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

Band: 5 (1956)

Artikel: Über neue Dauerfestigkeitsversuche mit Schweissverbindungen aus St 52 und neue zulässige Spannungen

Autor: Klöppel, K.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-6100

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

III a 4

Über neue Dauerfestigkeitsversuche mit Schweissverbindungen aus St 52 und neue zulässige Spannungen

Novos ensaios de resistência de longa duração com ligações soldadas de aço A 52 e novas tensões admissíveis

Nouveaux essais de résistance de longue durée sur des joints soudés en Acier A 52 et nouvelles contraintes admissibles

New long time load tests with St 52 steel welded joints and new design stresses

PROF. DR.-ING. E. h. K. KLÖPPEL
Darmstadt

Im Anschluss an die von Herrn Dr.-Ing. Popp, München, im Vorbericht mitgeteilten Dauerversuchsergebnisse an Flachstäben, die als Vollstäbe die Versuchsreihe A, mit Stumpfnaht-Sondergüte die Versuchsreihe B und mit Stumpfnaht-Normalgüte die Versuchsreihe D darstellen, können jetzt die entsprechenden Werte für Flachstäbe mit einseitiger Querversteifung als Versuchsreihe C_2, mit Kreuzstoss durch K-Naht als Versuchsreihe E_1 und mit Kreuzstoss durch Kehlnähte als Versuchsreihe F_1 bekanntgegeben werden und zwar für St 52, der für alle Prüfkörper derselben Charge entstammt. Für diese Stahlart wurden auch die erstgenannten Versuche im Institut des Verfassers (Ingenieurlabor der Technischen Hochschule Darmstadt) gefahren. Es sind Versuche des Deutschen Ausschusses für Stahlbau, an denen die Deutsche Bundesbahn massgeblich beteiligt ist.

Im Rahmen dieses kurzgefassten Diskussionsbeitrages soll zunächst nur die Frage nach der Sicherheit beantwortet werden. Die vor etwa drei Jahren neu festgelegten zulässigen Spannungen zul σ_D für geschweisste Eisenbahnbrücken der Deutschen Bundesbahn stellen gegenüber den früheren Werten allgemein Erhöhungen dar. Bei neu hinzugekommenen Nahtarten, wie beispielsweise bei der K-Naht, entfällt natürlich dieser Vergleich.

Bei der Einführung der Bemessung auf Dauerfestigkeit in die Berechnungsgrundlagen für stählerne Eisenbahnbrücken im Jahre 1934 begnügte

man sich mit einem sehr kleinen spannungstechnischen Sicherheitsgrad ν (Verhältnis der experimentell ermittelten Dauerfestigkeit σ_D zur zulässigen Spannung bei Dauerbeanspruchung zul σ_D). Er war beispielsweise bei Nietverbindungen aus St 52/44 für Ursprungsbeanspruchung ($\varkappa = 0$), kaum grösser als Eins, wie die umfassenden Dauerversuche der ehemaligen Deutschen Reichsbahn und des Deutschen Stahlbau-Verbandes [1]) ausweisen. Diese Entscheidung rechtfertigte sich durch den belastungsstatistisch begründeten Sicherheitszuschuss, der darin besteht, dass das zweimillionenfache Auftreten der der Bemessung auf Dauerfestigkeit zugrundeliegenden Höchstspannung in absehbarer Zeit unwarscheinlich ist. Von dieser Grundlage muss aber umso mehr abgewichen werden, d. h. der spannungstechnische Sicherheitsgrad $\nu = \sigma_D$: zul σ_D muss umso grösser gewählt werden, je empfindlicher eine Verbindung gegenüber Herstellungsfehlern und Unterhaltungsmängeln ist. Während in dieser Hinsicht eine Nietverbindung wenig empfindlich ist, dafür aber eine verhältnismässig niedrige Dauerfestigkeit besitzt, können bei bearbeiteten Schweissverbindungen beispielsweise schon geringfügige Beschädigungen der Oberflächen die im Dauerversuch ermittelte Widerstandsfähigkeit stark vermindern. Hierzu gehört die Stumpfnaht-Sondergüte (Reihe B), die im Bereich der Naht bündig und planparallel geschlichtet ist, also keine mit unbewaffnetem Auge erkennbare Kerbe aufweist.

