

# Das Verhalten von reparaturgeschweißten Altstählen unter nicht vorwiegend ruhender Beanspruchung

## Inhaltsverzeichnis

1	Das Verhalten von reparaturgeschweißten Altstählen unter nicht vorwiegend ruhender Beanspruchung	
	Teil 2: Auswertung der Versuche und Berechnung der Schwingbreiten	1
1.1	Einleitung	1
1.2	Ergebnisse der Dauerschwingversuche	1
1.2.1	Ermittelte Schwingbreiten für $R = 0,10$	1
1.2.2	Errechnete Schwingbreiten für $R = 0,50$	3
1.2.3	Einordnung in die Kategorisierung des EC3	4
1.3	Interpretation der Ergebnisse	4
1.4	Übertragung der Ergebnisse	5
1.5	Kritik an den Ergebnissen	5
1.6	Danksagung	5

## Literatur

5

## Abbildungsverzeichnis

1	Schwingversuch Probe G04-01, FAT 160, Wöhlerlinienneigung $m = 1,000$ , Abknickpunkt bei $1,0 \cdot 10^7$ Lastwechseln, errechnete Streuung $T_{90:10} = 1,07$ , Schwingbreite $187 \text{ N/mm}^2$	2
2	Schwingversuch Probe G04-02, FAT 160, Wöhlerlinienneigung $m = 92,45$ , Abknickpunkt bei $1,0 \cdot 10^7$ Lastwechseln, errechnete Streuung $T_{90:10} = 1,09$ , Schwingbreite $202 \text{ N/mm}^2$	2
3	Schwingversuch Probe G04-03, FAT 112, Wöhlerlinienneigung $m = 32,12$ , Abknickpunkt bei $7,0 \cdot 10^7$ Lastwechseln, errechnete Streuung $T_{90:10} = 1,18$ , Schwingbreite $183 \text{ N/mm}^2$	2
4	Schwingversuch Probe G04-04, FAT 90, Wöhlerlinienneigung $m = 9,38$ , Abknickpunkt bei $2,0 \cdot 10^6$ Lastwechseln, errechnete Streuung $T_{90:10} = 1,12$ , Schwingbreite $145 \text{ N/mm}^2$	3
5	Schwingversuch Probe G04-05, FAT 71, Wöhlerlinienneigung $m = 4,65$ , Abknickpunkt bei $2,0 \cdot 10^6$ Lastwechseln, errechnete Streuung $T_{90:10} = 1,17$ , Schwingbreite $109 \text{ N/mm}^2$	3
6	Schwingversuch Probe G04-01, FAT 160, SMITH-Diagramm, $R = 0,50$ , Schwingbreite $127 \text{ N/mm}^2$	4
7	Schwingversuch Probe G04-05, FAT 71, SMITH-Diagramm, $R = 0,50$ , Schwingbreite $86 \text{ N/mm}^2$	4
8	Schwingversuch Proben G04-01 und -02, FAT 160 mit und ohne WEZ	4
9	Schwingversuch FAT 90 der Proben G01-04, G03-04 und G04-04, $R = 0,10$ , Schwingbreite $130 \text{ N/mm}^2$	5

## Tabellenverzeichnis

1	Ermittelte Schwingbreiten für $R = 0,10$ für $P_{\dot{U}} = 97,5\%$ bei $T_S = 1,50$	3
2	Errechnete Schwingbreiten für $R = 0,50$ für $P_{\dot{U}} = 97,5\%$ bei $T_S = 1,50$	3

## 1 Das Verhalten von reparaturgeschweißten Altstählen unter nicht vorwiegend ruhender Beanspruchung Teil 2: Auswertung der Versuche und Berechnung der Schwingbreiten

### 1.1 Einleitung

In diesem Beitrag - als zweiter 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 zweite Teil beschreibt die numerische Auswertung der Versuche und die Interpretation der Ergebnisse bis hin zum Versuch des Übertrages in den Normenkontext des EC3. Im ersten Teil wurden die Proben, ihre Gewinnung und die Versuche beschrieben.

### 1.2 Ergebnisse der Dauerschwingversuche

Insgesamt werden aus den vier Grundwerkstoffen 123 Dauerschwingproben für 16 Kerbdetails angefertigt und untersucht, hinzu kommen außerdem noch 54 Kerbschlagversuche und 15 Zugproben. Hier wird vornehmlich über den Grundwerkstoff 4 (G04) berichtet.

