Zeitschrift: IABSE reports = Rapports AIPC = IVBH Berichte
Band: 37 (1982)

Artikel: Ermüdungsversuche an geschweissten Biegeträgern
Autor: Berger, Peter
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-28925

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: 09.12.2025

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

Ermüdungsversuche an geschweissten Biegeträgern

Fatigue Testing of Welded Beams

Essais à la fatigue de poutres soudées

PETER BERGER
Dr. -Ing.
VEB Metalleichtbaukombinat
Leipzig, DDR

ZUSAMMENFASSUNG
Zur Festlegung von Tragfähigkeitswerten für ermüdungsbeanspruchte geschweisste Bauteile wurden Ermüdungsversuche an Trägern durchgeführt. Die Ergebnisse der Versuche führten zu neuen zulässigen Spannungen und zur Anwendung des $\Delta\sigma$-Konzepts in der Neufassung der Stahlbauvorschriften der DDR.

SUMMARY
To determine values of load carrying capacity for fatigue loaded, welded structures, fatigue tests on beams were carried out. The test results led to new allowable stresses and to the use of the stress range concept in the new edition of the specifications for steel structures in the GDR.

RESUME
Des essais à la fatigue de poutres ont été réalisés afin de déterminer la capacité portante d'éléments de construction soudés sollicités à la fatigue. Les résultats de ces essais ont conduit à de nouvelles valeurs des contraintes admissibles et à l'utilisation du concept $\Delta\sigma$ dans la nouvelle édition des normes de construction métallique en RDA.

1. EINLEITUNG

Zur wirklichkeitsnäheren Erfassung der Belastung und Tragfähigkeit ermüdungsbeanspruchter Tragwerke wird in der Neufassung der Stahlbauvorschriften der DDR ein Betriebsfestigkeitsnachweis gefordert[1]. Den für diesen Nachweis vorgesehenen zulässigen Spannungen liegen Spannungswerte zugrunde, die für Einstufenbeanspruchung und $N = 2 \cdot 10^6$ Spannungszyklen gelten. Diese Grundwerte der zulässigen Spannungen waren auf der Grundlage der Ergebnisse von Ermüdungsversuchen neu festzulegen.

Aus den Veröffentlichungen über Ermüdungsversuche an großen geschweißten Bauteilen [2], [3] war bekannt, daß deren Ergebnisse von denjenigen, die an kleinen Proben mit entsprechenden Schweißdetails ermittelt wurden, abweichen:

- Die an Bauteilen ermittelten Tragfähigkeitswerte liegen teilweise beträchtlich, besonders im Bereich negativer Spannungsverhältnisse $R = \min\sigma/\max\sigma$, unter den Ergebnissen von Kleinprobenversuchen.
- Die maßgebende, die Tragfähigkeit ermüdungsbeanspruchter geschweißter Bauteile charakterisierende Größe ist neben dem Kerbfall die Differenz der Maximal- und Minimalspannung $\Delta\sigma = \max\sigma - \min\sigma$, nicht die Maximalspannung $\max\sigma$ und das Spannungsverhältnis R.

Zur Festlegung von Tragfähigkeitswerten für die Vorschriften und zur weiteren Klärung dieser Zusammenhänge wurde im Forschungsinstitut des VEB Metalleichtbaukombinat Leipzig ein umfangreiches Programm von Ermüdungsversuchen an Bauteilen in Angriff genommen. Zunächst wurden Versuche an geschweißten Biegeträgern mit Schweißdetails, für die bereits Versuchsergebnisse an Kleinproben vorliegen, durchgeführt. Über den ersten Teil dieser Versuche wird nachfolgend berichtet. Er umfaßt 85 Träger mit 7 verschiedenen Schweißdetails, an denen insgesamt 164 Versuche durchgeführt wurden.

2. VERSUCHE

Die Versuchsträger (Bild 1) wurden unter normalen Praxisbedingungen auf einer Trägerfertigungsstraße hergestellt. Als Werkstoff wurde St 52-3 verwendet, um im Schwellbereich noch möglichst große Spannungsamplituden aufbringen zu können.

