

Innovative Tools zur ET-Ausbildung

Gerhard MOOK, Sven ANDRES, Anne GOLDAMMER, Tina HAASE, Verena von HINTZENSTERN und Juri SIMONIN
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Kurzfassung. Mit dem Übergang von der Diplom- zur Bachelor/Master-Ausbildung an deutschen Universitäten, Hochschulen und Fachhochschulen verkürzen sich die Ausbildungszeiten für die Basisdisziplinen. Somit stehen auch für die Zerstörungsfreie Prüfung weniger Vorlesungen und Praktika als bisher zur Verfügung. Um die Qualität der Ausbildung dennoch auf dem bekannt hohen Niveau zu halten, werden effizientere Lehr- und Lernmethoden benötigt, die vor allem auf die Motivation der Studenten setzen.

Der Beitrag stellt zwei Tools zur Vermittlung von Theorie und Praxis der Wirbelstromprüfung vor, die nicht auf die studentische Ausbildung beschränkt sind. Das erste ist eine Simulation der Signalentstehung in der normierten Impedanzebene, das zweite Tool ist ein reales Wirbelstromsystem, das als preisgünstige USB-Box an das eigene Notebook angeschlossen wird.

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 persönlichen 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 wissenschaftlichen 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.

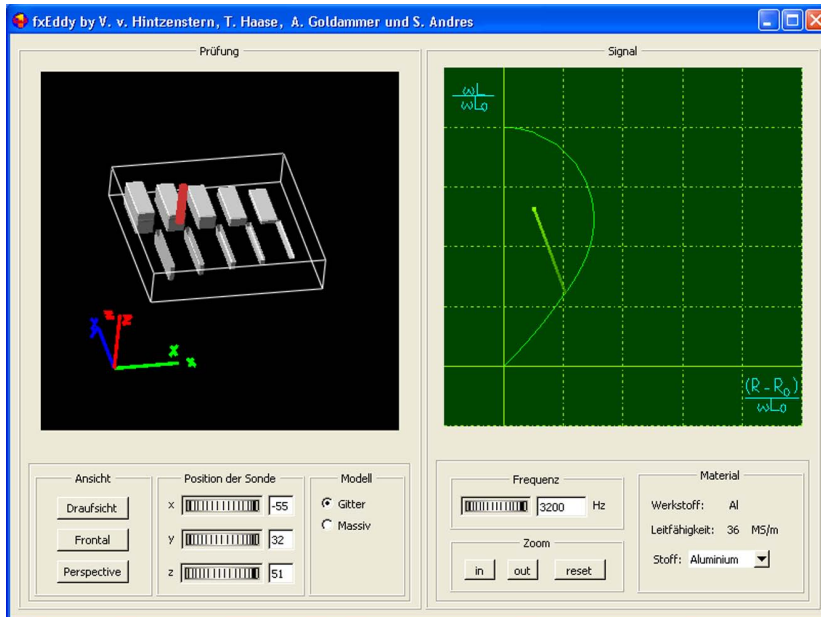


Bild 1a: Simulierte Prüfsituation, links: Tastsensor über nicht ferromagnetischem Material; rechts: Abhebesignal (Lift-off) in der normierten Impedanzebene

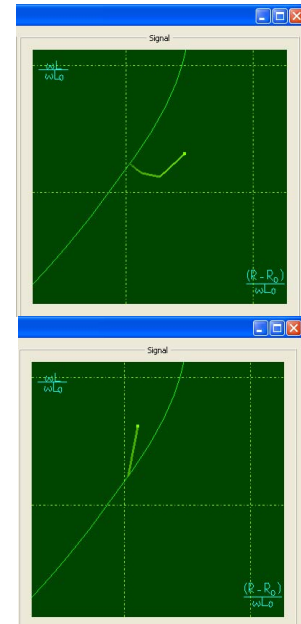


Bild 1b: Signale einer Wanddickenreduktion und eines Oberflächenrisses

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. 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 Phasendrehung 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.

