



WERKSTOFFSERVICE

MATERIAL ENGINEERING COMPETENCE

MATERIAL ENGINEERING COMPETENCE



Manuelle Wirbelstromprüfung an Radsatzkomponenten

I. Poschmann¹, S. Rühle², K. Dilz²

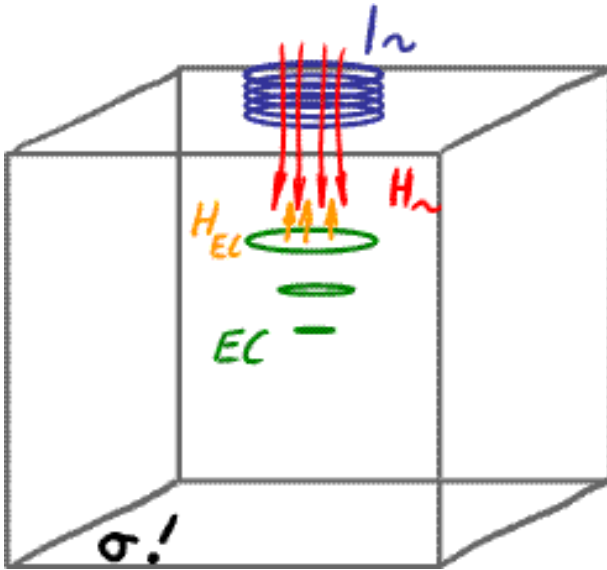
¹) W.S. Werkstoff Service, Essen

²) PLR Prüftechnik Linke & Rühle, Magdeburg

Motivation

- **Analyse der grundsätzlichen Eignung** der manuellen Wirbelstromprüfung für den Einsatz in kleineren Werkstätten (keine Mechanisierung der Prüfung):
 - Erster Schritt: ET-Prüfung von Wellen
 - Basis: konventionelles Prüfgerät, keine „Anlagen-Lösung“
- Analyse, inwiefern die bei der manuellen Ultraschallprüfung (UT) beobachtete **Winkelabhängigkeit** der Signalstärke bei der Wirbelstromprüfung (ET) beobachtet wird
- Analyse, der **Schichtdickenabhängigkeit** der Signalstärke bei der Wirbelstromprüfung (ET) mit dem Ziel, ggf. auf eine Entschichtung der Wellen vor der Prüfung zu verzichten
 - Voraussetzung: Beschichtung fehlerfrei und homogen
- Analyse von **Form – und Größengesetzen** für die Festlegung von Vorgehensweisen für die Empfindlichkeitsjustierung
- Untersuchung erfolgte
 - im Auftrag des VPI
 - in Zusammenarbeit von PLR Magdeburg und W.S. Werkstoff Service



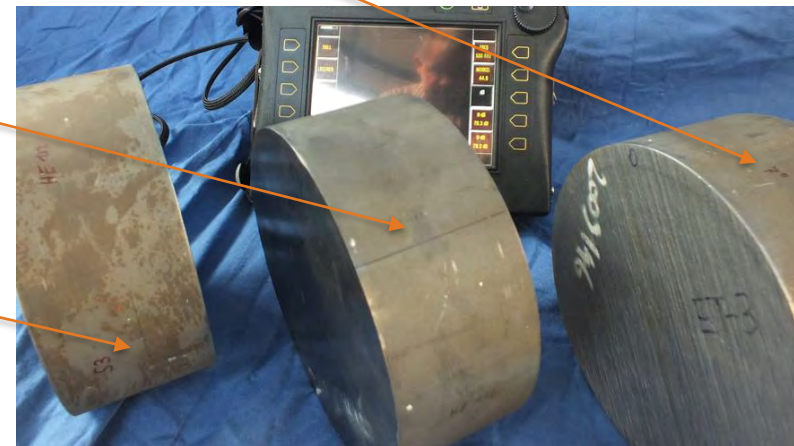
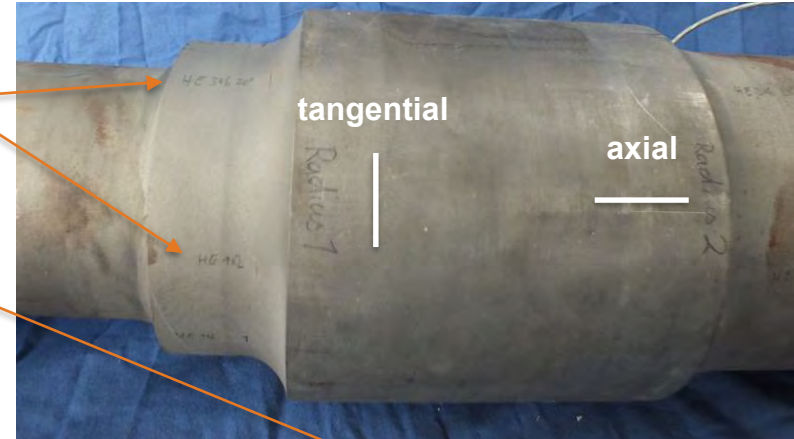