Die zu untersuchenden Schweißdetails wurden im Prüflabor angebracht. Als Schweißverfahren kam die CO_2-Schweißung zur Anwendung. Die Träger wurden auf ihren Endstirnplatten in Prüfrahmen gelagert und in den Drittelspunkten mit Prüfzylindern belastet. Alle Versuche erfolgten mit Einstufenbelastung bei einer Prüffrequenz von $f = 172\ \mathrm{min}^{-1}$. Um den Mittelspannungseinfluß möglichst gut beurteilen zu können, wurde für jede Probenform jeweils eine Versuchsreihe bei $R = -1$ und $R = +0{,}5$ vorgesehen. Jede Versuchsreihe besteht aus mindestens 8 wertbaren Versuchen. Damit kann der Wöhlerlinienexponent und näherungsweise auch die Streuung bestimmt werden.

Folgende Schweißdetails wurden untersucht (Bild 1):

1. Seitlich an die Gurte geschweißte ausgerundete Knotenbleche
2. Seitlich an die Gurte geschweißte rechteckige Knotenbleche
3. Zusätzlich aufgeschweißte Gurtplatten
3.1. Gurtplattenenden mit verstärkten, ungleichschenkligen Stirnkehlnähten, Nahtübergänge bearbeitet, Nähte und Gurtplattenenden auf eine Neigung 1 : 2 abgearbeitet
3.2. Gurtplattenenden mit verstärkten, ungleichschenkligen Stirnkehlnähten, Nahtübergänge unbearbeitet
3.3. Gurtplattenenden mit nicht verstärkten, gleichschenkligen Stirnkehlnähten, Nahtübergänge unbearbeitet (nur R = -1)
4. Quer auf die Gurte geschweißte Knotenbleche, Kehlnähte ringsum geschweißt, Nahtübergänge unbearbeitet
5. Längs auf die Gurte geschweißte Knaggen (20 mm dick) zur Kranschienenbefestigung, Kehlnähte an 3 Seiten der Knaggen, Nahtübergänge unbearbeitet.

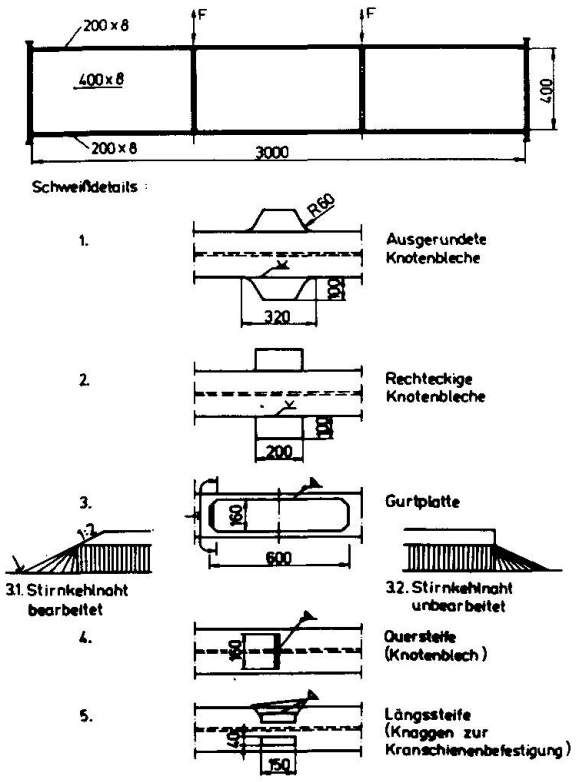

Bild 1 Versuchsträger Schweißdetails

Die Versuche wurden im Zeitfestigkeits- ($N > 10^5$) und Dauerfestigkeitsbereich durchgeführt. Versuche, die bei einer Lastspielzahl von $N = 2$ bis $4 \cdot 10^6$ nicht zum Bruch führten, wurden abgebrochen. Bei der Versuchsauswertung wurden die Zeitfestigkeitsgeraden der Wöhlerlinien bis zu den Grenzlastspielzahlen jeweils des Kerbfalles, in den das untersuchte Schweißdetail nach der Neufassung der Stahlbauvorschriften der DDR einzustufen ist, geführt. Diese Grenzlastspielzahlen N_G liegen zwischen $N = 2 \cdot 10^6$ und 10^7 und wurden aus einer großen Zahl von Versuchen bestimmt, die an Kleinproben durchgeführt wurden.

Als Bruchkriterium wurde der Rißfortschritt entweder bis zum Steg (seitlich angeschweißte Knotenbleche) oder bis zur Gurtaußenkante angenommen.

