

Schwingfestigkeit wetterfester Baustähle

T 2223

T 2223

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00
Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

Kommission der Europäischen Gemeinschaften

technische forschung stahl

Gebrauchseigenschaften und Betriebsverhalten

Schwingfestigkeit wetterfester Baustähle

C.M. Sonsino, F. Müller
Fraunhofer Institut für Betriebsfestigkeit
Bartningstraße 47
D-6100 Darmstadt

Forschungsvertrag Nr. 7210-KD/110
(1.9.1979 – 30.11.1988)

Abschlußbericht

Generaldirektion
Wissenschaft, Forschung und Entwicklung

Veröffentlicht durch
KOMMISSION DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN
Generaldirektion
Telekommunikation, Informationsindustrien und Innovation
L-2920 Luxemburg

HINWEIS

Weder die Kommission der Europäischen Gemeinschaften noch Personen, die im Namen dieser Kommission handeln, sind für die etwaige Verwendung der nachstehenden Informationen verantwortlich.

Bibliographische Daten befinden sich am Ende der Veröffentlichung.

Luxemburg: Amt für amtliche Veröffentlichungen der Europäischen Gemeinschaften, 1990

ISBN 92-826-1193-0

Katalognummer: CD-NA-12573-DE-C

© EGKS-EWG-EAG, Brüssel · Luxemburg, 1990

Printed in Belgium

Die vorliegende Untersuchung ist eine von der Europäischen Gemeinschaft für Kohle und Stahl (EGKS), Brüssel, und vom Verein Deutscher Eisenhüttenleute (VDEh), Düsseldorf, unterstützte Gemeinschaftsarbeit folgender Beteiligten und verantwortlichen Mitarbeiter:

AG der Dillinger Hüttenwerke, Dillingen
Hoesch Stahl AG, Dortmund
Klöckner Stahl GmbH, Bremen
Stahlwerke Peine-Salzgitter AG, Peine
Thyssen Stahl AG, Duisburg

Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit (LBF), Darmstadt

Dr. K. Hoffmann
Dr. W. Haumann
Dr. J. Schmidt-Zinges
Dr. J. Ehl
Dr. J. Degenkolbe,
Dr. H. Pircher
Dr. C.M. Sonsino,
Dipl.-Ing. F. Müller

Für die Leitung des Betreuerkreises sei an dieser Stelle Herrn Dr. J. Degenkolbe und für die Koordination Herrn Dr. F. Floßdorf (VDEh) gedankt. Ferner sei den ehemaligen Mitarbeitern des LBF, Herrn Dipl.-Ing. R. Olivier (TH Darmstadt), Herrn Dipl.-Ing. W. Ritter (Audi AG, Ingolstadt) und Herrn Dipl.-Ing. C. Kulka (Krauss Maffei AG, München), die bis 1985 an diesem Projekt gearbeitet haben, gedankt. Abschließend sei für die Förderung dieser Arbeit der EGKS und für die Unterstützung dem VDEh und den beteiligten Werken gedankt.

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurde die Schwingfestigkeit des Baustahls St 52-3 und des wetterfesten Baustahls WT St 52-3 nach mehrjähriger Bewitterung untersucht. Das Versuchsprogramm enthält sowohl die Untersuchung der Grundwerkstoffe (ungekerbter Flachstab), die jeweils von drei bzw. vier verschiedenen Stahlwerken zur Verfügung gestellt wurden, mit unterschiedlichen Oberflächenzuständen (Walzzustand, strahlentzundert, sowie stichprobenartig farbbeschichtet und geritzt), als auch zwei unterschiedliche Arten von Schweißverbindungen (Stumpfstoß und Quersteife), die jeweils nach dem UP-Verfahren und nach dem E-Handverfahren in zwei Betrieben hergestellt wurden.

