

# Berechnung und bauliche Durchbildung geschweisster Stahlbauten

Autor(en): **Kommerell**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **1 (1932)**

PDF erstellt am: **13.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-453>

## **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 2

# BERECHNUNG UND BAULICHE DURCHBILDUNG GESCHWEISSTER STAHLBAUTEN

CALCUL ET CONSTRUCTION DES CHARPENTES MÉTALLIQUES SOUDÉES

CALCULATION AND DETAILS OF WELDED STEEL STRUCTURES

Dr.-Ing. KOMMERELL,

Direktor bei der Reichsbahn im Reichsbahn-Zentralamt für  
Bau- und Betriebstechnik, Berlin.

### I. Allgemeines.

Im Maschinenbau und Schiffbau ist das Verbinden von Eisen- und Stahlteilen durch Schweissen schon lange bekannt. Erst in den letzten Jahren hat sich das Schweissverfahren auch das Gebiet des Stahlbaues erobert. Man fing zuerst mit Hochbauten an. Es ergaben sich dabei einfache Bauweisen, und in vielen Fällen lassen sich durch Schweissen Verbindungen herstellen, die mit Nieten nicht zu erreichen sind, und die früher nur im Gussverfahren mit verwickelten Modellen ausgeführt werden konnten. Während beim Nietverfahren die Winkeleisen die wichtigsten Bauelemente sind, mit deren Hilfe einzelne Teile zu *einer* Konstruktion vereinigt werden, benötigt man beim Schweissverfahren oft keine besonderen Zwischenglieder oder man kommt in vielen Fällen mit Flacheisen aus, wodurch sich in erster Linie die grossen Gewichtsparsnisse gegenüber der genieteten Bauweise ergeben. Beim Schweissen fällt das Bohren von Löchern fort. Neuerdings hat man auch im Brückenbau mit dem Schweissen begonnen. Besonders grosse Vorteile können sich bei Verstärkung zu schwacher Stahlbrücken mittels Schweissung ergeben, namentlich in Fällen, bei denen das Nietverfahren nicht mehr zu dem gewünschten Ziele führt. (Abstützen der Brücken, wenn die Anschlüsse an den Knotenblechen zu schwach sind oder wenn gar die Knotenbleche ausgewechselt werden müssen). Da Schweisseisen meist geschichtet ist, so sollte man alte schweisseiserne Brücken nicht durch Schweissen verstärken wollen.

Im Anfang wurde das Zusammenschweissen vorgenommen, ohne dass man dabei viel rechnete. Dieser unbefriedigende und unhaltbare Zustand ist aber beseitigt worden. In Deutschland sind inzwischen Vorschriften<sup>1</sup> herausgekommen, nach denen die Schweissverbindungen zu rechnen sind.

---

1. Vgl. DIN 4100 und KOMMERELL: Erläuterungen zu den Vorschriften für geschweisste Stahlbauten mit Beispielen für die Berechnung und bauliche Durchbildung. Berlin, 1931. Verlag von Wilhelm Ernst und Sohn.

Das Schweißen ist ein metallurgischer Vorgang. Ein Teil des Werkstoffs der zu verbindenden Teile wird durch Wärme zum Schmelzen gebracht und bildet mit dem geschmolzenen Werkstoff der Schweissdrähte (Elektroden) ein Gussgefüge, das schmiedbar und hämmerbar ist (Mittelding zwischen Stahlguss und Flusstahl). Wichtig ist das vollständige Einbrennen des geschmolzenen Werkstoffes der Schweissdrähte bis in die Ecken der zu verbindenden Teile (Wurzel). Leider lässt sich dies nicht immer vollständig erreichen, auch ist die Nachprüfung, ob der Werkstoff überall gut eingebrannt ist, vorläufig noch schwierig. Manchmal enthält die Schweissnaht Schlackeneinschlüsse, die die Tragfähigkeit beeinträchtigen. Die Güte einer Schweissnaht hängt auch von gewissen äusseren Umständen und von der Lage der Schweissnähte ab (Ueberkopfschweißungen werden nur von besonders gut geübten Schweissern gut ausgeführt). Die vorgeschriebenen Masse der Schweissraupen können von den Schweissern nicht immer genau eingehalten werden. Angesichts dieser Umstände ist es zwecklos, verwickelte Berechnungsmethoden für die Schweissnähte auszuklügeln, man wird sich vielmehr mit Näherungsmethoden begnügen müssen, deren Zuverlässigkeit an der Hand von Versuchen nachzuprüfen ist. Doch muss sich der Konstrukteur über die tatsächlichen Verhältnisse klar sein, damit er vernünftig entwerfen kann. Dieses Vorgehen entspricht durchaus demjenigen beim Nietverfahren. Es ist bekannt, dass z. B. die Niete bei Stabanschlüssen keineswegs gleichmässig beansprucht sind, trotzdem rechnen wir so, als ob die Kraft sich auf alle Niete gleichmässig verteilt.

## II. Einteilung der Schweissnähte.

Man unterscheidet :

Stumpfnähte,  
Kehlnähte,  
Schlitznähte.

Nach unseren Vorschriften dürfen bei *Brücken* Zug- und Biegungsspannungen in den Bauteilen durch *Stumpfnähte* allein nicht übertragen werden. Nur bei untergeordneten Teilen, wie z. B. bei Fusswegkonsolen und im Hochbau darf von dieser Vorschrift abgewichen werden. Bei dicken Nähten muss in mehreren

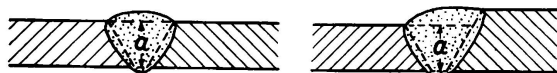


Fig. 1.  
Stumpfnähte.  
Soudures bout à bout.  
Butt Welds.

Lagen geschweisst werden. Da trotz aller Aufsicht die Schlacke zwischen den einzelnen Lagen nicht immer vollständig beseitigt wird und da die neue Lage in die vorhergehende nicht überall gleichmässig einbrennt, so tragen dickere Nähte (Stumpf- und Kehlnähte) verhältnismässig weniger als dünnere. Auch X-Nähte tragen aus demselben Grunde verhältnismässig weniger als V-Nähte.

