

Wirbelstromtraining mit Android-Geräten

Gerhard MOOK¹, Yury SIMONIN¹

¹ Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Magdeburg

Kontakt E-Mail: mook@ovgu.de

Kurzfassung. EddySmart ist ein Wirbelstrom-Prüfkit für Android-Smartphones und -Tablets. Der Sensor wird an die Audio-Buchse angeschlossen und kann im Frequenzbereich von 1 kHz bis 20 kHz betrieben werden. Die dazugehörige App bietet Direktzugriff auf Verstärkung, Spreizung, Phase (mit Abhebe-Automatik), Schwelle, Hoch- und Tiefpassfilter, XY- bzw. Yt-Darstellung sowie die Signalaufzeichnung mit der Möglichkeit der Nachbearbeitung.

Neben einem leicht handhabbaren Wirbelstrom-Absolutsensor in Schuhform sowie einen Durchlaufsensor werden ebene und rohrförmige Testkörper aus diversen Metallen und Legierungen sowie Testkörper mit Schlitz- und Wandreduktionen bereitgestellt. Die App wird auf einem USB-Stick geliefert. Für den Anschluss von Fremdsensoren ist ein Spezialkabel verfügbar.

Der Beitrag stellt Beispiele für ein Trainingsprogramm mit dieser Geräteklasse vor. Dazu gehören Grundübungen mit dem Absolut- und Differenzsensor zur Werkstoffsortierung, zur Oberflächenrissprüfung und zur Prüfung auf Wandreduktionen. An einem Testrohr kann das große Anwendungsfeld der Rohrprüfung mit Innendurchlaufsensor demonstriert werden. Darüber hinaus werden Prüfaufgaben mit diversen Fremdsensoren bearbeitet.

Einführung

Der Grundgedanke von EddySmart besteht in der Nutzung moderner Smartphones bzw. Tablets für Wirbelstromanwendungen. Die Leistungsfähigkeit ihres Soundsystems ist mittlerweile so hoch, dass keine externen Komponenten mehr benötigt werden. Bis hinauf zu Prüffrequenzen von 20 kHz können alle gängigen Aufgaben geübt werden. Die Motivation des Übenden ist durch das „Spielen“ mit dem Smartphone extrem hoch. Der Preis für ein solches System ist gering, da ein Smartphone zumeist vorhanden ist oder als Massenprodukt preisgünstig bezogen werden kann. Bereits Geräte ab Android-Version 5 (API 21 Lollipop) sind einsatzfähig. Ausgedienten Geräten kann so ein zweites Leben eingehaucht werden. Die Bedienbarkeit folgt dem 1-Finger-Prinzip, das nach kurzer Eingewöhnung in Fleisch und Blut übergeht.

Das hier behandelte Übungsprogramm zielt nicht auf die normkonforme Industrieausbildung von Wirbelstromprüfern sondern fokussiert auf das Verständnis der physikalischen Zusammenhänge. Nicht die konkrete Applikation steht im Mittelpunkt sondern die Lösbarkeit bestimmter Aufgabenfelder. Weit vor der Anwendung von Normenwerken soll der Student die Herangehensweisen und Auswertungsverfahren selbst untersuchen und so ein Verständnis für die Wirbelstromprüfung entwickeln.

1. Leitfähigkeit und Permeabilität

1.1 Ziel

Das Ziel besteht im Studium der Einflussrichtungen von Leitfähigkeit und Permeabilität auf die Punktbeugung in der Messebene. Es soll der Zusammenhang zu den Signalen in der normierten Impedanzebene, wie sie in Lehrbüchern dargestellt wird, hergestellt werden. Zur Vorbereitung kann das Tool fxEddy [1, 2] verwendet werden. Der Einfluss der Prüffrequenz auf das Phasenverhalten soll für nichtferromagnetische Werkstoffe dokumentiert und interpretiert werden.

1.2 Bezugskörper, Sensor und Vorgehensweise

Für diese Übung werden die in Abbildung 1 gezeigten 6 Ronden und der Grundkörper selbst verwendet. Die nichtferromagnetischen Ronden repräsentieren einen Leitfähigkeitsbereich von 1,2 bis 57 MS/m. Die ferritische Stahlrunde wird als Phasenreferenz genutzt.