Die Proben wurden in Freibewitterungsständen an zwei Industriestandorten mit entsprechender Atmosphäre über einen Zeitraum von sechs Jahren ausgelagert. In der vorliegenden Arbeit werden die Ergebnisse der unbewitterten, sowie der zwei- und sechsjährig ausgelagerten Versuchskörper ausgewertet und diskutiert. Ein signifikanter Einfluß der Stahlherstellung, des Oberflächenzustandes, des Schweißverfahrens oder des Auslagerungsortes auf die Schwingfestigkeit konnte hierbei nicht festgestellt werden.

Die ungeschweißten und ungekerbten Flachstäbe zeigen nach zwei- bzw. sechsjähriger Bewitterung einen Dauerfestigkeitsabfall bis zu 30 %, bezogen auf die Werte des unbewitterten Zustandes. Diese Aussage gilt für Proben, deren Kanten vor den Schwingfestigkeitsuntersuchungen abgerundet wurden. Falls die Kanten nur entgratet und anschließend im sechsjährig bewitterten Zustand belassen werden, so ist infolge der Spannungsüberhöhung an den Kanten ein zusätzlicher Abfall der Schwingfestigkeit im Mittel um weitere 10 % zu verzeichnen. Auch in diesem, in der Praxis möglichen ungünstigen Falle befinden sich ein Drittel der Ergebnisse noch im Streuband der zwei bzw. sechs Jahre bewitterten Proben mit abgerundeten Kanten. Die Untersuchungen weisen somit darauf hin, daß in der konstruktiven Praxis eine Abrundung von Kanten vorteilhafterweise vorgesehen werden sollte, obwohl stichprobenartige Untersuchungen gezeigt haben, daß das Abrunden der Kanten bei den unbewitterten Formelementen keinen positiven Einfluß auf die Schwingfestigkeit hat. Zu vermerken ist jedoch auch, daß ungeschweißte und ungekerbte Formelemente im Stahlbau selten vorkommen und daß deren Schwingfestigkeit selbst im ungünstigen Fall nach einer sechsjährigen Bewitterung immer noch höher ist als die Schwingfestigkeit von geschweißten Formelementen.

Die Schwingfestigkeit der im Stahlbau häufig vorkommenden Schweißverbindungen Stumpfstoß und Quersteife bleibt im Gegensatz zu den ungeschweißten Vollstäben durch eine zwei- oder sechsjährige Bewitterung unbeeinflusst. Hierbei ist das Schwingfestigkeitsverhalten der Stumpfstoße geometriebedingt demjenigen der Quersteifen überlegen.

Die Ursache für den Abfall der Schwingfestigkeit nach mehrjähriger Auslagerung ist im Falle der ungeschweißten Formelemente primär die Rauheitszunahme, die allerdings nach knapp zwei Jahren einen Sättigungszustand bei $R_a \approx 11$ bis $17 \mu\text{m}$ erreicht. Die Werkstoffabrostung führt nach sechsjährigen Bewitterung bei 14 mm dicken Blechen aus WT St 52-3 zu einer Dickenabnahme von etwa 2.5 %. Aufgrund der anderen chemischen Zusammensetzung beträgt der entsprechende Wert bei St 52-3 etwa 5.5 %. Daß das Festigkeitsverhalten der Schweißverbindung innerhalb der Bewitterungsdauer von sechs Jahren durch die Änderung des Oberflächenzustandes nicht beeinträchtigt wird, liegt daran, daß der festigkeitsmindernde Einfluß der Einbrandkerben noch ausgeprägter ist als der Einfluß der Oberflächenvernabung. Um festzustellen, ob bzw. inwieweit die Schwingfestigkeit nach der Bewitterung über sechs Jahre hinaus sich aufgrund einer zunehmenden Oberflächenvernabung verändern kann, sind weitere Untersuchungen an zehn Jahre ausgelagerten Formelementen geplant.

Da in der Praxis die Bewitterung einer mechanischen Belastung überlagert ist, wurden im Labor stichprobenartig einige Versuche an Proben vorgenommen, die zweimal täglich mit Leitungswasser befeuchtet wurden. Die Befeuchtung der bewitterten Probenoberflächen zeigte keine signifikante Beeinflussung des Schwingfestigkeitsverhaltens gegenüber dem trockenen Zustand.