Durch Versuche mit geschweissten *Kehlnähten* wurde festgestellt, dass im allgemeinen die Haftfähigkeit der Schweissen am Werkstück grösser ist als die Festigkeit der Schweissen selbst und dass die Nähte in der Regel da brechen, wo ihre Dicke am kleinsten ist, d. h. bei gleichschenkligen Quer-

schnitt der Nähte in ihrer Winkelhalbierenden. Auf Grund dieser Erfahrung wird die Tragfähigkeit einer Kehlnaht nach der Kehldicke  $a$ -d.i. der Höhe des durch die Schweisse gebildeten gleichschenkligen Dreiecks- und der Länge  $l$  der Schweissnaht beurteilt. Der Schweisswulst  $\Delta a$ , der ja nicht immer vorhanden ist, und die Endkrater, die ja nicht volle Tragfähigkeit haben, bleiben dabei ausser Ansatz. *Schlitznähte* werden in den Festigkeitsberechnungen wie Kehlnähte behandelt.

Versuche haben ergeben, dass Flankenkehlnähte nicht gleichmässig auf ihre ganze Länge beansprucht werden, die Spannungen an den Enden sind höher als in der Mitte der Nähte. Um aber das Rechnungsverfahren möglichst zu vereinfachen, wird trotzdem näherungsweise mit einer gleichmässigen

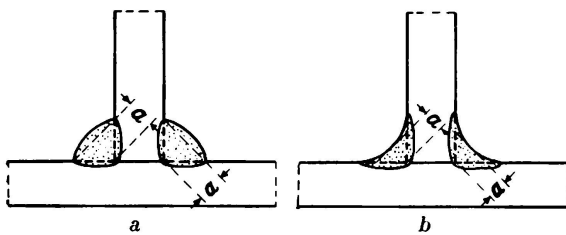


Fig. 2.

Volle und leichte Kehlnaht.  
Soudures d'angle normale et en congé.  
Full Fillet Weld and Light Fillet Weld.

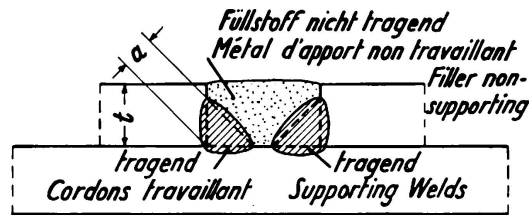


Fig. 3.

Schlitznähte.  
Soudure à entaille.  
Slot Welds.

Kraftverteilung gerechnet. Um dies tun zu dürfen, haben wir die Vorschrift gegeben, dass bei Stabanschlüssen die massgebende Länge von Flankenkehlnähten (ohne Endkrater) nicht länger als das 40fache der Kehldicke  $a$  sein soll. Flankenkehlnähte haben eine ziemlich grosse Verformungsfähigkeit im Gegensatz zu den Stirnkehlnähten, bei denen jedoch die Festigkeit grösser ist als bei den Flankenkehlnähten. Diese Umstände haben bei uns dazu geführt, dass man — den sicheren Weg gehend — auch bei Stirnnähten keine grösseren Spannungen zulässt als bei Flankennähten und bei beiden Nahtarten nur die auf Abscheren zulässige Spannung  $\rho_{zul}$  der berechneten Spannung  $\rho$  gegenüberstellt.

### III. Berechnung der Schweissnähte.

Es sind grundsätzlich 2 Fälle zu unterscheiden :

- 1) Die zu verbindenden Teile werden durch Längskräfte (Zug oder Druck),
- 2) " " " " ein Biegemoment beansprucht.

Im letzteren Falle tritt meist gleichzeitig noch eine Querkraft auf, welche die Schweissnähte, wie unter 1) angegeben, beansprucht.

#### 1. Beanspruchung durch Längskräfte.

Die Spannung in den Schweissnähten wird nach der Formel  $\rho = \frac{P}{\Sigma (a l)}$  (1) errechnet. Hierin bedeuten :

P die durch die Schweissnähte zu übertragende Kraft,

$l$  die Länge der Schweissnähte ohne die Endkrater und bei Schlitznähten die Gesamtlänge der abgewickelten Nähte,

$a$  die Dicke der Schweissnähte, das ist bei *Stumpfnähten* die Dicke der zu verbindenden Teile, bei verschiedenen Dicken die kleinere (Bild 1), bei *Kehlnähten* die Höhe des eingeschriebenen gleichschenkligen Dreiecks (Bild 2), bei *Schlitznähten* die Höhe des eingeschriebenen gleichschenkligen Dreiecks (Bild 3) der in den Ecken gezogenen Kehlnähte. Wird der verbleibende Raum mit Schweissgut ausgefüllt, so darf dieser Teil nicht als mittragend bewertet werden. Weitaus die meisten Schweissnähte im Stahlbau sind Kehlnähte. Die Nähte werden je nach der erforderlichen Tragfähigkeit entweder durchlaufend oder unterbrochen angeordnet.

Bei rechtwinklig gleichschenkligen Dreiecken ist das Kehlmass

$$a = \frac{b}{\sqrt{2}} \quad (\text{Bild. 4})$$

Bei uns werden leichte Kehlnähte (Bild 2<sup>b</sup>), die billiger, aber wegen des Fehlens des Schweisswulstes  $\Delta a$  in Wirklichkeit weniger tragfähig als volle

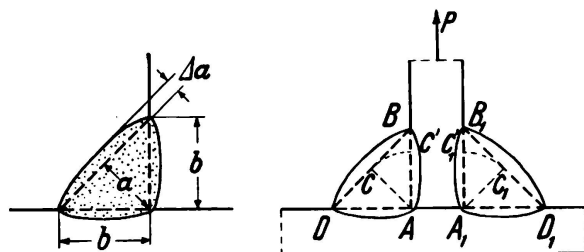


Fig. 4.

Kehlnähte sind (Bild 2<sup>a</sup>) auch im Brückenbau zugelassen. Leichte Kehlnähte werden oft da angewendet, wo die Tragfähigkeit der Schweissnähte nicht voll ausgenutzt werden kann, und wo eine Ausfüllung der Fugen mit Rücksicht auf etwaigen Wasserzutritt angezeigt erscheint. Tragende Kehlnähte sollen im allgemeinen

als volle Kehlnähte (Bild 2<sup>a</sup>) ausgeführt werden.

Bei Kehlnähten nach der Anordnung im Bild 4, entstehen in den Flächen  $AB$  und  $A_1B_1$  Scherkräfte  $= \frac{P}{2}$ . Man rechnet nach dem Vorhergehenden sicher, wenn man sich die Bruchflächen  $AC$  und  $A_1C_1$  in die Ebenen  $AB$  und  $A_1B_1$  umgeklappt denkt und annimmt, die Flächen  $AC'$  und  $A_1C_1'$  seien durch die Kräfte  $\frac{P}{2}$  auf Abscheren beansprucht.