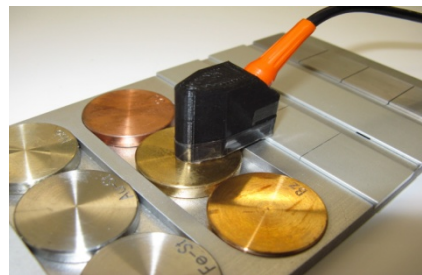


Abb. 1. 6 Ronden repräsentieren einen großen Leitfähigkeits- und Permeabilitätsbereich

Der mitgelieferte Absolutsensor in Schuhform zeichnet sich durch besonders einfache Handhabbarkeit aus. Er kann wackelfrei aufgesetzt und mühelos gehalten werden. Im Gegensatz zum ebenfalls lieferbaren Stiftsensor mit durchsichtiger Spulenfassung eignet er sich für Anfänger wesentlich besser.

Der Sensor wird an Luft abgeglichen (Fingertip in die gekennzeichnete Bildschirmmitte) und nacheinander etwa mittig auf die Ronden aufgesetzt. Die Verstärkung wird so eingestellt, dass alle Abhebesignale im Bildschirmbereich bleiben und diesen möglichst ausnutzen. Jetzt werden die Signale mittels Recorderfunktion (vorwählbar bis zu 60 Sekunden) aufgezeichnet. Anschließend wird die Phasenlage der Signale bestimmt. Dazu wird jedes Signal präzise in die positive x-Achse gedreht und der angezeigte Phasenwinkel notiert. Bei Bedarf kann das Signal nachverstärkt werden. Das prinzipielle Vorgehen zur Phasenbestimmung ist in Abbildung 2 dargestellt.



Abb. 2. Vorgehen zur Phasenbestimmung durch Drehen des Abhebesignals in die x-Achse:
Links: Signalaufzeichnung, Mitte: Fe als Referenzphase, rechts: Phasenbestimmung NFe.

1.3 Auswertung

Die Ergebnisse werden in eine Exceltabelle übernommen und die Differenzwinkel zum Ferromagnetikum bestimmt. Zur Auswertung wird das in Abbildung 3 gezeigte Diagramm erstellt.

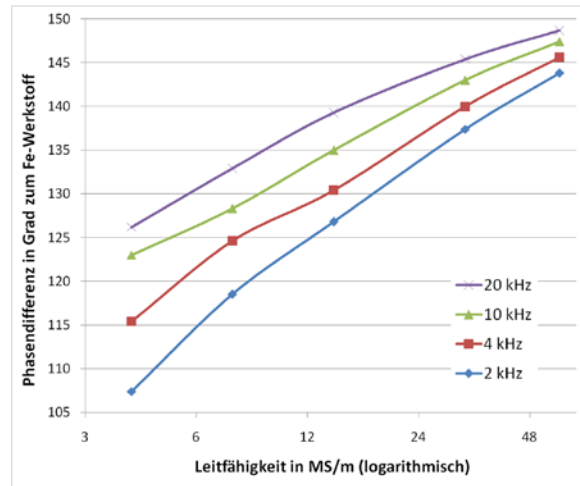


Abb. 3. Phasendifferenzen in Abhängigkeit von der Leitfähigkeit bei 4 Prüffrequenzen

Es zeigt sich, dass die Phasendifferenz mit zunehmender Leitfähigkeit steigt, und die Phasenspreizung der Signale mit zunehmender Frequenz abnimmt.

2. Oberflächenrissprüfung mit dem Absolutsensor

2.1 Ziel

Das Ziel besteht in der Entwicklung einer Vorgehensweise zur Oberflächenrissprüfung. Dazu sollen die Unterschiede zwischen dem Abhebesignal und den Signalen von Oberflächenrissen herausgearbeitet und der Einfluss der Risstiefe untersucht werden.

2.2 Bezugskörper, Sensor und Vorgehensweise

Es kann die in Abbildung 4 dargestellte Aluminiumschiene des Bezugskörpers mit den Oberflächenschlitzen verwendet werden.



Abb. 4. Absolutsensor auf der Schlitzschiene

Der mitgelieferte Absolutsensor in Schuhform wird mit sanftem Andruck in beliebiger Orientierung etwa mittig über die Schlitz der Aluminiumschiene geführt. Dabei ist auf hinreichenden Abstand zum Rand zu achten. Auf keinen Fall darf gekipelt werden.

Zunächst wird auf einer schlitzfreien Stelle abgeglichen und danach das Signal des tiefsten Schlitzes auf etwa halbe Bildschirmgröße gebracht. Danach werden das Abhebesignal und die Signale der Schlitzte aufgezeichnet.