#### 1.2.1 Ermittelte Schwingbreiten für $R = 0,10$

Die Dauerschwingversuche werden hinsichtlich der Brüche und Durchläufer ausgewertet und es werden daraus Wöhler-Linien konstruiert. Die Auswertung erfolgt nach dem Perlschnur-Verfahren [1] [2] [3].

Hierbei wird eine Ausgleichsgerade in das log-log-Diagramm der Schwingbreiten hineingeschätzt und so lange variiert, bis die Streuung der Ergebnisse minimal wird. Bei diesem Verfahren kann mit einer geringen Probenanzahl gearbeitet werden.

Dazu muss jedoch der Abknickpunkt der Wöhler-Linie ebenfalls geschätzt werden. Die nachfolgenden Messwerte (Durchläufer oder späte Brüche) werden nicht berücksichtigt.

Es sind:

- $m$ : die Neigung der Wöhlerlinie im Zeitfesten, dieser Wert muss zunächst geschätzt und dann angepasst werden,
- $\sigma_{oben,i}$ : die gemessene Oberspannung beim Bruch der Probe  $i$
- $N_{B,i}$ : die Anzahl der Lastspiele beim Bruch der Probe  $i$

Es gilt Gleichheit:

$$\left(\sigma_{oben,i}\right)^m \cdot N_{B,i} = \left(\sigma_{oben,i} \text{ bei } 2 \cdot 10^6\right)^m \cdot 2 \cdot 10^6 \quad (1)$$

Somit errechnet sich die Oberspannung am Abknickpunkt zu:

$$\sigma_{oben,i} \text{ bei } 2 \cdot 10^6 = \left[\left(\sigma_{oben,i}\right)^m \cdot \frac{N_{B,i}}{2 \cdot 10^6}\right]^{\frac{1}{m}} \quad (2)$$

Aus diesen verschobenen Oberspannungen wird der Mittelwert und die Streuung der Spannungen  $T_S$  errechnet, die zwischen einer Überlebenswahrscheinlichkeit von  $P_{\bar{U}} = 90\%$  und  $P_{\bar{U}} = 10\%$  liegt.

Es wird nach KRANZ, anschaulich gesprochen, eine „vertikale“ Standardabweichung bestimmt [1]. Anschließend wird die Spannungsstreuung  $T_S$  minimiert. Das verändert die Neigung der Wöhlerlinie im Zeitfesten.

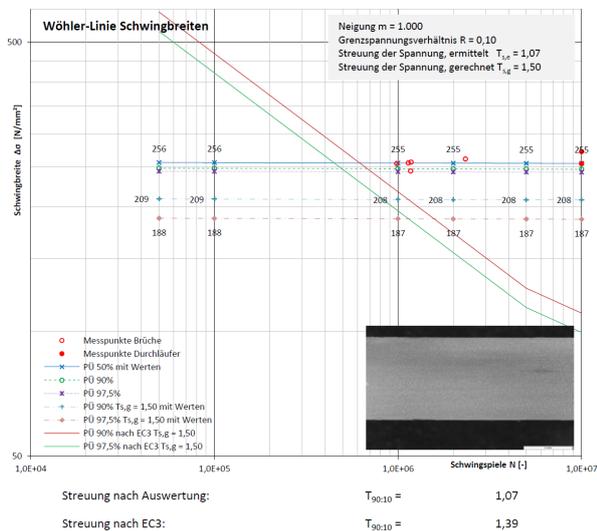


Abb. 1: Schwingversuch Probe G04-01, FAT 160, Wöhlerlinienneigung  $m = 1.000$ , Abknickpunkt bei  $1,0 \cdot 10^7$  Lastwechseln, errechnete Streuung  $T_{90:10} = 1,07$ , Schwingbreite  $187 \text{ N/mm}^2$

Mit dieser Methode können auch Auswertungen für vorgegebene Wöhlerlinien-Neigungen vorgenommen werden. In der Auswertung der Schwingbreiten ist das für den EC3 erfolgt.

