

**"Steigern der Ermüdungsfestigkeit durch
höherfrequentes Hämmern
Auslegung von HFMI-Schweißverbindungen
nach den
IIW Recommendations und DASt-Richtlinie 026"**

Referent: Peter Gerster

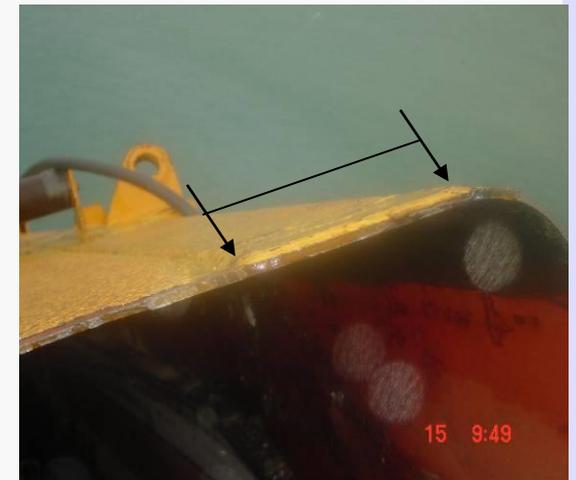
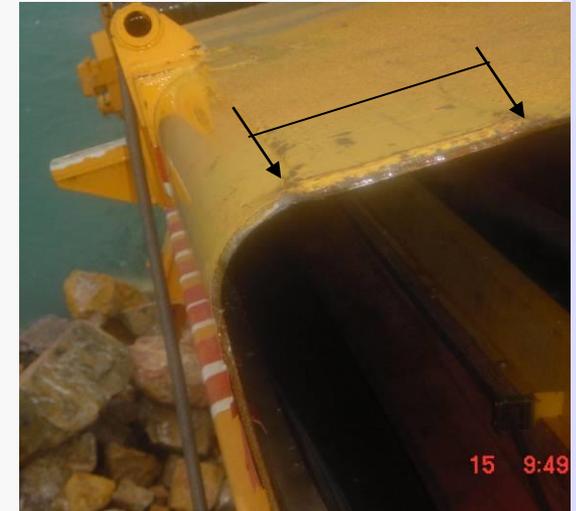
- **Beispielhafte Schadensfälle aus der Praxis**
- **Warum sind Schweißnähte kritisch bei Ermüdungsbeanspruchung?**
- **Möglichkeiten zur Steigerung der Lebensdauer**
- **Effiziente Schweißnahtnachbehandlungen**
- **Internationaler Stand des höherfrequenten Hämmerns HFH, HFMI**
- **Vorstellung der neuen DASt-Richtlinie 026**
- **Anwendungsbeispiele der PIT-Technologie aus der Praxis**

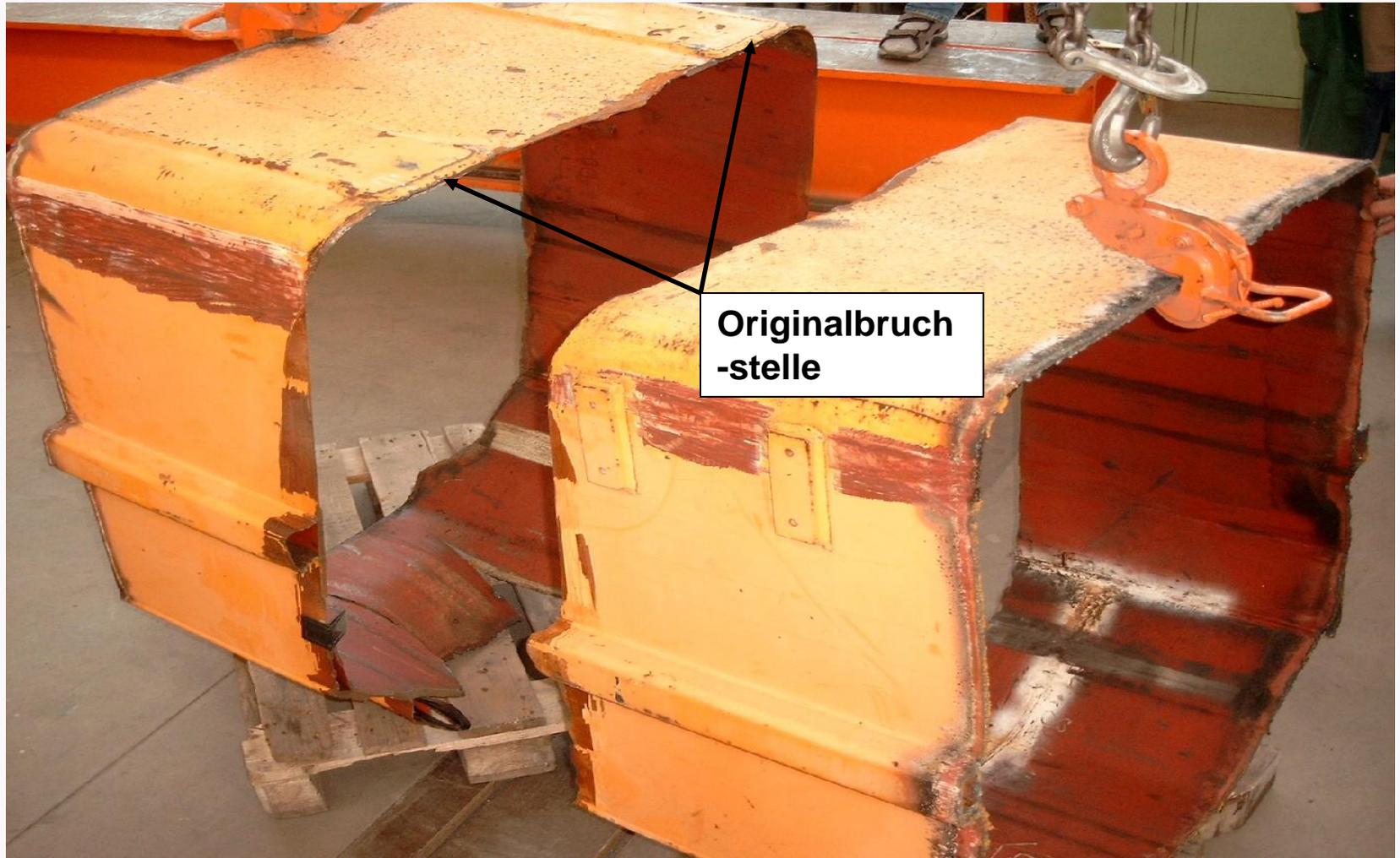
Obwohl das technische Wissen über die von vielen Einflüssen geprägte Eigenschaft „*Tragfähigkeit*“ von geschweißten Metallkonstruktionen heute im wesentlichen als gesichert gilt, nehmen Schäden an geschweißten Konstruktionen in fast allen Anwendungsbereichen leider nicht ab. Die Ursachen dafür sind vielfältig.

Es nehmen Schäden zu, die vor allem durch ungenügende schweißtechnische Vorgaben der Konstruktion entstanden sind. Solche unzureichenden Vorgaben ziehen häufig eine mangelhafte Ausführung nach sich.

Beispiele aus meiner gutachterlicher Tätigkeit zeigen, dass ca. 70% der Schäden bei Schweißbauteilen auf Ermüdung bei zyklischen Beanspruchungen zurückzuführen sind.

Bruch eines Teleskopauslegers





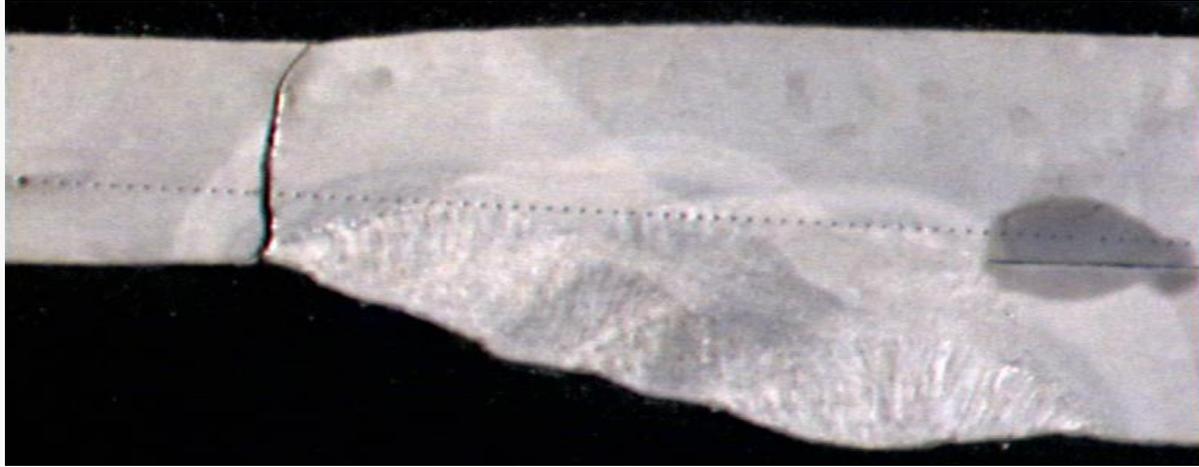
Bruch Teleskopausleger – Aufschiweißung Versteifungslamellen



Typischer Dauerbruch an der Quernaht des Versteifungsbleches

Risse an den Quernähten bei den aufgeschweißten Verstärkungen

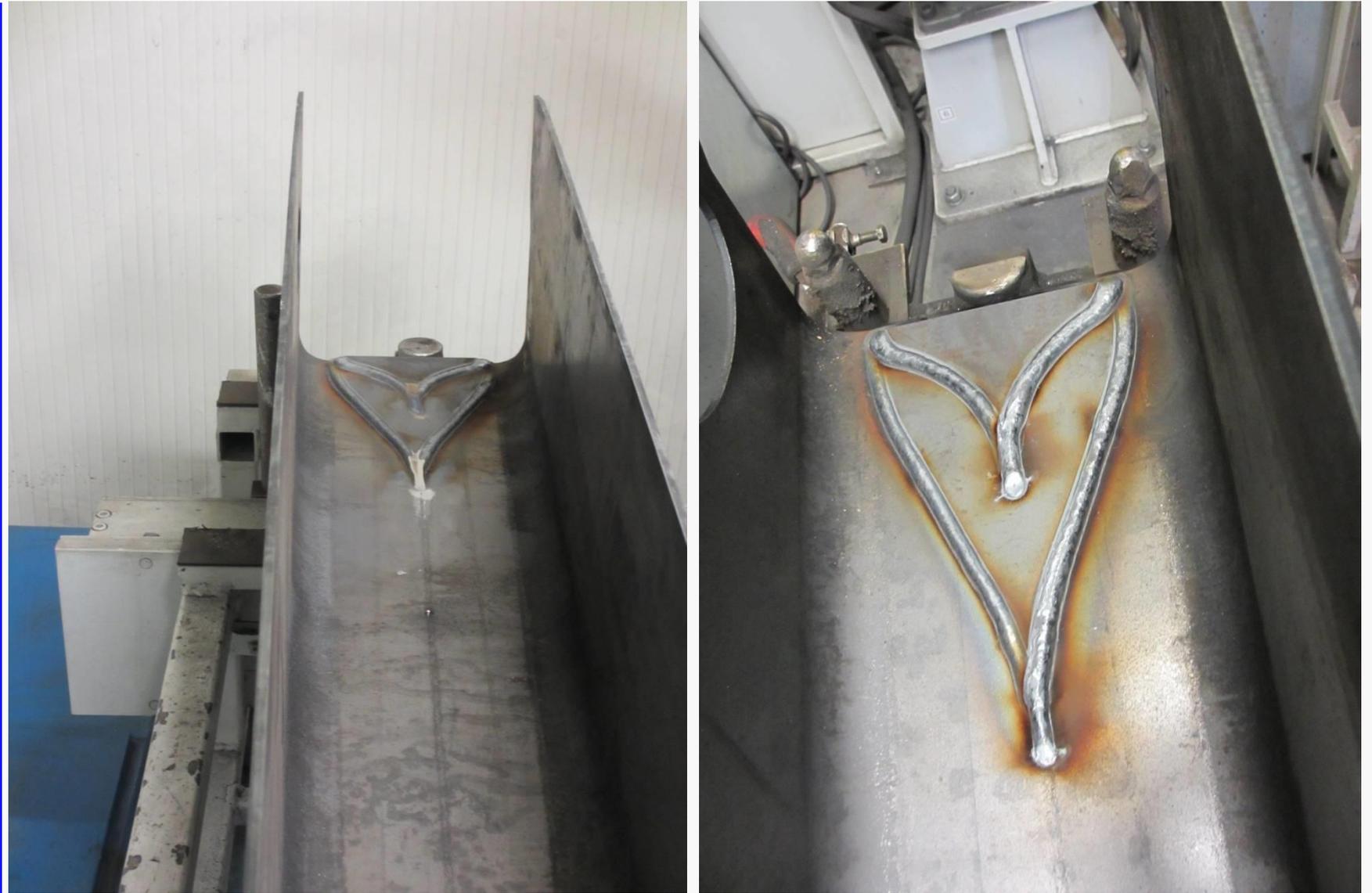




**Makroschliff
S1**



**Makroschliff
S2**



Optimaler Auslauf von Versteifungsblechen (Untersuchungen Montanuniversität Leoben)

GEC

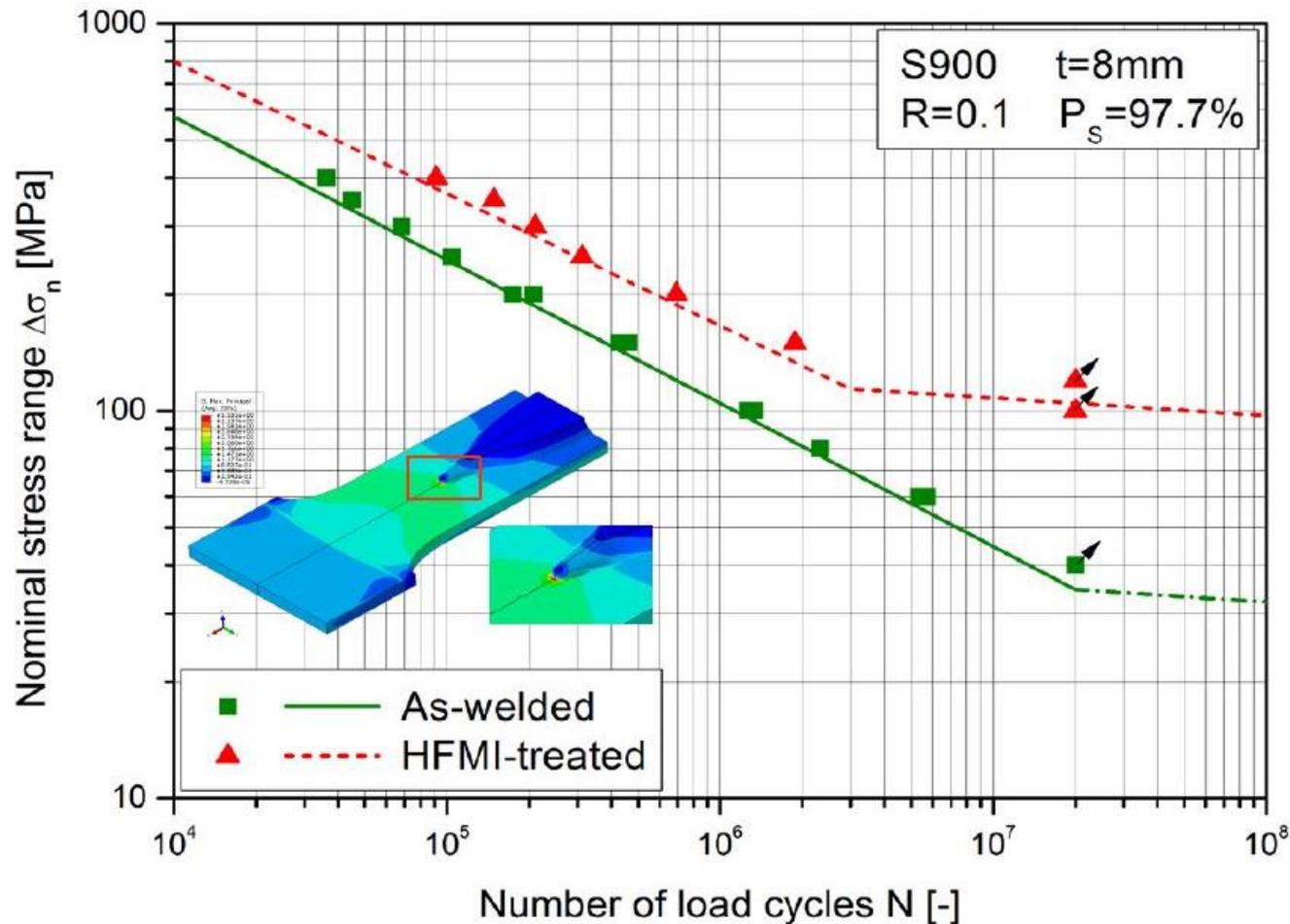


[Lei2011]



[Pit2014]

- HFMI-treatment at the weld toe as post-treatment method (PIT-System)
 - HFMI-Parameters: $p=6\text{bar}$ ($\sim 90\text{psi}$), $v=20\text{-}30\text{cm/min}$, $f=90\text{Hz}$
 - Radius of the hardened pin: $R=2\text{mm}$



- Major increase of fatigue strength by HFMI-treatment at the weld toe due to high notch effect at weld toe region (small, highly stressed volume)