2.3 Auswertung

Während das Abhebesignal im Wesentlichen geradlinig verläuft, liefern die Schlitzte gekrümmte Einflusslinien unter einem deutlich anderen Phasenwinkel. Um beide Signale zu trennen, empfiehlt es sich, das Abhebesignal in eine definierte Richtung zu legen, vorteilhafterweise in die Horizontale nach links. Nun liefern nur noch die Rissignale eine nennenswerte y-Komponente (Abbildung 5 links). Diese y-Komponente kann bei Bedarf separat nachverstärkt werden. Unterschiedlich tiefe Schlitzte liefern unterschiedliche große y-Komponenten. Mit Hilfe einer horizontalen Schwelle können Risse anhand ihrer Tiefe klassifiziert werden (Abbildung 5 rechts).

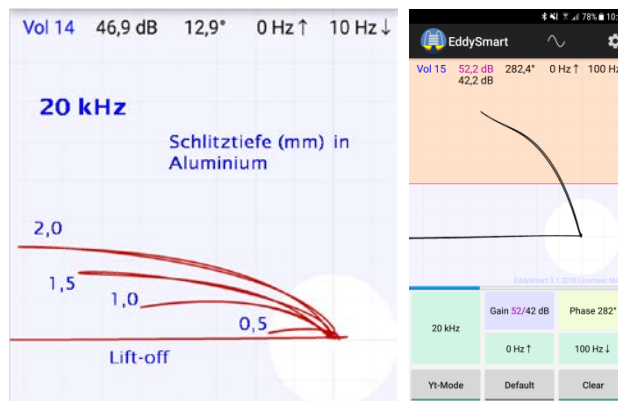


Abb. 5. Das Abhebesignal wird waagrecht nach links gedreht und die y-Komponente der Schlitzsignale ausgewertet. Dazu kann eine Schwelle benutzt werden.

3. Oberflächenrissprüfung mit dem Differenzsensor

3.1 Aufgabe Orientierungsabhängigkeit

Arbeiten Sie die Vor- und Nachteile des Differenzsensors gegenüber dem Absolutsensor heraus. Untersuchen Sie dazu die Orientierungsabhängigkeit und das Abhebeverhalten.

3.2 Bezugskörper, Sensor und Vorgehensweise

Ein Differenzsensor, z.B. der Differenzsensor aus dem EddyCation-Kit, wird über das Adapterkabel mit dem Android-Gerät verbunden und mit unterschiedlicher Orientierung etwa mittig über die Schlitzte der Aluminiumschiene geführt (Abbildung 6 links). Dabei ist auf hinreichenden Abstand zum Rand zu achten.

An einer schlitzfreien Stelle wird abgeglichen und danach das Signal des tiefsten Schlitzes bei unterschiedlicher Sensororientierung untersucht.

Danach werden die restlichen Schlitzte überfahren und deren Signale aufgezeichnet.

3.3 Auswertung

Die Teilsensoren des Absolutsensors müssen nacheinander über den Schlitz laufen. In dieser Orientierung entstehen die größten Signale, wie sie in Abbildung 6b rechts gezeigt

werden. Das Abhebesignal ist wesentlich kleiner als das des Absolutensors. Wegen der größten y-Komponente ist es sinnvoll, das Signal in y-Richtung zu drehen.



Abb. 6. Differenzsensor auf der Schlitze.
Links: Sensorführung, rechts: Schlitzsignale bei optimaler Sensororientierung

3.4 Aufgabe Signalfilterung

Untersuchen Sie den Einfluss von Hoch- und Tiefpassfilter auf die Signale des Differenzsensors. Wie verändert sich die Signalform? Welche Vorteile hat die Yt-Darstellung gegenüber der XY-Darstellung?

3.5 Bezugskörper, Sensor und Vorgehensweise

Derselbe Differenzsensor wird mit konstanter Geschwindigkeit über die Schlitze der Aluminiumschiene geführt. Zunächst wird der Tiefpass beginnend von 400 Hz auf 50 Hz reduziert und das Signalverhalten beobachtet. Danach wird der Hochpass allmählich verengt, so dass ein Bandpass entsteht. Schauen Sie sich die Messsignale auch in der Yt-Darstellung an.

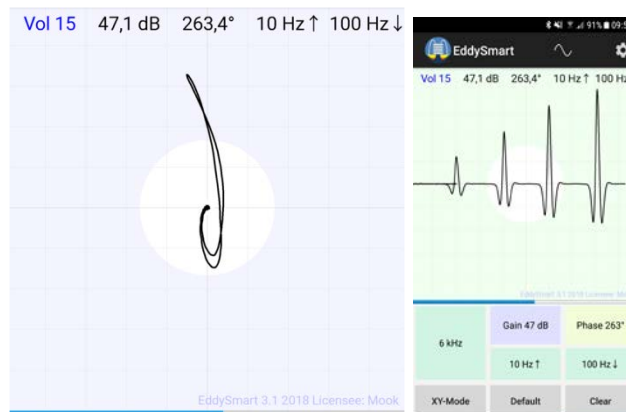


Abb. 7. Links: Bandpassgefiltertes Differenzsensorsignal mit etwa gleich tiefen Minima.
Rechts: Yt-Darstellung der Schlitzsignale.

