

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

Band: 2 (1936)

Rubrik: IIIa. Einfluss dynamischer und häufig wechselnder Lastwirkungen auf geschweisste Konstruktionen: Versuchsforschungen und Auswirkungen auf die praktische Ausführung

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: 17.04.2026

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

III a 1

Allgemeine Betrachtungen über das Schweißen.

Considérations générales sur le soudage.

General Considerations on Welding.

Oberbaurat Dr. Ing. K. Schaechterle,
Direktor bei der Reichsbahn, Berlin.

Die Ergebnisse der in den Jahren 1928—1933 in der Materialprüfungsanstalt der Technischen Hochschule Stuttgart von Prof. O. Graf durchgeführten Dauerversuche sind zusammenfassend in meinem Bericht über die „Dauerfestigkeit von Niet- und Schweißverbindungen und die Bemessung dynamisch beanspruchter Konstruktionsteile auf Grund der aus Dauerversuchen gewonnenen Erkenntnisse“ (IVBH., Zürich 1934) wiedergegeben. Inzwischen sind die Erkenntnisse über den Einfluß dynamischer und häufig wechselnder Belastungen auf genietete und geschweißte Konstruktionselemente durch zahlreiche Forschungsarbeiten erweitert und vertieft worden.

In Übereinstimmung mit den Ergebnissen gleichlaufender Untersuchungen anderer Forschungsstellen wurde festgestellt, daß die Dauerfestigkeit der Bau-
stähle verschiedener Zusammensetzung und Herkunft durch Unregelmäßigkeiten im Werkstoff, Oberflächenbeschaffenheit und Bearbeitungsgrad beeinflußt wird, daß Einschnürungen und Verdickungen, Bohrungen und Schweißnähte sich hinsichtlich der Dauerfestigkeit ungünstig auswirken, daß bei stetig ansteigender (statischer) Belastung dem Bruch eine weitgehende plastische Verformung vorausgeht, die mit einer Verfestigung durch Kaltreckung verbunden ist, während bei oftmals wiederholten Schwell- und Wechselbelastungen die plastische Verformung und die Verfestigung geringer ist und die Dauerfestigkeitswerte mehr oder weniger tief unter den Reißfestigkeiten liegen, daß bei statischer Belastung Spannungsschwellen und Spannungsspitzen sich durch Spannungsausgleich im plastischen Bereich weniger bemerkbar machen, während bei dynamischer Belastung örtliche Spannungsanhäufungen sich in einer Abminderung der Dauerfestigkeitswerte auswirken, daß insbesondere die Abminderung bei harten Stählen größer ist als bei weichen Stählen, und daß schließlich Stähle, bei denen das Herauf-treiben der Festigkeit und der Streckgrenze mit starker Zunahme der Kerbempfindlichkeit verknüpft ist, für die Zwecke des Brückenbaues ungeeignet sind.

An Prüfstäben aus St. 37 bzw. St. 52 ermittelte Zugfestigkeiten $\sigma_B = 40$ bzw. 57 kg/mm^2 und Ursprungsfestigkeiten $\sigma_U = 27$ bzw. 31 kg/mm^2 ergaben: ein Verhältnis $\frac{\text{Ursprungsfestigkeit}}{\text{Zugfestigkeit}} = 0,68$ für St. 37 und $0,55$ bei St. 52. Am gelochten Stab sind die Verhältniszahlen $0,50$ bei St. 37 und $0,36$ bei St. 52

ermittelt worden. Die Abminderung ist bei St. 52 größer als bei St. 37, was auf die höhere Kerbempfindlichkeit der St. 52 zurückzuführen ist.

Der gewöhnliche Baustahl St. 37 ist sowohl für Nietung als auch Schweißung geeignet. Die hochwertigen Stähle St. 52 verschiedener Zusammensetzung und Herkunft weisen hinsichtlich der Schweißbarkeit recht erhebliche Unterschiede auf. Mechanisch und thermisch nicht einwandfrei behandelte, hoch gekohlte und legierte Stähle haben schon zu Mißerfolgen geführt. Bei einem Stahl St. 52 mit C 0,25 %, Mn 1,20 %, Si 0,76 %, Cu 0,5 %, S und P 0,023 %, der sich durch hohe Festigkeit ($\sigma_B = 58 \text{ kg/mm}^2$) und Streckgrenze ($\sigma_F = 44 \text{ kg/mm}^2$) bei 20 % Dehnung auszeichnete, jedoch von der Randzone ausgehende feinste rißartige Kerben zeigte, sind durch das Verschweißen und die unvermeidlichen Schrumpfspannungen gefährliche Risse aufgetreten. Bei Stählen St. 52 mit glatter, kerbfreier Oberfläche und einer Zusammensetzung von C unter 0,18 % und Si unter 0,5 % sind solche Erscheinungen bis jetzt nicht beobachtet worden. Hiernach muß für geschweißte Konstruktionen aus St. 52 die günstigste Zusammensetzung des Werkstoffs durch Versuche bestimmt werden. Außerdem ist festzustellen, mit welchem Schweißstab die beste Schweißverbindung mit dem gewählten Mutterwerkstoff entsteht, am einfachsten durch Prüfung der meist verwendeten Elektroden an Probestäben mit Stumpfnähten im Dauerversuch (Ursprungsfestigkeit). Vom Grundwerkstoff und Schweißgut ist die Zusammensetzung und der Aufbau (Gefügebild) sowie die Schweißrissigkeit festzustellen.

I. Im Jahr 1931 sind die ersten deutschen „Vorschriften für geschweißte Stahlbauten“ (Din 4000 für Hochbau und Brücken) erschienen, die sich auf statische Versuche des Materialprüfungsamtes Dresden stützten. Man glaubte damals, daß die Verbindung mit Kehlnähten zuverlässiger sei als der Stumpfstoß und deckte dementsprechend die Stöße nach dem Vorbild der genieteten Konstruktionen mit Laschen. Geschweißte Brücken wurden im übrigen gleich behandelt wie die altbewährten genieteten Tragwerke, also für die Querschnittsbemessung dieselben Formeln vorgeschrieben; z. B. bei Wechselbeanspruchung und St. 37
$$\sigma = \frac{M \max - 0,3 M \min}{W_n} \leq \sigma_{zul} \leq 14 \text{ kg/mm}^2.$$
 Für Schweiß-

nähte im Schwellbereich wurde die amerikanische Formel $M = \max M + \frac{1}{2} (\max M - \min M)$ eingeführt. Die ersten Dauerversuche mit geschweißten Konstruktionselementen brachten gegenüber den statischen Versuchen überraschende Ergebnisse. Sie zeigten, daß die Leistungsfähigkeit einer Schweißverbindung nicht nur von den Festigkeitseigenschaften der Schweiße, den durch die thermische Beeinflussung während des Schweißvorgangs geänderten Eigenschaften des Mutterwerkstoffes in der Übergangszone, sondern in noch höherem Maße von dem Kraftfluß abhängig ist und daß für den Eintritt des Dauerbruches der gestaltlich bedingte innere Spannungszustand in erster Linie maßgebend ist. Der Stumpfstoß mit ungestörtem Kraftfluß lieferte wesentlich bessere Schwellzugfestigkeiten als die Laschenverbindung mit Kehlnähten, bei der die Kräfte abgelenkt werden und Spannungsspitzen entstehen. Als man die Stumpfnahverbindung zusätzlich durch Laschen mit Kehlnähten deckte, sank die Dauerfestigkeit im Schwell- und Wechselbereich zum Teil beträchtlich. Der Dauerbruchanriß ging dabei von den Stirnkehlnähten aus, bei denen im übrigen entgegen den bisherigen Anschauungen leichte Hohlkehlnähte mit allmählichem

Übergang der Schweiße zum Blech bessere Ergebnisse lieferten als volle Kehlnähte. Unter Berücksichtigung der Versuchsergebnisse hat man daraufhin in Din 4100 vom Jahre 1933 eine Ausnutzung der Stumpfnah mit $\frac{4}{5}$ der zulässigen Beanspruchung des Mutterwerkstoffes zugelassen. Diese Bestimmung führte zur Anordnung von Schrägnähten. Weitere Versuche zeigten jedoch, daß durch die Verlängerung der Schweißnaht eine Erhöhung der Dauerfestigkeit der Verbindung gegenüber einer senkrechten Stumpfnah nicht zu erzielen war. Andererseits konnte bei Laschen-Verbindungen durch bauliche Maßnahmen, wie Anschärfen der Laschenenden zur Erzielung eines stetigen Querschnittsüberganges und sorgfältige Nachbearbeitung der Kehlnähte mit Fräser, besonders am Beginn der Flankenkehlnähte die Dauerfestigkeit gesteigert werden. Die Vorschriften mußten hiernach nochmals geändert und neu bearbeitet werden, wobei eine grundsätzliche Trennung in statisch beanspruchte und in vorwiegend dynamisch beanspruchte Tragwerke durchgeführt wurde.

Werden die Dauerfestigkeiten eines gewöhnlichen oder hochwertigen Baustahls in einem Festigkeits-Diagramm aufgetragen, so erhält man die in Fig. 1 dargestellte σ_0 -Linie, bezogen auf die untere Spannung σ_u . Die Schwingweite $\sigma_s = \sigma_0 - \sigma_u$ ergibt sich aus dem Abstand der σ_0 -Linie von der unter 45° geneigten σ_u -Linie. Die schraffierte Fläche ist der Schwingbereich. Wegen der mit dem Überschreiten der Fließ- bzw. Quetschgrenze verbundenen Verformungen scheidet die über diese Grenzen hinaus sich erstreckenden Teile des Diagrammes für die praktische Ausnützung aus. In dem verbleibenden Bereich darf die Dauerfestigkeitskurve angenähert durch eine Gerade ersetzt werden. Die Schwingweite nimmt gegen die Fließgrenze etwas ab. Mit hinreichender Genauigkeit darf bei Schweißkonstruktionen im Zug- und Druckgebiet nach den Versuchen von Professor Graf die Schwingweite σ_s durchweg gleich groß, also $\sigma_s = \sigma_U = 2 \sigma_W$ angenommen werden.

Maßgebend für die Bemessung von Brückenteilen, die durch die Verkehrslasten schwingend beansprucht werden, sind die Größtwerte der Normalkräfte, Querkkräfte und Biegemomente unter der Einwirkung der ruhenden Last und der mit der Stoßzahl φ vervielfachten Verkehrslast. Die mit den Größtwerten errechneten Spannungen müssen in dem durch die Spannungshäuschen gegebenen sicheren Bereich ($\sigma_{D,zul}$) bleiben.

Mit den Ergebnissen der Kuratoriumsversuche (Dauerfestigkeitsversuche mit Schweißverbindungen, Berlin 1935, VDI-Verlag) sind von dem Arbeitsausschuß zur Aufstellung von Vorschriften für geschweißte Eisenbahnbrücken, dem Vertreter der Wissenschaft und Praxis angehörten, die in Fig. 2a und 2b dargestellten Spannungshäuschen festgesetzt worden.

Unverkennbar tritt darin das Bestreben zutage, die zulässigen Spannungen möglichst hochzutreiben. Man ist mit den $\sigma_{D,zul}$ -Werten sehr nahe an die aus Versuchen ermittelten Wechselfestigkeitswerte (Mittelwerten bei $2 \cdot 10^6$ Lastwechsel) herangegangen, so daß die Spanne z. T. nur 1 kg/mm^2 beträgt. Dabei sind die unvermeidlichen Schrumpfspannungen nicht berücksichtigt. Unter Beibehaltung des Berechnungsverfahrens der BE. sind neben dem auf ungestoßene Bauteile abgestellten Schwingungsbeiwert γ noch veränderliche Formbeiwerte α eingeführt worden, um die dynamisch beanspruchten Bauteile wie solche mit ruhender Belastung behandeln zu können. Bei dem Spannungsnachweis ent-

sprechend $\sigma_I = \frac{\gamma}{\alpha} \cdot \frac{\max M_I}{W_n} \leq \sigma_{zul}$ werden die aus ständiger Last und Verkehrslast sich ergebenden Größtwerte der Biegemomente ($M_I = M_g + \varphi \cdot M_P$) mit dem Schwingungsbeiwert γ vervielfältigt und die verschiedenen Bauarten und Schweißbearbeitungen durch die Formzahl α erfaßt. Man rechnet also mit gedachten Spannungen σ_I , während die tatsächlich auftretenden Spannungen sich

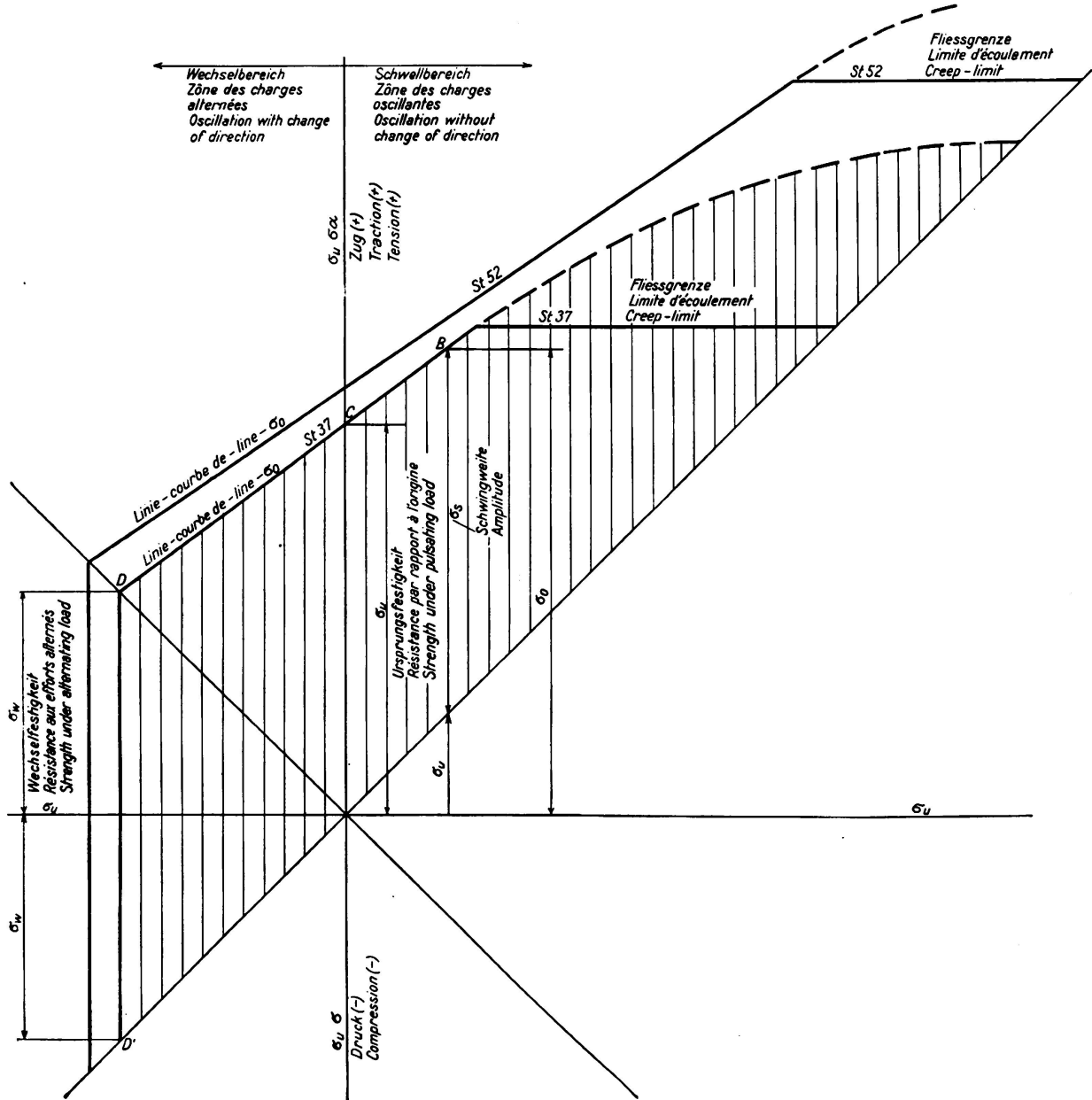


Fig. 1.

Linie der Dauerfestigkeiten (σ_0 -Linie) für St. 37 und St. 52 Zug.

rückwärts aus $\sigma_{max} = \frac{\alpha}{\gamma} \cdot \sigma_I \left(= \frac{\max M_I}{W_n} \right)$ ergeben. Die γ - und α -Werte für Eisenbahnbrücken sind aus den Tabellen 1, 2 und 3 der „Vorläufigen Vorschriften für geschweißte vollwandige Eisenbahnbrücken“ zu entnehmen. Die

γ -Werte, die von dem Verhältnis $\frac{\min S_I}{\max S_I}$ bzw. $\frac{\min M_I}{\max M_I}$... abhängig sind, folgen aus den Spannungshäuschen für $\alpha = 1$. Für die α -Werte, bezogen auf $\frac{\min S_I}{\max S_I}$ bzw. $\frac{\min M_I}{\max M_I}$, ergeben sich leicht gekrümmte Linien, die in den Vorschriften

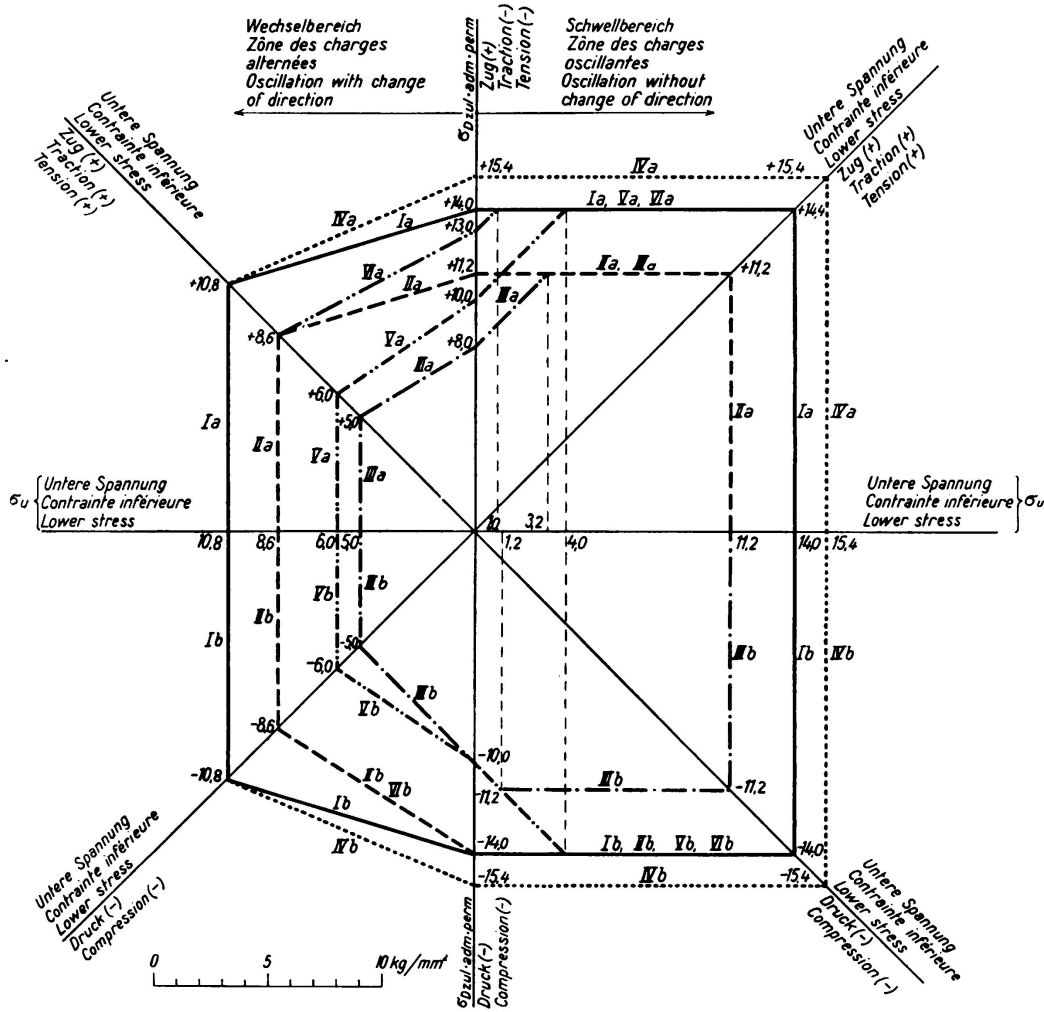


Fig. 2 a.

Schaubild der zulässigen Spannungen σ_{Dzul} bei geschweißten Brücken aus St. 37.