- Spule wird von einem Wechselstrom I_{\sim} durchflossen
- In und um die Spule wird durch den Wechselstrom I_{\sim} ein magnetisches Wechselfeld H_{\sim} erzeugt
- Das Erregerfeld H_{\sim} dringt in das leitfähige Bauteil (σ !) ein und erzeugt dort Wirbelströme EC (Eddy Current)
- Wirbelströme EC erzeugen ihrerseits ein „eigenes“
- Magnetfeld H_{EC}
- Das Feld H_{EC} beeinflusst (schwächt) das Erregerfeld H_{\sim}
- Homogenes Bauteil bedeutet:
 - konstante Schwächung
 - konstantes Signal
- Änderung im Bauteil (Risse, ...) bedeutet
 - Änderung der Schwächung
 - Änderung des Signals
- Ein Riss ist im Wesentlichen eine lokale Änderung der Leitfähigkeit

Definition und Herstellung von künstlichen Fehlern für die Systemcharakterisierung

Künstliche Referenzfehler (senk- bzw. drahterodiert, ca. 180 μm breit):

- Halbellipse a/c = 1mm/2mm (axial und tangential)
- Halbellipse a/c = 2mm/4mm (axial und tangential)
- Halbellipse a/c = 3mm/6mm (axial und tangential)
- 3mm tiefe Sekante, tangential orientiert, 0°, 7°, 14° und 21° gegen Oberfläche geneigt
- Halbellipse a/c = 3mm/6mm, tangential orientiert, 0°, 7°, 14° und 21° gegen Oberfläche geneigt
- 1mm tiefe Nut (axial orientiert)
- 2mm tiefe Nut (axial orientiert)
- 3mm tiefe Nut (axial orientiert)
- 1mm tiefe Sekante (tangential orientiert)
- 2mm tiefe Sekante (tangential orientiert)
- 3mm tiefe Sekante (tangential orientiert)
- 1mm tiefe Nut, Standard-Referenzkörper für die Wirbelstromprüfung



