WERKSTOFFSERVICE

MATERIAL ENGINEERING COMPETENCE

Manuelle Wirbelstromprüfung an Radsatzkomponenten

I. Poschmann[1], S. Rühe[2], K. Dilz[2]

[1]) W.S. Werkstoff Service, Essen

[2]) PLR Prüftechnik Linke & Rühe, 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“

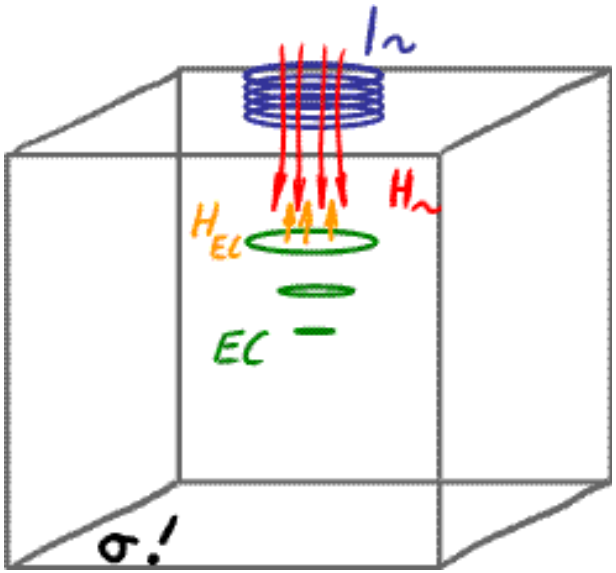
- Analyse, inwiefern die bei der manuellen Ultraschallprüfung (UT) beobachtete **Winkelabhängigkeit** der Signalstärke bei der Wirbelstromprüfung (ET) beobachtet wird

- 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

Grundprinzip der Wirbelstromprüfung



- Spule wird von einem Wechselstrom I~ durchflossen
- In und um die Spule wird durch den Wechselstrom I~ ein magnetisches Wechselfeld H~ erzeugt
- Das Erregerfeld H~ 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~
- 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

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

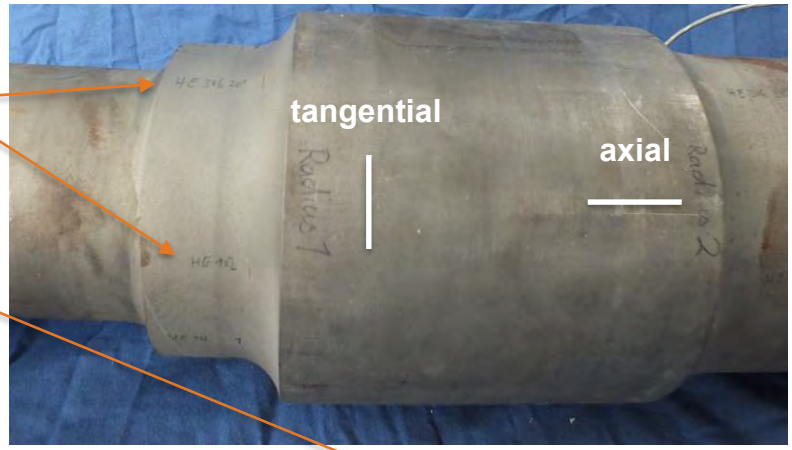
- Halbellipse a/c = 1mm/2mm (axial und tangential)
- Halbellipse a/c = 2mm/4mm (axial und tangential)
- Halbellipse a/c = 3mm/6mm (axial und tangential)