Sämtliche bisher neu ermittelten Dauerfestigkeitswerte σ_D liefern für die Sicherheiten $\nu = \sigma_D$: zul σ_D Werte grösser als Eins. Die Spannungen zul σ_D entsprechen der bereits erwähnten neuen Bundesbahnvorschrift DV 848 (1955). Es ergaben sich die in Tafel 1 enthaltenen Sicherheiten ν, wozu noch zu bemerken ist, dass für $\varkappa = + 0{,}5$ nur die A-Linie, B-Linie und D-Linie gefahren wurde. In den anderen Fällen ist dieser Wert nach dem Kurvenverlauf geschätzt.

TAFEL 1

Linie	$\varkappa =$				
	-1	$-0{,}5$	0	$+0{,}5$	$+1{,}0$
A (Bild 1)	1,41	1,43	1,51	1,93	2,1
B (Bild 2)	1,54	1,53	1,48	1,52	2.17
D (Bild 3)	1,83	1,75	1,75	1,59	2,21
C_2 (Bild 4)	1,38	1,33	1,43	1,50	2,19
E_1 (Bild 6)	1,96	1,74	1,60	1,45	2,19
F_1 (Bild 9)	1,53	1,46	1,26	1,18	2,20

[1]) K. Klöppel, Zeitschrift «Der Stahlbau» 1936, Heft 13/14

Den Wöhlerlinien, die den einzelnen σ_D-Werten zugeordnet sind, liegen jeweils 9 Versuchskörper zugrunde. An Stelle der dem Wert $\varkappa = +1{,}0$ entsprechenden Dauerstandfestigkeit wurde die statische Zerreissfestigkeit, bezogen auf den ursprünglichen Querschnitt, verwendet. Alle Versuchskörper entstammen einer Charge mit Fliesspannung $\sigma_F = 3460$ kg/cm², Zerreissfestigkeit $\sigma_B = 5050$ kg/cm² und Bruchdehnung $\delta = 28{,}7$ %. Der Stabquerschnitt ist 70 mm breit und 14 mm dick. Geschweisst wurde durchgängig mit erzsauren Elektroden. Die Frequenz der Schenk'schen Dauerfestigkeitsmaschine betrug 33 Hertz, womit in den hier interessieren-

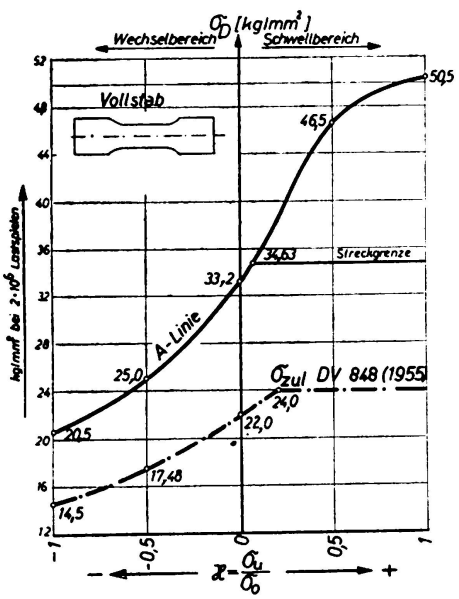

BILD 1

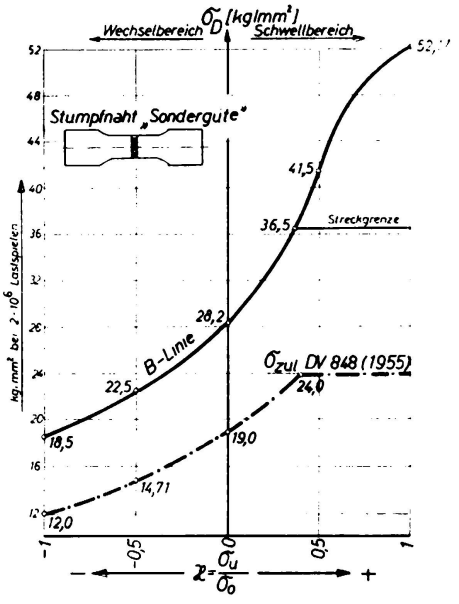

BILD 2

den Fällen ein spürbarer Unterschied gegenüber Ergebnissen, die auf Pulsatoren mit geringerer Frequenz bestimmt worden sind, nicht zu gewärtigen ist.