*Schlitznähte* können im Grundriss rechteckige, langlochähnliche und kreisrunde Form haben. Die Abrundung der Ecken ist für die Spannungsverteilung günstig. Schlitznähte sind nur anzuordnen, wenn der Anschluss durch Kehlnähte allein nicht bewerkstelligt werden kann. Bei Schlitznähten fällt ein Hauptvorteil gegenüber Nietverbindungen fort, nämlich die Berücksichtigung der Querschnittsschwächung durch die Löcher.

## 2. Beanspruchung durch Biegemomente.

Im Bild 5 ist eine Stütze dargestellt, an welche ein Träger angeschweisst ist. Auf den Träger wirke ein Biegemoment  $M$ . Man kann annehmen, die Schweissen seien fest mit der Stütze und dem Träger verbunden und die Schweissen brechen nach der Winkelhalbierenden der Kehlnahtwinkel aller Schweissnähte. Innerhalb der zulässigen Spannungen können wir die Kraft-

verteilung nach dem Hooke'schen Gesetz voraussetzen<sup>1</sup>. Infolge des Biegemoments  $M$  treten oben und unten Randspannungen.

(2)  $\rho_1 = \pm \frac{M}{W}$  auf; denken wir uns wieder ähnlich wie im Bild 4 die Winkelhalbierenden in die Anschlussflächen umgeklappt, so ist Bild 5 rechts)  $W$  das Widerstandsmoment der umgeklappten Schweißflächen.

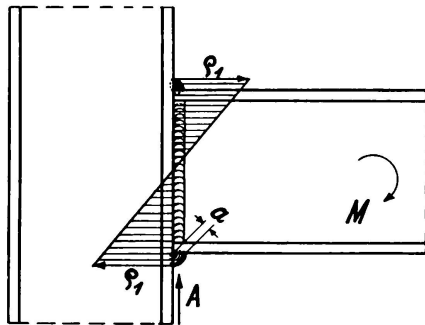


Fig. 5.

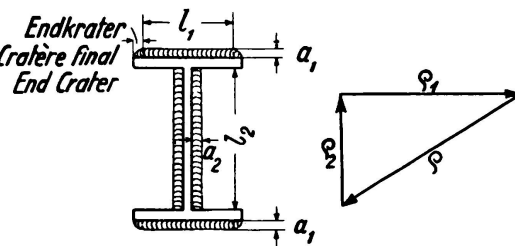


Fig. 6.

Die gleichzeitig auftretende Auflagerkraft  $A$  sucht die umgeklappte Schweißfläche  $F = \Sigma (a l)$  von unten nach oben abzuscheren. Nimmt man der Einfachheit halber gleichmässige Spannungsverteilung an, so entstehen in der umgeklappten Schweißfläche Scherspannungen :

$$(3) \dots\dots\dots \rho_2 = \frac{A}{\Sigma (a l)}$$

Die Spannungen  $\rho_1$  u.  $\rho_2$  kann man sich nach Bild 6 zusammengesetzt denken und erhält als Spannung

$$(4) \dots\dots\dots \rho = \sqrt{\rho_1^2 + \rho_2^2}$$

Für  $\rho_1$  könnte die für Zug zulässige Spannung eingesetzt werden, während für  $\rho_2$  die auf Abscheren zulässige Spannung in Betracht kommt. Man rechnet ungünstig, wenn man auch für die Gesamtspannung nur die für Abscheren zulässige Spannung einsetzt. Dies ist auch deshalb angebracht, weil mit der gleichmässigen Verteilung der Schubspannungen  $\rho_2$  auf die umgeklappte Fläche in Wirklichkeit nicht gerechnet werden kann.

### 3. Sonstige Vorschriften für die Berechnung.

Die durch das Einbrennen der Schweiße hervorgerufene Werkstoffänderung ist nicht als Schwächung des Querschnitts anzusehen. Etwaige Löcher für Montagebolzen sind bei der Berechnung des nutzbaren Querschnitts abzuziehen. Die Scherspannungen und der Lochleibungsdruck der Montagebolzen sind nachzuweisen.

Müssen ausser den Kehlnähten auch noch Schlitznähte angeordnet werden (z. B. beim Aufschweissen von Gurtplatten), so sind die Schlitzlöcher bei Berechnung des nutzbaren Querschnitts abzuziehen.

Gurtplatten sind erst an der Stelle als voll wirksam anzusehen, wo ihr Querschnitt durch die Schweißnähte voll angeschlossen ist. (Am theore-

1. Wir nehmen an, der Querschnitt des angeschlossenen Trägers bleibe auch nach der Biegung eben und die Schweißnähte machen die Drehung mit.

tischen Beginn der Gurtplatten sollen sie schon voll angeschlossen sein.) Der Anschluss ist tunlichst so auszubilden, dass er rechnerisch nicht länger als  $40a$  zu sein braucht.

Bei mittelbarer Kraftübertragung mit  $m$  Zwischenplatten ist die Gesamt-

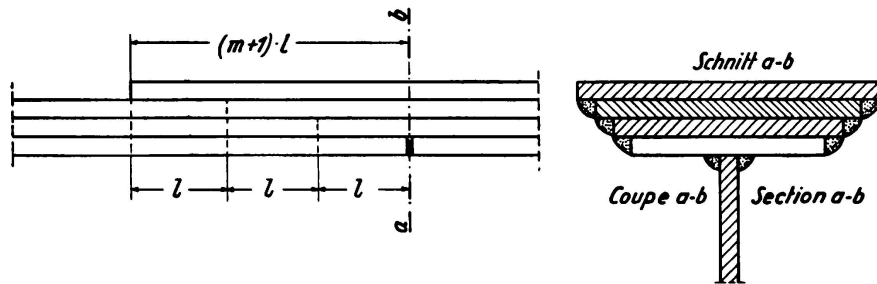


Fig. 7.

länge des Decklaschenanschlusses =  $(m + 1)l$  zu wählen, wo  $l$  die für eine Platte erforderliche Anschlusslänge ist. (Bild 7).

