

# Das Verhalten von reparaturgeschweißten Altstählen unter nicht vorwiegend ruhender Beanspruchung

## Inhaltsverzeichnis

### 1 Das Verhalten von reparaturgeschweißten Altstählen unter nicht vorwiegend ruhender Beanspruchung

#### Teil 1: Stand der Technik und Versuche

1.1	Einleitung	1
1.2	Antrieb	1
1.3	Stand der Erkenntnisse	2
1.3.1	Normung	2
1.3.2	Forschung	2
1.3.3	Ermüdungssicherheit	2
1.4	Herangehensweise	3
1.4.1	Herkunft der Proben	3
1.4.2	Anfertigung der Proben	3
1.4.3	Schweißleistungsuntersuchung	4
1.4.4	Dauerschwingversuche	5

#### Literatur

6

## Abbildungsverzeichnis

1	Schleusenkette, Grundwerkstoff G01, Foto: SLV Halle GmbH	3
2	Verbandsstab, Grundwerkstoff G02, Foto: SLV Halle	3
3	Kranträger, Grundwerkstoff G03, Foto: SLV Halle GmbH	3
4	Genietete Winkelstütze, Grundwerkstoff G04, Foto: Metallbau Adamczyk GmbH	3
5	Grundwerkstoff G01, Probenentnahmeplan [13]	4
6	Grundwerkstoff G02, Probenentnahmeplan	4
7	Ausarbeitung der Proben [13]	4
8	Ausarbeitung der Proben [13]	4
9	Mechanische Kennwerte der Probe G04	4
10	Kerbschlagarbeit der Probe G04, gegläht und ungegläht	4
11	Funkenerosionsprüfung, 3-fach abgefunkte Probe, Foto: SLV Halle	4
12	Spektrometer SpectroMaxx, SPECTRO Analytical Instruments, Foto: SLV Halle	4
13	Legierungsbestandteile der Probe G04 in Massen-%	4
14	Grundwerkstoffprobe, Foto: SLV Halle	5
15	Hochfrequenzpulsator Amsler HFP 5100, Foto: SLV Halle	5
16	Schliff durch die WEZ	5
17	Dauerschwingprobe FAT 90, Foto: SLV Halle	5
18	Dauerschwingprobe FAT 90 mit Riss, Schliff, Foto: SLV Halle	5
19	Grundwerkstoff, keine Speckschicht, Schliff, Foto: SLV Halle	6
20	Grundwerkstoff mit Wärmeeinflusszone, Schliff, Foto: SLV Halle	6

21	Dauerschwingprobe FAT 112 mit Riss, Schliff, Foto: SLV Halle	6
22	Dauerschwingprobe FAT 112 mit Riss, Schliff, Vergrößerung, Foto: SLV Halle	6
23	Dauerschwingprobe FAT 90 mit Riss, Schliff, Foto: SLV Halle	6
24	Dauerschwingprobe FAT 90 mit Riss, Schliff, Vergrößerung, Foto: SLV Halle	6
25	Dauerschwingprobe FAT 71 mit Riss, Schliff, Foto: SLV Halle	6
26	Dauerschwingprobe FAT 71 mit Riss, Schliff, Vergrößerung, Foto: SLV Halle	6
27	Dauerschwingprobe FAT 36 mit Riss, Schliff, Foto: SLV Halle	6
28	Dauerschwingprobe FAT 36 mit Riss, Schliff, Vergrößerung, Foto: SLV Halle	6

## Tabellenverzeichnis

1	Herkunft der Proben	3
2	Untersuchte FAT-Klassen	5

### 1 Das Verhalten von reparaturgeschweißten Altstählen unter nicht vorwiegend ruhender Beanspruchung

#### Teil 1: Stand der Technik und Versuche

#### 1.1 Einleitung

In diesem Beitrag - als erster von zwei Teilen - werden die Ergebnisse eines abgeschlossenen Forschungsvorhabens der SLV Halle GmbH beschrieben, das sich mit der Beanspruchbarkeit von **Schweißnähten** befasst, die zur Reparatur von sogenannten **Altstählen** verwendet werden.

Betrachtet werden Kleinproben, die nicht vorwiegend ruhend beansprucht sind. Im Zuge dieser Untersuchungen werden die Schwingfestigkeitsklassen von Grundwerkstoff und unterschiedlich ausgeführten Schweißnähten analysiert.