Im einzelnen ist zur A-Linie des an seinen Kanten abgefasten Vollstabes mit Walzhaut (Bild 1) zu bemerken, dass die Sicherheiten ν als ausreichend anzusehen sind, selbst mit Rücksicht auf die hier besonders starke Streuung der Versuchsergebnisse in der Wöhlerlinie. Als Vergleichsbasis eignet sich daher der gelochte Stab besser, der im dritten Abschnitt dieser Versuche berücksichtigt wird. Die Sicherheiten der B-Linie (Bild 2), Schweissnaht-Sondergüte, bündig geschlichtet und geröntgt, sind in Anbetracht der grossen Empfindlichkeit dieser Verbindung gegen Mängel keineswegs zu hoch. Es handelt sich hier um bewusst angestrebte Höchstwerte σ_D, wofür eine strenge Kontrolle und Aussonderung mangelhafter Prüfkörper sorgte. Der Anriss erfolgte von inneren, geringfügigen Fehlstellen aus. Die Dauerfestigkeiten σ_D liegen demgemäss nur noch wenig niedriger als diejenigen der A-Linie. Eine weitere

Verminderung dieser Abweichung anzustreben, liesse sich mit der im Grossstahlbau vertretbaren Herstellungsgüte und Wartung kaum in Einklang bringen.

Die Sicherheiten der D-Linie (Bild 3) Schweissnaht Normalgüte mit geröntgter, unbearbeiteter aber relativ glatten Oberfläche der Schweissraupe sind im Vergleich zu den Sicherheiten der empfindlicheren B-Linie zu hoch, so dass hier eine Erhöhung der zulässigen Spannungen vertretbar wäre. Die D-Linie kann auch noch als untere Schranke der B-Linie aufgefasst werden. Erfreulicherweise liegen die zulässigen Spannungen zul σ_D der B-Linie für $\varkappa = -1$ und $\varkappa = 0$ mit 12,0 und 19 kg/mm² noch erheblich unter den entsprechenden Dauerfestigkeiten σ_D der D-linie mit 16,5 und 25,5 kg/mm².

Es folgen nunmehr die Ergebnisse des eben erst beendeten zweiten Versuchsabschnittes. Die C_2-Linie (Bild 4) trägt dem Fall Rechnung, dass beispielsweise gezogene Gurte durch Kehlnähte mit Quersteifen verbunden werden. Für den Bereich $-1 \leqq \varkappa \leqq \sigma$ sind die hierfür ermit-

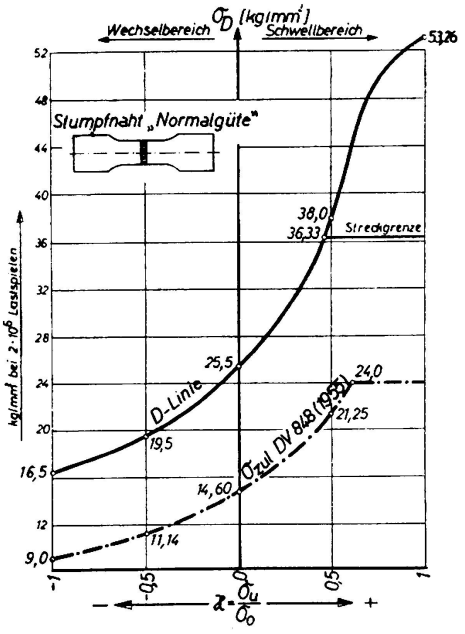

BILD 3

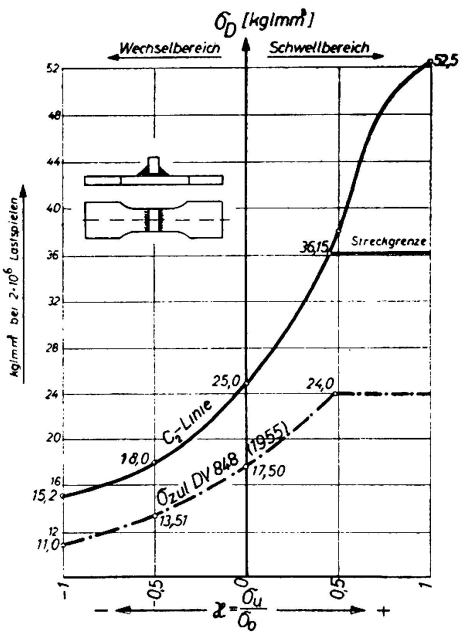

BILD 4

telten Sicherheiten die kleinsten für die in diesem Beitrag behandelten Prüfkörper. Dennoch können sie als ausreichend angesehen werden, zumal hier starke Schwankungen der Dauerfestigkeiten σ_D infolge der Eindeutigkeit der grössten Kerbe — der Bruch erfolgte nach Bild 5 stets am Nahtbeginn — ausschalten und keine Herstellungsempfindlichkeit vorliegt.