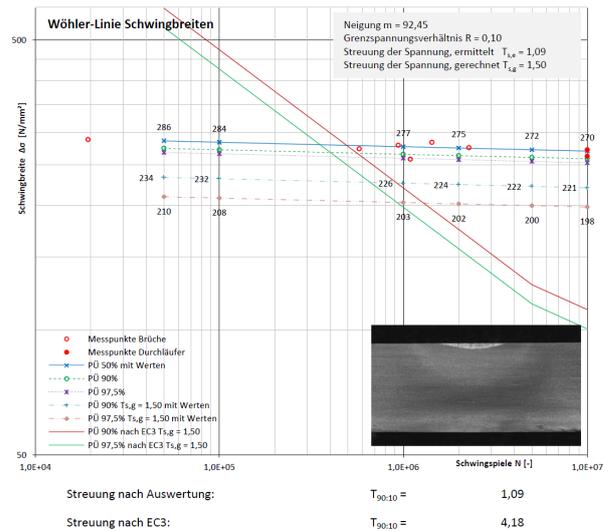


Abb. 2: Schwingversuch Probe G04-02, FAT 160, Wöhlerlinienneigung  $m = 92,45$ , Abknickpunkt bei  $1,0 \cdot 10^7$  Lastwechseln, errechnete Streuung  $T_{90:10} = 1,09$ , Schwingbreite  $202 \text{ N/mm}^2$

Die Lage des Abknickpunktes wird so eingestellt, dass die mit  $m = 22$  [4] weiterführende Wöhlerlinie den oberen Durchläufer annähernd trifft.

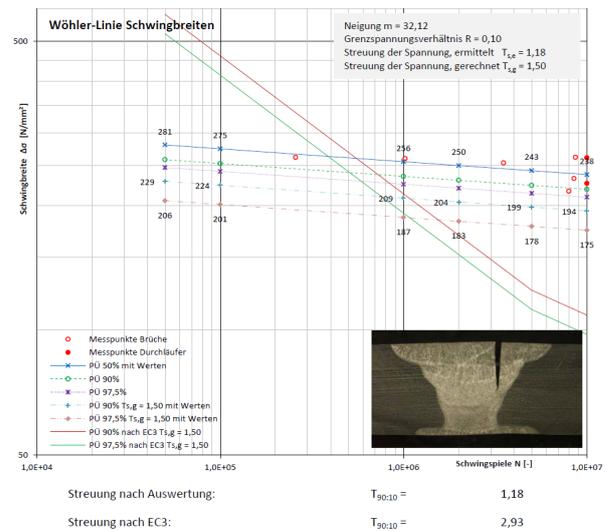


Abb. 3: Schwingversuch Probe G04-03, FAT 112, Wöhlerlinienneigung  $m = 32,12$ , Abknickpunkt bei  $7,0 \cdot 10^7$  Lastwechseln, errechnete Streuung  $T_{90:10} = 1,18$ , Schwingbreite  $183 \text{ N/mm}^2$

In Abb. 1 und 2 ist ein anderer Fall dargestellt. Dieses Probe zeigt keinen ausgeprägten Abknickpunkt und läuft mit einer Steigung von  $m = 1.000$  bzw.  $m = 92,45$  bis an das Versuchsende durch. Diese Probe hat eine Streckgrenze von  $f_{y,k} = 289 \text{ N/mm}^2$ , das bedeutet, hier liegen Proben vor, die Durchläufer nahe der Streckgrenze aufweisen (Überlebenswahrscheinlichkeit von  $P_{\bar{U}} = 50\%$  mit Schwingbreite  $255 \text{ N/mm}^2$  bzw.  $270 \text{ N/mm}^2$ ).

NUSSBAUMER und GÜNTHER [5] schreiben hierzu sinn-

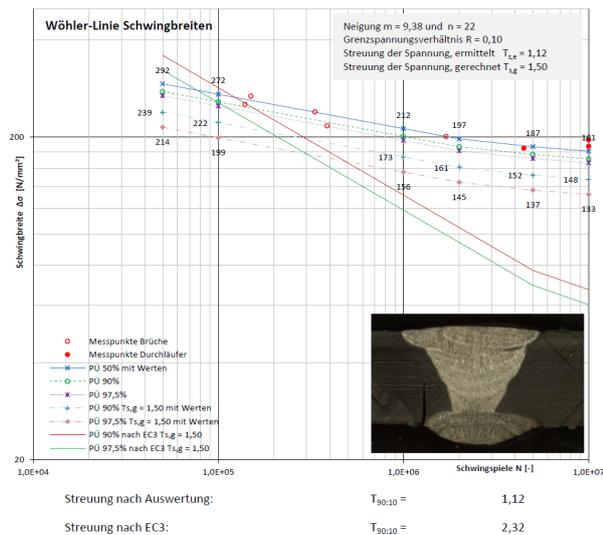


Abb. 4: Schwingversuch Probe G04-04, FAT 90, Wöhlerlinienneigung  $m = 9,38$ , Abknickpunkt bei  $2,0 \cdot 10^6$  Lastwechseln, errechnete Streuung  $T_{90:10} = 1,12$ , Schwingbreite 145 N/mm<sup>2</sup>

gemäß, dass die Festlegung nicht immer nur das Ergebnis einer mathematisch statistischen Auswertung sei, sondern dass ingenieurmäßiger Sachverstand bei der Auswertung der Proben zu walten habe.

