Probenergebnisse waren auf die Anliegeflächen der Nähte bezogen. Statische Proben 22 bis 26 kg/mm²; $\frac{P}{2}$ /P 14 kg/mm²; 0/P 10 kg/mm². Versuchsbericht vom 25. IV. 1934.

2. Nahtformen.

Zur Abklärung einzelner obengenannter Fragen haben wir seit einigen Jahren zunächst den Einfluß der Nahtform auf die Festigkeit von Verbindungen und Stäben verfolgt. Zur Ergänzung der im vorstehenden Abschnitt gemachten Darlegungen führen wir eine Untersuchung an über den *Einfluß der Lage und der Form von Kehlnähten auf den Baustahl 37 bei Anschlüssen von Versteifungen, Rippen usw.*

Das Versuchsprogramm dazu ist im Juni 1934 aufgestellt worden. Es wurde vorgesehen, an ungestoßenen Flacheisenstäben von 15 mm Dicke den Einfluß

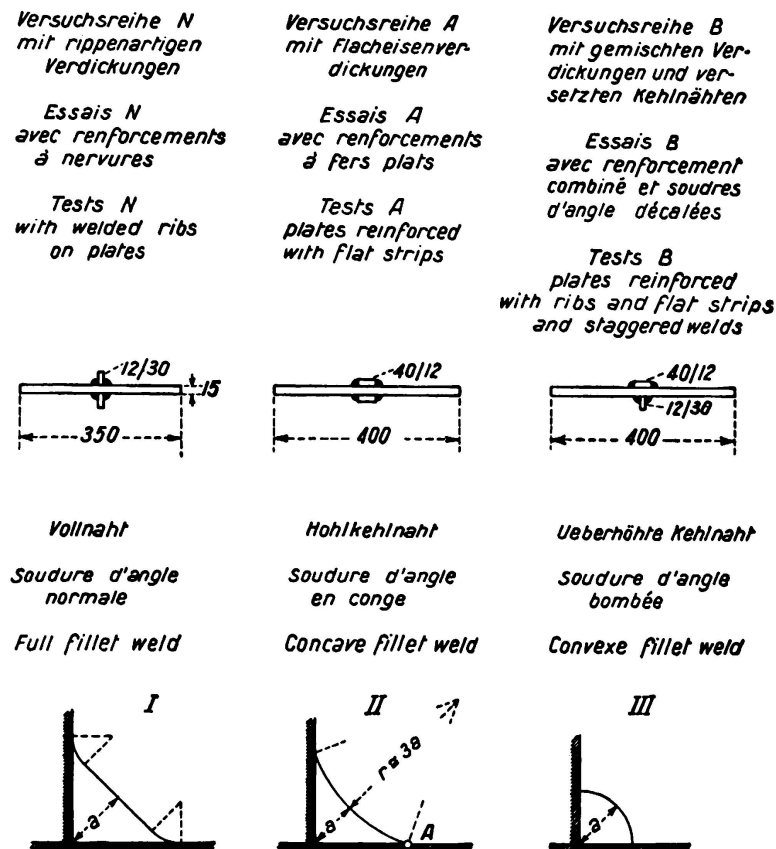


Fig. 10.

Verdickungsanordnungen und Nahtformen auf ungestoßenen Stäben.

der z. B. bei der Aussteifung von Stehblechen vorkommenden Kehlnähte und Verdickungen auf den ungestoßen durchgehenden Bauteil für die drei nachstehend gezeichneten Verdickungsanordnungen und Nahtformen zu untersuchen (Fig. 10).

Die Einhaltung der genauen Nahtform bereitete etwelche Schwierigkeit. Um die Ergebnisse der Versuche vergleichen zu können, mußten einzelne Nahtstellen nachgearbeitet werden. Nach einigen Vorversuchen wurden Zug-Ermüdungsversuche bei der Ursprungsfestigkeit und zwischen P und $1/2 P$ durchgeführt (Versuchsbericht vom 14. April 1936).

Bei den Dauerproben in der Nähe der Ursprungsfestigkeit entfallen etwa

50 bis 80 % von der Bruchfläche auf Ermüdungswirkungen; zwischen $1/2 P$ und P höchstens noch 50 % von der Bruchfläche.

