Zeitschrift: IABSE reports = Rapports AIPC = IVBH Berichte

Band: 37 (1982)

Artikel: Ermüdungsfestigkeitsnachweis in den neuen Stahlbauvorschriften der DDR

Autor: Grasse, Wolfgang / Berger, Peter

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-28897

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: 08.12.2025

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

Ermüdungsfestigkeitsnachweis in den neuen Stahlbauvorschriften der DDR

Fatigue Strength Calculation to the new Steelwork Standard of the German Dem. Rep.

Vérification de la résistance à la fatigue selon la nouvelle norme de construction métallique de la RDA

WOLFGANG GRASSE
Dr. sc. techn.
VEB Metalleichtbaukombinat
Leipzig, DDR

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

ZUSAMMENFASSUNG
Der Nachweis der Ermüdungsfestigkeit in der neuen Stahlbauvorschrift TGL 13 500 gestattet die differenzierte Berücksichtigung unterschiedlicher Spannungsspielzahlen und Formen der Spannungskollektive. Die Überlegungen zur Festlegung der zulässigen Ermüdungsspannungen werden dargestellt.

SUMMARY
The calculation of fatigue strength according to the new specification for steel structures, TGL 13 500, permits the consideration of different numbers of stress cycles and shapes of stress spectra. Some considerations involved in fixing the allowable fatigue stresses are presented.

RESUME
La vérification de la résistance à la fatigue selon la nouvelle norme de construction métallique TGL 13 500 permet de tenir compte de manière différenciée du nombre de cycles de contraintes et de l'allure du spectre des contraintes. Quelques réflexions en vue de la fixation des contraintes admissibles de fatigue sont présentées.

1. BISHERIGE SITUATION UND ZIEL DER NEUBEARBEITUNG DES STANDARDS

Für den Nachweis ermüdungsbeanspruchter Stahlkonstruktionen ist in der DDR die TGL 13 500 [1] verbindlich. Nach der derzeit noch gültigen Ausgabe von 1972 ist der Ermüdungsfestigkeitsnachweis bei Lastspielzahlen zwischen $6 \cdot 10^4$ und $5 \cdot 10^5$ als Zeitfestigkeitsnachweis und bei Lastspielzahlen über $5 \cdot 10^5$ als Dauerfestigkeitsnachweis zu führen. Die zulässigen Spannungen hierfür werden aus kerbfall- und baustahlspezifischen Zeit- bzw. Dauerfestigkeitslinien in Abhängigkeit vom Spannungsverhältnis $\varkappa = \min\sigma/\max\sigma$ entnommen. Diese Werte beruhen auf umfangreichen Ermüdungsversuchen an Kleinproben, wobei gegen die einer Überlebenswahrscheinlichkeit von 90 % entsprechenden Wöhlerlinien mit einem $\varkappa$-abhängigen Faktor abgesichert wurde. Der Sicherheitsfaktor verändert sich mit $\varkappa$ und liegt zwischen 1,1 und 1,3 [2]. Der Ermüdungsfestigkeitsnachweis erfolgt durch Vergleich der Maximalspannung mit der zulässigen Ermüdungsspannung.

Der größte Nachteil der dargestellten Berechnungsmethode besteht darin, daß es nicht möglich ist, die in der Regel vorhandene Veränderlichkeit der Spannungsamplituden im Beanspruchungsprozeß zu berücksichtigen. Der Ansatz der Maximalspannung führt in den Fällen, in denen sie bezogen auf die Gesamt-Lastspielzahl selten auftritt, zu unwirtschaftlichen Bemessungen. Die Beseitigung dieses Mangels und die Möglichkeit einer differenzierteren Berücksichtigung der tatsächlichen Spannungsspielzahl waren die Hauptziele der Neubearbeitung des Ermüdungsfestigkeitsnachweises in der TGL 13 500.

