

Ersatzfehler für die Halbzeugprüfung nach dem Vorschleifen

Konstantin HÄRTEL¹, Antje ZÖSCH¹, Martin SEIDEL¹

¹ imq-Ingenieurbetrieb für Materialprüfung, Qualitätssicherung und Schweißtechnik GmbH, Crimmitschau

Kontakt E-Mail: k.haertel@imq-gmbh.com

Kurzfassung

Die Wirbelstromprüfung ist ein erfolgreich eingeführtes Verfahren zum Auffinden von Schleiffehlern.

Beim Vorschleifen von Halbzeugen wird meist mit höheren Abtragsraten bzw. höheren Prozessgeschwindigkeiten gearbeitet. Wird dabei zu viel Wärme eingebracht, entstehen in der Randzone unerwünschte Gefügeänderungen, so genannte thermische Schädigungen. Beim Schleifen spricht man von Schleifbrand. Eventuell auftretende Gefügeänderungen werden meist später bei der Feinbearbeitung abgetragen. Bei größeren, tiefer gehenden Schädigungen kann es jedoch dazu kommen, dass die Gefügeänderungen nicht restlos entfernt werden, bzw. Eigenspannungsänderungen zurückbleiben. Das Schädigungsbild kann dann großflächig und mit allmählichem Übergang zum nicht geschädigten Bereich sein, die zerstörungsfrei detektiert werden müssen.

Beim Wirbelstromverfahren werden Vergleichskörper benötigt. Für die Schleifbrandprüfung haben sich Bauteile mit lasergenerierten Ersatzfehlern bewährt. Bei der Auslegung und Dimensionierung der Ersatzfehler liegt der Fokus meist auf der Herstellung möglichst kleiner Schädigungen, um die erforderliche Prüfempfindlichkeit nachzuweisen. Im Beitrag werden Ersatzfehler vorgestellt, die großflächige Schädigungen mit allmählichem Übergang zum nicht geschädigten Bereich simulieren. Es werden die relevanten Eigenschaften wie Gefügeänderungen, Härteverläufe und laterale Ausdehnung untersucht und dokumentiert. Die so erzeugten Vergleichskörper werden verwendet, um die geeignete Wirbelstromtechnik auszuwählen und zu optimieren.

DACH-Jahrestagung 2023
15.-17.05.2023



Ersatzfehler für die Halbzeugprüfung nach dem Vorschleifen

Konstantin HärteL, Antje Zösch, Martin Seidel
imq – Ingenieurbetrieb GmbH



Ingenieurbetrieb für
Materialprüfung, Qualitätssicherung
und Schweißtechnik GmbH

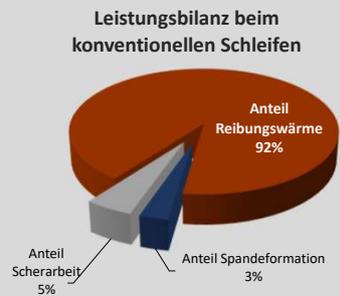
Ersatzfehler für die Halbzeugprüfung nach dem Vorschleifen

Agenda

1. Einleitung / Motivation
2. Versuchsplan
3. Probenübersicht
4. Ergebnisse
5. Schlussfolgerung
6. Zusammenfassung / Ausblick

1. Einleitung / Motivation

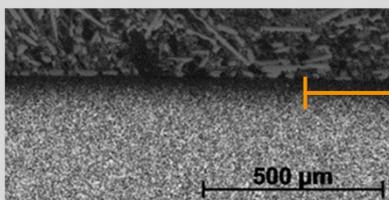
Vorschleifen / Schruppen mit hohen Abtragraten und Spanvolumen
Wärmeeintrag beim Schleifen gehärteter Stahloberflächen ins Bauteil
Folge: hohe thermische Beanspruchung des Materials – hohe Gefahr für Schleifbrand im der Randzone
Schleifbrandprüfung mit dem Wirbelstromverfahren und/oder chemischer Prüfung
Fertigschleifen „auf Maß“ und Abtrag des geschädigten Bereiches



Quelle: Markus Meister: Vademekum des Schleifens. Hanser Verlag 2011

Folgen für die Eigenschaften des Fertigteils?
Was ist bei einer Wirbelstrom- / Schleifbrandprüfung des Fertigteils zu beachten?

