

## DIGITALE WIRBELSTROMPRÜFUNG ZEHNMAL SCHNELLER

# Grenzen ausgedehnt

Wirbelstromverfahren sind für Hochgeschwindigkeitsanwendungen der zerstörungsfreien Materialprüfung systembedingt nicht immer schnell genug. Digitale Gerätetechnik von Rohmann, Frankenthal, vermag die bisherige Geschwindigkeitsgrenze aufzuheben. Dadurch wird eine hochauflösende Prüfung bei höchsten Geschwindigkeiten mit nur einem einzigen Gerät möglich.

Das Grundprinzip der Materialprüfung mit Wirbelstrom ist sehr einfach: Im Inneren des Materials werden elektrische Ströme erzeugt. Im homogenen, „guten“

sich vorstellen, was passiert, wenn man den Wasserwirbel in der Badewanne mit einem Gegenstand oder dem Finger „stört“. Ähnlich wirken sich auch Inhomogenitäten im Material wie beispielsweise Materialtrennungen oder Gefügeänderungen auf die Ausbreitung der Wirbelströme aus.

Etwas schwieriger ist jedoch zu verstehen, wie die Wirbelströme im Material erzeugt werden und wie die Information über die Störung von Wirbelströmen wieder aus dem Material herauskommt und sinnvoll verarbeitet werden kann. Die Antwort lautet: Induktion von elektri-

Sensoren erledigt. Sie erzeugen zum einen die erforderlichen Magnetfelder und erregen dadurch im Prüfmaterial Wirbelströme, zum anderen messen sie die Magnetfelder, die durch die Wirbelströme im Prüfmaterial entstehen. Die Magnetfelder zur Erzeugung der Wirbelströme im Prüfmaterial können um mehrere Zehnerpotenzen höher sein als die Magnetfelder der Wirbelströme selbst.

Um hier typische Werte zu nennen: Die Spannungen zur Erzeugung der Magnetfelder liegen in der Größenordnung bis 10 Volt, die typischen Messspannungen der Wirbelstromsignale im Bereich zwischen Mikrovolt und Volt. Da sich die Spannungen normalerweise überlagern, sind geeignete Methoden und Vorkehrungen erforderlich, um beide auseinander halten zu können. Dem Messsignal, das vom Magnetfeld der Wirbelströme herrührt und auch als Nutzsignal bezeichnet wird, gilt im Folgenden besonderes Augenmerk.

## Wie die Signalverarbeitung funktioniert

Zur Erzeugung der Wirbelströme im Prüfmaterial werden magnetische Wechselfelder verwendet. Somit handelt es sich bei den Nutzsignalen auch um Wechselspannungen. Mit der Frequenz der Magnetfelder, der sogenannten Prüffrequenz, kann die Eindringtiefe ins Material gesteuert werden. Sie beeinflusst unter anderem auch die mögliche Ortsauflösung und weitere Effekte, auf die hier nicht näher eingegangen werden soll.

Das Nutzsignal wird zum besseren weiteren Verarbeiten und Darstellen in seine Komponenten zerlegt, meist in einen Realteil und einen Imaginärteil der Messspannung (es können aber auch Phase und Amplitude sein). Dieser Vorgang wird als Demodulation bezeichnet. Auch hier gibt es einen Vergleich im Alltag. Die Sendefrequenz beim Rundfunkempfang entspricht der Prüffrequenz bei der Wirbelstromprüfung – es wird nur noch die Modulation der Senderfrequenz betrachtet, die Senderfrequenz selbst trägt kei- ▶