2. ERTRAGBARE BEANSPRUCHUNGEN BEI EINSTÜFENBEANSPRUCHUNG

Für die ertragbaren Beanspruchungen bei konstanten Spannungsamplituden liegen vergleichsweise viele an Kleinproben gewonnene Daten vor [3], [4]. Etwa ab 1970 wurden Versuchsergebnisse von geschweißten Bauteilen und auch von nicht geschweißten Großproben bekannt [5], [6], [7], die teilweise erheblich unter den Werten für Kleinproben lagen. Die Ursachen hierfür werden in den höheren Eigenspannungen und im Maßstabseinfluß gesehen, der einen Kerb bei einem großen Bauteil im Verhältnis zu den Gesamtabmessungen schärfer erscheinen läßt.

Durch die mit der neuen Vorschrift beabsichtigte genauere Erfassung der Belastung hinsichtlich Lastspielzahl und Völligkeitsgrad des Spannungskollektivs und den damit im allgemeinen beträchtlichen Abbau von Sicherheitsreserven erschien es geboten, auch die Erkenntnisse über die niedrigere Tragfähigkeit von Bauteilen zu berücksichtigen. Um auch kleine Elemente mit der neuen Norm wirtschaftlich bemessen zu können und in Übereinstimmung mit der Berechnungsvorschrift für geschweißte Maschinenbauteile zu bleiben, wurden sowohl zulässige Spannungen für Bauteile (als Regelfall) als auch solche für Kleinteile aufgenommen.

Die neue Vorschrift TGL 13 500 [8] sieht 10 Kerbfälle vor. Nach den Versuchsdaten wurden die bei $\varkappa = -1$ gültigen Abminderungsfaktoren

$$\alpha = \frac{\text{ertr. } \sigma_{D,\text{Bauteil}}}{\text{ertr. } \sigma_{D,\text{Kleinprobe}}} \qquad (1)$$

entsprechend Tabelle 1 festgelegt. Hierbei ist ertr. σ_D die $2 \cdot 10^6$ mal ertragene Spannung.

Tabelle 1 Abminderungsfaktoren α

Kerbfall	0 bis 4	5	6	7	8	9
α	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95

Man erkennt, daß die Unterschiede zwischen Bauteilen und Kleinteilen mit wachsender Kerbschärfe der Verbindung kleiner werden.

Tabelle 2 enthält die ertragbaren Spannungen bei $x = -1$ (Wechselbeanspruchung), Einstufenbelastung und $2 \cdot 10^6$ Spannungsspielen für Kleinteile. Die ertragbaren Spannungen werden im Streuband der Versuchsergebnisse so festgelegt, daß ihnen eine Überlebenswahrscheinlichkeit von 90 % entspricht.

Tabelle 2 Grundwerte ertr. $\sigma_{D,-1}$ in N/mm^2

Kerbfall	ertr. $\sigma_{D,-1}$			
	S 38/24	S 45/30	S 52/36	S 60/45
0	144	154	163	174
1	131	136	141	146
2	113			
3	94			
4	75			
5	58			
6	45			
7	35			
8	28			
9	21			

In Bild 1 sind Ergebnisse von Bauteil- und Kleinprobenversuchen dargestellt, die in den Kerbfall 6 entsprechend der neuen TGL 13 500 einzuordnen sind. Weiter sind dort die neuen zulässigen Spannungen eingezeichnet.

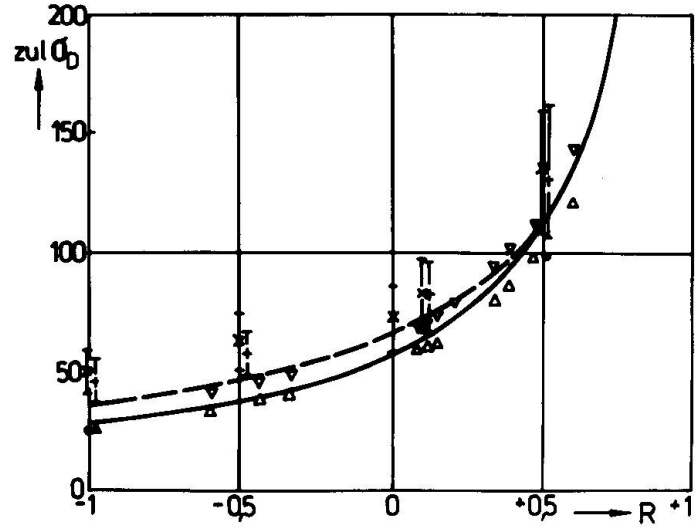

Bild 1 Ergebnisse von Bauteil- und Kleinprobenversuchen nach [5], [6] und [7], zulässige Spannungen für Kerbfall 6 nach [8]

