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

Band: 2 (1936)

Artikel: Ermüdungsfestigkeit und Sicherheit geschweisster Konstruktionen (Brücken- und Hochbauten und Druckrohre)

Autor: Roš, M.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-2690

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: 02.10.2025

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

IIIa 2

Ermüdungsfestigkeit und Sicherheit geschweißter Konstruktionen (Brücken- und Hochbauten und Druckrohre).

Résistance à la fatigue et sécurité des constructions soudées (Ponts, charpentes, conduites forcées).

Fatigue Strength and Safety of Welded Structures (Bridges, Structural Steel Work and Pressure Pipes).

Dr. Ing. h. c. M. Roš,
Professor an der Eidg. Techn. Hochschule und Direktor der Eidg. Materialprüfungsanstalt, Zürich.

I. Einleitung.

Das Schweißgut ist das Erzeugnis einer Stahlgießerei im Kleinen, es muß daher grundsätzlich wie Stahlguß behandelt und beurteilt werden.

Zufolge praktisch unvermeidlicher Schlackeneinflüsse, Einbrandkerben, nicht ganz einwandfrei gebundener Stellen, sehr feiner Spannungsrisse und durch thermische Beeinflussung veränderten Gefüges, insbesondere in der Übergangszone (Einbrandzone) sind geschweißte Verbindungen gegen Ermüdungsbeanspruchungen empfindlicher als die durch Schweißung zu verbindenden Konstruktionsstähle selbst oder deren Nietverbindungen.

Die Ermüdungsprüfung innerhalb verschieden hoher Spannungsgrenzen ist eine besonders geeignete Prüfmethode für die Güte der Schweißnähte vom metallurgischen und konstruktiven Standpunkte aus.

Für höher gekohlte, gegen thermische und mechanische Einflüsse empfindlichere Stähle ($C \geqq 0{,}15\%$) sind, auf Grund metallurgischer Erkenntnisse und je nach Möglichkeit und Zweckbestimmung, nachfolgende Vorkehrungen gerechtfertigt: Verwendung geeigneter Sonderelektroden, Vorwärmen des Werkstückes, Nachglühen mit dem Brenner, spannungsfreies Glühen oder Ausglühen des ganz fertig geschweißten Stückes.

Die Berücksichtigung all dieser Erkenntnisse, gemeinsam mit den bisherigen Erfahrungen, hat sich äußerst fruchtbringend ausgewirkt auf

die Entwicklung der Elektroden,
die Art der Ausführung von Schweißverbindungen,
die Durchbildung der konstruktiven Einzelheiten,
die Berechnungsweise geschweißter Verbindungen und
die Abnahmeprüfung fertig geschweißter Bauwerke.

II. Versuche der Eidg. Materialprüfungsanstalt 1927—1935.

Die Ergebnisse der wichtigsten, seit 1927 in der E.M.P.A. ausgeführten statischen und Ermüdungsversuche sind im Berichte Nr. 86 der E.M.P.A. niedergelegt.[1] Die Ermüdungsversuche wurden in drei Pulsatoren von 10, 30 und 60 t Leistung, und vier Dauerbiegemaschinen von *Alfr. J. Amsler & Co.*, Schaffhausen, sowie der großen Torsions- und Biege-Schwingungsmaschine von *C. Schenck*, Darmstadt, durchgeführt.

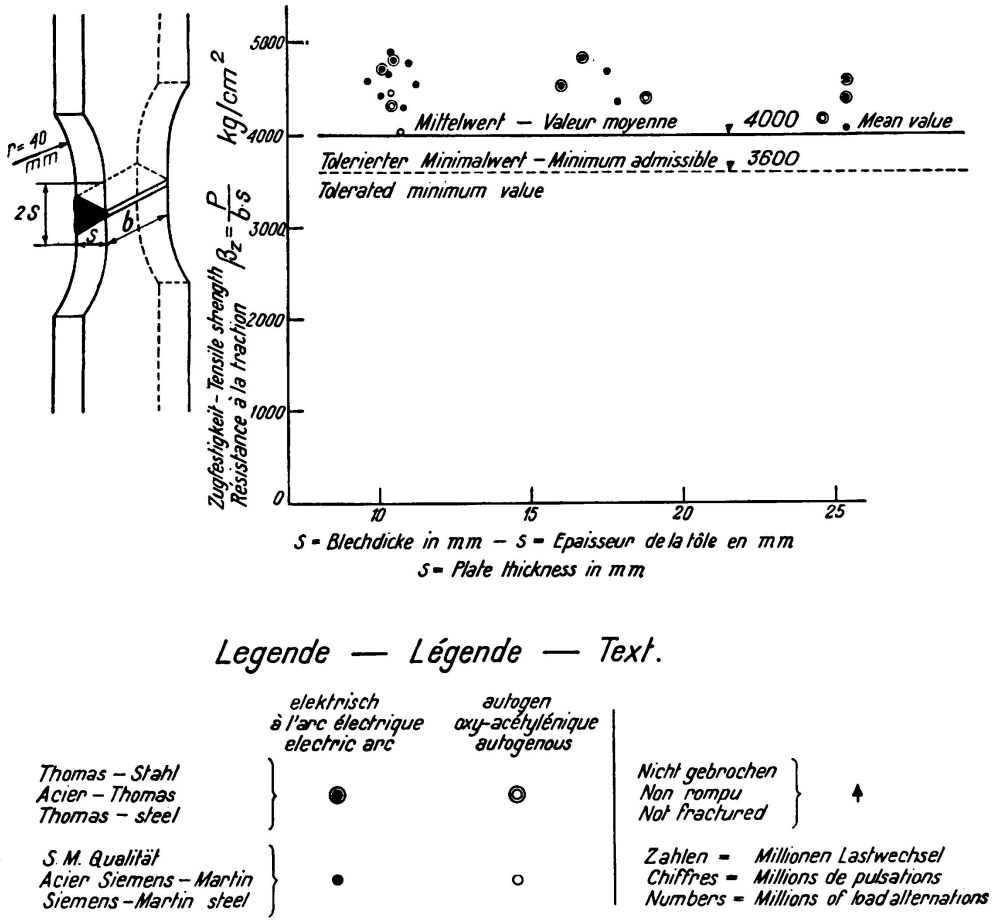

Fig. 1.

Stumpfschweißung. Zugfestigkeit.

Sämtliche Festigkeitswerte beziehen sich auf Schweißungen von *normalem Konstruktionsstahl* mit einer mittleren Zugfestigkeit von $\beta_z \cong 4000$ kg/cm², einem Kohlenstoffgehalt von $C \cong 0{,}1\,\%$ und möglichst geringen Mengen an Phosphor und Schwefel ($P + S \leq 0{,}1\,\%$), technisch frei von Schlackeneinschlüssen, Seigerungen, Doppelungen und Oberflächenfehlern (feine Anrisse). Die Schweißungen wurden mit *ummantelten Elektroden* und Gleichstrom ausgeführt; das Schweißgut war auf die Festigkeitsgüte des Stahles abgestimmt.

Die interessantesten dieser Ergebnisse sind in den Fig. 1 bis 14 dargestellt. Die nachfolgenden tabellarischen Zusammenstellungen geben die jeweiligen Mittel-

[1] *M. Roš* und *A. Eichinger:* „Festigkeit geschweißter Verbindungen", Bericht Nr. 86 der Eidg. Materialprüfungsanstalt Zürich, März 1935.

werte der statischen Zugfestigkeiten sowie verschiedenen Ermüdungsfestigkeiten an; es bedeuten:

$$\text{Ermüdungs-Festigkeiten}\begin{cases} \sigma_D = \text{Schwingungsfestigkeit} \begin{cases} \sigma\,\max = +\sigma_D \\ \sigma\,\min = -\sigma_D \end{cases} \\ \sigma_U = \text{Ursprungsfestigkeit} \begin{cases} \sigma\,\max = +\sigma_U \\ \sigma\,\min = -0 \end{cases} \\ {}^1/_2\,\sigma_W = \text{Wechselfestigkeit} \begin{cases} \sigma\,\max = +\sigma_W \\ \sigma\,\min = +{}^1/_2\,\sigma_W \end{cases} \end{cases}$$

sichtbare Störung des molekularen Gleichgewichtes . . . σ_f = Fließgrenze
größte Zugkraft, bezogen auf den ursprünglichen Querschnitt β_z = Zugfestigkeit

Zusammenstellung 1.

	Ermüdungsfestigkeiten Mittelwerte in kg/cm²	
Zugbeanspruchung	σ_U	${}^1/_2\,\sigma_W$
Stumpfnaht		
Schweißung (Anschlußfläche)	1400	2000
Einbrandzone	1600	2300
	— Fig. 2 und 13 —	
Kehlnaht		
Schweißung (Anschlußfläche)	600	800
Einbrandzone	1000	1500
	— Fig. 4 und 14 —	
Flankennaht		
Schweißung (Anschlußfläche)	800	1200
Einbrandzone	1000	1500
	— Fig. 6 und 14 —	
Stirnnaht		
Schweißung (Anschlußfläche)	800	1200
Einbrandzone	1000	1500
	— Fig. 8 und 14 —	

Da Kehl-, Flanken- und Stirnnähte vorläufig als praktisch gleichwertig in eine gemeinsame Gruppe eingereiht wurden, können für letztere nachfolgende Gesamtmittelwerte angegeben werden:

Schweißnaht (Anschlußfläche) . . .	~ 700	1100
Einbrandzone	~ 1000	1500

Die Spannungen für Kehl-, Flanken- und Stirn-Nähte wurden stets auf die Anschlußfläche bezogen, weil der Ermüdungsbruch in der Regel in diesen den Ausgang nimmt. Da der Dauerbruch entweder entlang der Naht-Anschlußfläche oder in der Einbrandzone erfolgen kann, müssen beide Stellen untersucht und das Ergebnis berücksichtigt werden.

Da die Ermüdungsfestigkeit der Kehlnähte (Gruppe) von den Abmessungen der Bleche und Nähte und den dadurch bedingten Verformungsmassen abhängt,

sind die angegebenen Ermüdungsfestigkeiten — Zusammenstellung 1 — sowie Festigkeitsverhältnisse — Zusammenstellung 7 — nur als vorläufig verbindliche Richtlinien zu werten. Eingehendere Versuche müßten noch den Einfluß der Nahtlänge, Nahthöhe, Laschenbreite, sowie Blechdicke abklären.