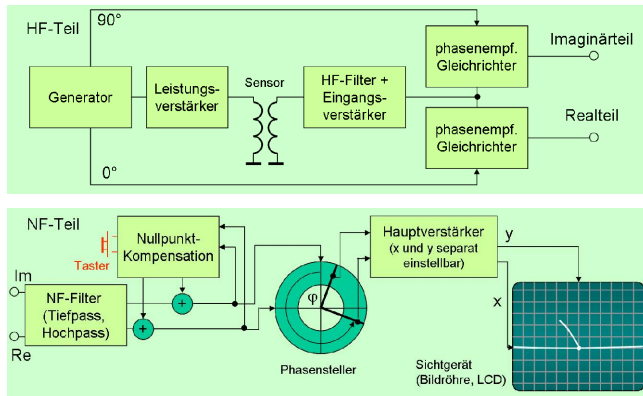


Bild 2a: Struktur eines analogen Wirbelstromgerätes

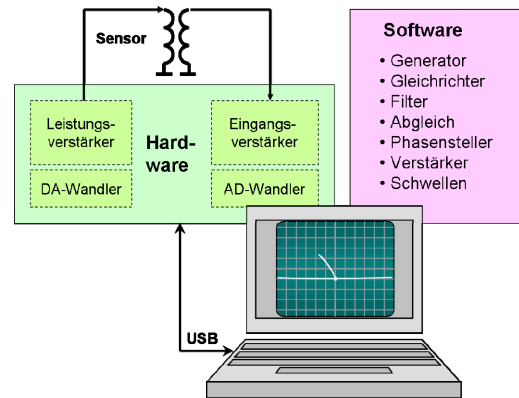


Bild 2b: Struktur des volldigitalen Wirbelstromgerätes EddyCation

Das Herzstück des EddyCation-Systems ist wiederum der Computer, an den eine USB-Box angeschlossen wird. Der Computer übernimmt die digitale Erzeugung der Sinusschwingung 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 phasempfindliche Demodulation erfolgt bereits im Computer.

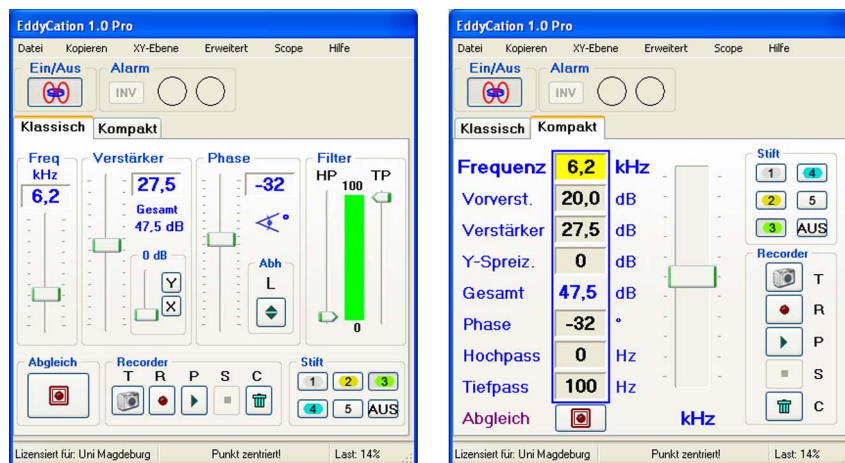


Bild 3: Klassische und kompakte Bedienoberfläche

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 gerätetechnischen 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 Anrieb ruhige Punktbewegungen zu beobachten sind. Die Spulen sind zur Besichtigung in einen schlagzähen durchsichtigen Kunststoff eingegossen.