Sonden-Konzept

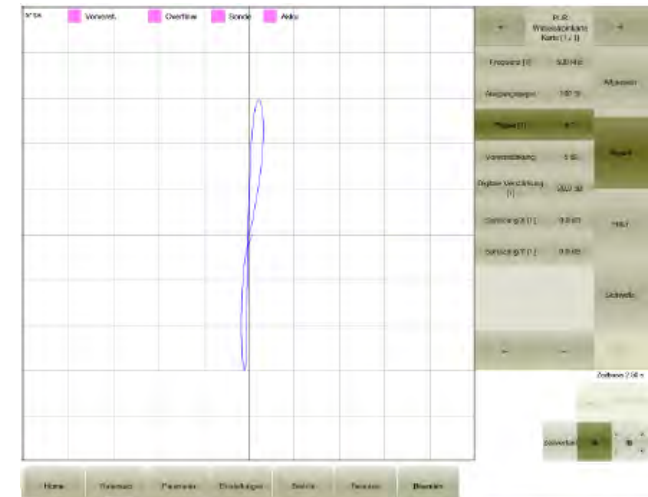
- Arbeitsteilige Sonden → Sonde für zylindrischen Bereiche und Sonde für Übergangsradien
- Kompensierende Sonden (kreuzgewickelt bzw. Differenzsonde) zur Erhöhung der Prüfempfindlichkeit
- Sonden-Form und Frequenz so, dass konstante Signale entstehen mit zufriedenstellendem Nutzsignal/Störsignal-Verhältnis
- Vergrößerte Wirkbreite der Sonden für die manuelle Prüfung (Erfassung größerer Volumina/Flächen)
- Sonden geeignet für den Anschluss an konventionelle Hand-Prüfgeräte



ET-Prüfung der Übergangsradien



ET-Prüfung der zylindrischen Bereiche





- Entwicklung zweier Sonden (Zylinderflächen und Übergangsradien)
- Charakterisierung dieser Sonden im Vergleich zu einer „klassischen Schweißnahtsonde“, die sich bei der manuellen Prüfung auf Oberflächenrisse bei W.S. Werkstoff Service bewährt hat
- Variation diverser Prüfsystem-Parameter zwecks Analyse der Performance der Sonden:
 - Form der Referenzfehler (Nuten, Sekanten, Halbellipsen)
 - Größe bzw. Tiefe der Referenzfehler
 - Neigung der Referenzfehler zur Wellenlängsachse
 - Prüffrequenz
 - Schichtdicke



Voruntersuchungen mit einer konventionellen Schweißnahtsonde (100 kHz)

Schichtdickeneinfluss

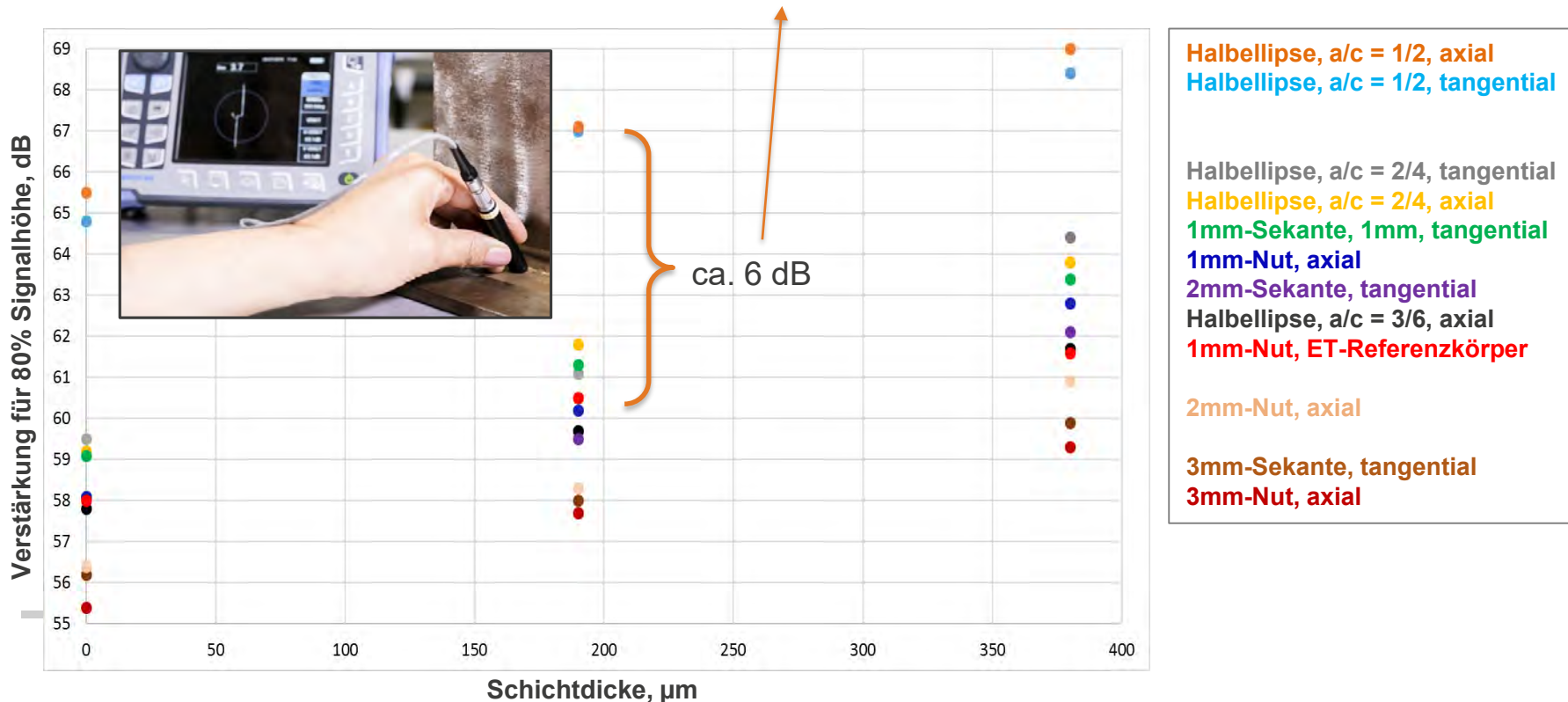
- Im Beispiel ca. 1 dB Signalverlust pro 100 μm Schichtdicke