1. Einleitung / Motivation

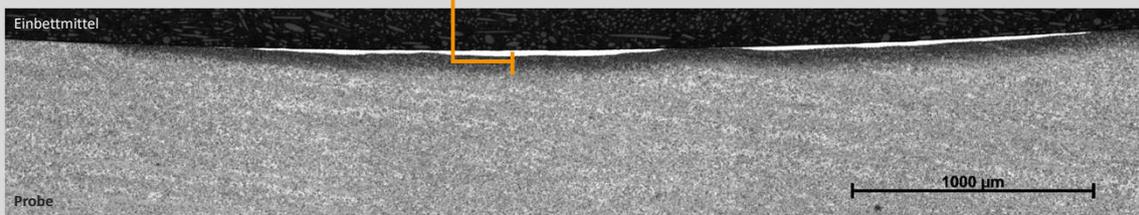


Metallografischer Schliff einer Anlasszone



Bauteil Gelenkwelle

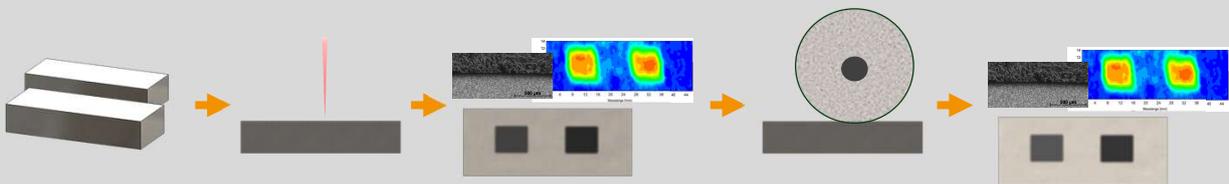
Abtrag bei Endbearbeitung ?



Großflächige Verbrennung (weiß - Neuhärtezone / dunkel – Anlasszone) am Wälzlagering; Kaltarbeitsstahl 100Cr6 (1.3505)

2. Versuchsplan

- ▶ Herstellung von Schädigungen durch Laserbehandlung
 - Laser: Trumpf TrueDisk 3000 mit modifizierter Optik
- ▶ Charakterisierung durch ZfP- und ZP-Verfahren
 - Wirbelstromscan, Schleifbrandprüfung nach ISO 14 104, metallografische Schliifpräparation
- ▶ Nachschleifen mittels Flachsleifen (Abtrag 0,1 mm)
 - Schleifmittel: Siliziumcarbid
- ▶ Erneute Charakterisierung durch ZfP- und ZP-Verfahren
 - Wirbelstromscan, Schleifbrandprüfung nach ISO 14 104, metallografische Schliifpräparation



2. Versuchsplan

Material:

- Stahlquader 50 mm x 20 mm x 10 mm
- Material: 100Cr6 (1.3505)
- Härte 58 - 60 HRC
- Oberflächenrauheit $R_a = 0,02 \mu\text{m}$; $R_z = 1,80 \mu\text{m}$

Prüfparameter Wirbelstromscan

- Prüffrequenz 3,00 MHz
- Absolutsonde (D = 2,00 mm), Differenzsonde (D = 2,00 mm)
- Scanauflösung x: 0,04 mm; Spurbreite y: 0,25 mm

Prüfparameter Schleifbrandprüfung

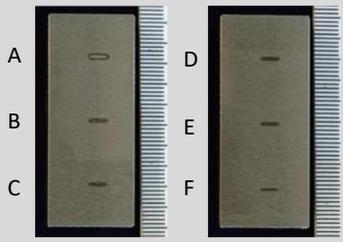
- Nach ISO 14 104 Typ 2 (un-/niedriglegierter Stahl)
- Reinigen, Tauchen in Salpeter- und Salzsäure, Neutralisieren in Natriumhydroxid und Konservieren



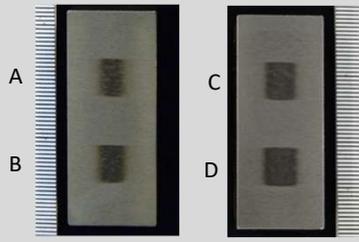


3. Probenübersicht

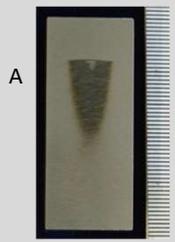
Alle eingebrachten Schädigungen mittels Schleifbrandprüfung nach ISO 14 104 deutlich sichtbar