Aus der Auftragung der Grenzwerte im System σ_0/σ_u ergaben sich die Ursprungsfestigkeiten im ungestoßen durchlaufenden Stab bei rund 1 Million Lastwechsel:

Nahtform I (voll)	15 kg/mm ²
„ II (hohl)	17 bis 18,5 kg/mm ²
„ III (überhöht)	13 kg/mm ² (Vorversuch).

Wurde die Nahtform II nachgeschliffen, so stieg die Ursprungsfestigkeit noch etwas an, so daß der zweite Wert für diese Form gelten dürfte. Die Schlußfolgerungen aus diesen Versuchen lauten:

Der Ermüdungsbruch geht stets von einem Nahtansatz aus. Es hat sich als nebensächlich erwiesen, ob die Kehlnähte genau gegenüberstehend oder versetzt sind. Die Form der angeschlossenen Verdickung ist gleichgültig. Als Ursachen des gewaltigen Abfalles der Festigkeit des ungestoßenen Stabes sind anzusehen:

Ablenkung der Kraftlinien und Spannungshäufung an der Oberfläche beim Nahtansatz, Einschmelzkerben am selben Ort, wie auch Gefügeänderungen und Schrumpfspannungen.

Die Dauerfestigkeit des Baustahles 37 wird durch die Nahtform erheblich beeinflußt. Der flache Auslauf auf den durchgehenden Stab hat offenbar die geringsten Störungen zur Folge. Durch Abschleifen der Nahtübergänge wird die Ermüdungsfestigkeit weiter verbessert. Bei dynamisch beanspruchten Bauteilen müssen überhöhte Kehlnähte unbedingt vermieden werden.

Solange es nicht gelingt, zweckentsprechende Nahtformen herzustellen, muß damit gerechnet werden, daß die Ursprungsfestigkeit ungestoßener, auf Zug beanspruchter Bauteile im Bereiche von Schweißnähten auf 15 kg/mm² fällt und nur noch den 0,7 bis 0,8fachen Betrag des gelochten Stabes in Nietverbindungen erreicht. Bei guter Auskehlung kann z. B. die Ursprungsfestigkeit einer guten Stumpfschweißung erreicht werden (16 bis 18 kg/mm²). Damit ist der große Einfluß einer Schweißnaht auf einem durchgehenden Bauteil gezeigt und die Wichtigkeit der Gewinnung von Formziffern belegt.

Bei einer anderen Versuchsreihe verhielt sich eine Hohlkehlnaht besser als eine viel stärkere überhöhte Naht, so daß auch hier der Einfluß der Nahtform als bedeutungsvoll erkannt wurde. Unterschnittene Kehlnähte mit 25 bis 40 % kleinerem Nahtvolumen ergaben Festigkeiten, die vollen Kehlnähten nicht viel nachstehen.

3. Bauformen.

Es darf heute als feststehend angesehen werden, daß die geschweißten Bauten infolge der Schrumpfspannungen und der mit dem Einschmelzen der Schweißnähte verursachten Gefügeänderungen und Kerben örtlich eine bedeutende Herabsetzung der Ermüdungsfestigkeit erleiden, was zu Materialzugaben zwingt. Es liegt daher nahe, die Anwendungen des Schweißens in Klassen einzuteilen, die sich nach der Bedeutung der Ermüdungsfestigkeit richten.

Dabei können die Klassen den folgenden Anwendungsgebieten entsprechen, nämlich: Hochbauten, Straßenbrücken, Eisenbahnbrücken.

Hochbauten sind im allgemeinen dynamischen Einwirkungen wenig ausgesetzt, es sei denn, daß Krane, Maschinen und dergleichen Schwingungen und Erschütterungen ausüben. Straßenbrücken sind bereits stärker der Ermüdung ausgesetzt, indem sich heute die Wirkung der Lastwagen mehr und mehr fühlbar macht. Hierauf folgen die Eisenbahnbrücken, wo die Schnelligkeit und Größe der Spannungswechsel sich am meisten auswirkt.