Der vorliegende erste Teil beschreibt den Stand der Technik und die durchgeführten Versuche. Die numerische Auswertung und die Bewertung der Ergebnisse werden im zweiten Teil des Beitrages vorgestellt.

#### 1.2 Antrieb

In etlichen Bereichen der öffentlichen Infrastruktur [1] kommt es in den letzten Jahren zunehmend dazu, dass Stahlbauwerke auf Grund von Schädigungen infolge Ermüdung und oder Korrosion nur noch mit Einschränkungen weiter betrieben werden können oder gar außer Betrieb zu nehmen sind.

Das betrifft in der öffentlichen Wahrnehmung vor allem Brückenbauwerke für Straße und Schiene. Hier sind für die

Schädigungen aus Ermüdung die Vorgehensweisen in [2] und [3] geregelt. In Österreich [4] und in der Schweiz [5] existieren vergleichbare Regelwerke.

Tatsächlich sind auch andere Bauwerke als nur Brückenbauwerke betroffen. Exemplarisch sind auch darüber hinaus Schleusentore, Krananlagen, Maste und andere dynamisch beanspruchte Bauwerke zu nennen.

Diese Bauwerke sind durch zwei Übereinstimmungen gekennzeichnet: Sie bestehen aus **Altstahl** und sie weisen **Schäden** auf, die repariert werden müssen.

Für Stahlbauwerke, an denen Schweißungen zu Reparaturzwecken vorgenommen werden sollen, fehlt jedoch eine normative Regelung. Lediglich die Bahn definiert in [3], dass an Brückenbauwerken, die vor 1930 errichtet wurden, nicht geschweißt werden darf, eine Begründung wird nicht formuliert. Die anderen Vorschriften äußern sich nicht zu Schweißarbeiten an alten Stählen. Es wäre doch unter anderem unter dem Aspekt der Kosten sehr wünschenswert, wenn zum Beispiel ein Ermüdungsriß an einem Querträgeranschluss durch Schweißung saniert werden dürfte.

Das Interesse an diesem Thema besteht zum einem darin, dass die Reparatur, und sei sie nur um weitere fünf Jahre Nutzungszeit zu erzielen, Geld spart und zum anderen werden die Zeitläufe der Planung eines Ersatzneubaues verkürzt.

Kurz gesagt: Das spart Geld und Zeit.

### 1.3 Stand der Erkenntnisse

#### 1.3.1 Normung

Die Normung äußert sich zu diesen Sachverhalten nur in der RIL 805 der Deutschen Bahn AG [3]. Dort wird **das Schweißen an Bauwerken von vor 1930 untersagt**. An später errichteten Bauwerken darf nur geschweißt werden, wenn die Bestandsunterlagen es eindeutig zulassen.

Weitere Fundstellen in Normen des deutschsprachigen Raumes können trotz intensiver Recherche nicht gefunden werden.

Alle anderen Vorschriften, die sich mit nicht vorwiegend ruhend beanspruchten Bauwerken befassen, heben auf **Schweißen an Altstählen** nicht ab. Sie kennen dieses Problem schlicht nicht.

#### 1.3.2 Forschung

Die Forschung in dieser Schnittmenge von Stahlbau und Schweißtechnik ist nur wenig ausgeprägt.

STEIDL [6] hat 1972 dazu erste Überlegungen angestellt. MÖLL hat [7] bei einem realisierten Projekt in Frankfurt am Main dazu weitere Untersuchungen durchgeführt.

Darüber hinaus haben sich LÜDDECKE [8] und HELMERICH [9] in einigen Vorhaben dieser Problematik angenommen.

Aktuelle Forschungen von PASTERNAK und CHWASTEK an der BTU Cottbus befassen sich mit reparierten Schweißnähten an Neustählen [10] [11]. Auf Altstähle heben sie nicht ab.

Weitere Veröffentlichungen zu diesem Themenkomplex sind mir nicht bekannt. Hier besteht noch Handlungsbedarf.

#### 1.3.3 Ermüdungssicherheit

Zur Bewertung der Ermüdungssicherheit stehen neben den experimentellen Verfahren mehrere rechnerische Konzepte zur Verfügung. Die verbreitetsten sind das Kern-, das Struktur- und das Nennspannungskonzept.