Linien	Tiefe in μm
A	NH: 40; AZ 440
B	210
C	150
D	160
E	130
F	100



Fläche	Tiefe in μm
A	60
B	120
C	150
D	190



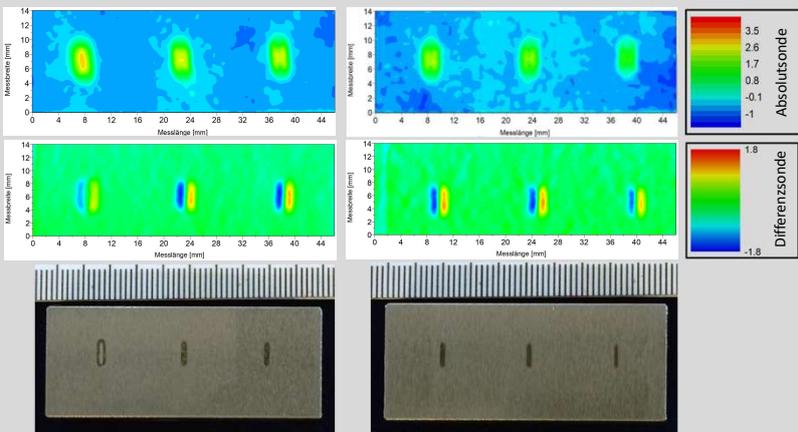
Rampe	Tiefe in μm
A	NH: 10 AZ _{max} : 410

Bilder nach Schleifbrandätzung
AZ: Anlasszone
NH: Neuhärtezone



4. Ergebnisse

vor dem Nachschleifen



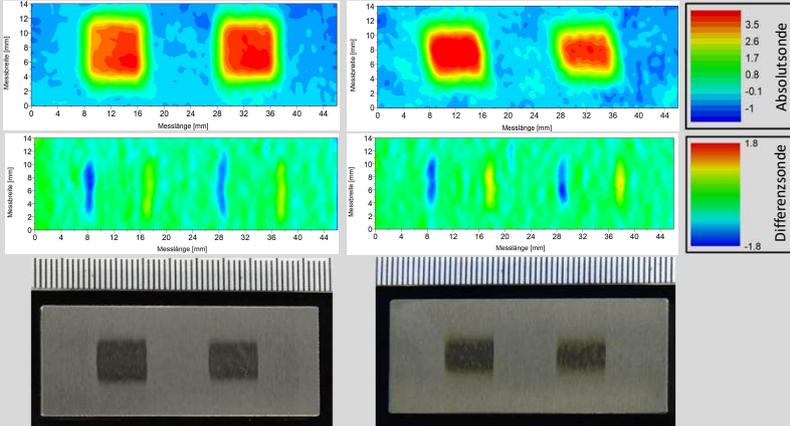
1. Fehlersignale heben sich bei beiden Sonden gut vom Untergrund ab
2. Keine signifikanten Unterschiede der Amplitude im Vergleich zur Tiefe der einzelnen Anlasszone (geringe Eindringtiefe - 3MHz)
3. Neuhärtezone im Differenzsignal schlechter zu detektieren als Anlasszonen (schlechteres Verhältnis von Sondenwirkbreite zu Fehlerfläche)





4. Ergebnisse

▶ vor dem Nachschleifen

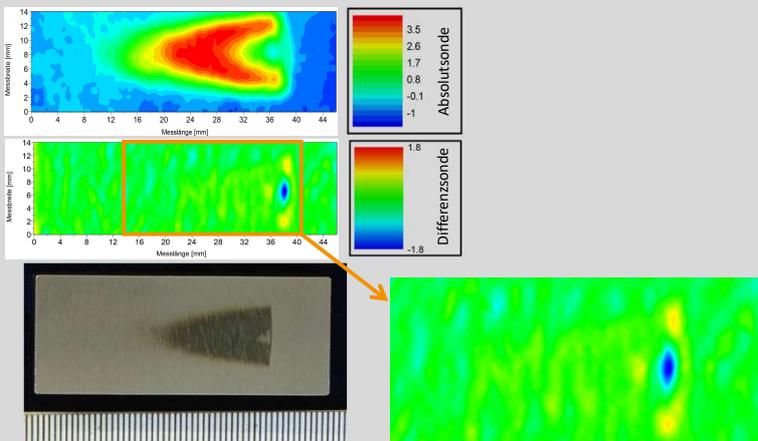


1. Fehlersignale heben sich bei beiden Sonden gut vom Untergrund ab
2. Keine signifikanten Unterschiede der Amplitude im Vergleich zur Tiefe der einzelnen Anlasszone (geringe Eindringtiefe – 3 MHz)
3. Signale der Differenzsonde nur bei Ein- und Austritt in den geschädigten Bereich



