

Die Wirbelstromprüfung „spielend“ erlernen!

Prof. Dr.-Ing. habil. Gerhard Mook, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

1. Neue Wege in der Ausbildung

Die Vermittlung theoretischer und praktischer Grundlagen der Wirbelstromprüfung gestaltet sich wegen der mangelhaften Anschaulichkeit des Verfahrens recht schwierig. Im Gegensatz zur Röntgen- und Ultraschallprüfung, wo persönliche Erfahrungen mit Schattenbildern bzw. Echos den Einstieg erleichtern und Bezüge zur medizinischen Diagnostik existieren, sind Wirbelstromphänomene entweder unbekannt oder beschränken sich auf die Wirbelstrombremse.

Es kommt also darauf an, dem Lernenden diese für ihn neue Welt verständlich darzustellen und aus dem anfänglichen Erstaunen eine gewisse Begeisterung für das Verfahren zu entfachen. Dazu sind die wenigen deutschsprachigen Lehrbücher trotz aller wissenschaftlicher Qualität nur bedingt geeignet.

Insbesondere bei Jugendlichen erscheint dagegen die Einbindung ihres gewohnten Lieblingsspielzeugs - des Computers - Erfolg versprechender. Zu diesem Zweck wurden zwei Tools entwickelt, die im Folgenden vorgestellt werden.

2. Das interaktive Lehrbuch

Der Einfluss elektrischer, magnetischer und geometrischer Größen auf das Wirbelstromsignal wird in der normierten Impedanzebene sensorunabhängig beschrieben. Die teils unübersichtliche Ortskurvendarstellung erschließt sich dem Lernenden jedoch nur bei intensiver Beschäftigung und kann an einem realen Wirbelstromgerät nur lückenhaft nachvollzogen werden. Weder die Normierung noch der Frequenz- oder Leitfähigkeitseinfluss lässt sich am

Prüfgerät direkt demonstrieren. Um diese Lücke zu schließen, haben die Studenten Verena von Hintzenstern, Tina Haase, Anne Goldammer und Sven Andres von der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg (Studiengang Computervisualistik mit Anwendungsfach Werkstofftechnik) das halbquantitative 3D-Simulationstool fxEddy geschrieben, das die einzelnen Effekte am Computer nachvollziehbar macht, ohne eine aufwändige, teure und relativ langsame numerische Modellierung zu bemühen. Es verzichtet auf exakte feldtheoretische Lösungen zugunsten der Geschwindigkeit und Handlichkeit. Es will eher ein Lehrbuch zum „Spielen“ sein.

Bild 1a zeigt die Prüfsituation auf dem Startbildschirm. Links ist symbolisch ein Tastsensor dargestellt, der per Rändelrad in allen drei Raumrichtungen bewegt werden kann. Der darunter befindliche Testkörper weist Oberflächenschlitze (Rissimulationen) und Wanddickenschwächungen auf. Rechts ist ein Wirbelstromgerät zu erkennen, das neben der Frequenzeinstellung eine Anzeige in Form der normierten Impedanzebene bietet, in die hineingezoomt werden kann. Darüber hinaus kann ein nicht ferromagnetischer Werkstoff gewählt und die Leitfähigkeitsänderung direkt sichtbar gemacht werden.

Wird nun der Sensor von der Oberfläche abgehoben, bewegt sich der Punkt auf dem Bildschirm in Richtung Luftpunkt. Diese Richtung ändert sich in Abhängigkeit von der Leitfähigkeit des Prüflings und der Prüffrequenz.