Die Sicherheiten der E_1-Linie (Bild 6) des Kreuzstosses mit nichtgeröntgter, unbearbeiteter K-Naht liegen verhältnismässig hoch. Ihre Abminderung könnte erwogen werden, auch wenn zu berücksichtigen ist, dass die Schweissung sorgfältig genug ausgeführt werden muss, um eine

zu grosse Kerbe im Nahtinnern zu vermeiden. Bei den durchgeführten Versuchen entstanden die Dauerbrüche meist am Nahtübergang (Bild 7), weniger oft im Nahtinnern (Bild 8). Die Gefahr vorzeitigen Dauerbruches infolge Doppelungen des Querbleches kann durch Prüfung mittels Ultraschallwellen stark gemindert werden.

Die Sicherheiten ν der F_1-Linie (Bild 9) des Kreuzstosses mit unbearbeiteten Kehlnähten beweisen, dass man hier die Wechselfestigkeiten ($\varkappa = -1$) zu niedrig und die Schwellzugfestigkeiten ($\varkappa = +0{,}5$) zu hoch eingeschätzt hatte, was seine Erklärung wahrscheinlich in der hier nicht näher behandelbaren unterschiedlichen Gliederung des jeweils wirksamen Tragsystemes dieser Verbindung findet.

Eine Verminderung der zulässigen Spannungen zul σ_D im Bereich $0 \leqq \varkappa < 1$ könnte zu empfehlen sein, ebenso aber auch wegen der eindeutigen Kerbe — der Bruchbeginn liegt stets im Nahtinnern (Bild 10) —

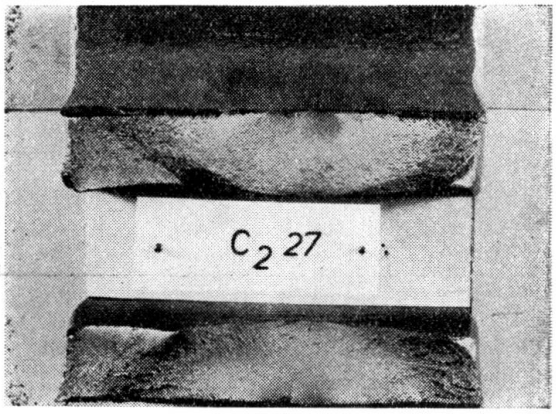

BILD 5

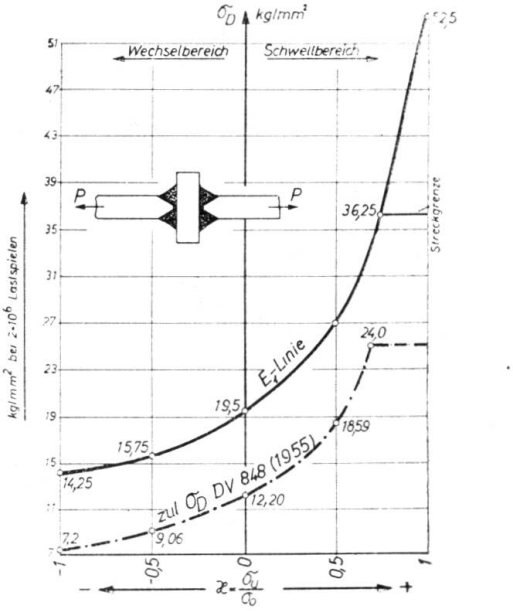

BILD 6

und der Herstellungsunempfindlichkeit eine Erhöhung von zul σ_D im Bereich $-1 \leqq \varkappa \leqq 0$ Die F_1 — Linie kann auch noch als untere Schranke der E_1 — Linie aufgefasst werden. Auch die am schlechtesten geratenen, nach der E_1 — Linie ausgeführten Verbindungen dürften keine geringeren Dauerfestigkeiten aufweisen als die herstellungstechnisch unempfindlichen Verbindungen gemäss der F_1 — Linie. Erfreulicherweise liegen die zulässigen Spannungen zul σ_D der E_1 — Linie noch gerade oberhalb den Dauerfestigkeiten σ_D der F_1 — Linie, abgesehen von der Ursprungsbeanspruchung ($\varkappa = 0$), wo es sich aber fast um Gleichheit handelt (zul $\sigma_D = 12{,}20$ kg/mm² gegenüber $\sigma_D = 12{,}0$ kg/mm²).