- I a, I b ungestoßene Bauteile im Zug- und Druckgebiet.
- II a gestoßene Bauteile im Zuggebiet in der Nähe von Stumpfnähten und die Stumpfnähte selbst, wenn die Wurzeln nachgeschweißt und die Nähte bearbeitet sind.
- II b dasselbe wie bei II a im Druckgebiet.
- III a, III b dasselbe wie bei II a, II b wenn die Wurzel nicht nachgeschweißt werden kann.
- IV a, IV b zulässige Hauptspannungen nach der Formel

$$\sigma = \frac{\sigma_I}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{\sigma_I^2 + 4\tau_I^2}$$

- V a, V b Bauteile in der Nähe von Stirnkehlnähten und am Beginn von Flankenkehlnähten. Stirnnahtübergänge und Flankenkehlnähtenden unbearbeitet.
- VI a, VI b dasselbe wie bei V a und V b bei bester Bearbeitung der Stirnnahtübergänge und der Flankenkehlnähtenden.

näherungsweise durch Geraden ersetzt wurden. Die Bemessung geschweißter Eisenbahnbrücken wird durch die gewählte Berechnungsform nicht einfacher und anschaulicher. Die Abminderungen der zulässigen Spannungen, die aus dem

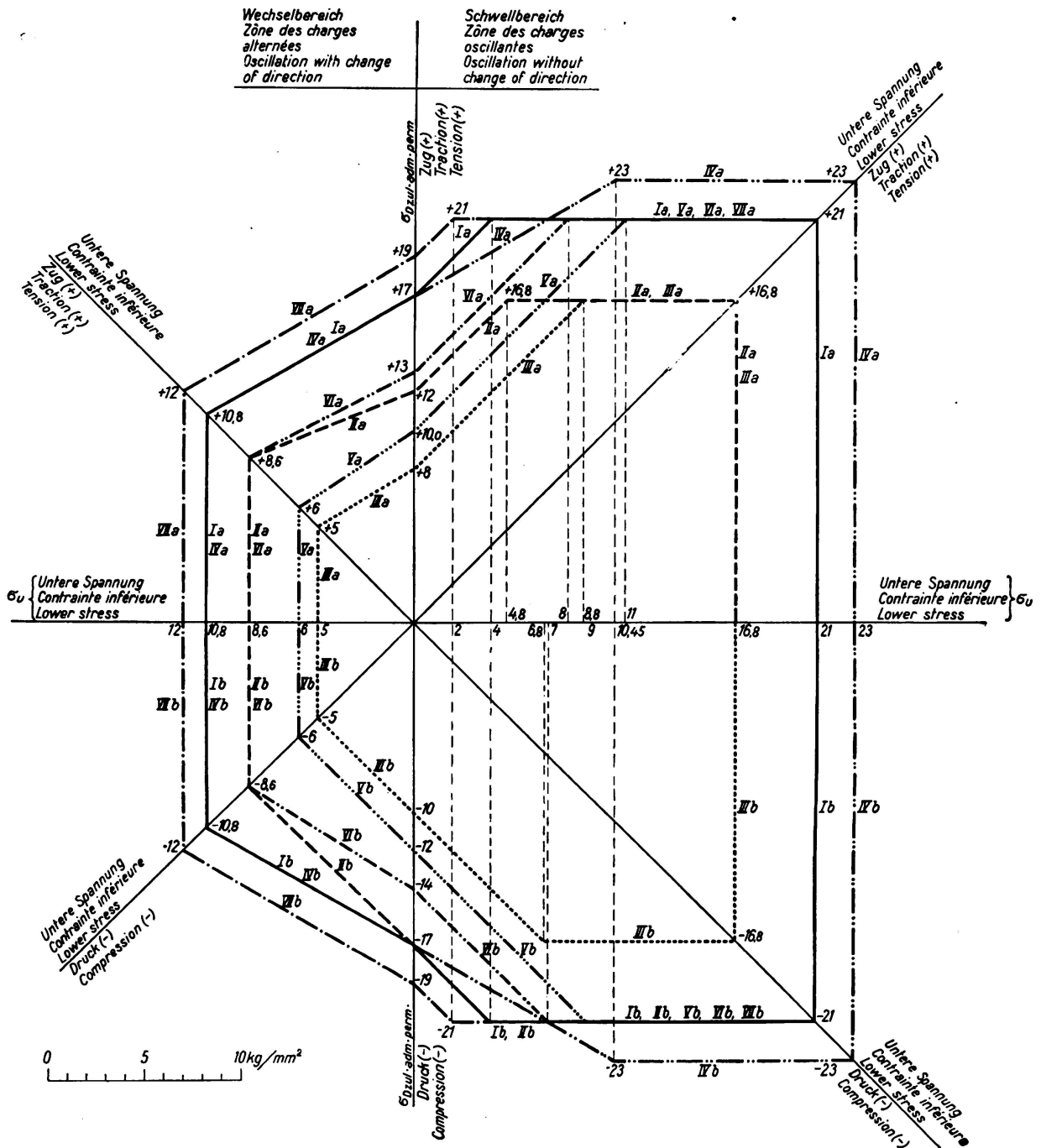


Fig. 2 b.

Schaubild der zulässigen Spannungen σ_{Dzul} bei geschweißten Brücken St. 52.

- I a, I b ungestoßene Bauteile im Zug- und Druckgebiet bei starkem Verkehr (mehr als 25 Züge am Tage auf jedem Gleis).
- II a gestoßene Bauteile im Zuggebiet in der Nähe von Stumpfnähten und die Stumpfnähte selbst, wenn die Wurzeln nachgeschweißt und die Nähte bearbeitet sind.
- II b dasselbe wie bei II a im Druckgebiet.
- III a, III b dasselbe wie bei II a, II b wenn die Wurzel nicht nachgeschweißt werden kann.

IVa, IVb zulässige Hauptspannungen nach der Formel

$$\sigma = \frac{\sigma_I}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{\sigma_I^2 + 4 \tau_I^2}$$

- Va, Vb Bauteile in der Nähe von Stirnkehlnähten und am Beginn von Flankenkehlnähten. Stirrnahtübergänge und Flankenkehlnähtenden unbearbeitet.
 VIa, VIb dasselbe wie bei Va und Vb bei bester Bearbeitung der Stirrnahtübergänge und der Flankenkehlnähtenden.
 VIIa, VIIb dasselbe wie bei Ia, Ib bei schwachem Verkehr (bis zu 25 Zügen im Tage auf jedem Gleis).

Spannungshäuschen klar und eindeutig ersichtlich sind, werden durch die Beiwerte verschleiert. Der natürliche Weg ist doch der, nachzuweisen, daß die Größtspannungen (σ_{\max}), die die statische Berechnung liefert, in jedem Fall in dem durch die Spannungshäuschen gekennzeichneten zulässigen Bereich liegen. Der entwerfende Ingenieur wird durch die Abminderung der zulässigen Spannungen zum wirtschaftlichen und schweißgerechten Konstruieren angehalten, also beispielsweise Stumpfstöße an Stelle von Laschenverbindungen zu wählen, die Trägerstöße in die Nähe von Momentennullpunkten zu verlegen, die Halsnähte der Vollwandträger von den Gurtplatten abzurücken u. a. m.

Wird die Schwingungsweite durchweg gleich groß angenommen, so ergibt sich aus der allgemeinen Formel für nach der Fließ- oder Quetschgrenze stetig abnehmende Schwingweite

$$\sigma_D \text{ zul} = \frac{\sigma_U \text{ zul}}{1 - \frac{\sigma_U \text{ zul} - \sigma_W \text{ zul}}{\sigma_W \text{ zul}} \cdot \frac{\min S}{\max S}} = \frac{\max S}{F_{\text{erf}}}$$

mit $\sigma_s = \sigma_U = 2 \sigma_W$ die einfache Bemessungsformel,

$$F_{\text{erf}} = \frac{\max S - \min S}{\sigma_U \text{ zul}},$$

die auf *Wöhler* zurückgeht. Das Berechnungsverfahren wird dadurch außerordentlich vereinfacht. Die Tabellen fallen weg. Man braucht nur die Grundspannungen, nämlich die zulässigen Schwingweiten, $\sigma_s \text{ zul}$, die Abminderungsbeiwerte für Stumpfstöße (= 0,8) und für Laschenverbindungen mit Stirn- und Flankenkehlnähten (0,65 bis 0,75) im Gedächtnis festzuhalten, und kann damit die Bemessung ohne Tabellenwerte durchführen.

Unter diesen vereinfachenden Annahmen gelten nach den heutigen Erkenntnissen für ungestoßene durchgehende Bauteile aus $\left\{ \begin{array}{l} \text{St. 37} \\ \text{St. 52} \end{array} \right\}$ im $\left\{ \begin{array}{l} \text{Zug-} \\ \text{Druck-} \end{array} \right\}$ gebiet die Linien $\left\{ \begin{array}{l} \text{Ia} \\ \text{Ib} \end{array} \right\}$ mit einer Schwingweite $\sigma_s \text{ zul} = \sigma_U \text{ zul} = 2 \sigma_W \text{ zul} = \left\{ \begin{array}{l} 14 \\ 16 \end{array} \right\} \text{ kg/mm.}^2$ Für stumpfgestoßene Bauteile (Nahtwurzel nachgeschweißt und Nahtübergänge bearbeitet) gilt im Zuggebiet die Linie IIa mit einer Schwingweite für $\left\{ \begin{array}{l} \text{St. 37} \\ \text{St. 52} \end{array} \right\}$ $= \left\{ \begin{array}{l} 0,8 \cdot 14 = 11,20 \\ 0,8 \cdot 16 = 12,80 \end{array} \right\} \text{ kg/mm}^2$. Stumpfnähte im Druckgebiet dürfen ebenso beansprucht werden wie ungestoßene, durchgehende Bauteile (Linie IIb). Für

Bauteile in der Nähe von Stirnkehlnähten und am Beginn von Flankenkehlnähten und am Beginn von Flankenkehlnähten und Kehlnahtenden (Nahtübergänge sorgfältig bearbeitet) gelten die Linien IIIa und IIIb = $\left\{ \begin{matrix} 0,75 \cdot 14 = 10,5 \\ 0,75 \cdot 16 = 12,0 \end{matrix} \right\}$ kg/mm². Sind die Nähte unbearbeitet, so gelten die Linien IVa und IVb, für $\left\{ \begin{matrix} \text{St. 37} \\ \text{St. 52} \end{matrix} \right\} = \left\{ \begin{matrix} 0,65 \cdot 14 \\ 0,65 \cdot 16 \end{matrix} \right\} = \left\{ \begin{matrix} 9,1 \\ 10,4 \end{matrix} \right\}$ kg/mm². (Fig. 3a und 3b).

II. Was die Auswirkung der Versuchsforschung auf die praktische Ausführung anlangt, so haben die Dauerversuche dazu beigetragen, durch geschickte Form-

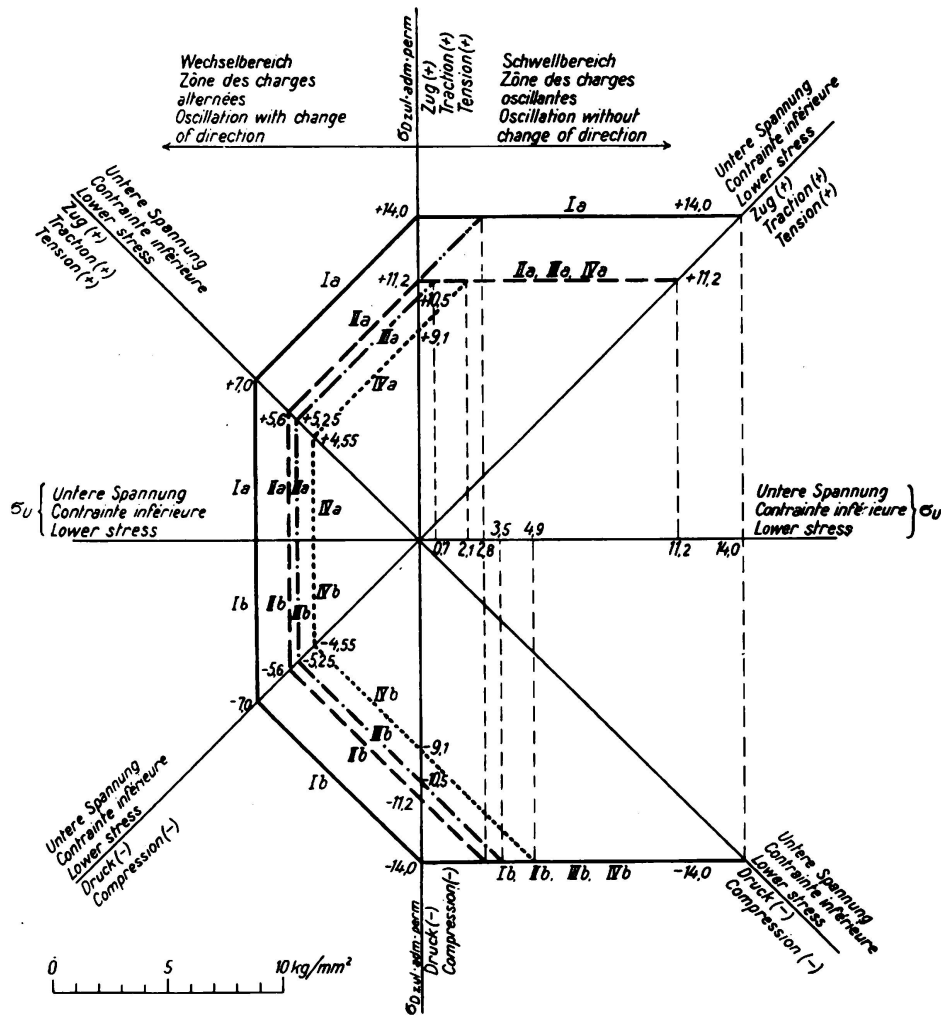


Fig. 3 a.

Schaubild der zulässigen Spannungen σ_{Dzul} bei geschweißten Brücken aus St. 37.

- I a, I b ungestoßene Bauteile im Zug- und Druckgebiet. $\sigma_u = 14$ kg/mm².
- II a, II b gestoßene Bauteile im Zug- und Druckgebiet in der Nähe von Stumpfnähten und die Stumpfnähte selbst, wenn die Wurzeln nachgeschweißt und die Nähte bearbeitet sind. $\sigma_u = 0,8 \cdot 14 = 11,2$ kg/mm².
- III a, III b Bauteile im Zug- und Druckgebiet in der Nähe von Stirnkehlnähten und am Beginn von Flankenkehlnähten. Stirnnahtübergänge und Flankenkehlnahtenden sorgfältig bearbeitet. $\sigma_u = 0,75 \cdot 14 = 10,5$ kg/mm².
- IV a, IV b dasselbe wie vor im Zug- und Druckgebiet. Stirnnahtübergänge und Flankenkehlnahtenden unbearbeitet. $\sigma_u = 0,65 \cdot 14 = 9,1$ kg/mm².

gebung die Werkstoffeigenschaften besser auszunützen und so an Gewicht zu sparen, gleichzeitig die Sicherheit und Zuverlässigkeit der geschweißten Tragwerke zu erhöhen. Während die Beurteilung der Schweißverbindungen auf

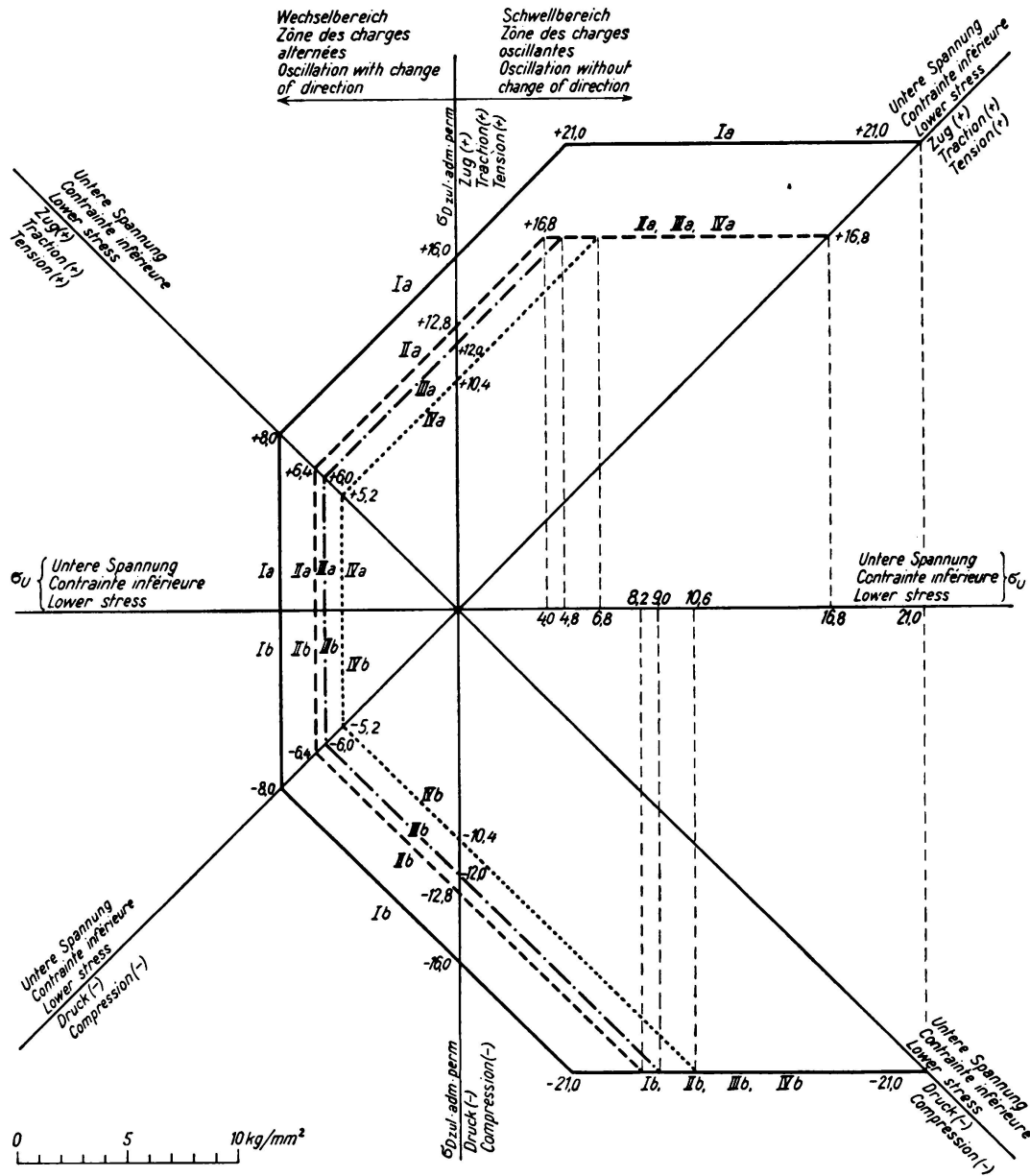


Fig. 3 b.

Schaubild der zulässigen Spannungen σ_{zul} bei geschweißten Brücken aus St. 52.

- Ia, Ib ungestoßene Bauteile im Zug- und Druckgebiet. $\sigma_u = 16 \text{ kg/mm}^2$.
- IIa, IIb gestoßene Bauteile im Zug- und Druckgebiet in der Nähe von Stumpfnähten und die Stumpfnähte selbst, wenn die Wurzeln nachgeschweißt und die Nähte bearbeitet sind. $\sigma_u = 0,8 \cdot 16 = 12,8 \text{ kg/mm}^2$.
- IIIa, IIIb Bauteile im Zug- und Druckgebiet in der Nähe von Stirnkehlnähten und am Beginn von Flankenkehlnähten. Stirnnahtübergänge und Flankenkehlnähtenden sorgfältig bearbeitet. $\sigma_u = 0,75 \cdot 16 = 12,0 \text{ kg/mm}^2$.
- IVa, IVb dasselbe wie vor im Zug- und Druckgebiet. Stirnnahtübergänge und Flankenkehlnähtenden unbearbeitet. $\sigma_u = 0,65 \cdot 16 = 10,4 \text{ kg/mm}^2$.

Grund von statischen Versuchen oft zu falschen Schlüssen und abwegigen Konstruktionen geführt hat, es sei nur an die Vorschläge zur Verbesserung der Nietverbindungen durch Flankenkehlnähte erinnert, an die Bevorzugung der Laschenverbindung vor dem Stumpfstoß und anderes mehr, haben die Dauerversuche wesentlich zum schweißgerechten Konstruieren beigetragen. Die erste Forderung schweißgerechten Konstruierens ist „alles zu vermeiden, was die Dauerfähigkeit nachteilig beeinflußt“. Durch die aus Dauerversuchen gewonnenen Erkenntnisse ist eine Wandlung in der baulichen Durchbildung geschweißter Tragwerke eingetreten. Der Schweißkonstrukteur hat sich mehr und mehr von den Nietformen freigemacht. Er hat gelernt, die Tragwerke aus möglichst wenigen, leicht verschweißbaren Einzelteilen zusammensetzen, nachteilige Anhäufungen von Schweißnähten, Umlenkungen des Kraftflusses durch Laschen oder scharfe Richtungswechsel, Spannungstauungen durch plötzliche Querschnittsänderungen zu vermeiden oder weitgehend zu mildern und schließlich mit Rücksicht auf die unvermeidlichen Wärme- und Schrumpfspannungen die Nahtlängen und die Nahtquerschnitte auf ein Mindestmaß zu beschränken.

Die wichtigste Bauform im Brückenbau ist heute der aus Blechen und Sonderprofilen verschiedener Breite und Dicke zusammengesetzte, geschweißte Vollwandträger. Durch zahlreiche Bauausführungen ist für Vollwandbalkenbrücken die Eignung und Wirtschaftlichkeit der Schweißung erwiesen. Mit geschweißten Vollwandträgern sind dank der Initiative von Geheimrat Dr.-Ing. e. h. und Dr.-techn. h. c. *Schaper* Stützweiten bis 54 m ausgeführt worden (Rügendamm).