Um eine **zusätzliche Sicherheit** einzubauen, wird nach HAIBACH [6] eine künstliche Aufweitung der **Spannungsstreuung auf  $T_S = 1,50$**  vorgenommen.

„Damit sind Eigenspannungen in extremer Höhe gemäß dem  $\Delta\sigma$  - Konzept berücksichtigt.“

Mit diesem modifizierten Wert wird eine Überlebenswahrscheinlichkeit von  $P_{\bar{U}} = 97,5\%$  angestrebt. Das entspricht nach HAIBACH [6] und nach NUSSBAUMER und GÜNTHER [5] genau genug einer Überlebenswahrscheinlichkeit von  $P_{\bar{U}} = 95\%$  bei einer Vertrauenswahrscheinlichkeit von 75%. Weitere Informationen hierzu liefern die Standards des DIN [7] und der ISO [8].

Das Aufweiten der Spannungsstreuung für kleine Proben, laborübliche Probengrößen, auf  $T_S = 1,50$  wird im WÖHLERLINIENKATALOG von OLIVIER und RITTER [9] beschrieben, auch HOBACHER [10] hebt darauf ab.

Die hier nach EC3 ermittelten Wert sind für jede Probe weit auf der sicheren Seite, insbesondere im speziellen Falle des ungeschweißten Grundmaterials der Probe G04-01 [11].

Die Ergebnisse der Schwingversuche für den Grundwerkstoff G04 mit einem Spannungsverhältnis von  $R = 0,10$  sind in Tab. 1 dokumentiert.

### 1.2.2 Errechnete Schwingbreiten für $R = 0,50$

Aus diesen Werten werden im Nachgang die mittelspannungsabhängigen Schwingbreiten errechnet. Um diese Wer-

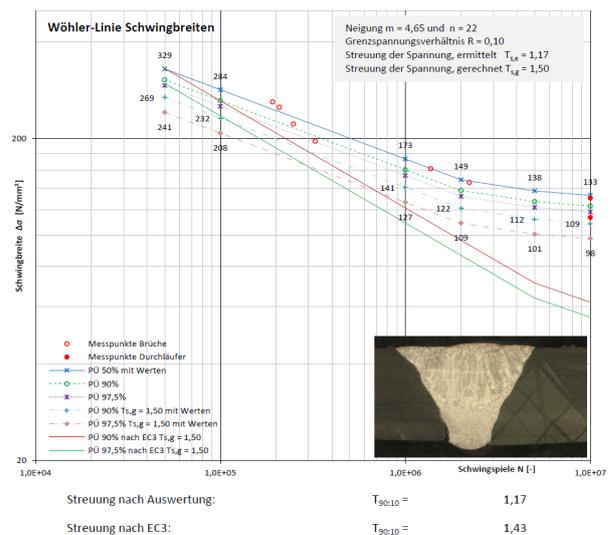


Abb. 5: Schwingversuch Probe G04-05, FAT 71, Wöhlerlinienneigung  $m = 4,65$ , Abknickpunkt bei  $2,0 \cdot 10^6$  Lastwechseln, errechnete Streuung  $T_{90:10} = 1,17$ , Schwingbreite 109 N/mm<sup>2</sup>

Nr.	Probe	FAT-Klasse	Schwingbreite
1.	G04-01	FAT 160	187 N/mm <sup>2</sup>
2.	G04-02	FAT 160 WEZ	202 N/mm <sup>2</sup>
3.	G04-03	FAT 112	183 N/mm <sup>2</sup>
4.	G04-04	FAT 90	145 N/mm <sup>2</sup>
5.	G04-05	FAT 71	109 N/mm <sup>2</sup>

Tab. 1: Ermittelte Schwingbreiten für  $R = 0,10$  für  $P_{\bar{U}} = 97,5\%$  bei  $T_S = 1,50$

te ineinander umrechnen zu können, wird ein SMITH Diagramm entwickelt.