Ein Teil der ungeschweißten, ungekerbten Flachstäbe wurde farbbeschichtet und anschließend mit einer Stahlnadel im Prüfquerschnitt angeritzt. Trotz dieser Verletzung konnte auch nach sechsjähriger Bewitterung kein signifikanter Schwingfestigkeitsabfall festgestellt werden. Dies unterstreicht einerseits den effektiven Schutz der Farbbeschichtung gegen atmosphärische Korrosion und andererseits die Bedeutung der Größe des angegriffenen Werkstoffvolumens auf das Festigkeitsverhalten.

Abschließend wurden die ermittelten Wöhlerlinien den Bemessungskennwerten diverser Regelwerke gegenübergestellt. Hierbei zeigt sich, daß im Vergleich zur DS 804 bzw. DIN 15018 der Eurocode bzw. der British Standard sowie der SIA 161 für mehrjährig bewitterte Flachstäbe in bezug auf die Dauerfestigkeit auf der sicheren Seite liegen, während in bezug auf die Schwingfestigkeit im Zeitfestigkeitsgebiet Abweichungen zu den herangezogenen Regelwerken bestehen. Da bei den Schweißverbindungen die zwei- bzw. sechsjährige Bewitterung ohne Einfluß blieb, wurde hierzu eine Erörterung der Regelwerke nicht vorgenommen.

0 SUMMARY

In this research program the fatigue life of the structural steel St 52-3 and the weathering steel WT St 52-3 after a weathering time of six years was investigated. The test program covered constant amplitude testing of the base material (flat, unnotched bar) with different quality of surface (as rolled, sand peened after rolling, and in some cases coated with protective colour and afterwards scratched in the middlepart of the specimen) and also two different types of weldments (butt weld and transverse stiffener) which were produced in two workshops by submerged arc welding and manual arc welding. The materials for the specimens were obtained from four different steelmakers in the case of the St 52-3 and three in the case of WT St 52-3.

The specimens were weathered in two locations with typical, industrial type atmosphere for a time of six years. In this paper the results of the unweathered and the weathered specimens (weathering period: two and six years) are discussed and compared to each other. The tests did not show any significant influence of material, steel maker, quality of surface, location of weathering, workshop or type of welding (submerged or manual arc welding) on fatigue life.

The unwelded unnotched flat bars showed a loss of endurance limit of 30 % after weathering periods of two and six years, if the edges were rounded before fatigue testing. The fatigue tests carried out with specimens without rounding the edges directly before the tests led to a mean loss of endurance limit of 40 % after a weathering period of six years when compared to the unweathered state. Thus the further reduction is mainly due to the stress concentration at the edges of the specimens and is representing a realistic worst case. In this worst case after a weathering period of six years the fatigue lifes of the unwelded flat bars are yet higher than those received for the welded states. However, a final rounding of edges during production should be recommended, instead of the fact, that for the unweathered flat bars no difference due to the rounded or unrounded edges could be observed. Here it has to be mentioned that unnotched and unwelded flat bars are seldom used in steel constructions.

For the welded specimens which represent the mainly used type of connection, no reduction of fatigue life was observed, because any influence of the corrosion during

the six years of weathering was countered by the effect of the toe of the weld reducing the fatigue strength. Due to its geometry, the butt welds are generally showing longer fatigue lives when compared to the transverse stiffeners.

The reason for the reduction of the endurance limits of the flat, unnotched specimens after a weathering of several years is the increase of the surface roughness, which reached values of R_a between 11 and 17 μm after two years. As longer weathering periods do not increase the roughness as much as in the first two years, the endurance limit has mainly decreased within the first two years of weathering. The loss of material due to corrosion led to a reduction of the thickness up to 2.5 % for the WT St 52-3 and 5.5 % for the St 52-3 after six years. In case of longer weathering periods it may be anticipated, that the fatigue life of the unwelded specimens could be further reduced due to the corrosive attack. For that reason further investigations after ten years of weathering are foreseen.