Das Kerb- und das Strukturspannungskonzept sind lokale Konzepte, das Nennspannungskonzept ist ein globales Konzept.

Beim Kerbspannungskonzept wird am Ort des vermuteten Versagens (Einbrandkerbe am Nahtübergang oder an der Wurzel) davon ausgegangen, dass die volle Kerbspannung im Kerbgrund nicht ermüdungswirksam wird. Alle Kanten der Schweißnahtübergänge werden mit einem fiktiven Radius  $r_f = 1,0 \text{ mm}$  belegt und mit einer Wöhlerlinie FAT 225 verglichen.

Das ist ein sehr präzises Verfahren, das aber in der Regel nur mit Hilfe der FE-Methode zu bearbeiten ist und einen hohen Aufwand an Modellierung verlangt. In diesem Verfahren sind alle Einflüsse enthalten.

$$K_t = \frac{\Delta\sigma_{\text{Kerb}}}{\Delta\sigma_{\text{Nenn}}} \text{ bzw. } \Delta\sigma_{\text{Kerb}} = K_t \cdot \Delta\sigma_{\text{Nenn}} \quad (1)$$

Beim Strukturspannungskonzept werden nur lokale geometrische Effekte erfasst. Die Kerbwirkung der Schweißnaht selber bleibt unberücksichtigt. Hierbei werden über Stützstellen mit definierten Orten und Abständen die Spannungen in der Einbrandkerbe - der sogenannte Hot-Spot - extrapoliert. Deshalb wird hier entweder ebenfalls mit der FE-Methode oder mit Dehnmessstreifen gearbeitet.

$$k_t = \frac{\Delta\sigma_{\text{Stru}}}{\Delta\sigma_{\text{Nenn}}} \text{ bzw. } \Delta\sigma_{\text{Stru}} = k_t \cdot \Delta\sigma_{\text{Nenn}} \quad (2)$$

Das Nennspannungskonzept ist das einfachste Konzept. Es betrachtet das Tragwerk global. Hier wird ein Spannungsnachweis geführt und das betrachtete Kerbdetail wird der errechneten Nennspannung gegenübergestellt. Die höchste zu erreichende FAT-Klasse ist die FAT 160. Lokale Einflüsse, die in den beiden anderen Verfahren berücksichtigt werden, entfallen hier. Sie sind über das Kerbdetail (die FAT-Klasse) abgedeckt. Diese werden in der Regel durch

Versuche abgesichert. Schweißnahtimperfectionen sind in diesem Verfahren nicht abgedeckt.

Dieses Verfahren wird hier betrachtet und die entsprechenden Kerbdetails werden in Ergänzung zu den bereits bestehenden für Neustähle untersucht.

Der Nachweis der Ermüdungssicherheit erfolgt dann durch

$$\frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E,2}}{\Delta\sigma_{C,Nenn}/\gamma_{Mf}} \leq 1,0 \quad (3)$$

, wobei die Spannungsschwingbreite für die Nennspannung mit

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E,2} = \lambda_1 \cdot \dots \cdot \lambda_n \cdot \Delta\sigma(\gamma_{Ff}, Q_k) \quad (4)$$

errechnet wird. Hierin stellen die  $\lambda_i$  die Schadensäquivalenzfaktoren dar. Dabei kann, wenn zum Beispiel große Steifigkeitssprünge auftreten, auch die korrigierte Nennspannung zur Anwendung kommen. Dann wird mit dem Spannungskonzentrationsfaktor  $k_f$  gerechnet.

$$k_f \cdot \frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E,2}}{\Delta\sigma_{C,Nenn}/\gamma_{Mf}} \leq 1,0 \quad (5)$$

#### 1.4 Herangehensweise

Die SLV Halle GmbH hat im Zuge dieser Fragestellungen ein Forschungsvorhaben [12] aufgenommen, das zum Inhalte hat, die Frage des Zusammenspiels Reparaturschweißung mit Altstahl zu untersuchen. Es wird dabei in Kooperation mit dem Lehrstuhl für Stahlbau der BTU Cottbus gearbeitet.

Aus unterschiedlichen Bauwerken werden Proben entnommen und analysiert. In der Regel handelt es sich bei den Proben um Bauteile, die verschrottet werden sollen.