Größen- und Form-Einfluss der künstlichen Materialtrennung auf das Bildschirmsignal

- Ziel: Verwendung einfach herstellbarer, robuster Justierkörper, die dennoch die Prüfung von Ermüdungsrissen mit deren typischen Geometrien (Halbkreis, Halbellipse) gestatten

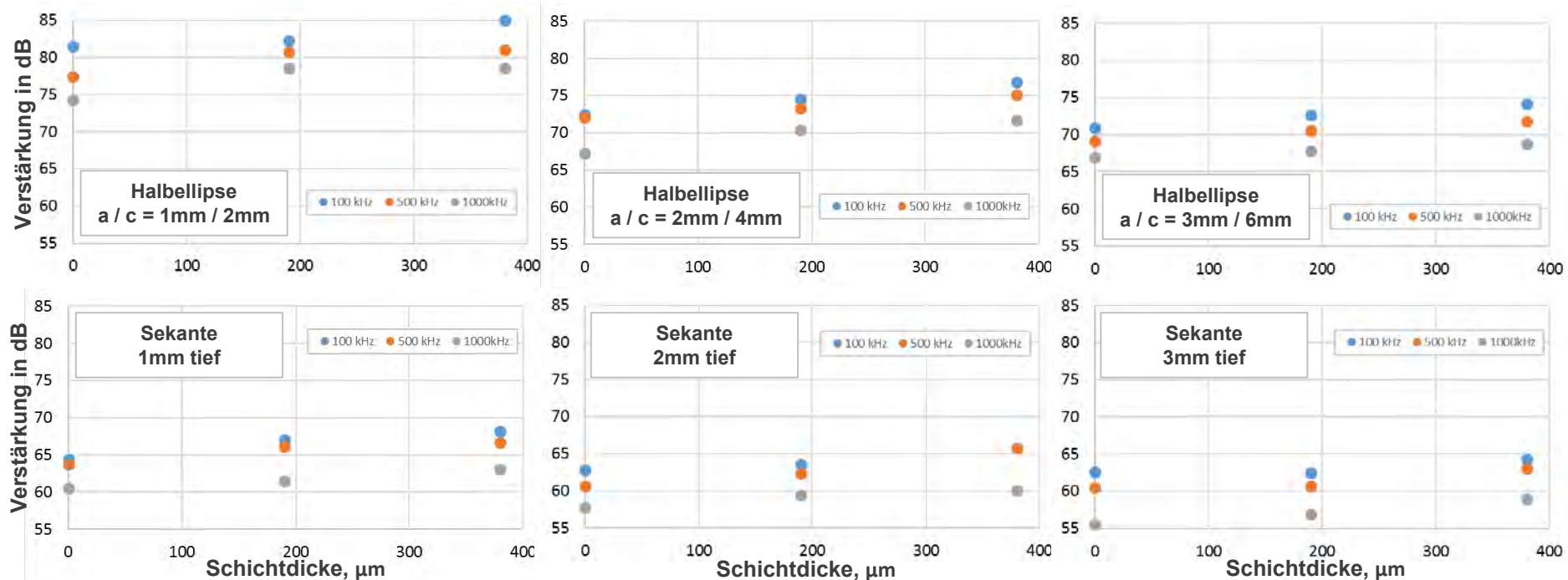
Größengesetze zur Skalierung der Signale für die Empfindlichkeitsjustierung