Nähte, die wegen erschwerter Zugänglichkeit nicht einwandfrei ausgeführt werden können, sind bei der Festigkeitsberechnung ausser Ansatz zu lassen. Durch diese Vorschrift will man erzieherisch zur Herstellung zweckmässiger und einwandfreier Bauweisen wirken.

#### 4. Zulässige Spannungen der Schweissnähte.

Bei uns sind für die Spannungen der Schweissnähte folgende Werte zugelassen :

Tafel 1.

Nahtart	Art der Spannung	Zulässige Spannung $\rho_{zul}$	Bemerkung	
Stumpfnähte	Zug	$0,6 \sigma_{zul}$	$\sigma_{zul}$ ist die nach den bestehenden Vorschriften für den zu verschweissenden Werkstoff zulässige Spannung. * Bilden die Nahtschenkel von Kehlnähten einen kleineren Winkel als $70^\circ$ , so empfiehlt es sich, die zulässige Spannung zu ermässigen.	
	Druck	$0,75 \sigma_{zul}$		
	Biegung	Zugzone		$0,6 \sigma_{zul}$
		Druckzone		$0,75 \sigma_{zul}$
	Abscheren	$0,5 \sigma_{zul}$		
Kehlnähte (Stirn- und Flankennähte)	Jede Beanspruchungsart	$0,5 \sigma_{zul}^*$		

Diese Werte gelten für Baustahl von Handelsgüte und für St 37, bei anderem Flusstahl sind die zulässigen Spannungen auf Grund von Versuchen besonders festzustellen.

Kommen an einem Anschluss Stumpf- und Kehlnähte zusammen vor, so ist auch bei den Stumpfnähten nur die für die Kehlnähte zulässige Spannung einzusetzen.

Bei der Berechnung mehrteiliger gedrückter Stäbe nach dem KROHN'schen

Verfahren <sup>1</sup> kann die Bruchfestigkeit der Schweissnähte der Bindebleche zu 2400 kg/cm<sup>2</sup> angenommen werden.

Es hat sich als sehr zweckmässig erwiesen, die für Schweissnähte zulässigen Spannungen  $\rho_{zul}$  in ein bestimmtes Verhältnis zu setzen zu den für die eigentliche Konstruktion zulässigen Spannungen  $\sigma_{zul}$ , weil hierbei der Grundsatz, allen Teilen eines Bauwerkes möglichst gleiche Sicherheit zu geben, am leichtesten durchgeführt werden kann. Nach unseren Vorschriften ergeben sich demnach folgende zulässigen Spannungen :

Tafel 2.

Belastungsart	$\sigma_{zul}$ der Konstruktion	$\rho_{zul}$ für Kehlnähte auf Abscheren.
	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
Belastung durch die Hauptkräfte (Ständige Last, Verkehrslast, Fliehkraft, Wärmeschwankungen).	1400 *	700
Belastung durch die Haupt-, Wind-, und Zusatzkräfte (Zu den Zusatzkräften gehören Bremskräfte, Seitenstösse, Reibungswiderstände, Ausweichen der Widerlager und Setzen der Pfeiler).	1600 *	800
Wind-, Quer-, Brems- u. Schlingerverbände.	1000	500
Im Hochbau nicht abgenommener Werkstoff (Handelseisen)	1200	600
St 37	1400	700

\* Bei diesen Werten sind Stossziffern berücksichtigt.

Wenn Bauteile auf Verdrehung berechnet werden müssen, so ist statt  $\sigma_{zul}$  die bei Verdrehung zulässige Spannung einzusetzen.

Es empfiehlt sich, namentlich für den Anfang, alles, selbst die einfachsten Sachen, rechnerisch zu verfolgen, weil sich durch die Berechnung das statische Gefühl stärkt und Bauweisen vermieden werden, die für Schweissen unzuweckmässig sind. Oft wird auch die Berechnung allein ergeben, ob es möglich ist, an Schweissnaht zu sparen (unterbrochene Schweissnähte).

Die Querschnitte der zu verschweisenden Teile werden wie bei den genieteten Bauweisen berechnet. Es bleibt also nur noch übrig, die Schweissnähte selbst zu berechnen. Die von den errechneten äusseren Kräften herrührenden Biegemomente, Verdrehungsmomente und Querkräfte, die auf die Schweissnähte wirken, werden nach den bekannten Gesetzen der Statik berechnet, wobei die Hauptsache ist, zu überlegen, wie die äusseren Kräfte auf die Schweissnähte und von diesen wieder auf die Bauteile übertragen werden. Die Schweissnähte selbst sind also als konstruktive Bauteile zu betrachten, die den bekannten Gesetzen der Statik folgen.

1. Siehe Zentralblatt der Bauverwaltung 1908, S. 559.



### 5. Rechnungsgang bei Anschlüssen und Stössen im Hochbau.

Um den Anschlüssen und Stössen dieselbe Sicherheit wie den anzuschliessenden Teilen zu geben, empfiehlt es sich häufig, die Schweissnähte nach den Querschnitten der einzelnen anzuschliessenden Teile zu bemessen ( $F = F_1 + F_2 + \dots$ ). Ist  $\alpha$  der Beiwert, mit dem  $\sigma_{zul}$  nach 4) Tafel 1 multipliziert werden muss, um  $\rho_{zul}$  zu bekommen (z. B.  $\alpha = 0,5$  bei Abscheren), so ist

(5)  $\rho_{zul} = \alpha \cdot \sigma_{zul} = \alpha \cdot \frac{\max S}{F}$ , wo  $\max S$  die grösste Stabkraft ist. Da aber im Hochbau

(6)  $\rho_{zul} = \frac{\max S}{F_{Schw}}$  ist, so ergibt sich aus (5) und (6) für Hochbauten

(7)  $F_{Schw} = \frac{F}{\alpha} = \frac{F_1}{\alpha} + \frac{F_2}{\alpha} + \dots$  (Zugstäbe).

Bei Druckstäben genügt es, wenn statt  $F$  der Wert  $\frac{F}{\omega}$  angeschlossen wird, wo  $\omega^1$  die Knickzahl bedeutet.

### 6. Ergänzungsvorschriften für Brückenbauten.

Es ist anzustreben, allen Teilen eines Bauwerks, also auch den Schweissverbindungen möglichst gleiche Sicherheit zu geben. Dementsprechend sind die Anschlüsse nicht nur für die auftretenden Kräfte zu bemessen, sondern es ist auch ein etwaiger Ueberschuss an Querschnitt anzuschliessen.