Für kleinere und mittlere Spannweiten werden die geschweißten Träger mit I-Querschnitt nach dem Vorbild der Walzträger ausgeführt. Dabei ist man in der Wahl der Abmessungen freier, weil man nicht wie beim Walzträger aus walztechnischen Gründen an bestimmte Verhältnisse gebunden ist. Neben den I-Querschnitten kommen noch geschweißte Kasten- und Hohlquerschnitte vor.

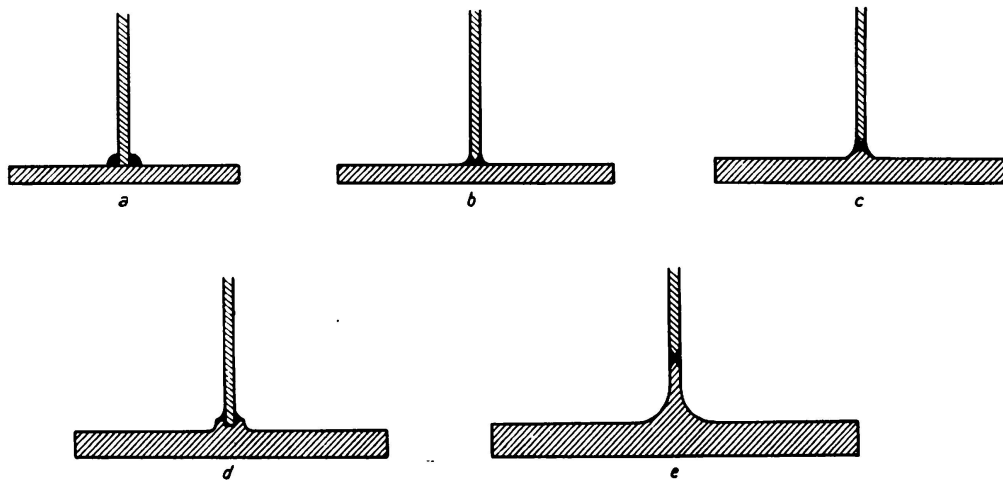


Fig. 4.

Bei den ersten geschweißten Vollwandträgern (Fig. 4) hat man die Gurtplatten durch volle Kehlnähte mit dem Stegblech verbunden (Fig. 4a). Auf Grund von Erfahrungen und Versuchen wurden dann die Stegbleche angeschrägt und beiderseitige Hohlkehlnähte angeordnet (Fig. 4b), wobei sich aber

bei dicken Stegblechen Schwierigkeiten hinsichtlich des Durchschweißens der Wurzel ergaben. Man ist deshalb zur Herstellung von Sonderprofilen für die Gurtplatten übergegangen, von denen die Nasenprofile der Dortmunder Union mit Kehlnahtanschluß (Fig. 4d), die Wulstprofile von *Dr. Dörnen* (Fig. 4c) und die Kruppschen Rippenplatten, die mit dem Stegblech stumpf verschweißt werden, zu erwähnen sind. Bei letzteren wurden durch die Wegverlegung der Halsnähte vom Gurt in die Zone geringerer Beanspruchung und durch die Schaffung eines stetigen Überganges vom Gurt zum Stegblech günstigere Spannungsbedingungen für die Halsnaht geschaffen und die Einkerbungen der Gurtung vermieden (Fig. 4e). Außerdem ergab sich der Vorteil, daß die von der Gurtung abliegende Naht für die Nachprüfung zugänglich bleibt und leicht durchstrahlt werden kann.

Aus wirtschaftlichen Gründen kann bei Trägern größerer Stützweite auf eine Abstufung der Gurtquerschnitte entsprechend dem Momentenlinienverlauf nicht verzichtet werden. Man hat zunächst in solchen Fällen zusätzliche Gurtverstärkungsplatten paketartig übereinander gesetzt und mit Kehlnähten verschweißt

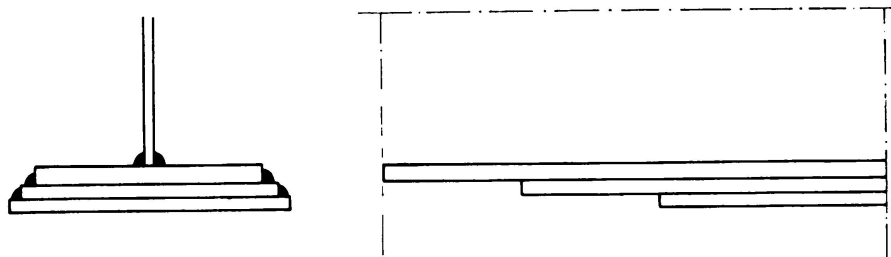


Fig. 5.

(Fig. 5). Diese Anordnung ist baulich nicht einwandfrei, weil dabei nur die innere Gurtplatte des Paketes an das Stegblech angeschlossen wird, da die Verbindung von breiten Platten durch außenliegende Kehlnähte ungenügend ist und weil beim Schweißen der Kehlnähte die breiten Platten sich wölben und dadurch die Gefahr des Ausbeulens in der Druckzone erhöht wird. Diese Mängel werden gemildert, wenn Gurtplatten verschiedener Dicke angeordnet und mit

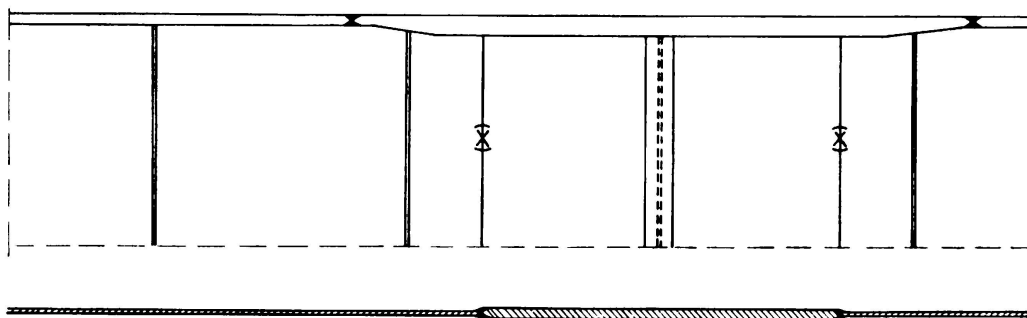


Fig. 6.

allmählichem Übergang durch Stumpfnähte verbunden werden (Fig. 6). Die Verdickung wird gewöhnlich nach innen gelegt, um ebene Außengurtflächen zu erhalten. Eine gute Ausführungsform ergibt sich durch Verwendung von Nasen- und Rippenprofilen und die Einschweißung von zweiteiligen Gurtver-

stärkungsplatten auf der Innenseite (Fig. 7a bis c). Dazu ist der Stegansatz genügend hoch und kräftig auszubilden, damit die Halsnaht zugänglich bleibt und die zusätzlichen Gurtverstärkungsplatten durch Stumpfnah mit dem Stegansatz verschweißt werden können. Bei dieser Anordnung ist ein einwandfreier Kraftfluß von der Gurtung zum Stegblech gewährleistet. Ein weiterer Fortschritt in der Richtung, die Gurtquerschnitte der Maximalmomentenlinie anzupassen, ergibt sich durch Verwendung von Kreuzrippenplatten (Fig. 7d), in-

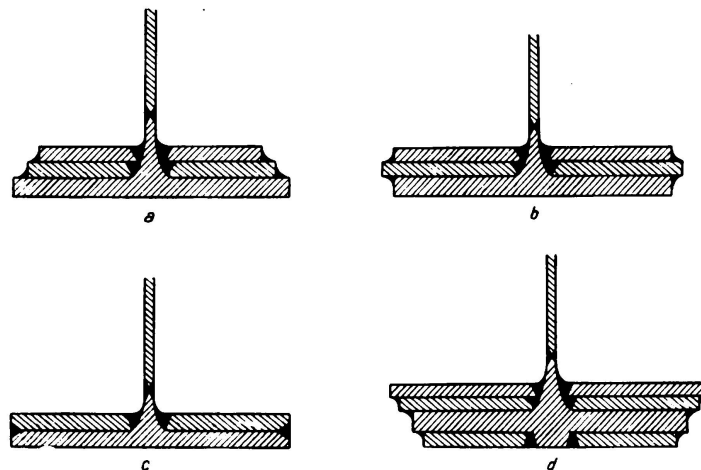


Fig. 7.

dem auf beiden Seiten zusätzliche Gurtverstärkungsplatten mit Stumpfnähten an die Rippen angeschlossen werden können. Bei Straßenbrücken ergeben sich Vorteile hinsichtlich des Einschweißens von Tonnen- oder Buckelblechen mit Stumpfnähten (Fig. 8); bei Eisenbahnbrücken ermöglicht die Kreuzrippenplatte eine zentrische Auflagerung der Schwellen¹ (Fig. 9).

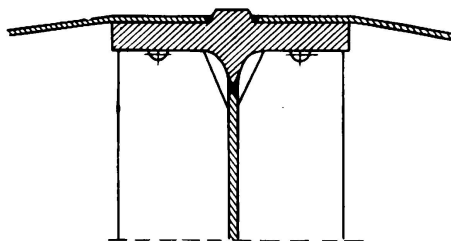


Fig. 8.

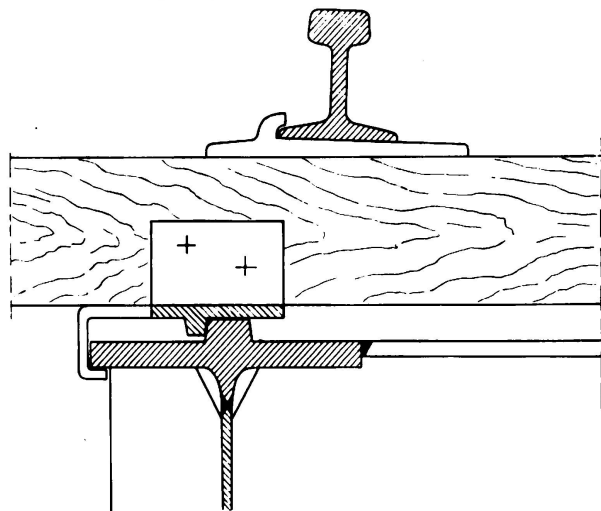


Fig. 9.

Für die Gesamtwirkung der geschweißten Vollwandträger sind noch die Aussteifungen der Stegblechwände von Bedeutung. Zur Aussteifung hoher Trägerwände werden einfache Bleche, T- oder I-Profile verwendet. Auf das Versetzen

¹ Schaechterle: Der geschweißte Vollwandträger. Beitrag zur Gestaltung von geschweißten Brücken. Bauingenieur, 17. Jahrg., H. 15/16, S. 131 ff.

der Nähte kann bei Stegblechdicken über 16 mm verzichtet werden. Um ein Überschweißen der Halsnähte zu vermeiden, werden die Innenecken der Aussteifung ausgeschnitten. In die Zugzone werden Unterlagsplättchen eingekeilt und mit Kehlnähten an die Aussteifung angeschlossen, um die Schwächung des Zuggurtes durch Einbrandkerben auszuschalten. Bei Deckbrücken empfiehlt es sich, die obere Gurtung der Querträger oder Querrahmen mit Stumpfnah an die

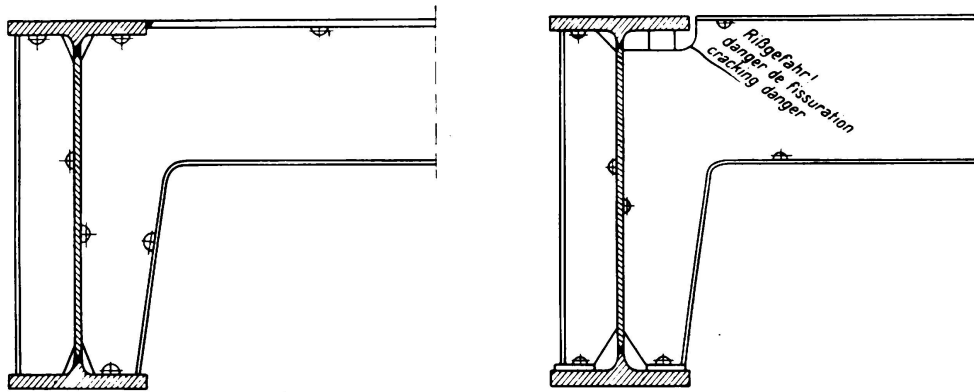


Fig. 10.

Hauptträger anzuschließen, sowie deren Stegbleche in der Rahmenecke an den Hauptträger voll anzuschweißen. Hierdurch werden die Gurtkräfte des Querrahmens auf den Hauptträger ohne Unstetigkeit übergeleitet (Fig. 10).

III. Ein heute noch ungelöstes Problem bilden die beim Schweißen entstehenden Schrumpfspannungen, die in den Vorschriften nicht berücksichtigt sind, obwohl sie erfahrungsgemäß hohe Werte erreichen können und bei ungeeigneten Stählen und unsachgemäßer Schweißfolge sogar zu Rissen geführt haben. Auch in der Versuchsforschung ist das Gebiet der Schrumpfspannungen etwas stiefmütterlich behandelt. Die nächstliegende Aufgabe besteht darin, die Größe der Schrumpfspannungen in Tragwerken und ihre Auswirkung auf die Dauerfestigkeiten zu erkunden. Innere Spannungen bedrohen geschweißte Konstruktionen, wenn durch das Schweißen Anrisse entstehen. Die bekannt gewordenen Mißerfolge sind zurückzuführen auf

1. hochgekolte und hochsilizierte Nähte mit Walzfehlern, insbesondere feinsten rißartigen Kerben, Poren, Überwalzungen, Doppelungen . . .,
2. unsachgemäße Verarbeitung, z. B. Kaltbiegen steifer Profile,
3. ungeeignete thermische Behandlung, so daß Abkühlungs- und Schrumpfspannungen sich summieren,
4. Spannungsspitzen durch Häufung von Schweißnähten, durch Ausklinkungen, plötzliche Querschnittsänderungen . . .

Man muß in der Praxis erst lernen, die Schrumpfspannungen zu meistern. Dazu ist der Schweißvorgang selbst auf Grund von Erfahrungen und Versuchen planmäßig festzulegen.

Ist beim Zusammenschweißen von Bauteilen die freie Beweglichkeit behindert, so entstehen Schrumpfspannungen. Bis zu einem gewissen Grad werden die Schrumpfspannungen durch Kaltreckung ausgeglichen. Die Verhältnisse liegen jedoch anders als bei Walzträgern mit Walz- und Abkühlungsspannungen. Die Schrumpfspannungen können unter ungünstigen Bedingungen wesentlich

höhere Werte erreichen. Es muß deshalb beim Verschweißen der Trägerkonstruktionen alles versucht werden, um die Schrumpfspannungen möglichst niedrig zu halten. Schon beim Herrichten der Bleche oder Werkstücke für eine Schweißverbindung sind Vorkehrungen zu treffen, um eine einwandfreie Herstellung der Schweißnähte zu gewährleisten. Da im Brückenbau Bleche unter 8 mm Stärke nur ausnahmsweise zur Verwendung kommen, scheidet die Strichnahtverbindung aus. Zur Ausführung von V-, X- oder U-Nähten sind die gestoßenen Blechkanten sorgfältig zu bearbeiten, damit der Querschnitt der Naht gleichmäßig über die ganze Nahtlänge durchläuft und Schweißgutanhäufungen vermieden werden. Der Wurzelabstand soll mindestens 2 mm betragen, um ein einwandfreies Schweißen der Wurzel zu gewährleisten und zu tiefes Auskreuzen bei der Nachbearbeitung der Wurzel zu vermeiden. Bei der Herstellung der Nähte müssen die Teile des Werkstückes so zurechtgelegt werden, daß Bewegungen in der Hauptschrumpfrichtung möglich sind und gleichzeitig Verwerfungen auf ein Kleinmaß beschränkt bleiben. Bei der Wahl der Schweißdrähte ist die Stärke der zu verbindenden Bleche zu beachten. Je dicker die Bleche, umso stärker müssen auch die Elektroden sein. Bei der ersten Lage der Naht ist die Reißgefahr am größten, deshalb ist beim Vorschweißen mit dünnen Elektroden Vorsicht geboten. Der Stumpfstoß mit V-Naht wird verwendet bei dünnen Blechen und bei dicken Blechen, wenn eine Drehung des Werkstückes nicht möglich ist. Die U-Naht hat gegenüber der V-Naht bei dicken Blechen den Vorteil geringeren Bedarfs an Schweißgut. Bei beiden Nahtarten kann die Wurzel über Kopf ausgekreuzt und nachgeschweißt werden. Bei V- und U-Nähten sind die Winkelschrumpfungen zu beachten. Um der Winkelschrumpfung entgegenzuwirken, empfiehlt es sich, die zu verbindenden Bleche unter einem kleinen Winkel zusammenzulegen, so daß nach der Winkelschrumpfung die verschweißten Bleche in einer Ebene liegen. Die X-Naht erfordert die geringste Menge Schweißgut. Sie wird verwendet, wenn in Drehvorrichtung geschweißt wird, ferner bei stehenden Nähten und wenn Überkopfschweißungen zugelassen sind. Winkelschrumpfungen werden durch gleichzeitiges oder abwechselndes Schweißen der einzelnen Lagen auf beiden Seiten ausgeglichen. Damit die beiden Hälften der Naht nach Fertigstellung möglichst gleich ausfallen, muß der zuerst zu schweißende Teil des Nahtquerschnitts, aus dem die Wurzel herausgestemmt wird, etwas größer sein. Soll der untere Teil der Naht über Kopf geschweißt werden, so empfiehlt es sich, die Wurzel in den unteren Drittelpunkt zu verlegen. Die Stumpfstoße sind möglichst senkrecht zur Trägerachse auszuführen, weil diese Anordnung die geringste Menge Schweißgut erfordert. Bei Breitflanschträgerstößen mit schrägen Stumpfnähten in den Gurten haben sich die Träger stark verzogen und sind teilweise im Stegblech von der Naht ausgehend gerissen (Fig. 11). Beim senkrechten Stumpfstoß haben sich solche Schäden nicht ergeben. Doppelseitige Steifen und Quertträger werden an das Stegblech mit dünnen Kehlnähten angeschlossen. Wie bei X-Nähten so kann auch bei doppelseitigen Kehlnähten schon durch die Schweißfolge eine Herabsetzung bzw. ein Ausgleich der Winkelschrumpfung erzielt werden. Außer der Winkelschrumpfung treten noch Quer- und Längschrumpfungen auf. Bei langen Nähten wird meist in der Mitte begonnen und nach beiden Seiten gleichzeitig geschweißt. Das Pilgerschrittverfahren wird im

Brückenbau weniger angewendet, da die häufigen Ansätze leicht Fehlerquellen ergeben. Durch Warmhaltung des bereits fertiggestellten Nahtquerschnitts ist es möglich, die Querschrumpfung und damit die Querverspannung herabzusetzen. Wenn nach Fertigstellung der ganzen Naht die künstliche Erwärmung aufhört, kann die Querschrumpfung gleichzeitig über die ganze Nahtlänge eintreten und sich nur in einer Verkürzung des gesamten Werkstückes auswirken. Voraussetzung ist dabei, daß die Werkteile ungehindert und leicht nachkommen können.

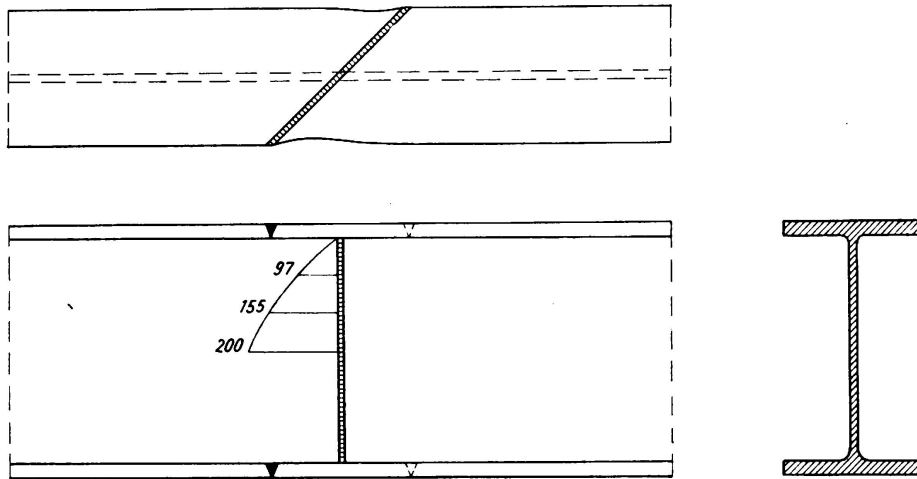


Fig. 11.

Außer den Schrumpfungen in der Schweißnaht selbst treten auch in den benachbarten Zonen zu beiden Seiten der Schweißnaht während des Schweißvorgangs Ausdehnungen und nach Beendigung Schrumpfungen auf. Diese können nicht durch zusätzliches Erwärmen herabgesetzt werden; Vor- und Nachwärmen kann bestenfalls nur einen Spannungsausgleich bringen. Durch bewegliche Lagerung ist ein ungehindertes Ausdehnen während des Vorwärmens und ungehindertes Nachkommen während des Schrumpfens sicherzustellen.