Wenn auch in der eidgenössischen Verordnung vom Jahre 1935 diese Verschiedenheiten durch die Ansetzung der Lasten und ihrer Stoßwerte tunlichst auf eine gemeinsame Grundlage in bezug auf die zulässigen Spannungen gestellt sind, so kann man nicht von der Hand weisen, daß die Zeitdauer, in der die Wechsel zur kritischen Anzahl ansteigen, nicht zum Ausdruck kommt und daß bei der höchsten Klasse, den Eisenbahnbrücken, die Schweißungen am sorgfältigsten ausgeführt und die besten Naht- und Bauformen gewählt werden müßten. Es geht nicht an, in rücksichtsloser Weise Billigkeit und „übliche“ Anordnungen zu erzwingen und den Spielraum, der für die Sicherheit vorhanden sein muß, zum voraus zu opfern. Die Feststellung, daß ein Bau hält, ist noch keine Bewährung mit Sicherheitsspielraum. Die Sicherheit kann hiebei völlig unzureichend sein, ohne daß irgendwelche Anzeichen die Beteiligten auf die Schwächen des Baues hinweist.

Der zur Verfügung stehende Raum gestattet nicht, die Frage der Bauformen eingehender zu behandeln. Näheres über diese Frage hat der Verfasser in dem unten angegebenen Aufsatz dargelegt.¹⁴

Die bei der Wahl zu beachtenden Grundsätze dürften etwa folgende sein:

- a) Es ist kein Mittel unversucht zu lassen, die Schweißnähte zu vermindern und deren Querschnitte herabzusetzen.
- b) Eine Häufung der Wärme- und Schrumpfspannungen ist dadurch zu vermeiden, daß von einem Zusammenführen mehrerer Schweißnähte abzusehen ist. Die Nähte sollten tunlichst von ungestörtem Baustoff umgeben sein.
- c) Es ist zu versuchen, bei Stößen mit Stumpfnähten auszukommen und diese an schwach beanspruchten Stellen anzuordnen. Durch sorgfältige Materialabnahme sind die beim Schweißen besonders ungünstig wirkenden und öfters vorkommenden Rand- und Oberflächenfehler der Walzprofile (Doppelungen, Splitter, Spalten, Schlacken) auszuschließen.
- d) Hat ein Anschluß senkrecht zum Kraftfluß eines Stabes zu erfolgen (Längsträger an Querträger, Querträger an Hauptträger, Windverbände an Gurtungen und dergleichen), so dürfen keine schroffen Übergänge belassen werden. Die entstehenden Ecken sind gut auszurunden und die Schweißnähte an den Übergängen sorgfältig zu bearbeiten.
- e) Innere, unverschweißte Nahtteile sind zu vermeiden. Anstatt Kehlnähte empfehlen sich K-Nähte, die eine Durchschweißung ermöglichen.
- f) Wie bei der Nietung sind exzentrische Anschlüsse zu vermeiden.

¹⁴ Die Schweiß- und Schneidverfahren im Stahlbau auf dem Gebiete des Eisenbahnwesens, Abschnitt Hoch- und Brückenbau. Für den Bericht des Azetylenkongresses, London 1936, verfaßt.

- g) Die gleichzeitige Anwendung von Niet- und Schweißverbindungen sollte unterlassen werden, da dafür vorerst Regeln aufgestellt werden müßten, besonders im Hinblick auf Ermüdungserscheinungen.
- h) Das Schrumpfmaß eines Stumpfstoßes beträgt 1 bis 2 mm, dasjenige bei der Ausführung von Biegeträgern mit Versteifungen bis zu 1‰ .

Bei der Bauausführung müssen diese Vorgänge sorgfältig überwacht werden, um Zwängungsspannungen zu vermeiden.