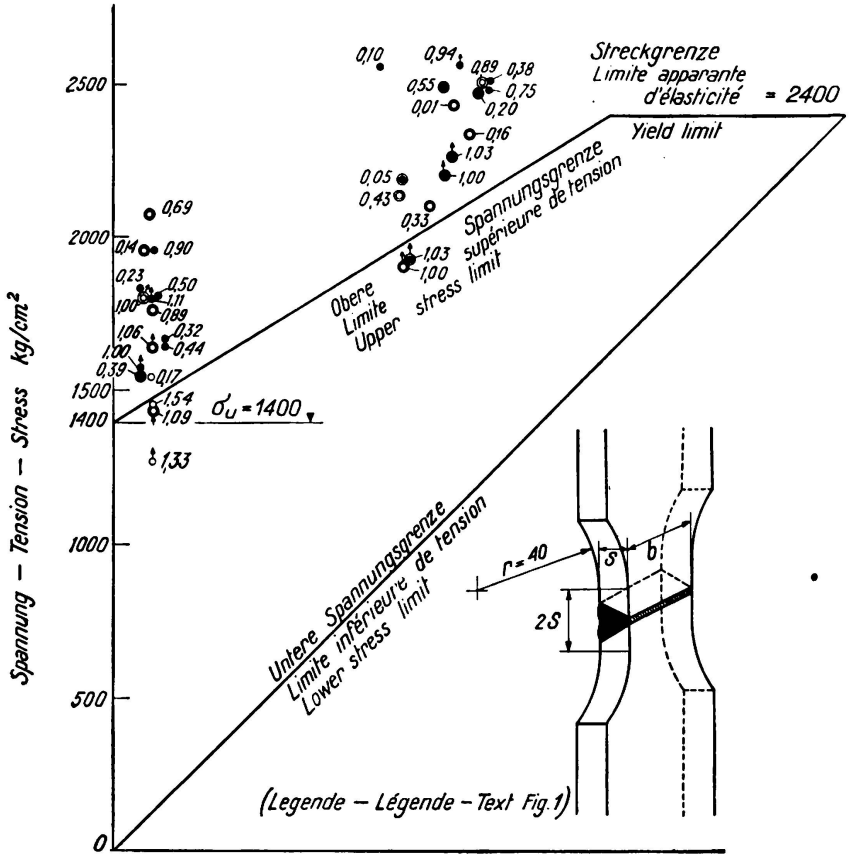

Fig. 2.
Stumpfschweißung. Zug-Ermüdungsversuche.

Die Gesamtmittelwerte der Ermüdungsfestigkeiten von Stumpfnähten und der Gruppe der Kehlnähte sind für die Anschlußflächen und die Einbrandzonen in den Fig. 13 und 14 in Form von Diagrammen dargestellt.[2]

---

[2] Die Schwingungsfestigkeiten für Zug und Druck (Volumen) konnten nicht unmittelbar durch Versuche ermittelt werden. Die in der *Schenck*'schen Ermüdungsmaschine ermittelten Ermüdungsfestigkeiten auf Biegung und Verdrehung (Randfaser) ergaben Verhältniswerte für

$$\text{Biegung von } \frac{\sigma_D}{\sigma_U} = 0{,}7 \qquad \text{— Abb. 9 und 10 —}$$

$$\text{Verdrehung (Torsion) von } \frac{\tau_D}{\tau_U} = 0{,}6 \qquad \text{— Abb. 12 —}$$

somit im Mittel von 0,65. Dieser Mittelwert von 0,65 wurde der Bestimmung der Zug-Druck-Schwingungsfestigkeit zugrunde gelegt; letztere ergibt sich für den Stumpfstoß dementsprechend zu $\sigma_D = 0{,}65 \cdot 1400 \cong 90$ kg/cm². Der so ermittelte σ_D -Wert stimmt mit dem von *Haigh* in seiner Zug-Druck-Schwingungsmaschine für den Stumpfstoß ermittelten Verhältniswert von

$$\frac{\sigma_D}{\sigma_U} = \frac{930}{1470} = 0{,}64$$

sehr gut überein.

Die Mittelwerte der *statischen Zugfestigkeiten*[3] von sachgemäß ausgeführten Stumpf- und Kehlschweißungen sowie der *Biegezahlen*[3] gehen aus der nachfolgenden Zusammenstellung 2 hervor. Die Ergebnisse der Zugfestigkeiten sind in den Fig. 1, 3, 5 und 7 dargestellt.

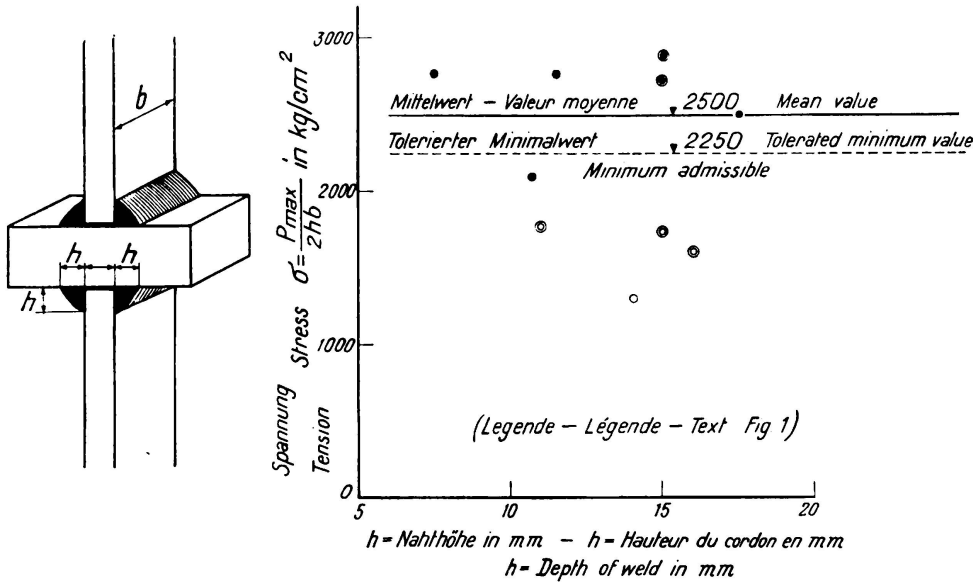

Fig. 3.

Kehlschweißung. Zugfestigkeit.

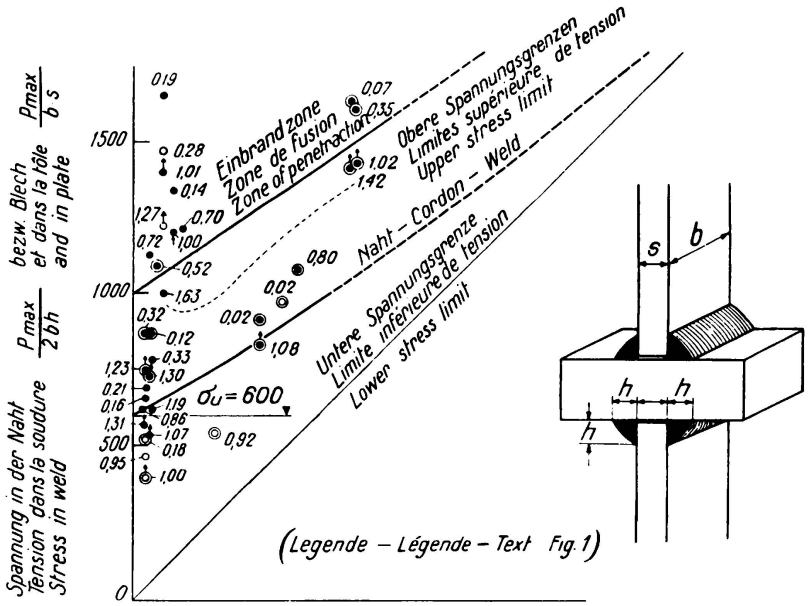

Fig. 4.

Kehlschweißung. Zug - Ermüdungsversuche.

[3] Die in den Zusammenstellungen 2 — statische Festigkeiten — und 3 — zulässige Spannungen — angegebenen Werte stützen sich auf die in der Eidg. Materialprüfungsanstalt in den Jahren 1927—1935 durchgeführten Versuche und wurden unverändert in die „*Neue Eidg. Verordnung über die Berechnung, die Ausführung und den Unterhalt der der Aufsicht des Bundes unterstellten Bauten aus Stahl*" vom 14. Mai 1935 aufgenommen.

Zusammenstellung 2.

Zugbeanspruchung	Statische Festigkeit in kg/cm² Mittelwert	Mindestwert
Stumpfnaht	4000	3600
Kehlnaht	2500	2250
Flankennaht	2500	2250
Stirnnaht	3500	3150

Dicke der Schweißung	Biegezahl $K = 50 \cdot \frac{s}{r}$ Druckzone	Zugzone
	Wurzel in der	
< 12 mm	28	20
12—20 mm	20	16
> 20 mm	16	12.

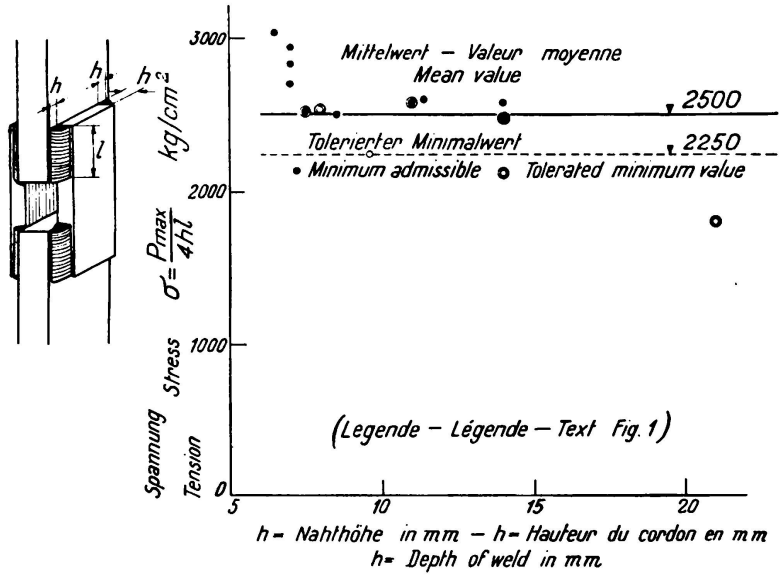

Fig. 5.

Flankenschweißung. Zugfestigkeit.

Mit steigendem Kohlenstoffgehalt, zum Zwecke der Erhöhung der Festigkeitseigenschaften nehmen die Vorsichtsmaßnahmen bzw. Schwierigkeiten beim Schweißen und Schneiden mit der Flamme zu. Zu diesen Maßnahmen gehören:

Vorwärmen, Wärmen während des Schweißens, Schweißen mit dicken Elektroden und in dickeren Schichten (letzteres bei Überkopfschweißungen undurchführbar),

sodann nach erfolgter Schweißarbeit: Ausglühen über die obere Umwandlungstemperatur (Normalisieren, bei Stahlguß mit Totglühen verbunden), spannungsfreies Glühen (bis unter die untere Umwandlungstemperatur) und gegebenenfalls Nachglühen mit dem Brenner.

Die Beachtung dieser Maßnahmen ist bei Druckrohren und Stahlgußkörpern möglich, bei Brücken und Hochbauten jedoch nur in äußerst seltenen Fällen durchführbar (Verziehen, Verwinden, Kosten).

III. Zulässige Spannungen.

Für Schweißverbindungen in normalem Konstruktionsstahl ($\beta_z \cong 4000$ kg/cm²) sind nachfolgende Spannungen in kg/cm² zulässig:

Zusammenstellung 3.