Dieses wird konservativ ermittelt und kappt die sich ergebenden Werte für  $R$ , die unterhalb des Wertes der Probe liegen (Abb. 6). Für den Grundwerkstoff errechnet sich in der Probe G04-01 eine Schwingbreite von  $127 \text{ N/mm}^2$ . Das ist unterhalb der Werte der FAT 160.

Exemplarisch ist noch die FAT 71 (Probe G04-05, Abb. 7) dargestellt, sie erreicht bei  $R = 0,50$  eine Schwingbreite von  $86 \text{ N/mm}^2$ . Das ist deutlich oberhalb der Werte der FAT 71.

Nr.	Probe	FAT-Klasse	Schwingbreite
1.	G04-01	FAT 160	127 N/mm <sup>2</sup>
2.	G04-02	FAT 160 WEZ	140 N/mm <sup>2</sup>
3.	G04-03	FAT 112	126 N/mm <sup>2</sup>
4.	G04-04	FAT 90	106 N/mm <sup>2</sup>
5.	G04-05	FAT 71	86 N/mm <sup>2</sup>

Tab. 2: Errechnete Schwingbreiten für  $R = 0,50$  für  $P_{\bar{U}} = 97,5\%$  bei  $T_S = 1,50$

Alle geschweißten Verbindungen liegen für  $R = 0,50$  oberhalb der Werte des EC3, die Grundwerkstoffe liegen darunter. Der Grundwerkstoff mit durch Wärmeeintrag veränder-

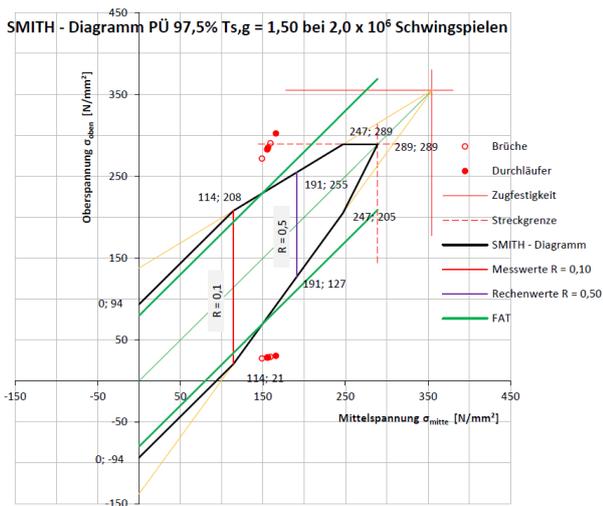


Abb. 6: Schwingversuch Probe G04-01, FAT 160, SMITH-Diagramm,  $R = 0,50$ , Schwingbreite 127  $N/mm^2$

tem Gefüge stellt sich interessanterweise höher beanspruchbar dar als der unbeeinflusste Grundwerkstoff.

Die Ergebnisse der Umrechnungen für den Grundwerkstoff G04 auf ein Spannungsverhältnis von  $R = 0,50$  sind in Tab. 2 dokumentiert.

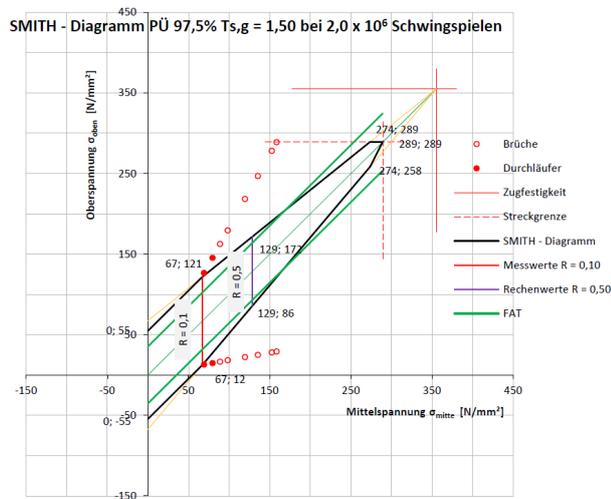


Abb. 7: Schwingversuch Probe G04-05, FAT 71, SMITH-Diagramm,  $R = 0,50$ , Schwingbreite 86  $N/mm^2$

### 1.2.3 Einordnung in die Kategorisierung des EC3

Der EC3 [12] postuliert, dass die Schwingbreite unabhängig von der Materialgüte (S235, S275 oder S355) ist. Weiterhin legt der Normgeber fest, dass ein Mittelspannungseinfluss keine Rolle spielt.