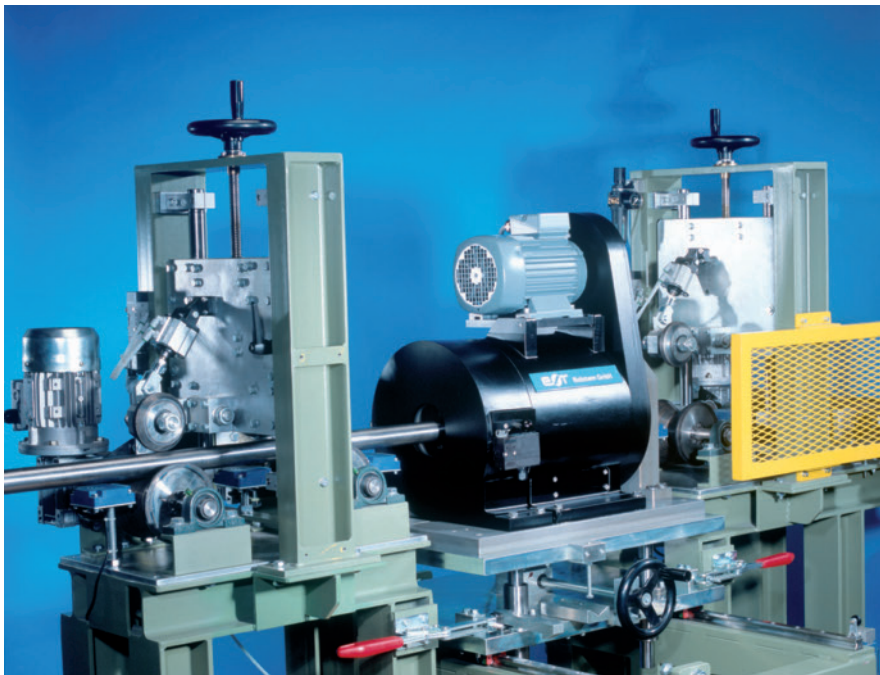


Bild 1. Linienprüfung von Rohren mit einem Rotiersystem

Material fließen die Ströme ähnlich wie Wasserwirbel, die sich an den Ausgüssen zum Beispiel von Wasserbecken oder Badewannen ausbilden. Daher heißen die elektrischen Ströme auch „Wirbelströme“.

Befinden sich nun Inhomogenitäten im Prüfmaterial, können sich die elektrischen Ströme nicht mehr genau so ungestört ausbilden wie im homogenen, „guten“ Material. Zum Vergleich kann man

schen Spannungen durch magnetische Wechselfelder. Wenn es sich um elektrisch leitfähige Materialien handelt, können elektrische Ströme im Material fließen, eben die gewünschten Wirbelströme. Da elektrische Ströme jedoch selbst auch wieder Magnetfelder erzeugen, kann man diese indirekt aufgrund ihrer Magnetfelder nachweisen.