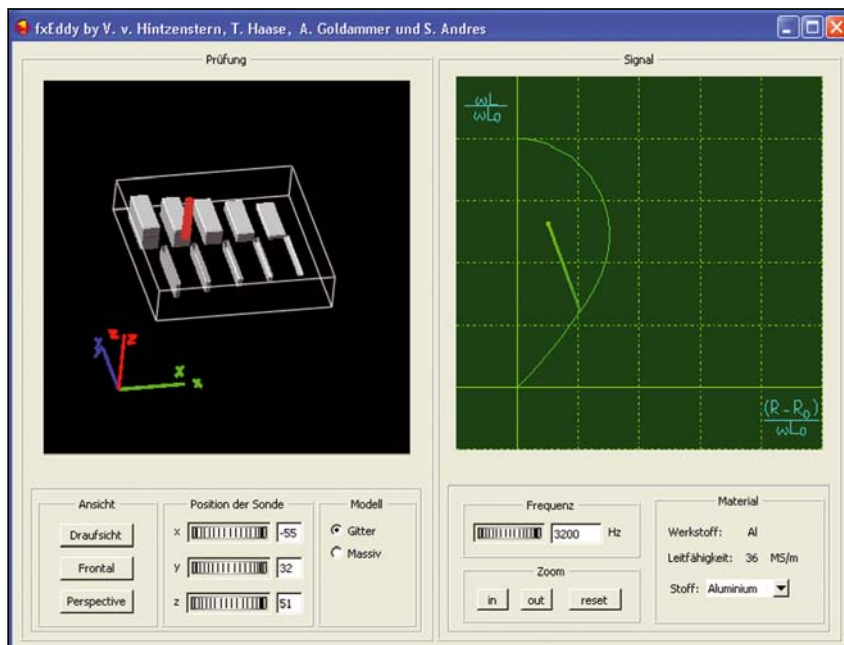


Bild 1a: Simulierte Prüfsituation, links: Tastsensor über nicht ferromagnetischem Material; rechts: Abhebesingal (Lift-off) in der normierten Impedanzebene