Träger, die bei der oben angegebenen Versuchsgrenzlastspielzahl keinen Bruch aufwiesen, wurden in einem 2. Versuch mit einer größeren Spannungsamplitude beaufschlagt. Die Ergebnisse dieser "hochgesetzten Durchläufer" ordnen sich (sofern nicht ein nicht

erkannter Anriß vorhanden war) in das Streuband der Versuchsergebnisse ein [4], blieben aber bei der statistischen Auswertung und in den Bildern 2 bis 7 unberücksichtigt.

Bei einigen Versuchsreihen wurden die zu prüfenden Schweißdetails an Ober- und Untergurt der Träger angebracht. Damit erhielten bei Schwellbeanspruchung (R = +0,5) im ersten Versuchsabschnitt die Details am Obergurt eine Druckschwellbeanspruchung. Nach erfolgtem Bruch im Zuggurt wurden die Träger um 180° um ihre Längsachse gedreht und mit der gleichen Belastung wie im ersten Versuchsabschnitt die Versuche fortgesetzt. Die druckschwell-vorbelasteten Details wurden damit im zweiten Versuchsabschnitt zugschwellbeansprucht. Die Ergebnisse dieser Versuche ordnen sich in das Streuband der Versuchsergebnisse der nicht vorbelasteten Träger ein [4], wurden aber ebenfalls bei der statistischen Auswertung und in den Bildern 2 bis 7 nicht berücksichtigt.

3. VERSUCHSERGEBNISSE

Die Auswertung der Versuchsergebnisse erfolgte nach dem von HOBBACHER vorgeschlagenen Verfahren der ausgemittelten Regression [5]. In den Bildern 2 bis 7 ist neben der so berechneten Regressionsgeraden (Wöhlerlinie für eine Überlebenswahrscheinlichkeit von $P_ü$ = 50 %) die untere Streubandbegrenzung $\bar{N} - 2\,s_N$ (Wöhlerlinie $P_ü$ = 97,7 % für die ausgewerteten Versuchspunkte) als strichlierte Gerade angegeben. Es ist zu erkennen, daß die aktuelle Streuung einer Versuchsreihe wegen der geringen Zahl von Versuchspunkten zufälligen Charakter hat und von Versuchsreihe zu Versuchsreihe stark schwankt. Deshalb wurden der Gesamtauswertung, die auf den Vergleich mit den Versuchsergebnissen von Kleinproben und den in den Bemessungsvorschriften angegebenen Tragfähigkeitswerten hinausläuft, nicht die berechneten Reststreuungen der Versuchsreihen zugrunde gelegt. In die Wöhlerliniendiagramme der Bilder 2 bis 7 wurden dafür als Streubandbegrenzungen Wöhlerlinien eingetragen, die eine Lastspielzahlstreuung T_N = 1 : 4 ergeben. Diese Streuung beruht auf der Auswertung der Ergebnisse von mehr als 9000 Einzelversuchen an Kleinproben und stellt das Verhältnis der Bruchlastspielzahlen eines Spannungshorizonts für Überlebenswahrscheinlichkeiten von $P_ü$ = 90 und 10 % dar. Sie kann mit genügender Genauigkeit für alle Kerbfälle und Wöhlerlinienexponenten als annähernd konstant angenommen werden. Diese Verfahrensweise wurde für die einheitliche Beurteilung der vorliegenden Ergebnisse, die in Abhängigkeit vom Kerbfall unterschiedliche Wöhlerlinienexponenten aufweisen, dem Verfahren von OLIVIER [6], das von einem einheitlichen Wöhlerlinienexponenten für Schweißverbindungen ausgeht, vorgezogen.

Die Versuchsergebnisse zeigen in Übereinstimmung mit [2], [3] keinen Mittelspannungseinfluß. Sie sind in den Bildern 2 bis 7 in doppeltlogarithmischer Darstellung aufgetragen. Die Wöhlerlinien ($P_ü$ = 50 %) folgen der Gleichung