As in practice the components are subjected to corrosive attack and mechanical loading simultaneously, some specimens were wetted twice a day during fatigue tests with ordinary water. But no significant reduction of fatigue strength was registered, when compared to tests in the dry state.

Some of the unwelded, unnotched flat bars were colour coated before weathering. Although the coating was wounded by scratching of the middle parts of the specimens with a steel needle, no significant reduction of the fatigue strength was observed. This shows the effectiveness of protective coatings and proves also the influence of corrosion affected material's volume on the fatigue behaviour.

Finally, the derived S-N-curves and fatigue limits were compared to values of several design codes. The comparison showed, that the endurance limit of unnotched and unwelded flat bars after a weathering of several years was overestimated by some of the design codes (DS 804, DIN 15018), except the Eurocode, the British Standard and the SIA 161, and in the finite fatigue life range none of the design curves were conservative for the whole range. As weathering for several years did not reduce the fatigue lives of the welded specimens, the discussion of the design codes according to these types of construction elements was not carried out.

O RESUME

Dans ce programme de recherche, la durée de vie en fatigue d'un acier de construction St 52-3 et d'un acier patinable WT St 52-3 a été étudiée après une période d'exposition atmosphérique de six ans. Le programme expérimental comprenait des essais sous amplitude de contrainte constante sur le métal de base (éprouvettes plates, sans entaille) avec différentes qualités de surface (brut de laminage, sablé après laminage, revêtu par peinture protectrice et ensuite rayé au milieu de l'éprouvette, et aussi deux types d'assemblages (soudure bout à bout et soudure avec raidisseur transversal) qui ont été fabriqués dans deux ateliers par soudage automatique sous flux solide et par soudage manuel à l'arc. Les matériaux utilisés pour les éprouvettes provenaient de quatre (St 52-3) et trois (WT St 52-3) producteurs d'acier différents.

Les éprouvettes ont été exposées dans deux sites correspondant à une atmosphère industrielle typique, pendant une période de six ans. Les essais de fatigue ont été réalisés soit immédiatement après fabrication, soit après une période d'exposition de deux ans, soit finalement après une période d'exposition de six ans. Ces essais n'ont mis en évidence une influence significative ni du matériau, ni du sidérurgiste, ni de la qualité de surface, ni du site d'exposition, ni de l'atelier de fabrication, ni encore du procédé de soudage sur la durée de vie en fatigue.

Les éprouvettes plates, qui représentent des éléments de construction rares, montrent avec des carnes arrondies avant les essais une chute de la limite d'endurance de 30 % après une période d'exposition de deux ans et six ans. Mais si les carnes ne sont pas arrondies, un cas possible et défavorable dans des constructions, l'exposition de six ans conduit à une réduction de 40 %. Pour cette raison un arrondissement des carnes doit être toujours recommandée, malgré que les éprouvettes pas exposées n'ont pas montrées une influence des carnes pas arrondies. Les valeurs mentionnées sont calculées par rapport à la limite d'endurance du matériau non exposé. Malgré les chutes mentionnées, les limites d'endurance obtenues sont plus haut par rapport à les valeurs des assemblages soudées, qui représentent des éléments de construction les plus souvent.

La limite d'endurance des assemblages bout à bout et des assemblages avec raidisseur transversal ne diminue pas au cours de l'exposition.

La raison de la réduction des limites d'endurance des éprouvettes plates, sans entaille, après une exposition de plusieurs années est l'augmentation de la rugosité de la surface qui atteint des valeurs de R_a comprises entre 11 et 17 μm , après deux ans. Comme des plus longues périodes d'exposition n'augmentent pas autant la rugosité que les deux premières années, la réduction ultérieure de la limite d'endurance peut s'expliquer par l'augmentation du volume de métal affecté par la corrosion. La perte de matière due à la corrosion conduit à une réduction de l'épaisseur des éprouvettes de 14 mm jusqu'à 2.5 % pour la nuance WT St 52-3, et 5.5 % pour l'acier St 52-3, après six ans.