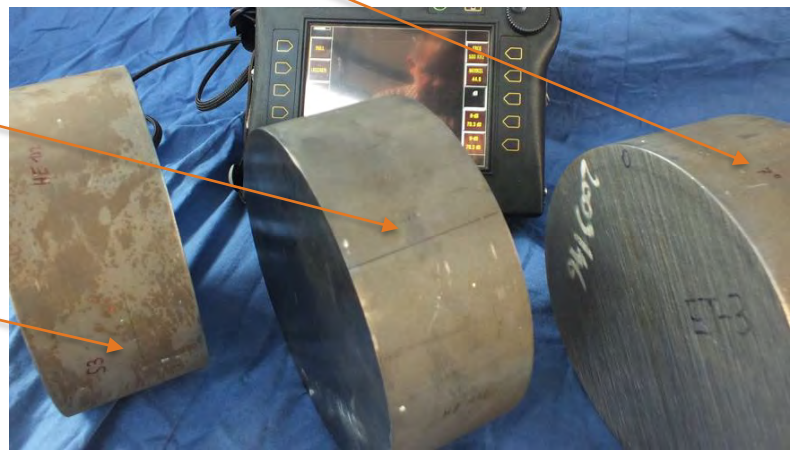
- 3mm tiefe Sekante, tangential orientiert, 0°, 7°, 14° und 21° gegen Oberfläche geneigt
- Halbellipse a/c = 3mm/6mm, tangential orientiert, 0°, 7°, 14° und 21° gegen Oberfläche geneigt

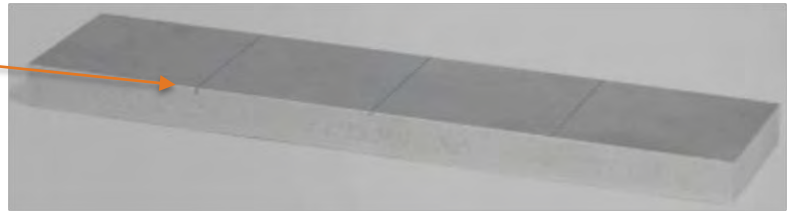
- 1mm tiefe Nut (axial orientiert)
- 2mm tiefe Nut (axial orientiert)
- 3mm tiefe Nut (axial orientiert)

- 1mm tiefe Sekante (tangential orientiert)
- 2mm tiefe Sekante (tangential orientiert)
- 3mm tiefe Sekante (tangential orientiert)