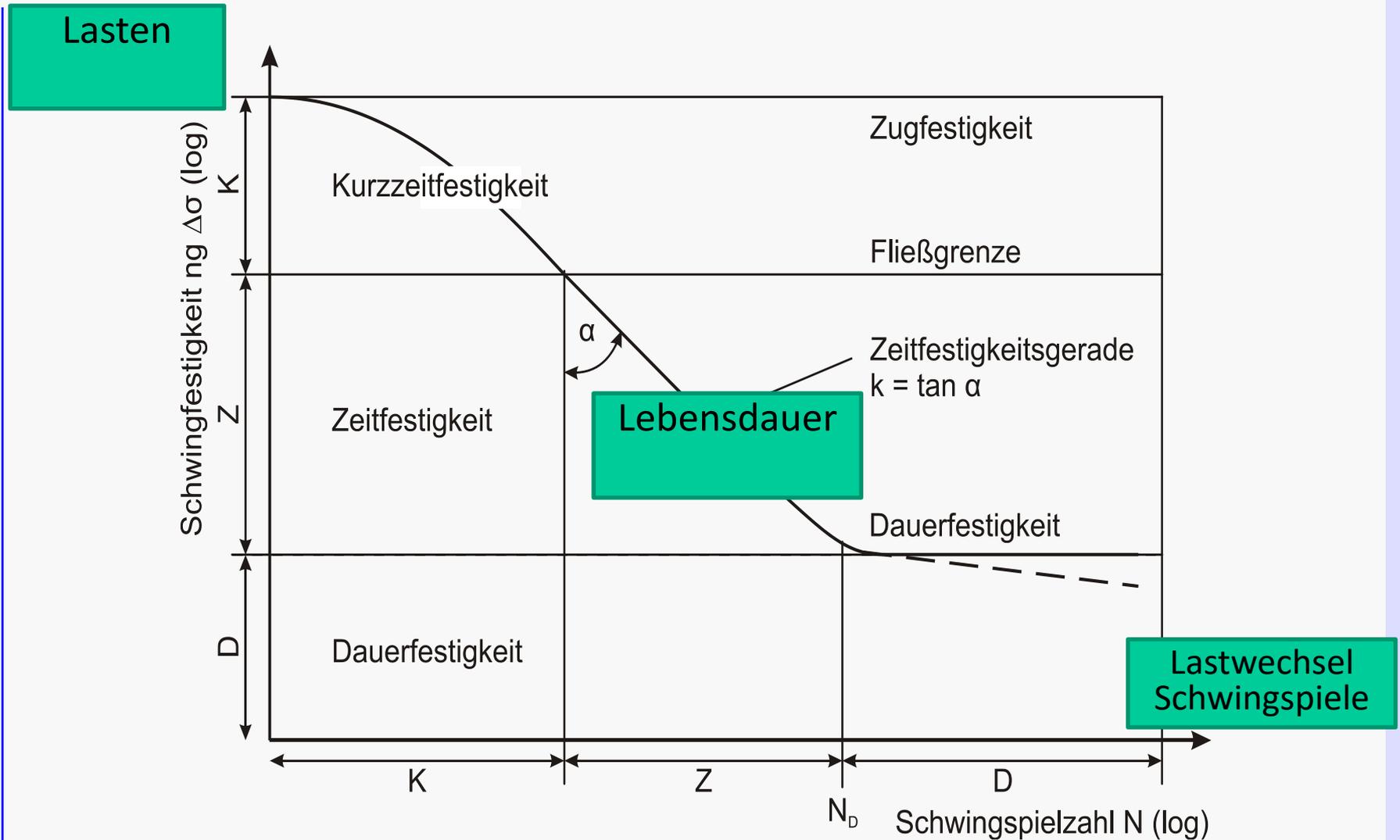
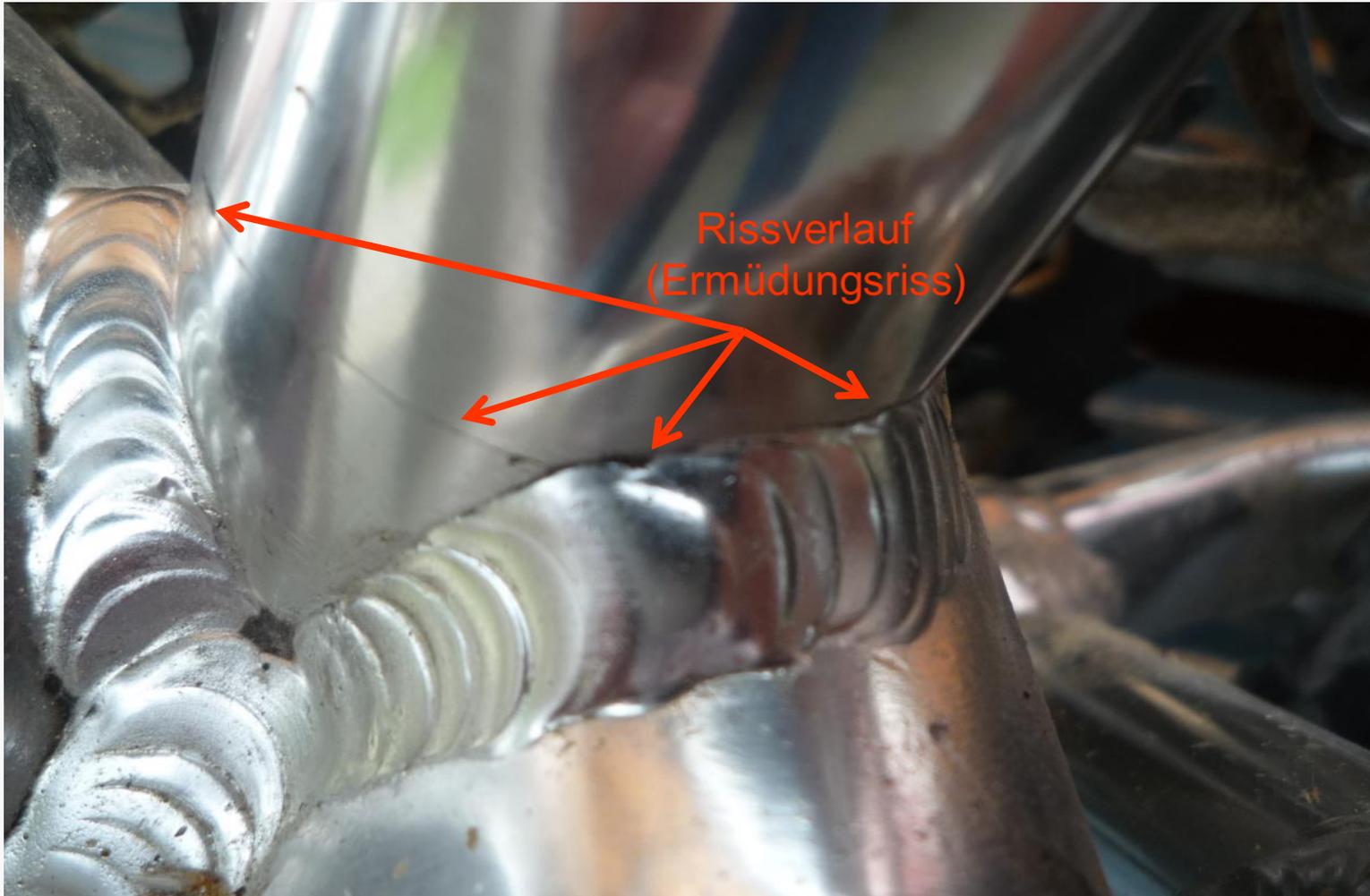


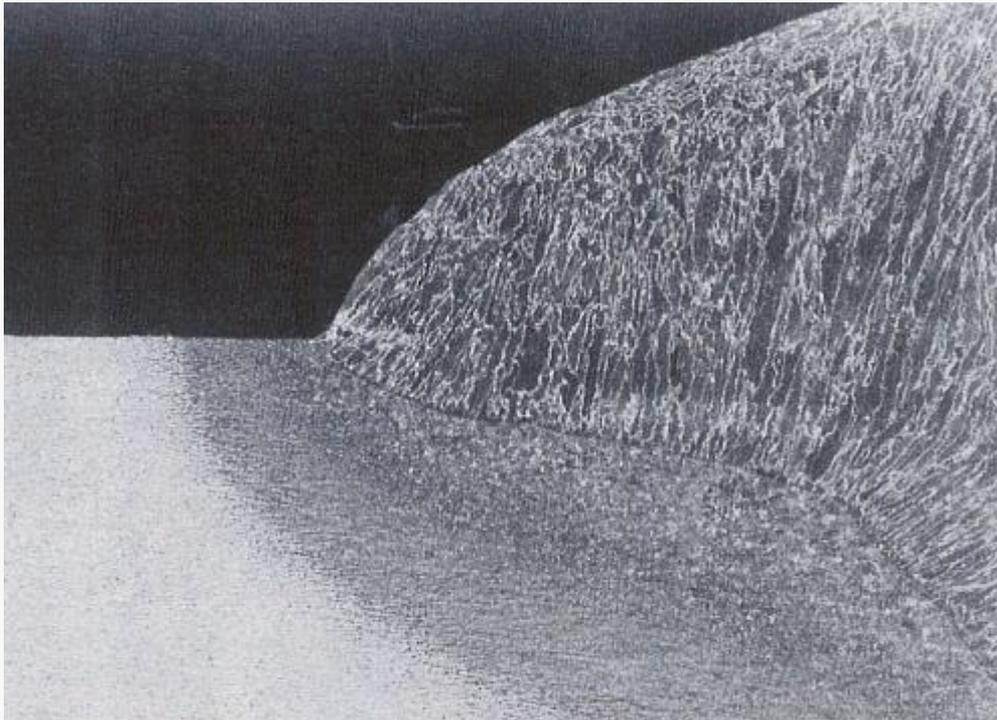
Abb. 7: Wöhlerkurve

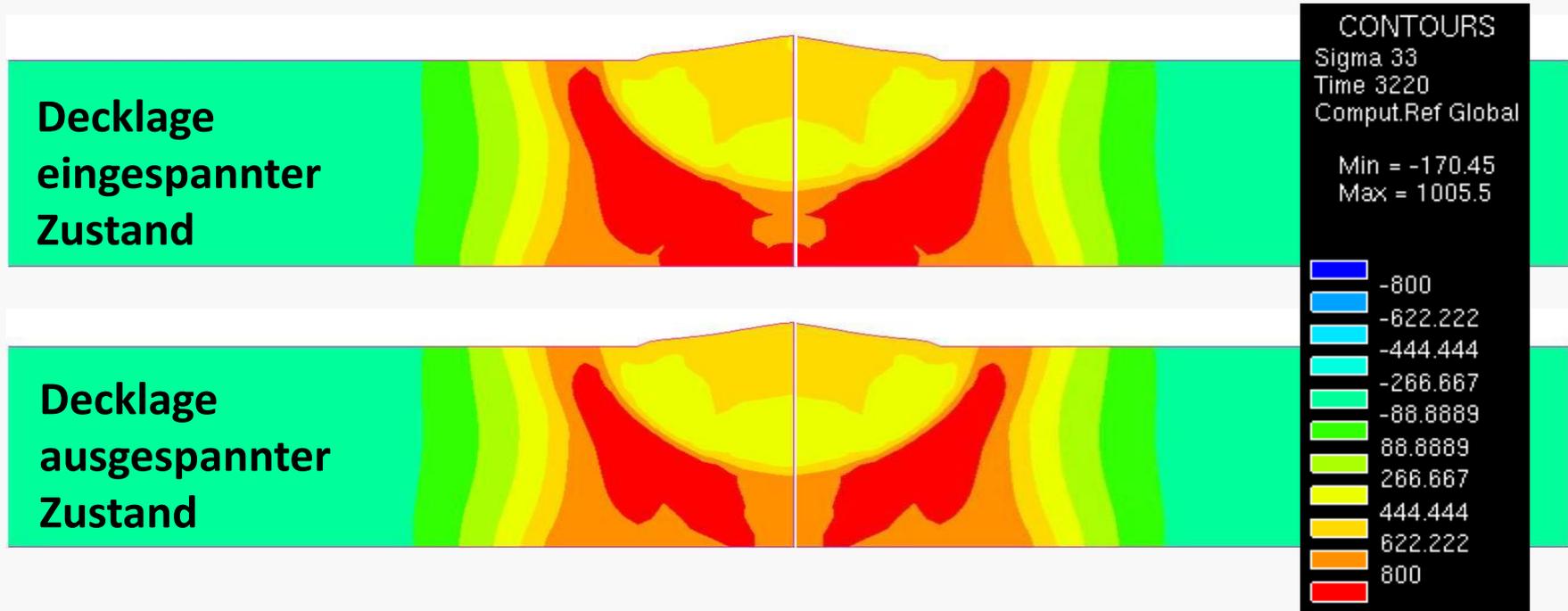


Ermüdungsriss an einem Alu-Fahrradrahmen



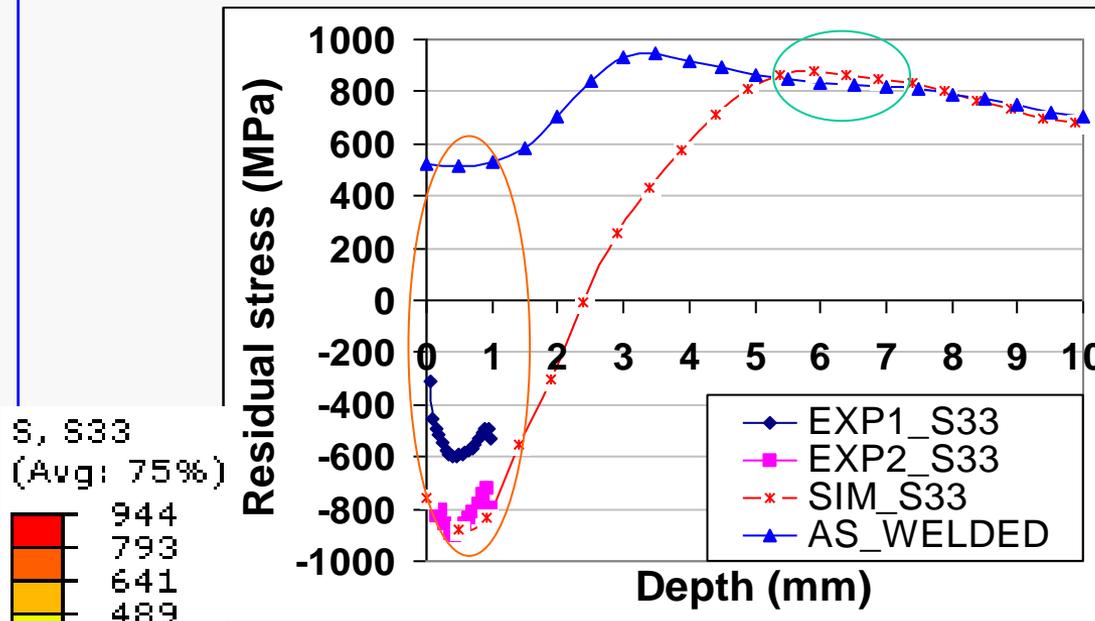
2. Die Kerbwirkung im Nahtübergang



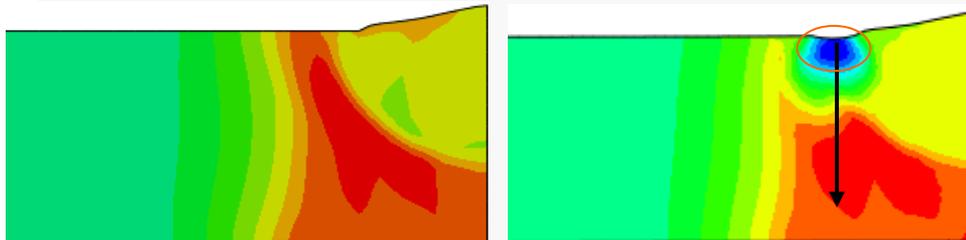
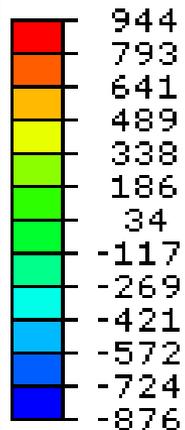


Simulation der Zugeigenspannungen im Nahtübergang (TU Graz)

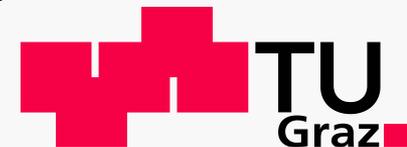
Eigenspannungen in Längsrichtung



S, S33
(Avg: 75%)



- Die Schweißeigenspannungen sind komplett neu verteilt und es zeigt sich ein neues Spannungsfeld in dem Bereich, wo plastische Verformungen durch die PIT-Behandlung erreicht wurden
- Als max. Druckspannungen wurden 650 - 880 MPa in einer Tiefe von 0.4 - 0.5 mm gemessen
- Das Ergebnis der Simulation hat eine bessere Übereinstimmung mit EXP 2



Nachbehandlungs- verfahren

Verbesserung Nahtgeometrie (Kerbfaktor)

Verbesserung Spannungsprofil

mechanische Bearbeitung

Aufschmelzmethoden

spezielle Schweißtechnik

mechanische Methoden

thermische Methoden

- > Schleifen
- > Polieren

- > WIG (TIG dressing)
- > Plasma Nachbeh.