- Z.B.: Justierung an der **1mm-Nut (axial)** plus ca. 6 dB entspricht in etwa **Halbellipse a/c = 1mm/2mm**



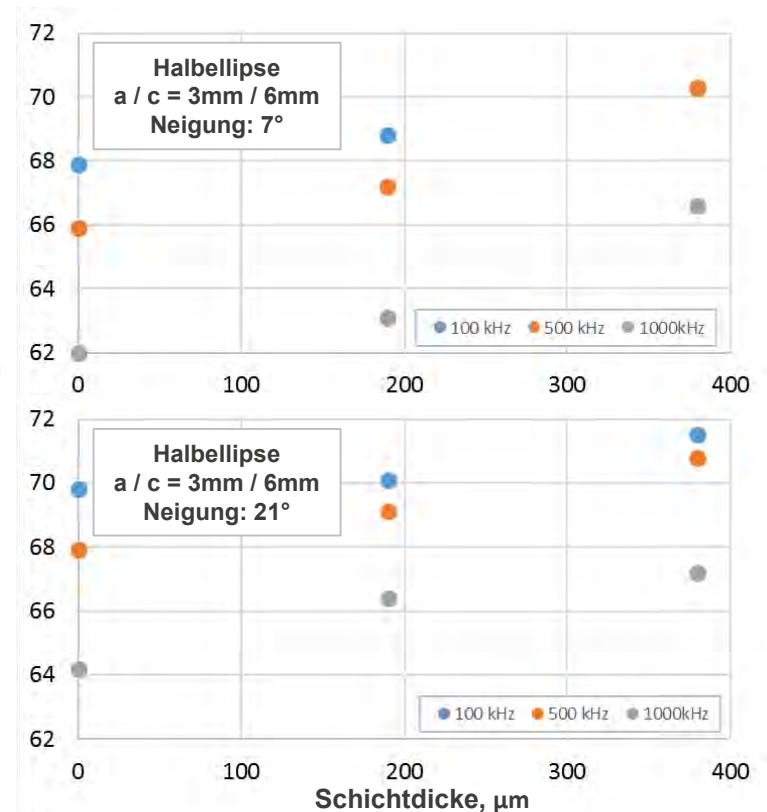
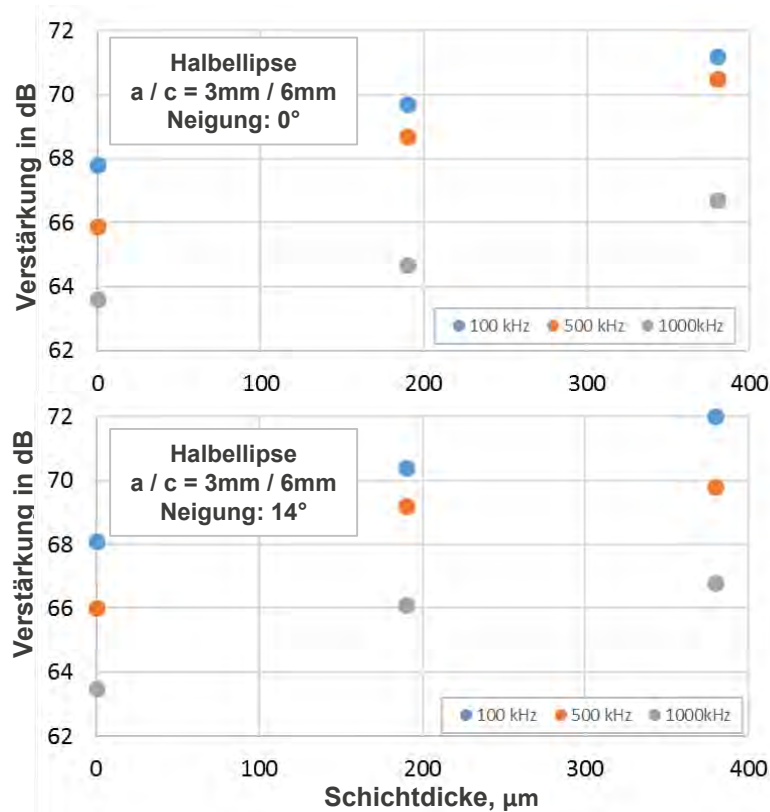
Signalverhalten unterschiedlicher Materialtrennungen (Sonde Zylinderfläche)