Die zulässigen Spannungen zul σ der DV 848 (1955) können danach im grossen und ganzen als gerechtfertigt angesehen werden. Die Zusam-

menstellung der Dauerfestigkeiten aller Prüfkörper des ersten und zweiten Versuchsabschnittes für St 52 in Bild 11 zeigt auch, dass die seinerzeit angenommene Rangordnung der untersuchten Verbindungen bestätigt wird. Hieraus erhellt auch noch die günstige Lage der C_2 — Linie zur D — Linie, die es verantworten lässt, die Quersteifen an den Zuggurt mittels Kehlnähten anzuschweissen, wenn der Zuggurt durch eine Schweissnaht Normalgüte (D — Linie) gestossen $\varkappa \geqq 0$ ist. Selbst im Wechselfestigkeitsbereich ist die dadurch bedingte Abminderung so gering, dass in zahlreichen praktischen Fällen von besonderen Massnahmen für die Verbindung von Zuggurt und Quersteifen abgesehen werden kann.

Zur weiteren Frage der Aufstellung einer einheitlichen Theorie des Dauerbruches wäre aus den behandelten Versuchsergebnissen nach deren Auftragung im Weyrauch'schen Dauerfestigkeitsdiagramm, das die Dauerfestigkeiten σ_D in Abhängigkeit von der Unterspannung σ_u darstellt,

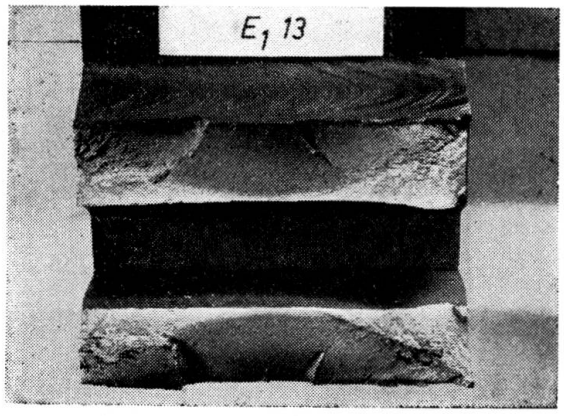

BILD 7

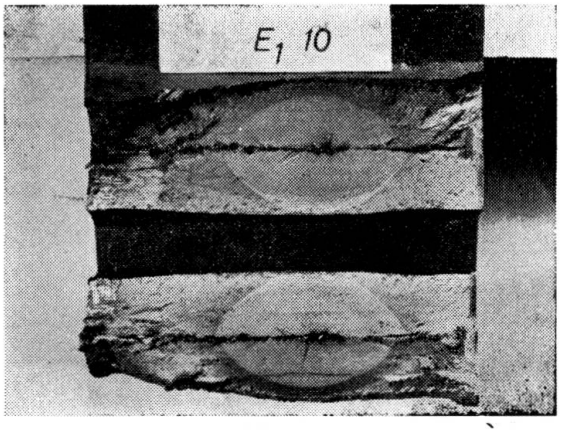

BILD 8

zu entnehmen, dass die Differentialquotienten der σ_D-Kurve $d\sigma_D : d\sigma_u$ stets kleiner als Eins sind, woraus folgt, dass die ertragbare Schwingweite $\Delta\sigma = \sigma_D - \sigma_u$ nicht konstant ist. Die Abnahme der Schwingweite $\Delta\sigma$ mit wachsender Unterspannung σ_u ist für die verschiedenen Prüfkörper unterschiedlich stark. Bei den stärker gekerbten Prüfkörpern (Bild 12) nimmt die Schwingweite langsamer ab als bei den schwächer gekerbten (Bild 13). Für die Beurteilung dieses Zusammenhanges und für die Voraussage der Dauerfestigkeit σ_D überhaupt ist die Formzahl α_k des Prüfkörpers unentbehrlich. Sie wird aber oft geschätzt oder aus Hilfsversuchen (beispielsweise mit Hilfe der Spannungsoptik) ermittelt werden müssen, weil die Lösungen der mathematischen Elastizitätstheorie nicht bekannt sind. Da die Formzahl α_k nur das Verhältnis der Spannungsspitze max σ zu der Nennspannung σ_n erfasst, dagegen nicht den Grad der Inhomogenität des Spannungsverlaufes im massgebenden Querschnitt, bedarf es noch der Berücksichtigung einer zusätzlichen Grösse,