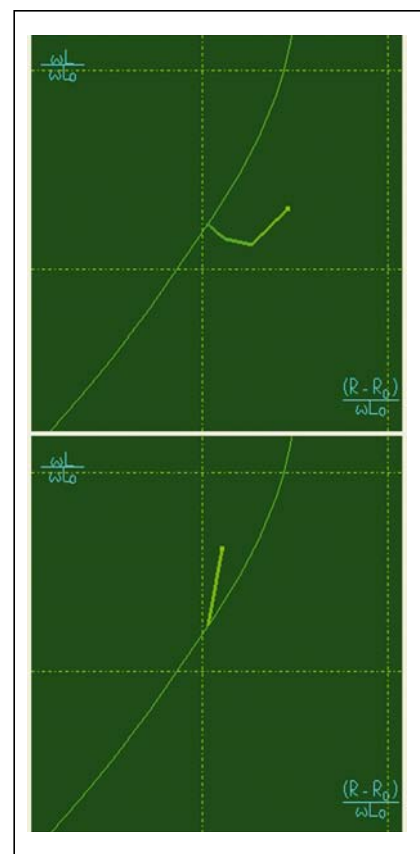


Bild 1b: Signale einer Wanddickenreduktion und eines Oberflächenrisses

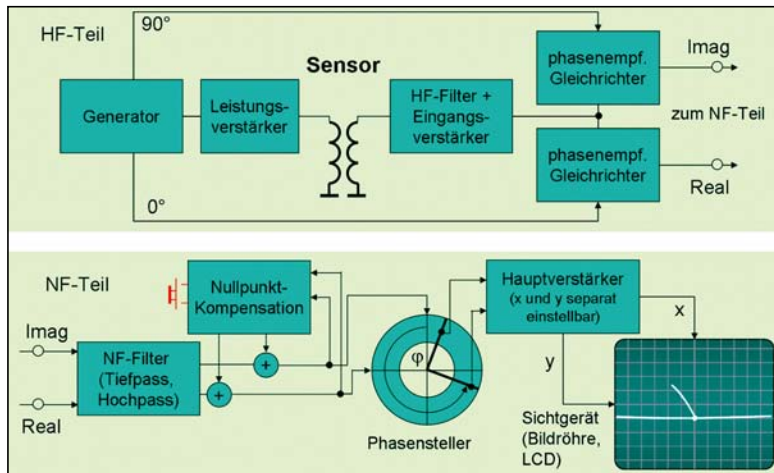


Bild 2a: Struktur eines analogen Wirbelstromgerätes

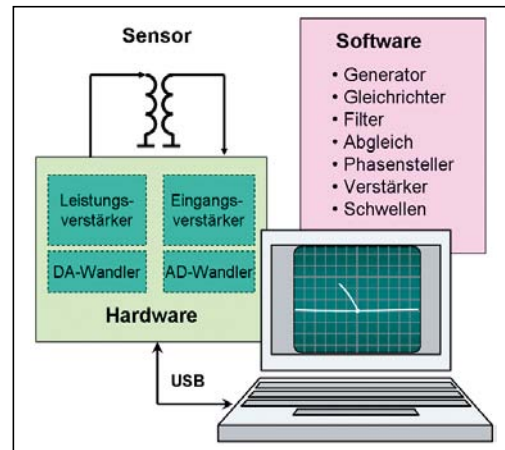


Bild 2b: Struktur des volldigitalen Wirbelstromgerätes EddyCation

Wie Bild 1b zeigt, lassen sich ebenso die Signale von Oberflächenrissen und lokalen Wanddickenverringerungen frequenzabhängig studieren.

3. Der Experimentierkasten

Wird der Lernende das erste Mal mit einem realen Tastsensor an einem realen Wirbelstromgerät konfrontiert, hat er Mühe, den Sensor so zu führen, dass ein verwertbares Signalbild entsteht. Er ist in der ersten Zeit vollkommen damit beschäftigt, das Handling des Tastsensors zu erlernen. Das interessante Innenleben des Sensors bleibt ihm dabei leider verschlossen. Um diese Anfangsschwierigkeiten zu reduzieren, wurde ein zweisprachiger modularer Experimentierkasten entwickelt, der ein volldigitales Wirbelstromgerät in Form einer USB-Box, transparente Sensoren und diverse Testkörper enthält. Das Set ist unter dem Namen EddyCation® (abgeleitet aus Eddy Current und Education) so preisgünstig erhältlich, dass für jeden Lernenden ein separates Set bereitgestellt werden kann.

Die Bilder 2a und 2b zeigen die wesentlichen Unterschiede zwischen einem analogen Wirbelstromgerät und dem volldigitalen EddyCation. Im analogen Gerät sorgt die Hardware für die Signalerzeugung, die Messsignalaufbereitung, die Demodulation, die Filterung, den Abgleich, die Pha-

sendrehung und die Verstärkung. Diese Geräte sind zwar leistungsfähig aber auch teuer.

Die Computertechnik hat sich in den letzten Jahren so rasant entwickelt, dass alle wesentlichen Gerätefunktionen per Software realisierbar wurden.

Das Herzstück des EddyCation-Systems ist wiederum der Computer, an den eine USB-Box angeschlossen wird. Der Computer übernimmt die digitale Erzeugung der Sinus-schwingung für das Sendesignal und die gesamte Signalverarbeitung. Die USB-Box beschränkt sich auf die Digital-Analog-Wandlung des Sendesignals, die elektrische Anpassung an den Sensor und die Analog-Digital-Wandlung des Empfangssignals. Die phasenempfindliche Demodulation erfolgt bereits im Computer.

Zur Bedienung des Gerätes kann zwischen zwei Oberflächen (Skins), die Bild 3 zeigt, gewählt werden:

- Klassisch: Separate Einstellregler für Frequenz, Verstärkung, Phase und Filter,
- Kompakt: Oberfläche mit nur einem Einstellregler mit zuweisbarer Funktion.