4. Ergebnisse

▶ vor dem Nachschleifen

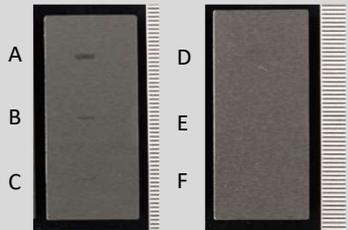


1. Schleifbrandfehler mit der Absolutsonde gut detektierbar, Neuhärtezone im Vergleich zur Anlasszone mit abweichender Phase
2. Differenzsonde im Bereich der allmählich zunehmenden Schädigung lediglich erhöhtes Rauschen
3. Neuhärtung durch die Differenzsonde aufgrund der scharfen Übergänge gut detektierbar



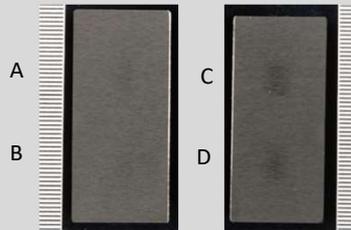
4. Ergebnisse

▶ nach dem Nachschleifen: Abtrag 0,1 mm

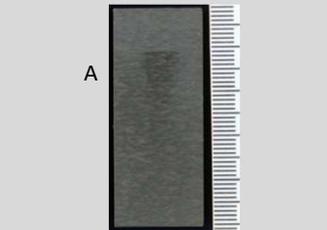


Linien	Tiefe in μm (vorher)	Tiefe in μm (nachher)
A	NH: 40; AZ: 440	350
B	210	130
C	180	80
D	160	55
E	130	0*
F	100	0*

Verbleibende Schädigungen nach der Schleifbrandprüfung nach ISO 14 104 mit stark verringerten Kontrast



Fläche	Tiefe in μm (vorher)	Tiefe in μm (nachher)
A	60	0*
B	120	20
C	150	60
D	190	100



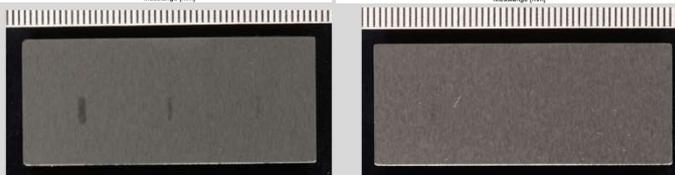
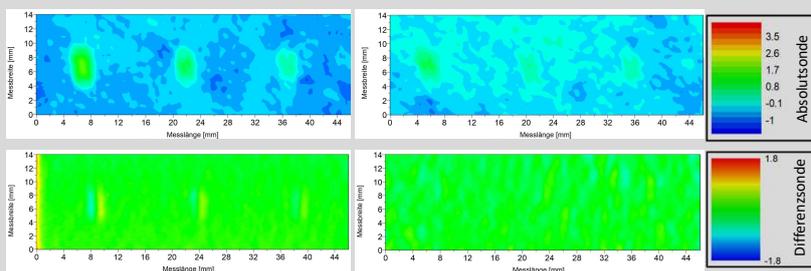
Rampe	Tiefe in μm (vorher)	Tiefe in μm (nachher)
A	NH: 10 AZ _{max} : 410	AZ _{max} : 320

* Lichtmikroskopisch keine Gefügeveränderung
Bilder nach Schleifbrandätzung
AZ: Anlasszone
NH: Neuhärtezone