Die Forderung freier Beweglichkeit der Werkstücke beim Zusammenschweißen ist in der Werkstatt leicht zu erfüllen. Stegblech und Gurte werden deshalb in der Werkstatt für sich zu längeren Stücken verschweißt, dann erst zum Träger zusammengesetzt und die Halsnähte verschweißt. Durch das Aufschweißen der Aussteifungen auf dem Stegblech bevor die Halsnähte gezogen sind, werden die Halsnähte entlastet, während bei dem nachträglichen Aufschweißen infolge der größeren Schrumpfung des Stegbleches gegenüber der Gurtung zusätzliche Spannungen in den Halsnähten hervorgerufen werden. Auf der anderen Seite behindern genau eingepaßte Steifen die Querschrumpfung an dieser Stelle, so daß die Gurte wellenförmig ausgebogen werden. Auch das nachträgliche Einpassen unter Vorwärmen der mittleren Stegblechzone behebt diese Mängel nicht. Werden die Steifen mit Spiel eingesetzt, so sind Unterlagskeile in verschiedener Stärke vorrätig zu halten, um kleine Längenänderungen, die durch Schrumpfung hervorgerufen werden, auszugleichen. Beim Vorhandensein einer Luftfuge zwischen Gurtplatte und Aussteifung, ist es falsch, die Verbindung durch Zuschweißen der Luftfuge herzustellen, weil dabei die Gurtung herangezogen wird. Bei dem Zusammenbau des Trägers machen sich die Längsschrumpfungen in

der Naht durch Verkürzung des Werkstückes bemerkbar. Da die Größe der Längsschrumpfung mit der Nahtlänge zunimmt, so werden beim Zusammenbau die Halsnähte von der Mitte ausgehend nach den Enden geschweißt. Vorteilhaft ist es, beide Gurtungen zu gleicher Zeit mit dem Stegblech zu verbinden oder die Halsnähte abwechselnd zu schweißen. Dadurch wird einer einseitigen Verkrümmung des Stegbleches entgegengewirkt.

Bei verschiedenen Querschnittsausbildungen von Brücken, z. B. mit Fahrbahntafeln aus aufgeschweißten Buckel-, Tonnen- oder Flachblechen, findet eine Häufung von Schweißnähten im Obergurt der Fahrbahnträger statt. Da die Längsschrumpfung eine Verkürzung der Obergurte und damit eine Durchbiegung der Träger hervorruft, muß von vornherein eine zusätzliche Überhöhung vorgesehen werden.

Durchlaufende Träger größerer Abmessung und Länge müssen auf der Baustelle zusammengebaut werden, was bisher mit Drehrollen bewerkstelligt wurde. Diese Einrichtung hat jedoch den Nachteil, daß einer Bewegung senkrecht zur Drehvorrichtung große Reibungswiderstände entgegenstehen, die die Längsschrumpfung behindern. Man ist deshalb neuerdings dazu übergegangen, die Trägerstücke während des Zusammenschweißens längsbeweglich zu lagern, so daß die an den festen Teil anzufügenden Einzelstücke der Schrumpfung frei folgen können. Bei dieser Montageart müssen Überkopfschweißungen in Kauf genommen werden, die aber bei dem heutigen Stand der Schweißtechnik keine Schwierigkeiten machen. Für die Reihenfolge, in der die einzelnen Nähte beim Trägerstoß zu schweißen sind, gilt die Forderung, daß die Naht zum Schluß zu schweißen ist, die einem Herankommen des Montagestückes den größten Widerstand entgegensetzt. Die Gurtstöße werden gewöhnlich zu beiden Seiten des Stegblechstoßes angeordnet. Die Halsnähte zwischen Gurtung und Stegblech bleiben auf eine größere Länge bis zum Schluß offen, damit sich die Schrumpfungen in Gurtung und Stegblech unabhängig voneinander auswirken können. Man beginnt mit dem Verschweißen an den beiden Gurtnähten gleichzeitig und vergrößert den Wurzelabstand der Stegblechnaht derart, daß nach dem Schrumpfen der ersten Lagen der Gurtnähte noch ein einwandfreies Durchschweißen der Stegblechnaht möglich ist. Durch abwechselndes Schweißen der Gurt- und Stegblechnaht kann einer Überlagerung der Spannungen entgegengewirkt und ein Ausgleich zwischen Druck- und Zugspannungen erzielt werden. So erzeugt die Schrumpfung jeder weiteren Lage der Gurtnaht in der bereits fertiggestellten Lage der Stegblechnaht Druck, womit die durch die Schrumpfung der Stegblechnaht hervorgerufenen Zugspannungen zum Teil ausgeglichen werden. Dieses Spiel wiederholt sich bei jeder weiteren Lage und zum Schluß bleiben nur die Spannungen übrig, die durch die Schlußnaht und durch die größere Schweißmasse ausgelöst werden. So wird in der Praxis häufig zunächst je ein Drittel der Gurtnähte hergestellt, dann die Stegblechnähte zu zwei Drittel zugeschweißt, weiterhin Gurtnähte und Stegblechnaht gleichzeitig fertiggestellt und zum Schluß die Halsnaht gezogen.

IV. In den letzten Jahren wurden mehrere vollständig geschweißte Brücken ausgeführt. Kennzeichnend ist der gerade durchlaufende Träger und die bis zur äußersten Vereinfachung vorgetriebene Form. In schönheitlicher Hinsicht sind die geschweißten Bauten den genieteten überlegen.

IIIa 2

Dynamische Beanspruchungen bei geschweißten Stahlkonstruktionen.

Actions dynamiques sur les constructions soudées.

Dynamic Stresses on Welded Steel Structures.

A. Goelzer,

Directeur de la Société Secrom, Paris.

Dieser Beitrag hat den Zweck, die Aufmerksamkeit auf eine Schwierigkeit zu lenken, die meines Erachtens bei der Untersuchung der dynamischen Einflüsse bei geschweißten Stahlkonstruktionen auftritt.

Ganz allgemein haben die beweglichen Lasten auf Brücken und Hochbauten die Wirkung, daß Trägheitskräfte in Erscheinung treten. Diese Kräfte setzen an die Stelle der statischen Festigkeit, die gewöhnlich in der Festigkeit in Betracht gezogen wird, die dynamische Festigkeit oder die Kerbschlagfestigkeit.

Man kann feststellen, daß die Kerbschlagfestigkeit in stumpf geschweißten Verbindungen stets bedeutend ist; sie beträgt mindestens 8 mkg/cm². Praktisch erzielt man sogar höhere Werte, die von der Größenordnung der Kerbschlagfestigkeit des Grundmetalls sind, etwa 12 mkg/cm².

In dieser Hinsicht scheint es, daß die mittlere Kerbschlagfestigkeit einer geschweißten Konstruktion, unter Einbeziehung der Verbindungen, hoch genug liegt, damit diese Bauwerke ein gutes Verhalten unter beweglichen Lasten, die Stoßwirkungen herbeizuführen in der Lage sind, zeigen.

Dies fanden wir an der Drehbrücke von Brest bestätigt. Im Anschluß an die Verstärkung dieser Brücke haben OBERINGENIEUR *Cavenel* und INGENIEUR *Lecomte*, beide von der Staatlichen Brücken- und Straßenbauverwaltung, Versuche anstellen lassen, die sehr befriedigende Ergebnisse gezeigt haben. Man hat eine beträchtliche Abschwächung der Schwingungen nach der Verstärkung festgestellt.

Seit einiger Zeit legt man auch den Ermüdungs- und Dauerversuchen eine sehr große Bedeutung bei. Bekanntlich kann man einen festen Körper, insbesondere Stahl, durch häufig wiederholte Beanspruchungen zum Bruch bringen, ohne daß die Festigkeitsgrenze oder gar die Elastizitätsgrenze jemals überschritten worden wäre. Hierin liegt offenbar eine schwere Gefahr der dynamischen Beanspruchungen, und es ist ohne Zweifel, daß die Frage eine genaue Untersuchung verdient.

Wir glauben jedoch, daß man in dieser Richtung nicht übertreiben sollte, denn die meisten Hochbauten sind nicht solchen wiederholten Beanspruchungen ausgesetzt, wie man sie beispielsweise im Maschinenbau antrifft.

Eine sehr umfassende Prüfung dieser Frage ist in Frankreich von dem Marineingenieur *Dutilleul* angestellt worden und hat gezeigt, daß die mangelhafte Festigkeit der Schweißungen gegen Ermüdung stets von den Blasen, d. h. von der Porosität des Metalls herrührt.

Es scheint, daß es beim gegenwärtigen Stand der Frage gefährlich ist, als Kriterium eine Eigenschaft der Schweißungen heranzuziehen, die zum großen Teil vom Zufall abhängt. Wir glauben, daß die Kerbschlagfestigkeit diejenige Eigenschaft ist, deren Betrachtung das größte Interesse zukommt.

Abgesehen davon, ob die Kerbschlagfestigkeit oder die Ermüdung das vorwiegende Element ist, so bleibt doch die Hauptsorge die, der Schweißnaht gut durchdachte Formen zu geben, welche die Möglichkeiten eines Bruches nicht

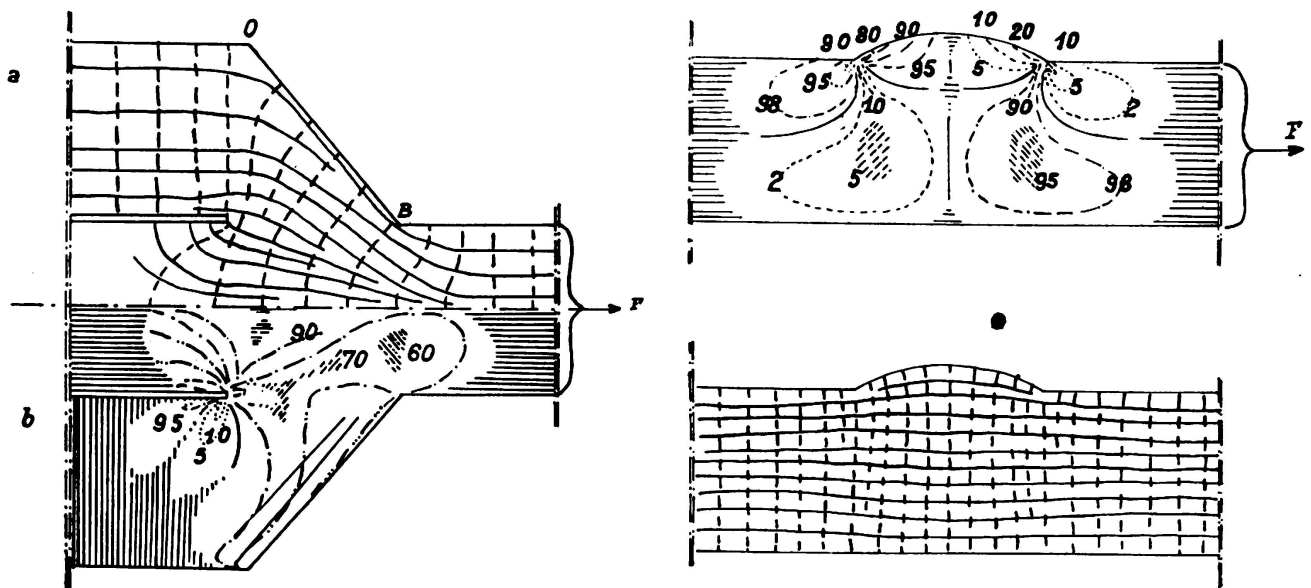


Fig. 1.

Fig. 2.

beträchtlich erhöhen. In dieser Hinsicht kann, wie *Kommerell* und *Graf* gezeigt haben, die Beachtung der Linien der Hauptbeanspruchungen unter den statischen Einflüssen wertvolle Hinweise geben.

Die beiden beigegebenen Figuren bestätigen diese Auffassung. Diese geben den Verlauf der Kraftlinien für eine Stirnschweißung (Fig. 1) und eine Stumpfschweißung (Fig. 2) wieder und wurden mit Hilfe von polarisiertem Licht an einem Celluloidmodell erhalten, dessen Form und Beanspruchung mit denen eines geschweißten Teiles identisch sind. Man erkennt an diesen Bildern ganz deutlich, daß der Verlauf der Kraftlinien so wenig wie möglich gestört werden sollte. In dem Fall der Stumpfschweißung beispielsweise ergibt sich, daß eine Verdickung schädlich sein und die Größe der Beanspruchung auf einer der Seiten des Probestückes merklich erhöhen kann.

IIIa 3

Diskussionsfragen über Grundbeziehungen und Begriffsfestsetzungen für die Dauerfestigkeit geschweißter Stabverbindungen.

Thèmes de discussion concernant les relations fondamentales
et la détermination des notions se rapportant à la résistance
à la fatigue des assemblages soudés.

Questions for Discussion on Fundamental Relationships
and Principles Governing the Fatigue Strengths of Welded
Connections.

Dr. Ing. W. Gehler,

Professor an der Technischen Hochschule und Direktor beim Staatlichen Versuchs-
und Materialprüfungsamt, Dresden.

Bei der Auswertung der während der letzten fünf Jahre durchgeführten zahlreichen Dauerversuche der deutschen Materialprüfungsämter zur Aufstellung amtlicher Bestimmungen für geschweißte Stabverbindungen tauchten eine Reihe von Fragen auf, die zum Teil geklärt werden konnten, zum anderen Teil aber noch Probleme für einen internationalen Gedankenaustausch und für die Versuchsforschung bilden.

1. Die Darstellung der Grundgrößen Kraft, Weg und Zeit (Fig. 1).

a) Die bekannte Kraft-Weg-Ebene X—Y (oder Spannungs-Dehnung-Ebene) veranschaulicht die Ergebnisse des alltäglichen statischen Zerreiß-Versuches, der die Grundlage der *Elastizitäts- und Festigkeits-Lehre* bildet. Der Einfluß der Zeitdauer des Zerreißversuches, der meist nicht beachtet wird, zeigt sich darin, daß bei schneller Versuchsdurchführung die übliche Linie 1 der Fig. 1 in die Linie 2 übergeht und beim Schlag- oder Stoßversuch sogar in die Linie 3.

b) Wird die dritte Koordinatenachse Z als Zeit-Achse gewählt, so bildet die Y—Z-Ebene den Übergang zu dem *Schwingungs-Gebiet* oder dem der *Zeit-Festigkeits-Beziehungen*, in dem die Ergebnisse der *Dauerversuche als Dauerfestigkeits-Zeit-Linie* (sogenannte *Wöhler-Linie*)¹ dargestellt werden. Dabei bedeuten die Abscissen z die Versuchsdauer, jedoch nicht im üblichen Zeitmaß ausgedrückt, sondern durch die Anzahl der Schwingungen (z. B. 2 Millionen

¹ *Wöhler*, Zeitschrift für Bauwesen, Berlin 1860, 1863, 1866 und 1870.

Schwingungen zu je 4 sec., also 8 Millionen Sekunden), so daß die Zeit anstatt mit der Uhr durch die Zahl der gleichartigen Schwingungen gemessen wird. Die Wöhler-Linie gibt an, wieviel Schwingungen von dem Versuchskörper bei einer bestimmten Beanspruchung ertragen werden. Sie läuft bei hinreichend großer Versuchsdauer in ihrem Ende parallel zur Z-Achse in einem Abstand σ_D , der sogenannten *Dauerfestigkeit*, also der Spannung, die unendlich oft ertragen werden kann².

c) Das Schwingungsgebiet umfaßt ein zum XYZ-System parallel verschobenes Koordinaten-System X'Y'Z, wobei wiederum als Ordinaten y' die Spannungen (in Richtung der Kraft-Achse) aufgetragen werden. In der Y'Z-Ebene (*Kraft-Zeit-Ebene*) kann man die *Grundbegriffe der Wechselfestigkeit* σ_w , der *Ursprungsfestigkeit* σ_u und der *Schwellfestigkeit* $\sigma_{D,max}$ (Dauerfestigkeit bei einer Vorspannung σ_m) veranschaulichen. (Die Grenzwerte der Spannungswelle sind bei der Wechselfestigkeit $\sigma_o = +\sigma_w$ und $\sigma_u = -\sigma_w$, also $\sigma_m = 0$, siehe Fig. 1, dagegen bei der Ursprungsfestigkeit $\sigma_o = \sigma_u$ und $\sigma_u = 0$, also $\sigma_m = \frac{1}{2} \cdot \sigma_u$.)

d) Eine um die Y-Achse gedrehte Ebene X'' oder X' kann nun zur Darstellung irgend einer anderen Funktion der Dauerfestigkeit dienen, wobei als Ordinaten

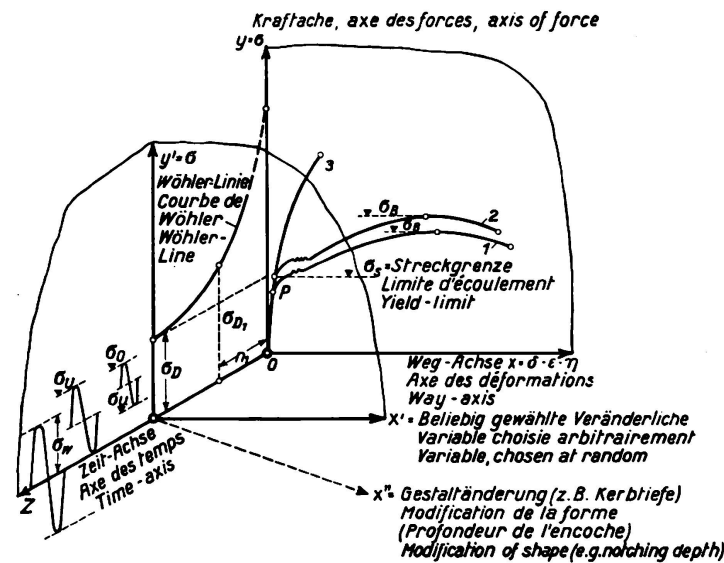


Fig. 1.

y' stets die Spannungen σ_D aufgetragen werden, z. B. zur Darstellung ihrer Abhängigkeit von der Kerbtiefe bei gekerbten Zerreißstäben oder zur Beschreibung des γ -Verfahrens der Reichsbahn, wobei $x' = \sigma_{min} : \sigma_{max}$ aufgetragen wird, oder endlich in Abhängigkeit von der statischen Vorspannung σ_m (Haigh'sche Darstellung).

Durch diese Darstellung (Fig. 1) werden alle Gebiete der Festigkeitslehre mit ihren Kennziffern aufgeteilt.

2. Zulässige Beanspruchungen und Rechnungsbeiwerte bei stählernen Brücken.

A. Genietete Eisenbahnbrücken³.

Während bei ruhender (statischer) Belastung als Sicherheit das Verhältnis der Spannung σ_s an der Streckgrenze zur Spannung bei der Gebrauchslast σ_{zul} , also $v = \sigma_s : \sigma_{zul}$ gilt, ist bei schwingender Beanspruchung die *Anzahl der Spannungswellen* maßgebend (statistisches Problem).

² Hierbei entstehen die beiden ersten Diskussionsfragen (siehe unter 8.).

³ Unter Eisenbahnbrücken werden hier Brücken, die Eisenbahngleise tragen, im Gegensatz zu Straßenbrücken verstanden.

80 000 Tagen oder in 220 Jahren erreicht (dagegen bei einem Stadtbahnverkehr von täglich $n_T = 250$ Zügen schon nach 22 Jahren). Als kennzeichnende Zahl für die Sicherheit ergibt sich hier somit die Lebensdauer der Brücke (in Tagen ausgedrückt), also das Verhältnis⁶

$$v_T = n_D : n_T. \quad (2)$$

Dieser Dauerversuch ist aber deshalb noch kein getreues Abbild der Wirklichkeit, weil er ohne jede Unterbrechung durchgeführt wird, während im Bauwerk längere Ruhepausen besonders während der Nacht eintreten, in denen eine Erholung des Werkstoffes immerhin denkbar ist. Selbst wenn bisherige Versuche keinen Einfluß von Ruhepausen hinsichtlich der Dauerfestigkeit der *Werkstoffe* selbst einwandfrei ergeben haben sollten, so können die Verhältnisse bei genieteten oder geschweißten *Stabverbindungen* doch vielleicht günstiger sein⁷.

2. Fall: Gurte vollwandiger oder fachwerkartiger durchlaufender Hauptträger.

Dieser Fall zeigt, daß es notwendig ist, im Brückenlängsschnitt den Trägerbereich, in dem die errechneten Grenzspannungen σ_{\max} und σ_{\min} gleiches Vorzeichen haben, von dem Wechselbereich (mit verschiedenem Vorzeichen beider Spannungen) zu trennen. In Abhängigkeit vom Verhältnis

$$\xi = \frac{\min S}{\max S} \text{ bzw. } \frac{\min M}{\max M} \quad (3)$$

der statischen Stabkräfte S oder der Momente M wird daher ein *Schwingbeiwert*

$$\gamma = \frac{\sigma_{zul}}{\sigma_{Dzul}} > 1 \quad (4)$$

entsprechend dem bekannten *Knickbeiwert* $\omega = \frac{\sigma_{zul}}{\sigma_{d zul}}$ eingeführt, weil beim Dauerversuch die Wechselfestigkeit σ_w , die Ursprungsfestigkeit σ_u und die Schwellfestigkeit $\sigma_{D \max}$ für St. 37 und St. 52 verschieden groß sind. So erhält man die verschiedenen γ - ξ -Linien der Reichsbahn (B. E. § 36, Tafel 17). In ähnlicher Weise wie bei der Knickung $\frac{\omega \cdot S}{F} \leq \sigma_{zul}$ sein muß, ist hier eine gedachte Spannung

$$\sigma_I = \frac{\gamma \cdot \max S}{F} \leq \sigma_{zul} \quad (5)$$

zu berechnen, damit das Verfahren genau so wie bei rein statisch beanspruchten Bauteilen durchgeführt werden kann⁸.