IV. Herstellung geschweißter Bauten.

1. Allgemeines.

Bei der Herstellung geschweißter Bauten herrscht vielfach die Auffassung vor, daß es sich um einen im Vergleich mit der Nietung einfachen Vorgang handle, auf den eine Umstellung des Personals und der Werkstatteeinrichtungen nicht schwierig sei. Bei hochwertigen Schweißungen, die für dynamisch stark beanspruchte Bauten verlangt werden müssen, ist diese Anschauung aber nicht richtig. Das Berechnen und Entwerfen, das Anzeichnen, Zusammenstellen usw. ergibt im allgemeinen keine Arbeitsverminderung, wenn fachtechnisch richtig vorgegangen wird. Hervorzuheben ist ferner, daß geschweißte Bauten räumlich genau berechnet werden sollten, indem ihnen die Fähigkeit genieteter Bauten nicht innewohnt, allenfalls gefährdete Teile durch Gleitung der Anschlußnieten zu entlasten. Indessen sollten auch für Schweißungen, deren dynamische Beanspruchung unbedeutender ist, die besten Regeln ebenfalls eingehalten werden, einerseits im Hinblick auf die Erziehung der Beteiligten und andererseits mit Rücksicht darauf, daß die Schweißungen ihrer ungünstigen Folgen wegen, stets mit großer Sorgfalt hergestellt werden sollten.

2. Prüfung der Werkeinrichtungen, Abnahme der Elektroden.

Wenn der Entscheid zugunsten eines geschweißten Bauwerkes gefaßt werden soll, darf man sich die Mühe nicht verdrießen lassen, die Schweißanlagen einer Werkstätte, die die Arbeiten übernehmen will, zu prüfen. Hiezu wird man im allgemeinen einen auf dem elektrischen Gebiete bewanderten Ingenieur beiziehen müssen, der die Anschlüsse und Leitungsfähigkeit der Schweißeinrichtungen (Leitungen, Kabel, Spannungswandler, Erdungen, Anschlußdauer usw.) unter verschiedenen Belastungen zu beurteilen versteht. Das bequeme sichere Einstellen der richtigen Stromstärken durch die Schweißer ist von großer Bedeutung, um das Einschmelzen der Schweißdrähte ausreichend und gleichförmig zu erhalten. Es dürfte zweckmäßig sein, nur solche Werkstätten für wichtigere Schweißarbeiten zuzulassen, deren elektrische Einrichtungen einer strengen Prüfung standhalten und die Gewähr bieten, daß die Schweißeinrichtungen fachgemäß instandgehalten werden.

Ferner ist es sehr wichtig, daß eine Schweißwerkstätte über die notwendigen Krane und Wendeeinrichtungen für die Bauglieder verfügt, um die Nähte stets in günstiger Lage schweißen zu können, was zur Erzielung zweckmäßiger Formen erforderlich ist.

Auf dem Bauplatz sind Überkopfschweißungen tunlichst auf das Schließen der Wurzel von V-Nähten zu beschränken.

Einen weiteren Schritt zur Sicherstellung einer fachgerechten Schweißarbeit bildet die *Abnahme der Elektroden oder Schweißdrähte*. Wohl kann man darauf hinweisen, daß die Schweißdrähte als Massenerzeugnis zu bewerten seien, bei dem die Gleichartigkeit von selbst gewährleistet sei. Versehen sind aber immer möglich, weshalb als Regel gelten sollte, die Schweißdrähte abzunehmen, das heißt, auf die Genauigkeit ihrer Abmessungen und Umhüllungen zu prüfen und sie in material- und schweißtechnischer Hinsicht zu untersuchen. Erst bei günstigem Ausfall dürfen sie freigegeben werden.

Je eine vollständige Untersuchung sollte auf etwa 10 000 Elektroden oder für die entsprechende Länge Schweißdraht vorgenommen werden. In Werkstätten, in denen mit verschiedenartigen Schweißdrähten geschweißt wird, bildet es eine große Sorge, daß stets die vorgesehenen Marken verwendet werden. Nur eine ordnungsliebende Werkstätteleitung kann hier die nötige Gewähr bieten.