	Brücken		Hochbauten[4]	
Stumpfnähte				
Zug	$850\left(1+0{,}4\,\frac{A}{B}\right)$	— Fig. 16 —	$1000\left(1+0{,}4\,\frac{A}{B}\right)$	— Fig. 16 —
Druck	$1200\left(1+0{,}3\,\frac{B}{A}\right)$	— Fig. 15 —	$1400\left(1+0{,}3\,\frac{A}{B}\right)$	— Fig. 15 —
Schub	$660\left(1+0{,}4\,\frac{A}{B}\right)$		$770\left(1+0{,}4\,\frac{A}{B}\right)$	
Kehlnähte				
Zug	$425\left(1+0{,}4\,\frac{A}{B}\right)$	— Fig. 17 —	$500\left(1+0{,}4\,\frac{A}{B}\right)$	— Fig. 17 —
Druck	$600\left(1+0{,}3\,\frac{A}{B}\right)$		$700\left(1+0{,}3\,\frac{A}{B}\right)$	
Schub	$480\left(1+0{,}4\,\frac{A}{B}\right)$		$560\left(1+0{,}4\,\frac{A}{B}\right)$	

worin A = unterer, absolut kleinster Grenzwert der äußeren Kraft (Moment-, Längs- oder Querkraft),
B = oberer, absolut größter Grenzwert der gleichen äußeren Kräfte;
das Vorzeichen (+) ändert sich in (—) wenn die Grenzwerte entgegengesetzten Sinnes sind.

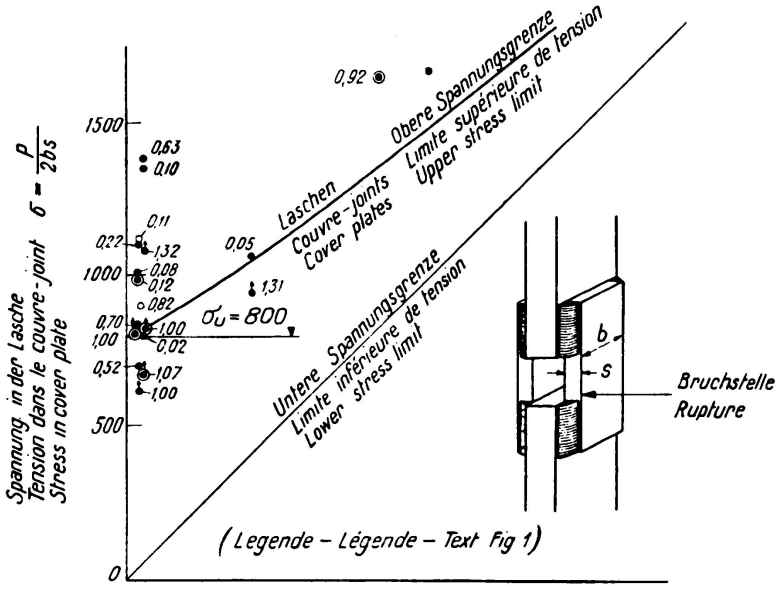

Fig. 6.
Flankenschweißung. Zug-Ermüdungsversuche.

[4] Gültig auch für Brücken, wenn alle Nebeneinflüsse aus Brems- und Reibungskräften, Temperaturänderungen usw. berücksichtigt werden. Gleichzeitig dürfen aber für die Haupteinflüsse — Eigengewicht, Nutz- und Verkehrslast, Fliehkräfte dynamische Wirkungen — die zulässigen Spannungen der Kolonne „Brücken" nicht überschritten werden.

Im Vergleich zur Nietung betragen die Verhältniszahlen der zulässigen Spannungen von Schweißung zu Nietung für den Fall A = 0 (Ursprungsfestigkeit):

Zusammenstellung 4.

— Verhältniszahlen [5] —

Beanspruchung auf	Nietung	Schweißung Stumpfnähte	Schweißung Kehlnähte
Zug	1,00	0,70	0,35
Druck	1,00	1,00	0,50
Schub	0,58	0,55	—
Scherung	0,80	—	0,40

Die Verhältniszahlen für die übrigen Werte von $\frac{A}{B}$ sind praktisch von gleicher Größenordnung.

[5] Die angegebenen Verhältniszahlen entsprechen den jeweiligen Verhältniswerten der Ermüdungsfestigkeiten von Schweißung zur Nietung. Für die Wahl der Ermüdungsfestigkeits-Verhältnisse war, abgesehen davon, daß im Betriebe stärkere oder schwächere Schwankungen der Beanspruchungen (Spannungswechsel, Betriebsstöße, Betriebsunterbrüche, Druckschwankungen, Wärmewechsel usw.) innerhalb gewisser, verschieden großer Grenzen auftreten können, noch die wichtige Tatsache maßgebend, daß die Ergebnisse der Ermüdungsfestigkeiten richtige Schweißverbindungen von unrichtigen, durch starke Unterschiede in den Festigkeitswerten viel ausgeprägter charakterisieren als die Ergebnisse der statischen Festigkeitsversuche. Mit größeren Materialfehlern und feinen Anrissen behaftete Schweißnähte verhalten sich selbst bei vorwiegend ruhender Dauerbelastung ähnlich wie praktisch fehlerfreies Material unter wiederholtem Lastwechsel; der Riß pflanzt sich mit der Zeit fort bis schließlich der Bruch erfolgt.

Auf Grund der Versuche der Eidg. Materialprüfungsanstalt ergeben sich nachfolgende Festigkeitsverhältnisse für die Ursprungsfestigkeiten von Schweißungen auf Nietungen bezogen.

	Zug	Druck	Schub
Stumpfer Stoss			
ungeglüht	$\alpha_1 = \frac{1400}{1900} = 0{,}7$	$\alpha_1 = 1{,}0$	$\alpha = \frac{1100}{1900} = 0{,}55$
	$\alpha_2 = \frac{1600}{1900} = 0{,}85$	$\alpha_2 = 1{,}0$	
geglüht	$\alpha_1 = \frac{1500}{1900} = 0{,}8$		
	$\alpha_2 = \frac{1800}{1900} = 0{,}95$		— Abb. 13 —
Kehl-, Flanken- und Stirn-Nähte			
	$\alpha_1 = \frac{700}{1900} = 0{,}35$	$\alpha_1 = 0{,}5$	$\alpha = \frac{750}{1900} = 0{,}4$
	$\alpha_2 = \frac{1600}{1900} = 0{,}85$	$\alpha_2 = 1{,}0$	— Abb. 14 —
Einbrandzone Stumpfnäthe			
	$\alpha_1 = \frac{1600}{1900} = 0{,}85$	$\alpha_1 = 1{,}0$	$\alpha = 0{,}58$
	$\alpha_2 = \frac{1610}{1900} = 0{,}85$	$\alpha_2 = 1{,}0$	
Kehlnähte (Gruppe)			
	$\alpha_1 = \frac{1100}{1900} = 0{,}6$	$\alpha_1 = 0{,}9$	$\alpha = 0{,}53$
	$\alpha_2 = \frac{1600}{1900} = 0{,}85$	$\alpha_2 = 1{,}0$	— Abb. 14 und 15 —

Bei reinen *Druckbeanspruchungen* des geschweißten stumpfen Stoßes, ohne Knickgefahr, liegt die Ermüdungsfestigkeit wesentlich höher als für reine Zugbeanspruchungen; die Fließgrenze, zufolge thermischen Einflusses nur unwesentlich tiefer ($\sigma_f = 2400$ kg/cm² gegenüber $\sigma_f = 2600$ kg/cm²), so daß es

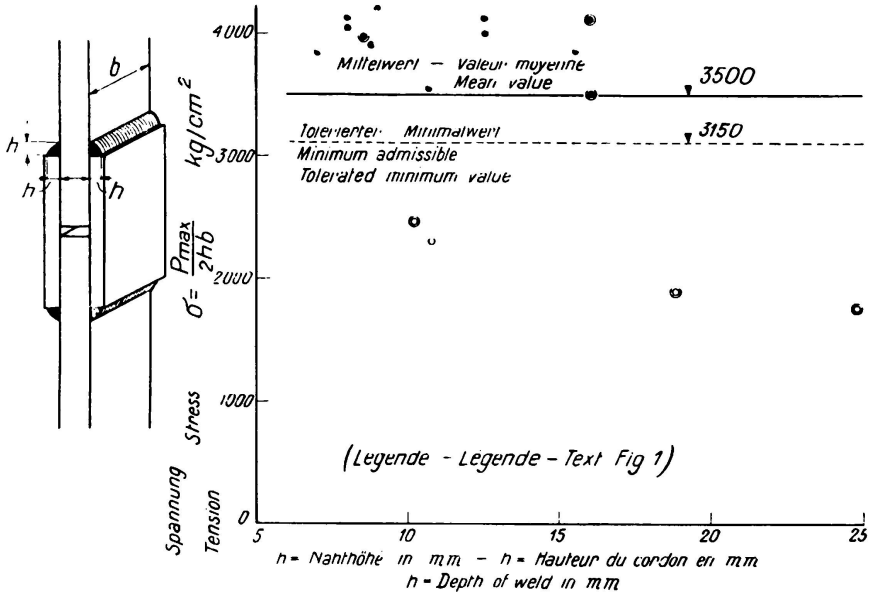

Fig. 7.

Stirnschweißung. Zugfestigkeit.

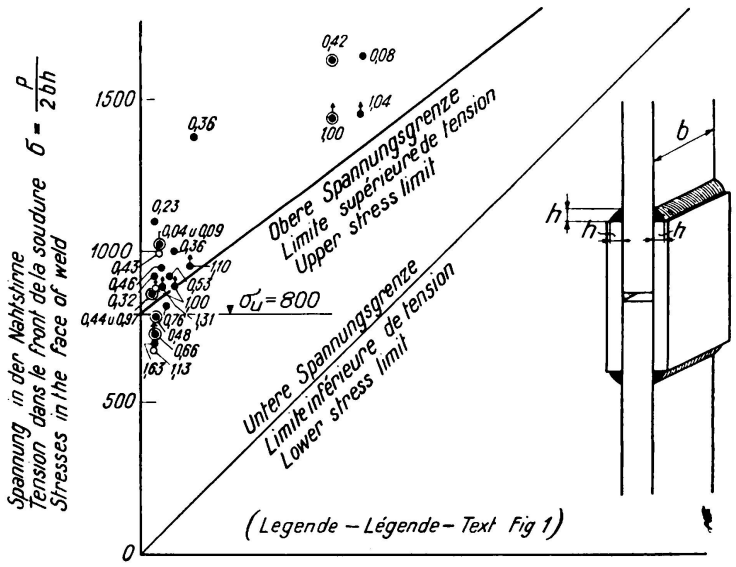

Fig. 8

Stirnschweißung. Zug-Ermüdungsversuche.

gerechtfertigt ist, die zulässigen Druckspannungen für die genieteten Verbindungen des normalen Konstruktionsstahles ($\beta_z = 4000$ kg/cm²) zuzulassen.

Bei ausschließlicher *Schubbeanspruchung* konnten Stumpfnähte nur in der *Schenck*'schen Ermüdungsmaschine auf Verdrehungs-Ermüdung geprüft werden. Die so ermittelten rechnerischen Ermüdungsfestigkeiten auf Verdrehung sind zu-

folge günstigerer Spannungsverteilung über den beanspruchten Querschnitt zu hoch. Ähnlich verhält es sich mit den auf Biegung beanspruchten Stäben. Legt man die Verhältniszahlen der Ermüdungsfestigkeiten auf Verdrehung und Biegung auch den auf Schub und Zug beanspruchten geschweißten Stumpfnähten zugrunde, so erhält man

Zusammenstellung 5.

	Beanspruchung auf Schub τ_s Fig. 12	Beanspruchung auf Biegung σ_B Fig. 9 u. 10	Verhältniswerte $\frac{\tau_s}{\sigma_B}$
Schwingungsfestigkeit σ_D	11	15	0,74
Ursprungsfestigkeit σ_U	18	21	0,86
Wechselfestigkeit $^1/_2\ \sigma_W$	29	40	0,73
		Mittelwert	$\sim$ 0,78

Nimmt man das Verhältnis der zulässigen Spannung auf Schub zur zulässigen Spannung auf Zug gleich groß an, so folgt entsprechend Zusammenstellung 4

$$\frac{\tau_{zul}}{\sigma_{zul}} = \frac{0{,}55}{0{,}70} \simeq 0{,}78$$

somit übereinstimmend.