wofür der Verfasser das Kuntz'sche «Widerstandsmittel» vorgeschlagen hatte. Die Höhe der Fliessgrenze σ_F wirkt sich in der Grösse der Kerbrestspannungen aus, die durch örtliche Plastizierungen entstehen. Das dadurch bedingte Verhältnis der Spannungen, zwischen denen die Dauerbeanspruchung an der Spannungsspitze tatsächlich pendelt, tritt in unseren Dauerfestigkeitsdiagrammen garnicht in Erscheinung. Es kommt dann noch der Einfluss der für Zug und Druck unterschiedlichen Grössen der Dauerfestigkeiten $\sigma_{||}$ hinzu. Dass es keine additive Wirkung verschiedener Kerben gibt, zeigt sich immer wieder. Daher ist dort, wo durch die Formgebung eine überragende Kerbe wirksam ist, die Bearbeitung der Oberfläche entbehrlich.

Die mitgeteilten Versuche erhalten noch ihren besonderen Wert durch ihre Zuordnung zu bereits vollständig gefahrenen Dauerfestigkeitsdia-

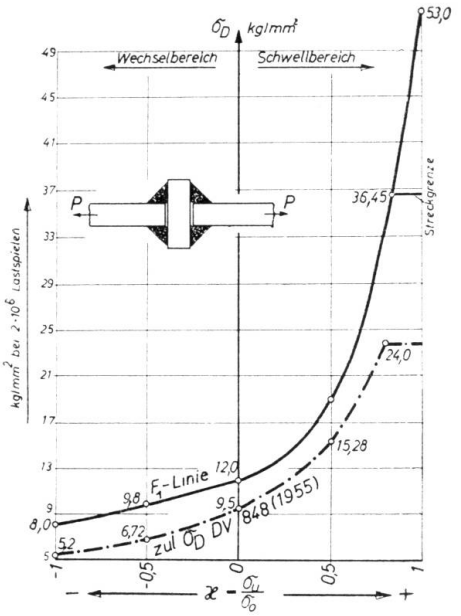

BILD 9

BILD 10

grammen für Nietverbindungen und Verbindungen mit hochfesten Schrauben. Durch die Wahl vergleichbarer Prüfkörper ist auch der Anschluss dieser kraftschlüssigen Dauerversuche an zur Zeit in der Durchführung begriffene Formänderungsschlüssige Dauerversuche gewahrt. Die Ermittlung entsprechender Schadenslinien, die uns Aussagen darüber gestatten, wieviele Lastspiele bestimmter Spannungshöhe bei der Aufaddierung zu der Lastspielgrenze von zwei Millionen unberücksichtigt bleiben können, ist ebenfalls in Angriff genommen.

Schliesslich mag noch darauf hingewiesen sein, dass die im Eisenbahnbrückenbau übliche Bemessung auf Zeitfestigkeit, denn das sind die

in der jeweiligen Wöhlerlinie für zwei Millionen Lastspiele entnommenen Spannungsgwerte σ_D, auch im Maschinenbau und Flugzeugbau immer mehr Beachtung findet. Wenn das für eine bestimmte Konstruktion laut Statistik gültige Belastungsprogramm in Belastungsstufen aufgelöst wird,