Hier wird exemplarisch an einer genieteten Winkelstütze des U-Bahnhofs Warschauer Straße (Abb. 4) in Berlin, Linie U1, beschrieben, wie vorgegangen wird.

Insgesamt jedoch werden Untersuchungen an vier Bauwerken aus vier Bundesländern durchgeführt, bei denen insgesamt 123 Dauerschwingversuche für 16 Kerbdetails vorgenommen werden.



Abb. 1: Schleusenkette, Grundwerkstoff G01, Foto: SLV Halle GmbH

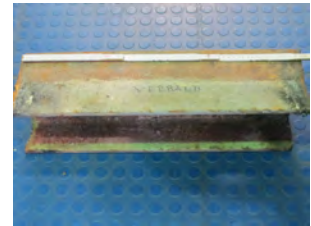


Abb. 2: Verbandsstab, Grundwerkstoff G02, Foto: SLV Halle GmbH

#### 1.4.1 Herkunft der Proben

Der erste untersuchte Grundwerkstoff (G01) stammt von einer Schleusenkette in Randersacker, Bayern, der zweite (G02) wurde aus einer Untertageanlage in Heringen, Hessen, gewonnen.

Der Grundwerkstoff G03 stammt aus Halle, Sachsen-Anhalt. Bei ihm handelt es sich um einen ausrangierten Kranträger. Der vierte Grundwerkstoff (G04) schließlich ist eine ausgetauschte Stütze eines U-Bahnhofes in Berlin.



Abb. 3: Kranträger, Grundwerkstoff G03, Foto: SLV Halle GmbH



Abb. 4: Genietete Winkelstütze, Grundwerkstoff G04, Foto: Metallbau Adamczyk GmbH

Die nachfolgenden Passagen beziehen sich vorwiegend auf den Grundwerkstoff G04 (Winkelstütze).

Nr.	Probe	Werkstoff	Code
1.	G01	Thomas-Stahl (TS)	(G01)
2.	G02	Siemens-Martin-Stahl (SMS)	(G02)
3.	G03	Thomas-Stahl (TS)	(G03)
4.	G04	Thomas-Stahl (TS)	(G04)

Tab. 1: Herkunft der Proben

#### 1.4.2 Anfertigung der Proben

Die Proben werden in Anbetracht der teilweise nur in kleinen Mengen vorhandenen Grundwerkstoffe äußerst effizient

ent aus diesen gewonnen (Abb.5 und 6).

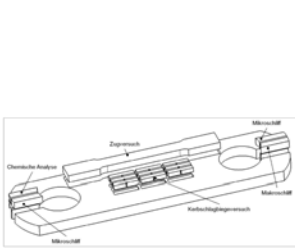


Abb. 5: Grundwerkstoff G01, Probenentnahmeplan [13]

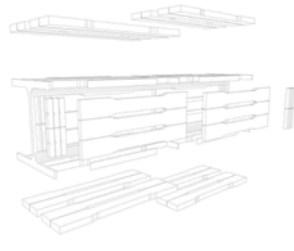


Abb. 6: Grundwerkstoff G02, Probenentnahmeplan

Die Proben müssen dafür ausreichend sein, dass daraus Zugproben, Kerbschlagproben und Dauerschwingproben gewonnen werden können. Die Schliffe werden in der Regel an bereits verbrauchten Proben vorgenommen.

Die geschweißten Proben werden erst geschweißt und nachträglich ausgearbeitet (Abb. 7 und 8).

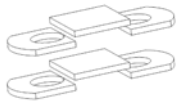


Abb. 7: Ausarbeitung der Proben [13]

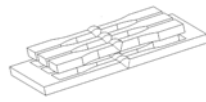


Abb. 8: Ausarbeitung der Proben [13]

Alle Schweißungen werden von den Ausbildern der SLV Halle mit der gleichen Elektrode durchgeführt. Die Stumpfnähte werden mit einem Öffnungswinkel von 60° vorbereitet.

Es wird eine rutilbasierte Stabelektrode Phoenix SH Gelb B (E 38 2 RB 12 nach DIN EN ISO 2560-A [14]) der Firma T-PUT verwendet. Die Herstellung erfolgt in Zugraupentechnik mit einer Gegenlage (außer FAT 71). Die Bewertung erfolgt auf Grundlage der Bewertungsgruppe B nach DIN EN ISO 5817 [15].