3. Prüfung der Schweißer.

Über die *Prüfung der Schweißer* ist schon viel geschrieben worden. Wir sind der Auffassung, daß der üblichen Prüfung durch die Vornahme einiger Schweißproben keine sehr große Bedeutung zukommt. Aus formellen und praktischen Gründen können die Proben aber nicht umgangen werden. Erstens können nicht beliebige Schweißer verwendet werden und zweitens ist eine günstige Beeinflussung durch die Vornahme von Proben oder Herstellung schwieriger Probestücke immerhin vorhanden. Was auf die Güte der Schweißarbeiten weiter günstig einwirken würde, wären eingehende Belehrungen und Besprechungen mit den Schweißern vor und während den Arbeiten durch einen erfahrenen Fachmann, der die Arbeiten auch zu verfolgen hätte. Oftmals fehlt es an den einfachsten Anweisungen. Für die theoretische und praktische Ausbildung der Schweißer sollte mehr als bisher getan werden. Es dürfte sich wohl empfehlen, daß zur Heranbildung eines Stammes guter, vertrauenswürdiger Schweißer eine Lehranstalt geschaffen würde.

4. Prüfung der Schweißarbeiten.

Was die Prüfung der Schweißarbeiten anbelangt, so steht als beste, störungsfreie Methode diejenige mit Röntgenstrahlen zur Verfügung. Die andern Methoden, wie die elektromagnetische und akustische sind unsicher. Das Anbohren und das Herausschneiden von Belegstücken ergibt nur Zerfallsergebnisse und läßt keinen sicheren Schluß auf die durchschnittliche Güte der Schweißarbeiten zu. Die Verbindung des Röntgenverfahrens und des Herausschneidens von Belegstücken ergibt die besten Ergebnisse. Dieses Vorgehen ist aber in der Anwendung teuer und zeitraubend und das Flickern der entstandenen Löcher hat unter Umständen schlimme Zusatzspannungen zur Folge. Die Anwendung des Röntgenverfahrens liefert für Stumpfnähte gute Ergebnisse in der Hand eines sehr erfahrenen Röntgenographen. Bei Kehl- und andern Nahtformen ergeben sich aber Schwierigkeiten bei den Aufnahmen, weil die Stahlstärken in der Regel sehr verschieden sind. Schließlich scheidet die reine Anwendung des Röntgenverfahrens an dem Umstand, daß bis heute noch keine allgemein anerkannte Beziehungen

zwischen Röntgenbild und Schweißnahtfestigkeit festgestellt wurden.¹⁵ So bleibt dem Verfahren der Röntgenaufnahmen zur Zeit nur der Vorteil zuzuerkennen, daß es auf die Schweißer eine erzieherische Wirkung ausübt, indem gröbere Fehler ohne Eingriffe in die Schweißnaht nachweisbar sind, was zum sorgfältigen Arbeiten zwingt. Leider ist das Röntgenverfahren teuer und deshalb zum vollständigen „Röntgen“ aller Nähte wenigstens im Stahlbau derzeit nicht geeignet.¹⁶

So bleiben die Schweißungen im wahrsten Sinne des Wortes eine Vertrauensarbeit. Es darf daher auf die Schweißer bei wichtigeren Bauten kein Druck zu beschleunigter Ausführung ausgeübt werden. Sogenannte Stücklöhne sind zu untersagen. Bei dynamisch erheblich beanspruchten Bauten ist auf ein Durchschweißen der Nähte größter Wert zu legen, was ein sorgfältiges Öffnen und Reinigen zunächst einseitig geschweißter Wurzeln erforderlich macht. Es ist unvermeidlich, diese einzelnen Arbeitszustände nachprüfen und abnehmen zu lassen. Das Auffinden von Rissen, Fehlern und Mängeln bei den fertigen Nähten wird durch das Sandstrahlen sehr erleichtert. Es empfiehlt sich, dieses Reinigungsverfahren vorzuschreiben.

V. Zusammenfassung.

1. Im vorstehenden Bericht ist nach einer kurzen Einführung über das Wesen der Wärme- und Schwindspannungen auch eine Vorrichtung zu deren Messung beschrieben. Im Anschluß daran wird auf die Ergebnisse der Messungen bei vier Bauten und auf die Bedeutung und Auswirkung der durch die Schweißung verursachten Störungszonen, die statische Brüche oder frühzeitige Ermüdungsbrüche zur Folge haben können, hingewiesen.

2. Die Messungen zeigen, daß die Wärmespannungen und die daraus sich entwickelnden Schrumpfspannungen sehr bedeutend sind. Die dagegen zu ergreifenden Maßnahmen bestehen in der Verminderung der Nahtquerschnitte und der Vermeidung einer Häufung von Nähten.

