



WERKSTOFFSERVICE

MATERIAL ENGINEERING COMPETENCE

MATERIAL ENGINEERING COMPETENCE



Eigen Spannungsmessung mittels Ultraschall

—

eine Kombination mechanisch-technologischer und
zerstörungsfreier Prüfverfahren

W.S. Werkstoff Service GmbH, Andreas Leitner, M.Sc., Dr. Ingo Poschmann

Über Eigenspannungen und Schäden durch Eigenspannungen

Eigenspannungen sind anders als betriebsbedingte Spannungen:

- kaum zu veranschaulichen
- schwierig zu messen
- nur sehr vereinfacht in Rechnungen berücksichtigbar
- nicht-vorhersagbar, veränderlich im Betriebseinsatz
- Aber: bedeutsam für die Lebensdauer und mögliche Schädigungen!

Eigenspannungen stehen in enger Beziehung mit:

- Betriebsbedingungen (Kräfte, Temperaturen, ...), die die Eigenspannungen ändern können
- der Festigkeit des Bauteils (statisch, dynamisch)
- inneren und äußeren Kerben
- Rissausbreitung im Schadensfall (Eigenspannungen beeinflussen Richtung und Geschwindigkeit der Risse)
- Verformungsfähigkeit des Bauteils (Mehrdimensionalität des Spannungszustandes)



Risse in Eisenbahnradern unter der Wirkung von Eigenspannungen



Eigenspannungsgetriebene Schäden in Eisenbahnrädern

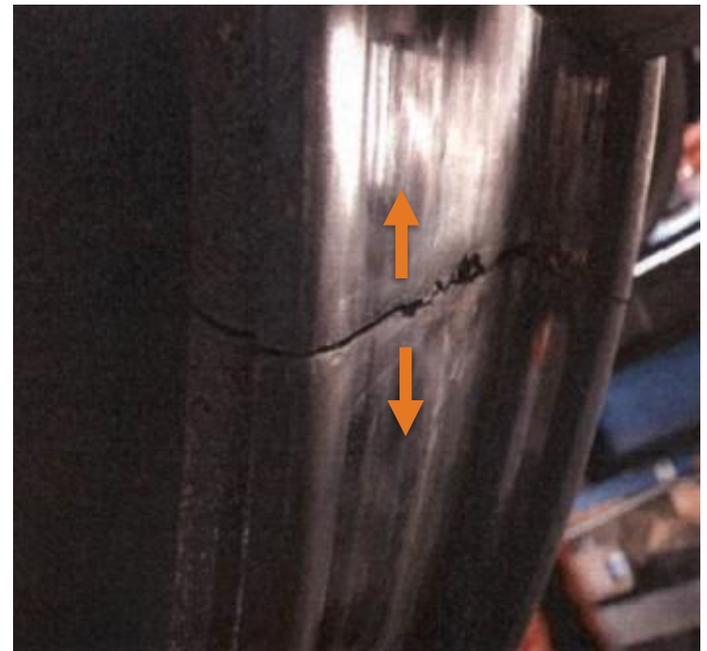
Beispiel: Problem beim Einsatz von Bremsklötzen:

Früher: Grauguss-Klötze

- „lautes Rad“ (raue Lauffläche)
- aber erheblicher Teil der Bremswärme wurde über den Bremsklotz abgeführt
→ *verzögerter/verringertes* Aufbau von Zugeigenspannungen