Da die USB-Box an jedem PC, Laptop oder Notebook mit Windows® XP betrieben werden kann, können die Lernenden ihre eigenen Rechner nutzen. Der Ausbilder braucht nur für den „Notfall“ wenige PCs vorzuhalten. Dieses Vorgehen hat den großen Vorteil, dass der Lernende in seiner gewohnten geräte-technischen Umgebung bleibt, die Einarbeitungszeit minimiert wird und alle Ergebnisse da landen, wo sie hingehören.

Bild 4 zeigt einen Absolutsensor (Differenztyp ebenfalls verfügbar), der sich durch eine breite Auflagefläche auszeichnet, so dass auf Anheb ruhige Punkt-bewegungen zu beobachten sind. Die Spulen sind zur Besichtigung in einen schlagzäh durchsichtigen Kunststoff eingegossen.

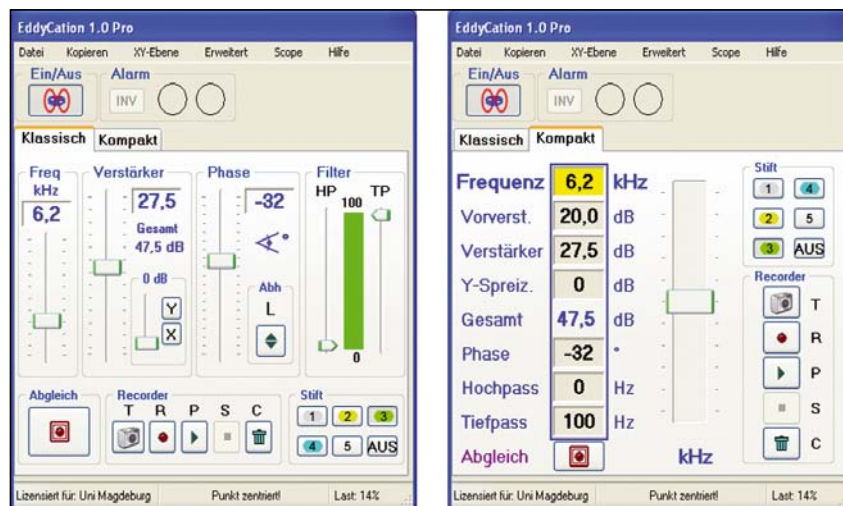


Bild 3: Klassische und kompakte Bedienoberfläche



Bild 4: Transparente Sensoren mit breiter Auflagefläche erleichtern das Verständnis und die Handhabung

4. Übung macht den Meister

Um den Bezug zum Signalverhalten in der normierten Impedanzebene herzustellen, bieten sich zunächst Versuche zur Materialsortierung an. Sieben Ronden aus Werkstoffen unterschiedlicher Leitfähigkeit und Permeabilität zeigen das Potenzial der Wirbelstromtechnik. In Bild 5 lässt sich der Verlauf der Grenzkurve punktweise rekonstruieren, und der starke Einfluss der magnetischen Permeabilität kommt zum Ausdruck.

Als Spezialfall der Materialsortierung stößt die Münzprüfung auf großes Interesse. Bild 6 zeigt, dass die Euro- und Cent-Münzen durch geschickte Materialwahl und -kombination mit verschiedenen Leitfähigkeits- und Permeabilitäts-

werten versehen wurden, so dass sie mit relativ geringem Aufwand berührungslos identifiziert werden können.