$$\lg N = \lg C - \varphi \cdot \lg \Delta\sigma \,.$$

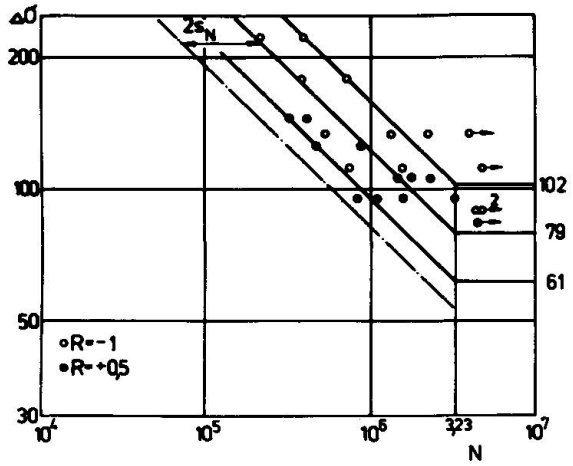

Bild 2 Ausgerundete Knotenbleche

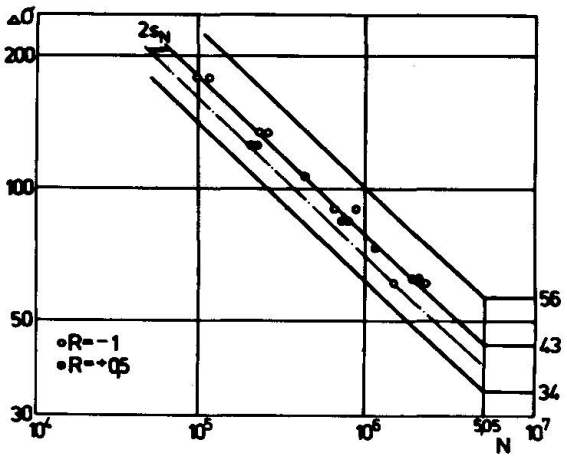

Bild 3 Rechteckige Knotenbleche

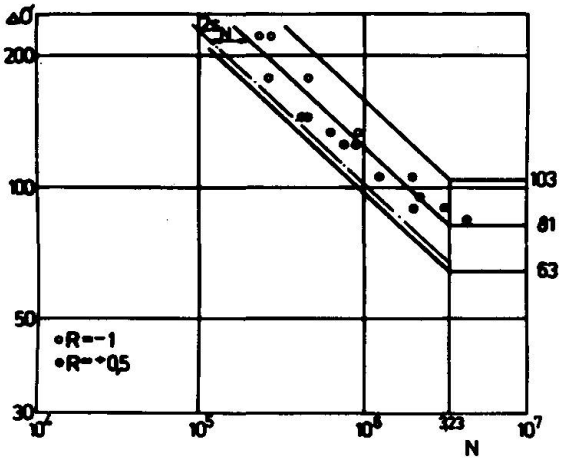

Bild 4 Gurtplatte, Stirnkehlnaht bearbeitet

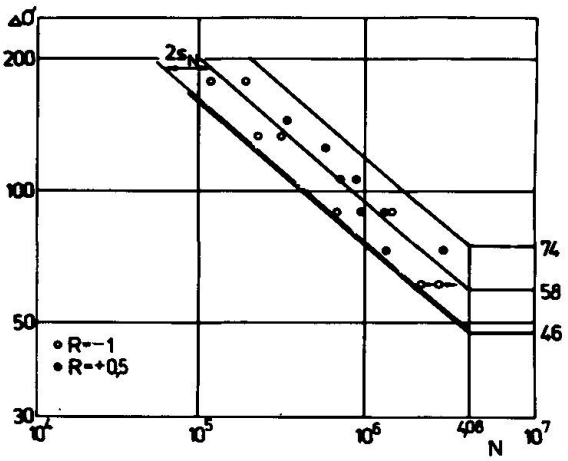

Bild 5 Gurtplatte, Stirnkehlnaht unbearbeitet

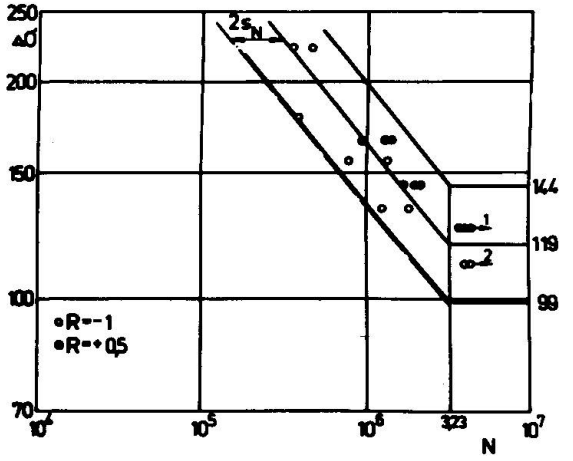

Bild 6 Quersteife(Knotenblech) Kehlnaht unbearbeitet

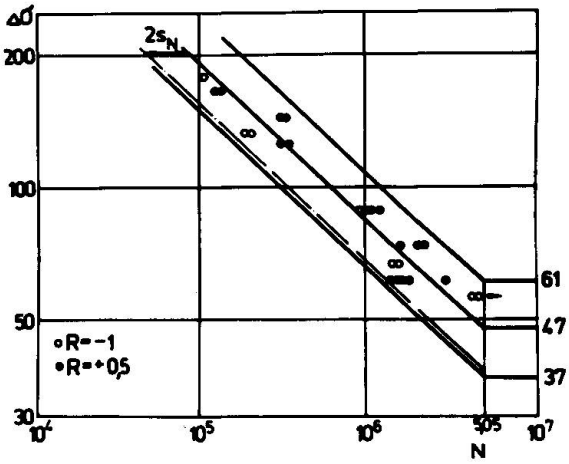

Bild 7 Längssteife(Knagge) Kehlnaht unbearbeitet

Tabelle 1 enthält eine Zusammenstellung der Ergebnisse mit den Parametern der statistischen Auswertung.

Versuchsreihe	Anzahl der Versuche	lg C	φ	lg s_N	$\Delta\sigma_{D,50\%}$ bei $N_D=2.10^6$ N/mm^2
1	25	11,596	2,681	0,2384	95
2	16	11,236	2,770	0,0682	61
3.1	16	11,898	2,826	0,1191	96
3.2	16	11,928	3,010	0,1411	74
3.3	8	10,701	2,422	0,0470	66
4	18	14,131	3,669	0,1551	136
5	25	11,371	2,789	0,1310	66

In Tabelle 2 sind zum Vergleich die von FISHER [2], [3] erzielten Versuchsergebnisse von Trägern mit folgenden vergleichbaren Schweißdetails angegeben:

a) Überlappt auf die Gurte geschweißte rechteckige Knotenbleche, l = 200 mm

b) Zusätzlich aufgeschweißte Gurtplatten mit unbearbeiteten Endstirnkehlnähten

c) Quer auf die Gurte geschweißte Knotenbleche

d) Stegaussteifungen, mit dem Gurt durch Querkehlnaht verbunden

Die erneute Auswertung dieser Versuche erfolgte nach den gleichen Gesichtspunkten wie die der Leipziger Versuche.

Tabelle 2 Versuchsergebnisse nach [2] und [3]

Versuchsreihe	Anzahl der Versuche	lg C	φ	lg s_N	$\Delta\sigma_{D,50\%}$ bei $N_D=2.10^6$ N/mm^2