Beides wird durch die Wirbelstrom-

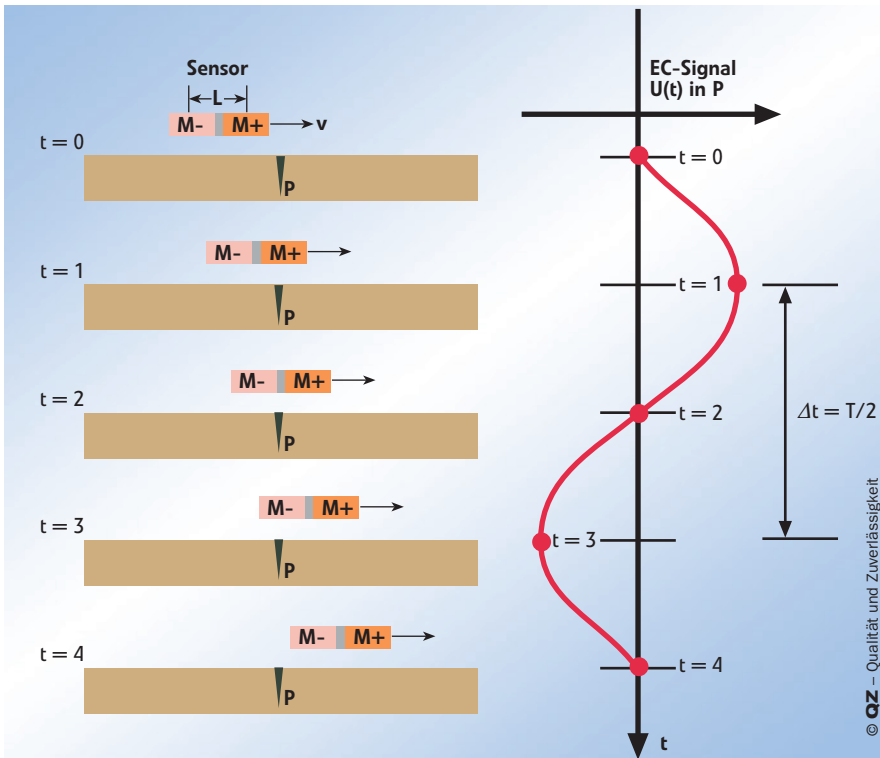


Bild 2. Entstehung eines Wirbelstrom-Fehlersignals (EC-Signal) als Funktion der Zeit

ne Information. Nebenbei bemerkt: Die typischen Prüffrequenzen bei der Wirbelstromprüfung überdecken den Bereich unterhalb der Langwelle (eigentlich Sub-Längstwelle, ab 10 Hz) bis Kurzwelle (bis 10 MHz).

Wirbelstromverfahren werden nicht nur bei langsamen quasistatischen Vorgängen eingesetzt, sie haben gerade bei schnellen Prüfvorgängen ihre besonderen Vorteile. Zum besseren Verständnis soll hier das prinzipielle Verhalten von Nutzsensoren bei dynamischen Prüfvorgängen etwas ausführlicher dargestellt werden.

Bild 2 zeigt für fünf verschiedene Zeitpunkte ( $t=0$  bis  $t=4$ ), wie ein Wirbelstrom-Differenzsensor über einen Riss in einem Prüfteil geführt wird. Die beiden im Sensor eingebauten Messelemente M+ und M- haben einen Abstand L und werden mit der Geschwindigkeit v über den Riss geführt; der Riss soll hierbei deutlich schmaler als L sein.

Nun ist erkennbar, dass das Nutzsensornetz in erster Näherung eine sinusartige Form hat. Die Frequenz f dieser Sinusform kann als „Grundfrequenz des Wirbelstromsignals“ angesehen werden. Sie lässt sich leicht aus dem Abstand L und der Geschwindigkeit ableiten, mit der der Sensor über das Prüfmaterial geführt wird. Im Punkt P nimmt der Wert des Nutzsensornetzes  $U(t)$  zum Zeitpunkt  $t=1$  ein Maxi-

mum an, zum Zeitpunkt  $t=3$  ein Minimum; die Zeit dazwischen ist  $\Delta t$ .

Unter der Annahme, dass das Nutzsensornetz in diesem Bereich einen sinusähnlichen Verlauf hat, kann die Zeit  $\Delta t$  als halbe Periodendauer  $T/2$  dieser Sinusschwingung angesehen werden, die ganze Periodendauer T beträgt dann  $2 \Delta t$ . Die Zeit  $\Delta t$  ergibt sich aus der Geschwindigkeit v und dem Abstand L der Sensorelemente. Da die Frequenz f gleich  $1/T$  ist ergeben sich folgende Beziehungen:

$$f = 1/T; \quad (1)$$

$$T = 2 \Delta t; \quad (2)$$

$$\Delta t = L/v \quad (3)$$

Werden (2) und (3) in (1) eingesetzt, ergibt sich (4) für die „Grundfrequenz des Fehlersignals“ f:

$$f = 1/(2 \Delta t) = 1/(2 L/v)$$

$$f = v/2L \quad (4)$$

Daraus ist ersichtlich: Langsame Bewegungen bei großem Abstand L („großen“ Sensoren) führen zu niedrigen Frequenzen, schnelle Bewegungen bei kleinem Abstand L („kleine“ Sensoren) zu hohen Frequenzen.