- 1mm tiefe Nut, Standard-Referenzkörper für die Wirbelstromprüfung





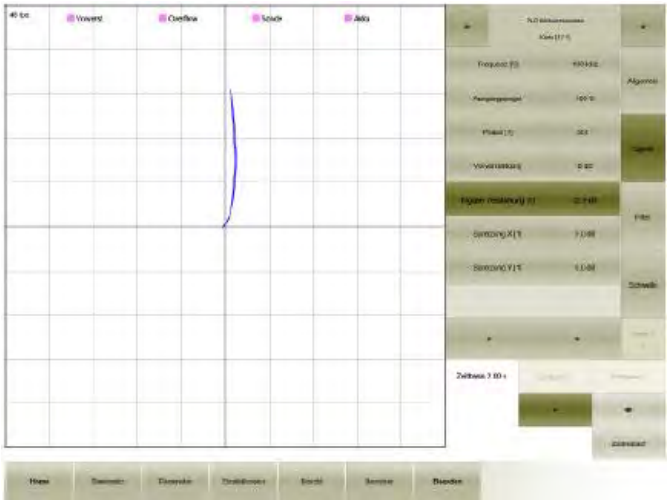


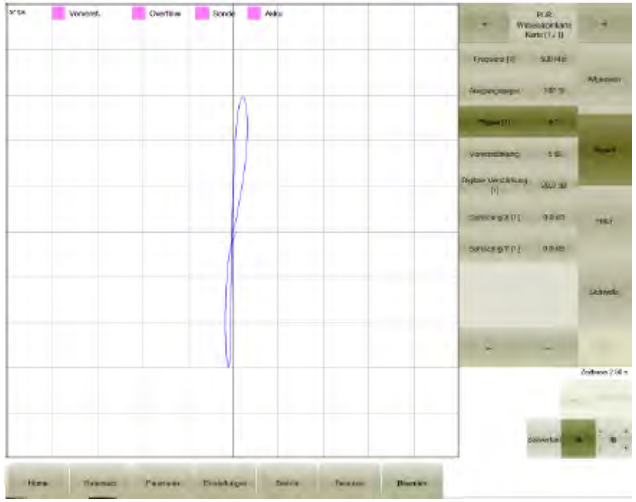
Sonden-Konzept

- 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





Untersuchungsumfang

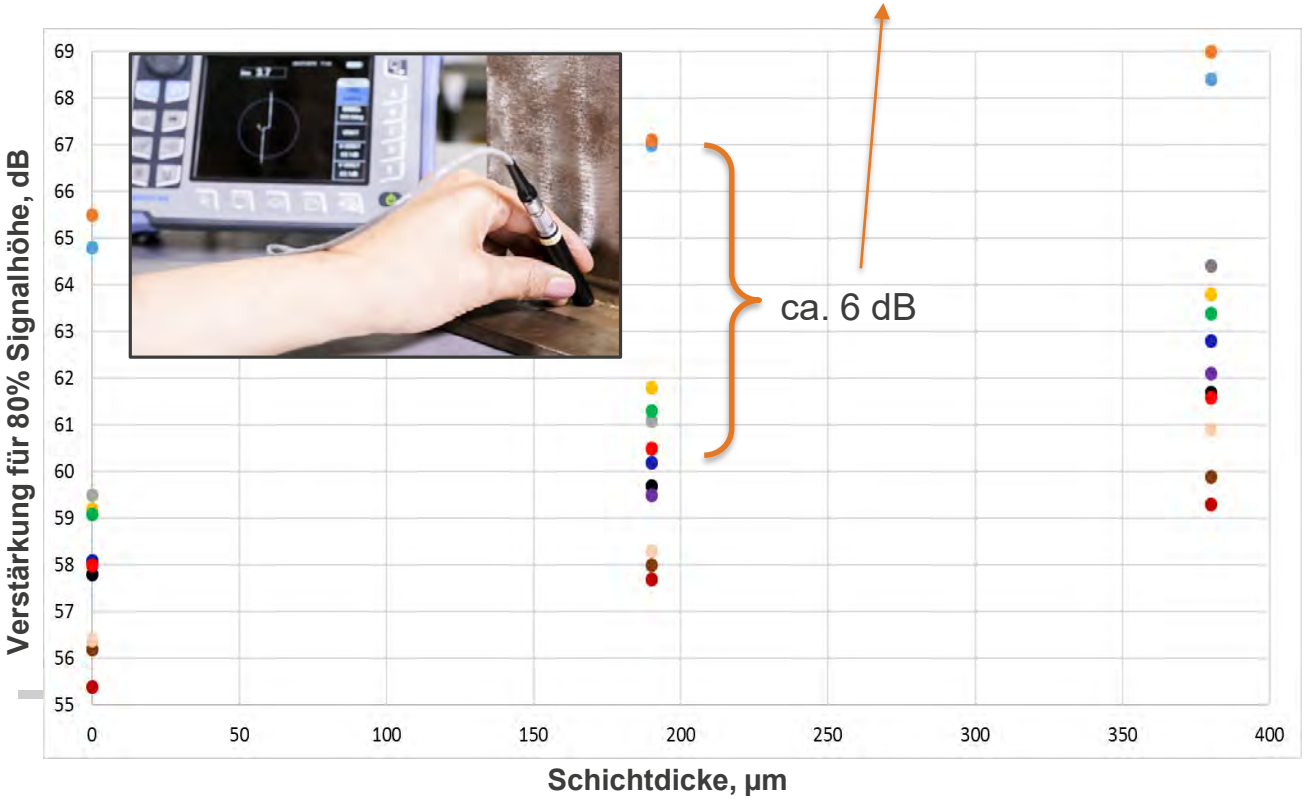
- Entwicklung zweier Sonden (Zylinderflächen und Übergangsradien)
- Charakterisierung dieser Sonden im Vergleich zu einer „klassischen Schweißnahtsonde“, die sich bei der manuellen Prüfung auf Oberflächenrisse bei W.S. Werkstoff Service bewährt hat
- Variation diverser Prüfsystem-Parameter zwecks Analyse 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