Heute: Kunststoff-Klötze

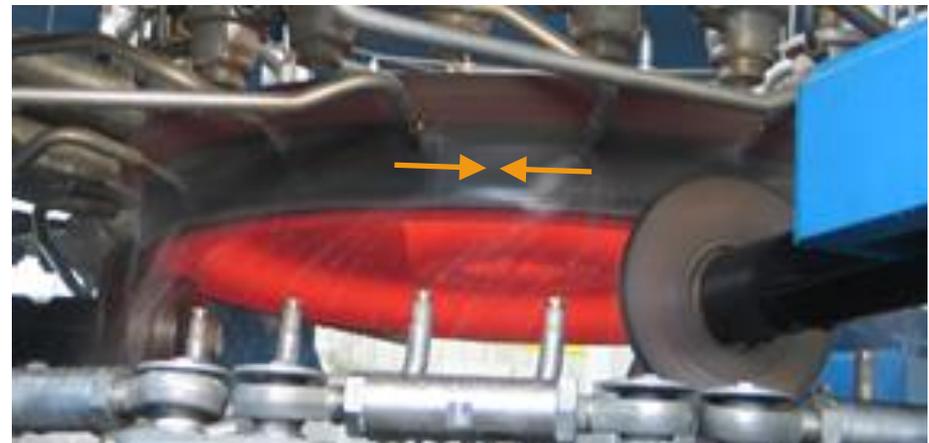
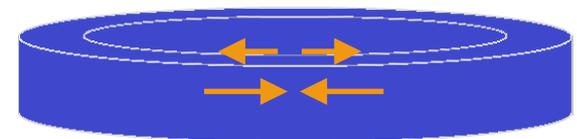
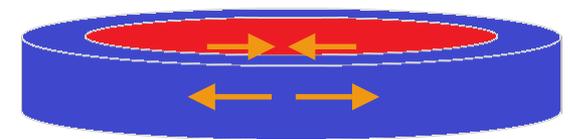
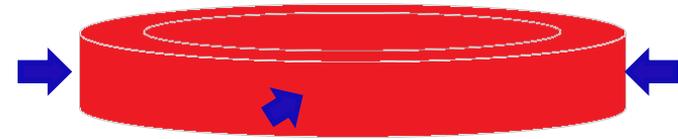
- „leises Rad“ (glatte Lauffläche)
- aber praktisch keine Bremswärme wurde über den Bremsklotz abgeführt
→ *beschleunigter/verstärkter* Aufbau von Zugeigenspannungen erhöhen Rissgefahr



Eigenstressen in Eisenbahnradern durch Wärmebehandlung

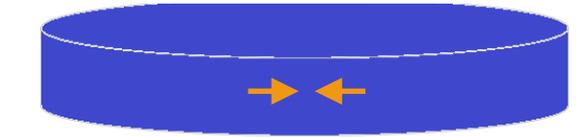
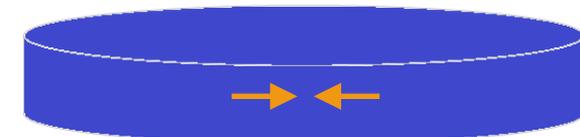
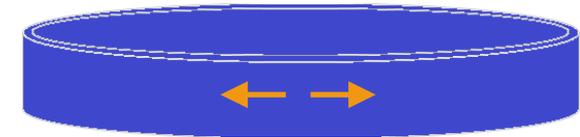
Beispiel: Herstellung von Eisenbahnradern

- Rad wird erwärmt ($> 800^{\circ}\text{C}$) und am äußeren Umfang, typischerweise mit Wasser abgekühlt
- Äußere Bereich kühlt ab und schrumpft
- Innere Bereich (hohe Temperaturen) behindert Schrumpfung
- Ergebnis: Tangentiale **Zugspannung** außen, **Druckspannung** innen
- Spannungsabbau durch plastische Verformung im heißen Bereich
- Innerer Teil der Scheibe kühlt verzögert ab und schrumpft
- Schrumpfung wird durch äußeren (kalten) Bereich behindert
- Ergebnis: **Druckeigenstress** außen, **Zugeigenstress** innen



Änderungen der Eigenspannungen im Betrieb

- Radkranz wird durch Bremsung auf einige 100°C erwärmt
→ Radkranz im Laufflächenbereich will sich ausdehnen
- Kalter, innerer Bereich wirkt Ausdehnung entgegen
→ Dehnungsbehinderung = Spannungsaufbau
→ Druckspannungen in der Lauffläche (Zugspannungen darunter)
- Verformungsprozesse im heißen Bereich bauen Spannung z.T. ab
- Äußerer Teil kühlt nun ab und schrumpft
- Schrumpfspannungen können nicht mehr durch Verformung ausgeglichen werden → **Aufbau von Zugeigenspannungen**
- Druckeigenspannungen im laufflächennahen Radkranzbereich
- Beseitigung dieses Bereiches bei den Reprofilierungen
- Reprofilierung → **Abbau von Druckeigenspannungen**