a	27	12,408	3,269	0,1186	74
b	103	11,475	2,897	0,0956	61
c	19	14,429	3,851	0,0917	129
d	88	14,005	3,724	0,1042	117

Unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Herstellungs- und Prüfbedingungen der Versuchsträger sowie Schweißdetails ist die Übereinstimmung der Ergebnisse gut. Auch die Streuungen innerhalb der Versuchsreihen haben etwa die gleiche Größe.

4. FESTLEGUNG VON TRAGFÄHIGKEITSWERTEN FÜR DIE DIMENSIONIERUNG

Die Ergebnisse der Bauteilversuche waren die wichtigste Grundlage für die Festlegung der Grundwerte der zulässigen Spannungen für den Ermüdungsfestigkeitsnachweis in den neuen Stahlbauvorschriften [7] der DDR. Es wurden auch Ergebnisse von Versuchen an Kleinproben berücksichtigt, jedoch erfolgte eine entsprechende Abwertung der Spannungswerte. Tabelle 3 zeigt eine Gegenüberstellung von Kleinprobenergebnissen mit Ergebnissen von Bauteilversuchen am Beispiel der Probenform "Seitlich angeschweißte rechteckige Knotenbleche". Für die Bauteilversuche wurden die Spannungswerte verwendet, die sich für die untere Streubandbegrenzung unter Verwendung der Lastspielzahlstreuung $T_N = 1 : 4$ ergeben.

Tabelle 3 Versuchsergebnisse für $N_D = 2 \cdot 10^6$
Probenform: Seitlich angeschweißte rechteckige Knotenbleche

Spannungsverhältnis R	Trägerversuche σ_D N/mm²	Versuche an Kleinproben Anzahl der Versuchsreihen	$\sigma_{D,90\%}$ N/mm²
-1	23,5	14	45,1
+0,5	98	13	129

Aus der Gegenüberstellung wird deutlich, daß infolge des Mittelspannungseinflusses bei Kleinproben die Abweichungen im Bereich negativer Spannungsverhältnisse R besonders groß sind.