Die Kehlnähte werden mit der gleichen Elektrode geschweißt, hier wird ebenfalls die Zugraupentechnik verwendet.

### 1.4.3 Schweißleistungsuntersuchung

An der SLV Halle wird ein kompletter Untersuchungsdurchlauf für eine Schweißleistungsprüfung vorgenommen. Aus der ausgebauten Stütze werden Proben entnommen.

Dann werden die mechanischen Kennwerte Streckgrenze  $f_{y,k}$  und Zugfestigkeit  $f_{u,k}$  ermittelt. In allen untersuchten Proben lassen die Ergebnisse die Einordnung der untersuchten Probe in einen Stahl S235 bzw. in einen schwachen S355 zu (Abb. 9). Die Proben ergeben eine Streckgrenze von  $f_{y,k} = 289 \text{ N/mm}^2$ , die Zugfestigkeit wird mit  $f_{u,k} = 355 \text{ N/mm}^2$  gemessen.

Weiterhin werden Kerbschlagproben angefertigt. In diesem besonderen Fall sind es zwei Sätze Proben, die betrachtet werden. Der erste Satz wird aus dem unveränderten Grundwerkstoff genommen, der zweite Satz wird bei 1.000°C ge- glüht und dann untersucht (Abb. 10).

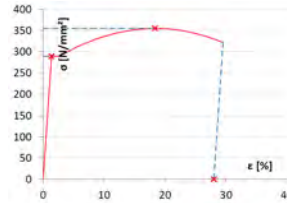


Abb. 9: Mechanische Kennwerte der Probe G04

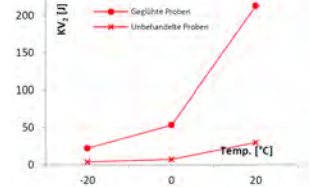


Abb. 10: Kerbschlagarbeit der Probe G04, ge- glüht und ungeglüht

Die Kerbschlagproben zeigen in der Regel ein großes Maß an Versprödung (bei 0°C lediglich 7 J), lassen sich aber durch Glühen bei 1.000°C wieder auf sehr gute Werte (53 J bei 0°C) anheben (Abb. 10).



Abb. 11: Funkenerosionsprüfung, 3-fach abgefunkte Probe, Foto: SLV Halle



Abb. 12: Spektrometer SpectroMaxx, SPECTRO Analytical Instruments, Foto: SLV Halle

Zeitgleich wird zur Bestimmung der Legierungsbestandteile (chemische Analyse) eine Funkenerosionsprüfung (Abb. 11 und 12) durchgeführt.

Hier ist von besonderem Interesse, wie hoch die Anteile von Stickstoff (Herd- oder Windfrisch-Verfahren), Silizium (beruhigte Vergießung) und Aluminium (besonders beruhigte Vergießung) sind. Die Legierungselemente Phosphor und Schwefel sind für die Heissrissbildung maßgeblich mit verantwortlich.

In der zurückgezogenen Norm DIN 17100 [16] sind für diese Elemente Obergrenzen für die Schweißleistung angegeben.

P	S	Al	N
0,066	0,062	0,001	0,017
0,076	0,066	0,001	0,009
0,073	0,062	0,001	0,009
<b>0,072</b>	<b>0,063</b>	<b>0,001</b>	<b>0,012</b>

Abb. 13: Legierungsbestandteile der Probe G04 in Massen-%

Es handelt sich bei dem untersuchten Material vermutlich um einen Thomas-Stahl mit hohen Werten<sup>1</sup> an Phosphor (0,072 %) und Schwefel (0,063 %). Dieser muss unberuhigt vergossen worden

<sup>1</sup> Die Angaben erfolgen in Massen-%

sein, da kein Silizium und kaum Aluminium (0,001 %) nachgewiesen werden können (Abb. 13).

Als Ergebnis der Schweißprüfung wird der vorliegende Stahl als **nicht schweißgeeignet** eingestuft. Das liegt neben den hohen Werten der Eisenbegleiter Schwefel, Phosphor und Stickstoff auch an den fehlenden Duktilitätswerten, die sich in der Kerbschlagarbeit wiederfinden.