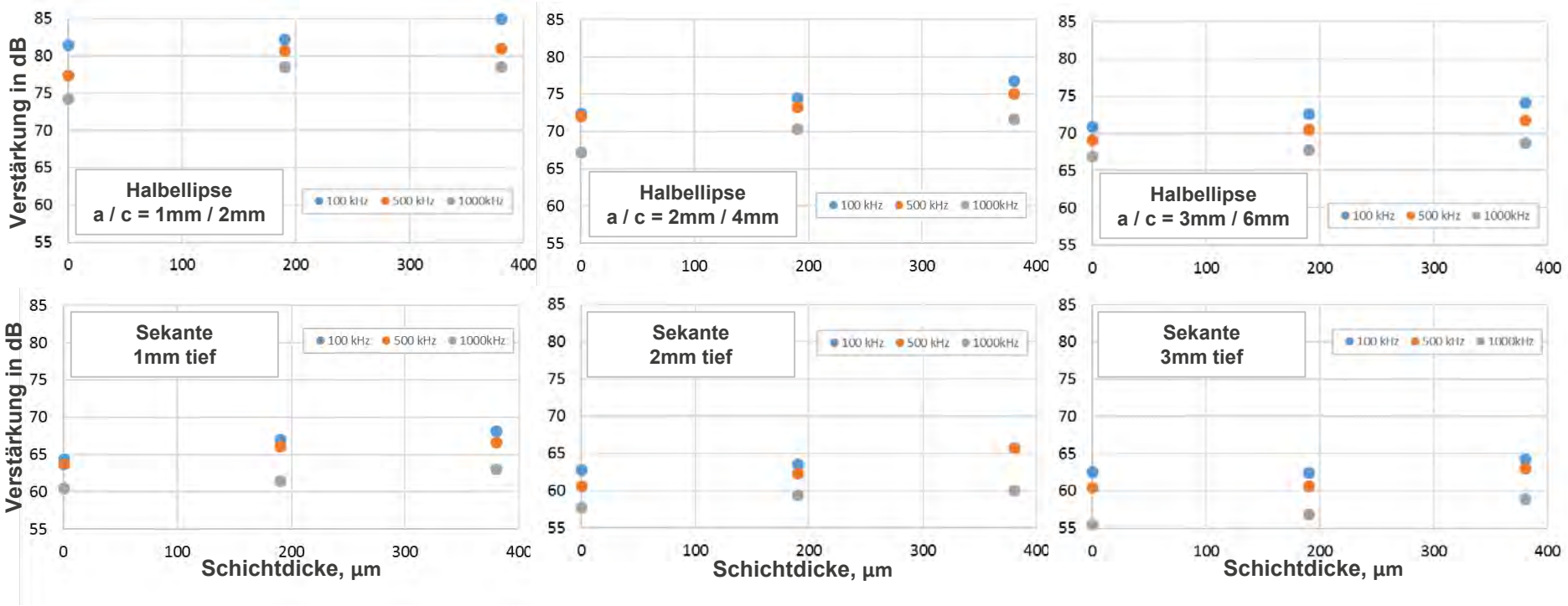
Größen- und Form-Einfluss der künstlichen Materialtrennung auf das Bildschirmsignal
- Ziel: Verwendung einfach herstellbarer, robuster Justierkörper, die dennoch die Prüfung von Ermüdungsrissen mit deren typischen Geometrien (Halbkreis, Halbellipse) gestatten