Tabelle 1 listet auf, welche Frequenzen bei variierenden Geschwindigkeiten v und Abständen L auftreten können. Typische Werte für die „Grundfrequenz des Fehlersignals“ liegen zwischen einigen wenigen Hertz bei langsamen Vorgängen und einigen Kilohertz bei sehr schnellen Vorgängen.

Nun liegt es auf der Hand, dass Wirbelstromgeräte solche Signale unverfälscht verarbeiten müssen und dies auch können. Aus technischen Gründen lagen die Grenzen allerdings typischerweise etwa in der Größenordnung von maximal 10 kHz.

Aus Tabelle 1 ist ersichtlich, dass dies in vielen Fällen auch genügt. Bei der hochauflösenden Prüfung sehr schneller Vorgänge wie etwa der Prüfung verlegter Eisenbahnschienen mit Wirbelstromprüfzügen oder bei der hochauflösenden Prüfung von Drähten beim schnellen Umspulen reicht das aber nicht mehr aus. Die „Grundfrequenz des Fehlersignals“ reicht hier bis zu einigen 10 kHz und ist damit um ein Vielfaches zu hoch für konventionelle Prüfgeräte.

### Was die neuen Prüfgeräte können

Die Rohmann GmbH, Frankenthal, hat es sich deshalb zum Ziel gesetzt, die Grenze für die Wirbelstromprüfung bis an das physikalisch Machbare auszudehnen. Dafür wurde mit dem Elotest PL500 ein neues Gerätekonzept auf digitaler Basis entwickelt. Die Architektur hatte sicherzustellen, dass sowohl die internen Datenflüsse und Signalverarbeitungsprozesse als auch die Verarbeitung der Nutzsensoren in jedem Fall schnell genug und dabei zuverlässig und stabil erfolgen. Dies erreichte

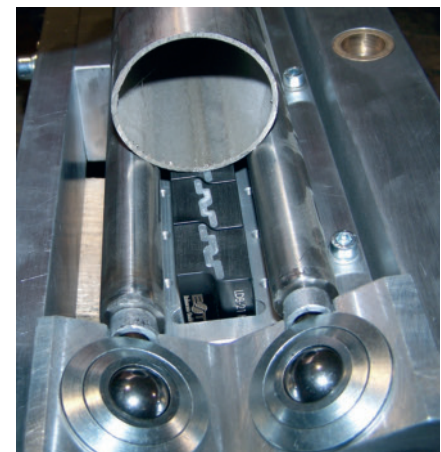


Bild 3. Wirbelstrom-Sensoren zur Rohrprüfung, ausgeführt als Sensorkamm in Arraytechnik

		Geschwindigkeit v (m/s)					
		0,001	0,01	0,1	1	10	100
Abstand L							
mm	m	Grundfrequenz f (Hz)					
1	0,001	0,5	5	50	500	5 000	50 000
2	0,002	0,25	2,5	25	250	2 500	25 000
5	0,005	0,1	1	10	100	1 000	10 000
10	0,01	0,05	0,5	5	50	500	5 000
20	0,02	0,025	0,25	2,5	25	250	2 500
50	0,05	0,01	0,1	1	10	100	1 000
100	0,1	0,005	0,05	0,5	5	50	500

Tabelle 1. Die Grundfrequenz f des Wirbelstrom-Fehlersignals

der Hersteller unter anderem durch ein ausgeklügeltes Buskonzept, den Einsatz von FPGAs und eine interne Digitalisierungsrate von 250 kHz bei einer Auflösung von 2 x 16 bit. Dadurch kann eine Nutzsbandbreite von 100 kHz realisiert werden, die um den Faktor zehn schneller ist als bei allen bisherigen kommerziell verfügbaren Geräten.