Dans le cas des éprouvettes soudées, aucune réduction de la durée de vie en fatigue n'est observée, parce que l'influence de la corrosion, pendant les six années d'exposition, est masquée par l'effet de réduction de la résistance à la fatigue due à la concentration de contrainte au pied de cordon.

Dans le cas de périodes d'exposition plus longues, dix ans par exemple, on peut s'attendre que la durée de vie en fatigue des éprouvettes non soudées peut diminuer encore par attaque corrosive. Après cette période, on peut aussi s'attendre à ce que le comportement des éprouvettes soudées peut être déterminé par la corrosion affectant le métal de base. Pour cette raison, des travaux ultérieurs, après dix ans d'exposition, sont prévus.

Comme en pratique les éléments de structure sont soumis à la fois à une attaque corrosive et à une sollicitation mécanique, quelques éprouvettes ont été humectées deux fois par jour pendant les essais de fatigue avec de l'eau ordinaire. Aucune réduction significative de la résistance à la fatigue n'a cependant été notée vis-à-vis des essais à l'air.

Quelques éprouvettes plates non soudées, non entaillées, ont été peintes avant exposition. Quoique le revêtement soit endommagé par rayure dans la partie centrale des éprouvettes, à l'aide d'une aiguille d'acier, aucune réduction significative de la résistance à la fatigue n'a été observée. Ceci montre l'efficacité des revêtements protecteurs, et prouve aussi l'influence du montant de volume du matériau affecté par la corrosion sur le comportement en fatigue.

Finalement, les courbes S-N et les limites de fatigue qui ont été déterminées, ont été comparées aux valeurs proposées par plusieurs codes de conception. La comparaison montre que la limite d'endurance des éprouvettes plates non entaillées et non soudées, après une période d'exposition de deux et six ans, est surestimée par les codes DS 804 et DIN 15018, excepté l'Eurocode, la norme britannique et suisse et, dans le domaine de l'endurance limitée, aucun code n'est conservatif. Dans le cas de sollicitation d'amplitude variable, cela peut conduire à une surestimation de la durée de vie en fatigue. Pour les assemblages soudés la comparaison avec les codes n'est pas faite, parce que l'exposition atmosphérique est restée sans influence. Ainsi, une révision des courbes de conception particulières dans les codes doit être réalisée aussitôt que possible en considérant le rôle de l'exposition atmosphérique.

INHALTSVERZEICHNISSeite

0. ZUSAMMENFASSUNG	V
1. EINLEITUNG	1
2. WERKSTOFFE, PROBEN UND AUSLAGERUNG	2
2.1. Werkstoffe	2
2.2. Probenform und Herstellung	2
2.3. Auslagerung	4
2.3.1. Meteorologische Daten	5
2.3.2. Abrostungsrate und Rauheit	5
3. VERSUCHSDURCHFUEHRUNG UND AUSWERTUNG	7
3.1. Versuchsdurchführung	7
3.2. Auswertung	8
4. DARSTELLUNG UND DISKUSSION DER VERSUCHSERGEBNISSE	9
4.1. Grundwerkstoff-Vollstab	9
4.2. Schweißverbindung - Stumpfstoß	12
4.3. Schweißverbindung - Quersteife	13
4.4. Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse	14
5. ZUORDNUNG DER ERGEBNISSE ZU EINIGEN REGELWERKEN UND SCHLUSSFOLGERUNGEN	16
6. LITERATUR	19
 HAUPTTEIL	 25
ANHANG 1 : Meteorologische Daten	47
2 : Wöhlerlinien der Flachstäbe	61
3 : Wöhlerlinien der Stumpfstöße	89
4 : Wöhlerlinien der Quersteifen	99
5 : Statistische Analysen	109
6 : Aussehen der Bruchflächen und Gefüge	135