4. Ergebnisse

▶ nach dem Nachschleifen: Abtrag 0,1 mm

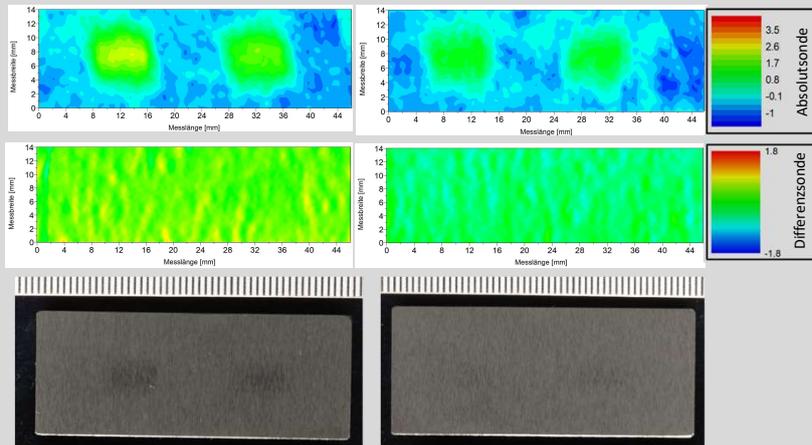


1. Fehlersignale der stärkeren Schädigungen sind mit beiden Sondentypen detektierbar
2. Schwache Schädigungen sind im Absolutscan zu erkennen, im Differenzscan nicht
3. Fehler ohne Gefügeveränderung sind im Absolutsignal noch sichtbar (verbleibende Eigenspannungen)
4. Amplituden der Signale der Fehler generell kleiner



4. Ergebnisse

- ▶ nach dem Nachschleifen: Abtrag 0,1 mm

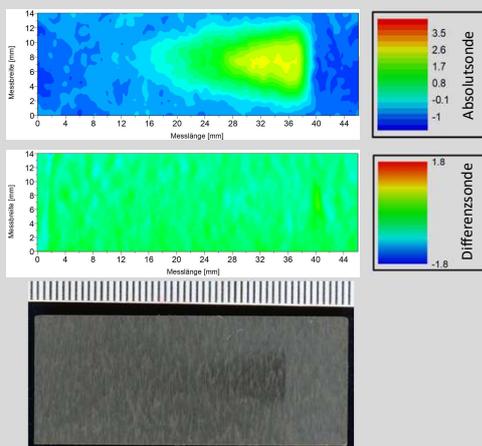


1. Fehlersignale der Schädigungen sind mit Absolutsonden detektierbar
2. Fehler ohne Gefügeveränderung sind im Absolutsignal noch sichtbar (verbleibende Eigenspannungen)
3. Keine der großflächigen Schädigung ist nach dem Überschleifen mit der Differenzsonde detektierbar
4. Amplituden der Signale bedingt der Fehler generell kleiner



4. Ergebnisse

- ▶ nach dem Nachschleifen: Abtrag 0,1 mm

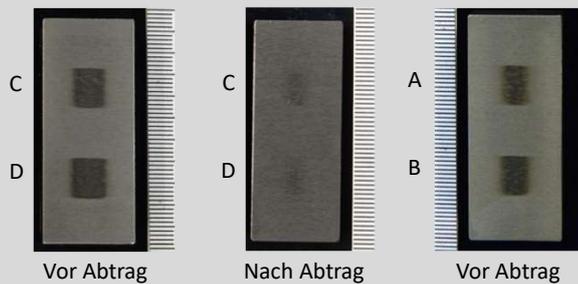


1. Fehlersignal der Schädigung ist mit Absolutsonde detektierbar
2. Verbleibende Gefügeveränderung im Differenzsignal lediglich als erhöhtes Rauschen vorhanden
3. Amplituden der Signale bedingt generell kleiner

5. Schlussfolgerung

Schleifbrandprüfung nach ISO 14 104

- ▶ Abnahme des Kontrastes von Schädigungszone zu Grundmaterial (im Vergleich zum nicht überschleifenen Zustand) (Verfahrensgrundlage = Kontrast zwischen Gut- und Schlechtbereichen)
- ▶ Erneute Schleifbearbeitung verändert das Anätzverhalten der Schleifbrandzonen – eventuell durch Veränderung der Eigenspannungen ?