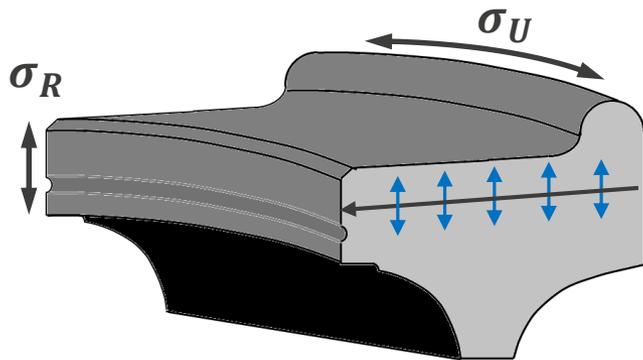


$$\sigma_U - \sigma_R = k \cdot \left(\frac{t_U - t_R}{R} + B_0 \right)$$

k = akusto – elastische Konstante

B_0 = "Textur – Konstante"

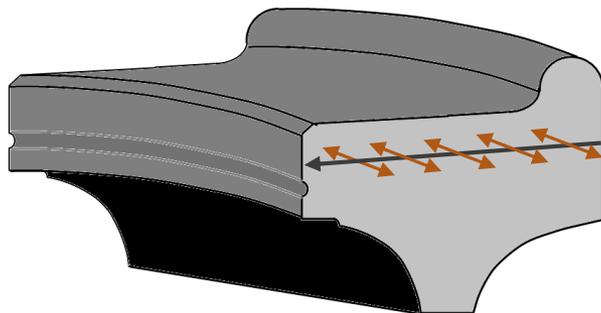
1.) Justierung/Kalibrierung des Messsystems



t_R = Schalllaufzeit Transversalwellen, in **radiale Richtung polarisiert**

t_U = Schalllaufzeit Transversalwellen, in **Umfangsrichtung polarisiert**

2.) Messung des Bauteils



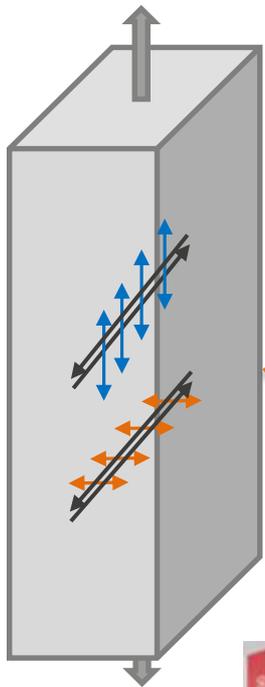
σ_U = Haupteigenspannung in Umfangsrichtung

σ_R = Haupteigenspannung in radiale Richtung

3.) Auswertung: $\sigma_U - \sigma_R$

4.) Nur wenn σ_R klein gegen σ_U ist, dann entspricht die Hauptspannungsdifferenz ca. σ_U