3. Fall: Anschluß von Längsträgern an Querträger.

Da sich die Niete an diesen Anschlußstellen im Betrieb erfahrungsgemäß leicht lockern, wurden nach den neuen Reichsbahnbestimmungen (B. E., § 46) zur Erhöhung der Sicherheit nicht nur verschärfte Rechnungsannahmen (ver-

⁶ Vergleiche die vierte Diskussionsfrage.

⁷ Dies führt zur dritten Diskussionsfrage.

⁸ Siehe *Kommerell*, Erläuterungen zu den Vorschriften für geschweißte Stahlbauten, II. Teil, S. 39 (Wilh. Ernst & Sohn, Berlin, 1936).

größte Stützkräfte $\max A' = 1,2 (A_g + \varphi A_p)$ und erhöhte Biegemomente bei St. 52 gegenüber St. 37), sondern auch besondere bauliche Maßnahmen (in jedem Falle Anordnung einer obenliegenden, durchschießenden Platte) vorgeschrieben. Außerdem wird die geringere Stützweite der Längsträger durch den höheren Wert der Stoßzahl φ berücksichtigt (z. B. $\varphi = 1,6$ bei Schwellenoberbau und $l = 5,0$ m anstatt $\varphi = 1,4$ bei Hauptträgern mittlerer Stützweite). Nur durch genaue Messungen an Brücken kann in diesem verwickelten Sonderfall, bei dem noch die lastverteilende Wirkung des Oberbaues hinzukommt, Anzahl und Ausschlag der wirklichen Spannungswellen festgestellt und den Ergebnissen von Dauerversuchen mit derartigen Anschlüssen gegenübergestellt werden. (*Bisher noch offenes Versuchsproblem.*)

B. Geschweißte Eisenbahnbrücken.

Die Einflüsse der Verkehrslast werden folgendermaßen berücksichtigt:

- a) Ungünstigste Stellung der ruhenden Lastenzüge (mittels Einflußlinien).
- b) *Stoßzahl* $\varphi \geq 1$ (wobei $S = S_g + \varphi \cdot S_p$ oder $M = M_g + \varphi \cdot M_p$ ist), um den Einfluß der Stöße und Erschütterungen durch die Bewegung der Lasten gegenüber ruhenden Lasten zu berücksichtigen (z. B. infolge des Triebradefektes, der Schienenstöße und dergleichen), wodurch jeweils die statische Durchbiegung vergrößert wird. (*Künftiges Hauptproblem der Brücken-Meßtechnik.*)
- c) Durch den *Schwingungsbeiwert* $\gamma \geq 1$ als Funktion der berechneten statischen Grenzwerte $\min S$ und $\max S$ soll die verschiedene Ermüdung des Baugliedes bei Beanspruchung im Wechsel- oder schwellenden Bereich erfaßt, außerdem aber verschieden bewertet werden bei St. 37 und St. 52, sowie bei schwachem und starkem Zugverkehr ($n_T \leq 25$ bzw. $n_T > 25$ Züge am Tag).
- d) *Der Gestalt-Abminderungsbeiwert* $\alpha \geq 1$ (*Formziffer*).

Während die Beiwerte γ für genietete und geschweißte Brücken grundsätzlich die gleichen sein können, wurden für geschweißte Eisenbahnbrücken auf Grund der deutschen Dauerversuche⁹ die zulässigen Spannungen noch weiter abgemindert¹⁰ und zwar (siehe Gleichung 5) auf

$$\sigma_I' = \frac{\sigma_I}{\alpha} = \frac{\gamma \max S}{\alpha \cdot F} \leq \sigma_{zul} \quad \text{bzw.} \quad \frac{\gamma}{\alpha} \cdot \frac{\max M}{W} \leq \sigma_{zul}, \quad (6)$$

wobei die Formziffer α verschieden groß ist, je nach der Nahtform (Stumpfnah, Kehlnaht) oder nach der Ausführungsgüte (Wurzel nachgeschweißt oder auch nicht, ferner Nähte aufs beste nachgearbeitet). Solche Abminderungsbeiwerte sind auch schon für geschweißte Stahlhochbauten (DIN 4100, § 5) im Gebrauch (z. B. bei Stumpfnähten auf Zug $\rho_{zul} = 0,75 \sigma_{zul}$, also $\alpha = 0,75$).

C. Genietete und geschweißte Straßenbrücken.

Da Straßenbrücken im Vergleich zu Eisenbahnbrücken gleichartigen, dauernd wiederholten Schwingungen viel weniger häufig ausgesetzt sind und vor allem

⁹ Siehe Dauerfestigkeitsversuche mit Schweißverbindungen, 1935, VDI-Verlag, Berlin, Gemeinsamer Bericht des Staatlichen Materialprüfungsamtes Berlin-Dahlem und des Versuchs- und Materialprüfungsamtes Dresden: von K. Memmler, G. Bierett und W. Gehler.

¹⁰ Siehe Fußnote 8, Kommerell, a. a. O., S. 44.

unsere Lastannahmen (DIN 1073) hinsichtlich Gewicht und Dichte der Lasten bereits eine reichliche Sicherheit bieten, werden sie als vorwiegend statisch belastet betrachtet. Von den vier unter B) genannten Einflüssen kann daher hier der Schwingungsbeiwert ausscheiden, also $\gamma = 1$ gesetzt werden, während aber die Stoßzahl φ und für geschweißte Straßenbrücken auch gewisse Gestalts-Abminderungsbeiwerte α beibehalten werden.

3. Die Grenzspannungs-Zeit-Linie (Wöhler-Linie) (Fig. 3).

Da die Dauerfestigkeit σ_D von einer Anzahl Veränderlichen (z. B. n , σ_o , σ_u oder σ_m) abhängt, empfiehlt es sich, sie nach Fig. 1 in den verschiedenen Ebenen mit den Achsen Z , X' bzw. X'' darzustellen. Das erste Bedürfnis besteht in der Auf-

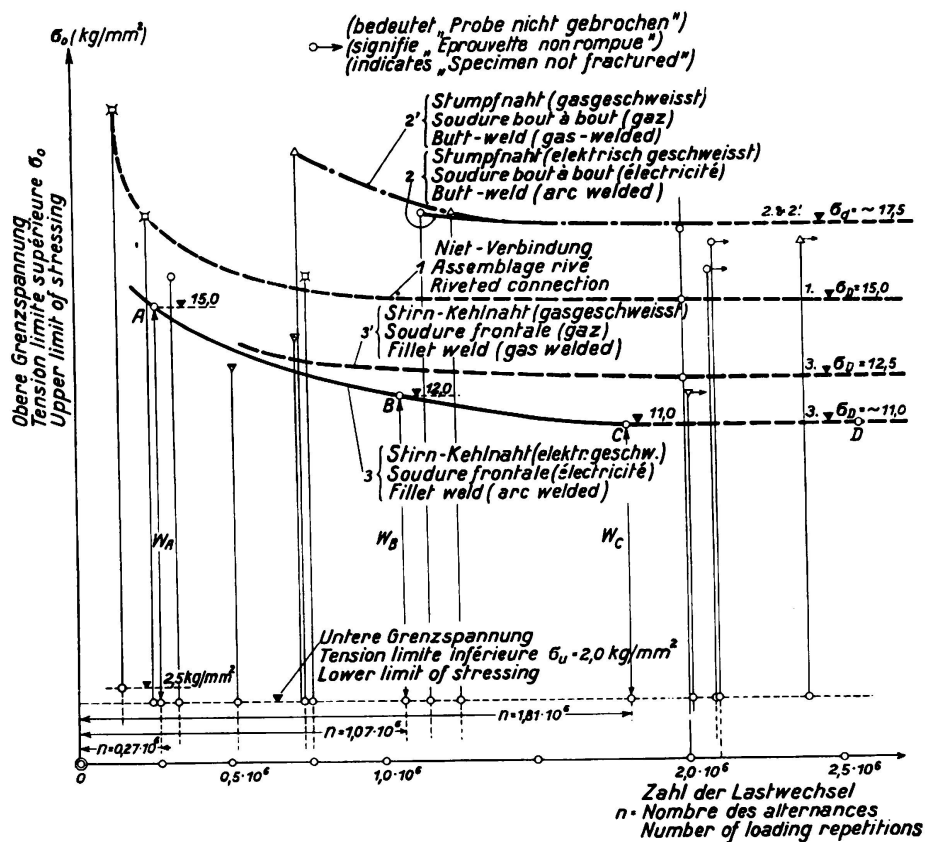


Fig. 3.

Wöhler-Linien der Kuratoriums-Versuche mit auf Zug beanspruchten, genieteten und geschweißten Stabverbindungen

tragung der Versuchsergebnisse als sogen. Wöhler-Linie. Soll z. B. am Pulsator σ_D durch Zugversuche für elektrisch geschweißte Stirnkehlnähte¹¹ bestimmt werden (Fig. 3, Linie 3), so wählt man zunächst willkürlich als obere Grenzspannung z. B. $\sigma_o = 15 \text{ kg/mm}^2$ bei einer unteren Grenzspannung $\sigma_u = 2,0 \text{ kg/mm}^2$, wobei sich der Bruch schon bei $n = 270\,000$ Schwingungen ergibt (Punkt A). Beim zweiten Versuch mit $\sigma_o = 12 \text{ kg/mm}^2$ und dem gleichen Wert $\sigma_u = 2,0 \text{ kg/mm}^2$ erhält man $n = 1,07 \cdot 10^6$ (Punkt B) und endlich beim dritten Versuch mit

¹¹ Siehe Fußnote 9, a. a. O., S. 16.

$\sigma_0 = 11,0 \text{ kg/mm}^2$ $n = 1,81 \cdot 10^6$ (Punkt C). Da die Linie ABC im Bereich CD schon annähernd waagrecht läuft, so darf als Endwert die Dauerfestigkeit $\sigma_D = \lim \sigma_0 = \text{rd. } 11 \text{ kg/mm}^2$ angenommen werden.¹²

Trägt man für denselben Versuch nach Fig. 4 als Ordinaten $y = \log \sigma_0$ und als Abscissen $x = \log n$ auf, wendet man also nach beiden Koordinatenrichtungen den logarithmischen Maßstab an (und nicht nur nach der X-Richtung, wie es oft geschieht), so erkennt man, daß die Linie ABC hinreichend genau in eine

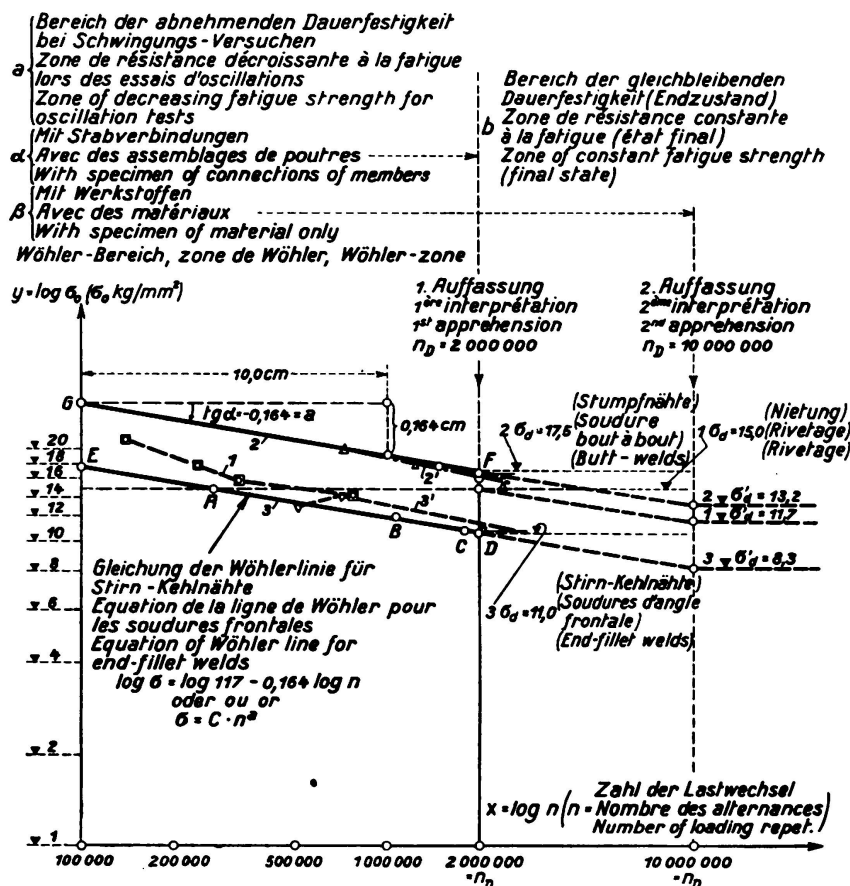


Fig. 4.

Der Bereich der abnehmenden Dauerfestigkeit (Wöhler-Bereich) der Spannungs-Zeit-Linie (in logarithmischer Darstellung) für genietete und geschweißte Stabverbindungen.

Gerade ED übergeht, die mit der zu ihr parallelen Geraden GF den Verlauf der Richtungen auch der übrigen Versuchslinien deutlich angibt. Die Gleichung der Geraden ABC lautet:

$$\log \sigma = \log 117 - 0,164 \log n \tag{7 a}$$

und entspricht in der Darstellung der Fig. 3 der Exponentialkurve¹³

$$\sigma = C \cdot n^a, \tag{7 b}$$

wobei $a = \text{tg } \alpha = 0,164$ die Neigung der Geraden und $C = 117 \text{ kg/mm}^2$ den Wert σ für $n = 1$ bedeuten.

¹² Erste Diskussionsfrage.

¹³ Vergleiche auch Moore, Am. Soc. Test. Mat. 1922, S. 266, und Basquin, desgleichen 1910, S. 625.

In Fig. 5 ist die ganze Spannungs-Zeit-Linie in derselben logarithmischen Verzerrung aufgetragen. Den Bereich der abnehmenden Dauerfestigkeit, der hier als Wöhler-Bereich bezeichnet werden soll, haben wir durch die beiden Ordinaten in den Punkten $n = 10\,000$ und $n = 2\,000\,000$ begrenzt. Nach links

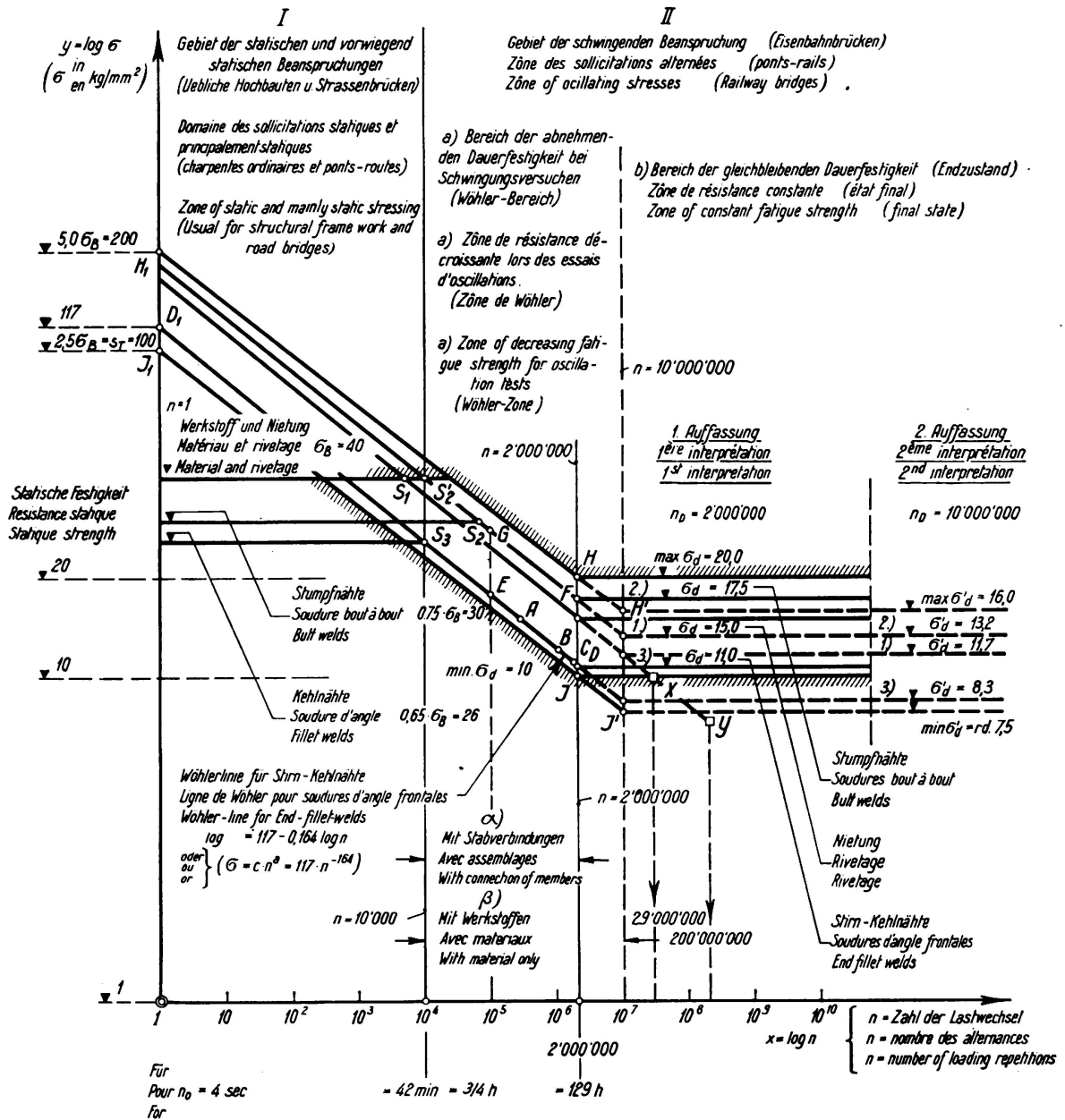


Fig. 5.

Die Bereiche der Spannungs-Zeit-Linie und der Wöhler-Linie für Stabverbindungen (in logarithmischer Darstellung).

und rechts schließen sich hieran jeweils waagerechte Strecken an, so daß die ganze Spannungs-Zeit-Linie in dieser logarithmischen Darstellung aus einem doppelt geknickten Geradenzug besteht. Die Gerade DE schneidet auf der Koordinatenachse ($n = 1$) die Ordinate $C = 117 \text{ kg/mm}^2$ ab. Zieht man noch durch den Punkt J mit $\sigma_D = 10 \text{ kg/mm}^2$ und $n = 2\,000\,000$ und durch den

Punkt J_1 auf der Koordinatenachse mit $\sigma_D = 100 \text{ kg/mm}^2$ die Geraden JJ_1 und dazu die Parallele HH_1 , wobei im Punkte H der Wert $\sigma_D = 20 \text{ kg/mm}^2$ ist, so begrenzt man einen Flächenstreifen, in dem nahezu sämtliche Werte, die sich bei Dauerversuchen von Stabverbindungen ergeben, untergebracht werden können.

Hiermit erhält man folgende Unterteilung der Spannungs-Zeit-Linie. Zunächst das Gebiet der statischen und vorwiegend statischen Beanspruchung, die bei den üblichen Hochbauten und bei den Straßenbrücken zugrunde gelegt wird; sodann das Gebiet der schwingenden Beanspruchung (Eisenbahnbrücken), das in den Bereich der abnehmenden Dauerfestigkeit bei Schwingungsversuchen (*Wöhler-Bereich*) und in den Bereich der gleichbleibenden Dauerfestigkeit, also den Endzustand zu unterteilen ist (II a und II b).

Die an sich willkürliche Abgrenzung dieser beiden Bereiche II a und II b behandelt unsere *erste Diskussionsfrage*¹⁴. Unsere bisherigen Erörterungen über die Dauerversuche mit *Stabverbindungen* führten zur Wahl von $n_D = 2\,000\,000$ (erste Auffassung). Würde man dagegen, wie es bei dem Prüfen von *Werkstoffen* üblich ist, $n_D = 10\,000\,000$ wählen (zweite Auffassung), so würde die geradlinige Verlängerung der Linien im *Wöhler-Bereich* (z. B. bis zu den Punkten H' und J' der Fig. 5) für den Fall der Nietung anstatt $\sigma_D = 15 \text{ kg/mm}^2$ nur noch $\sigma'_D = 11,7 \text{ kg/mm}^2$ ergeben (siehe Punkt V und W). Die Tatsache, daß unsere genieteten Eisenbahnbrücken bei $\sigma_{zul} = 14 \text{ kg/mm}^2$ sich im Eisenbahnbetrieb einwandfrei bewährt haben, würde dann zu einem schwer lösbaren Widerspruch mit derartigen Versuchsergebnissen führen.