Aus diesem Grund ist es nur konsequent, die aus den Versuchen gewonnenen Schwingbreiten **ohne Umrechnung auf  $R = 0,50$**  den Werten des EC3 gegenüberzustellen.

Hierbei gibt es in der Fachwelt unterschiedliche Ansichten. KASSNER [13] beschreibt unter Zuhilfenahme von [14] und [15], dass die Proben auf  $R = 0,50$  umzurechnen sind.

Eine Korrespondenz mit KÜHN [16] bestätigt jedoch, dass die Kerbfälle des EC3 aus Versuchen eines Kerbdetails (z.B. Lochstab FAT 71) gewonnen wurden, die an unterschiedlichen Stählen (S235, ..., S355) bei unterschiedlichen Spannungsverhältnissen  $R$  gewonnen wurden [17].

Dieser Logik folgend, werden die unmittelbar aus den Versuchen gewonnenen Daten ( $R = 0,10$ ) zur Bewertung der Ergebnisse herangezogen. Die auf  $R = 0,50$  hochgerechneten Daten können aber natürlich auf der sicheren Seite liegend zum Beispiel zur Bemessung verwendet werden.

### 1.3 Interpretation der Ergebnisse

Für den Grundwerkstoff errechnet sich eine Schwingbreite<sup>1</sup> von  $\Delta\sigma_c = 187 N/mm^2$  (Abb. 1). Für den Grundwerkstoff, der durch die Auftragsraupe metallurgisch modifiziert worden ist, beträgt diese  $\Delta\sigma_c = 202 N/mm^2$  (Abb. 2).

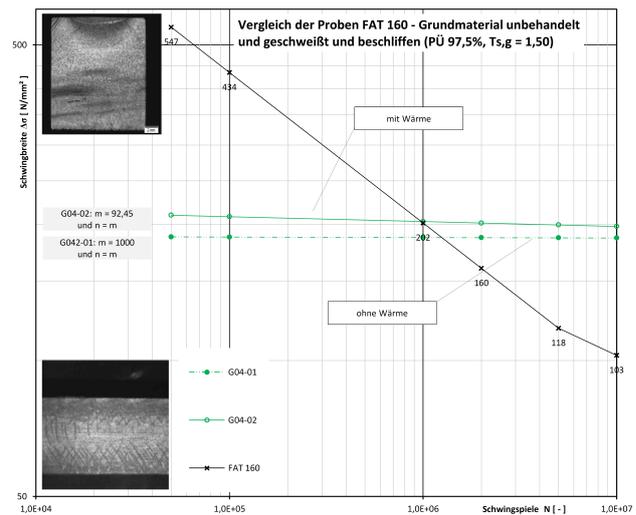


Abb. 8: Schwingversuch Proben G04-01 und -02, FAT 160 mit und ohne WEZ

Die Schwingbreite für den Grundwerkstoff hat sich demnach um  $\Delta(\Delta\sigma_c) = 15 N/mm^2$  verbessert (+8%). Die Wöhlerlinie wird dem Grunde nach parallel nach oben verschoben (Abb. 8).

Auch die restlichen untersuchten FAT-Klassen zeigen sich durchweg beanspruchbarer als vom Normgeber verlangt.

Dieser Effekt ist völlig unerwartet, wäre doch zu erwarten gewesen, der Einfluss des Schweißens sei lebensdauerverkürzend.

Das lässt sich durch die hier beschriebenen Versuche jedenfalls nicht nachweisen. Vielmehr scheint es so zu sein, dass