Ein weiteres Thema ist der Nachweis

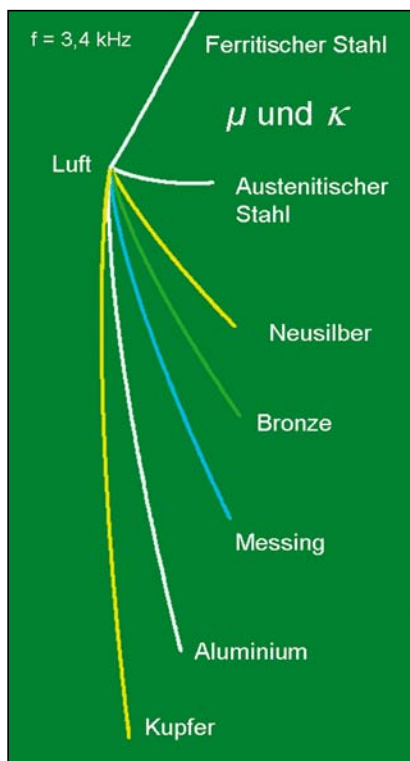


Bild 5: Sortierung

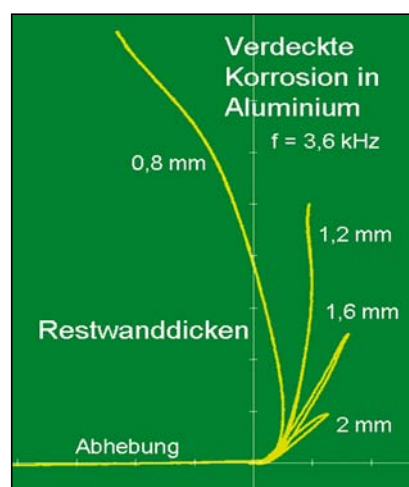


Bild 7: Simulation verdeckter Korrosion in Aluminium

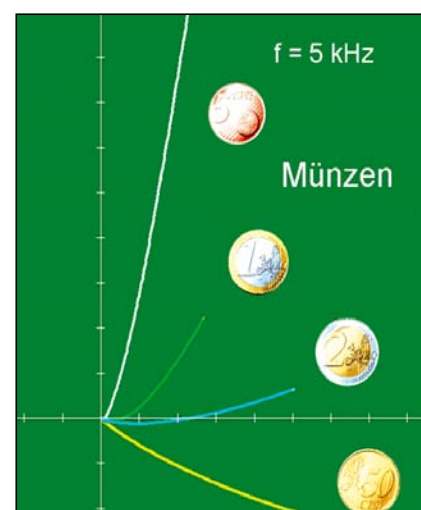


Bild 6: Wirbelstromsignale von Münzen

lokaler Wanddickenschwächungen, wie sie zum Beispiel durch Korrosion hervorgerufen werden können. Ein spezieller Aluminiumtestkörper mit Ausfräsungen führt dem Lernenden die zunehmende Phasenverschiebung der Wirbelströme mit steigendem Ligament (Restwanddicke) des Fehlers vor Augen. Durch die Wahl der Prüffrequenz kann die Phasenaufspreizung optimiert werden. EddyCation bietet die Möglichkeit, die Punktaufzeichnung beliebig oft zu unterbrechen und mit veränderter Farbe fortzusetzen, so dass übersichtliche und leicht nachvollziehbare Protokolle entstehen. Wird nur der Endpunkt der Messspur benötigt, bietet der Tip-Marker die Möglichkeit einen kleinen Kreis an die entsprechende Stelle der XY-Ebene zu zeichnen.

Das große Thema der Rissprüfung wird in EddyCation durch einen einzigen Testkörper abgedeckt. In einen Streifen eloxierten Aluminiumblechs sind unterschiedlich tiefe Schlitze erodiert. Dieser Testkörper kann von beiden Seiten geprüft werden, so dass Oberflächen- und verdeckte Risse simuliert werden.

Der Differenzsensor liefert die in Bild 8 links dargestellten Signale von offenen Schlitzen. Während die Signalamplitude mit der Riss(Schlitz)tiefe zunimmt, dreht die Phase nur leicht nach rechts.

Bei verdeckten Rissen (Schlitzen) ist die Phasendrehung prägnanter und bietet ein brauchbares Maß für das Fehlerligament.