——— zulσ_D für Kleinteile

——— zulσ_D für Bauteile

● ▲ △ ▽ Bauteile

+ × Kleinproben

3. ZULÄSSIGE SPANNUNGEN FÜR EINSTUFENBEANSPRUCHUNG

In den Stahlbauvorschriften der DDR wurden die zulässigen Ermüdungsspannungen für einen bestimmten Kerbfall und einen speziellen Baustahl als zulässige Maximalspannung in Abhängigkeit vom Spannungsverhältnis $\varkappa$ angegeben. Die Versuche an Bauteilen zeigten, daß - offenbar bedingt durch hohe Eigenspannungen - die ertragbare Differenz $\Delta\sigma = \max\sigma - \min\sigma$ unabhängig von $\varkappa$ ist. Dieses sogenannte $\Delta\sigma$-Konzept bedeutet eine Vereinfachungsmöglichkeit für den Nachweis der Ermüdungsfestigkeit. Um jedoch den Anschluß an die bisher gültigen Stahlbauvorschriften und an die Vorschriften zur Bemessung geschweißter Maschinenbauteile zu wahren und die Berechnung von Kleinteilen innerhalb der TGL 13 500 nicht nach einem anderen Konzept vornehmen zu müssen, wurde der Nachweis mit $\max\sigma$ und $\varkappa$ beibehalten, wobei die zulässigen Werte für Bauteile voll dem $\Delta\sigma$ -Konzept entsprechen, denn es gilt stets

$$\max\sigma = \frac{\Delta\sigma}{1-\varkappa} \qquad (2)$$

Die zulässigen Spannungen ergeben sich aus den ertragbaren Werten entsprechend Abschnitt 2 nach Division durch einen Sicherheitsfaktor ν_D, der $\nu_D = 1{,}25$ beträgt. Bei $\varkappa = -1$ weisen die so festgelegten zulässigen Spannungen bei Kleinteilen Überlebenswahrscheinlichkeiten von mindestens 99,3 % auf. Die zulässigen Spannungen für Bauteile wurden durch Multiplikation der Werte für Kleinteile mit den α -Werten (Tabelle 1) so festgelegt, daß sie den unteren 2s-Werten der Versuchsergebnisse entsprechen und damit bei Normalverteilung Überlebenswahrscheinlichkeiten von 97,7 % aufweisen.

Bild 2 zeigt die Wöhlerlinien der zulässigen Spannungen von Bauteilen für alle 10 Kerbfälle, Baustahl St 38 und $\varkappa = -1$. Stähle höherer Festigkeit haben nur in den sehr günstigen Kerbfällen 0 und 1 höhere zulässige Ermüdungsspannungen.