- Schichtdickenabhängigkeit (ca. 1 dB / 100 μm) unabhängig von Frequenz und Fehlerform
- Zunehmende Frequenz führt zu abnehmender Signalthöhe – dennoch erweist sich $f = 100 \text{ kHz}$ als optimal
- Nur geringfügige Signalunterschiede zwischen Fehlern, die $\geq 2\text{mm}$ tief sind
 - Unterschied der Signalthöhe von „1mm“ und „ $\geq 2\text{mm}$ “ bei Halbellipse ausgeprägter als bei Sekante (Grund: Verhältnis Fehlerlänge und Wirkbreite der Spule)
- Signalunterschiede zwischen 2mm-Sekante (Referenz) und 1mm/2mm-Halbellipse (Fehler):
 - ca. 15 – 18 dB für Signal auf 80% BSH
 - Daraus kann Vorschrift für Empfindlichkeitsjustierung abgeleitet werden!



Signalverhalten unterschiedlich geneigter Materialtrennungen (Sonde Zylinderfläche)

- Darstellung: Verstärkung für Signalhöhe von 80% BSH
- Für Fehlerneigung bis 14° praktisch keine Winkelabhängigkeit der der Signalstärke
- Für Fehlerneigung 21° geringfügiger Anstieg der Verstärkung (für 80% BSH)
- Kein wesentlicher Einfluss der Frequenz auf den Zusammenhang zwischen Signalstärke und Fehlerneigung erkennbar