Das Verhältnis der zulässigen Spannungen von *geschweißten Kehlnähten* wurde für Zug und Druck gleich der Hälfte (0,5) der zulässigen Spannungen von Stumpfnähten auf Zug, entsprechend dem praktisch gleichen Verhältnis der Ermüdungsfestigkeiten selbst, gewählt.

Zusammenstellung 6.

	Ermüdungsfestigkeiten kg/cm² σ_U	$^1/_2\ \sigma_W$
Stumpfnähte (Fig. 13)	1400	2000
Kehlnähte (Gruppe) (Fig. 14) . .	700	1100
Verhältniszahl	0,5	0,55

Auf Scherung beanspruchte Kehlnähte (z. B. Flankennähte) weisen höhere Ermüdungsfestigkeiten der Anschlußstellen selbst auf als auf Zug beanspruchte Kehlnähte. Dieser Tatsache wurde durch eine gegenüber Zug um

$$\left(\frac{0{,}40 - 0{,}35}{0{,}35}\right) = \frac{1}{7}$$

höhere zulässige Spannung auf Scherung Rechnung getragen.

Bei Kehlnähten Fig. 4 ist stets zu beachten, daß das Stahlmaterial dann in sehr ungünstiger Weise beansprucht ist, wenn Schlackenzeilen und Doppelungen vorhanden sind, die zum Aufreißen des Stahlmaterials quer führen können. Aus diesem Grunde muß in allen wichtigeren Fällen möglichst schlackenreines und doppelungsfreies Material vorgeschrieben werden, dessen Überprüfung durch makroskopische Gefügeuntersuchungen und gegebenenfalls auch Röntgendurchleuchtung erfolgen kann.

* * *

Die zulässigen Spannungen der *Einbrandzonen* wurden, entsprechend den größeren Werten der Ermüdungsfestigkeiten — Fig. 13 und 14 — auch höher als für die Nähte selbst gewählt, so daß auch die Verhältniszahlen der zulässigen Spannungen von Einbrandzone zu Nietung — Zusammenstellung 7 — höher sind.[6]

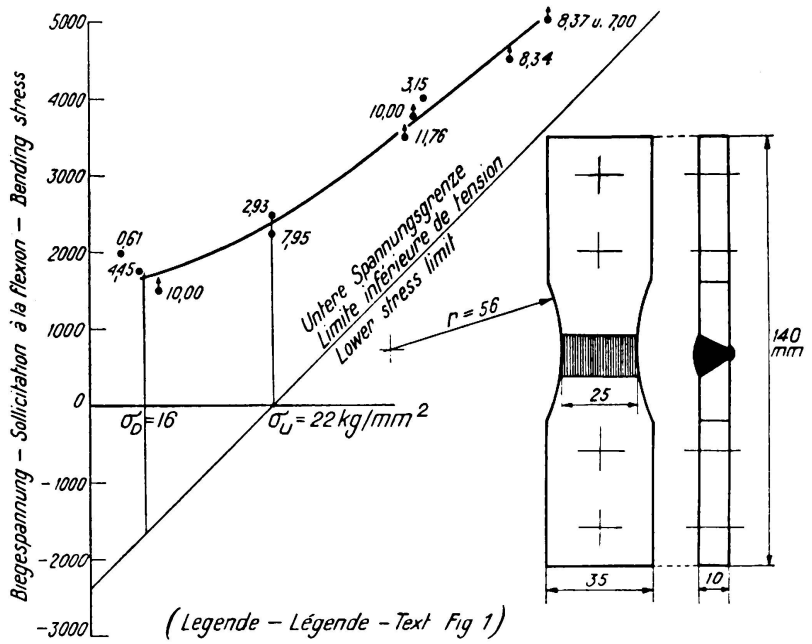

Fig. 9.

Stumpfschweißung mit Wulst. Dauerbiegeversuche.

Zusammenstellung 7.

— Verhältniszahlen[5] A = O —

Beanspruchung auf	Nietung	Einbrandzone Stumpfnaht	Einbrandzone Kehlnähte
Zug	1,0	0,85	0,60
Druck	1,0	1,0	0,90
Schub	0,58	0,58	—
Scherung	0,80	—	0,53

IV. Sicherheitsgrad.

Auf Grundlage der in den Abschnitten II — Versuche der E.M.P.A. — und III — Zulässige Spannungen — angegebenen Werte folgen nachfolgende *rechnerische Sicherheitsgrade* n_r.

[6] Hohe Beanspruchungen in den Kehlnähten können einen sehr ungünstigen Einfluß auf die Ermüdungsfestigkeit der Einbrandzone ausüben. Dies wird verständlich, wenn man beachtet, wie sehr die Spannungsverhältnisse hier verwickelt sind. Je schwächer die Kehlnaht, umso stärker ist die Spannungsanhäufung unmittelbar am Übergange vom Stahlmaterial zur Kehlnaht, weil auch die seitliche Schubbeanspruchung τ größer wird und diese ist auf die Anstrengung von Einfluß, indem für die nach der Konstanz der Gestaltänderungsenergie maßgebende Vergleichsspannung

$$\sigma_g = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \sigma_2} = 3\,(\tau^2 + \tau'^2)$$

τ für die Größe der Anstrengung mitbestimmend ist.

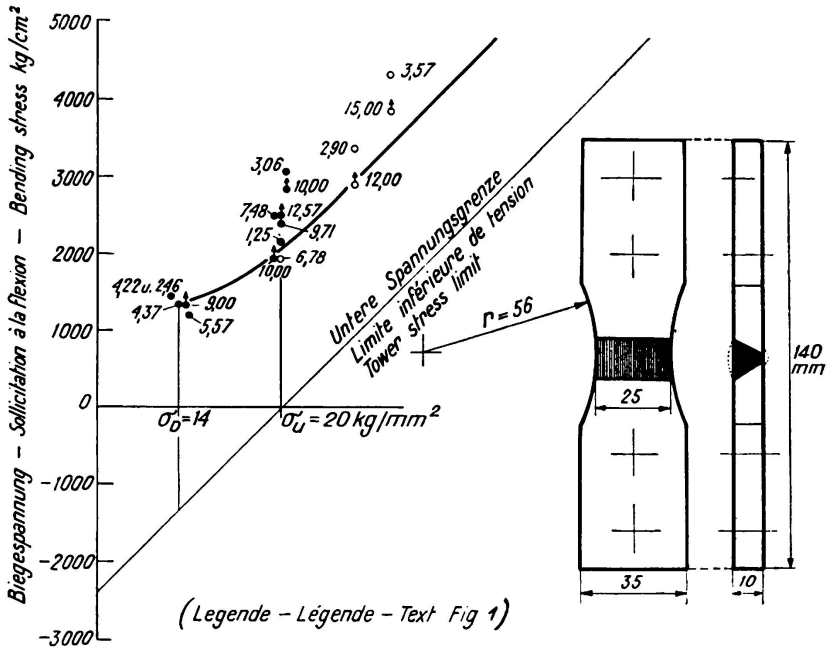

Fig. 10.

Stumpfschweißung, Wulst abgehobelt. Dauerbiegeversuche.

Zusammenstellung 8.

Brückenbau.

— Stumpfnähte auf Zug —

(Fig. 16 und 17)

Beanspruchung auf	Spannungen in kg/cm²		Sicherheitsgrad
	σ zulässig	σ-Ermüdung	n_r
Schwingungsfestigkeit σ_D .	500	900	1,80
Ursprungsfestigkeit σ_U . .	850	1400	1,65
Wechselfestigkeit $^1/_2\ \sigma w$.	1020	2000	1,95
$\frac{A}{B} = 1$ (Fließen) σ_f . . .	1200	2400	2
		Mittelwert	1,85
			~ 1,8

Hochbau.

— Stumpfnähte auf Zug —

(Fig. 16 und 17)

Beanspruchung auf	Spannungen in kg/cm²		Sicherheitsgrad
	σ zulässig	σ-Ermüdung	n_r
Schwingungsfestigkeit σ_D .	600	900	1,50
Ursprungsfestigkeit σ_U . .	1000	1400	1,40
Wechselfestigkeit $^1/_2\ \sigma w$.	1200	2000	1,65
$\frac{A}{B} = 1$ (Fließen) σ_f . . .	1400	2400	1,72
		Mittelwert	1,57
			~ 1,5

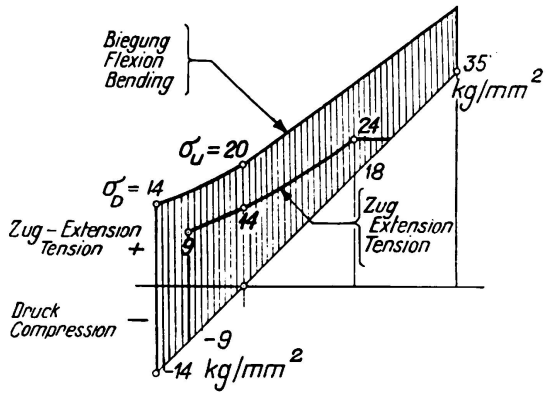

Fig. 11.
Stumpfnähte.
Ermüdungsfestigkeit.

Für die Übergangszonen (Einbrandzonen) sind die rechnerischen Sicherheitsgrade von praktisch gleicher Größenordnung.

Vergleichsweise betragen die rechnerischen Sicherheitsgrade n_r für die Nietung:

Zusammenstellung 9.

Brückenbau.

(Fig. 15)

Beanspruchung auf	Spannungen in kg/cm² σ zulässig	σ-Ermüdung	Sicherheitsgrad n_r
Schwingungsfestigkeit σ_D .	840	1300	1,55
Ursprungsfestigkeit σ_U . .	1200	1900	1,58
Wechselfestigkeit $^1/_2\,\sigma w$.	1380	2400	1,75
$\frac{A}{B} = 1$ (Fließen) σ_f . . .	1560	2600	1.67
		Mittelwert	1,64
			~ 1,6

Hochbau.[4]

(Fig. 15)

Schwingungsfestigkeit σ_D .	980	1300	1,33
Ursprungsfestigkeit σ_U . .	1400	1900	1,36
Wechselfestigkeit $^1/_2\,\sigma w$.	1610	2400	1,50
$\frac{A}{b} = 1$ (Fließen) σ_f . . .	1820	2600	1,43
		Mittelwert	1,41
			~ 1,4

Aus dem Vergleich der rechnerischen Sicherheitsgrade für Nietung und Schweißung geht hervor, daß für Schweißung dieselben nur unwesentlich, um im Mittel ~ 10% höher, somit praktisch gleich zu bewerten sind.

* * *

Der Unterschied zwischen dem *wirklichen* Sicherheitsgrad und dem *rechnerischen* ist abhängig

vom Grad der Übereinstimmung zwischen den Voraussetzungen

der statischen oder dynamischen Berechnung und den wirklichen Verhältnissen (äußere Kräfte, System, Spannungen),

der konstruktiven Gestaltung der Details,
der festigkeitstechnischen Güte der verwendeten Baustoffe,
der Schärfe der Kontrolle während der Ausführung und
der Güte der Ausführung selbst.