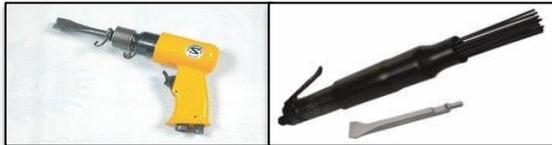
- > Spezialelektroden
- > kontr. Nahtprofil

- > Kugelstrahlen
- > Vibrationsentspannen
- > Hämmern
- > HFH (HFMI)

- > Spannungsarmglühen
- > Explosionsentspannen

Methoden	Verringerung der Kerbwirkung	Einbringen von Druckeigenstressen	Verfestigung der Randschicht
Ausschleifen	ja		
WIG-Aufschmelzen	ja		
Plasma-Aufschmelzen	ja		
Autofrettieren		ja	
Laserpeening		ja	
Kugelstrahlen		ja	ja
Nadeln, Hämmern		ja	ja
Hochfrequentes Hämmern	ja	ja	ja

Dass **konventionelles Hämmern** Druckeigenstressungen erzeugt, die sich positiv auf die Schwingfestigkeit auswirken, ist schon



...weil die Wirkung herkömmlicher Luftmeißel bzw. -hämmer jedoch sehr ungleichmäßig bzw. oberflächlich ist, gilt es als nicht reproduzierbar.

höherfrequentes Hämmern



... wurde in Russland mit UIT das erste höherfrequente Hämmerverfahren entwickelt. Durch seine starke sowie gleichmäßige Intensität wurde die Wirkung maximiert und eine hohe Reproduzierbarkeit erzielt.



... erwarben Amerikaner die Patente und starteten die weltweite Vermarktung

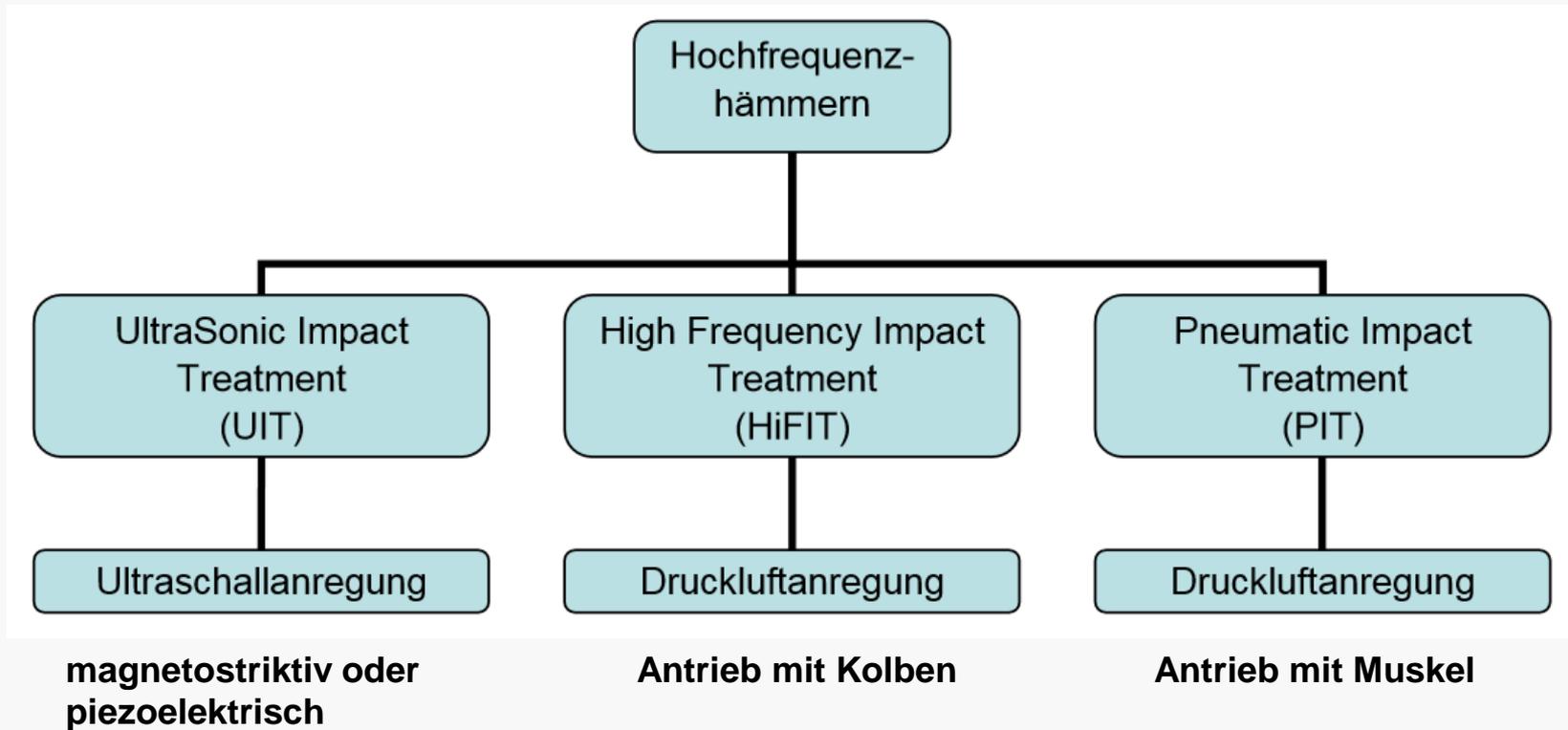


... kam UIT nach Europa und wurde durch das heutige PIT-Team nach Deutschland gebracht, wo die nachhaltig gute Wirkung in diversen Projekten mehrfach bewiesen wurde.



... beginnt die PITEC mit der Vermarktung der PIT-Technologie, welche dank modernster Drucklufttechnik deutlich kompakter, leichter und damit auch wesentlich günstiger ist.





Vergleich der Anregung der mech. Impulse bei HFH-Verfahren



a) UIT-Gerät der Fa. Applied Ultrasonics



b) UP-Gerät der Fa. Sintec

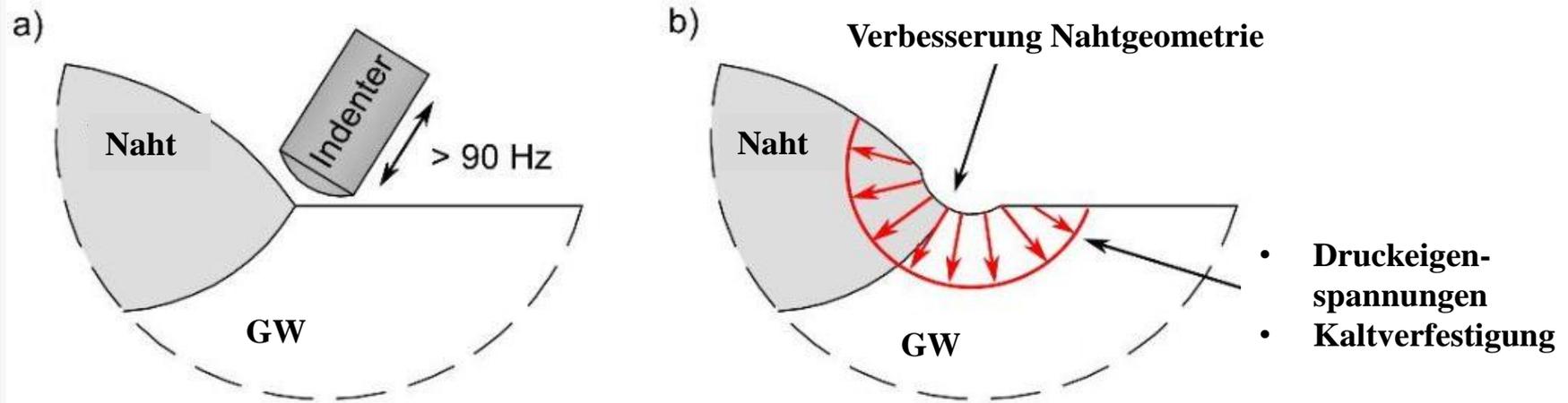


c) HiFIT-Gerät der Fa. Dynatec



d) PIT-Gerät der Fa. Pitec

zurzeit auf dem Weltmarkt verfügbare HFMI-Geräte



a) Prinzip der HFMI Behandlung b) resultierende positive Effekte

- Reduktion der geom. Kerbwirkung
- Aufbau von Druckeigen-
spannungen
- Kaltverfestigung der Oberfläche

Wo stehen wir heute – Forschung – Normative Regelung

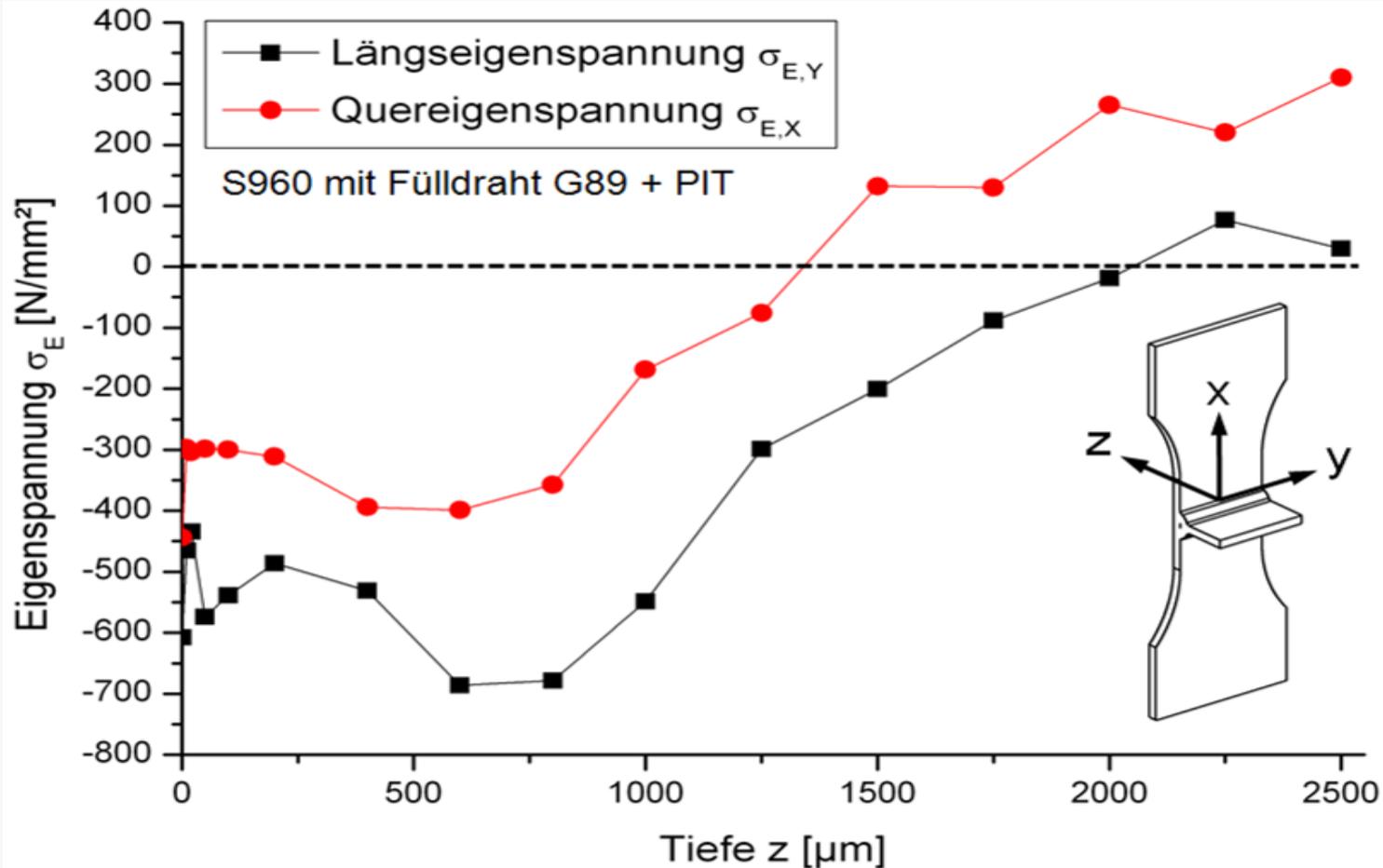
Stand der Forschung:

- Umfangreiche Forschungsvorhaben belegen die Wirksamkeit der Verfahren für ausgewählte Details

Regelwerke:

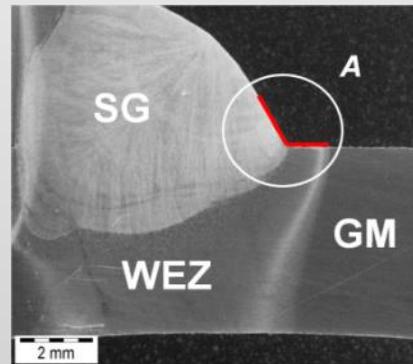
- IIW Recommendation HFMI (2016)
- DASt-Richtlinie 026 Ermüdungsbemessung bei HFH (2019)
- pr EN 1993-1-9 Annex D (normative)
Fatigue Design of welded joints subjected to High Frequency Mechanical Impact Treatment (wird derzeit überarbeitet)
- pr EN 13445 (wird derzeit überarbeitet)
- pr EN 15085-3 (erscheint Ende des Jahres 2021)

Mit Hilfe der Röntgendiffraktometrie wurden Eigenspannungsmessungen durchgeführt, indem Schicht für Schicht abgetragen und gemessen wurde. So entsteht ein Tiefenprofil der Längs- und Quereigenspannungen am Nahtübergang nach der PIT Behandlung



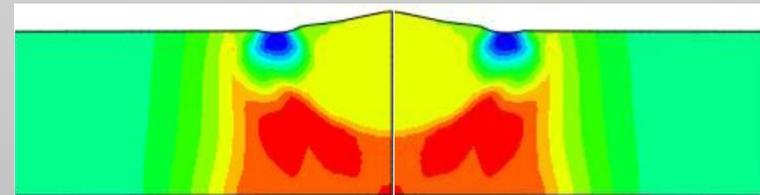
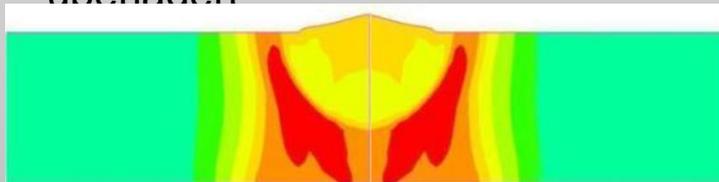
PIT ist ein höherfrequentes Hämmern, welches:

- a) Kerben und Steifigkeitssprünge geometrisch derart optimiert, dass sich der Kerbfall deutlich verbessert



=
>

- b) oberflächennahe Zugeigenspannungen gezielt mit hohen Druckeigenspannungen überlagert



das Resultat ist eine wesentliche Steigerung der Schwingfestigkeit/-spielzahl die auch noch nachträglich an bestehenden Anlagen erreicht wird!

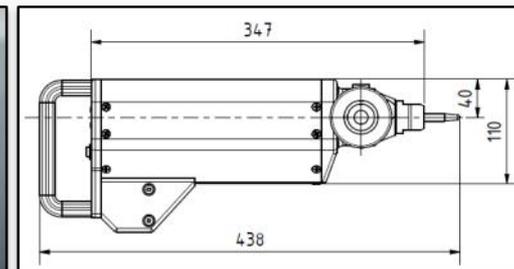
Eine PIT Behandlung erfolgt nur an den kritischen Bereichen (den sog. Hot-Spots)

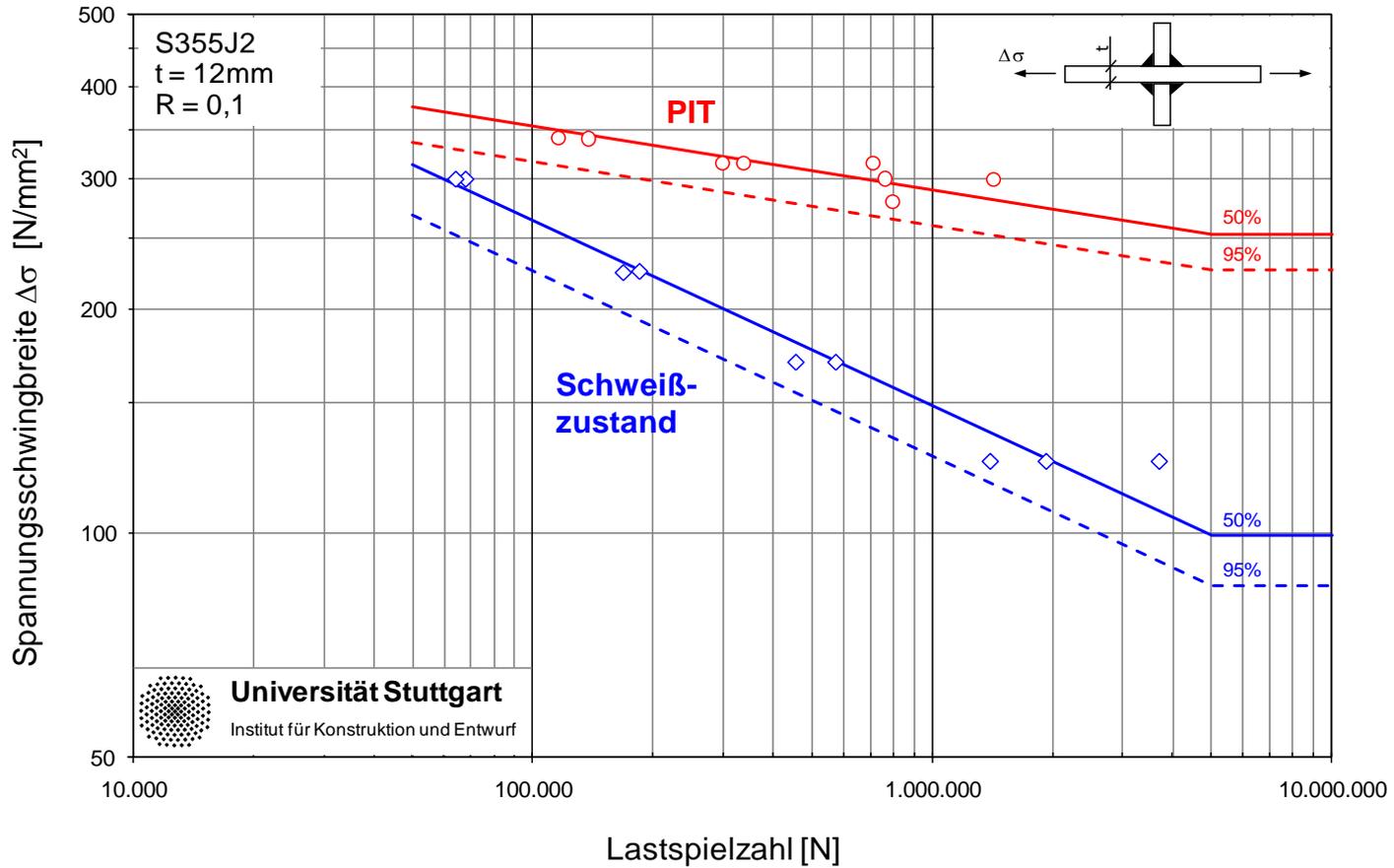
Aufgrund seiner hohen Mobilität und Reproduzierbarkeit der guten Bedienerfreundlichkeit und dem hervorragendem PreisLeistungsverhältnis ist das PIT System das derzeit wohl meist verkaufte HFMI System international.