<sup>1</sup> bei für  $P_U = 97,5\%$  bei  $T_S = 1,50$

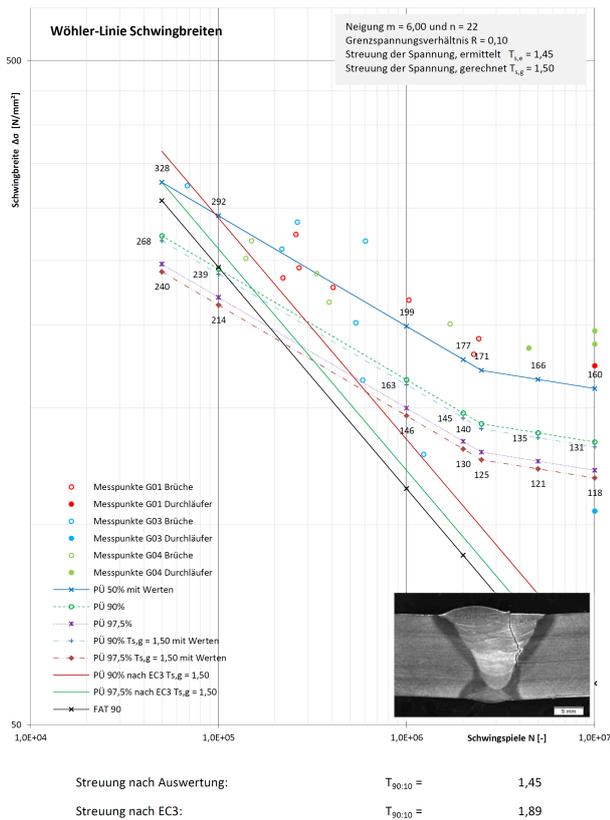


Abb. 9: Schwingversuch FAT 90 der Proben G01-04, G03-04 und G04-04 ,  $R = 0,10$ , Schwingbreite  $130 \text{ N/mm}^2$

das Schweißen keinen signifikant negativen Einfluss auf die Schwingbreite hat.

Die Abb. 9 zeigt die FAT 90 (Vollnaht, beidseitig) aus drei untersuchten Grundwerkstoffen. Sie zeigt sich mit einer Schwingbreite von  $130 \text{ N/mm}^2$  bei einer Neigung der Wöhler-Linie von  $m = 6$  und  $n = 22$ . Die Spannungsstreuung hat sich mit  $T_s = 1,45$  den Werten, die HAIBACH mit  $T_s = 1,50$  angibt, angenähert.

Die in Abb. 9 dokumentierte **Altstahlschweißung** unterscheidet sich in ihren Ergebnissen nicht von einer Neustahlschweißung.

#### 1.4 Übertragung der Ergebnisse

Zunächst ist vor allem anzumerken, dass eine Schweißung an Altstahl **keinen signifikant negativen Einfluss** auf die Lebensdauer einer Schweißverbindung zu haben scheint.

Im Umkehrschluss wäre die These aufzustellen, dass der Bruch, wenn er denn entsteht, auf Grund der Geometrie der Kerbe entsteht, nicht auf Grund des Materials. **Die Kerbe macht den Bruch, nicht das Material.**

Weiterhin ist als Erkenntnis festzuhalten, dass die **Wärmebehandlung** - eine Auftragsraupe, die wieder abgeschliffen

wird, ist eine Wärmebehandlung - den Stahl hinsichtlich der Schwingbreiten, also der Lebensdauer, offenbar positiv beeinflusst (Abb. 8).

Die Erkenntnisse, die bei geglühten Kerbschlag-Proben gewonnen werden (vergleiche Teil 1 des Artikels), bestätigen das.

Das bedeutet in der Fortführung dieses Gedankenmodelles, dass eine **Schweißung an Altstahl** ohne negative Effekte hinsichtlich der Lebensdauer möglich sein sollte.

Gelänge es, die Altstahlkonstruktion zu glühen, würde dieser Effekt verstärkt werden können.

#### 1.5 Kritik an den Ergebnissen

Die vorgenommene Wärmebehandlung, die durch das Schweißen erfolgt ist, kommt einem Normalisieren des Stahles gleich. Da Altstähle aber in der Regel als **windgefrischte Stähle** hergestellt worden sind, werden sie auf Grund ihres hohen Gehaltes an Stickstoff erneut altern und damit verspröden.

Die positiven Effekte aus der Wärmebehandlung werden also im Lauf der Zeit wieder nachlassen. Unklar ist, wie lange die positiven Effekte anhalten.

#### 1.6 Danksagung

Mein Dank geht nach Halle/Saale für das fortwährende Zusammenschweißen und Kaputtmachen von Schrott. Danke auch, dass ihr mir jedes Mal die Pfannkuchen<sup>2</sup> so gründlich weggegessen habt, dass ich immer die mit Pflaumenmus bekommen habe.

Mein Dank geht nach Cottbus für das fortwährende Nachfragen, die Betreuung und für das Hinschubsen zu diesen Artikeln.

Mein Dank geht an Herrn Swen Adamczyk, der mir so schöne U-Bahnstützen mitgebracht hat.

Mein Dank geht an meine Familie, sie hat mich machen lassen und artig alles durchgelesen.

#### Literatur

- [1] B. Kranz. *Einfluss der Nahtvorbereitung an der Nahtwurzel auf die Ermüdungsfestigkeit nicht durchgeschweißter Stumpfstoßverbindungen aus Baustahl*. Dissertation. Shaker Verlag. Aachen, 2009.