Die Beurteilung der *wirklichen Sicherheit* hat daher in jedem Einzelfalle individuell zu erfolgen.

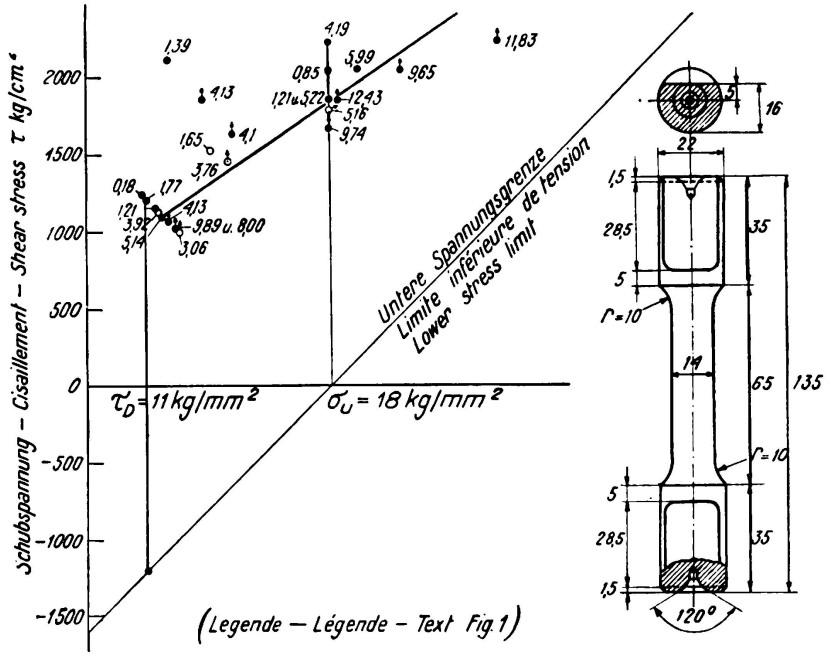

Fig. 12.

Verdrehung. Ermüdungsversuche.

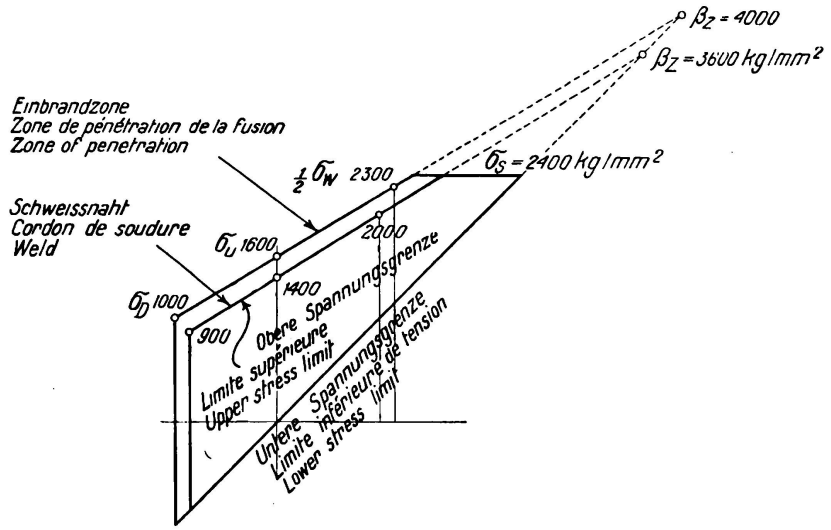

Fig. 13.

Stumpfnähte. Ermüdungsgrenzen.

V. Berechnungsverfahren.

Für mehrachsig beanspruchte Körperelemente z. B. bei einer Schrägnaht eines Druckrohres oder Kessels — Fig. 18 — wird ein Berechnungsverfahren ange-

geben, welches die zufolge einzelner Spannungskomponenten (σ_1, σ_2 und τ) erzeugte Anstrengung zutreffend zu berechnen gestattet.

Für praktisch homogenen, inbezug auf Festigkeits- und Verformungseigenschaften quasiisotropen Flußstahl, welcher somit nach zwei Hauptrichtungen gleiche Festigkeit besitzt, gilt, wie durch Versuche ausgewiesen, für Beanspruchungen bis nahe an die Bruchfestigkeit die Theorie der konstanten Gestaltänderungsenergie.[7]

Die Vergleichsspannung, welche die Anstrengung eines zweiachsig beanspruchten Elementes (σ_1, σ_2 und τ) (Fig. 18) angibt, wird durch die Beziehung

$$\sigma_g = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_2 + 3\,\tau^2} \tag{1}$$

ausgedrückt.[8]

Bei einer Schweißverbindung sind aber die Festigkeiten winkelrecht zur Naht und in der Nahtlängsrichtung nicht einander gleich und es muß daher, im

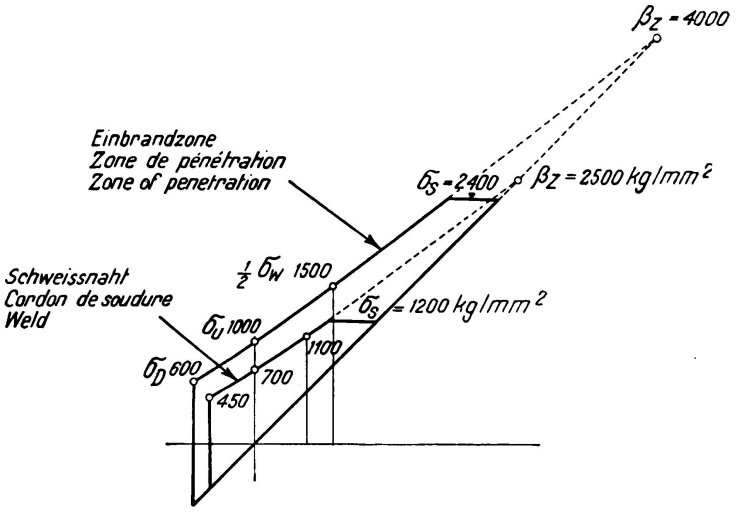

Fig. 14.

Kehl-, Flanken- und Stirnnähte. Ermüdungsgrenzen.

Bestreben nach Wahrung einheitlicher Grundsätze, der für quasiisotrope Körper gültige Ausdruck für die Vergleichsspannung derart umgeformt werden, daß er der Anisotropie der Schweißverbindungen Rechnung trägt. Am einfachsten und richtigsten läßt sich dies durch die Einführung des Festigkeitsverhältnis-Wertes α erreichen, wobei

$$\alpha = \frac{\text{Festigkeit der Schweißnaht}}{\text{Festigkeit des Stahles (Nietung)}}$$

ist und die gleichzeitige Berücksichtigung von durch Versuche ermittelten Ziffern β und γ, welche den Gliedern $\sigma_1 \cdot \sigma_2$ und τ vorzusetzen sind.

[7] *M. Roš* und *A. Eichinger:* „Versuche zur Klärung der Frage der Bruchgefahr, III Metalle". Bericht Nr. 34 der Eidg. Materialprüfungsanstalt, Zürich, Februar 1929.

[8] Die Theorie der konstanten Gestaltänderungsenergie von *Huber-Mises-Hencky*, welche durch die Versuche der Eidg. Materialprüfungsanstalt Zürich als die erweiterte Theorie von *Mohr* ausgewiesen wurde, liegt der Berechnung der Anstrengung, ein- oder mehrachsig beanspruchter Körper-Elemente nach der neuen „Eidg. Verordnung über die Berechnung, die Ausführung und den Unterhalt der der Aufsicht des Bundes unterstellten Bauten aus Stahl" vom 14. Mai 1935 zugrunde.

Stumpfnähte.

Fall 1.

Die winkelrecht zu einander wirkenden Normalspannungen σ_1 und σ_2 sind beide Zug- oder beide Druckspannungen, dann gelten die Beziehungen

$$\sigma_g = \sqrt{\left(\frac{\sigma_1}{\alpha_1}\right)^2 + \gamma \cdot \tau^2} \tag{2}$$

$$\sigma_g = \sqrt{\left(\frac{\alpha_2}{\alpha_2}\right)^2 + \gamma \cdot \tau^2} \tag{3}$$

(Fig. 19)

maßgebend ist der größere der beiden Werte.

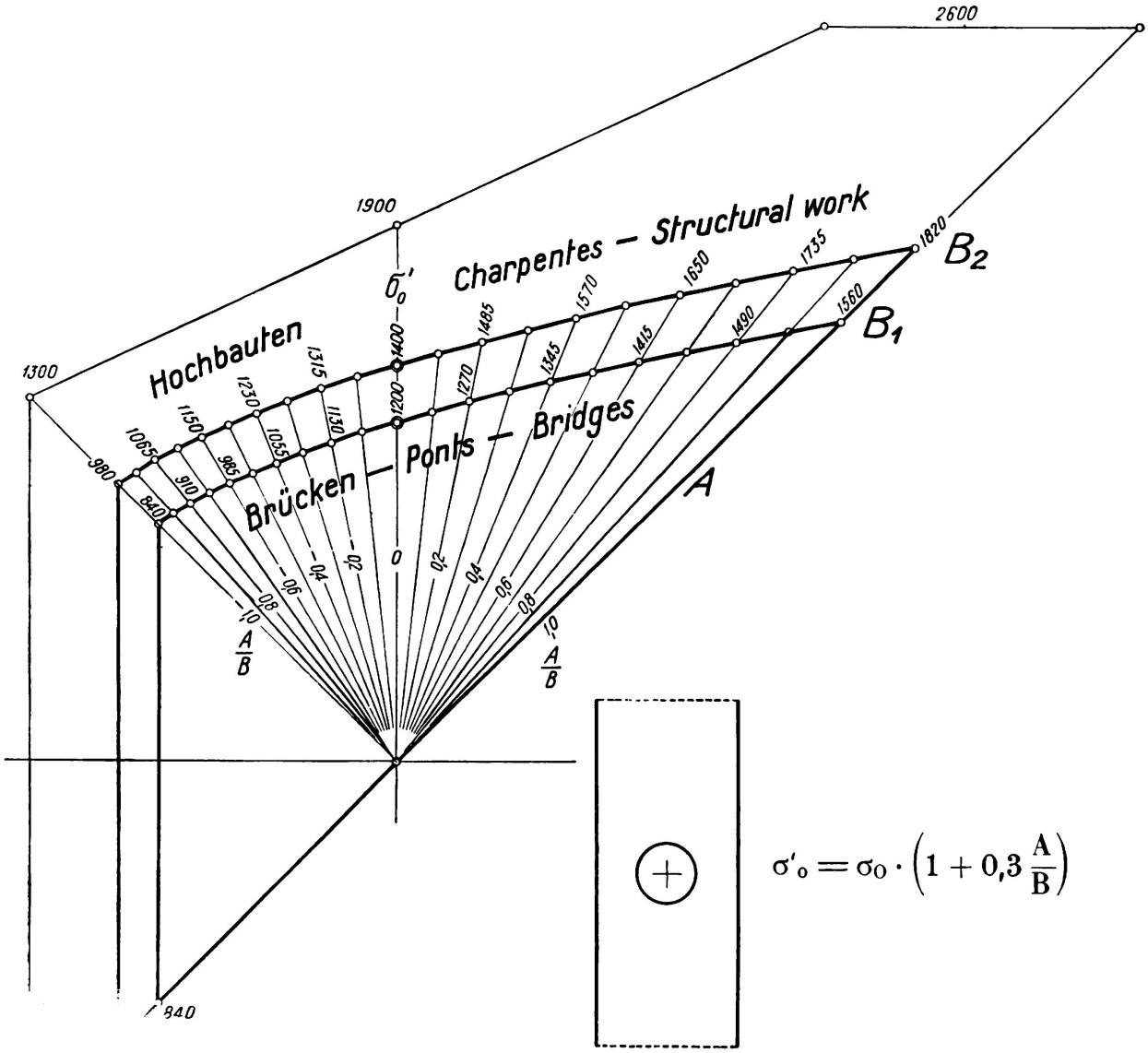

Fig. 15.