3.6 Auswertung

Die Verengung des Tiefpasses führt zu einer Reduktion des Rauschens im Messsignal. Das Signal wird zunächst ruhiger, verkleinert sich später aber auch. Der Hochpass differenziert das Messsignal, so dass sich die Signalform wesentlich verändert (Abbildung 7). Es kann eine Signalform mit sehr hohem Wiedererkennungswert und einer optimalen Auswertbarkeit gefunden werden.

In der Yt-Darstellung wird die risskennzeichnende y-Komponente über der Zeit bzw. dem Weg abgetragen. Die Rissignale erscheinen nebeneinander, was deren Ortuordnung ermöglicht.

4. Rohrprüfung mit dem Innendurchlaufsensor

4.1 Aufgabe

Untersuchen Sie, wodurch sich Signale von Außen- und Innenfehlern in Rohren unterscheiden und schlagen Sie ein Verfahren zur quantitativen Auswertung der Signale vor.

4.2 Bezugskörper, Sensor und Vorgehensweise

Nutzen Sie das Messingrohr mit den künstlichen Innen- und Außenfehlern und schauen Sie sich die Dokumentation der Fehlstellen an (Abbildung 8). Schließen Sie den Innendurchlaufsensor über das Adapterkabel an. Führen Sie den Sensor an eine fehlerfreie Stelle im Rohr und gleichen Sie ab. Zeichnen Sie danach die Signale aller Testfehler auf. Bewerten Sie die Phasenspreizung bei unterschiedlichen Prüffrequenzen.

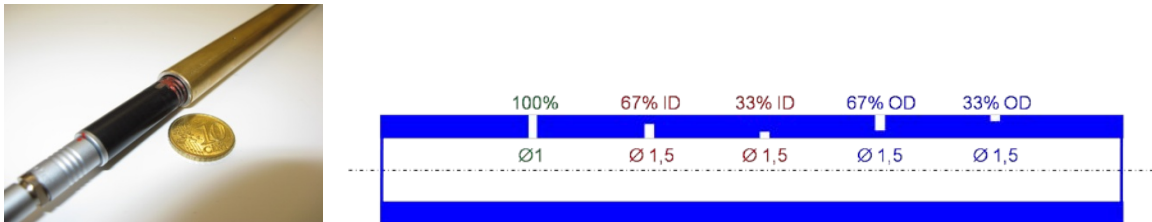


Abb. 8. Links: Innendurchlaufsensor im Messingrohr. Rechts: Dokumentation der Testfehler

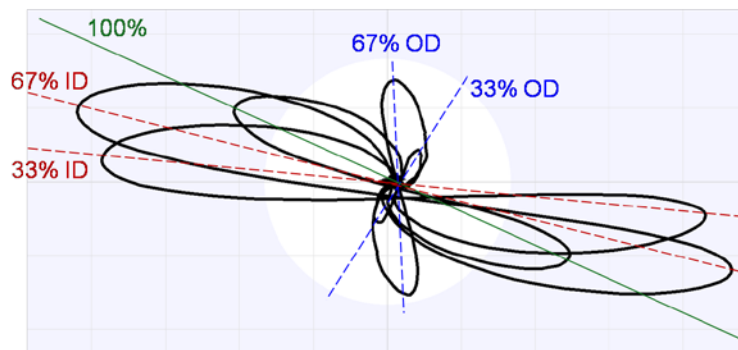


Abb. 9. Rohrfehlersignale bei 16 kHz. Die Prozentangaben beziehen sich auf die relative Fehlertiefe bezogen auf die Wanddicke.
ID – Innenfehler, OD - Außenfehler

4.3 Auswertung

Abbildung 9 zeigt, dass das Signal der Durchgangsbohrung phasenmäßig die Innenfehler von den Außenfehlern trennt. Das Drehverhalten der Außenfehler ist wesentlich stärker ausgeprägt als das der Innenfehler. Die Phasenspreizung insbesondere der Außenfehler nimmt mit der Prüffrequenz zu, wobei ihre Signalamplitude abnimmt. Anhand der Phasendrehung kann die Fehlerart unterschieden und die Fehlertiefe abgeschätzt werden. Das Fehlervolumen hat einen großen Einfluss auf die Amplitude der Signalschleifen, so dass diese nicht zur Fehlertiefenbewertung herangezogen werden sollte.