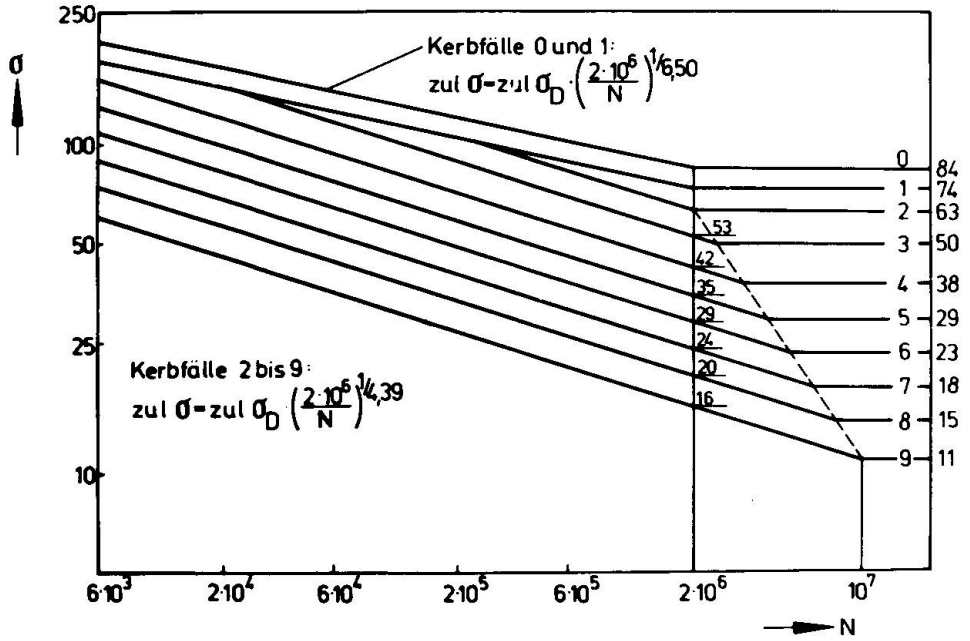

Bild 2 Wöhlerlinien der zulässigen Spannungen (Bauteile)

4. BERÜCKSICHTIGUNG VON BELIEBIGEN SPANNUNGSSPIELZAHLEN UND MEHRSTUFENBEANSPRUCHUNGEN

Entsprechend den in Bild 2 angegebenen Beziehungen für die Wöhlerlinien erhält man bei Spielzahlen unter $2 \cdot 10^6$ höhere, über $2 \cdot 10^6$ niedrigere zulässige Ermüdungsspannungen. Bei der Festlegung der zulässigen Werte wurde nicht nur das Verhältnis γ_N der ertragbaren Spannung bei einer beliebigen Spannungsspielzahl N zum Wert bei $2 \cdot 10^6$ Spannungsspielen berücksichtigt, sondern außerdem ein Sicherheitsfaktor ν_N. Dieser beträgt $\nu_N = 1{,}0$ bei $N = 2 \cdot 10^6$ und $\nu_N = 1{,}15$ bei $N = 2 \cdot 10^5$ und dient zum Ausgleich der bei kleinen Spannungsspielzahlen größeren Wahrscheinlichkeit einer Fehleinschätzung des Umfangs des Spannungskollektivs. ν_N wird zwischen o. g. Spielzahlen geradlinig interpoliert. Damit ergibt sich die zulässige Spannung für eine beliebige Spannungsspielzahl N bei Einstufenbeanspruchung zu

$$\text{zul}\,\sigma_x = \frac{\gamma_N}{\nu_N} \cdot \text{zul}\,\sigma_{D,x} \qquad (3)$$

Die Verwendung des Sicherheitsfaktors ν_N bewirkt eine Drehung der Wöhlerlinie der ertragbaren Spannungen um den Punkt σ_D; $N = 2 \cdot 10^6$, d. h. der Wöhlerlinienexponent der Kerbfälle 2 bis 9 steigt von 3,5 auf 4,39 (s. Bild 2).

Es ist zu beachten, daß N die Zahl der Spannungsspiele ist, die oft beträchtlich höher liegt als die Zahl der Lastspiele.
Der relative Anteil kleiner und großer Spannungsausschläge am gesamten Spannungskollektiv wird durch den Kollektivbeiwert k beschrieben. Durch Klassieren eines regellosen Beanspruchungsprozesses kann man die Häufigkeitsverteilung der Spannungsmaxima und -minima ermitteln. Durch Darstellung der Spannungsspielzahlen im logarithmischen Maßstab und Messen der Spannungsausschläge vom Mittelwert zwischen Maximal- und Minimalspannung des Kollektivs (Symmetrierung) erhält man eine Darstellung, die den Normkollektiven entsprechend Bild 3 rechnerisch oder visuell zugeordnet werden kann. Das Normkollektiv mit k = 0 genügt einer diskreten halben Binomialverteilung. Diese Kollektivform kommt – zumindest näherungsweise – bei vielen praktischen Beanspruchungsprozessen vor und wurde umfangreichen Mehrstufen-Ermüdungsversuchen zugrunde gelegt. Die Kollektivformen mit den Beiwerten k = 1/3 und 2/3 folgen der gleichen Verteilung und ergeben sich durch proportionale Einschaltung zwischen k = 0 und das Vollastkollektiv mit k = 1.