3. Die Störungszonen infolge des Schweißens und ihre Rückwirkung auf die Bauteile sind unzureichend abgeklärt. Dringend erwünscht sind systematische Untersuchungen der Störungszonen selbst und ihre Beeinflussung durch die Stromart, Elektrodenzusammensetzung, Elektrodendurchmesser (Stromstärke) und Querschnittsformen der Bauglieder.

¹⁵ Ein Sonderversuch mit K-Nähten ergab für die Ursprungsfestigkeit bei

sorgfältiger Ausführung	14—16 kg/mm ²
guter „	12—14 „
schlechter „	9—11 „

Vergleichende Röntgenaufnahmen lassen diese Abstufungen wohl erkennen, aber nicht in völlig überzeugender Weise.

¹⁶ *Eng.N.-Record*, 15. November 1934: Beim Bau der Kraftanlage am Boulder-Staudamm sind bei den 45 000 t schweren Druckleitungen alle Nähte durchleuchtet und photographiert worden (ca. 120 km Nahtlänge). Die Beurteilung erfolgte auf Grund des A. S. M. E. boiler code radiographs.

The Engineer: 19. April 1935, Pullin: Radiology in the Welding Art.

4. Es besteht wenig Aussicht, daß die Schrumpfspannungen mit der Zeit durch die Einwirkung der Betriebslasten verschwinden, wie dies oft gesagt wird, es sei denn, daß Überanstrengungen zustande kommen, die aber unerwünschte, allenfalls sogar beunruhigende Formänderungen oder gar Risse zur Folge haben können.

5. Die Kunst der fachgerechten Ausbildung geschweißter Bauten liegt in der tunlichsten Erhaltung der Ermüdungsfestigkeit des Stahles, d. h. in der Wahl zweckmäßiger Schweißnaht- und Bauformen und darin, daß Kerbwirkungen sowie schroffe Übergänge vermieden werden. Störungszonen sind nicht an die am meisten beanspruchten Fasern zu legen und sollten in ausreichendem Maße von ungestörtem Baustoff umgeben sein. Die Forderung auf Einhaltung bestimmter Nahtformen macht unter Umständen ein Nachschleifen der Nähte nötig. Die dabei sich ergebenden glatten Nähte sind übrigens auch für die Herstellung eines haltbaren Anstriches und eines einfachen Unterhaltes, sowie zum Zwecke der Erkennung von Rissen notwendig.

6. Bei der Herstellung geschweißter Bauten kann nicht vorsichtig genug vorgegangen werden. Die Vorstellung, die alt bewährte Nietung könne durch eine *billige* Schweißung ersetzt werden, ist unhaltbar. Die Schweißung, als viel verwickelteres Verfahren als die Nietung erfordert zur Sicherstellung des Erfolges eine dauernde Aufsicht sowohl seitens der Werkstätte-, als auch der Bauleitung. Diese Prüfung ist zeitraubend und setzt unter Umständen die Zuziehung von besonderen Fachleuten voraus. Für genaue Arbeiten kann das Anzeichnen (Anreißen) der Schweißnähte nicht umgangen werden.

7. Mit der bisher geforderten Prüfung der Schweißer und ihrer Arbeit ist nicht alles getan. Es muß auch dafür gesorgt werden, daß schon die Voraussetzungen zur Ermöglichung einwandfreier Arbeit geschaffen werden, d. h., es sind die Elektroden, die Schweißanlagen samt Zulage und die Ausrüstung der Schweißer auf ihre Eignung zu prüfen. Die Schweißer müssen über die Tragweite ihrer Arbeit unterrichtet und von einem Fachmann angeleitet und dauernd überwacht werden.

8. Erst wenn diese Bedingungen ganz erfüllt werden, wird man sich ungestört der außerordentlichen Vorzüge geschweißter Bauten erfreuen können. Es wäre erwünscht, wenn diese Darlegungen Anlaß geben würden, alle Fragen, die sich mit der Einführung der Schweißung stellen, nochmals nachzuprüfen.