Das Verhältnis der bei den Dauerversuchen mit genieteten Stabverbindungen gefundenen Dauerfestigkeit $\sigma_D = 15 \text{ kg/mm}^2$ zur zulässigen Beanspruchung der genieteten Eisenbahnbrücken $\sigma_{zul} = 14 \text{ kg/mm}^2$

$$v_w = \frac{\sigma_D}{\sigma_{zul}} = \frac{15}{14} = 1,07$$

(*sogenannte Spannungssicherheit*) gibt eine weitere, wenn auch verhältnismäßig geringe Sicherheit, durch die der sekundäre Einfluß der Streuungen des Baustoffes und etwaiger Ungenauigkeiten der Ausführungen berücksichtigt werden kann.

Da bei der Prüfung von Werkstoffen für $n > 10$ Millionen die Spannungs-Zeit-Linie waagrecht angenommen wird (Bereich II b), war es überraschend, daß im Dresdner Versuchs- und Materialprüfungsamt noch bei 29 Millionen Schwingungen der Dauerbruch eines Kontrollstabes in der Schwingbrücke erfolgte (siehe Punkt X der Fig. 5), und ferner daß an der Schwingbrücke des Staatlichen Materialprüfungsamtes Berlin-Dahlem der Dauerbruch in dem Nietloch eines Fachwerkstabes erst bei 200 Millionen Schwingungen eintrat (siehe Punkt Y). Unsere *zweite Diskussionsfrage* besteht nun darin, ob derartige ausgefallene Werte ($n > 10\,000\,000$) auch anderwärts bei Versuchen oder im Eisenbahnbetrieb gefunden worden sind¹⁵.

In Fig. 6 ist nochmals die *Wöhler-Linie* mit den Punkten V, W, X und Y in nicht verzerrtem Maßstab aufgetragen. Würde man den Dauerversuch mit Stabverbindungen anstatt bei $n = 2\,000\,000$ Lastwechseln (Punkt V) erst bei $n = 10\,000\,000$ Lastwechseln (Punkt W) abschließen, so würden sich um etwa

¹⁴ Siehe unter 5 (Erste Diskussionsfrage).

¹⁵ Siehe unter 5 (Zweite Diskussionsfrage).

20 % geringere Werte der Dauerfestigkeit ergeben. In den ausnahmsweise gefundenen Punkten X und Y sehr später Dauerbrüche von Stabverbindungen ist die Dauerfestigkeit zu zwei Drittel bzw. zur Hälfte des Wertes im Punkte V anzunehmen. Hieraus ergibt sich, daß es von grundsätzlicher Bedeutung ist, wann der Endzustand des Bereiches der gleichbleibenden Dauerfestigkeit (Fig. 5) bei Stabverbindungen erreicht wird.

Nach dieser logarithmischen Darstellung der Spannungs-Zeit-Linie kann das ganze Gebiet der statischen und der Dauerversuche in der Spannungs-Zeit-Ebene

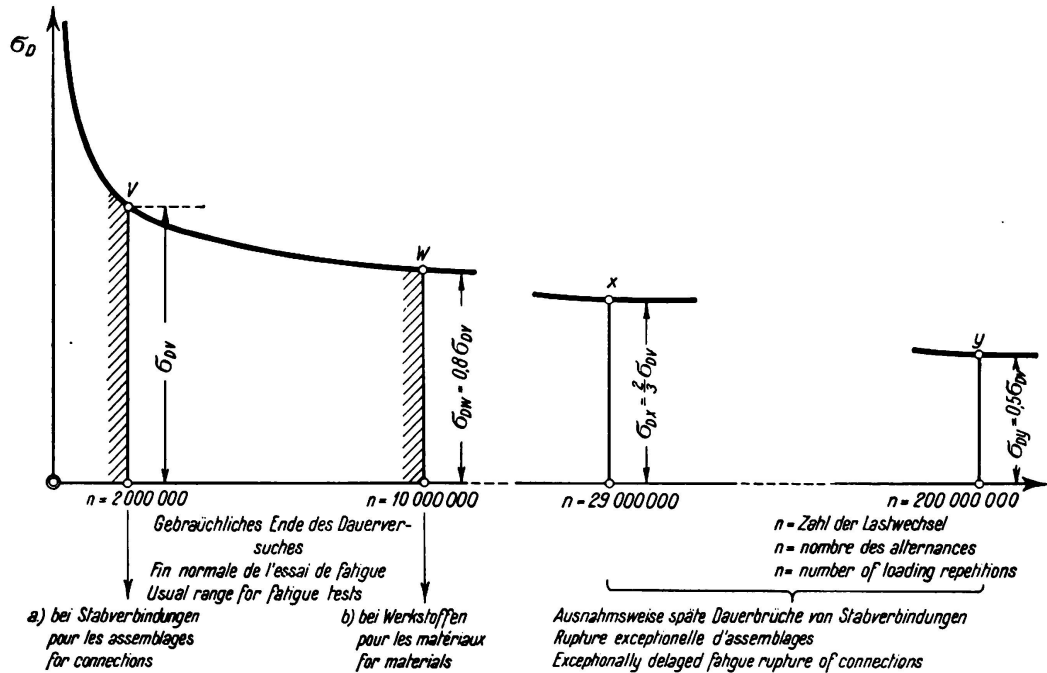


Fig. 6.

Wöhler-Linie zur Darstellung der Begrenzung der Dauerversuche von Stabverbindungen.

übersichtlich aufgeteilt werden. Bemerkt sei noch, daß die Ordinate im Hilfspunkt J_1 der unteren Begrenzungsgeraden JJ_1 etwa dem Werte der Trennungsfestigkeit entspricht

$$\sigma_T = 2,5 \cdot \sigma_B = 2,5 \cdot 40 = 100 \text{ kg/mm}^2 \tag{8}$$

und daß die Schnittpunkte S_1 bis S_2 der waagerechten Geraden im statischen Gebiet mit den schrägen Geraden des *Wöhler*-Bereiches ebenfalls eine bestimmte Gesetzmäßigkeit zeigen sollten. Die Versuchswerte der statischen und der Dauerversuche würden sich wesentlich befriedigender zusammenfügen, wenn für die Stumpfnähte künftighin $\rho_{zul} = 1,0 \sigma_{zul}$, anstatt $0,75 \sigma_{zul}$ vorgeschrieben, also Punkt S_2 nach S'_2 verschoben würde.

Physikalisch betrachtet, darf somit C in Gleichung (7 b) als *Kohäsionsbeiwert* bezeichnet werden (vergleiche Gleichung 8). Eine Deutung des anderen Beiwertes a ergibt sich dann, wenn man die Abgeleitete der Gleichung 7 b bildet:

$$y' = \frac{d\sigma}{dn} = c \cdot a \cdot n^{a-1} = 117 \cdot 0,164 \cdot n^{-0,836} = \approx \frac{19,2}{n}, \tag{9}$$

die also in erster Annäherung etwa einer gleichseitigen Hyperbel entspricht. Im Anfang des *Wöhler*-Bereiches fällt die y' -Linie zunächst stark ab und verläuft

im Endzustand parallel der Abscissenachse (Fig. 3). Ihre Ordinaten stellen eine Leistungsgröße dar $\left(\frac{\text{Arbeit}}{\text{Zeit}}\right)$, wenn man die Ordinaten $\sigma \left(\frac{\text{kg} \cdot \text{mm}}{\text{mm}^3} = \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}\right)$ als spezifische Arbeit oder Ladung der Raumeinheit von 1 mm^3 auffaßt, so daß diese y' -Linie die Abnahme der Leistung oder die Ermüdung während der Versuchsdauer darstellt. Nach Fig. 5 ist für die hier untersuchten Stabverbindungen der Verlauf dieser Linien im *Wöhler*-Bereich gleichartig. Hiernach kann a als *Ermüdungsbeiwert* bezeichnet werden ($a = 0$ im Bereich I und II b der Fig. 5).

4. Vergleich der nach der statischen Berechnung wirklich auftretenden Spannungen im Bauwerk mit den Spannungen in den Versuchsstäben.

Da die Versuchsanordnung möglichst einfach sein muß, beschränkt man sich auf sinus-artige Wellen, die um eine mittlere Spannung σ_m zwischen den Grenzwerten σ_o und σ_u nach oben und unten gleich weit schwingen. In Wirklichkeit ist aber, wie Fig. 2 zeigt, die Schwingweite z. B. bei Wandgliedern infolge der Verkehrslast nach oben und nach unten um die Laststufe der ständigen Last σ_g in der Regel sehr verschieden (nach oben $\sigma_{p1} > \sigma_{p2}$ nach unten). Bei Gurten ist sogar $\sigma_{p2} = 0$. Die Abweichung des Versuches von der Wirklichkeit besteht also nicht nur in der Form der Wellen, sondern auch in der Unsymmetrie derselben oder in der verschiedenen Schwingweite nach oben (σ_{p1}) und nach unten (σ_{p2}). Der Einfluß dieser Abweichung ist leider ebenfalls noch nicht erforscht. (Weitere Forschungsaufgaben.)

5. Diskussionsfragen.

1. Frage: Ist es zutreffend, als *Begrenzung des Dauerversuches bei Stabverbindungen die Zahl der Schwingungen $n_D = 2$ Millionen* anstatt, wie es bei der Prüfung von Werkstoffen üblich ist, $n_D = 10$ Millionen zugrunde zu legen? (vergleiche die Fußnoten 2, 5, 12 und 14, sowie Fig. 5 und 8, Punkt S und W).
2. Frage: Sind außer den bei den deutschen Versuchen festgestellten, ausnahmsweise späten Dauerbrüchen bei 29 und 200 Millionen Schwingungen anderwärts ähnliche *ausgefallene Werte bei Dauerversuchen mit Stabverbindungen oder im Eisenbahnbetrieb* festgestellt worden? (vergleiche Fußnote 2 und 15, sowie Fig. 5 und 6, Punkt X und Y).
3. Frage: Liegen anderwärts Versuchsergebnisse vor, durch die *der günstige Einfluß von Ruhepausen auf die Dauerfestigkeit von Stabverbindungen* festgestellt worden ist? (vergleiche Fußnote 7).
4. Frage: Da die Nietverbindungen, die die Grundlage zur Beurteilung des Verhaltens der Schweißverbindungen bilden, eine mittlere Dauerfestigkeit von $\sigma_D = 15 \text{ kg/mm}^2$ ergaben bei einer zulässigen Beanspruchung (einschließlich Stoßzuschlag) von $\sigma_{zul} = 14 \text{ kg/mm}^2$, haben wir bei Eisenbahnbrücken die Frage der Sicherheit durch das Verhältnis der beim Versuch ertragenen Schwingungen n_D zur Anzahl n_T der die Brücke täglich befahrenden Züge, also durch die Angabe der Lebensdauer in Jahren beantwortet ($v_T = n_D : n_T$, *statistische Auffassung der Sicherheit*). Können andere zweckmäßige Vorschläge zur Erfassung der Sicherheit vorgebracht werden?

III a 4

Charakteristische Merkmale der Schweißung.

Caractéristiques propres à la soudure.

Characteristic features of welding.

Dr. Ing. h. c. M. Roš,

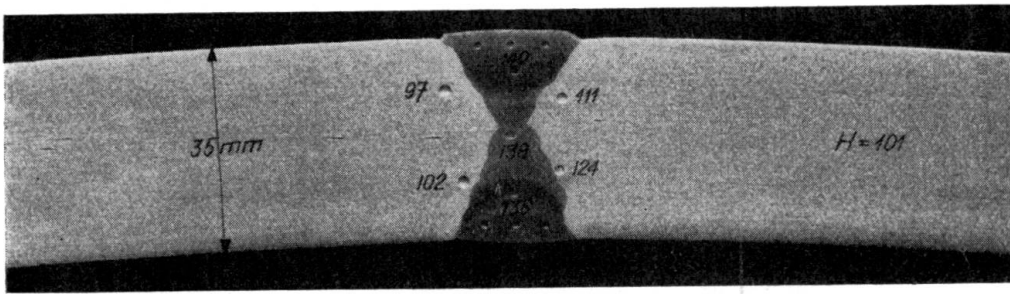
Professor an der Eidg. Techn. Hochschule und Direktionspräsident der Eidg. Materialprüfungs- und Versuchsanstalt für Industrie, Bauwesen und Gewerbe, Zürich.

Die Gefügebearbeitung des Schweißgutes, inbegriffen Übergangszone, ist für dessen Festigkeits- und Verformungseigenschaften grundlegend. Schweißgut ist Stahlguß; sein Gefüge ist heterogen und anisotrop (Fig. 1). Die Theorie der konstanten Gestaltänderungsenergie gilt nur in entsprechend der Anisotropie abgeänderter Form. Die Praxis vermag heute *poren- und schlackenfreies Schweißgut* nicht zu verbürgen; *Schrumpfrisse* in den Außenflächen und im Schweißgutinern gehören zu selteneren Erscheinungen, kommen aber vor (Fig. 2).

Poren, Schlacken, Risse sind einer *mechanisch nicht vollkommenen Verarbeitung* gleichbedeutend zu bewerten. Als Folge *thermischer Einflüsse* finden wir vor an der Oberfläche: Widmannstättensches Gußgefüge mit Transkristallisation (Fig. 3) und in der Übergangszone; die Bildung von Sorbit, Troostit (Fig. 1) und bei über $\sim 0,15\%$ gekohlten Stählen auch der Martensit (Fig. 4), welcher seiner Sprödigkeit wegen zu Rißbildungen neigt. Die Schweißung kann daher grundsätzlich werkstoff-technisch der Nietung *nicht* gleichwertig eingeschätzt werden (Fig. 5).

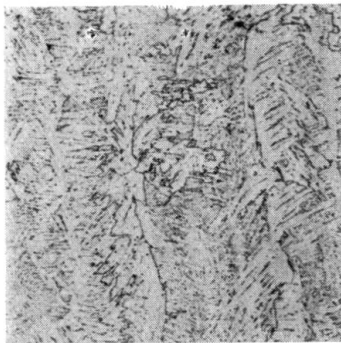
Zweckdienliche Wahl der Elektroden, sachgemäße Schweißung mit nötigenfalls vorgewärmtem Stahl (Fig. 6), spannungsfreies Glühen (bis höchstens an die untere Umwandlungstemperatur) oder Ausglühen (über die obere Umwandlungstemperatur) sind Vorkehrungen metallurgischer Art, welche nur Hand in Hand mit geeigneten konstruktiven Maßnahmen — Verminderung von Wärmespannungen (Fig. 7), Verbindungsart (Fig. 8) und Gestalt (Fig. 9) — allein die Festigkeit der Schweißverbindung derjenigen der Nietverbindung angleichen.

Die Prüfung der Schweißer auf Grund der Festigkeits- und Verformungsergebnisse gesondert in normaler Lage und Überkopf geschweißter Stahlplatten und der Überprüfung der wirklich ausgeführten Schweißungen durch örtliche Entnahme von Versuchskörpern geeigneter Gestalt (runde, ovale Scheiben), in Gemeinschaft mit röntgenographischer Durchleuchtung bilden den Abschluß in der Reihe der Prüfungs- und Sicherheitsmaßnahmen.

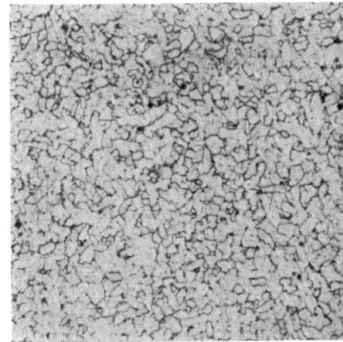


$$\beta_z \cong 38 \text{ kg/mm}^2$$

$$\sigma_{II} \cong 16 \text{ kg/mm}^2$$



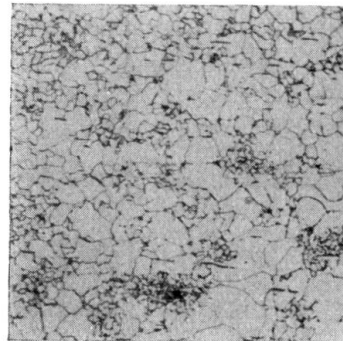
Grobes Widmannstätten'sches Gefüge. Schweißgut.



Feines, normalisiertes Umkörnungsgefüge. Schweißgut.



Thermisch verändertes Gefüge. Ferrit und Sorbit. Übergangszone.



Thermisch verändertes Gefüge. Ferrit und entarteter Perlit, Übergangszone.

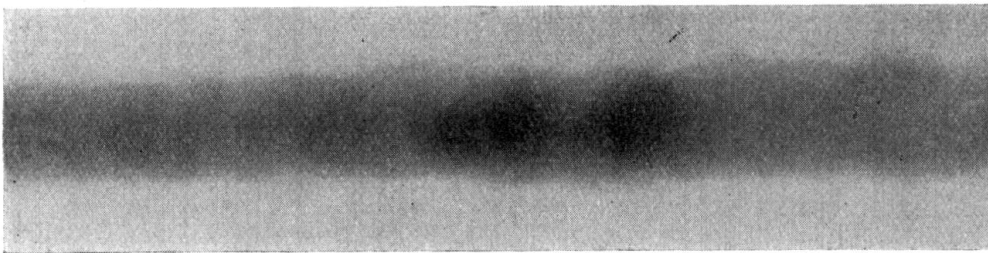
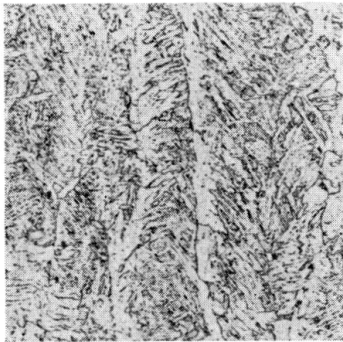
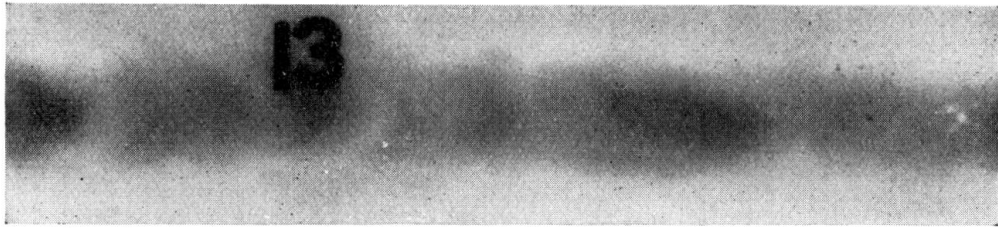
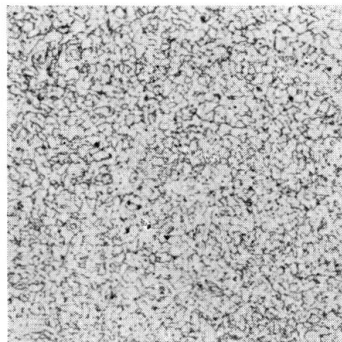


Fig. 1.

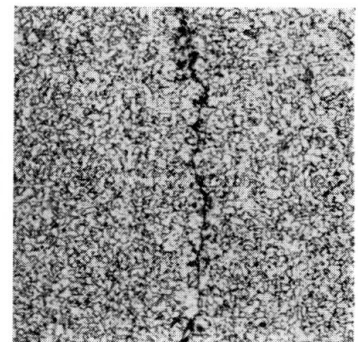
Einwandfreie Lichtbogenschweißung, normaler Konstruktionsstahl.
Heterogenität des Schweißgutgefüges.



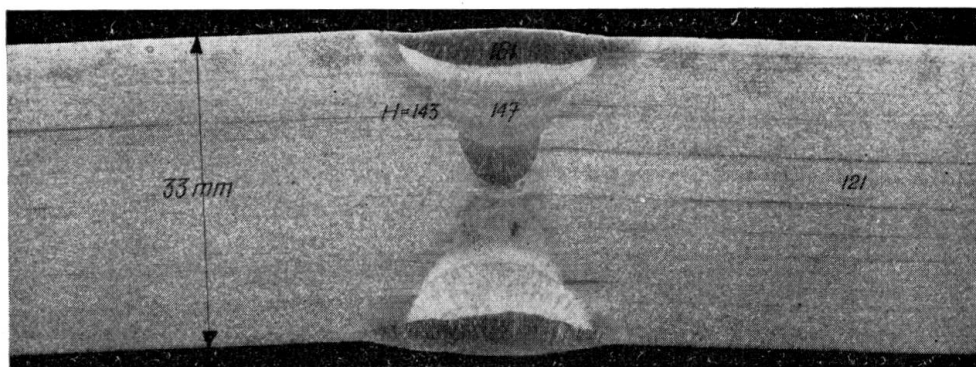
Grobes Widmannstädtensches
Gefüge. Schweißgut.
Letzte Lage.



Feines, normalisiertes Um-
körnungsgefüge.
Schweißgut.



Feines, normalisiertes Um-
körnungsgefüge mit Mikro-
riß. Schweißgut.