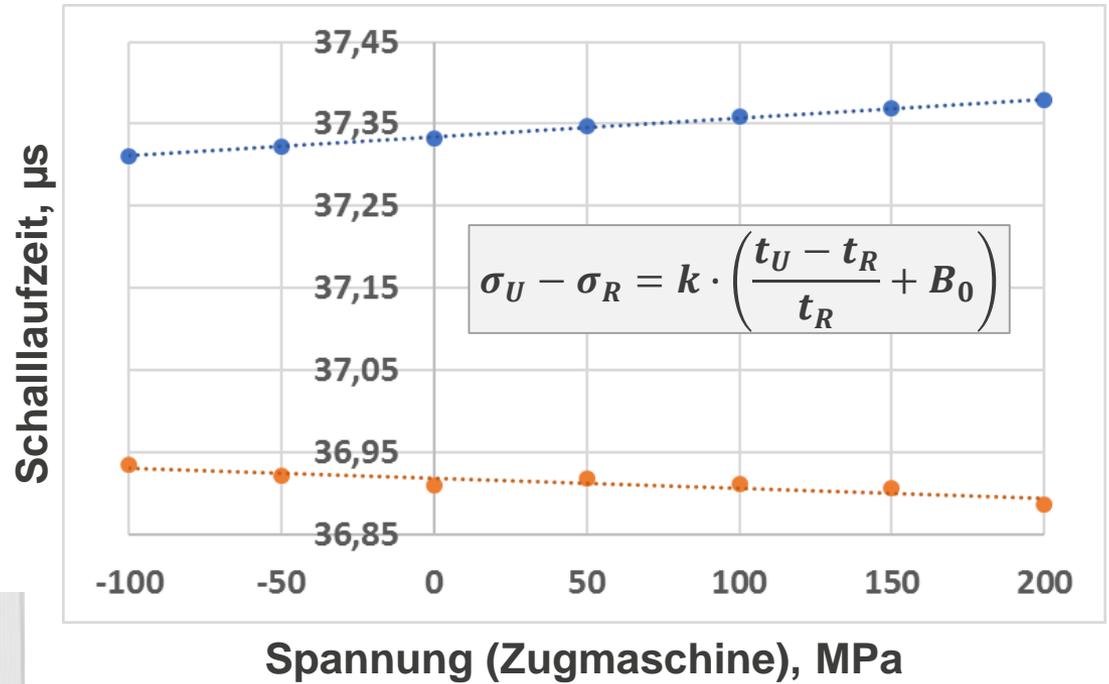




Zugprobe
Radwerkstoff



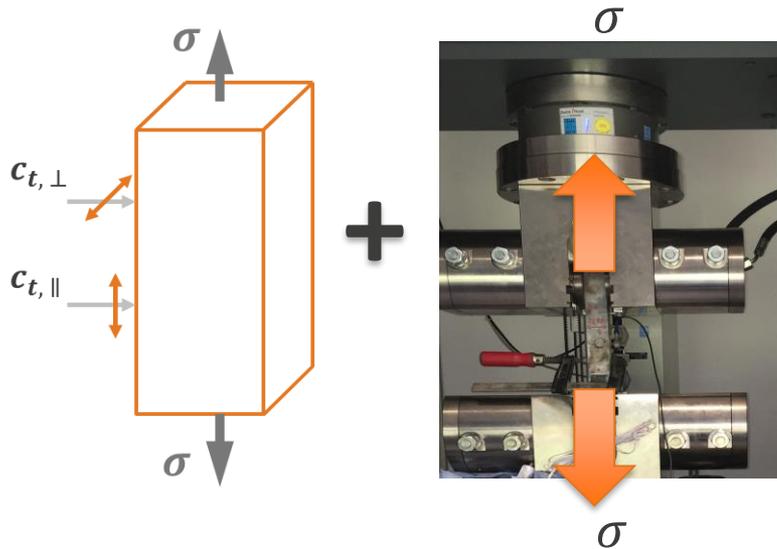
Kalibrierte
Zugmaschine



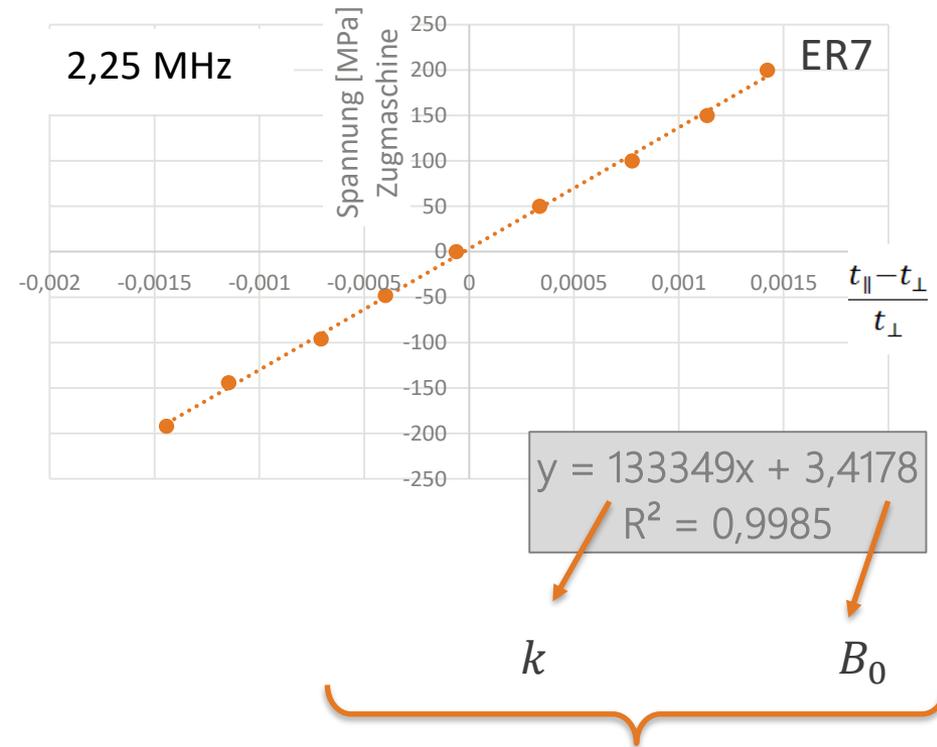
Bestimmung der
Werkstoffparameter
 k und B_0