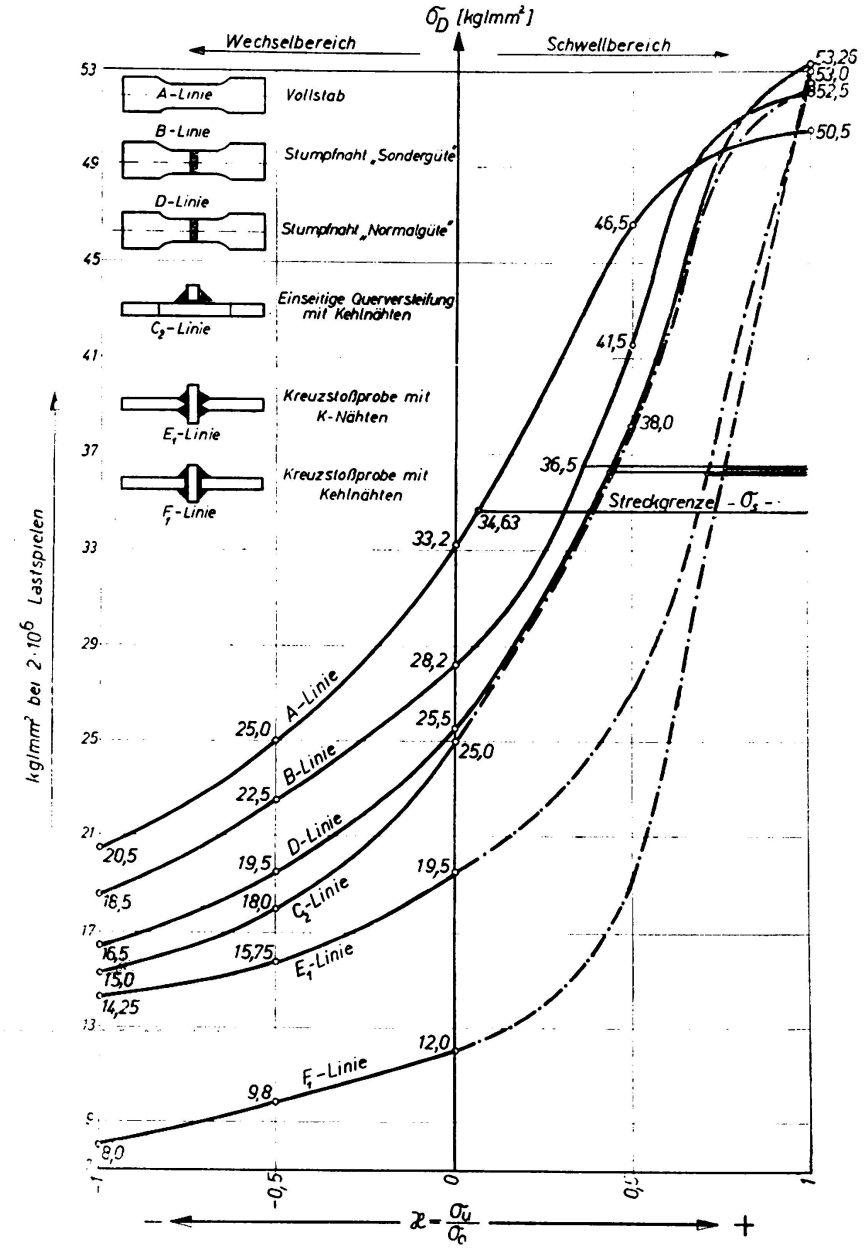

BILD 11

die durch Intensität und Wirkungsdauer der Spannungsgrenzen gekennzeichnet sind, und danach Mehrstufenversuche durchgeführt werden, spricht man von der versuchsmässig ermittelten «Betriebsfestigkeit» dieser bestimmten Konstruktion. Bei der Bemessung auf Betriebsfestigkeit wird Gewicht gespart. Im Stahlbau haben wir dadurch, dass die

Zeitfestigkeit bei zwei Millionen Lastspielen schlechthin zur konventionellen Dauerfestigkeit erhoben wurde, einen Teil der Vorteile dieser Bemessung auf Betriebsfestigkeit bereits abgeschöpft, ganz abgesehen davon, dass das Belastungsprogramm einer Brücke nicht für immer festliegt.

Die Durchführung der Versuche lag in den Händen von Herrn Dipl.-Ing. Heinz Weihermüller.