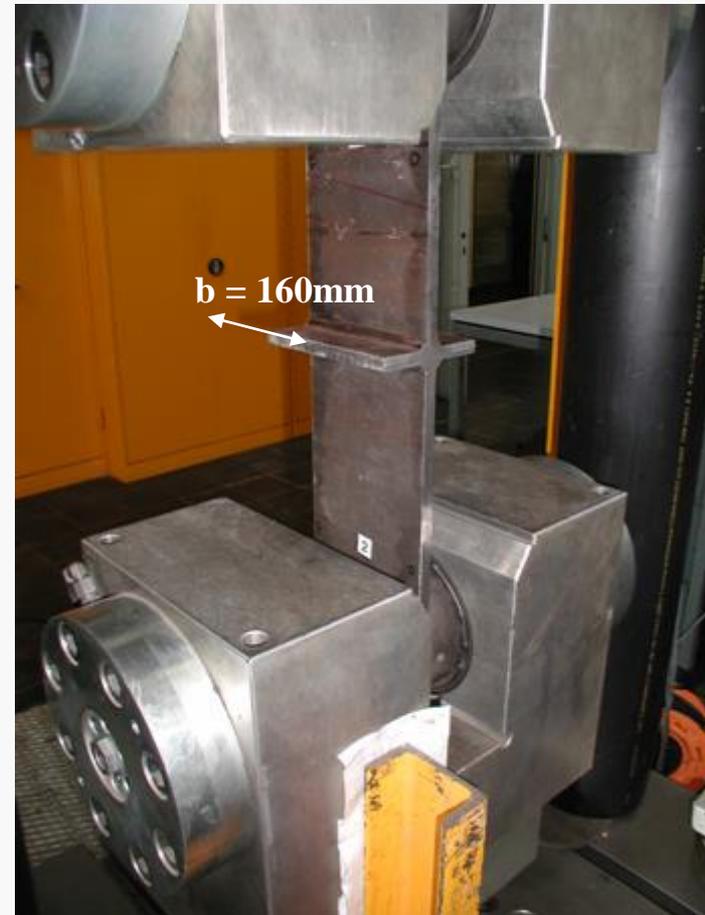
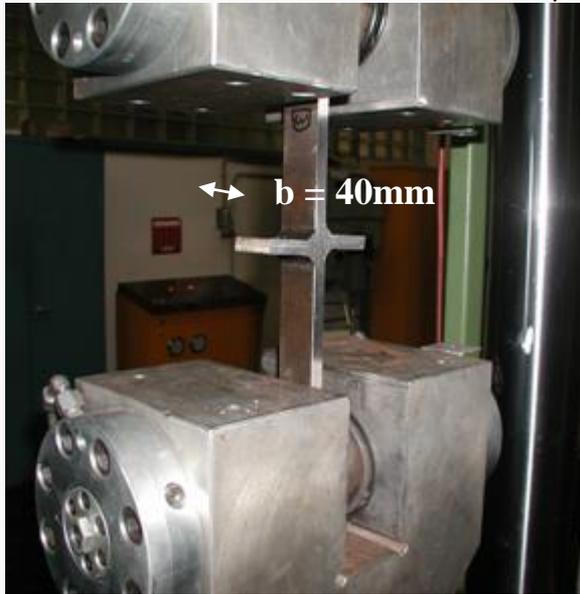


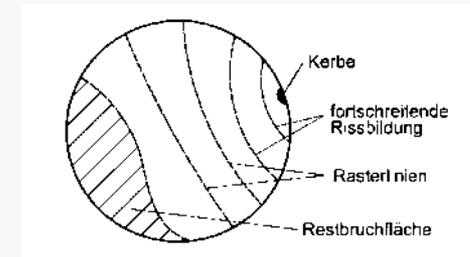
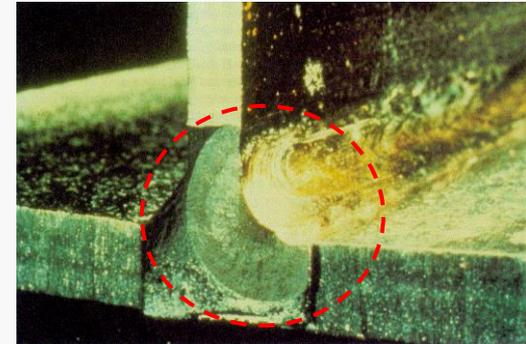
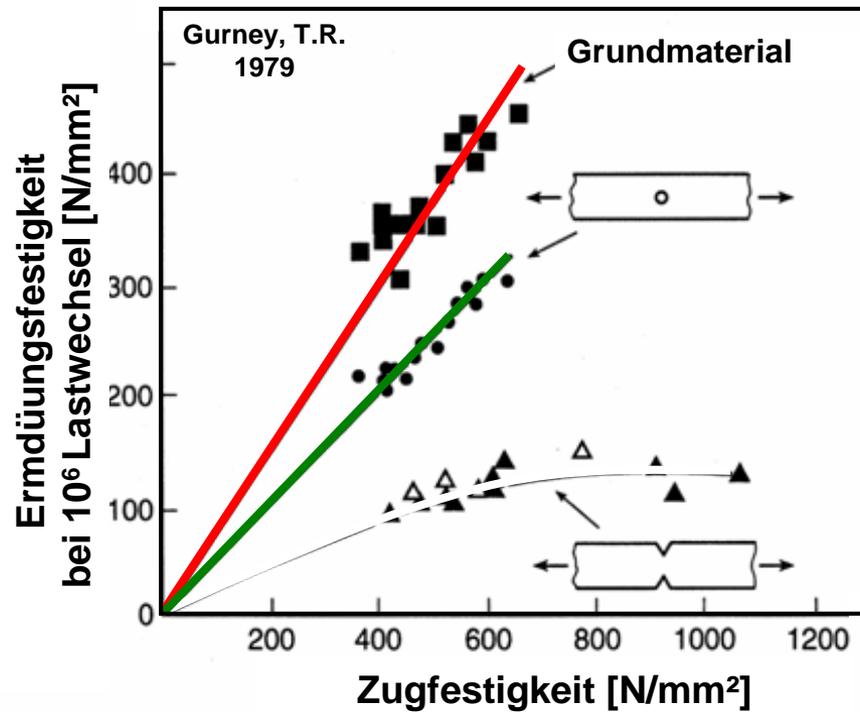
Die großen Vorteile der PIT Systeme liegen in:

- der kompakten Bauweise für eine hohe Mobilität
- der hohen Reproduzierbarkeit durch eine vom Anwender effektiv entkoppelten Schlagintensität
- dadurch bedingte sehr niedrige Handarmvibration von nur $\sim 5\text{m}/\text{sek}^2$
- sowie eine enorm bedienerfreundliche Führung des Gerätes
- dem geringem Druckluftbedarf von nur 6 bar bei ca. 200 Ltr/min.
- Feineinstellung der Intensität durch getrennte Regelung von Frequenz und Druck
- Gute Zuverlässigkeit, da Rückschläge im Federsystem und dem Muskelgewebe absorbiert werden, ohne die Mechanik zu hoch zu belasten
- Umfangreiches Bolzen-Sortiment für unterschiedlichste Anwendungen
- in geschlossenen Behältern anwendbar (Handgerät mit nur 24 V)





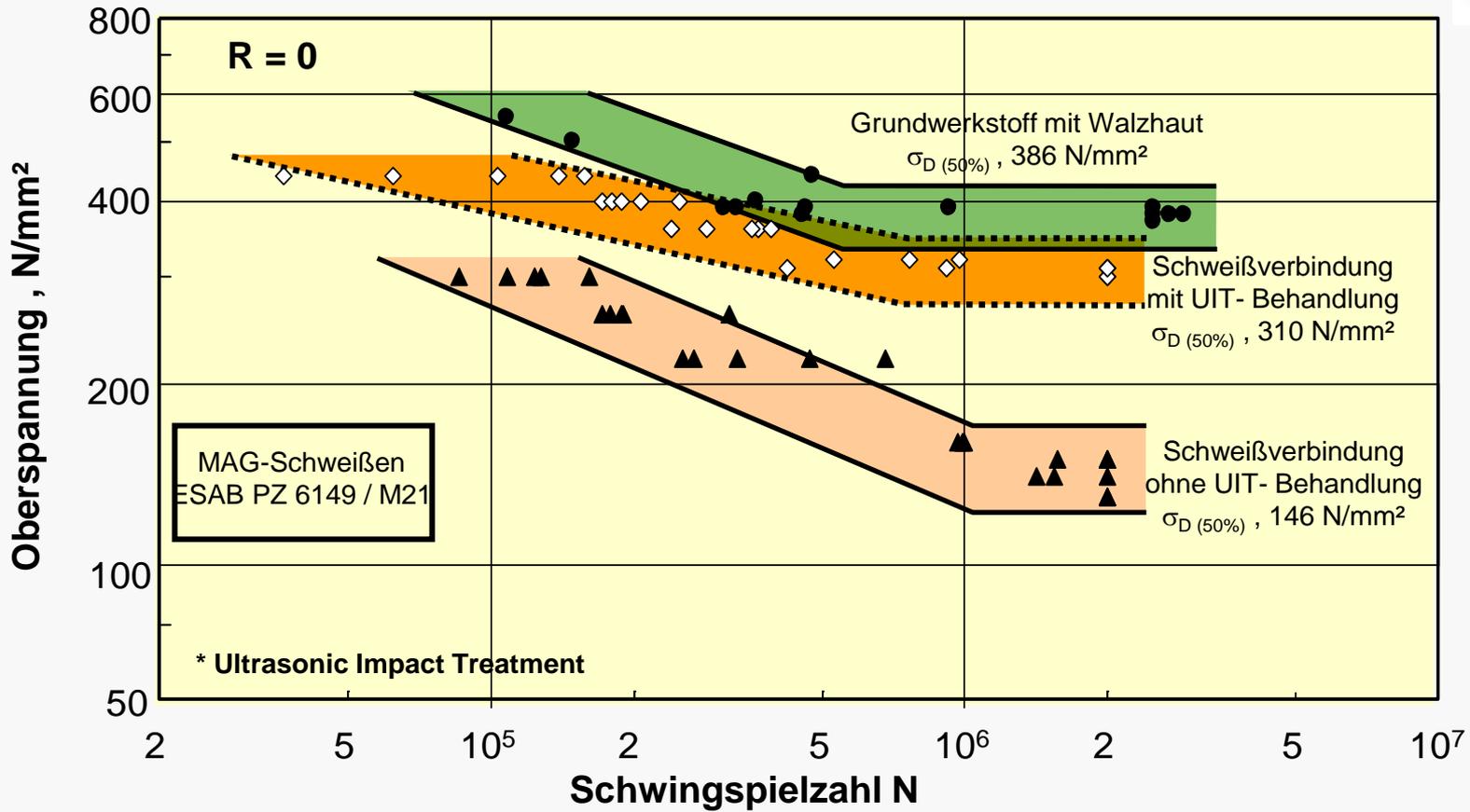


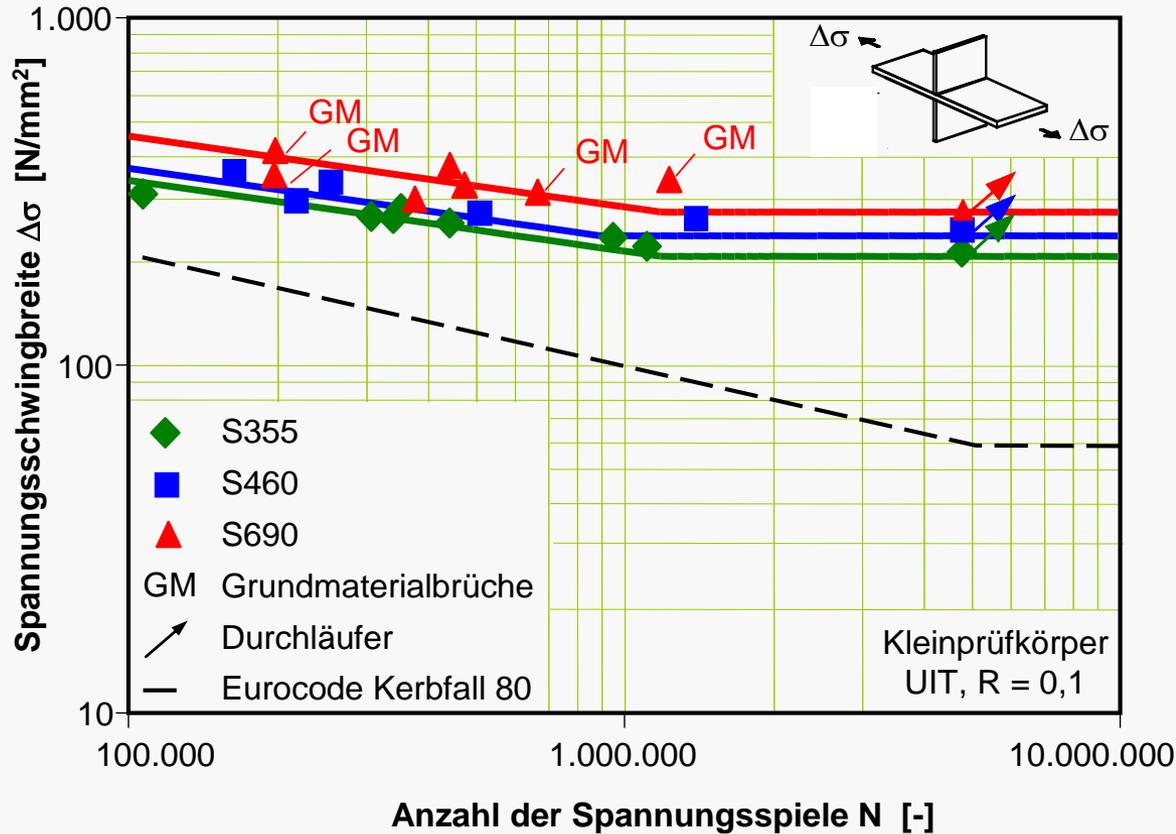


▪ gekerbte Konstruktionen:



Ermüdungsfestigkeit ist unabhängig von der Zugfestigkeit





effektiver bei **höherfesten** Stählen

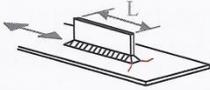
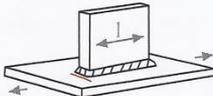
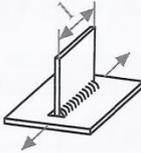
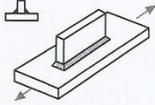
...mehr geht nicht – Bruch im Grundwerkstoff

GEC



Derzeit werden in Deutschland verschiedene Nachweise gegen Werkstoffermüdung in der Regel auf Grundlage von Nennspannungen mit zulässigen Spannungsschwingbreiten geführt, welche dann in den Wöhlerversuchen ermittelten Schädigungslinien gegenübergestellt.