In der Praxis würde das bedeuten, dass verlegte Schienen mit einem hochauflösenden Sensor bei voller ICE-Geschwindigkeit geprüft werden könnten oder sogar Verkehrsflugzeuge im Vorbeiflug bei voller Geschwindigkeit – eine völlig ungewohnte Vorstellung. Die gesamte Systemarchitektur ist digital umgesetzt, auch die Demodulation. Das soll eine sehr hohe Stabilität und Reproduzierbarkeit der Nutzsignale gewährleisten.

### Welche Anwendungen möglich sind

Die Anwendungen der Wirbelstromprüfung werden typischerweise aufgeteilt in Aufgaben der Fehlerprüfung, wobei es sich sowohl um herstellungs- als auch um betriebsbedingte Materialschädigungen handeln kann, und in Aufgaben der Sortier- und Verwechslungsprüfung mit der Unterscheidung nach physikalisch-technischen Materialparametern. Besonders interessant sind Anwendungen in Produktionslinien, da hier Materialschäden beziehungsweise unzulässige Materialeigenschaften bereits in einem Stadium niedriger Wertschöpfung erfasst, dokumentiert und aussortiert werden können (Bilder 1 und 3).

Die neue Gerätetechnik erlaubt alle bisher bekannten Anwendungen – von

der Handprüfung bis zur dynamischen Prüfung in Produktionslinien mit ein- und mehrkanalig aufgebauten Geräten. Mit rotierenden Sensoren können beispielsweise größere Flächen schneller oder stab- und rohrförmige Produkte mit umlaufenden Sensoren empfindlich und mit hoher Auflösung geprüft werden. Die neue Gerätetechnik erlaubt es auch, durch Multiplex-Verfahren eine Vielzahl von Sensoren an dasselbe Prüfgerät anzuschließen, was erhebliche Investitionskosten spart.

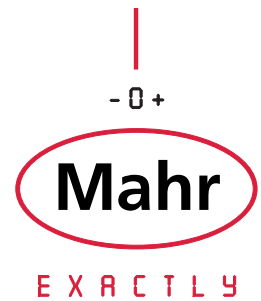
Für Sortier- und Verwechslungsprüfungen werden die Sortiermodule Elotest QL500 zum Einbau in das Prüfgerät angeboten. Über die typischen Eigenschaften hinaus, die Sortiergeräte heute besitzen, kommt eine Reihe völlig neuer Eigenschaften hinzu:

- Mehrchargen-Mehrfrequenz-Sortierung,
- selbstlernende Freiformschwelle,
- nachträgliche Bewertung von Sortierkriterien durch Zu- und Abwahl von Gut- und Schlechteilen,
- schnelle Mehrkanalsortierung mit Umkehrpunktbestimmung bei frei fallenden Teilen,
- simultane Sortier- und Rissprüfung in beliebigen Kombinationen. □

Martin Junger

► Rohmann GmbH  
T 06233 3789-282  
junger@rohmann.de  
www.rohmann.de  
Halle 1, Stand 1818

www.qm-infocenter.de  
Diesen Beitrag finden Sie online unter der Dokumentennummer: QZ110056



### DAS URMETER SCHUF ORDNUNG, MAHR DIE PRÄZISION.

Am Anfang war das Urmeter – die Basis für die Entwicklung der Präzision: immer feiner, immer exakter. An dieser Evolution der Messtechnik ist Mahr seit 140 Jahren maßgeblich beteiligt. Unsere Messgeräte sind überall dort im Einsatz, wo es auf höchste Präzision und Zuverlässigkeit ankommt – ob im Automobilbau, in der Halbleiterfertigung, der Medizintechnik oder der Raumfahrt. Präzision ist universell. Die Welt spricht Mahr.

OBERFLÄCHEN-  
MESSTECHNIK



FORM-  
MESSTECHNIK