#### 1.4.4 Dauerschwingversuche

Nachdem die mechanischen Kennwerte bekannt sind, werden die Proben Dauerschwingversuchen unterzogen. Die Abb. 14 und 15 zeigen einen solchen Versuch. Dazu werden verschiedene FAT-Klassen betrachtet. Nach der Probenherstellung werden die gewonnenen Proben in den Prüfständen einem Dauerschwingversuch im Hochfrequenzpulsator unterzogen.



Abb. 14: Grundwerkstoffprobe, Foto: SLV Halle



Abb. 15: Hochfrequenzpulsator Amsler HFP 5100, Foto: SLV Halle

Es werden insgesamt fünf verschiedene Probenreihen betrachtet. Als erstes wird der reine Grundwerkstoff untersucht. Nach der gültigen Norm DIN EN 1993-1-9 [17] handelt es sich dabei um die FAT-Klasse 160.

Als nächster Schritt wird der Grundwerkstoff untersucht, der eine Auftragsraupe erhält, die dann wieder blechen beschliffen wird. Hierbei handelt es sich ebenfalls formal um eine FAT 160. Dadurch wird der Einfluss der Wärmeinflusszone abgedeckt. In Abb. 16 ist schön zu erkennen, wie die Auftragsraupe zur Kornfeinung des Grundwerkstoffes beiträgt.

Danach werden die Vollnähte FAT 112 (bs<sup>2</sup>, blechen beschliffen, ZfP<sup>3</sup>), FAT 90 (bs, Bewertungsgruppe B, ZfP) und FAT 71 (ss<sup>4</sup>, Bewertungsgruppe B, ZfP) untersucht.

Die eingeklammerten Zahlen kodieren den untersuchten Zustand der Proben einheitlich.

<sup>2</sup> both sides: von beiden Seiten geschweißt

<sup>3</sup> Zerstörungsfreie Prüfung durch Röntgen oder Ultraschall

<sup>4</sup> single side: von einer Seite geschweißt

Nr.	FAT-Klasse	Bezeichnung.	Code
1.	FAT 160	Grundwerkstoff	(-01)
2.	FAT 160	Grundwerkstoff mit WEZ	(-02)
3.	FAT 112	Vollnaht Sondergüte	(-03)
4.	FAT 90	Vollnaht Normalgüte	(-04)
5.	FAT 71	Vollnaht einseitig	(-05)
6.	FAT 36	Kreuzstoß	(-06)

Tab. 2: Untersuchte FAT-Klassen

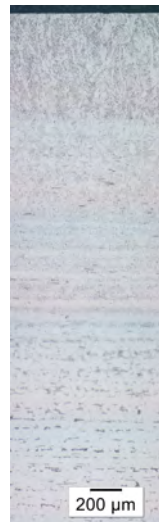


Abb. 16: Schliff durch die WEZ

Die Probe G02-02 beschreibt also den Grundwerkstoff 02, der als Grundwerkstoff mit Wärmeinflusszone untersucht wird.

Die Dauerschwingprobe FAT 36, der Kreuzstoß, wurde für diesen Grundwerkstoff nicht untersucht. Hier war nur aus einer Probe (G03) ausreichend Material verfügbar.

In Abb. 17 ist eine Dauerschwingprobe G04-04 für die FAT-Klasse 90 (-04) des Grundwerkstoffes G04 dargestellt. Die Markierung stellt die spätere Führung des Schliffes (Abb. 18) dar.

Im Schliff ist der Riss deutlich zu erkennen, der sich am Nahtansatz eingestellt hat. Das entspricht genau der Darstellung im EC3.

In jeder der fünf Versuchsreihen werden acht Proben hergestellt und hinsichtlich ihres Dauerschwingverhaltens untersucht. Es sind also für den Grundwerkstoff G04 insgesamt 40 Proben angefertigt worden. Die Proben werden für das Spannungsverhältnis  $R = 0,10$  untersucht.



Abb. 17: Dauerschwingprobe FAT 90, Foto: SLV Halle



Abb. 18: Dauerschwingprobe FAT 90 mit Riss, Schliff, Foto: SLV Halle

Die Proben werden ohne weitere Oberflächenbehandlung, nur mit den entsprechenden Schweißungen, in die Pulsatoren eingespannt und dann im Resonanzverfahren geschwungen. Mit dem Riss ändert sich die Eigenfrequenz der Probe und der Versuchslauf bricht ab.