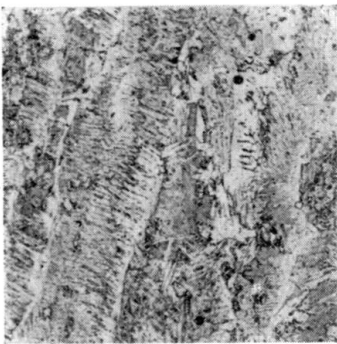
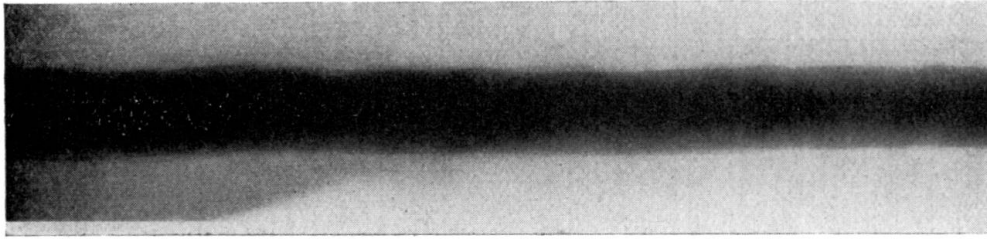
$$\beta_z \cong 44 \text{ kg/mm}^2$$

$$\sigma_u \cong 17 \text{ kg/mm}^2$$

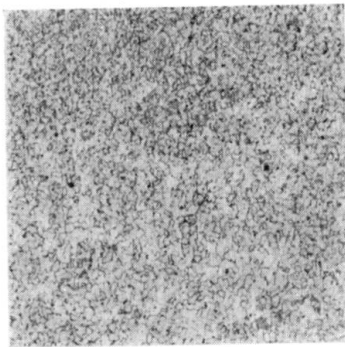
$$\frac{1}{2} \sigma_w \cong 27 \text{ kg/mm}^2$$

Fig. 2.

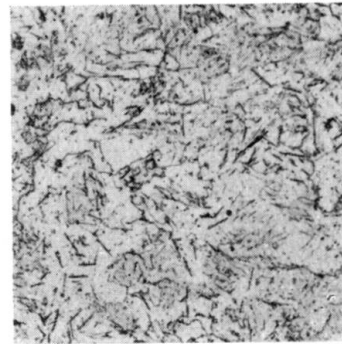
Vorzügliche Lichtbogenschweißung, Stahlqualität mit 0,25% C.
Mikroriß im Schweißgut.



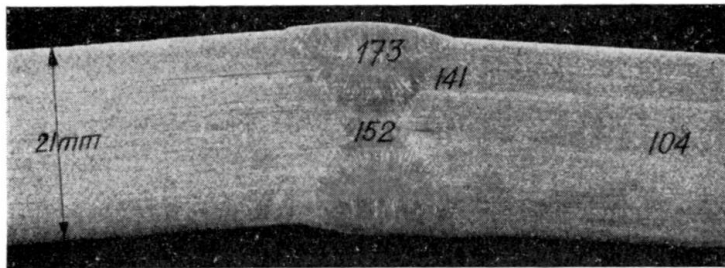
Widmannstätten'sches
Gefüge. Schweißgut.



Feines Umkörnungsgefüge.
Schweißgut.



Lokale Anreicherung von
Nitrideinschlüssen.
Schweißgut.

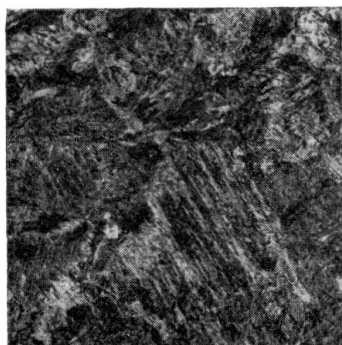


$$\beta_z \cong 38 \text{ kg/mm}^2 \quad \sigma_u \cong 18 \text{ kg/mm}^2 \quad \frac{1}{2} \sigma_w \cong 26 \text{ kg/mm}^2$$

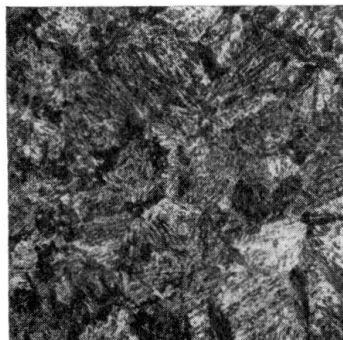
Fig. 3.

Einwandfreie Lichtbogenschweißung, normaler Konstruktionsstahl.
Widmannstätten'sches Gefüge mit Transkristallisation.

S.M.-Stahl mit 0,20 — 0,25 % C.



Temperatur: — 10° C
Martensit mit Spuren
Abschrecktroostit.



Temperatur: 25° C
Martensit mit Abschreck-
troostit.



Temperatur: 50° C
Martensit, wenig Troostit,
Spuren Ferrit.

Fig. 4.

Martensitbildung in der Übergangszone unmittelbar an der Bindestelle Schweißgut-S.M.-Stahlblech.
Temperatur des S.M.-Stahles beim Schweißen — 10°, + 25° und + 50° C.

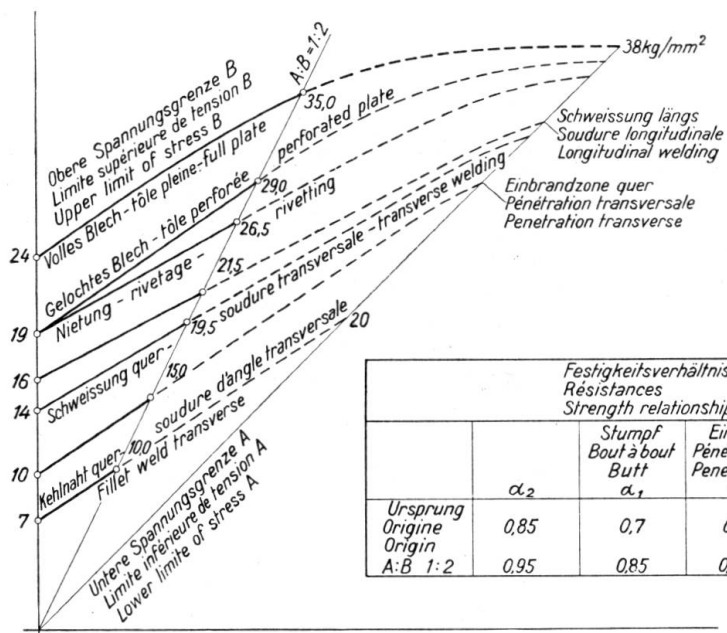
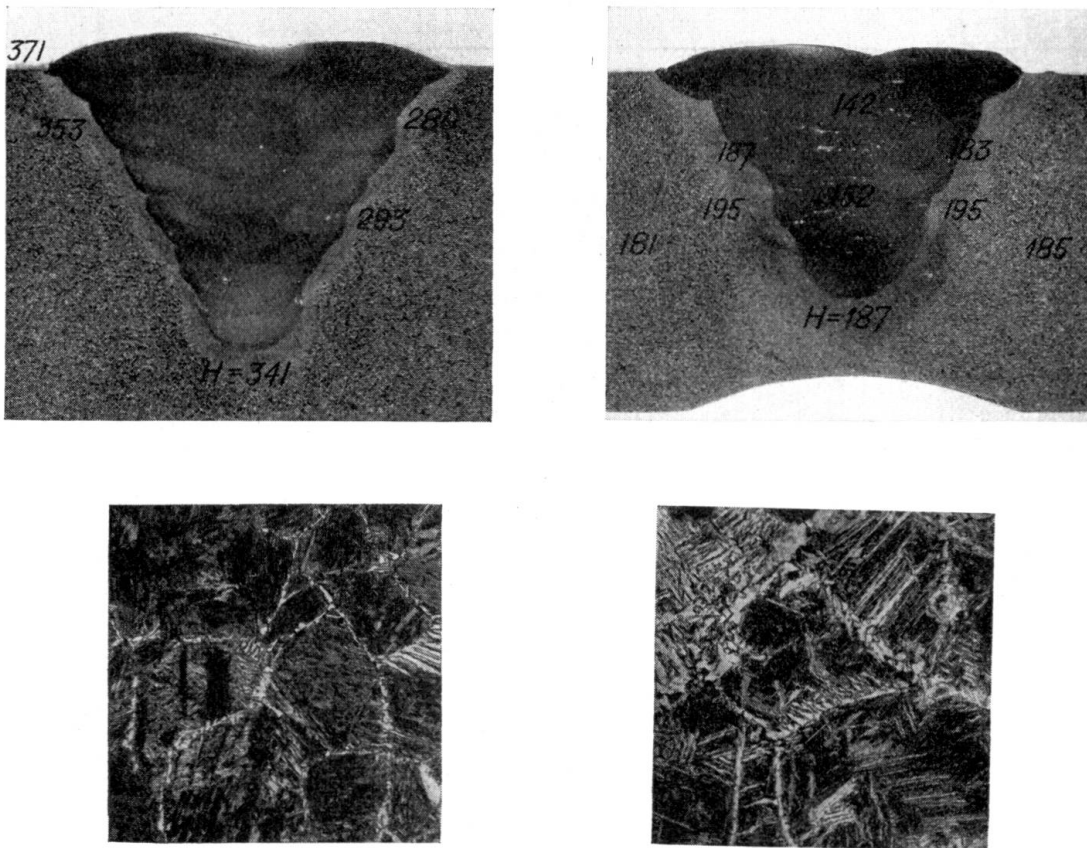


Fig. 5.

Zugermüdigkeitsfestigkeit in Abhängigkeit von der unteren Lastgrenze.



Nicht vorgewärmt,
Martensitbildung.

Vorgewärmt,
keine Martensitbildung.

Fig. 6.

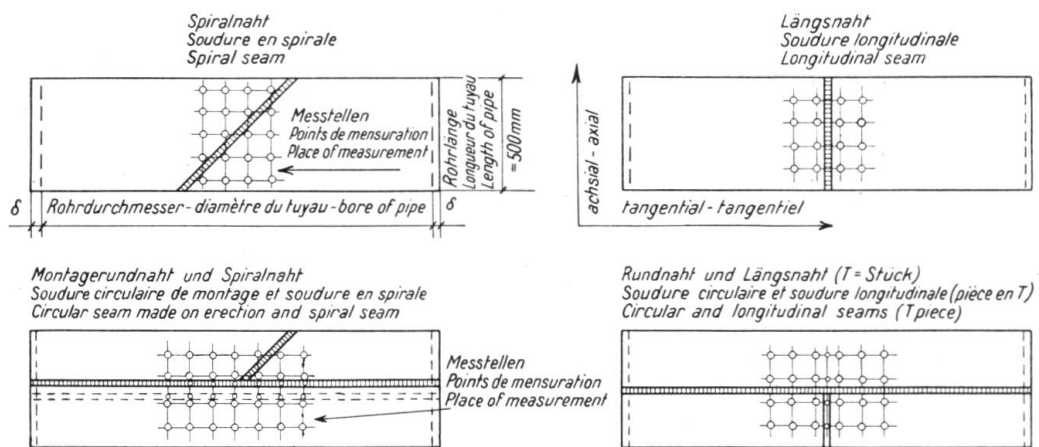
Stahlguß elektrisch geschweißt, C-Gehalt 0,28%.

Schweißung mit nicht vorgewärmtem Stahlguß:

Hohe Härtezahl der Übergangszone, Martensitbildung.

Schweißung mit vorgewärmtem Stahlguß:

Normale Härtezahl, keine Martensitbildung.



Art der Schweißnähte an der Meßstelle.

Fig. 7 a.

Innere Spannungen von geglühten und nicht geglühten Schweißnähten.

Größtwerte der gemessenen inneren Spannungen.

Geglüht oder nicht	Art der Schweißnähte an der Meßstelle	Red. innere Zug-Spannungen in kg/cm ²	
		Achial	Tangential
geglüht	Längsnaht (X-Naht)	+ 1010	+ 1060
nicht geglüht	Längsnaht (X-Naht)	+ 1620	+ 2460
geglüht	Spiralnaht (X-Naht)	+ 280 + 447	+ 727 + 336
nicht geglüht	Rundnaht und Längsnaht (U-Nähte)	+ 2070	+ 2070

Fig. 7 b.

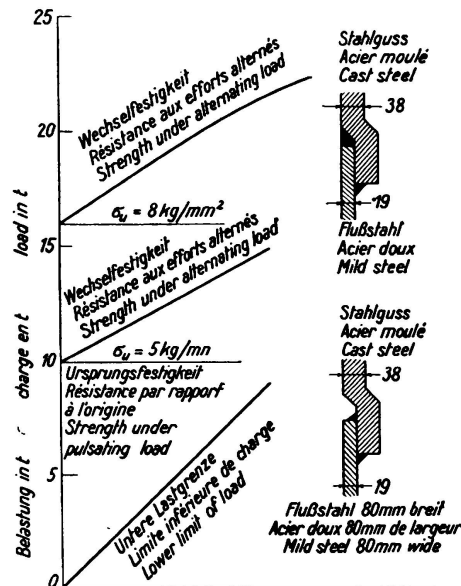
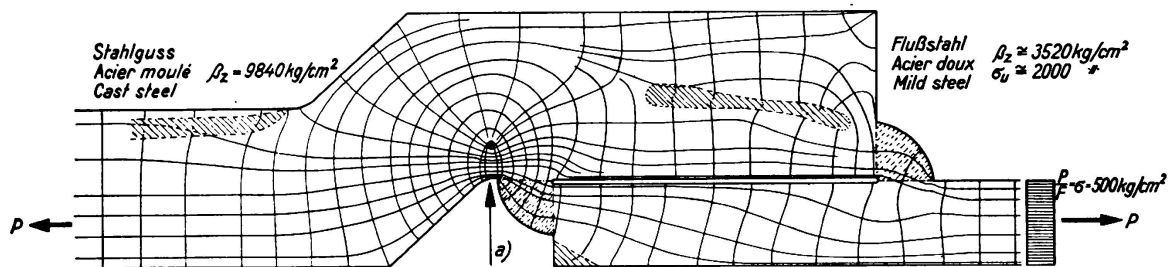


Fig. 8 a.

Hebung der Wechselfestigkeit durch geeignete Schweißverbindung Flußstahl-Stahlguß.



- a) Spannung Navier-Hooke, rechnerisch $\frac{P}{F} + \frac{M}{W}$: $\sigma_{max} = 2,8 \sigma = 1400 \text{ kg/cm}^2$
 Ursprungsfestigkeit Verbindung: $\sigma_u \cong 500 \text{ kg/cm}^2$
 Spannungsspitze Kerbgrund, spannungsoptisch: $\sigma_{max} = 5 \sigma = 2500 \text{ kg/cm}^2$.

Fig. 8 b.

Spannungszustand im Kerbgrund.

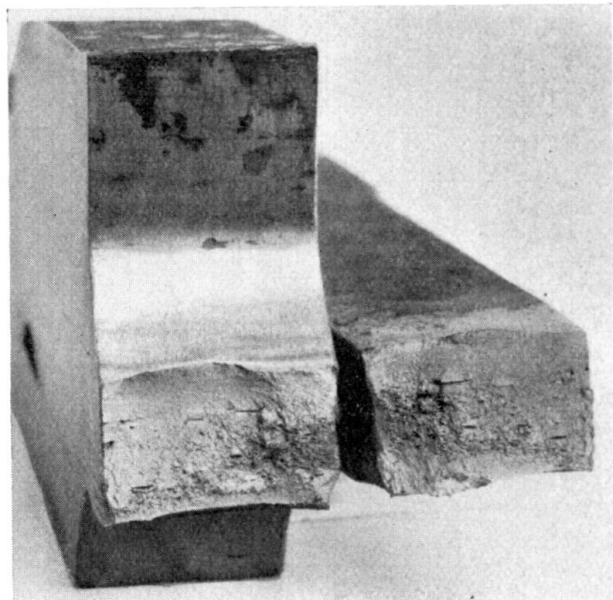
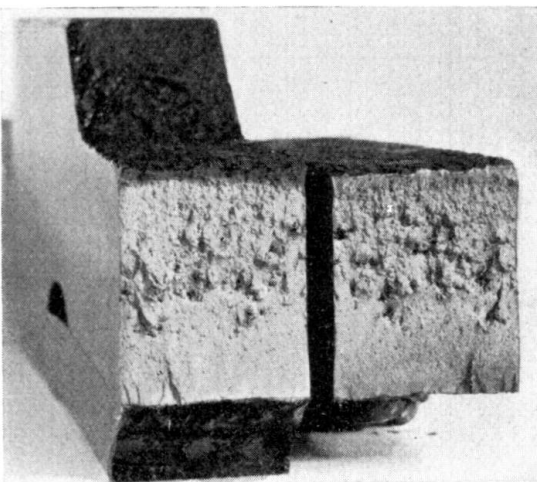
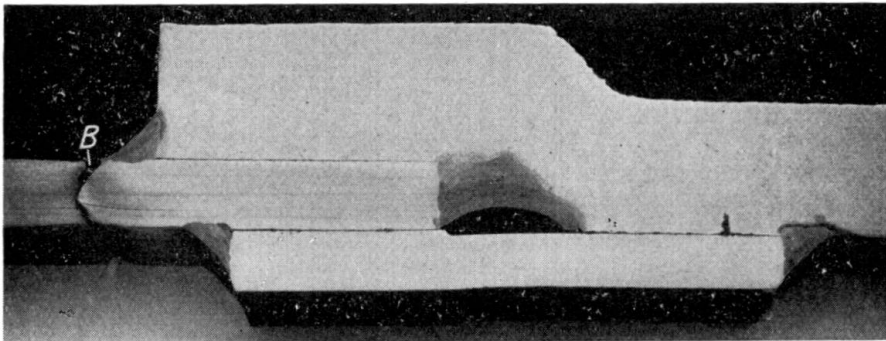
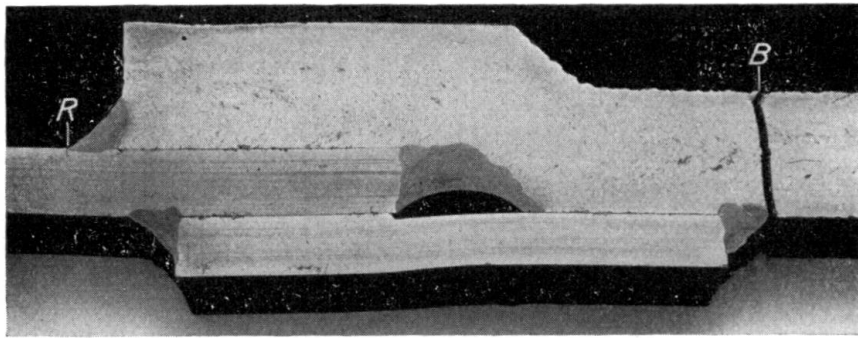


Fig. 9.

Geschweißte Flußstahl-Stahlguß-Verbindung.

Hebung der Ursprungfestigkeit durch Ausschleifen der Schweißnähte.

III a 5

Dauerfestigkeit von geschweißten Verbindungen von St. 37 und St. 52.

La résistance à la fatigue des assemblages soudés en acier
St. 37 et St. 52.

The Fatigue Strengths of Welded Connections in St. 37 and St. 52.

Ir. W. Gerritsen und Dr. P. Schoenmaker,
i. Willem Smit & Co's Transformatorenfabriek N. V. Nijmegen, Holland.

Frühere Untersuchungen haben gezeigt, daß die Dauerfestigkeitswerte bei Laboratoriumsversuchen mit glatt abgearbeiteten Rund- und Flachstäben von geschweißtem St. 37 gleich dem des ungeschweißten Walzmaterials, von geschweißtem St. 52 aber unter dem des ungeschweißten Walzmaterials liegen. Die Brüche treten also bei St. 37 außerhalb, bei St. 52 aber innerhalb der Schweißnaht auf; nichtsdestoweniger liegt die Dauerfestigkeit der geschweißten Verbindung von St. 52 um mindestens 30 % höher als von St. 37. Wo auch die zulässigen Beanspruchungen bei St. 52 um 30 % höher liegen wie bei St. 37, dürfte dasselbe auch für die geschweißten Verbindungen der Fall sein, vorausgesetzt, daß dick umhüllte Qualitätselektroden verwendet werden.

Die gefundenen Werte sind in Tabelle I zusammengefaßt.

Tabelle I.

Dauerfestigkeitswerte von ungeschweißtem und geschweißtem St. 37 und St. 52.

Material	Dauerfestigkeit kg/mm ²	Bruch
a) Dauerbiegeversuche mit runden Probestäben.		
St. 37 — ungeschweißt	$\sigma_{wb} = 20,1$	—
— geschweißt	$= 20,1$	außerhalb
St. 52 — ungeschweißt	$\sigma_{wb} = 30,8$	—
— geschweißt	$= 26,4$	innerhalb
Reines Schweißgut	$\sigma_{wb} = 24,3$	—
b) Dauerbiegeversuche mit flachen Probestäben.		
St. 37 — ungeschweißt	$\sigma_{wb} = 17,8$	—
— geschweißt	$= 17,8$	teilweise i. d. Schweißnaht
St. 52 — ungeschweißt	$\sigma_{wb} = 30,5$	—
— geschweißt	$= 22,5$	in der Schweißnaht
c) Dauertorsionsversuche mit runden Probestäben.		
St. 37 — ungeschweißt	$\tau_w = 11,5$	—
— geschweißt	$= 11,5$	außerhalb
St. 52 — ungeschweißt	$\tau_w = 17,2$	—
— geschweißt	$= 15,5$	innerhalb
Reines Schweißgut	$\tau_w = 15,3$	—

Obwohl diese Resultate als Vergleichungsmaterial interessant sind, haben sie aber für die Praxis nur geringe Bedeutung, weil die Verhältnisse da ganz anders sind. Da die meisten Verbindungen in geschweißten Brücken- und Hochbauten nicht bearbeitet sind, treten ungleichmäßige Spannungsverteilungen auf, die durch Kerbwirkungen an den Rändern der Schweiße oder in den Grund von Kehlnähten noch verstärkt werden. Es spielen also zwei Faktoren eine ausschlaggebende Rolle und zwar:

1. die Ausführung und die Bearbeitung der Schweiße,
2. die Formgebung der Verbindung.