Für die Berechnung der Schweissnähte sind bei Brücken sowohl die Grösstwerte als auch die Kleinstwerte der Momente, Querkräfte und Stabkräfte zu ermitteln. Die von der Verkehrslast herrührenden Werte sind, soweit dies vorgeschrieben ist, mit der Stosszahl  $\varphi$  zu multiplizieren.

Die so berechneten Grösstwerte sind zur Bemessung der Schweissnähte in folgende Formeln einzusetzen :

$$(8) \quad M = \max M + 1/2 (\max M - \min M).$$

$$(9) \quad Q = \max Q + 1/2 (\max Q - \min M).$$

$$(10) \quad S = \max S + 1/2 (\max S - \min S); \text{ hierin bedeuten :}$$

$\max M$  das absolut grösste,  $\min M$  das absolut kleinste Moment,  
 $\max Q$  die » » ,  $\min Q$  die » » Querkraft,  
 $\max S$  » » » ,  $\min S$  » » » Stabkraft.

Positive Werte sind mit +, negative Werte mit — in die Rechnung einzuführen.

Ist also z. B.  $\max M = 100 \text{ tm},$   
 $\min M = 100 \text{ »}$  } d. h. bleibt das Biegemoment stets gleich,  
 so wird  $M = 100 + 1/2 (100 - 100) = 100 \text{ tm}.$

Ist  $\max M = +100 \text{ tm},$

$\min M = 0 \text{ tm},$  so wird

$$M = 100 + 1/2 (100 - 0) = 150 \text{ tm}.$$

1. Siehe : Vorschriften für Eisenbauwerke. Berechnungsgrundlagen für eiserne Eisenbahnbrücken (B E). Berlin, Verlag Wilhelm Ernst und Sohn.

Ist  $\max M = +100 \text{ tm}$ ,

$\min M = -100 \text{ tm}$ , so wird

$$M = 100 + 1/2(100 + 100) = 200 \text{ tm.}$$

Im ungünstigsten Fall, bei wechselnder Belastung mit rechnerisch gleichen Grenzwerten, sind also Biegemomente, Querkräfte und Stabkräfte doppelt so hoch bei der Berechnung der Schweissnähte zu berücksichtigen wie bei sich stets gleichbleibender Belastung. (Diese Art der Berechnung der Schweissnähte ist also unabhängig von der Art der Berechnung der Querschnitte der zu verschweisenden Teile.)

Die unter 5. Rechnungsgang... für den Hochbau angegebenen Formeln gehen beim Brückenbau in folgende Formeln über :

$$(6') \quad \rho_{zul} = \frac{\max S + 1/2(\max S - \min S)}{F_{Schw}}, \text{ also}$$

$$(7') \quad F_{Schw} = \frac{F}{\alpha} \cdot \frac{\max S + 1/2(\max S - \min S)}{\max S} \text{ (Zugstäbe im Brückenbau).}$$

Bei Druckstäben genügt es auch im Brückenbau, wenn statt  $F$  der Wert  $\frac{F}{\omega}$  angeschlossen wird.

Da, wo Momente übertragen werden müssen, ist sinngemäss  $M$  statt  $S$  einzusetzen.

Die Formeln (8), (9), (10) sollen etwaigen Ermüdungserscheinungen durch wiederholte Belastung und Entlastung bei den Schweissverbindungen Rechnung tragen.

Die zulässige Scherspannung der Schweissnähte bei Belastung durch die *Hauptkräfte* (Tafel 2) würde bei Wechselstäben mit gleich grossen Druck- und Zugkräften im Vergleich zur rein statischen Beanspruchung

$$\rho_{zul} = 0,5 \cdot 1400 \cdot 1/2 = 350 \text{ kg/cm}^2 \text{ betragen.}$$

Bei Schweissverbindungen hat sich die Wechselfestigkeit in der Pulsatormaschine zu rd.  $1400 \text{ kg/cm}^2$  ergeben. Die Sicherheit wäre also immer noch  $\nu = \frac{1400}{350} = 4$  fach, wobei zu berücksichtigen ist, dass die Beanspruchung in der Pulsatormaschine viel ungünstiger ist, als bei den eingebauten Brücken. Es ist abzuwarten, ob die eingeleiteten Versuche mit geschweissten Stäben, die in kleine stählerne Versuchsbrücken eingebaut wurden, und die mit der Erschütterungsmaschine beansprucht werden, nicht günstigere, der Wirklichkeit näher kommende Ergebnisse zeitigen.

Lässt sich (auch bei Anwendung von Knotenblechen) nicht erreichen, dass die Schwerlinien der Stäbe sich mit den Netzlinien des Trägergebildes decken, so sind die Zusatzspannungen rechnerisch zu verfolgen, wobei aber die zulässigen Spannungen nicht erhöht werden sollen.

Die durch Biegemomente  $M = P \cdot e$  (Bild 8) in den Flanken- und Stirnnähten hervorgerufenen Zusatzspannungen sind rechnerisch nachzuweisen. (Man denkt sich wieder die mutmasslichen Bruchflächen in die Ebene des Knotenblechs umgeklappt.)

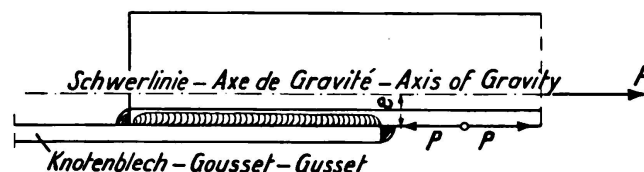


Fig. 8.

Können die bei Schweissverbindungen auftretenden Einspannungsmomente von Trägeranschlüssen nicht von durchschliessenden Platten aufgenommen werden, so sind Konsolen oder mindestens Stützknaggen zur Aufnahme der Querkraft anzuordnen. Falls nicht die Einspannungsmomente genau berechnet werden, sind die zur Berechnung der Schweissanschlüsse geschätzten Momente in der Festigkeitsberechnung zu begründen. (Z. B. soll beim Anschluss von Querträgern an die Hauptträger als Einspannungsmoment möglichst  $\frac{3}{4}$  des grössten, in den Querträgern auftretenden Biegemoments angenommen werden.)