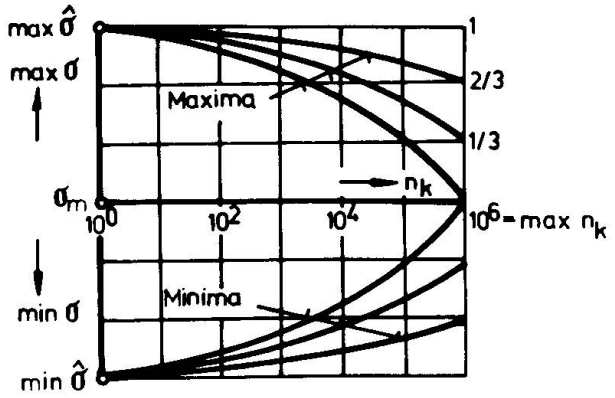

Bild 3 Normkollektive

Die neue Vorschrift TGL 13 500 gestattet sowohl eine Berechnung der zulässigen Betriebsspannung zul σ_{Be} auf der Grundlage der gemessenen oder berechneten Kollektivumfänge N und Beiwerte k als auch ihre vereinfachte Ermittlung über Beanspruchungsgruppen. Tabelle 3 gibt die Zuordnung der Beanspruchungsgruppen B 1 bis B 7 zu den Werten N und k an, während in Tabelle 4 die Betriebs-

festigkeitsfaktoren γ in Abhängigkeit von Kerbfall und Beanspruchungsgruppe enthalten sind. Entsprechend Gleichung (4) ergibt sich damit

$$\text{zul}\ \sigma_{Be} = \gamma \cdot \text{zul}\ \sigma_{D,x} \qquad (4)$$

wobei zul $\sigma_{D,x}$ als Tabellenwert vorliegt und für das jeweilige x, den Kollektivbeiwert k = 1 sowie N = 2 . 10^6 gilt.

Tabelle 3 Beanspruchungsgruppen

Spannungsspielzahl N		Kollektivbeiwert k 0	1/3	2/3	1
6 . 10^3	N = 2 . 10^4	B 0	B 0	B 1	B 2
2 . 10^4	N = 6 . 10^4	B 0	B 1	B 2	B 3
6 . 10^4	N = 2 . 10^5	B 1	B 2	B 3	B 4
2 . 10^5	N = 6 . 10^5	B 2	B 3	B 4	B 5
6 . 10^5	N = 2 . 10^6	B 3	B 4	B 5	B 6
2 . 10^6	N = 6 . 10^6	B 4	B 5	B 6	B 7
6 . 10^6	N = 2 . 10^7	B 5	B 6	B 7	B 7
2 . 10^7	N = 6 . 10^7	B 6	B 7	B 7	B 7
	N 6 . 10^7	B 7	B 7	B 7	B 7

Tabelle 4 Betriebsfestigkeitsfaktoren γ

Beanspruchungsgruppe	Kerbfall 0 und 1	2	3	4	5	6	7	8	9
B 0	2,84	4,83							
B 1	2,39	3,71							
B 2	2,01	2,86							
B 3	1,69	2,20							
B 4	1,42	1,69							
B 5	1,19	1,30							
B 6	1,00	1,00							
B 7	1,00	1,00	0,96	0,92	0,86	0,82	0,77	0,73	0,69

Der Betriebsfestigkeitsfaktor γ in Gl. (4) ist definiert durch

$$\gamma = \frac{\gamma_N}{\nu_N} \cdot \frac{\gamma_k}{\nu_k} \quad . \qquad (5)$$