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



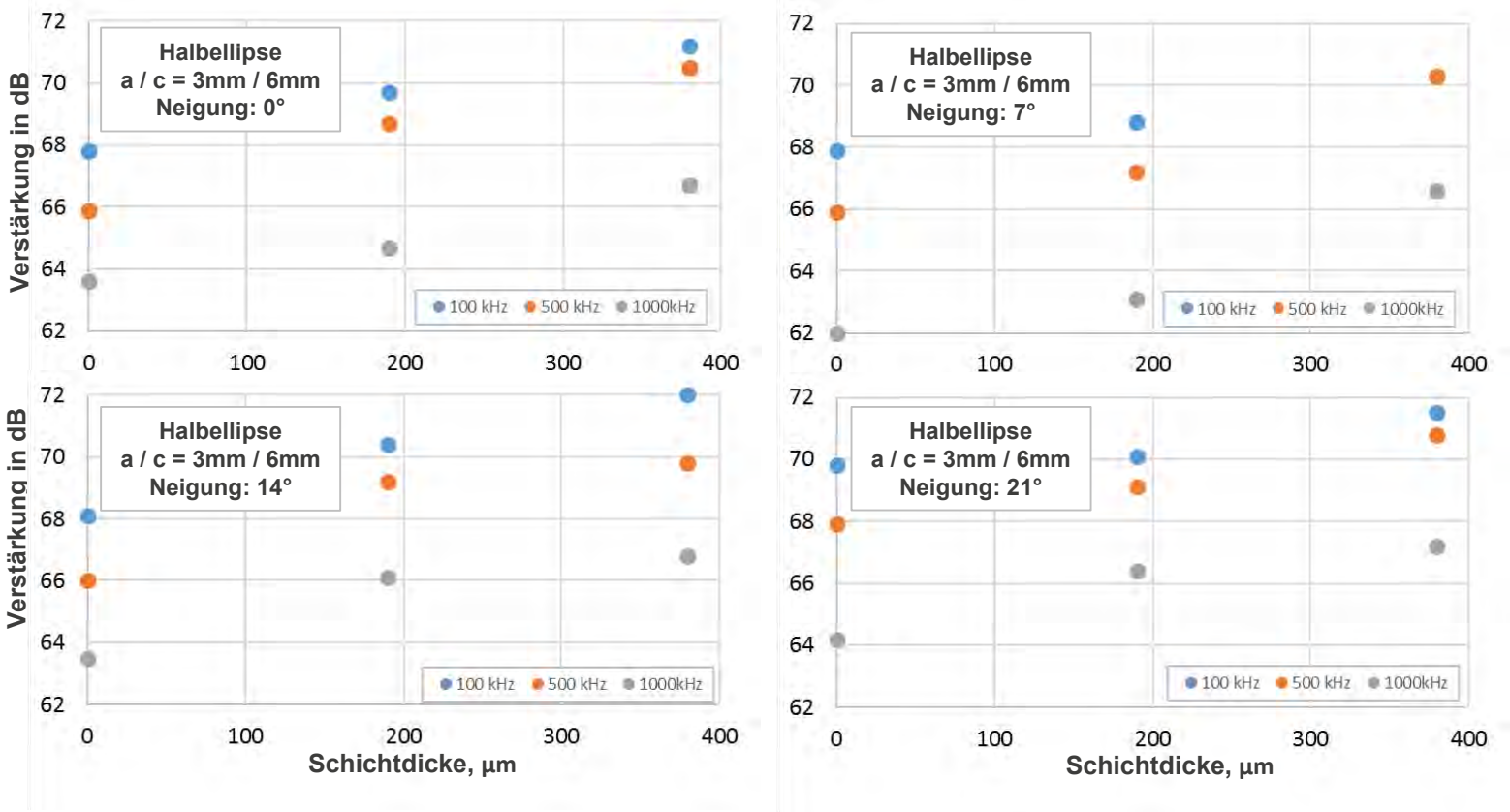
Signalverhalten unterschiedlicher Materialtrennungen (Sonde Zylinderfläche)

- Schichtdickenabhängigkeit (ca. 1 dB / 100 **µm)** unabhängig von Frequenz und Fehlerform
- Zunehmende Frequenz führt zu abnehmender Signalhöhe – dennoch erweist sich f = 100 kHz als optimal
- Nur geringfügige Signalunterschiede zwischen Fehlern, die ≥ 2mm tief sind
  - Unterschied der Signalhöhe von „1mm“ und „≥ 2mm“ 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