5. Prüfung auf verdeckte Fehler mit Tastsensoren

5.1 Aufgabe mit Standardsensor

Loten Sie die Grenzen des Wirbelstromverfahrens für verdeckte Fehler aus. Welchen Einfluss hat die Prüffrequenz auf das Signalverhalten?

5.2 Bezugskörper, Sensor und Vorgehensweise

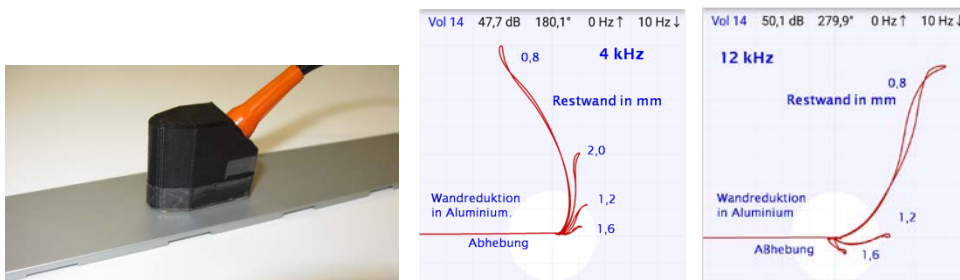


Abb. 10. Standardtastsensor auf Aluminiumschiene mit verdeckten Wandreduktionen

Der Standardsensor wird wie in Abbildung 10 gezeigt über die verdeckten Fehler geführt. Dabei ist auf hinreichenden Randabstand zu achten. Die Signale werden bei 4 und 12 kHz aufgezeichnet und das Abhebesignal nach links waagrecht gedreht.

5.3 Auswertung

Alle Wandreduktionen sind bei 4 kHz gut zu erkennen. Ebenso macht sich die mit steigendem Ligament zunehmende Phasendrehung bemerkbar. Diese Phasendrehung nimmt mit der Prüffrequenz zu, so dass die Phasenspreizung der einzelnen Fehlersignale wächst. Die Signalamplitude nimmt mit der Prüffrequenz ab, so dass der Fehler mit dem größten Ligament bei 12 kHz nicht mehr eindeutig zu erkennen ist.

5.4 Aufgabe mit Multidifferenzsensor

Können die Anzeigeempfindlichkeit und das Abhebesignal durch Speziälsensoren günstig beeinflusst werden?

5.5 Bezugskörper, Sensor und Vorgehensweise

Ein Multidifferenzsensor [3] der Fa. Leotest/Lemberg wird, wie in Abbildung 11 erkennbar, beginnend mit 2 kHz in korrekter Orientierung über verdeckte Schlitz mit unterschiedlichem Ligament geführt. Schlitz und Abhebesignal werden aufgezeichnet.



Abb. 11. Standardtastsensor auf Aluminiumschiene mit verdecktem Schlitz

5.6 Auswertung

Das extrem kleine Abhebesignal ist die Besonderheit der Spezi­alsensoren dieser Bauart. Das Riss­signal dominiert die Anzeige. Mit zunehmendem Ligament wird die Amplitude zwar kleiner bleibt aber deutlich über der Amplitude des Standardsensors, der zudem ein starkes Abhebesignal produziert. Der Sensor liefert bei 4 kHz das größte Schlitz­signal.

Referenzen

- [1] Mook, G.; Simonin, J.: Interactive education in eddy currents. 19th World Conference on Non-Destructive Testing, 13.-17. Juni 2016, München, DGZfP-Proceedings BB 158, IP1,
- [2] Mook, G.; Simonin, Y.: Education in eddy currents – from single probes to arrays, 12th European Conference on Non-Destructive Testing, 10.-16. Juni 2018, Göteborg, Berichte ecndt-0076-2018-File001.pdf Mook, G.; Simonin, Y.: Education in eddy currents – from single probes to arrays, 12th European Conference on Non-Destructive Testing, 10.-16. Juni 2018, Göteborg, Berichte ecndt-0076-2018-File001.pdf
- [3] Nardoni, G.; Uchanin, V.; Nardoni, P.: Application of double differential type eddy current probes für gas turbine component inspection, The 14th International Conference of the Slovenian Society for Non-Destructive Testing »Application of Contemporary Non-Destructive Testing in Engineering«, September 4-6, 2017, Bernardin, Slovenia