- **DIN EN 1993-1-9 (Eurocode 3) Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-9 Ermüdung**
- **IIW-Dokument „Recommendations for Fatigue Design of Welded Joints and Components“**
- **FKM-Richtlinie „Rechnerischer Festigkeitsnachweis für Maschinenbauteile“**
- **DIN EN 13001-1 Krane – Konstruktion allgemein- Teil 1 Allgemeine Prinzipien und Anforderungen**
- **DIN 15018-1 Krane; Grundsätze für Stahltragwerke; Berechnung**

	DIN EN 1993-1-9	IIW-Richtlinie	FKM-Richtlinie	DIN EN 13001-1	DIN 15018-1	
					$\kappa = 0,1$	$\kappa = -1$
Sinnbild			wie IIW			
Kerbfall	Nr. 1, Tab. 8.4	Nr. 521, Tab. {3.2}-1	Nr. 521, Tab. 5.4.1	Nr. 3.24, Tab. D.3	Nr. 442, Tab. 32	
$\Delta\sigma_C$	56 N/mm ²	63 N/mm ²	63 N/mm ²	63 N/mm ²	59,2 N/mm ² ¹⁾	72 N/mm ² ¹⁾
$P_{\ddot{u}}$	95 %	95 %	95 %	97,7 %	90 % (und $\gamma = 1,33$)	
β	1,645	1,645	1,645	1,995	1,282	
s	0,0688	0,0688	0,0688	0,0688	0,0688	
$\Delta\sigma_{C,50\%}$	72,7 N/mm ²	81,8 N/mm ²	81,8 N/mm ²	86,4 N/mm ²	72,2 N/mm ² ²⁾	88,2 N/mm ² ²⁾
Abw. ³⁾	0,0 %	12,5 %	12,5 %	18,9 %	-0,7 %	21,4 %
zul. $\Delta\sigma$	72,7 N/mm ²	81,8 N/mm ²	90,7 N/mm ²	86,4 N/mm ²	72,2 N/mm ² ²⁾	88,2 N/mm ² ²⁾
γ_M	1,35	1,40	1,50	1,25	1,33	
zul. $\Delta\sigma/\gamma_M$	53,8 N/mm ²	58,4 N/mm ²	60,5 N/mm ²	69,1 N/mm ²	54,2 N/mm ²	66,2 N/mm ²

¹⁾ Sicherheitsfaktor von 4/3 wurde herausgerechnet

- $\kappa = -1,0$: $\Delta\sigma_C = (27 \cdot 4/3) \cdot (1 - (-1)) = 72 \text{ N/mm}^2$

- $\kappa = 0,1$: $\Delta\sigma_C = 4/3 \cdot (5/3 \cdot 27)/(1 - (1 - 5/3 \cdot 27)/(0,75 \cdot 470)) \cdot 0,1 = 59,2 \text{ N/mm}^2$

²⁾ berechnet für S355 ($\sigma_B = f_u = 470 \text{ N/mm}^2$)

³⁾ bezogen auf DIN EN 1993-1-9

EUROPÄISCHE NORM
EUROPEAN STANDARD
NORME EUROPÉENNE

EN 1993-1-9

Mai 2005

ICS 91.010.30

Ersatz für ENV 1993-1-1:1992

Deutsche Fassung

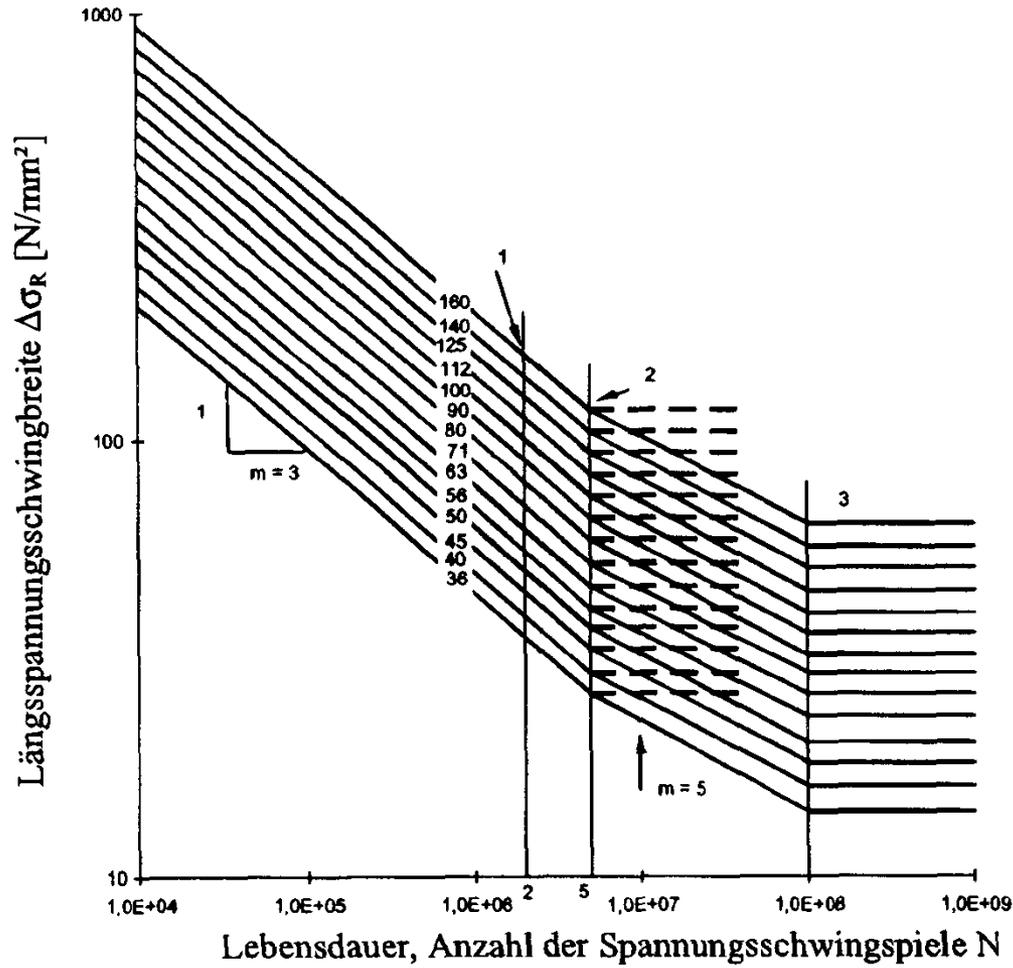
**Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten —
Teil 1-9: Ermüdung**

Eurocode 3: Design of steel structures —
Part 1-9: Fatigue

Eurocode 3: Calcul des structures en acier —
Partie 1-9: Fatigue

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 23. April 2004 angenommen.

Wöhlerkurven des EC 3, Teil 1.9



1 – Kerbfall $\Delta\sigma_C$

2 – Dauerfestigkeit $\Delta\sigma_D$

3 – Schwellenwert der Ermüdungsfestigkeit $\Delta\sigma_L$

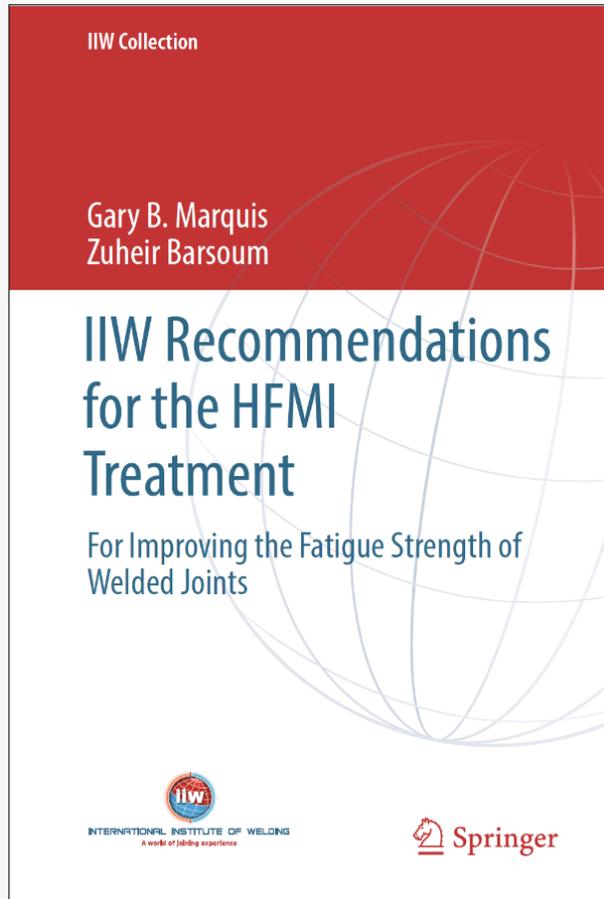


INTERNATIONAL INSTITUTE OF WELDING
A world of joining experience

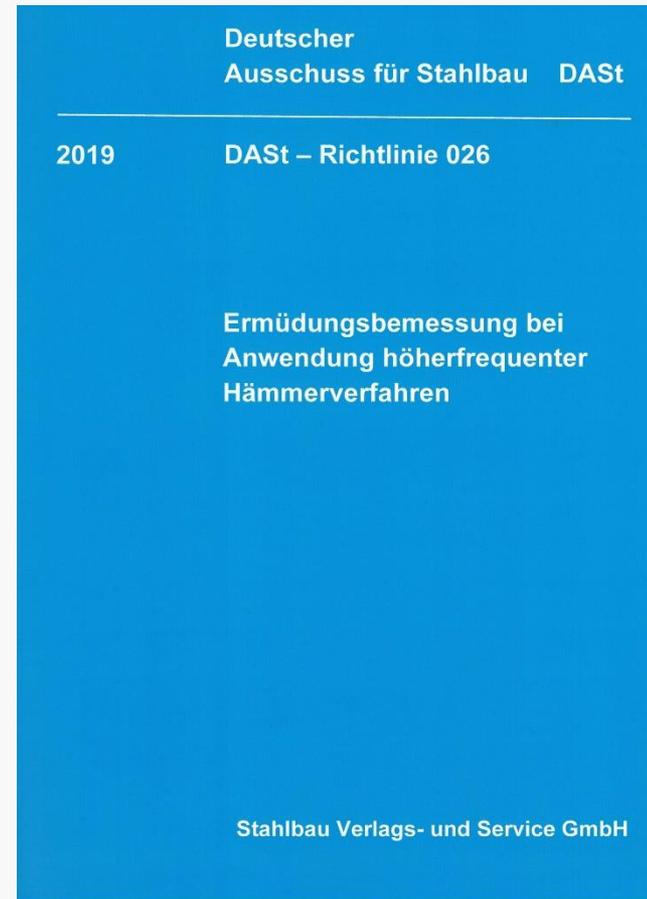
bestätigen die hohen Effekte von HFMI



Stahlbau Verlags- und
Service GmbH
Wir vermitteln Expertenwissen.



<https://www.springer.com/de/book/9789811025037>



<https://shop.deutscherstahlbau.de/de/dast-richtlinie-026>

z.B. von FAT 80 auf FAT 140 und weiter

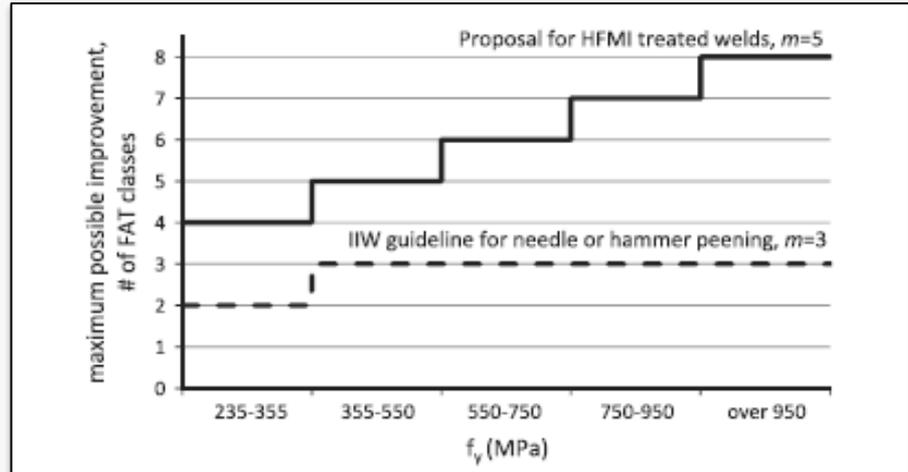
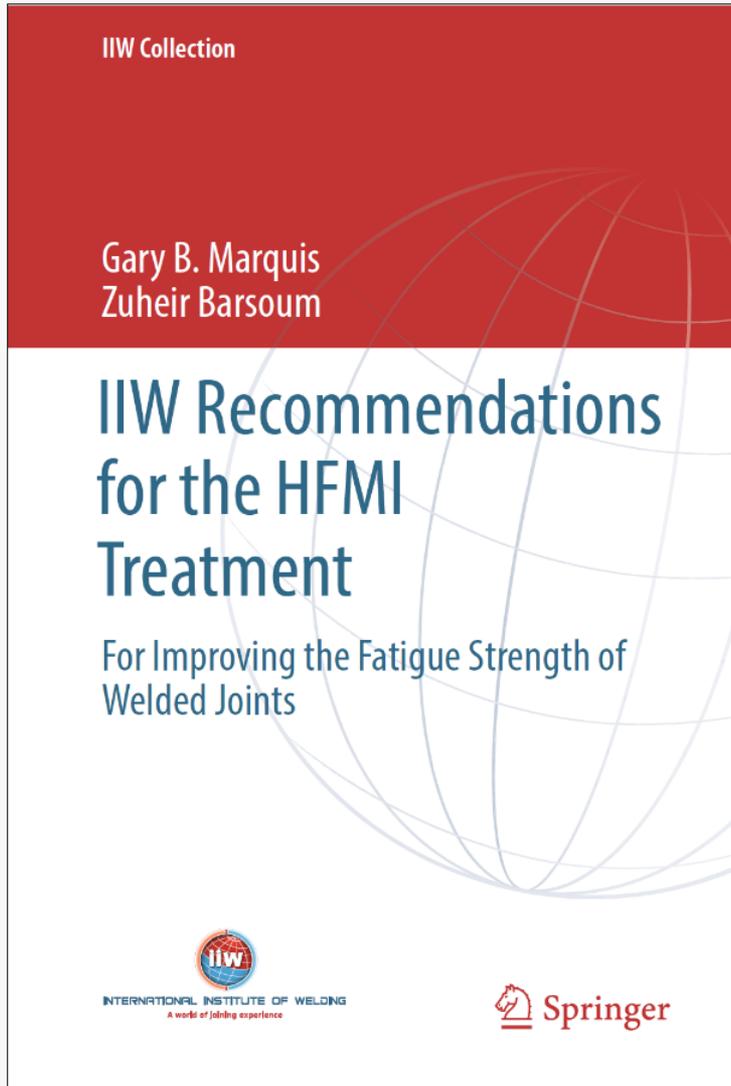


Fig 5. Proposed maximum increase in the number of FAT classes as a function of f_y .

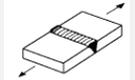
Table 6
Existing IIW FAT classes for as-welded and hammer or needle peened welded joints and the proposed FAT classes for HFMI treated joints as a function of f_y .

f_y (MPa)	Longitudinal welds	Transverse welds	Butt welds
	As-welded, $m = 3$ [2]		
All f_y	71	80	90
	Improved by hammer or needle peening, $m = 3$ [1]		
$f_y \leq 355$	90	100	112
$355 < f_y$	100	112	125
	Improved by HFMI, $m = 5$		
$235 < f_y \leq 355$	112	125 ^a	140 ^a
$355 < f_y \leq 550$	125	140	160
$550 < f_y \leq 750$	140	160	180
$750 < f_y \leq 950$	160	180 ^a	-
$950 < f_y$	180	-	-

^a no data available.

z.B. von FAT 80 auf FAT 125 und höher

Im direkten Vergleich zeigt sich das technische und wirtschaftliche Potential von Pneumatic Impact Treatment (PIT) am deutlichsten.

FAT Klassen der Details im geschweißten Zustand	Streckgrenze fy	Schleifen		WIG/TIG Dressing		Hammer-/Needle Peening		PIT	
		Faktoren	FAT-Klassen	Faktoren	FAT-Klassen	Faktoren	FAT-Klassen	Faktoren	FAT-Klassen
									
		Neigung m=3		Neigung m=3		Neigung m=3		Neigung m=5	
Längssteife									
	235 fy ≤ 355	1,30	FAT 90	1,30	FAT 90	1,30	FAT 90	1,57	FAT 112
	> 355 fy ≤ 550					1,50	FAT 100	1,76	FAT 125
	> 550 fy ≤ 750					1,97	FAT 140		
	> 750 fy ≤ 950					2,25	FAT 160		
Quersteife									
	235 fy ≤ 355	1,30	FAT 100	1,30	FAT 100	1,30	FAT 100	1,56	FAT 125
	> 355 fy ≤ 550					1,50	FAT 112	1,75	FAT 140
	> 550 fy ≤ 750					2,00	FAT 160		
	> 750 fy ≤ 950					2,25	FAT 180		
Stumpfstoß									
	235 fy ≤ 355	1,30	FAT 112	1,30	FAT 112	1,30	FAT 112	1,55	FAT 140
	> 355 fy ≤ 550					1,50	FAT 125	1,77	FAT 160
	> 550 fy ≤ 750					2,00	FAT 180		
	> 750 fy ≤ 950					2,00	FAT 180		
		> hohes Fehlerpotential - Unterschlifod. Schleifbrand - zusätzliche Kerben od. Riefen > Staub/Lärm/zeitintensiv		> nur in Wannenlage > Spannungsprofil		> wenig reproduzierbar > hohe Handarmvibration		> höchste Verbesserung > hohe Reproduzierbarkeit > nachhaltige Qualitätssicherung > ~ 20 cm/min.	