Nietung. Zulässige Spannungen.

Fall 2.

Die Normalspannungen σ_1 und σ_2 sind nicht gleichen, sondern entgegengesetzten Vorzeichens, dann gilt

$$\sigma_g = \sqrt{\left(\frac{\sigma_1}{\alpha_1}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_2}{\alpha_2}\right)^2 + \beta \cdot \left(\frac{\sigma_1\,\sigma_2}{\alpha_1\,\alpha_2}\right) + \gamma \cdot \tau^2} \tag{4}$$

(Fig. 19)

Es betragen für die Beanspruchung auf Ursprungsfestigkeit

	Zug	Druck	
$\alpha_1 =$	0,7	1,0	— siehe Zusammenstellung 4 —
$\alpha_2 =$	0,85	1,0	
$\beta =$		$^1/_2$	
$\gamma =$		3	

$\alpha_2 = 0{,}85$ für Zug folgt aus Versuchen der E.M.P.A.; für in Längsrichtung beanspruchte stumpfgeschweißte Nähte beträgt die Ursprungsfestigkeit im Mittel 1600 kg/cm² und für die Nietung wurde dieselbe zu 1900 kg/cm² festgestellt, somit

$$\alpha_2 = \frac{1600}{1900} \cong 0{,}85.$$

Die so ermittelten Vergleichsspannungen dürfen höchstens gleich den zulässigen Ursprungsbeanspruchung für Nietverbindungen nämlich

$\sigma_{o\,zul} = 1200$ kg/cm² für Brücken bzw.

$\sigma_{o\,zul} = 1400$ kg/cm² für Hochbauten[9]

sein. — Zusammenstellung 9 —.

Die genau gleichen Überlegungen auf die Kehlnähte und Einbrandzone übertragen, jedoch unter Berücksichtigung der jeweiligen α-Werte — siehe Zusammenstellungen 4 und 7 — führen zu den nachfolgenden Beziehungen:

Kehlnähte.

Fall 3.

Die Normalspannungen σ_1 und σ_2 sind beide Zug- oder beide Druckspannungen. Die Vergleichsspannung ist dann gleich

$$\sigma_g = \sqrt{\left(\frac{\sigma_1}{\alpha_1}\right)^2 + \gamma \cdot \tau^2} \leq \sigma_{o\,zul} \tag{5}$$

und

$$\sigma_g = \sqrt{\left(\frac{\sigma_2}{\alpha_2}\right)^2 + \gamma \cdot \tau^2} \leq \sigma_{o\,zul} \tag{6}$$

(Fig. 20)

der größere Wert von σ_g ist maßgebend.

[9] Für Druckleitungen gelten für den stumpfgeschweißten Stoß und für Beanspruchungen infolge Betriebsdruck, vermehrt um 10 % für Stoßzuschlag nachfolgende zulässige Spannungen $\sigma_{o\,zul}$:

		Stahlqualität	
		M I	M II
		$\beta_z = 3500$—4400 kg/cm²	$\beta_z = 4100$—4700 kg/cm²
Druckleitungen:	Längsnähte . . .	900	1050
	Spiralnähte . . .	1050	1230
Verteilleitungen:	Längsnähte . . .	800	930
	Spiralnähte . . .	930	1080

Fall 4.

Die Normalspannungen σ_1 und σ_2 sind entgegengesetzten Vorzeichens. Als Vergleichsspannung gilt

$$\sigma_g = \sqrt{\left(\frac{\sigma_1}{\alpha_1}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_2}{\alpha_2}\right)^2 + \beta \cdot \left(\frac{\sigma_1 \cdot \sigma_2}{\alpha_1 \cdot \alpha_2}\right) + 8 \cdot \xi^2} \leqq \sigma_{\text{o zul}} \tag{7}$$

(Fig. 20)

Es betragen

	Zug	Druck	
$\alpha_1 =$	0,35	0,5	— Zusammenstellung 4 —
$\sigma_2 =$	0,85	1,0	
$\beta =$		$^1/_4$	
$\gamma =$		6	

Völlige Klarheit und ausreichende Erfahrungen über die Höhe der höchstzulässigen Anstrengung und das Verhalten von gleichzeitig auf Längsspannung und Schub beanspruchten Kehlnähten (z. B. Kehlnähte zwischen dem Steg und

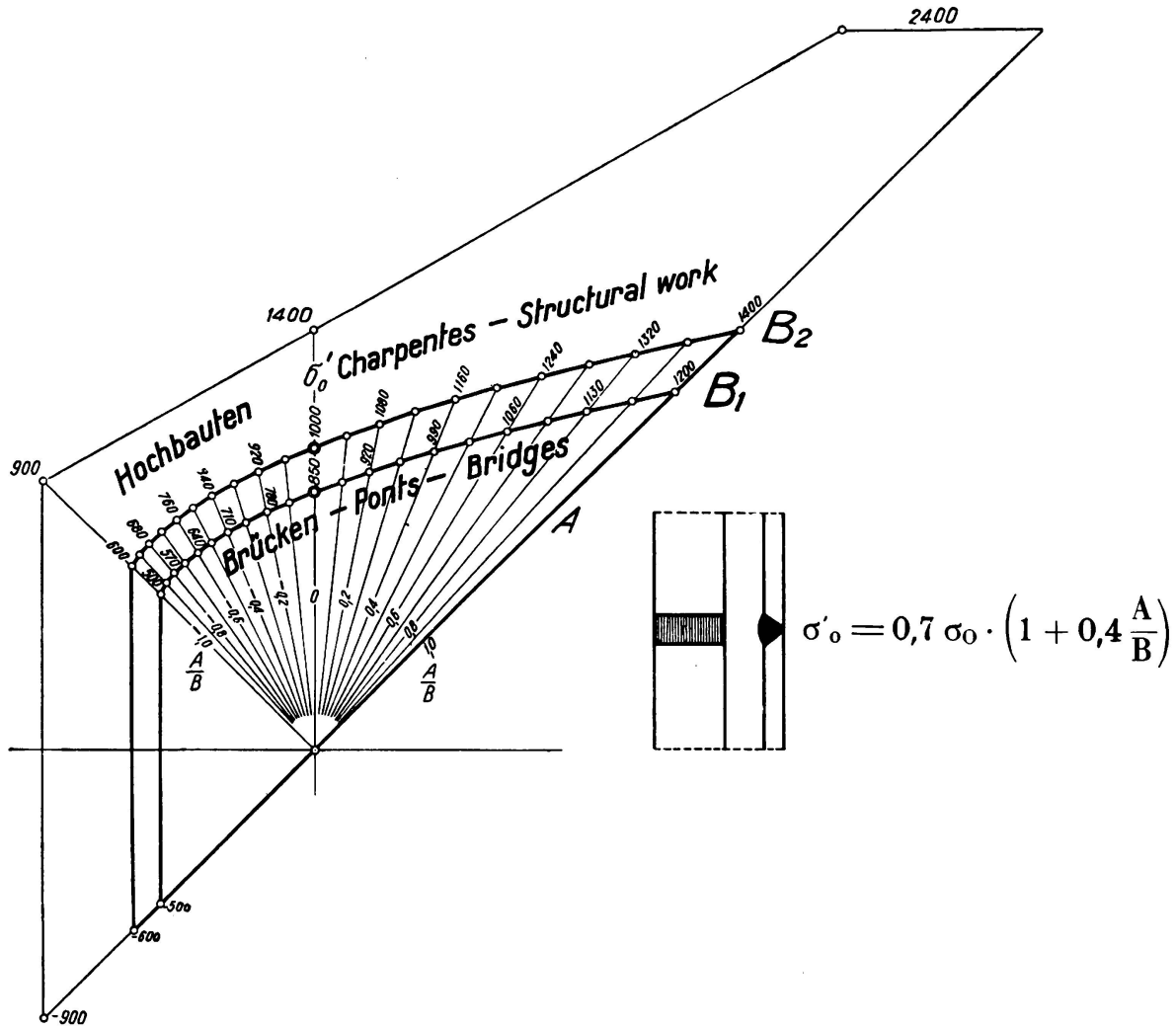

Fig. 16.

Stumpfnaht. Zulässige Spannungen.

den Gurtungen von auf Biegung beanspruchten geschweißten Trägern) liegen zurzeit nicht vor. Versuche zur Abklärung der Größe des Einflusses der entlastenden Wirkung des an die Schweißung angrenzenden Stahlmaterials sind unumgänglich.

Einbrandzone.

Fall 5 und 6. — Stumpfnaht.

Sieht man von dem verhältnismäßig geringen Unterschied von $\alpha_1 = 0{,}8$ statt $\alpha_1 = 0{,}7$ ab, so können die für die Stumpfnaht selbst gültigen Beziehungen benutzt werden. — Fall 1 und 2, Fig. 19 —.

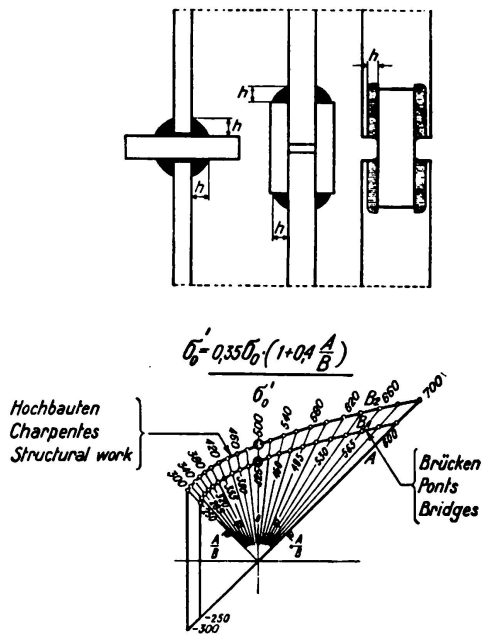

Fig. 17.

Kehl-. Flanken- und Stirnnähte.
Zulässige Spannungen.

Fall 7. — Kehlnaht.

Für σ_1 und σ_2 beide Zug- oder Druckspannungen gilt

$$\sigma_g = \sqrt{\left(\frac{\sigma_1}{\alpha_1}\right)^2 + \gamma \cdot \tau^2} \leqq \sigma_{o\,zul} \tag{8}$$

und

$$\sigma_g = \sqrt{\left(\frac{\sigma_2}{\alpha_1}\right)^2 + \gamma \cdot \tau^2} \leqq \sigma_{o\,zul} \tag{9}$$

(Fig. 21)

Fall 8. — Kehlnaht.