Wie werden die UT-Prüfsysteme justiert und kalibriert?



=



Probe

- Werkstoff,
- Gefüge,
- Orientierung,
- identisch zur Prüfaufgabe

Kalibrierte Zugmaschine

- konstante Spannungen
- im elastischen Bereich

$$\sigma_U = k * \frac{t_U - t_R}{t_R} + B_0, \quad \sigma_U \gg \sigma_R$$



- Orientierung der Polarisierungsrichtung der Transversalwellen zu den Hauptspannungen
- Zeitmessung für beide Polarisierungsrichtungen (Unsicherheiten aus Bauteil und Messgerät)
- Wert der akusto-elastische Konstante
- Information über die Textur im Bauteil
- Höhe der radialen Haupteigenstressspannung
- Homogenität des Gefüges und in axialer und radialer Richtung (Hinweis: integrale Messung)
- Genauigkeit der Kalibrierung des Prüfsystems (insbesondere auch Spannungsmessung)



Mobiles Eigenspannungs-Messgerät für Eisenbahnräder

Abschätzung der relativen Messunsicherheit des Verfahrens:

- Ca. 30% vom Messwert



	Messunsicherheits-Komponente (95%)	Größe, bezogen auf 350 MPa
U_k	Parameter k	100 MPa
U_{B_0}	Parameter B_0	16 MPa
U_y	Winkel Schwingungsrichtung	70 MPa
U_M	Messung	22 MPa
U_J	Justierung	5 MPa
U_{Zeit}	Zeitachse UT-Gerät	8 MPa
	erweiterte kombinierte Messunsicherheit (VN = 95%)	125 MPa

Unberücksichtigt, da nicht signifikant:

- Vermessung der Geometrie der Probe
- Unsicherheit Kraftmessung (Zugmaschine)



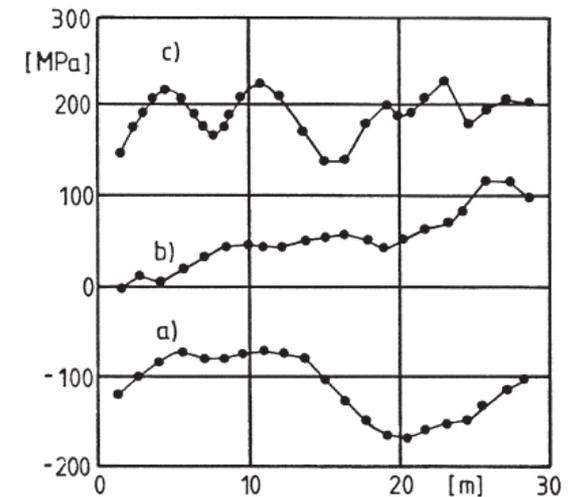
$$\frac{125 \text{ MPa}}{350 \text{ MPa}} = 35\%$$



Eigenspannungsmessung mit Ultraschall bei Schienen

Messung der axialen Eigenspannungen von Eisenbahnschienen mittels Ultraschall

- a) Eigenspannung über 30 m Schienen nach dem Walzen (im wesentlichen Druckspannung)
- b) Eigenspannungsverlauf nach dem Richten mit moderater plastischer Verformung
- c) Eigenspannungsverlauf nach dem Richten mit höherer plastischer Verformung