Sollen genietete Anschlüsse durch Schweissen verstärkt werden, so ist anzustreben, dass die Niete die gesamte ruhende Last einschl. der Verstärkungsteile tragen u. dass die Schweissanschlüsse die ganze Verkehrslast aufnehmen. Ist dies nicht möglich, so müssen die Schweissverbindungen mindestens  $\frac{2}{3}$  der Verkehrslast aufnehmen können, wobei der Rest der Verkehrslast noch den Nieten zuzuweisen ist. Verstärkungs-Schweissungen müssen so angeordnet werden, dass die Niete durch die Schweisshitze nicht gelockert werden.

Bei durch Schweissen zu verstärkenden Brücken ist ganz besonders darauf zu achten, ob die Schweissnähte so zugänglich sind, dass sie auch einwandfrei hergestellt werden können. Weil das Schweisseisen der alten Brücken meist geschichtet ist, so ist bei uns eine Verstärkung solcher Brücken durch Schweissen untersagt.

Durch Versuche von Kayser, Bühler und Bierett ist erwiesen, dass bei durch Schweissen verstärkten Brücken die Niet- u. Schweissverbindungen sich nicht gleichmässig an der Aufnahme der Verkehrslast beteiligen. Allerdings sind diese Versuche durchweg so gemacht, dass *spannungslose* Nietverbindungen verschweisst wurden. Es sind Versuche der Deutschen Reichsbahn im Gange, die die Verhältnisse klären sollen, wenn die Nietverbindungen unter Vorbelastung in der Prüfmaschine geschweisst werden, wobei die Vorlast etwa der Belastung durch das Eigengewicht der Brücke entspricht.

#### IV. Bauliche Durchbildung.

Die Stabquerschnitte und- Anschlüsse sind der Besonderheit der Schweiss-technik anzupassen. Ueberkopf-Schweissungen sind nach Möglichkeit zu vermeiden.

Bei geschweissten Trägeranschlüssen sind sowohl an den Gurtungen als auch an den Stegen Schweissnähte anzuordnen.

Die Schwerlinien der Stäbe sollen sich möglichst mit den Netzlinien des Trägergebildes decken.

Die Schwerlinie der Schweissanschlüsse soll mit der Schwerlinie des anzuschliessenden Stabes möglichst zusammenfallen.

Die für die Berechnung massgebende Länge von Kehlnähten (ohne Endkrater) soll nicht kleiner als 40 mm sein. Flankenkehlnähte von Stabanschlüssen sollen nicht länger als  $40a$  sein ( $a =$  Kehlmass).

Die Schweissnähte sollen sich an einzelnen Stellen nicht zu sehr häufen. Die Schweissnahtbreite  $b$  soll bei Kehlnähten in der Regel nicht grösser als die

Blechdicke  $t$ , bei Verbindungsteilen mit verschiedenen Blechdicken nicht grösser als die Dicke des dünneren Blechs sein. Hiervon darf nur abgewichen werden, wenn auf andere Weise der volle Anschluss nicht erreicht werden kann.

Bei tragenden Schlitznähten muss die Schlitzbreite  $\geq 3a$ , mindestens  $1,5 t$  sein, damit die Kehlnähte ringsherum einwandfrei eingeschweisst werden können und bei A keine Funken überspringen. Der kleinste lichte Abstand der Schlitzbe bei Schlitznähten soll in der Querrichtung nicht weniger als die dreifache Blechdicke betragen.

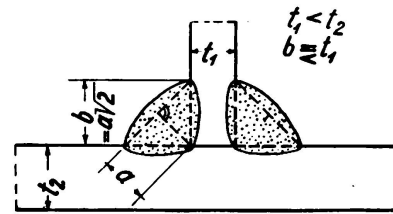


Fig. 9.

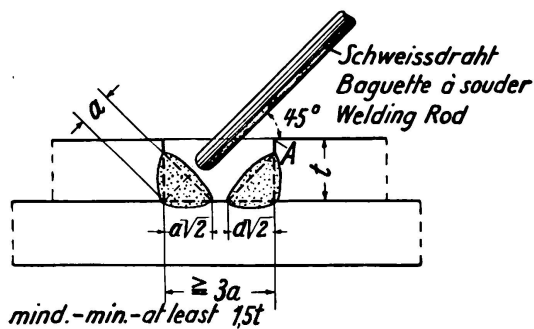


Fig. 10.

Gedrückte Gurtplatten, deren Verhältnis  $\frac{\text{Breite } b}{\text{Dicke } t} > 30$  ist, sind ausser mit seitlichen Kehlnähten noch mit mindestens einer Schlitznaht aufzuschweissen.

Auf gute Zugänglichkeit aller Schweissnähte ist schon bei der Entwurfsbearbeitung zu achten. Ueberkopf-Schweissungen sind nach Möglichkeit zu vermeiden.

Für den Zusammenbau, besonders auf der Baustelle, sind, soweit nötig, Montagebolzen zu verwenden. Die Bohrungen hierfür sind so anzuordnen, dass hochbeanspruchte Querschnittsteile möglichst nicht geschwächt werden.

#### Sondervorschriften für Brücken.

Die Füllungsglieder von Fachwerkbrücken sind im allgemeinen mit Knotenblechen an die Gurtungen anzuschliessen.

Bei Brücken ist die Uebertragung von Zug- und Biegungsspannungen durch Stampfnähte allein unzulässig. Bei untergeordneten Teilen (z. B. Fusswegkonsolen) darf von dieser Vorschrift abgewichen werden.

Der grösste lichte Abstand  $l_0$  der Schweisstiche bei unterbrochener Schweissung und der Schlitzbe bei Schlitzschweissungen soll in der Längsrichtung nicht mehr betragen als

- a) bei Kraftschweissung das 6fache der Blechdicke des dünnsten Teils,
- b) bei Heftschweissung in Druckstäben das 8fache der Blechdicke des dünnsten Teils,
- c) bei Heftschweissung in Zugstäben das 10fache der Blechdicke des dünnsten Teils.

Werden in den Zwischenräumen noch leichte Kehlnähte angeordnet, so können die Abstände verdoppelt werden.

Bei Blechträgern soll der Abstand der Aussteifungen nicht grösser als  $1,30 m$  sein. Die Aussteifungen sollen mit den Gurtungen verschweisst werden. Bei hohen Blechträgern sind weitergehende Sicherungen gegen das Ausbeulen der Stegbleche nötig.

An allen Stellen, an denen Einzellasten übertragen werden müssen, sollen Aussteifungen angeordnet werden.