Referenzen:

- > Hobbacher A., IIW recommendations for fatigue design of welded joints and components, WRC bulletin 520, New York: The Welding Research Council, 2009
- > Marquis et al., Fatigue strength improvement of steel structures by high-frequency mechanical impact: proposed fatigue assessment guidelines, Weld World 57, pp. 803-822, 2013
- > IIW Recommendations on High Frequency Mechanical Impact (HFMI) Treatment for Improving the Fatigue Strength of Welded Joints (in press)



Universität Stuttgart
Institut für Konstruktion und Entwurf
Schwerpunkte: Stahlbau, Holzbau und Verbundbau
Prof. Dr.-Ing. Ulrike Kuhlmann



Deutscher Ausschuss
für Stahlbau



Stand der DASSt-Richtlinie für höherfrequente Hämmerverfahren

Entwicklung einer DASSt-Richtlinie für
höherfrequente Hämmerverfahren

**DASSt / IGF-Projekt
2013-2018**

Prof. Dr.-Ing. Ulrike Kuhlmann
Dipl.-Ing. Stephanie Breunig
Prof. Dr.-Ing. Thomas Ummenhofer
Dipl.-Ing. Philipp Weidner

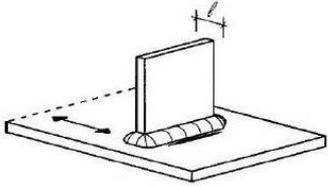
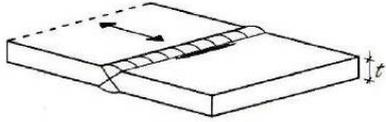
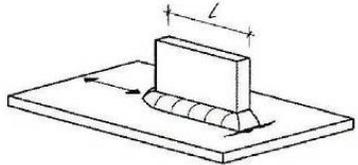
Deutscher
Ausschuss für Stahlbau DASSt

2019 DASSt – Richtlinie 026

Ermüdungsbemessung bei
Anwendung höherfrequenter
Hämmerverfahren

Stahlbau Verlags- und Service GmbH

DASSt-Richtlinie 026 bestellbar unter: <https://shop.deutscherstahlbau.de/de/dast-richtlinie-026>

Skizze des Konstruktionsdetails	Symbol für Schweiß- verbindung	Beschreibung
		Unbelastete Quersteife gemäß DIN EN 1993-1-9 Tab. 8.4, Detail 6
		Querbelastete Stumpfnaht gemäß DIN EN 1993-1-9 Tab. 8.3, Detail 5
		Unbelastete Längssteife gemäß DIN EN 1993-1-9 Tab. 8.4, Detail 1

In der DAST-Richtlinie 026 werden die Details

- Unbelastete Quersteife
- Querbelastete Stumpfnaht
- Unbelastete Längssteife

berücksichtigt.

Der Ermüdungsnachweis erfolgt entsprechend der DIN EN 1993 mit erhöhten Kerbfällen $\Delta\sigma_{c,HFH}$ unter Berücksichtigung von $m_{c,HFH} = 5$ und $m_{d,HFH} = 9$

1 Anwendungsbereich

- (1) Diese DAST-Richtlinie gilt für die Nachbehandlung von geschweißten Bauteilen mit höherfrequenten Hämmerverfahren (HFH) zur Erhöhung der Ermüdungsfestigkeit. Ermüdungsbeanspruchte Bauteile, die nach DIN EN 1090-2 gefertigt werden, können mithilfe dieser DAST-Richtlinie zusammen mit DIN EN 1993-1-9 bemessen werden. Sie ist an Tragwerksplaner und Hersteller gerichtet und behandelt den Ermüdungsnachweis HFH-behandelter Schweißnähte bei Neukonstruktionen.
- (2) Diese DAST-Richtlinie gilt für die Stahlsorten S235, S275, S355, S420, S450 und S460 nach DIN EN 10025 Teil 1 bis 4 sowie S460, S500, S550, S620, S690 nach DIN EN 10025 Teil 6 sowie für vergleichbare Stähle nach DIN EN 10210 und DIN EN 10219.

ANMERKUNG 1 Wetterfeste Stähle nach EN 10025-5 werden durch diese Richtlinie nicht erfasst.

ANMERKUNG 2 Diese DAST-Richtlinie ist eine Ergänzung zu DIN EN 1993: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-9: Ermüdung, sowie zu DIN EN 1993: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 2: Stahlbrücken

- (3) Diese DAST-Richtlinie gibt in ihrem Hauptteil Kerbfälle für den Ermüdungsnachweis für häufig vorkommende Konstruktionsdetails, die durch HFH-nachbehandelt wurden, an. Voraussetzungen für die Anwendbarkeit dieser Richtlinie sind in Abschnitt 4 definiert.

4 Voraussetzungen zur Anwendung der DAST-Richtlinie

4.1 Qualifizierte HFH-Verfahren

- (1) Die verbesserten Ermüdungsfestigkeiten in den Tabellen 2 bis 6 gelten nur bei Anwendung qualifizierter HFH-Verfahren. Als qualifiziert gelten die HFH-Verfahren HiFIT, PIT und UIT, da diese Verfahren den ausgewerteten Versuchsdaten in [1] zu Grunde liegen und in ihrer Wirkungsweise und Effektivität nachgewiesen wurden und vergleichbar sind.
- (2) Die Anwendung anderer als der hier genannten Verfahren ist nicht in dieser DAST-Richtlinie geregelt.
- (3) Die Ermüdungsbemessung unter Verwendung dieser DAST-Richtlinie für andere als die in (1) genannten HFH-Verfahren muss auf Grundlage einer Bauartgenehmigung erfolgen.

4.2 Anforderungen an Schweißnähte vor der HFH-Nachbehandlung

- (1) Zusätzlich zu den Anforderungen nach Kerbfallkatalog in DIN EN 1993-1-9 sind die Qualitätsanforderungen nach DIN EN 1090 zu berücksichtigen, dies schließt die entsprechende Bewertungsgruppe für Schweißnähte mit ein.
- (2) Die Zugänglichkeit des nachzubehandelnden Schweißnahtübergangs muss gewährleistet sein.
- (3) Vor der HFH-Behandlung darf keine andere Schweißnahtnachbehandlung erfolgen (z.B. Schleifen, WIG-Aufschmelzen, Spannungsarmglühen, Spannungsvibrieren). Ein Säubern der Schweißnaht (z.B. Entfernung von Schweißspritzern) zur Erfüllung der Qualitätsanforderung durch Schleifen ist zulässig. Dabei ist zu beachten, dass der Nahtübergang deutlich erkennbar bleibt.

(7) Die Mindestschwingspielzahlen $N_{\min, HFH}$ und die zugehörige Spannungsschwingbreite $\Delta\sigma_s$ für das jeweilige Konstruktionsdetail sind in den Tabellen 3, 5 und 7 gegeben.

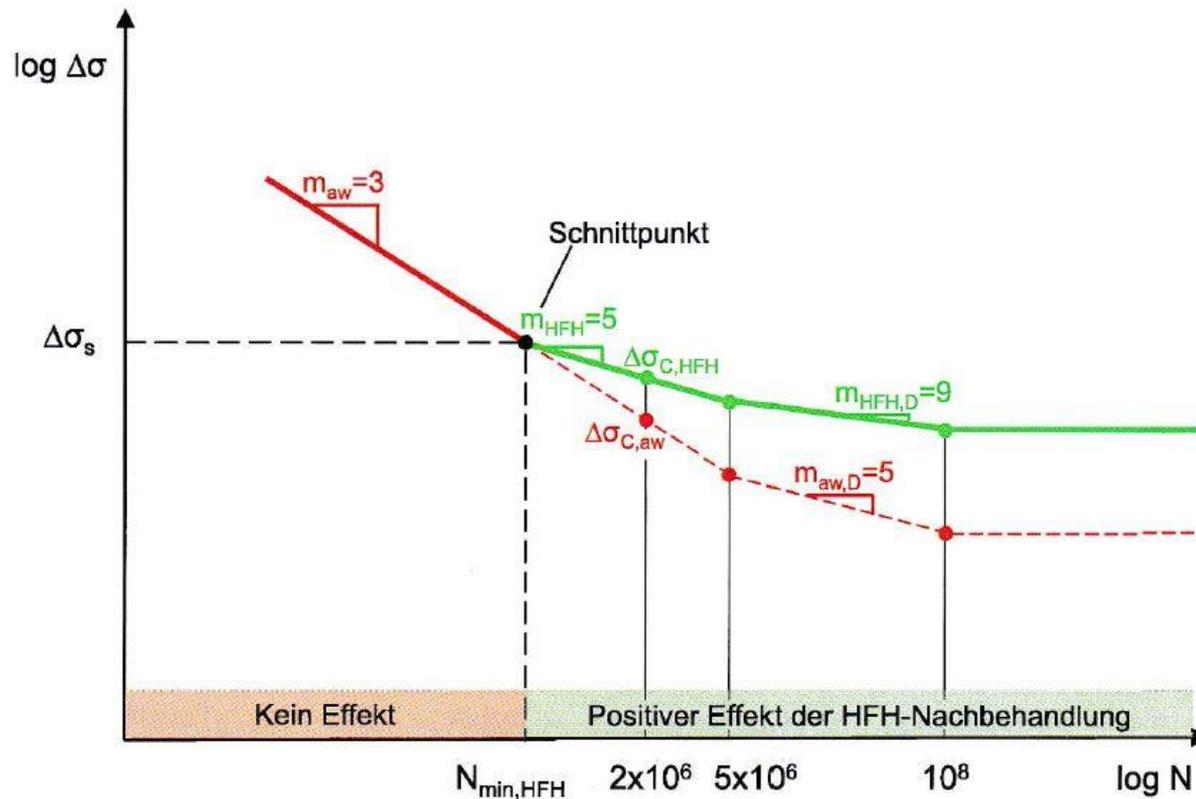
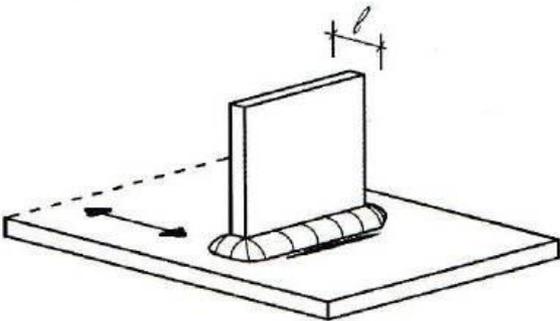


Abbildung 1: Darstellung des Schnittpunktes der verbesserten mit der ursprünglichen Bemessungswöhlerlinie

	Durch qualifizierte HFH-Verfahren verbesserte Ermüdungsfestigkeit für das Nennspannungskonzept $\Delta\sigma_{c,HFH}$ [N/mm ²] 1), 3), 4)		
	Spannungsverhältnis R [-] ²⁾		
Stahlgüte S nach DIN EN 10025	-1,0	0,1	0,5
S235 ≤ S < S355	100	100	80
S355 ≤ S < S550	160	140	90
S550 ≤ S ≤ S700	160	160	125

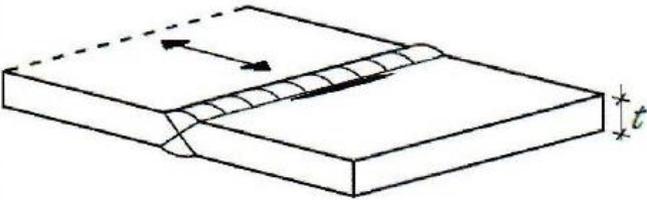
Für das Kerbdetail unbelastete Quersteife ergibt sich für einen S355 bei einem

Spannungsverhältnis von $R = 0,1$ eine erhöhte Ermüdungsfestigkeit $\Delta\sigma_{c,HFH} = 140$

Dies entspricht einer Erhöhung um 5 Kerbfälle

Wirksam wird die Erhöhung ab einer Schwingbreite von $\Delta\sigma_s = 325$ N/mm² laut Tabelle 3

Grenzwerte werden tabellarisch angegeben

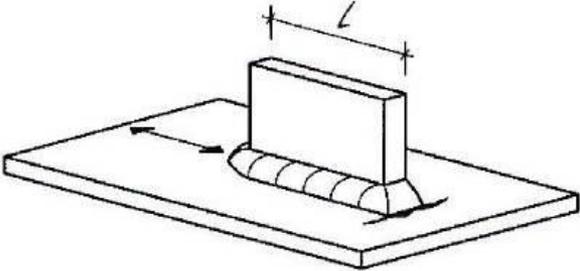
	Durch qualifizierte HFH-Verfahren verbesserte Ermüdungsfestigkeit für das Nennspannungskonzept $\Delta\sigma_{c,HFH}$ [N/mm ²] 3), 4), 5)		
	Spannungsverhältnis R [-] ²⁾		
Stahlgüte S nach DIN EN 10025	-1,0	0,1	0,5
$S235 \leq S < S355$	1.)	1.)	1.)
$S355 \leq S < S550$	160	140	100
$S550 \leq S \leq S700$	160	160	140

Für das Kerbdetail querbelastete Stumpfnah ergibt sich für einen S355 bei einem Spannungsverhältnis von $R = 0,1$ eine erhöhte Ermüdungsfestigkeit $\Delta\sigma_{c,HFH} = 140$

Dies entspricht einer Erhöhung um 4 Kerbfälle

Wirksam wird die Erhöhung ab einer Schwingbreite von $\Delta\sigma_s = 272$ N/mm² laut Tabelle 5

Aufgrund mangelnder Daten wird für Werkstoffgüten $< S355$ keine Verbesserung angegeben

	Durch qualifizierte HFH-Verfahren verbesserte Ermüdungsfestigkeit für das Nennspannungskonzept $\Delta\sigma_{c,HFH}$ [N/mm ²] 1), 4), 5), 6)		
	Spannungsverhältnis R [-] ³⁾		
Stahlgüte S nach DIN EN 10025	-1,0	0,1	0,5
S235 ≤ S < S355	2.)	2.)	2.)
S355 ≤ S < S550	112	112	80
S550 ≤ S ≤ S700	125	125	80

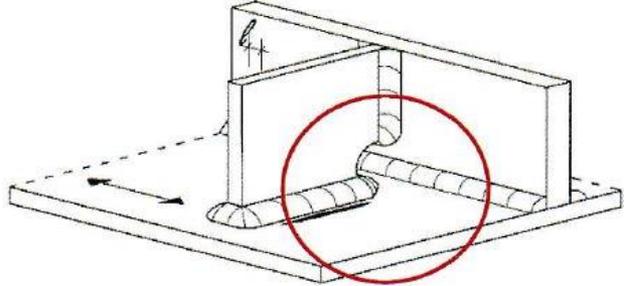
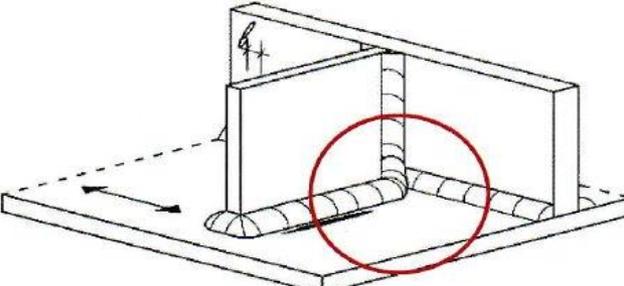
Für das Kerbdetail unbelastete Längsteifefesteife ergibt sich für einen S355 bei einem

Spannungsverhältnis von R = 0,1 eine erhöhte Ermüdungsfestigkeit $\Delta\sigma_{c,HFH} = 112$

Dies entspricht einer Erhöhung um 4 Kerbfälle

Wirksam wird die Erhöhung ab einer Schwingbreite von $\Delta\sigma_s = 317$ N/mm² laut Tabelle 7

Aufgrund mangelnder Daten wird für Werkstoffgüten < S355 keine Verbesserung angegeben

Eignung	Skizze	Beschreibung
✘		<p>Eingeschweißte Quersteife mit kreisrundem oder schrägem Freischnitt, Gefahr der unzureichenden Nachbehandlung im Bereich des Freischnitts</p>
✔		<p>Eingeschweißte eingepasste Quersteife ohne Freischnitt</p>

Nicht geeignete Ausführungsvarianten werden angegeben. Eine korrekte Nachbehandlung soll dadurch sichergestellt werden
Freischnitte bei Quersteifen sind nicht zulässig

Freischnitt ?