Bekanntermaßen erzeugen Oberflächen- und verdeckte Risse Signale sehr unterschiedlicher Amplituden, so dass nicht alle Ergebnisse in einem Signalbild dargestellt werden können. Entweder die Verstärkung wird auf die Oberflächenrisse optimiert, dann sind die Signalamplituden der verdeckten Risse zu klein, oder die Verstärkung wird auf die verdeckten Fehler abgestimmt, dann übersteuern die Signale der Oberflächenrisse. EddyCation hält für diesen Fall die in Bild 9 dargestellte logarithmische XY-Ebene bereit (blauer Hintergrund zur Unterscheidung), die die Darstellung von Signalen sehr unterschiedlicher Amplitude erlaubt.

5. Schwellen und Zeiten

Neben der XY-Darstellung beherrscht EddyCation auch den Yt-Modus. Mit zwei wählbaren Geschwindigkeiten lässt sich der Punkt in X-Richtung bewegen. Die Y-Komponente wird aufgezeichnet und kann zur Simulation einer

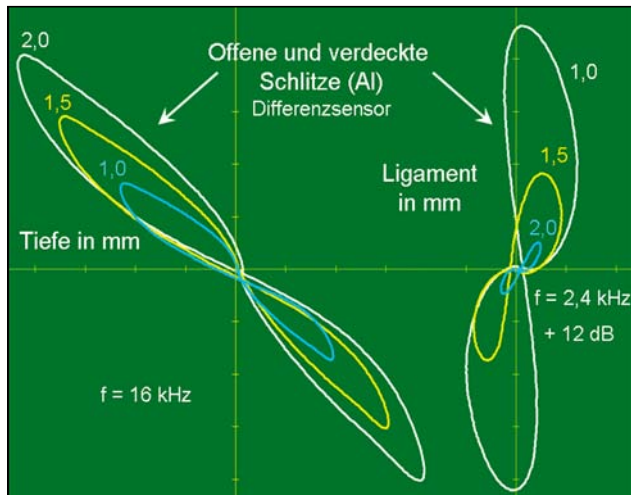


Bild 8: Differenzsensordaten von offenen und verdeckten Schlitzen in der linearen XY-Ebene

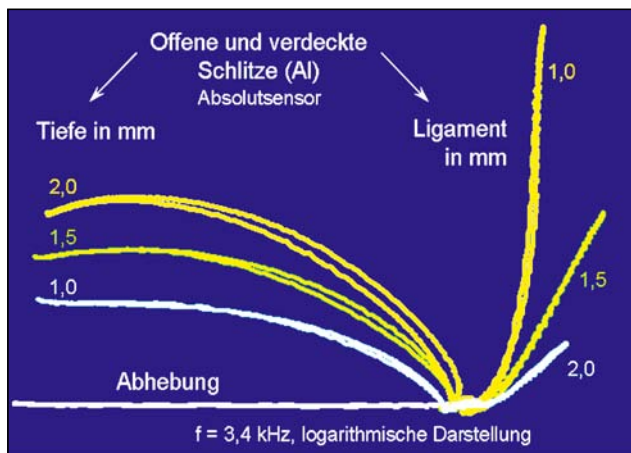


Bild 9: Absolutensordaten von offenen und verdeckten Schlitzen in der logarithmischen XY-Ebene

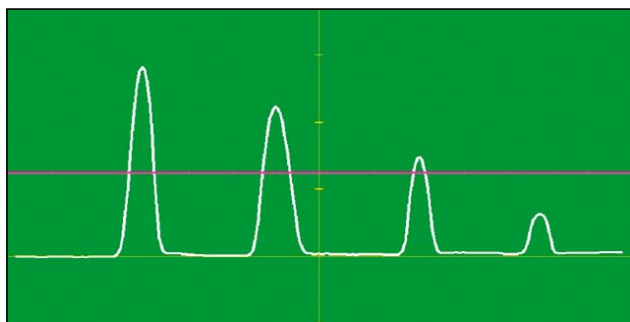


Bild 10: Yt-Mode mit eingblendeter Schwelle

automatischen Prüfung mit verschiedenen Schwellen bewertet werden. Dazu gehören einfache X- und Y-Schwellen, wie sie Bild 10 zeigt, sowie symmetrische und Kreis-schwellen.