Entsprechend den Ergebnissen der Bauteilversuche wurde dem Ermüdungsfestigkeitsnachweis der neuen Vorschrift das $\Delta\sigma$ -Konzept zugrunde gelegt.

Tabelle 4 zeigt die Einstufung der untersuchten Schweißdetails in die Kerbfälle der Vorschrift. Zum Vergleich sind die entsprechenden amerikanischen Versuchsergebnisse und ihre Einstufung in die Kerbfälle nach [8] angegeben. Die Tabelle enthält die Versuchsergebnisse bei $N_D = 2 \cdot 10^6$, und zwar sowohl die Spannungsdifferenzen $\overline{\Delta\sigma} - 2\,s$ (Mittelwert minus 2 Standardabweichungen, berechnet für die jeweilige Versuchsreihe) als auch die Werte min $\Delta\sigma$, die sich bei Zugrundelegung einer konstanten Lastspielzahlstreuung $T_N = 1 : 4$ ergeben.

Zur Überprüfung der Einstufung in die Kerbfälle der Vorschrift werden die Bauteilversuche mit weiteren Details fortgesetzt. In diesem Zusammenhang sind auch Versuche an spannungsarm geglühten Bauteilen vorgesehen, um zu genaueren Kenntnissen über den Einfluß der Eigenspannungen auf die Tragfähigkeit von Bauteilen bei Ermüdungsbeanspruchung zu gelangen.

Tabelle 4 Einstufung der untersuchten Schweißdetails in die Kerbfälle der Vorschriften

Versuchsreihe	Versuchsergebnisse $\overline{\Delta\sigma} - 2\, s_{\Delta\sigma}$ N/mm²	min $\Delta\sigma$	TGL 13 500 Kerbfall	zul $\Delta\sigma_D$ N/mm²	AISC Kerbfall	zul $\Delta\sigma_D$ N/mm²
1	63	73	4	84	D	70
2 5 a [3]	54 53 62	47 51 60	6	58	E	56
3.1	79	75	4	84	-	-
3.2	60	59	5	70	-	-
3.3 b [2]	60 52	49 48	6	58	E	56
4 c [3] d [3]	112 116 103	113 108 97	4 x)	84 x)	C	90

x) bei kerbfreiem Nahtübergang Kerbfall 3, zul $\Delta\sigma_D$ = 106 N/mm²

LITERATUR

1 GRASSE, W.; BERGER, P.: Der Ermüdungsfestigkeitsnachweis in den neuen Stahlbauvorschriften der DDR. IVBH Kolloquium Ermüdung von Stahl- und Betonkonstruktionen. Lausanne 1982

2 FRANK, K. H.; FISHER, J. W.: The fatigue strength of welded coverplated beams. Fritz Engineering Laboratory Report No. 334.1. Lehigh University, Bethlehem, Pa., 1969

3 FISHER, J. W.; ALBRECHT, P. A.; YEN, B. T.; KLINGERMAN, D.J.; MC NAMEE, B. M.: Fatigue strength of steel beams with welded stiffeners and attachments. NCHRP Report No. 147 Transportation Research Board, Washington, D. C., 1974

4 BERGER, P.: Ermüdungsversuche an geschweißten Trägern. Schweißtechnik, Berlin 31(1981)2, S. 78 - 82

5 HOBBACHER, A.: Zur Auswertung von Schwingfestigkeitsversuchen an Schweißverbindungen. Schweißen u. Schneiden, Düsseldorf 29(1977)4, S. 143 - 146

6 OLIVIER, R.; RITTER, W.: Wöhlerlinienkatalog für Schweißverbindungen aus Baustählen, Teil 1 bis 3. DVS-Berichte 56/I bis /III. Deutscher Verlag für Schweißtechnik Düsseldorf, 1979, 1980 und 1981

7 TGL 13 500 (Entwurf 10.81), Stahlbau, Stahltragwerke, Berechnung und bauliche Durchbildung, Leipzig, Oktober 1981

8 AISC Specification, Specification for the Design, Fabrication and Erection of Structural Steel for Buildings. American Institute of Steel Construction, New York, 1978