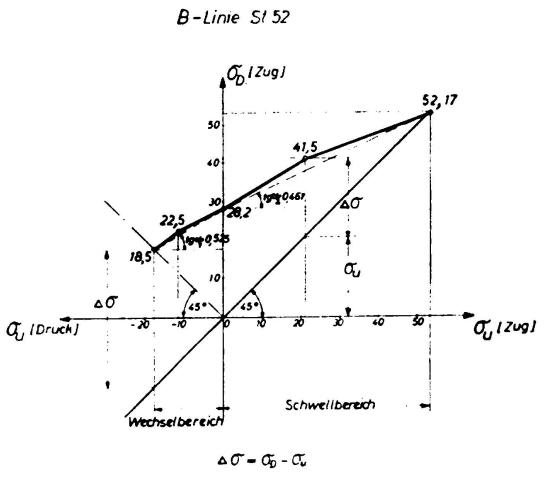

BILD 12

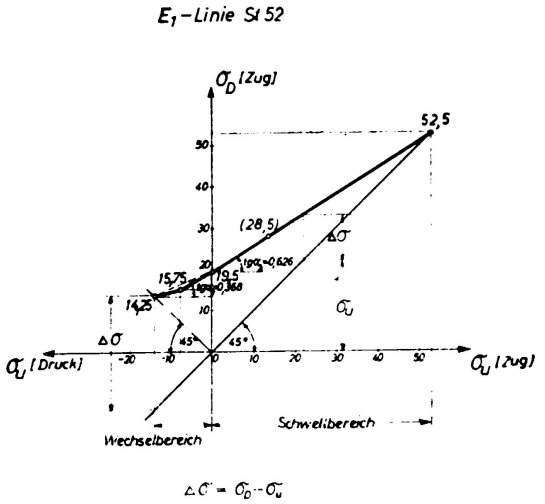

BILD 13

ZUSAMMENFASSUNG

Die durchgeführten Dauerfestigkeitsversuche mit Schweissverbindungen aus St 52 haben die, auf Grund theoretischer Überlegungen festgelegte, Rangordnung der einzelnen Verbindungsarten in der DV 848 der Deutschen Bundesbahn bestätigt. Trotz wesentlicher Erhöhung der zulässigen Dauerfestigkeiten zul σ_D, zeigt ein Vergleich mit den Versuchswerten, wobei durch die getroffene Wahl der Versuchskörperarten für eine Verbindungsart jeweils die obere und untere Grenze der Dauerfestigkeit vorliegt, dass die vorhandenen Sicherheiten ausreichend sind.

Den Auftragungen der Versuchsergebnisse im Weyrauch'schen Diagramm ist zu entnehmen, dass die ertragbare Schwingweite nicht konstant ist. Sie nimmt mit wachsender Unterspannung bei den verschiedenen Verbindungsarten unterschiedlich stark ab, und zwar bei den stärker gekerbten Prüfkörpern langsamer als bei den schwächer gekerbten.

RESUMO

Ensaios de resistência a esforços repetidos, realizados com soldaduras de aço St 52, confirmaram a classificação feita na norma DV 848 dos Caminhos de Ferro Alemães a partir de considerações teóricas. Se bem que a tensão admissível σ_D tenha sido substancialmente aumentada, verifica-se, comparando com os resultados dos ensaios em que se tomaram

para cada tipo de ligação os valores mínimo e máximo da resistência das provetas, que os coeficientes de segurança são amplamente suficientes.

Da transcrição dos resultados experimentais num diagrama de Weyrauch, conclui-se que a oscilação de tensões admissível não é constante, diminuindo sensivelmente com o aumento da tensão inferior; essa diminuição é tanto mais lenta, quanto maior for o entalhe no provete.

RÉSUMÉ

Des essais effectués avec des soudures en acier St 52 soumises à des sollicitations répetées, ont confirmé la classification, fondée sur des considérations théoriques, de la norme DV 848 des Chemins de Fer Allemands. Bien que la contrainte admissible σ_{II} ait été augmentée de façon substantielle, on constate, par comparaison avec les résultats des essais, dans lesquels l'on a pris pour chaque genre de liaison les valeurs minimum et maximum de la résistance des éprouvettes, que les coefficients de sécurité sont largement suffisants.

En transcrivant les résultats expérimentaux dans un diagramme de Weyrauch, on constate que l'oscillation de contraintes admissibles n'est pas constante, mais diminue visiblement avec l'augmentation de la contrainte inférieure; cette diminution est d'autant plus lente que l'entaille de la soudure est plus grande.

SUMMARY

Tests carried out with St 52 steel welds, submitted to repeated loadings, have confirmed the classification, based on theoretical data, found in German Railways Standards DV 848. Comparing with the test results, in which the minimum and maximum values of the test-pieces resistance were taken for each type of weld, it was established that, even though design stress σ_{II} is substantially greater, the safety factors remains very satisfactory.

Transcribing the experimental results to a Weyrauch's diagram, it is noticed that the permissible stress oscillation is not constant but quite visibly decreases as the lower stress increases; that decrease is slower, the larger the notch in the weld.