GEC





Falsch! – Übertriebene Aussparung an Ecken





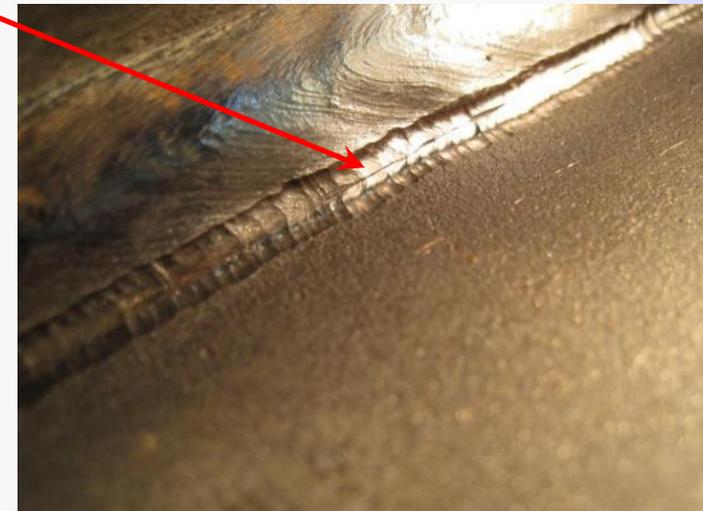
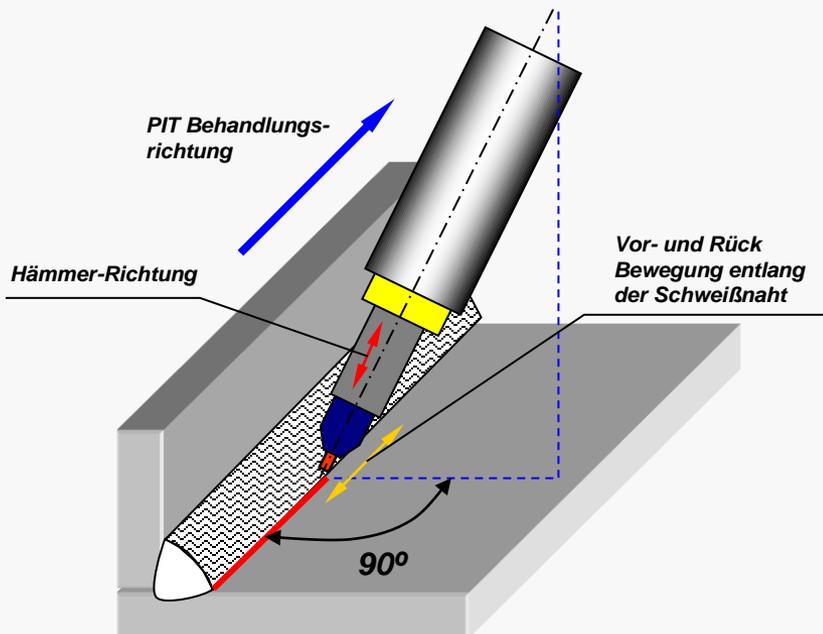
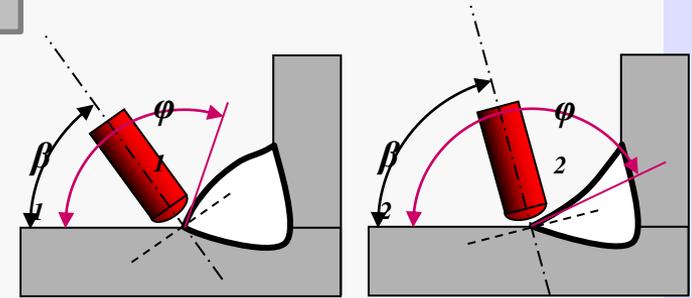
8 Qualitätssicherung

- (1) Die Anwendung der qualifizierten HFH-Verfahren hat durch einen geschulten und qualifizierten Bediener zu erfolgen.
- (2) Verfahren zur Qualifizierung des Personals:
Die Prüfung von Bedienern muss in Anlehnung nach DIN EN ISO 14732 erfolgen. Die Qualifizierung erfolgt auf der Grundlage einer Fertigungsprüfung für Stumpf- und Kehlnähte. Es gelten die Bewertungskriterien für Stumpf- und Kehlnähte. Die Qualifikation ist auf den Systemhersteller bezogen und nicht auf andere übertragbar.
- (3) Für die qualifizierten Verfahren muss eine visuelle Prüfung (VT) der Behandlungsspur zu 100% durch den Bediener und die Schweißaufsichtsperson erfolgen. Es ist sicherzustellen, dass die ermüdungskritischen Nahtübergänge vollständig behandelt und die ursprüngliche Nahtübergangskerbe vollständig erfasst werden.
- (4) Die Anwendung dieser DAST-Richtlinie für andere als die in 3.1(1) genannten HFH-Verfahren muss auf Grundlage einer Bauartgenehmigung erfolgen.
- (5) Die mit dem HFH-Verfahren behandelten Schweißnahtübergänge sind in den Ausführungsunterlagen zu kennzeichnen.

Die optische Kontrolle der Behandlungsspur

= das wichtigste Kriterium

- Behandlung im vorgegebenen Bereich
- keine Unterbrechung des Spurverlaufs
- keine Restkerbe (gut erkennbar)



Um den vollen Effekt einer HFMI Behandlung sicher zu stellen empfiehlt die PITEC folgende Maßnahmen:

1) Ausführliche Anwenderschulung mit Sensibilisierung

- theoretische Kenntnisse der Ermüdungsursachen
- theoretische Kenntnisse des HFMI Effektes
- Kenntnis der Grenzen des höherfrequenten Hämmerns
- theoretische & praktische Kenntnis des Intensitätstests
- praktisches Training für unterschiedliche Anwendungen

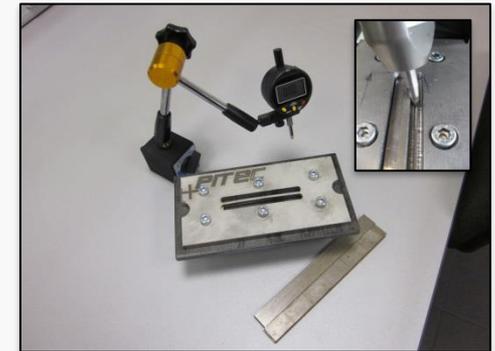


2) Eine zuverlässige Überprüfung der Geräteintensität

Ein zerstörungsfreier Nachweis der eingebrachten Druckeigen-
spannungen ist derzeit noch nicht verfügbar.

Folglich muss jederzeit überprüft werden können, ob das ver-
wendete Gerät auch noch über die notwendige Schlagintensität
verfügt.

Die PITEC verwendet hierzu einen eigens für PIT angepassten
Almentest.



3) PIT Behandlungsanweisung

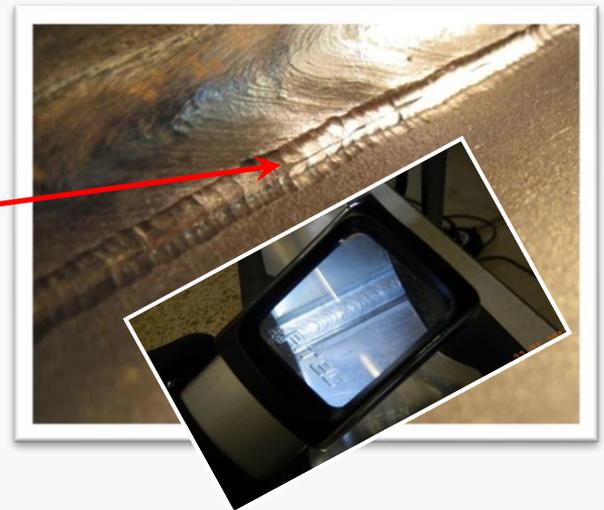
Die Anwenderschulung versetzt den Anwender in die Lage eine optimale Anwendung sicher zu stellen. Aber um zu wissen wo in welcher Art behandelt werden soll bedarf es einer Behandlungsanweisung die von einem Anwendungsberater und/oder der Konstruktion bzw. der Schweißaufsicht erstellt werden sollte.

PIT Behandlungsanweisung Nr.: 11.49.10.04-001			
Kunde:		Bombardier Transportation GmbH	
Bestellnummer.:			
Projekt Nr.:	11.49.10.04	Projekt Beschreibung	
Bezeichnung:	Drehgussel	Behandlung von Hot-Spots am Drehgestellrahmen	
Material Bez.:	3.955		
Ziel der Behandlung:		Steigerung der Ermüdungslebensdauer/ Festigkeit	
Behandlungsparameter			
Geräte Identifikation			
Anwender:	Modell:	Gerätenummer:	Einstellungen
	PIT Weld Line	4901	Stufe: 2 (90 Hz) Druck: 6 bar
Behandlungswinkel		Vorschubgeschwindigkeit	
~ 30-60°		~ 5-20 cm/min.	
Bolzenhalter und Bolzen			
Form des Bolzenhalters	Bolzen	Durchmesser	Länge der/s Bolzen/s
Standard	standard	8 mm	30mm bei Bolzenflügel
Bolzenform			
		Rund	
Behandlung basiert auf folgenden Unterlagen:		Zeichnung Nr.: 100 14 23 42	
An dieser Behandlungsanweisung haben mitgewirkt:			
Organisation:	Name:	Funktion:	
PITEC GmbH	Frank Schäfers	Technical Consultant / Sales Manager	

4) Optische Kontrolle

- der betreffende Bereich wurde vollständig behandelt
- Sicherstellung, dass keine Restkerbe vorhanden ist

Hierzu nutzt der PIT Anwender eine LED Lupe.

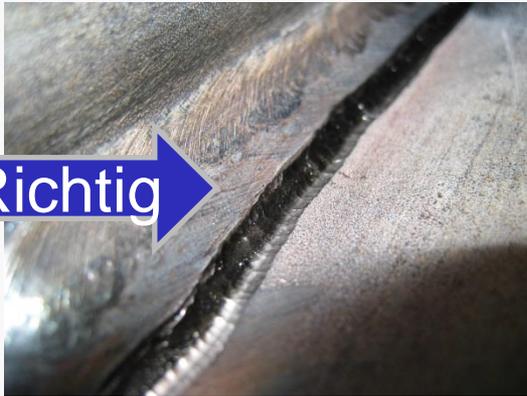


3) Die optische Kontrolle der Spur ist das wichtigste Qualitätskriterium

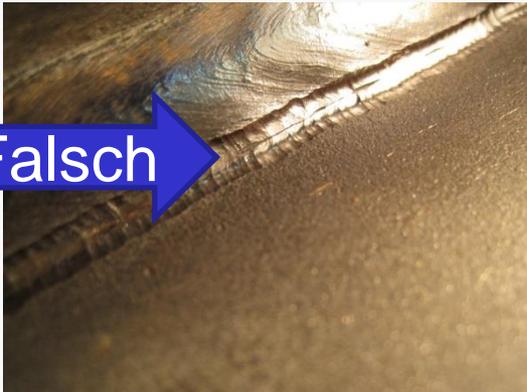
- der vorgegebene Bereich muss vollständig behandelt werden
- es darf keine Restkerbe mehr zu sehen sein
- bei flächiger Behandlung muss eine gute Flächendeckung sicher gestellt werden



Richtig



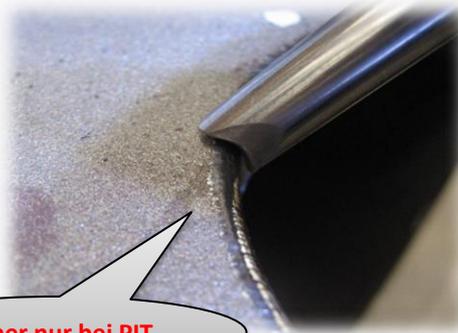
Falsch



die Spur am Nahtübergang
gegen Ermüdung



die Behandlung von Kanten
gegen Ermüdung



bisher nur bei PIT

die flächige Behandlung
gegen Ermüdung oder
Spannungsrisss-Korrosion



das Zwischenlagenhämmern
gegen Schrumpfspannungen
bzw. Verzug

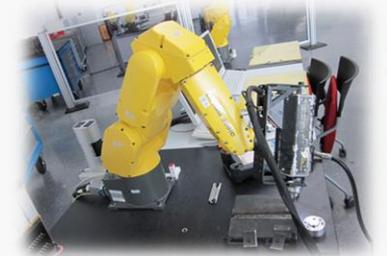


nicht mit jedem
HFMI System möglich

von Hand



am Roboter

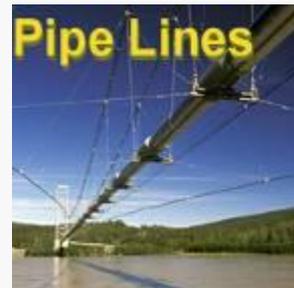


unter Wasser

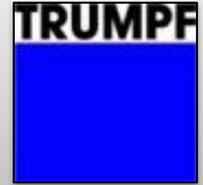


...überall dort wo zyklisch schwingend belastet wird!

GEC



- Trumpf belastete einen Maschinenrahmen im Prüfstand bis zum Anriss
- Nach der Reparaturschweißung wurde die Naht PIT behandelt
- weiter wurden die potentielle „Hot-Spots“ präventiv mit PIT behandelt
- daraufhin wurde der Maschinenrahmen im Prüfstand weiter belastet

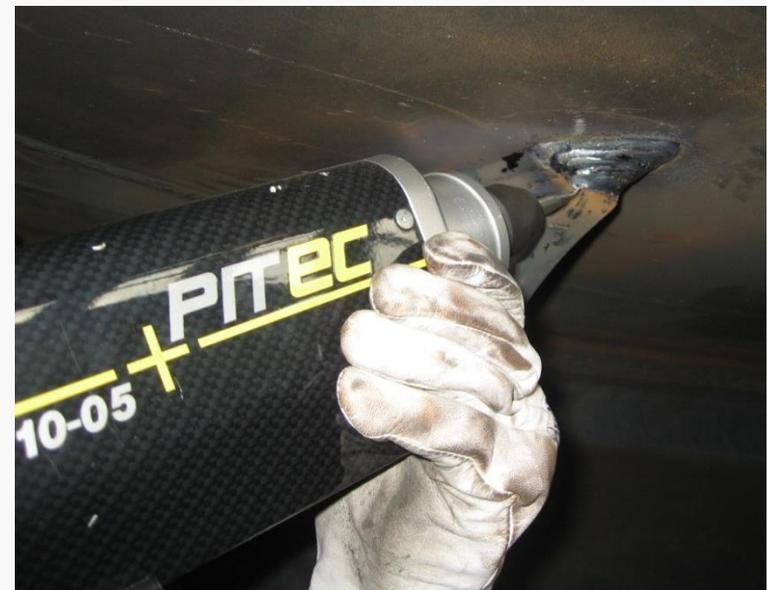


**Das Ergebnis war eine rund 1,6 fache Lebensdauer zum Neuteil
Trumpf setzt PIT bereits im Neubau ein um die ohnehin gute Qualität weiter zu steigern!**

Neben den Bombardierwerken Netphen und Bautzen setzt nun auch das Werk in Görlitz und neuerdings auch im Werk Breslau die PIT Technologie zur weiteren Verbesserung der Schwingfestigkeit ihrer ohnehin guten Konstruktionen ein.



Nach einer Testphase am Bauteil entschied Sennebogen sich dazu seine Anwender zu schulen und die Vorteile der PIT Technologie zu nutzen.

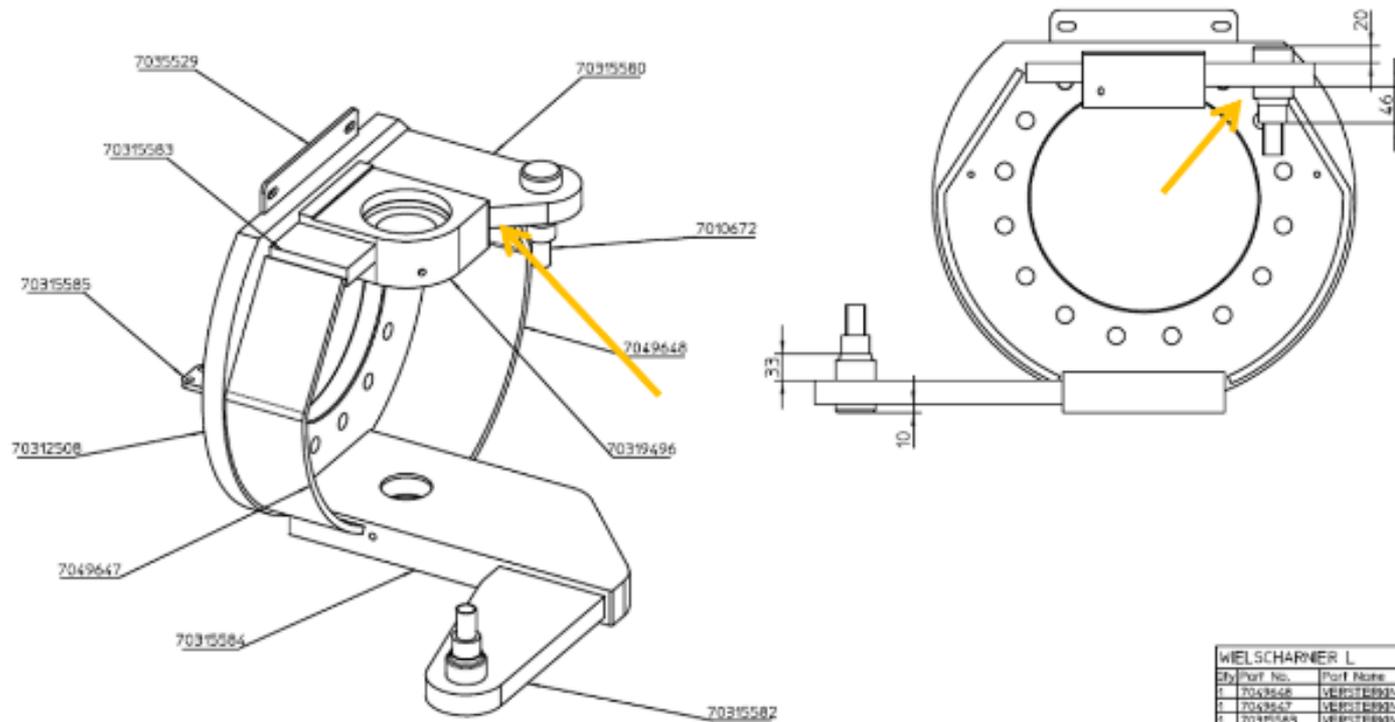


Einsatz von hochfestem Feinkornstahl mit PIT Nachbehandlung – Kommunalfahrzeuge (Mulag)

GEC



Beispiel Lenkhebel Erntemaschine



Qty	Part No.	Part Name
1	7049648	VERSTÄRKUNGSTEILE 01
1	7049647	VERSTÄRKUNGSTEILE 02
1	70315585	VERSTÄRKUNGSTEILE 03
1	7049642	STÜBELEITUNGSEINVESTUNG
1	7049640	KOPFLEITUNGSEINVESTUNG
1	7049645	SCHNEBELLEITUNGSEINVESTUNG
1	7049649	ABSCHNITTLEITUNGSEINVESTUNG
1	70315584	LENKHEBEL
2	7010672	LENKHEBELNAGEL
1	70312506	AANBOUWELING WIELSCHARNER