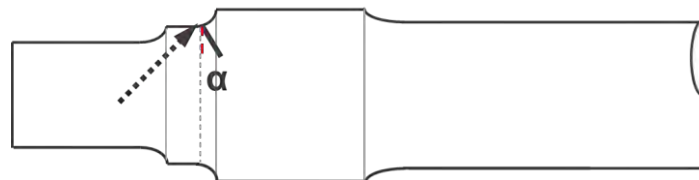
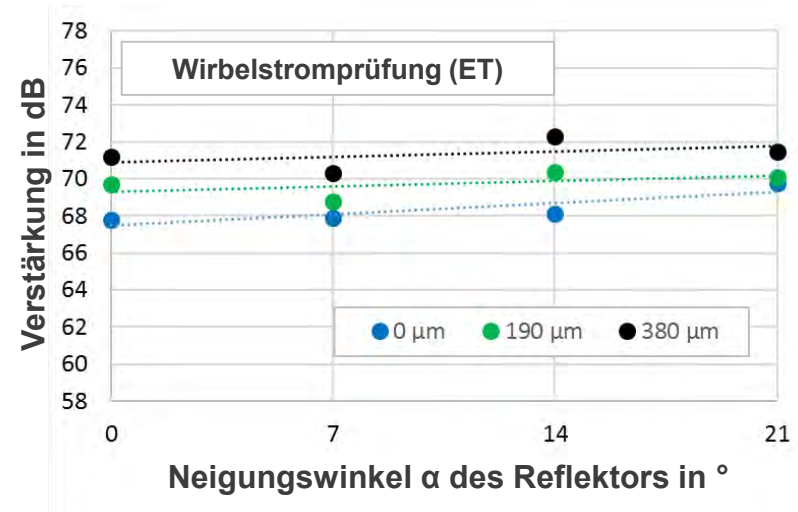
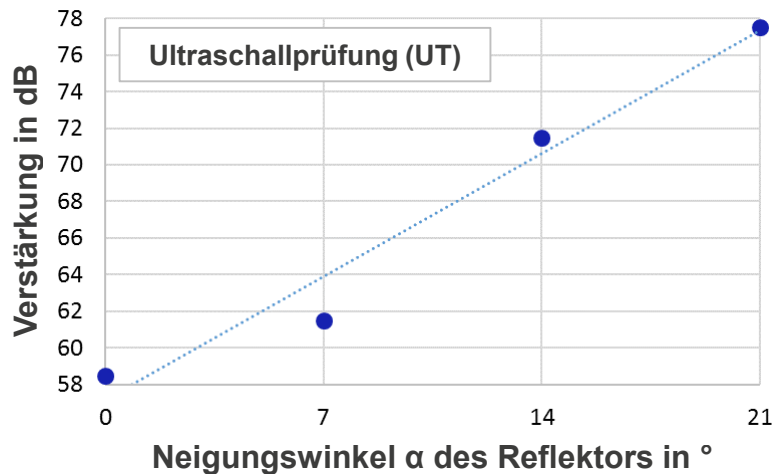


Winkelabhängigkeit der Signalverstärkung (Signal auf 80% Bildschirmhöhe):

- Links UT-Prüfung, halbkreisförmiger Reflektor mit $r = 5,5\text{mm}$ (manuelle Prüfung)
- Rechts ET-Prüfung, halb elliptischer Fehler $a/c = 3\text{mm}/6\text{mm}$ ($0\ \mu\text{m}$, $190\ \mu\text{m}$, $380\ \mu\text{m}$ Schichtdicke)

Fazit:

- ausgeprägte Winkelabhängigkeit bei der UT-Prüfung (manuelle, konventionelle Prüfung)
- geringfügige bzw. keine Winkelabhängigkeit bei der ET-Prüfung (manuelle Prüfung)



- Die vorgestellten Sonden sind grundsätzlich geeignet, mit manueller ET-Prüfung Fehler in Wellenoberflächen ausreichend empfindlich nachzuweisen
- Die Untersuchungen haben ergeben, dass sich für die vorgestellten Sonden eine Prüffrequenz von 100 kHz als besonders geeignet erweist
- Kleine (weniger tiefe) Fehler könne auch unter (nichtleitfähigen) Schichten mit Dicken von 400 μm und mehr zuverlässig nachgewiesen werden
- Es existiert nur eine geringföge Anhängigkeit der Signalstärke von der Fehlerneigung (Untersuchungsbereich $0^\circ \dots 21^\circ$)
- Auf der Basis der Untersuchungen an Nuten, Sekanten und Halbellipsen lassen sich belastbare Konzepte für Referenzkörper und die Empfindlichkeitsjustierung ableiten
- Die vorgestellte Prüftechnik ist grundsätzlich auch geeignet, Fehler in Radlauflächen (inkl. Übergang Laufläche Spurkranz) nachzuweisen
- Für mechanisierte Prüfungen mit höheren Anforderungen insbesondere auch an die Prüfgeschwindigkeit würden andere Sonden-Konzepte greifen (z.B. Folien, Arrays, ...)

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