Als Durchläufer werden diejenigen Proben gewertet, die mehr als  $n = 10^7$  Zyklen überleben. Auch nach Erreichen dieser Schwingspielzahl wird der Versuchsdurchlauf beendet.

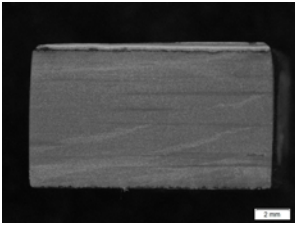


Abb. 19: Grundwerkstoff, keine Speckschicht, Schliff, Foto: SLV Halle

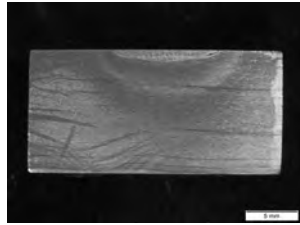


Abb. 20: Grundwerkstoff mit Wärmeinflusszone, Schliff, Foto: SLV Halle

Nachfolgend sind weitere typische Rissbilder aus den Versuchsreihen abgebildet.

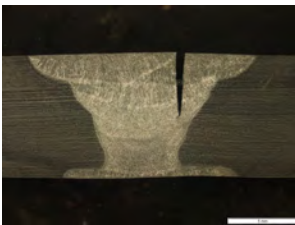


Abb. 21: Dauerschwingprobe FAT 112 mit Riss, Schliff, Foto: SLV Halle



Abb. 22: Dauerschwingprobe FAT 112 mit Riss, Schliff, Vergrößerung, Foto: SLV Halle

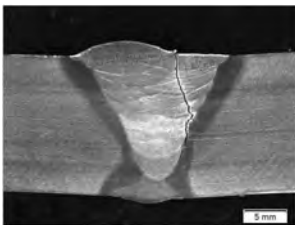


Abb. 23: Dauerschwingprobe FAT 90 mit Riss, Schliff, Foto: SLV Halle

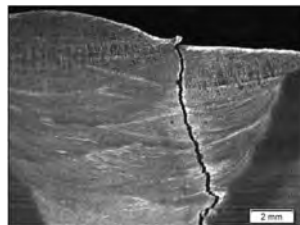


Abb. 24: Dauerschwingprobe FAT 90 mit Riss, Schliff, Vergrößerung, Foto: SLV Halle

Dieser Artikel setzt sich mit einem zweiten Teil fort, der sich mit der Auswertung der gewonnenen Wöhler-Linien befasst und wie daraus ertragbare Schwingbreiten gewonnen werden können.

## Literatur

- [1] Deutscher Bundestag, Hrsg. *Dringender Sanierungsbedarf bei 221 Brücken von Bundesautobahnen und Bundesstraßen*. [Online-Zitat vom: 20. Dezember 2015]. Deutscher Bundestag, 2013. URL: [https://www.bundestag.de/presse/hib/2013\\_01/01/251760](https://www.bundestag.de/presse/hib/2013_01/01/251760).

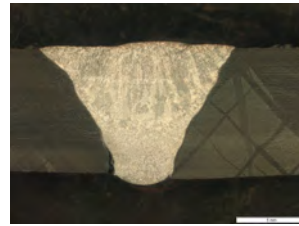


Abb. 25: Dauerschwingprobe FAT 71 mit Riss, Schliff, Foto: SLV Halle



Abb. 26: Dauerschwingprobe FAT 71 mit Riss, Schliff, Vergrößerung, Foto: SLV Halle



Abb. 27: Dauerschwingprobe FAT 36 mit Riss, Schliff, Foto: SLV Halle

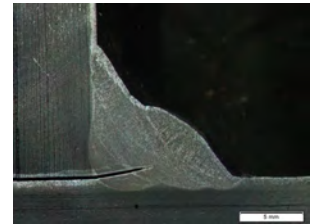


Abb. 28: Dauerschwingprobe FAT 36 mit Riss, Schliff, Vergrößerung, Foto: SLV Halle