σ_1 und σ_2 sind entgegengesetzten Vorzeichens, es gilt

$$\sigma_g = \sqrt{\left(\frac{\sigma_1}{\alpha_1}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_2}{\alpha_2}\right)^2 + \gamma\left(\frac{\sigma_1 \cdot \sigma_2}{\alpha_1 \cdot \alpha_2}\right) + \gamma \cdot \tau^2} \leqq \sigma_{o\,zul} \tag{10}$$

(Fig. 21)

Es betragen für

	Zug	Druck	
$\alpha_1 =$	0,6	0,9	— Zusammenstellung 7 —
$\alpha_2 =$	0,85	1,0	
$\beta =$	$^1/_3$		
$\gamma =$	3,5		

Die Vorteile des Berechnungsverfahrens der E.M.P.A. seien an einigen Beispielen dargelegt:

Schräg verlaufende Stumpfnaht — Hauptspannung σ_1, einachsig.

Die praktisch günstigste Lage der Naht verläuft unter 45° gegen die Kraftwirkung. Es ist

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \tau = \frac{\sigma_e}{2}$$

somit entsprechend Gleichung (5)

$$\sigma_e \sqrt{\left(\frac{0{,}5}{0{,}7}\right)^2 + 3 \cdot 0{,}5^2} = 1{,}12\, \sigma_e \leqq \sigma_{o\,zul}$$

$$\sigma_e = 0{,}89\, \sigma_{o\,zul}$$

Vorteil gegenüber winkelrecht verlaufendem stumpfen Stoß: $\frac{0{,}89}{0{,}70} \cong 1{,}27$ rund 27 %. Die Gewinne betragen

für Naht unter	30°	45°	60°
Gewinn	8 %	28 %	23 %.

gegen Winkelrechte zur Kraftrichtung

Schräg angeordnete Kehlnaht — Hauptspannung $\frac{P}{h}$, einachsig.

Die praktisch günstigste Richtung der Naht folgt unter einem Winkel von 60° gegen die Winkelrechte zur Kraftrichtung von P (P auf die Einheit der Breite bezogen).

Es ist

$$\sigma_h = \frac{P}{h} - \sigma_1 = 0{,}25\, \sigma_h - \tau = 0{,}433\, \sigma_h - \alpha_1 = 0{,}35$$

$$h = \text{Nahthöhe.}$$

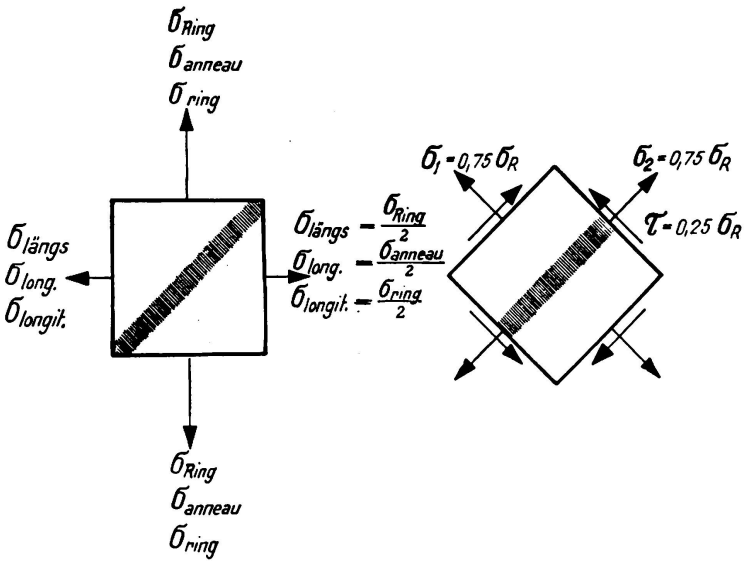

Fig. 18.

Spiralnaht. Spannungszustand.

Aus der Gleichung (5) (Fig. 20) folgt

$$\sigma_h \cdot \sqrt{\left(\frac{0{,}25}{0{,}35}\right)^2 + 6 \cdot 0{,}433^2} = 1{,}28\ \sigma_h \leqq \sigma_{o\,zul}$$

$$\sigma_h \leqq 0{,}78\ \sigma_{o\,zul} - P_{zul} = 0{,}78\ \sigma_{o\,zul} \cdot h$$

gegenüber $P_{zul} = 0{,}35\,\sigma_{o\,zul} \cdot h$ für eine winkelrecht zur Kraftrichtung angeordnete Kehlnaht ergibt sich ein Gewinn von über 100 %.

Schraubenförmige Naht von Behältern, Kesseln und Druckrohren.

Der Spannungszustand der zweiachsig beanspruchten Naht (die dritte Hauptspannung gleich dem Innendruck für das Element der Innenwandung darf ihrer Geringfügigkeit wegen vernachlässigt werden) ist in der Fig. 18 dargestellt. Die Anwendung der Beziehung nach Gleichung (5) ergibt

$$\left(\frac{\sigma_1}{0{,}7}\right)^2 + 3\,\tau^2 \leqq \sigma_{o\,zul}$$

$$\left(\frac{0{,}75\ \sigma_{Ring}}{0{,}70}\right)^2 + 3 \cdot (0{,}25\ \sigma_{Ring})^2 = 1{,}15\ \sigma_{Ring} \leqq \sigma_o$$

woraus

$$\sigma_{Ring\,zul} = 0{,}87\ \sigma_{o\,zul}$$

Gegenüber einer der Zylinderachse parallel verlaufenden Längsnaht, mit $\sigma_{Ring\,zul} = 0{,}7\,\sigma_{o\,zul}$ ergibt sich ein Gewinn von $\frac{0{,}87}{0{,}70} = 1{,}25$, somit von 25 %. Für im Ofen spannungsfrei geglühte Stumpfnähte[10] kann die zulässige Ringspannung $\sigma_{Ring\,zul} = 0{,}8\ \sigma_{o\,zul}$ gesetzt werden, so daß als Ganzes geglühte schraubenförmig geschweißte Gefäße nahtlosen an Festigkeit ($\sigma_{o\,zul}$ für Nietung zugrunde gelegt) gleich werden.[11]

Durch geeignete Anordnung und Ausbildung der Schweißnähte lassen sich ganz bedeutende Vorteile zugunsten der geschweißten Bauweise erzielen.

Für *mehrachsige Beanspruchungen auf Wechselfestigkeit* (Ermüdung), für das ganze Gebiet von der Schwingungsfestigkeit bis zur Fließgrenze, können die zulässigen Anstrengungen (Vergleichsspannungen) für Stumpfnähte, Kehlnähte und die Einbrandzonen entsprechend den Angaben der Zusammenstellung 3 angesetzt werden (Fig. 15, 16 und 17), wobei den Beziehungen, durch die Gleichungen (2) bis (10) ausgedrückt, (Fig. 19, 20 und 21) Rechnung zu tragen ist.

VI. Erfahrungen.

Die ältesten Erfahrungen weist der *Behälterbau* auf; sie haben bei sachgemäßer Ausführung und richtiger konstruktiver Durchbildung den Erwartungen vollauf entsprochen.

Die etwas jüngeren Erfahrungen im *Druckrohrbau* haben, von einigen Mißerfolgen abgesehen, befriedigt.

---

[10] Das spannungsfreie Glühen von Kehlnähten verbessert die Festigkeit der Einbrandzone, nicht aber die Kehlnaht selbst.

[11] Für gänzlich nahtlose Behälter liegt die Ermüdungsfestigkeit höher als für genietete, so daß nahtlos erstellte Behälter spiralgeschweißten überlegen sind.

Der Druckrohrbau ist in letzter Zeit zur Schweißung *höher gekohlter Stähle* und großer Wanddicken übergegangen; ausreichende Erfahrungen liegen noch nicht vor; metallurgisch sachgemäße Behandlung und konstruktiv richtige Durchbildung vorausgesetzt, verspricht sie vollen Erfolg.

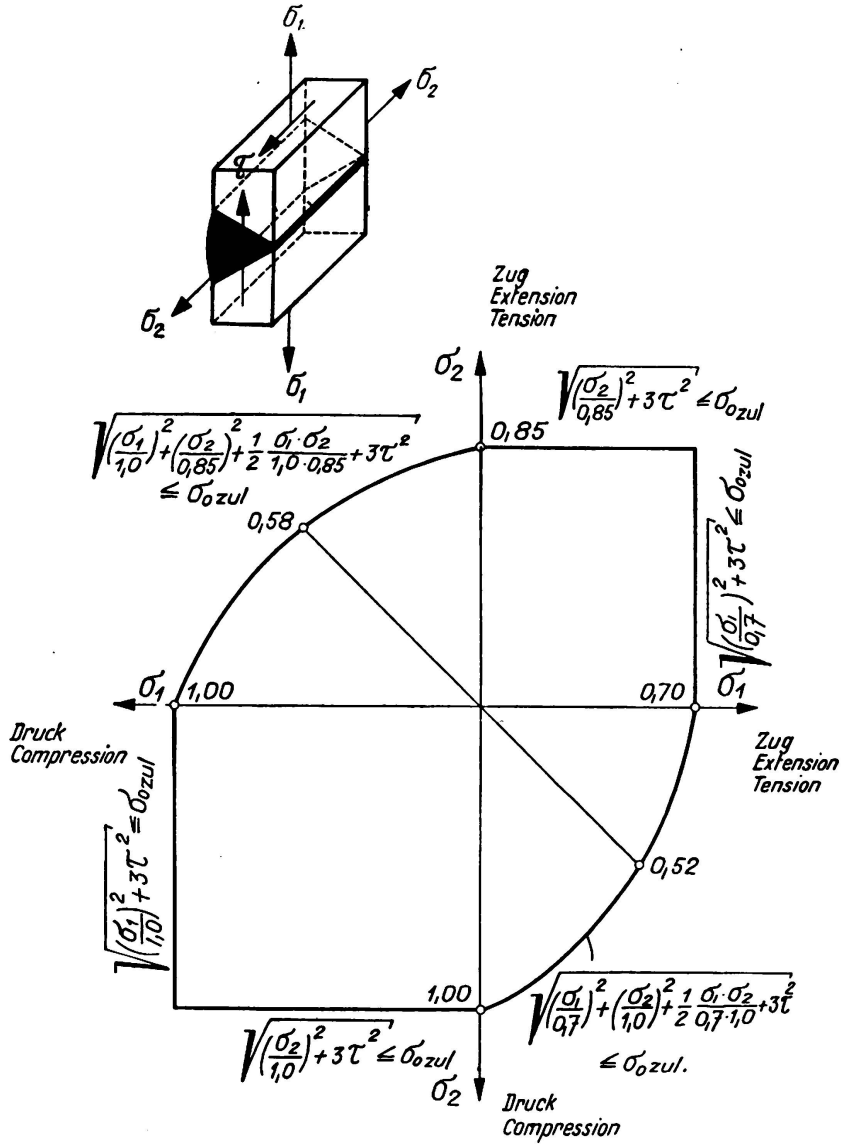

Fig. 19.

Stumpfnähte, zweiachsig beansprucht. Zulässige Grenzspannungszustände.

Mit der Schweißung hochgekohlter und legierter Stähle sind Erfolge und Mißerfolge zu verzeichnen. Die Ermüdungsfestigkeit höher gekohlter, hochgekohlter und legierter Stähle ist bei geringer Vorspannung nicht wesentlich oder überhaupt nicht höher als diejenige des weichen, normalen Konstruktionsstahles. Erst für größere Vorspannungen steigt die Ermüdungsfestigkeit stärker als bei normalem Konstruktionsstahl an, sodaß erst dann die Vorteile hochwertiger Stähle in den Vordergrund rücken.