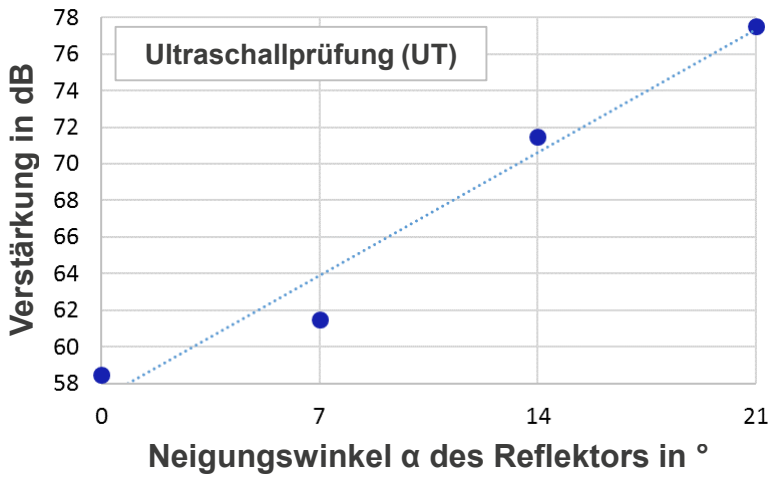


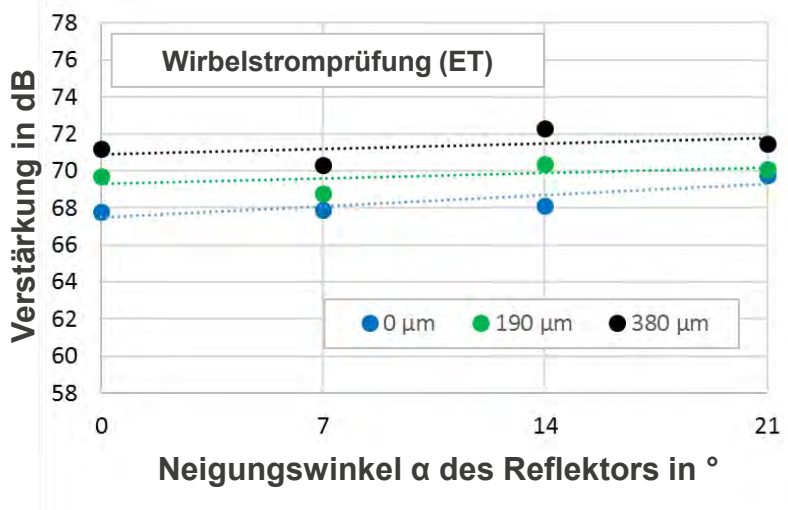
Winkelabhängigkeit der Signalverstärkung (Signal auf 80% Bildschirmhöhe):

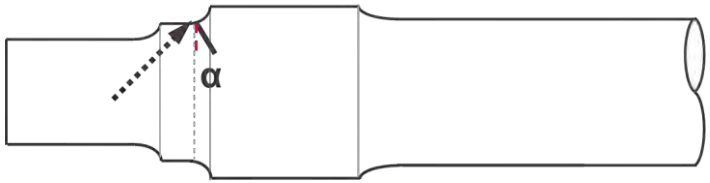
- Links UT-Prüfung, halbkreisförmiger Reflektor mir r = 5,5mm (manuelle Prüfung)
- Rechts ET-Prüfung, halbelliptischer Fehler a/c = 3mm/6mm (0 µm, 190 µm, 380 µm Schichtdicke)

Fazit:

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







Zusammenfassung

- 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 geringfüge Anhängigkeit der Signalstärke von der Fehlerneigung (Untersuchungsbereich 0° … 21°)
- 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 Radlaufflächen (inkl. Übergang Lauffläche Spurkranz) nachzuweisen
- Für mechanisierte Prüfungen mit höheren Anforderungen insbesondere auch an die Prüfgeschwindigkeit würden andere Sonden-Konzepte greifen (z.B. Folien, Arrays, …)

WERKSTOFFSERVICE

MATERIAL ENGINEERING COMPETENCE

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