Die Werte γ_N und ν_N beziehen sich auf die Spannungsspielzahl und wurden bei Gl. (3) erläutert, γ_k wird auf der Grundlage der Schadensakkumulationshypothese von CORTEN/DOLAN berechnet und bringt die Erhöhung des ertragbaren Maximalwertes des Kollektivs bei "weichen" Kollektiven (kleine Werte k) zum Ausdruck. Um der bei abnehmender Kollektivvölligkeit steigenden Gefahr einer Fehleinschätzung vorzubeugen und den ungünstigen Randomeinfluß abzu-

decken, wird mit einem Sicherheitsfaktor ν_k abgesichert, der von $\nu_k = 1$ bei $k = 1$ auf $\nu_k = 1{,}6$ bei $k = 0$ wächst.

Es sei noch bemerkt, daß der Ermüdungsfestigkeitsnachweis wegen des geringen Schädigungseinflusses nicht mit der absolut größten Lastspannung zu führen ist, sondern mit dem Wert, der pro 1 Million Spannungsspiele einmal auftritt. Demzufolge ist nachzuweisen, daß die mit einer Wahrscheinlichkeit von 10^{-6} auftretende Maximalspannung kleiner ist als der Wert zul σ_{Be} nach Gl. (4).

5. EINSCHÄTZUNG DES NEUEN NACHWEISES DER ERMÜDUNGSFESTIGKEIT

Es ist offensichtlich, daß der neue Nachweis eine wesentlich flexiblere und damit wirklichkeitsnähere Bemessung ermüdungsbeanspruchter Stahlbauteile gestattet. Bei den sehr häufig auftretenden Kollektiven im Bereich von $k = 0$ und 1/3 sind bei nicht übermäßig hohen Spannungsspielzahlen (etwa unter $6 \cdot 10^6$) selbst unter Beachtung des ungünstigen Bauteileinflusses leichtere Dimensionierungen möglich als bisher. Sind dagegen die Spannungskollektive nachgewiesenermaßen völlig und haben einen großen Umfang, so ergeben sich besonders im Bereich der Wechselbeanspruchung ($x = -1$) materialintensivere Bemessungen als bisher.

Die TGL 13 500 ist eine Grundvorschrift im Vereinheitlichten Vorschriftenwerk für den Stahlbau in der DDR und gibt Tragfähigkeitswerte an, die für den gesamten Stahlbau gelten. Sie ist im Zusammenhang mit den Vorschriften für die einzelnen Fachgebiete, z. B. für den Stahlbrückenbau, Kranbau und Stahlhochbau anzuwenden, die u. a. die Lastannahmen vorschreiben und damit ebenfalls das Bemessungsergebnis beeinflussen. Es ist Aufgabe dieser Fachgebiete des Stahlbaus, die maßgebenden Beanspruchungskollektive zu ermitteln, um durch Zuordnung zu den Normkollektiven der TGL 13 500 oder eine genauere Ermittlung der zulässigen Betriebsspannung von den Möglichkeiten der neuen Vorschrift Gebrauch zu machen.

LITERATUR

1 TGL 13 500, Stahlbau, Stahltragwerke, Berechnung und bauliche Durchbildung. Ausgabe März 1972, Amt für Standardisierung, Berlin

2 KOCH, M.; BERGER, P.: Grundlagen der zulässigen Spannungen für den Ermüdungsfestigkeitsnachweis von Stahltragwerken nach TGL 13 500. Hebezeuge und Fördermittel, Berlin 14(1974)2, S. 41 - 44

3 GURNEY, T.R.; MADDOX, S. J: A re-analysis of fatigue data for welded joints in steel. The Welding Institute, Abington, Cambridge 1972, Research Report No. E/44/72

4 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

5 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. NCMRP Report No. 147, Transportation Research Board, Washington, D. C., 1974

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

7 BERGER, P.: Ermüdungsversuche an geschweißten Biegeträgern. IVBH Kolloquium Ermüdung von Stahl- und Betonkonstruktionen, Lausanne 1982

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