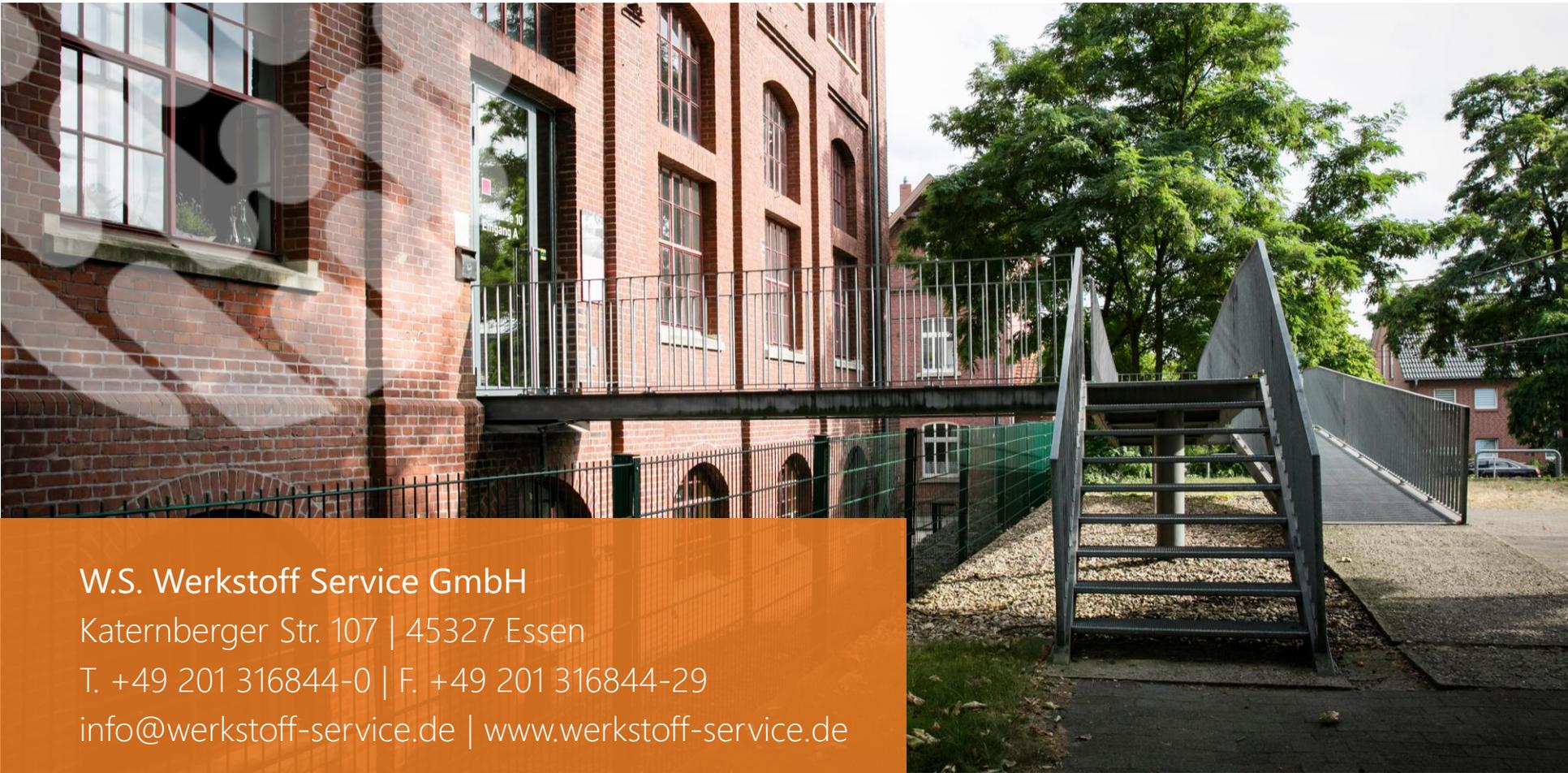


Vielen Dank
für Ihre Aufmerksamkeit



WERKSTOFFSERVICE

MATERIAL ENGINEERING COMPETENCE



W.S. Werkstoff Service GmbH

Katernberger Str. 107 | 45327 Essen

T. +49 201 316844-0 | F. +49 201 316844-29

info@werkstoff-service.de | www.werkstoff-service.de