Der Einfluß der Ausführung und der Bearbeitung der Schweiße ist von uns untersucht worden mit Hilfe von Flachbiegestäben der in Fig. 1 gegebenen Form. Die Schweiße selbst ist entweder in normaler oder in glatt ausgefüllter

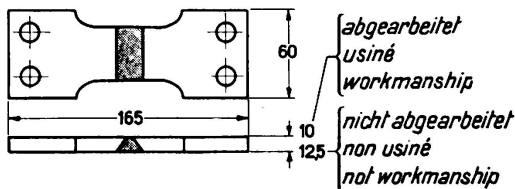


Fig. 1.

Form und Abmessungen des Flachbiegestabes für Dauerversuche.

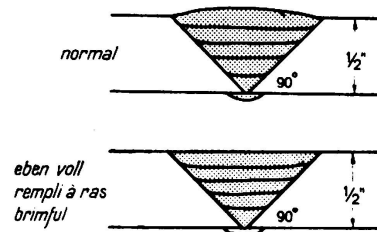


Fig. 2.

Ausführung der Schweiße.

Naht ausgeführt (siehe Fig. 2); in einem dritten Versuch wurde die obere Raupe abgefeilt. Die Ergebnisse dieser Versuche sind in Tabelle II, zusammen mit den Werten des ungeschweißten Materiales, für drei verschiedene St. 52-Sorten, ein CrCu-Stahl (I), ein MnSi-Stahl (II) und ein Mn-Stahl (III), wiedergegeben.

Tabelle II.

Dauerfestigkeitswerte von geschweißten Verbindungen von St. 52 mit abgearbeiteter und mit nicht abgearbeiteter Schweiße.

Stahl	Ungeschweißt Oberfläche gefeilt	Geschweißt		
		Schweiße gefeilt	nicht abgearbeitet	
			normal geschweißt	glatt ausgefüllt
I	31,0 kg/mm ²	23,0 kg/mm ²	11,0 kg/mm ²	15,0 kg/mm ²
II	29,0 „	21,5 „	9,5 „	16,5 „
III	31,5 „	22,5 „	8,0 „	14,0 „

Alle nicht abgearbeiteten Stäbe zeigen den Bruch in dem Übergang von Schweiße und Walzmaterial, entweder an der oberen Seite der V-Naht (Fig. 3) oder an der Wurzelseite an dem Rand der Gegenraupe entlang (Fig. 4), was aus den Umwandlungen im Mikrogefüge, die an diesen Stellen eine mehr oder weniger starke Härtung hervorrufen (Fig. 5), leicht zu erklären ist. Das Be-

streben der Stahlerzeuger wird also darauf gerichtet sein, diese Härtesteigerung soviel wie möglich zu beschränken, obwohl sie, weil sie mit der höheren Festigkeit dieser Stähle selbst verknüpft ist, nicht ganz beseitigt werden kann. Die

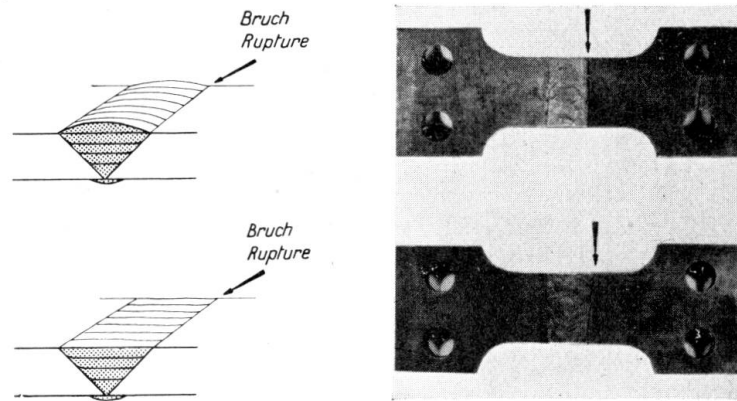


Fig. 3.

Dauerbrüche beim Übergang von Schweiße und Blech.

günstigsten Ergebnisse wurden jetzt bei den CrCu-, CrMo- und MnSi-Stählen erhalten, wenn der Gehalt an Legierungselementen möglichst niedrig gehalten wird, besonders aber der Kohlenstoffgehalt nicht über 0,15—0,20 % hinausgeht.¹

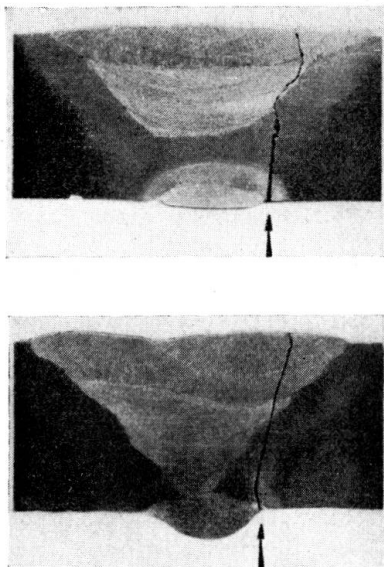


Fig. 4.

Einleitung des Dauerbruches an den Rand der Gegenraupe.

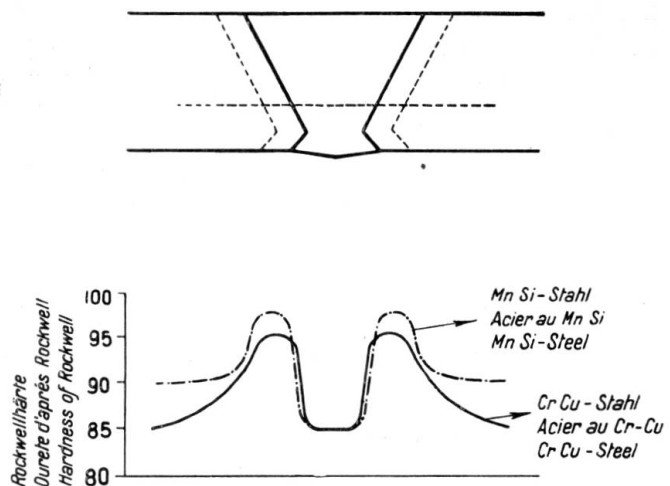


Fig. 5.

Härteverlauf in einer Schweißverbindung in St. 52.

Der Einfluß der Formgebung wurde an einer T-Verbindung, die in verschiedener Weise ausgeführt worden war, untersucht und zwar unter dynamischer Belastung mit gleichzeitiger statischer Vorspannung. In Übereinstimmung mit

¹ Vgl. Smit-Laschtijschrift, Bd. 1, Nr. 2 (1937).

der Berechnungsmethode des Brückenkonstruktionsbüros der Niederländischen Eisenbahnen wurde für die dynamische Spannung 30 % der statischen Vorspannung gewählt und wurde für jede Verbindung der größte Wert dieser Vorspannung gesucht, bei der nach 2 000 000 Lastwechseln kein Bruch auftrat

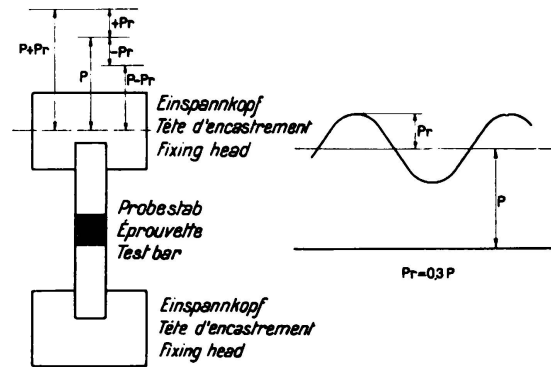


Fig. 6.

Spannungsänderung bei den Zug-Druckwechselversuchen.

(vgl. Fig. 6). Die Versuche wurden auf einer Losenhausen-Pulsatormaschine ausgeführt. Die T-Verbindung wurde als doppelseitige Kehlnaht und als X-Naht ausgeführt (Fig. 7 und 8); die Ergebnisse der Versuche sind in Tabelle III zusammengefaßt.

Tabelle III.

Ergebnisse von Dauerzugversuchen mit geschweißten Verbindungen von St. 37 und St. 52.

Material	Verbindung	Größte statische Vorspannung kg/cm ²	Dynamische Spannung	Belastungswechsel ohne Bruch
St. 37	X-Naht (Fig. 7 a)	1900	± 30 %	2.10 ⁶
	Kehlnaht (Fig. 7 b)	1250	± 30 %	2.10 ⁶
St. 52	X-Naht (Fig. 7 a)	2000	± 30 %	2.10 ⁶
	Kehlnaht (Fig. 7 b)	1000	± 30 %	2.10 ⁶

Es geht aus diesen Ergebnissen hervor, daß in den Kehlnähten die Verbindung in St. 37 eine höhere dynamische Festigkeit hat wie in St. 52; für die X-Nähte sind die Werte ungefähr gleich.

Dieses Ergebnis zeigt deutlich, daß die Dauerfestigkeit von geschweißten Verbindungen von St. 52 nicht größer ist wie von St. 37, eine Tatsache, die durch die größere Kerbempfindlichkeit des St. 52 erklärt wird. Außerdem ist in beiden Fällen die Festigkeit der X-Verbindungen der der Kehlnähte weit über-

legen, und es gilt also die allgemeine Vorschrift, *nach Möglichkeit die Verbindungen als Stumpfnähte auszuführen.*

Wenn Kehlnähte nicht zu vermeiden sind, wird die in Fig. 9 gegebene Form

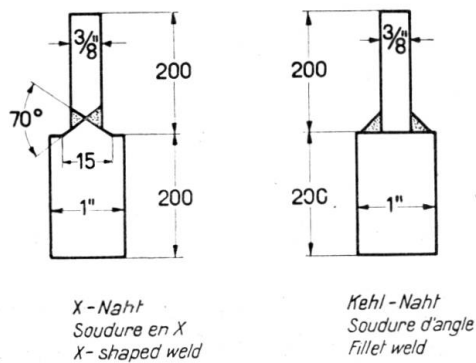


Fig. 7.

Form und Abmessungen der Probestücke für Dauerzugversuche.

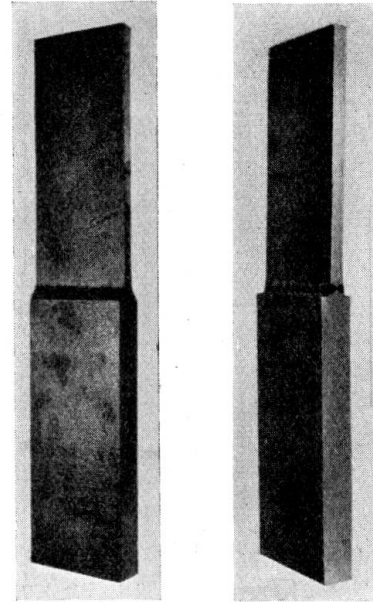


Fig. 8.

Geschweißte Probestücke nach Fig. 7 für Dauerzugversuche.

als die günstigste empfohlen; die Schweißse hat die möglichst große Höhe, ist an den Rändern glatt und hat einen, sich an das Werkstückmetall anschmiegen- den Übergang ohne Kerben.

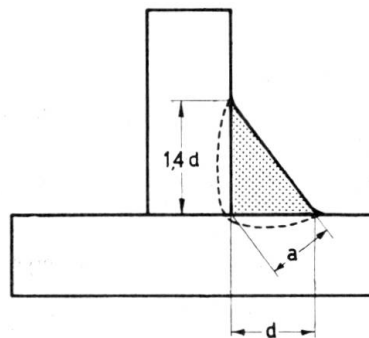


Fig. 9.

Ideale Form der Kehlnaht mit größtem Widerstand gegen statische und dynamische Belastungen.

Wir haben unsere Versuche weiter mit Dauerzugversuchen mit Belastung auf Abscherung erweitert; da diese zur Zeit noch nicht ganz beendet sind, wird über die Ergebnisse bei einer späteren Gelegenheit berichtet werden.²

² Vgl. Smit-Loschtydschrift, Band 1, Nr. 3 (1937).

IIIa 6

Angaben über die Methode des Ausdrucks einer zulässigen Spannung, die durch Schwingung oder Wechsel im Vorzeichen der Spannungen bestimmt ist.

Notes sur la méthode d'expression de la contrainte admissible déterminée à partir de la pulsation ou de d'alternance des efforts appliqués.

Notes on the Method of Expression of Allowable Unit Stress as determined by the Pulsation or Reversal of the Stresses.

J. Jones,

Chief Engineer, Bethlehem, Pa.

In den Amerikanischen Normalbedingungen für genietete Brücken ist eine Verminderung der zulässigen Spannungen im Falle wechselnder Spannungen vorgeschrieben worden, aber nicht im Falle schwingender Spannungen (fluktierend, aber ohne Änderung des Vorzeichens).

Jedoch beschloß das von der American Welding Society eingesetzte Komitee zur Vorbereitung einer Aufstellung der Bedingungen für geschweißte Brücken (veröffentlicht 1936) auf Grund der zur Verfügung stehenden Angaben, weitgehend sich den veröffentlichten Berichten von Professor *Graf* und *Schaechterle* anpassend, eine Verminderung der zulässigen Spannung bei bestimmten Arten geschweißter Nähte vorzusehen für Spannungen, die in beträchtlichem Ausmaß schwingen sowie für diejenigen, die ihr Vorzeichen tatsächlich umkehren.

Diese vorliegenden Angaben erörtern nicht die wirklichen Werte, die für die zulässige Spannung unter verschiedenen Bedingungen gewählt wurden, sondern nur die Art, in der sie ausgedrückt werden. Da die meisten wichtigen Teile einer Brücke und ihre Verbindungen einer schwingenden Spannung unterliegen, ist es von Bedeutung, die arithmetische Arbeit auf ein Minimum herabzudrücken, die verursacht ist durch die Befolgung vorgeschriebener Richtlinien.

Die vorherigen Amerikanischen Bedingungen, die, wie oben gesagt, nur bei umgekehrten Spannungen anwendbar waren, erfordern die Berechnung einer dritten oder (hypothetischen) Spannung aus den minimalen und maximalen Gesamtspannungen, die größer als das Maximum ist, mit welcher die normale Spannung in Verbindung gebracht wird, sodaß eine Vergrößerung der erforder-

lichen Fläche entsteht. Eine identische Methode ist aus geometrischen Gründen nicht möglich, wenn eine Verminderung der Spannung für Schwingung und für Umkehr vorzunehmen ist.

Die offizielle deutsche Methode (Gamma-Methode) ist der vorstehenden ähnlich und erfordert die Berechnung eines Multiplikators „Gamma“ aus den minimalen und maximalen Gesamtspannungen, der mit der Maximalspannung in Verbindung gebracht wird.

Jede dieser Methoden setzt einen behelfsmäßigen Schritt ein, bevor sie zur Bestimmung der erforderlichen Fläche schreitet, nämlich die Berechnung einer modifizierten oder hypothetischen Maximalspannung. Die von der American Welding Society eingesetzte Methode schaltet den vorbereitenden Schritt aus und erhält die erforderliche Fläche durch die direkte Anwendung einer einfachen Formel, deren Ableitung nun gegeben werden soll (Fig. 1).

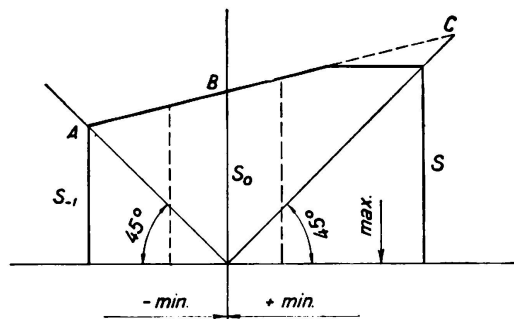


Fig. 1.

Die Linie ABC soll eine graphische Darstellung zulässiger Spannungen sein, die so angelegt ist, daß jedes Minimum eine Abszisse und das entsprechende Maximum die entsprechende Ordinate ist. So ist bei A, min. = max., und bei der Ordinate S_{-1} die auf Grund der Prüfungsangaben gewählte Spannung im Falle voller Umkehr zulässig. So ist bei B, min. = 0, und bei der Ordinate S_0 die gewählte Spannung im Falle der Schwingung von Null zulässig.

Für alle praktischen Zwecke kann ABC als gerade Linie betrachtet werden. Es ist unerwünscht, die Zeichnung durch Einführung einer anderen Form der Verschiedenheit zu komplizieren mit Rücksicht darauf, daß der Prozentsatz an Irrtümern klein sein muß.

Das volle Ausmaß der Linie ABC ist nicht verwendbar, weil die Werte der maximalen Spannung über den Wert S hinaus, der für statische Zwecke festgesetzt worden ist, zunehmen (max. = min.). Die schräge Linie muß deshalb über ihrem Schnittpunkt mit einer Horizontalen durch den Wert S vernachlässigt werden.

Betrachten wir nun den Teil einer Brücke, der einen anderen Grad der Umkehr als vollständige Umkehrung erfährt, oder einen anderen Grad der Schwingung als Rückkehr zu Null, wie es durch punktierte Ordinaten in der Skizze angegeben ist. Für diesen Teil stehen die unbekanntenen „max.“ und „min.“ zulässigen Spannungen natürlich in einem Verhältnis zu den bekannten „Max.“ und „Min.“ oder errechneten Gesamtspannungen.

Dann ist

$$\begin{aligned} \text{max.} &= S_0 + \frac{S_0 - S_{-1}}{S_{-1}} \text{ min.} \\ &= S_0 + n \cdot \text{min.}, \end{aligned}$$

$$\text{„n“ ist die Neigung der Linie AB} = \frac{S_0 - S_{-1}}{S_{-1}}.$$

$$\text{Erforderliche Fläche } A = \frac{\text{Max.}}{\text{max.}} = \frac{\text{Max.}}{S_0 + n \cdot \text{min.}} = \frac{\text{Max.}}{S_0 + n \cdot \frac{\text{Min.}}{A}}$$

$$A \cdot S_0 + n \cdot \text{Min.} = \text{Max.}$$

$$A = \frac{\text{Max.} - n \cdot \text{Min.}}{S_0}$$

Dies ist dann die Formel, aus welcher die Bedingung errechnet wird. Für jede Spannungsart einer Naht hat das Komitee einen zulässigen Wert für S_0 und einen Wert für S_{-1} gewählt. Aus diesen ist durch Gl. (1) n abgeleitet und dann wird Gl. (2) in die Aufstellung eingesetzt. Nachdem der Entwerfende aus der vorgeschriebenen Belastung „Max.“ und „Min.“ errechnet hat, leitet er seine Fläche „A“ in der einfachst möglichen Weise ab.

In Zukunft, wenn weitere Prüfungsergebnisse zur Verfügung stehen und wenn aus anderen Gründen die notwendigen Sicherheitsfaktoren von neuem untersucht werden, mögen künftige Komitees „ S_0 “ oder „ S_{-1} “ oder beide abändern. Die Form der verschiedenen Formeln braucht nicht verändert zu werden, und eine einfache Abänderung von „ n “ oder „ S_0 “ oder beider wird die gewünschte Änderung zum Ausdruck bringen.

Als Beispiel gibt die Aufstellung der American Welding Society für die Fläche von Kehlnähten:

$$\text{Fläche} = \frac{\text{Max.} - \frac{1}{2} \text{Min.}}{7200} \text{ aber nicht weniger als } \frac{\text{Max.}}{9600}$$

(Der zweite Ausdruck verkörpert den Teil der vorstehenden graphischen Darstellung, in welcher die schräge Linie durch die Horizontale durch die Ordinate „S“ ersetzt ist.)

Beispiel 1. Max. = + 80 000 Min. = - 80 000

$$A = \frac{80\,000 + 40\,000}{7200} = 16,7 \text{ Quadratzoll.}$$

Beispiel 2. Max. = + 80 000 Min. = - 40 000

$$A = \frac{80\,000 + 20\,000}{7200} = 13,9 \text{ Quadratzoll.}$$

Beispiel 3. Max. = + 80 000 Min. = 0

$$A = \frac{80\,000}{7200} = 11,1 \text{ Quadratzoll.}$$

Beispiel 4. Max. = + 80 000 Min. = + 16 000

$$A = \frac{80\,000 - 8000}{7200} = 10,0 \text{ Quadratzoll,}$$

$$\text{aber nicht weniger als } \frac{80\,000}{9600} = 8,33 \text{ Quadratzoll.}$$

Beispiel 5. Max. = + 80 000 Min. = + 64 000

$$A = \frac{80\,000 - 32\,000}{7200} = 6,67 \text{ Quadratzoll,}$$

$$\text{aber nicht weniger als } \frac{80\,000}{9600} = 8,33 \text{ Quadratzoll.}$$

Leere Seite
Blank page
Page vide