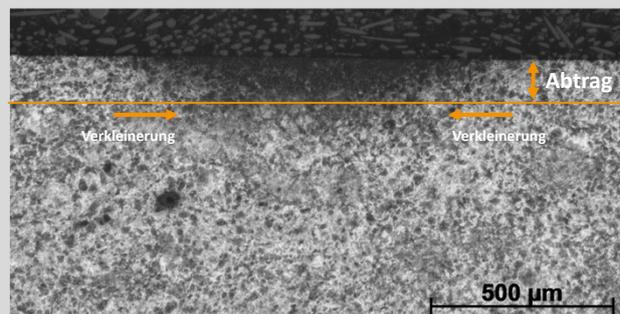


Fläche	Tiefe in μm (vorher)	Tiefe in μm (nachher)
A	60	0*
B	120	20
C	150	60
D	190	100

5. Schlussfolgerung

Wirbelstromprüfung

- ▶ Abnahme der Amplitude durch:
 - Verkleinerung der Fehleroberfläche im Vergleich zur Wirkbreite der Sonde
 - Abnahme der Übergangsgredienten Gut- / Schlecht-Bereich
 - Temperaturgradient von Oberfläche in den Bauteilkern, d. h. direkt an der Oberfläche höchste Anlasseffekte → nach Abtrag weniger starke Anlasseffekte an neuer Oberfläche
 - Veränderung der Eigenspannungen durch Schleifbearbeitung ?



Bsp.: Linie B, Tiefe 210 μm (vor Abtrag), Tiefe 130 μm (nach Abtrag)



5. Schlussfolgerung

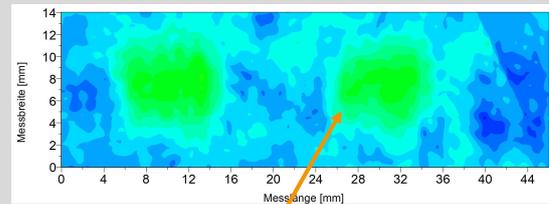
Wirbelstromprüfung

▶ Differenzsonde

- Erhöhtes Grundrauschen verringert Prüfeempfindlichkeit (Signal – Rausch – Verhältnis)
- schwache Gradienten bereits vor dem Abtrag problematisch (Rampe)

▶ Absolutsonde

- Sehr empfindlich auch bei Schädigungen ohne sichtbare Gefügeveränderung (Hinweis auf verbleibende Eigenspannungsänderung)
- Abnahme der Amplitude aller Fehler nach der Schleifbearbeitung
- Gradientenabnahme weniger problematisch



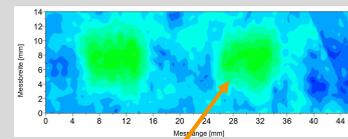
Flächige Schädigung 0 µm Anlasszone (nach Abtrag)



6. Zusammenfassung / Ausblick

▶ Folgen für die Eigenschaften des Fertigteils?

- Wegschleifen der Schleifbrandschädigung möglich
ABER: Verbleibende Gefügeänderungen und Änderungen in den Eigenspannungen möglich. → Folgen für Bauteil?



Flächige Schädigung 0 µm Anlasszone (nach Abtrag)

▶ Was ist bei einer Wirbelstrom- / Schleifbrandprüfung des Fertigteils zu beachten?

- Deutlich schlechtere Prüfbedingungen bei beiden Verfahren
ET: Größeres Grundrauschen, niedrigere Empfindlichkeit, schlechteres Signal-Rausch-Verhältnis
Chem. Schleifbrandprüfung: schlechteres Kontrastverhältnis
- Prüfung sollte nach dem Prozessschritt durchgeführt werden, bei dem die höchste Gefährdung erwartet wird, oder
- Ersatzfehler sollte nach dem Bearbeitungsschritt mit dem höchsten Risiko eingebracht und dann mit weiterbearbeitet werden, um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten



6. Zusammenfassung / Ausblick

▶ Ausblick

- Härteprüfung und Eigenspannungsbestimmung an den abgeschliffenen Proben
- Überprüfung des Einflusses der Schleifprozessparameter beim Abtrag auf die Ergebnisse
- Absichern der Ergebnisse mit anderen Werkstoffen, anderem Prüfaufbau, etc....

Quellen:

- [1] Markus Meister: Vademekum des Schleifens, Hanser Verlag 2011
- [2] Martin Seidel: Schleifbrand und dessen Prüfung, Hanser Verlag 2020
- [3] Zösch, Gopalan: Herstellung und Verwendung von Vergleichskörpern für großflächige therm. Schädigungen mit flacher Gradation, DGZfP FA ET 2022/09