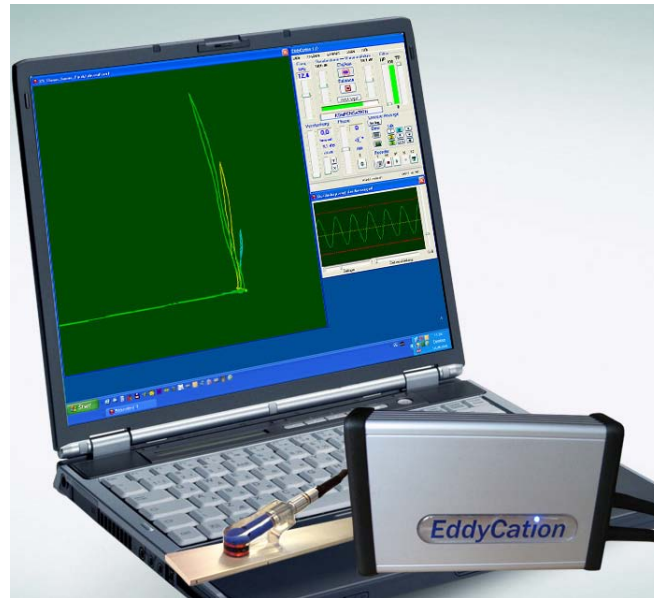


Bild 4: Transparente Sensoren mit breiter Auflagefläche erleichtern das Verständnis und die Handhabung

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

Ein weiteres wichtiges Thema ist der Nachweis 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.

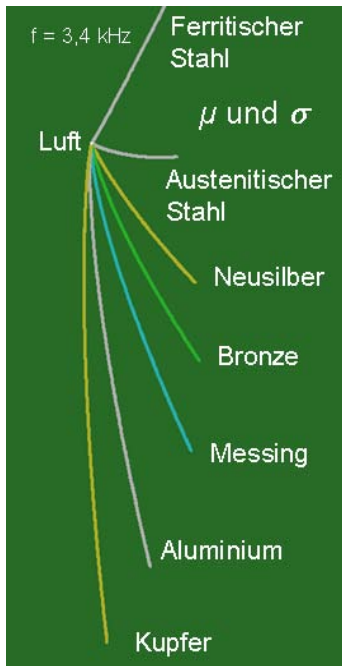


Bild 5: Sortierung

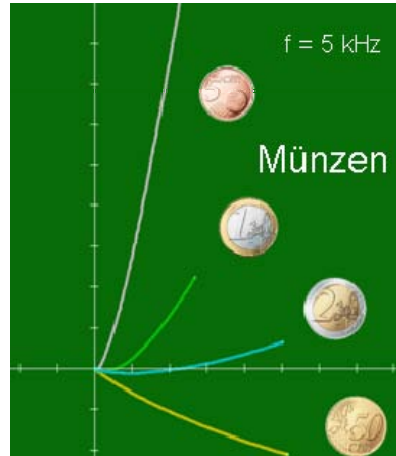


Bild 6: Wirbelstromsignale von Münzen

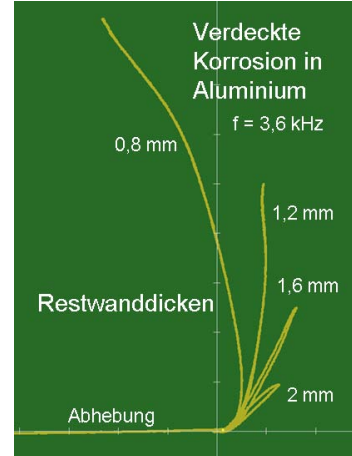


Bild 7: Simulation verdeckter Korrosion in Aluminium

Das große Thema der Rissprüfung wird in EddyCation durch einen einzigen Testkörper abgedeckt. In einen Streifen eloxierten Aluminiumblechs sind unterschiedlich tiefe Schlitz 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 Schlitz. Während die Signalamplitude mit der Riss(Schlitz)tiefe zunimmt, dreht die Phase nur leicht nach rechts.