<sup>2</sup> außerhalb Berlins werden Pfannkuchen häufig "Berliner" genannt

- [2] A. Martin und K. Hinkelmann und A. Esderts. „Zur Auswertung von Schwingfestigkeitsversuchen im Zeitfestigkeitsbereich. Teil 1: Wie zuverlässig können 50%-Wöhlerlinien aus experimentellen Daten geschätzt werden?“ In: MP Materials Testing. 2011, Bd. 53, 2011.
- [3] A. Martin und K. Hinkelmann und A. Esderts. „Zur Auswertung von Schwingfestigkeitsversuchen im Zeitfestigkeitsbereich. Teil 2: Wie zuverlässig kann die Standardabweichung aus experimentellen Daten geschätzt werden?“ In: MP Materials Testing. 2011, Bd. 53, 2011.
- [4] C. Sonsino. „Dauerfestigkeit Eine Fiktion.“ In: Konstruktion. Nr. 4, 2005, Bd. 57, 2005.
- [5] A. Nussbaumer und H.-P. Günther. „Grundlagen und Erläuterungen der neuen Ermüdungsnachweise nach Eurocode 3“. In: Stahlbaukalender 2006. Ernst & Sohn. Berlin, 2006.
- [6] E. Haibach. *Betriebsfestigkeit. Verfahren und Daten zur Bauteilberechnung. 3. Auflage.* Springer Verlag. Berlin, 2006.
- [7] DIN Deutsches Institut für Normung e.V, Hrsg. *DIN ISO 16269-6:2009-10: Statistische Auswertung von Daten - Teil 6: Ermittlung von statistischen Anteilsbereichen (ISO 16269-6:2005).* Beuth Verlag. Berlin, 2009.
- [8] DIN Deutsches Institut für Normung e.V, Hrsg. *ISO 16269-6:2014-01: Statistische Auswertung von Daten - Teil 6: Ermittlung von statistischen Anteilsbereichen.* Beuth Verlag. Berlin, 2014.
- [9] R. Olivier und W. Ritter. *Wöhlerlinienkatalog für Schweißverbindungen aus Baustählen. Teil 1: Stumpfstoß. Einheitliche statistische Auswertung von Ergebnissen aus Schwingfestigkeitsversuchen.* DVS Bericht Nr. 56/I. Deutscher Verlag für Schweißtechnik. Düsseldorf, 1979.
- [10] A. Hobbacher. *Empfehlungen zur Schwingfestigkeit geschweißter Verbindungen und Bauteile. IIW Doc. XIII-1539-96/XV-845-96.* DVS-Verlag. Düsseldorf, 1997.
- [11] K. Geißler. *Handbuch Brückenbau. Entwurf, Konstruktion, Berechnung, Bewertung und Ertüchtigung.* Ernst & Sohn. Berlin, 2014.
- [12] 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.
- [13] M. Kaßner. „Auslegung und Ausführung von geschweißten Stahltragwerken - Vergleich von europäischem und bisher national geltendem Regelwerk. Eurocode 3. DIN EN 1090. DIN 18800.“ In: DVS-Berichte Band 280. DVS Media Verlag. Düsseldorf, 2011.
- [14] International Institute of Welding (IIW), Hrsg. *IIW Document IIW-1823-07 ex XIII-2151r4-07/XV-1254r4-07. Recommendations for fatigue design of welded joints and components.* Selbstverlag. Paris, 2007.
- [15] International Institute of Welding (IIW), Hrsg. *IIW Document IIW-xxxx-13 ex XIII-2460-13/XV-1440-13. Recommendations for fatigue design of welded joints and components. Draft for development.* Selbstverlag. Paris, 2013.
- [16] B. Kühn. „email-Korrespondenz mit Prof. Dr.-Ing. Kühn, TH Mittelhessen. Vorsitzender Europäische Expertengruppe WG 6.1 "Beurteilung bestehender Stahlbrücken. Gießen. 2014, bestätigte Protokolle als Anlage“.
- [17] J. Brozetti und M.A. Hirt und I. Ryan und G. Sedlacek und I.F.C. Smith. *Background Documentation Eurocode 3. Chapter 9 - Document 9.01. Background informations on Fatigue design rules. Statistical Evaluation. First Draft (V.1) ed.* Hrsg. von University of Technology Aachen Centre Technique Industriel de la Construction Métallique Ecole Polytechnique de Lausanne. 1989.