- [2] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. Abteilung Straßenbau, Hrsg. *Richtlinie zur Nachrechnung von Straßenbrücken im Bestand (Nachrechnungsrichtlinie)*. Selbstverlag. Bonn, 2011.
- [3] Deutsche Bahn AG, Hrsg. *Richtlinie 805: Tragsicherheit bestehender Eisenbahnbrücken*. Selbstverlag. Frankfurt/Main, 2010.
- [4] ON Österreichisches Normungsinstitut, Hrsg. *ONR 24008: Bewertung der Tragfähigkeit bestehender Eisenbahn- und Straßenbrücken*. Selbstverlag. Wien, 2006.
- [5] I-AM 08/2002. *Richtlinie für die Beurteilung von genieteten Eisenbahnbrücken*. Schweizerische Bundesbahnen SBB AG (SBB, CFF, FFS), 2002.
- [6] G. Steidl. „Schweißverhalten von Baustählen aus der Zeit von 1885 bis 1940“. In: *Schweißen und Schneiden* 24. DVS Media GmbH. Düsseldorf, 1972.
- [7] R. Möll. „Altstahlschweißen und Nieten am Eisernen Steg in Frankfurt am Main“. In: *Stahlbau*. Ausgabe 66. Heft 5. Mai 1997. Ernst & Sohn. Berlin, 1997.
- [8] F. Lüddecke. *Ein Beitrag zur Ertüchtigung bestehender Stahltragwerke unter besonderer Berücksichtigung des Fügeverfahrens Schweißen*. Dissertation. Wirtschaftsverlag NW Verlag für neue Wissenschaft. Bremerhaven, 2006.
- [9] R. Helmerich. *Forschungsbericht 271: Alte Stähle und Stahlkonstruktionen. Materialuntersuchungen, Ermüdungsversuche an originalen Brückenträgern und Messungen von 1990 bis 2003*. Wirtschaftsverlag NW Verlag für neue Wissenschaft. Bremerhaven, 2005.

- [10] H. Pasternak und A. Chwastek. „Zur Entwicklung eines Bemessungskonzeptes für die Lebensdauer von Reparaturschweißungen. Teil 1 - Stand der Technik“. In: Bauingenieur. Band 90. Februar 2015. Springer VDI-Verlag. Düsseldorf, 2015.
- [11] H. Pasternak und A. Chwastek. „Zur Entwicklung eines Bemessungskonzeptes für die Lebensdauer von Reparaturschweißungen. Teil 2 - Ermittlung der Schwingfestigkeitsklassen“. In: Bauingenieur. Band 90. Juni 2015. Springer VDI-Verlag. Düsseldorf, 2015.
- [12] J. Schuster. *Forschungsantrag der SLV Halle: Einfluss des Reparaturschweißens auf vorwiegend ruhenden und zyklische Beanspruchbarkeit von Konstruktionen und Bauteilkomponenten aus Altstahl*. SLV-Halle. Selbstverlag. Halle/Saale, 2012.
- [13] N. Baule. *Einfluss des Reparaturschweißens auf vorwiegend ruhende und zyklische Beanspruchbarkeit von Konstruktionen und Bauteilkomponenten aus Altstählen*. Bachelorarbeit. Selbstverlag. Leipzig, 2013.
- [14] DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Hrsg. *DIN EN ISO 2560:2010-03: Schweißzusätze - Umhüllte Stabelektroden zum Lichtbogenhandschweißen von unlegierten Stählen und Feinkornstählen - Einteilung (ISO 2560:2009); Deutsche Fassung EN ISO 2560:2009*. Beuth Verlag. Berlin, 2010.
- [15] DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Hrsg. *DIN EN ISO 5817:2014-06: Schweißen - Schmelzschweißverbindungen an Stahl, Nickel, Titan und deren Legierungen (ohne Strahlschweißen) - Bewertungsgruppen von Unregelmäßigkeiten (ISO 5817:2014); Deutsche Fassung EN ISO 5817:2014*. Beuth Verlag. Berlin, 2014.
- [16] DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Hrsg. *DIN 17100-01:1980-01: Allgemeine Baustähle. Gütenorm*. Beuth-Verlag. Berlin, 1980.
- [17] DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Hrsg. *DIN EN 1993-1-9:2010-12 (Eurocode 3): Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten. Teil 1-9. Ermüdung. Deutsche Fassung*. Beuth-Verlag. Berlin, 2010.