6. Protokollautomatik

Zwar ist bei modernen Stand-alone-Geräten häufig der Anschluss eines Druckers zur Protokollausgabe möglich, doch ist das Übertragen der Ergebnisse auf einen PC oder ein Notebook mitunter nicht einfach. Hier bietet EddyCa-

tion die komfortable Möglichkeit, ein Protokoll automatisch in MS-Word® zu erstellen.

Wenn dieses Programm auf dem PC installiert ist, generiert EddyCation das Protokoll inklusive der Geräteeinstellungen und der XY-Ebene (Bild 11).

Der Lernende kann sich auf das Wesentliche – nämlich die Auswertung – konzentrieren.

Er trägt seine Kommentare, Bemerkungen und Schlussfolgerungen direkt in das Protokoll ein.

Das Dokument wird wie gewohnt ausgedruckt und dient als Beleg.

Ist der PC an ein Netzwerk angeschlossen, können die Protokolle gesammelt, verschickt, verglichen und archiviert werden. Der Ausbilder kann diese Protokolle zur Leistungsbewertung der Lernenden benutzen.

Da die Protokolle ebenfalls beim Lernenden verbleiben, kann er das Gelernte reproduzieren und seinen eigenen Fortschritt erkennen – ein ideales Mittel zum Selbststudium.

7. Für Fortgeschrittene

Hat der Lernende die grundlegenden Kenntnisse und Fähigkeiten erworben, kann er sich auf schwierigere Aufgaben konzentrieren. Dazu gehört zweifellos die Mehrfrequenztechnik, die in EddyCation in Form der Zweifrequenztechnik implementiert ist. Zwei Prüffrequenzen werden gleichzeitig in den Sensor eingespeist und zwei Punkte in der XY-Ebene angezeigt. Beide Frequenzkanäle werden unabhängig voneinander parametrierbar. Ein zusätzlicher Kanal wertet die Differenz der beiden Frequenzkanäle aus und zeigt das Ergebnis als dritten Punkt an.

Mit dieser Technik können bestimmte Störeinflüsse auf das Messsignal ausgeblendet werden.

8. Fazit

Mit fxEddy und EddyCation (www.eddycation.de) stehen zwei PC-basierte Tools zur Verfügung, die das Lehren und das Erlernen der Wirbelstromprüfung wesentlich erleichtern. Der Ausbilder kann alle grundlegenden Zusammenhänge und Vorgehensweisen per Notebook und Beamer anschaulich demonstrieren. Die Konzentration und Motivation der Lernenden bleibt durch die Interaktivität der Tools sehr hoch.

Der Erfolg stellt sich „spielend“ ein.

EddyCation Protokoll			
Prüfgegenstand:			
Werkstoff:			
Prüfaufgabe:			
Sensor:			
Einstellungen	Freq 1: weiß	Freq 2: gelb	Diff 1-2: grün
Frequenz:	15,4 kHz	5,0 kHz	
Gesamtverstärkung:	33,0 dB	36,8 dB	
- Sendepiegel:	0,0 dB	0,0 dB	0,0 dB
- Vorverstärkung:	20,0 dB	20,0 dB	20,0 dB
- Verstärkung:	13,0 dB	16,8 dB	-0,9 dB
Achsenpresung:	0 dB	0 dB	0 dB
Phase:	-3°	-65°	96°
Filter HP/TP:	0/100 Hz	0/100 Hz	0/100 Hz
Befund			Bemerkungen
Ort	Datum	Name	Unterschrift

Bild 11: Automatisch generiertes Protokollformular