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

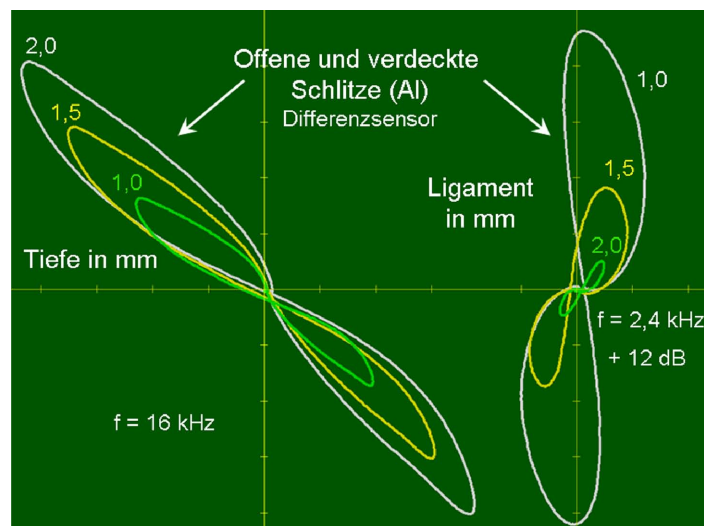


Bild 8: Differenzsensordesignale von offenen und verdeckten Schlitz in der linearen XY-Ebene

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.

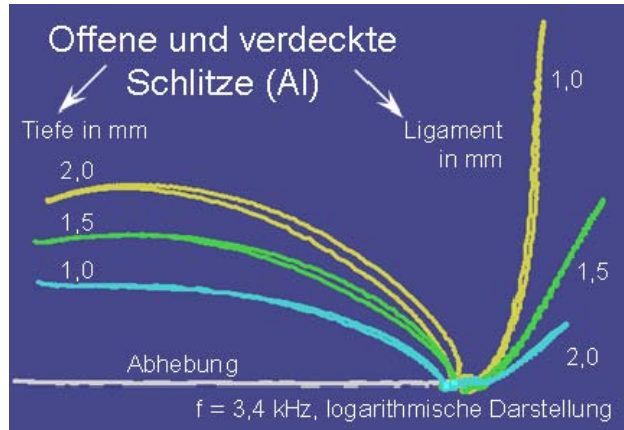


Bild 9: Absolutensensorsignale von offenen und verdeckten Schlitzen in der logarithmischen XY-Ebene

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

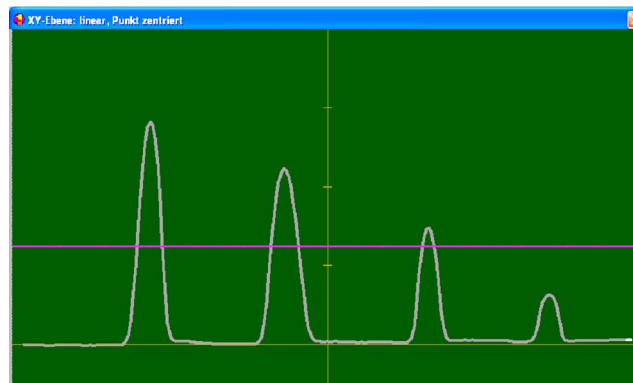


Bild 10: Yt-Mode mit eingeblendeter Schwelle

6. Ein Blick unter die Motorhaube

Für besonders Interessierte bietet EddyCation ein eingebautes Oszilloskop, das das aktuelle Eingangssignal vor der Demodulation darstellt (Bild 11). Das sinusförmige Signal wird hinsichtlich seines Real- und Imaginärteils ausgewertet. Gleichzeitig sind die 0-dB- und die -20-dB-Linie zu erkennen. Während hier bei Überfahren eines Fehlers - wenn überhaupt - nur geringste Signaländerungen zu erkennen sind, liefert die Punktdarstellung in der XY-Ebene bereits große Anzeigen. Das ist ein Hinweis auf die extreme Leistungsfähigkeit des Demodulationsalgorithmus des EddyCation-Systems.



Bild 11: Das Messsignal vor der Demodulation. Aus ihm werden der Real- und der Imaginärteil für die Anzeige gewonnen

7. 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 EddyCation 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 12). 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.

| 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 |
| Achsenpräzision: | 0 dB | 0 dB | 0 dB |
| Phase: | -3° | -65° | 96° |
| Filter HP/TP: | 0/100 Hz | 0/100 Hz | 0/100 Hz |
| Bemerkungen | | | |
| Befund | | | |
| Ort | Datum | Name | Unterschrift |

Bild 12: Automatisch generiertes Protokoll

8. 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 parametrisiert. 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.

9. 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.