## V. Nachprüfung der Berechnungsart an Hand von Versuchen.

In Dresden wurden verschiedene Versuchskörper nach der Anordnung in Bild 11 geschweisst u. dann einer Probelastung mit Kräften  $P$  unterworfen.

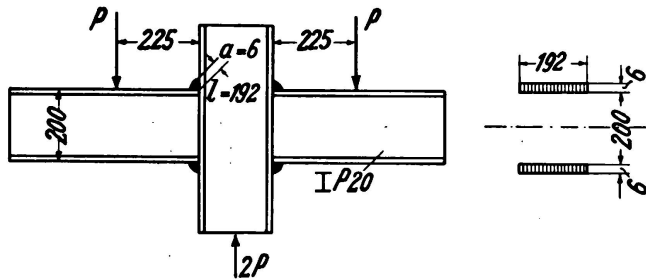


Fig. 11.

Es sollte die Tragfähigkeit der Schweissanschlüsse untersucht werden. Das von einem Trägeranschluss aufzunehmende Biegemoment ist

$$M = 22,5 \cdot P.$$

Denken wir uns — entsprechend unseren Vorschriften — den nutzbaren Schweissquerschnitt in die Anschlussebene umgeklappt, so ist das Trägheitsmoment

$$I_{\text{Schw}} = \frac{1}{12} \cdot 19,2 \cdot (21,2^3 - 20,0^3) = 2445 \text{ cm}^4, \text{ das Widerstandsmoment}$$

$$W_{\text{Schw}} = \frac{2445}{10,6} = 231 \text{ cm}^3 \text{ und der nutzbare Schweissquerschnitt}$$

$$F_{\text{Schw}} = 2 \cdot 19,2 \cdot 0,6 = 23,0 \text{ cm}^2. \text{ Damit wird nach Formel (2) und (1)}$$

$$\rho_1 = \frac{M}{W} = \frac{22,5 P}{231} = 0,0974 P$$

$$\rho_2 = \frac{P}{F} = \frac{P}{23,0} = 0,0435 P, \text{ somit nach Formel (4)}$$

$$\rho = \sqrt{\rho_1^2 + \rho_2^2} = P \cdot \sqrt{0,0974^2 + 0,0435^2} = 0,1067 P.$$

$$\text{Mit } \sigma_{\text{zul}} = 1200 \text{ kg/cm}^2 \text{ (Hochbau),}$$

$\rho_{\text{zul}} = 0,5$ .  $\sigma_{\text{zul}} = 600 \text{ kg/cm}^2$  dürfte dem Anschluss eine Last  $P_{\text{zul}}$  zugemutet werden, die sich aus der Formel

$$600 = 0,1067 P_{\text{zul}} \text{ zu}$$

$$P_{\text{zul}} = 5620 \text{ kg ergibt.}$$

Da die Bruchlast bei  $P_B = 28000 \text{ kg}$  lag, so ist die Sicherheit gegen Bruch  $\nu = \frac{28000}{5620} = 4,98\text{fach}$ .

Auf  $1 \text{ cm}^2$  des nutzbaren Schweissquerschnitts entfällt eine Bruchlast

$$P' = \frac{28000}{23,0} = 1220 \text{ kg.}$$

Zum Vergleich wurden die Träger ausser an den Flanschen auch noch an den Stegen geschweisst. Die gesamte nutzbare Schweissfläche war  $F_{\text{Schw}} = 43,15 \text{ cm}^2$ . Die Berechnung ergab eine zulässige Last

$P_{\text{zul}} = 7400 \text{ kg}$ . Der Bruch trat bei  $P = 38200 \text{ kg}$  ein, sodass der Sicherheitsgrad  $\nu = \frac{38200}{7400} = 5,15\text{fach}$  war.

Auf  $1 \text{ cm}^2$  Schweissnaht entfiel eine Last

$$P' = \frac{38200}{43,15} = 885 \text{ kg.}$$

Die Verbindung mit gleichzeitiger Verschweissung von Flansch und Steg ist also wesentlich günstiger.

Zum Vergleiche wurden in den Ecken an Stellen der Kehlnähte

L 50.80.14 eingeschweisst. Die Bruchlast trat schon bei 14500 kg ein, das zulässige  $P_{zul}$  ergab sich zu  $P_{zul} = 3050$  kg, der Sicherheitsgrad zu

$$\nu = \frac{14500}{3050} = 4,75$$

Auf 1 cm<sup>2</sup> nutzbarer Schweissfläche entfiel nur eine Last

$$P' = 450 \text{ kg.}$$

Dieser Anschluss ist also nicht nur teurer, sondern auch wesentlich schlechter<sup>1</sup>.

Die Berechnungsweise unserer Vorschriften bietet also ausreichende Sicherheit.

## TRADUCTION

par M. GOSSIEAUX, Paris.

### I. Généralités.

En construction mécanique et en construction navale, on connaît déjà depuis longtemps le mode d'assemblage par soudure des pièces en fonte et en acier. Ce n'est qu'au cours de ces dernières années que la soudure a conquis le domaine de la construction métallique. On a commencé par l'appliquer à la construction des charpentes d'immeubles. Il en est résulté la mise au point de méthodes simples de construction ; dans de nombreux cas, on s'est ainsi trouvé à même d'exécuter par soudure des assemblages que l'on ne pouvait pas river et qui ne pouvaient être exécutés auparavant qu'en fonderie, avec des moules compliqués. En construction rivée, la cornière constitue l'élément principal à l'aide duquel on réunit les pièces séparées pour constituer un ensemble ; par contre, en construction soudée, on peut souvent se passer entièrement d'éléments intermédiaires particuliers ; dans bien des cas, du moins, on peut se tirer d'affaire en employant des fers plats.

Un des premiers avantages de la soudure est de conduire à une notable économie de matière par rapport au rivetage, par suite de la suppression des trous des rivets. On a également commencé récemment à employer la soudure dans la construction des ponts. Ce procédé procure là, en effet, des avantages particulièrement intéressants pour le renforcement des ponts métalliques trop faibles, surtout dans les cas où l'on ne peut plus avoir recours au rivetage (étaient des ponts lorsque les assemblages sont trop faibles aux goussets, ou lorsqu'il faut remplacer ces goussets). Comme le fer forgé présente généra-

1. Näheres siehe : Dr.-Ing. O. KOMMERELL, Erläuterungen zu den Vorschriften für geschweisste Stahlbauten, W. Ernst und Sohn, Berlin, 1931, S. 34.