Bei der Wahl hochwertiger, für geschweißte Konstruktionen geeigneter Stähle ist größte Vorsicht geboten; Sondermaßnahmen sind zu treffen.

Sachgemäß erzeugter, materialtechnisch einwandfreier *Thomasstahl* läßt sich ebenso gut schweißen wie vorschriftsgemäßer *Siemens-Martin-Stahl;* die Schweißungen sind sich in Bezug auf Festigkeit und Verformung praktisch ebenbürtig.

Der *Hochbau* ist im Begriffe, in Bezug auf die Ausbildung konstruktiver Details, sich den Eigenheiten des Schweißens, den Festigkeitseigenschaften und dem Verformungsvermögen der Schweißungen anzupassen.

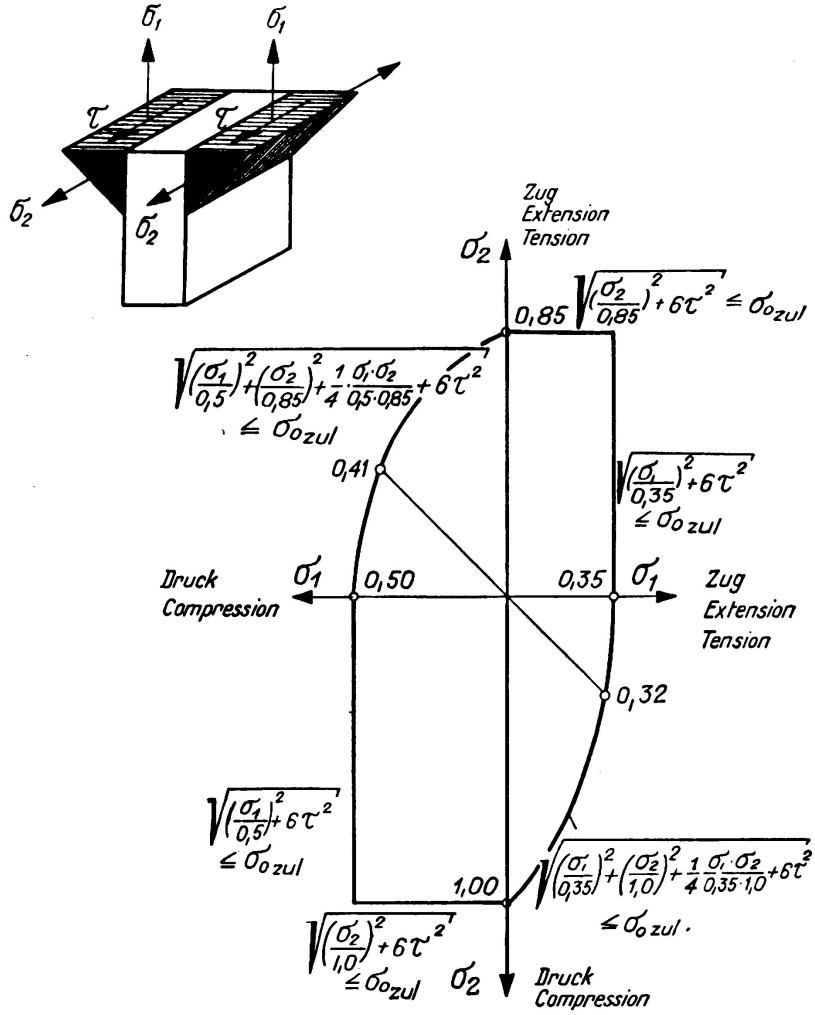

Fig. 20.

Kehl-, Flanken- und Stirnnähte, zweiachsig beansprucht. Zulässige Grenzspannungszustände.

Der *Brückenbau* steckt in den Anfängen; namentlich bei Fachwerkbrücken ist Vorsicht gerechtfertigt. Bei den geschweißten Vollwandkonstruktionen (Balken, Rahmen, Bögen) liegen die Verhältnisse günstiger.

Bei geschweißten Fachwerkkonstruktionen sind die Stabanschlüsse konstruktiv noch nicht gelöst; die Knotenpunkte weisen geringere Nachgiebigkeit (Spannungsausgleich) auf als bei genieteten Fachwerkträgern. Höhere Nebenspannungen zufolge geringerer Nachgiebigkeit der Knotenpunktverbindungen, stärkere örtliche Spannungsanhäufungen infolge plötzlicher Kraftübertragungen und unberechenbar hohe zusätzliche Spannungen, durch thermische Einflüsse beim Schweißen

(Schrumpfungen) verursacht, geben oft zu vorzeitigen Ermüdungserscheinungen (Anrisse, Brüche) Veranlassung.

Der Verwendung nicht zu dicker Elektroden und Ausführung nicht zu starker Einzellagen ist zufolge durchgreifenderer Vergütung gegenüber dicken Elektroden und dicken Lagen der Vorzug einzuräumen, weil beim raschen Abkühlen aus der Schmelze das sprödere Gußgefüge (Widmannstätten'sche Struktur) entsteht. Dieses kann nur durch Glühung über die obere Umwandlungstemperatur beseitigt werden, was bei den inneren Lagen der Fall ist, dagegen bei der äußeren erst durch das Nachglühen mit dem Brenner oder im Ofen erfolgen kann.

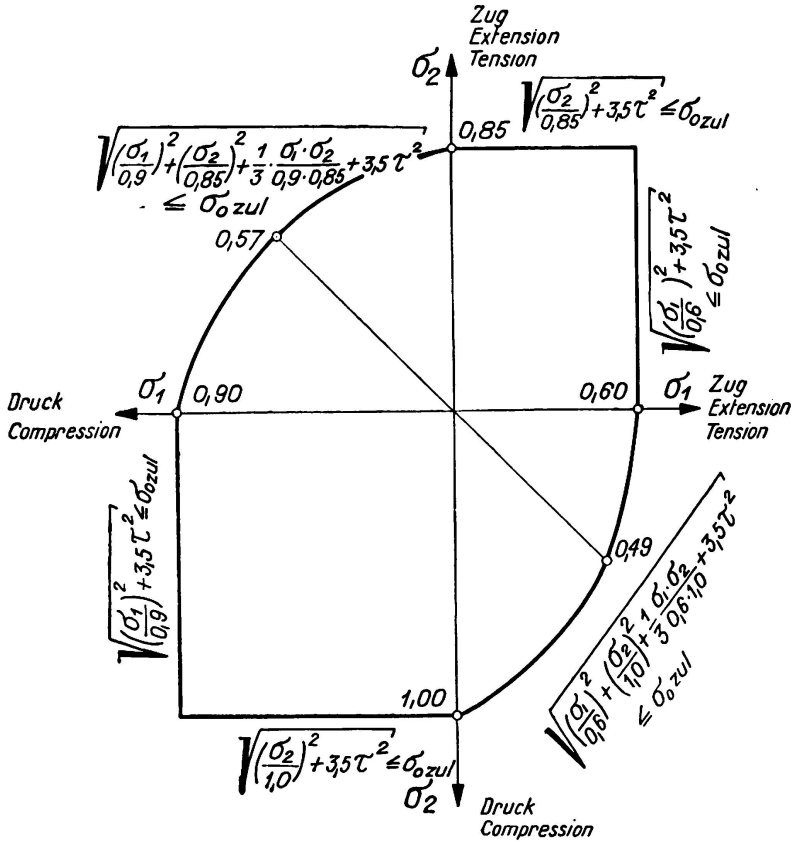

Fig. 21.

Einbrandzone der Kehl-, Flanken- und Stirnnähte, zweiachsig beansprucht. Zulässige Grenzspannungszustände.

Innere Spannungen bedrohen geschweißte Konstruktionen nur dann, wenn durch das Schweißen, zufolge ungeeigneten Vorganges bei der Ausführung der Schweißung beim Zusammenbau oder sehr großer Steifigkeit (Unnachgiebigkeit) der Werkstücke oder deren Konstruktionsteile, feine Risse entstehen oder wenn die inneren Spannungen außerordentlich hoch werden.

Wenn es die Herstellungs- und Konstruktionsart sowie Ausführung erlauben, ist ein Ausglühen der Schweißnähte mit dem Schweißbrenner über die obere Umwandlungstemperatur mit nachfolgendem Glühen des ganzen Stückes bis angemessen unter die untere Umwandlungstemperatur dringend zu empfehlen, um einerseits die zu rasch erkalteten, spröden äußersten Schweiß-Schichten zu nor-

malisieren und dadurch verformungsfähiger zu gestalten und anderseits um innere Spannungen zu beseitigen, bzw. zu mildern. Spannungsfreies Glühen ist überall, wo möglich, dringend zu empfehlen.

Als Ursachen der bisherigen *Mißerfolge* werden erkannt:

die Verwendung ungeeigneter, hochgekohlter, verunreinigter Stähle mit verwalzten Gasblasen (Strohstruktur, Doppelungen usw.);

deren unrichtige mechanische Verarbeitung — gewaltsames Strecken und Kaltbiegen steifer Profile;

ungeeignete thermische Behandlung — Unterlassung des Vorwärmens, Glühen kalt verstreckter Stähle im Rekristallisationsgebiet;

die Verwendung nicht genügend reduzierender Flamme und ungeeigneter, nicht schützender und nicht reduzierender Elektroden;

unsachgemäße konstruktive Behandlung — Ausklinkungen mit dem Schweißbrenner (Oxygen-Acetylen), plötzliche Querschnittsübergänge, Spannungsanhäufungen — und

zu hohe, wirklich auftretende Ermüdungsbeanspruchungen.

Zusammenfassung.

Auf Grundlage der in der Eidg. Materialprüfungsanstalt in Zürich in den Jahren 1927—1935 durchgeführten statischen und Ermüdungsversuche mit geschweißten Verbindungen wurden in die neue Eidg. Verordnung über die Berechnung, die Ausführung und den Unterhalt der der Aufsicht des Bundes unterstellten Bauten aus Stahl Bestimmungen die *Festigkeits- und Verformungsgüte* (statische Zugfestigkeit und Biegezahl) sowie die *zulässigen Spannungen* betreffend aufgenommen.

Die zulässigen Spannungen stützen sich auf die Ergebnisse der Ermüdungsfestigkeiten, welche die technische Güte von Schweißnähten viel ausgeprägter und richtiger charakterisieren als die statischen Festigkeiten.

Der für Schweißverbindungen gewählte *Sicherheitsgrad* ist praktisch von gleicher Größenordnung wie für genietete Verbindungen.

Das für ein- sowie mehrachsige Beanspruchungen angegebene, auf der Gestaltänderungshypothese beruhende *Berechnungsverfahren der E.M.P.A.*, welches den Festigkeitsverhältnissen der Schweißnähte zur Nietverbindung Rechnung trägt, ist geeignet, die weitere Entwicklung sachgemäß geschweißter Verbindungen und richtiger Anschlußformen zu fördern.

Die Erkenntnisse der *festigkeitstechnischen Forschung* und der *Erfahrung* haben sich äußerst fruchtbringend ausgewirkt auf die Entwicklung der Elektroden sowie für die Schweißung geeigneter hochwertiger Stähle, die Gesamtanordnung und konstruktive Durchbildung der Einzelheiten, die Ausführungsmaßnahmen, die Berechnungsweise und die Kontrolle fertig geschweißter Bauwerke.

Leere Seite
Blank page
Page vide