General tolerances according to ISO 2768-mk and DIN 8570-BF

1102 - BIL - RS

WIELSCHARNER L

Released

EP 85809277

TDC

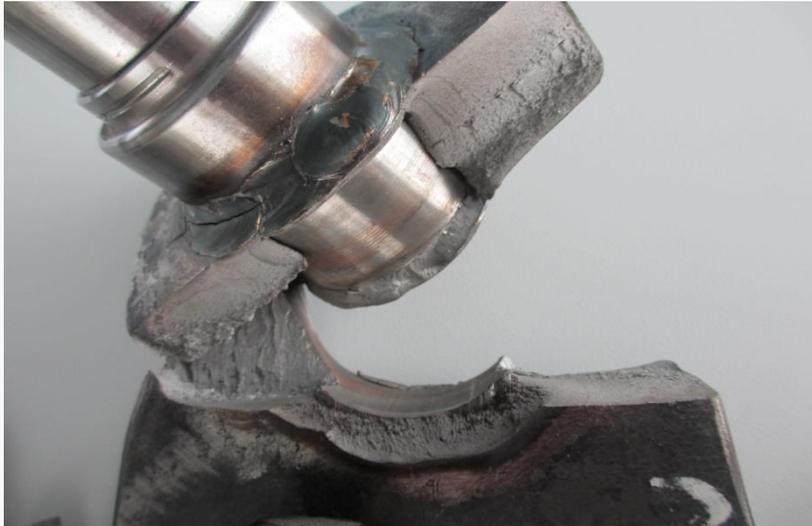
08/08/2011

08/08/2011

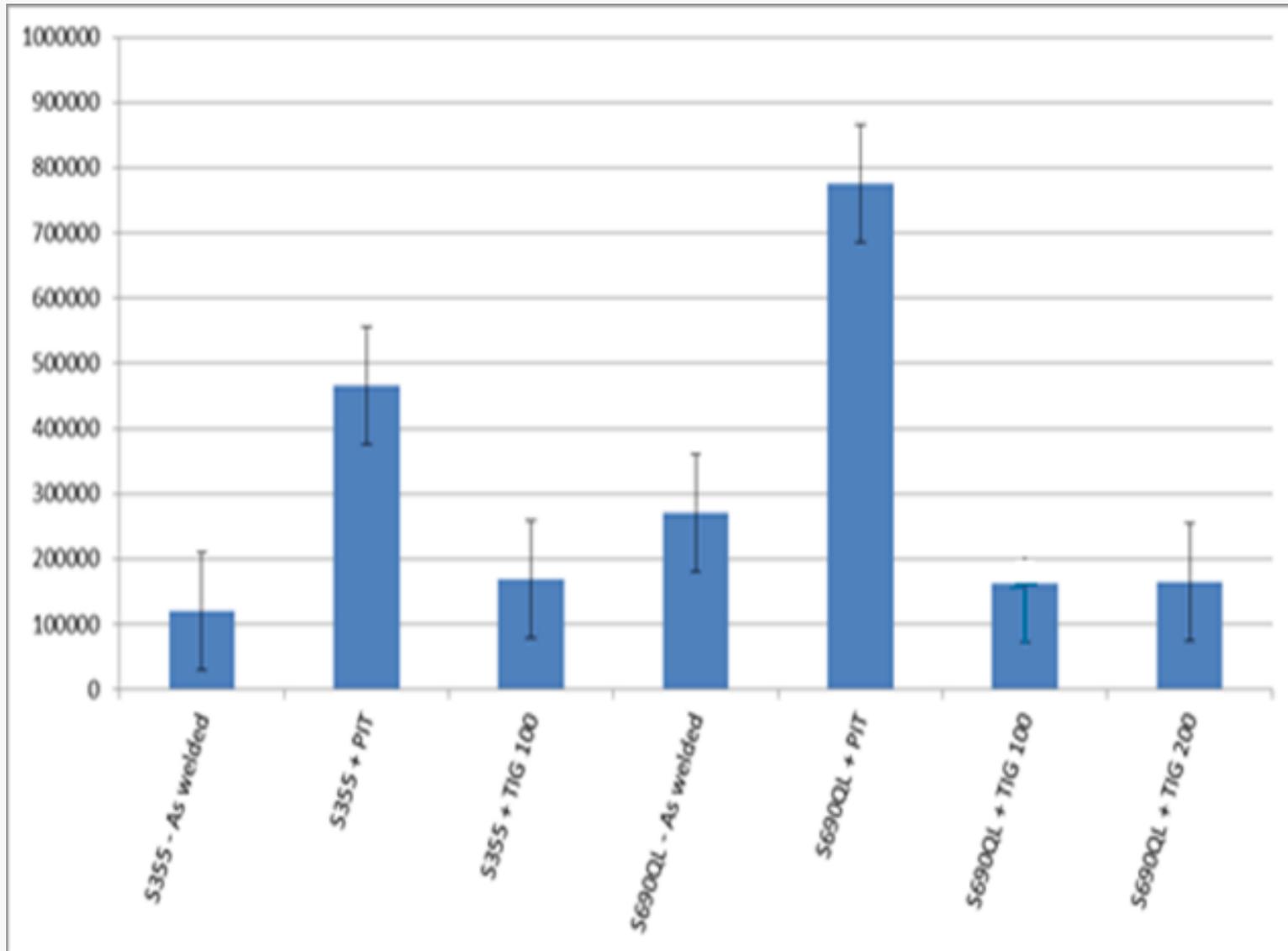
3 / 3

Beispiel Lenkhebel Erntemaschine

GEC



Schweißnahtnachbehandlung von HSS am Beispiel Lenkhebel



Autobahndirektion Nordbayern



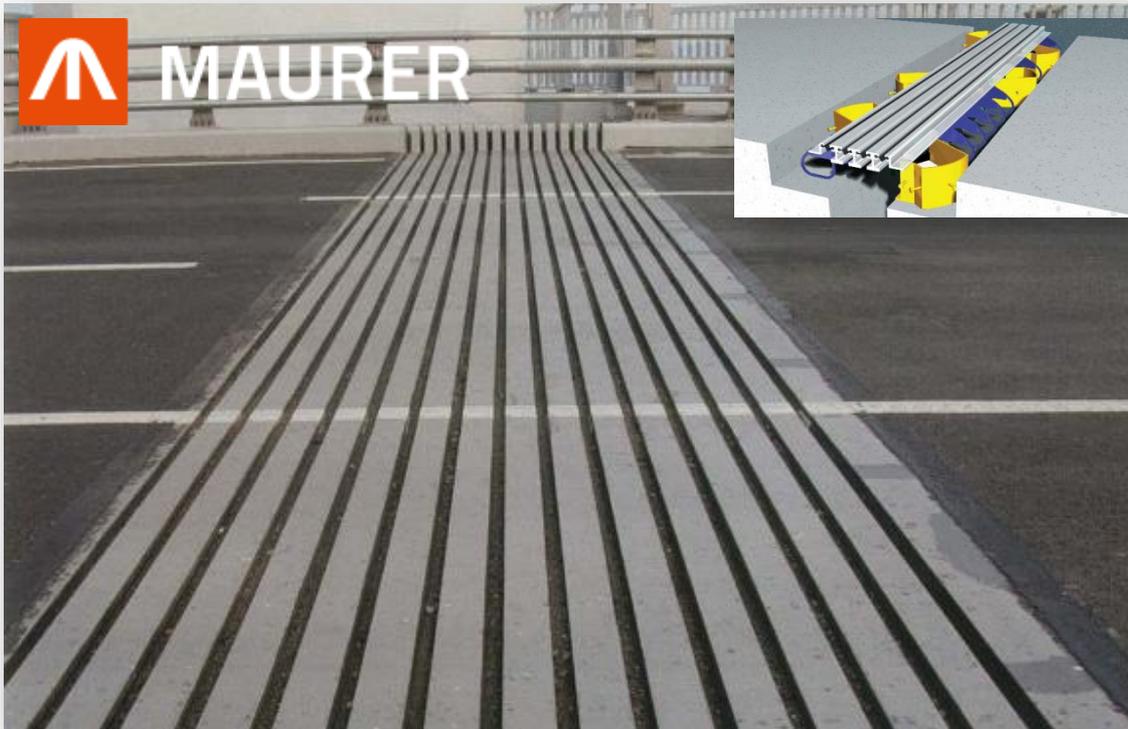
Brückenneubau, geschweißte
Rohrknoten

Zulassung im Einzelfall nur i.V.
mit UIT Behandlung





Nachdem das innovative Unternehmen Maurer SE sich in Forschungsprojekten und mit eigenen Versuchen nachhaltig von dem Lebensdauer steigernden Effekt der höherfrequenten Hämmerverfahren an seinen Brückenübergangslagern überzeugt hat...



... freut es uns bei PITEC ganz besonders, dass man sich nach ausführlicher Prüfung für unser PIT Verfahren entschieden hat!



„DCC hat die PIT Technologie anhand von Testaufbauten erprobt und Bestätigung für erhoffte Ergebnisse erlangt. Wir verwenden das Pitec System erfolgreich zur Verbesserung der Lebensdauer unserer Fahrbahnen.“

Thomas Krimmer, Head of Procurement, Doppelmayr Cable Car GmbH & Co KG





Da die Fahrbahn der Cable Cars über Straßen und Autobahnen führt, hat Amerika schärfere Anforderungen an die Ermüdungsfestigkeit gestellt. Ohne konstruktive Änderungen konnte mit Hilfe der PIT Behandlung eine Steigerung der Lebensdauer um das 4,5 fache erzielt werden. Diese guten Ergebnisse wurden sowohl an der Universität Stuttgart, als auch an der Uni in Seattle(WA) ermittelt

PIT wirkt präventiv gegen Ermüdungsrisse und steigert deutlich die Lebensdauer von dynamisch beanspruchten Stahl- und Metallkonstruktionen...



...egal ob Sie es zur Herstellung, an bestehenden Anlagen oder nach einer Reparatur einsetzen.

...lassen auch Sie sich von PIT überzeugen

GEC



LIEBHERR



SENEBOGEN



**PLAUN STAHL
TECHNOLOGIE**



HOFFMEIER
INDUSTRIEMASCHINEN GMBH & CO. KG

DORR

ITEMANTS
STEEL CONSTRUCTIONS

ZUBLIN

ASFINAG
RAFFL
STAHLBAU GmbH



**SALZGITTER
FLACHSTAHL**
Ein Unternehmen der Salzgitter Gruppe



ArcelorMittal

RWE

ThyssenKrupp
ThyssenKrupp Steel Europe

Siempelkamp
Maschinen- und Anlagenbau



VATTENFALL



sappi
The world for fine paper



vestolit
The right choice
EVONIK
INDUSTRIAL

FUCHS OTTO FUCHS KG

ALSTOM

Verbund



BOREALIS



LEITWIND

LOESCHE
INNOVATIVE ENGINEERING



SCHULER

**ANDRITZ
Hydro**

SCHENCK

**STELLBR
Hydro**

**SMS
MEER** **SMS
SIEMAG**
SMS group

SAH Holland
Engineering Your Road to Success



GRIMME

**CREITZ
VENTILATOREN**
At the heart of perfect systems

**ANDRITZ
Pulp & Paper**

the fan

MULAG

Doppelmayr



MAN
MAN Diesel & Turbo

**P+S
WERFTEN**



steuer

EKATO

BOMBARDIER



SIEMENS

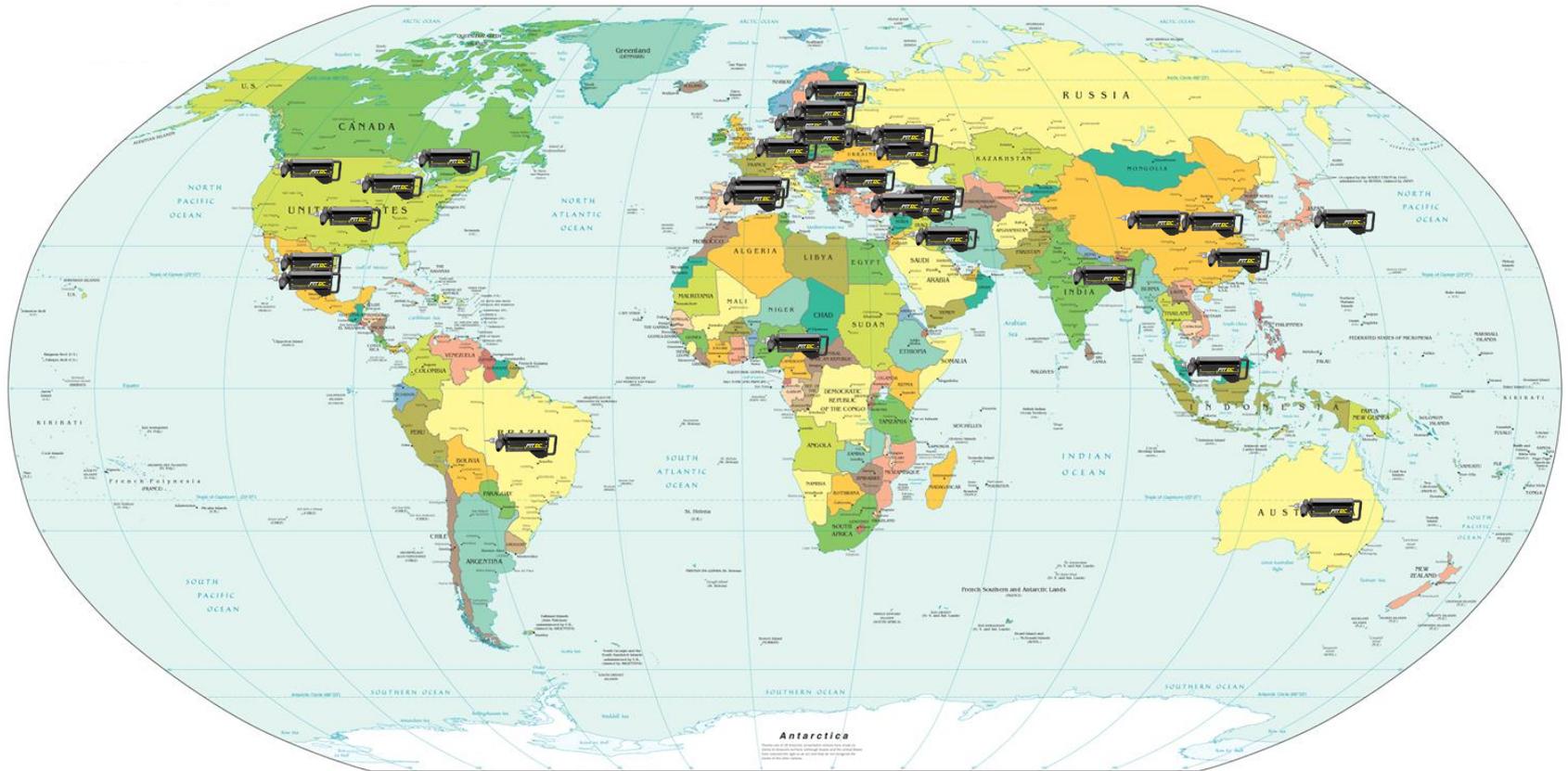


SBB Cargo



BSAG

Die jahrelangen Erfahrungen sowie die Effizienz der PIT Systeme macht Pitec heute zum international führenden Anbieter für „HFMI“!



- **Höherfrequente Hämmerverfahren sind sehr effektive Verfahren zur Lebensdauererweiterung von Schweißnähten**
- **Die DASt-Richtlinie 026 erlaubt die Berücksichtigung der Effekte bei der Bemessung ermüdungsbeanspruchter Details.**
- **Es werden Kerbfälle „Unbelastete Quersteife“, „Querbelastete Stumpfnah“ und „Unbelastete Längssteife geregelt.**
- **Weiterführende Untersuchungen belegen die Wirksamkeit auch für Bauteile in korrosiver Umgebung**
- **Weiterführende Untersuchungen zu Betriebslasteinflüssen weisen auf die Wirksamkeit der HFH-Verfahren auch unter Betriebslasten hin.**
- **Weiterführende Untersuchungen werden noch ausstehende Fragestellungen beantworten und zur Erweiterung der Richtlinie beitragen können.**
- **Aufnahme in den Eurocode 3 DIN EN 1993-1-9 wird derzeit bearbeitet**
- **Aufnahme in die DIN EN 13445 wird derzeit bearbeitet.**
- **Aufnahme in die neue DIN EN 15085-3 ist vorgesehen**



PRAXISLÖSUNGEN



Peter Gerster

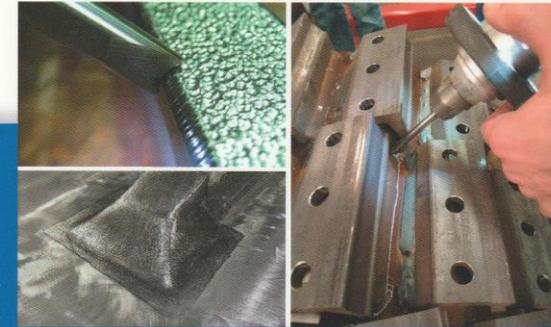
Vermeidung von Schadensfällen beim Schweißen

Die Schadensanalyse

- Schäden beurteilen
- Ursachen ermitteln
- Mängel beseitigen



PRAXISLÖSUNGEN



Peter Gerster
Frank Schäfers

Schweißnahtnachbehandlung

- Ermüdungsschäden beurteilen
- Schweißnähte wirksam nachbehandeln
- Lebensdauer von Schweißkonstruktionen erhöhen

...vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

GEC



PITEC Deutschland GmbH
Essenberger Straße 85-93
D-47059 Duisburg

Geschäftsführung
Alexander Fliess

a.fliess@pitec-gmbh.com

Vertriebsbüro
Frank Schäfers

Sales & Technical Manager

Tel: +49 (0)2273 95108-70

Fax: +49 (0)2272 95108-61

Mobil: +49 (0)173 2085569

f.schaefers@pitec-gmbh.com

Beratung

Peter Gerster

Senior Consultant

Tel: +49 (0) 7391 757621

Mobil: +49 (0) 160 5527102

p.gerster@pitec-gmbh.com