Sur 1 mm<sup>2</sup> de soudure, on a une charge de rupture :

$$P' = \frac{38.200}{4.315} = 8,85 \text{ kg./mm}^2.$$

L'assemblage avec soudure simultanée sur les ailes et sur les âmes est donc notablement plus favorable.

Pour pousser plus loin la comparaison, on a soudé aux angles, à l'emplacement des cordons d'angle, des équerres de 50.80.14. La rupture s'est produite pour une charge de 14.500 kg., la charge admissible était de

$$P_{\text{adm}} = 3.050 \text{ kg.}$$

On a donc un coefficient de sécurité :

$$\nu = \frac{14.500}{3.050} = 4,75.$$

Sur 1 mm<sup>2</sup> de section utile de soudure, on a une charge  $P' = 4,5 \text{ kg.}$

Cet assemblage est donc non seulement plus cher, mais également notablement plus mauvais <sup>1</sup>.

Le mode de calcul prévu dans nos règlements donne donc une sécurité suffisante.

### Zusammenfassung.

Vorteile des Schweissverfahrens gegenüber dem Nietverfahren : Gewichtsersparnis, einfachere Ausführung. Ältere Brücken, die nicht aus Schweisseisen bestehen und die verstärkt werden sollen, lassen sich oft durch Schweissen leicht verstärken, während eine Verstärkung durch Nieten vielfach nicht mehr wirtschaftlich ist.

Angesichts der Ungenauigkeit beim Einbrand, der Dicke und Länge der Schweissnähte sind verwickelte Berechnungsmethoden nicht am Platze. Näherungsverfahren so, dass die für die Schweissverbindungen zulässigen Spannungen  $\rho_{\text{zul}}$  in ein bestimmtes Verhältnis zu den zulässigen Spannungen der eigentlichen Konstruktion  $\sigma_{\text{zul}}$  gesetzt werden. Z. B. Scherspannungen bei Kehlnähten  $\sigma_{\text{zul}} = 0,5 \sigma_{\text{zul}}$ . Deutsche Vorschriften für die Berechnung und bauliche Durchbildung. Zur Ermittlung der Spannungen in den Schweissnähten denkt man sich die Bruchflächen der Schweissnähte in die Anschlussebene umgeklappt und berechnet die Flächen, Trägheitsmomente und Widerstandsmomente dieser Bruchflächen in der üblichen Weise. Die damit berechneten Scherspannungen  $\rho_1$  werden mit den Biegungsspannungen  $\rho_2$  der Schweissnähte zu einer resultierenden Spannung  $\rho = \sqrt{\rho_1^2 + \rho_2^2}$  zusammengesetzt.

Die durch den Einbrand entstandene Schwächung des Querschnitts wird in der Berechnung des nutzbaren Querschnitts ausser Betracht gelassen. Bei Brücken müssen die Stabkräfte, Biegemomente u.s.w. entsprechend den wechselnden Beanspruchungen nach den Formeln  $S = \max S + 1/2 (\max S - \min S)$  u.s.w. erhöht werden. Auf ein gleichmässiges Zusammenwirken der Schweissnähte mit den Nietverbindungen bei zu verstärkenden Brücken kann

1. Voir KOMMERELL. Erläuterungen zu den Vorschriften für geschweisste Stahlbauten, W. Ernst und Sohn, Berlin, 1934, p. 34.

nicht gerechnet werden. Den Nietverbindungen wird nur die ruhende Last, von der Verkehrslast höchstens aber  $1/3$  zugewiesen.

Bei der baulichen Durchbildung müssen exzentrische Anchlüsse beim Schweißen möglichst vermieden, andernfalls rechnerisch verfolgt werden. Bei Fachwerk-Brücken sollen die Füllungsstäbe grundsätzlich mittels Knotenblechen angeschlossen werden. Ausserdem dürfen bei Brücken gezogene Teile nicht durch Stumpfnähte allein verbunden werden. Versuche haben gezeigt, dass mit der Berechnungsweise der deutschen Vorschriften ausreichende Sicherheit bei statischer Beanspruchung erzielt wird. Ob die Sicherheit auch bei dynamischer Beanspruchung ausreichend gross ist, soll durch eingeleitete Versuche noch weiter geprüft werden.

### Résumé.

Le procédé d'assemblage permet, par rapport au rivetage, de réaliser les avantages suivants : économie de poids, plus grande simplicité d'exécution. Les anciens ponts qui ne comportent pas d'éléments en fer soudé et qui ont besoin d'être renforcés, peuvent très souvent être renforcés avec facilité grâce à la soudure, tandis que leur renforcement par rivetage ne serait souvent pas plus économique.

Étant donné le manque de précision que la pénétration de la fusion apporte dans les dimensions effectives des cordons de soudure (épaisseur et longueur), il n'est pas opportun d'avoir recours à des méthodes de calcul compliquées. On adopte plutôt des méthodes approchées ; les efforts admissibles dans les assemblages soudés ( $\rho_{adm}$ ) sont dans un rapport déterminé avec les efforts admissibles dans les éléments de la construction eux-mêmes ( $\sigma_{adm}$ ). Par exemple, les efforts tranchants dans les cordons de soudure d'angle seront définis par :

$$\rho_{adm} = 0,5 \sigma_{adm}$$

L'auteur expose les prescriptions allemandes pour le calcul et les méthodes d'exécution. Pour déterminer les efforts dans les cordons de soudure, on suppose les sections dans lesquelles se produit la fracture des cordons rabattus dans le plan de l'assemblage et on calcule les sections, les moments d'inertie et les moments résistants de ces sections de la manière courante. On compose les efforts tranchants calculés  $\rho_1$  avec les efforts de flexion  $\rho_2$  des cordons de soudure, pour obtenir l'effort résultant

$$\rho = \sqrt{\rho_1^2 + \rho_2^2}$$

On ne tient pas compte, dans le calcul de la section utile, de l'affaiblissement que produit, dans la section, la pénétration de la fusion.

Dans les ponts, les efforts dans les éléments, les moments fléchissants, etc... doivent être augmentés dans une proportion qui tient compte des efforts alternés, suivant une formule du type suivant :

$$S = \max S + 1/2 (\max S - \min S)$$

Lorsque l'on renforce un pont comportant des assemblages rivés en employant la soudure, il ne faut pas compter sur une égale répartition des efforts entre les rivets et les cordons de soudure. Il convient de ne faire sup-