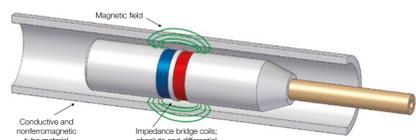
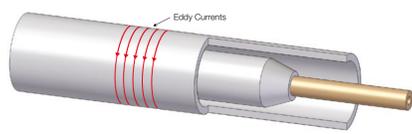


So funktioniert die Rohrprüftechnologie

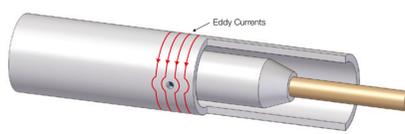
Grundkonzepte der Wirbelstromprüfung



Zwei Spulen werden mit Wechselstrom angeregt, wodurch um sie herum ein Magnetfeld entsteht.

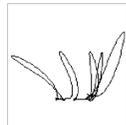
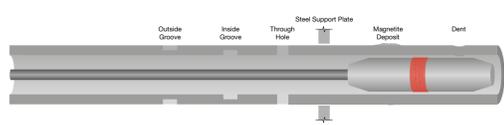


Das Magnetfeld durchdringt die Rohrwand und erzeugt dort im Material entgegengesetzte Wechselströme. Diese werden als Wirbelströme bezeichnet.

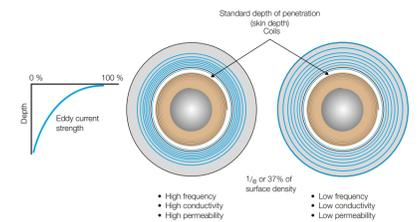


Stört ein Fehler den Wirbelstromfluss, ändert sich die Impedanz der Spulen in der Sonde. Diese in der Spule gemessenen Impedanzänderungen werden gemessen und zur Erkennung von Fehlern im Rohr verwendet.

Typische Fehleranzeige



Skin-Effekt



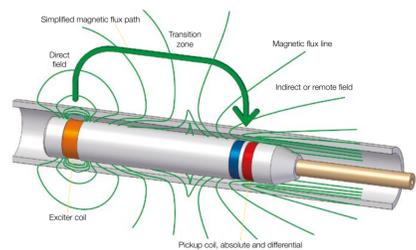
Die Dichte der Wirbelströme in einem Material ist nicht konstant. Die größte Dichte besteht in der Nähe der Spule, sie nimmt beim Durchdringen in das Material ab. Dies wird als Skin-Effekt bezeichnet.

Die Tiefe, in der die Wirbelstromdichte auf 37 % der Wirbelstromdichte an der Oberfläche fällt, wird als Standard-Eindringtiefe bezeichnet.

Diese Standard-Eindringtiefe wird beeinträchtigt durch:

- Frequenz
- Leitfähigkeit
- Sättigung

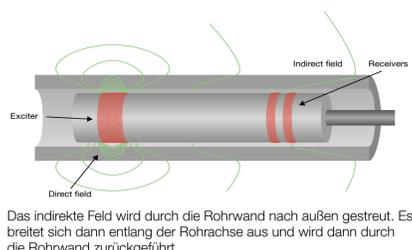
Fernfeldprüfung



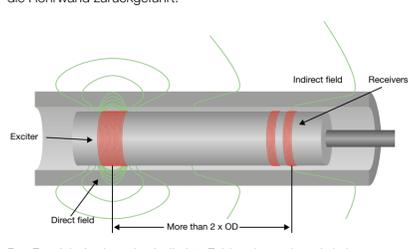
Die Fernfeldprüfung ist eine Übertragungstechnik durch die Rohrwand. Die Sonden werden zur Prüfung von ferromagnetischen Röhren, z. B. aus Kohlenstoffstahl, verwendet.

Die Sonde besteht aus einer Erregerspule und zwei Empfängerspulen. Es sind zwei Magnetfelder vorhanden. Ein direktes Feld in der Nähe der Erregerspule und ein indirektes Feld, das sich entlang der Rohrachse ausbreitet und dann durch die Rohrwand zurückgeführt wird.

Der Bereich, in dem das indirekte Feld vorherrscht, wird als Fernfeld bezeichnet. Es tritt in einem Abstand auf, der größer als zwei Rohrdurchmesser ist.

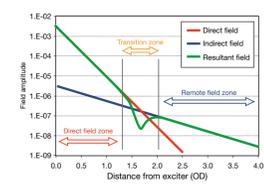
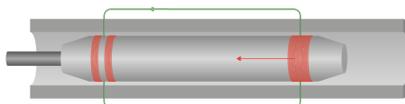


Das indirekte Feld wird durch die Rohrwand nach außen gestreut. Es breitet sich dann entlang der Rohrachse aus und wird dann durch die Rohrwand zurückgeführt.



Der Bereich, in dem das indirekte Feld vorherrscht, wird als Fernfeldzone bezeichnet. Sie existiert ebenfalls in einem Abstand, der größer als zwei Rohrdurchmesser ist.

Position des Fernfeldbereichs

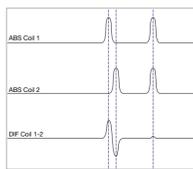


Typische Fehleranzeige

Wenn die Sonde an einem Fehler im Rohr vorbeigeführt wird, setzt sich die Anzeige aus zwei Effekten zusammen:

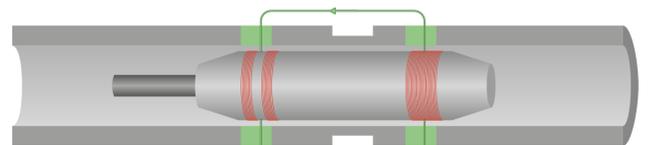
Empfängereffekt

- Der erste Empfänger erzeugt ein Signal, wenn er sich am Fehler vorbeibewegt und kurz darauf folgt ein ähnliches Signal der zweiten Empfängerspule.
- Die Subtraktion beider Empfängersignale ergibt das S-förmige Differenzsignal.

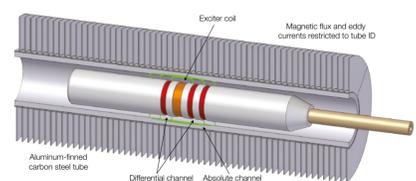


Erregereffekt

- Die Erregerspule bewegt sich am Fehler vorbei und beeinträchtigt das von den Empfängern erfasste Feld.
- An diesem Punkt kann die Leitspule den Streufluss erkennen.
- Beide Empfängerspulen erfassen gleichzeitig den Erregereffekt und erzeugen auf dem Absolutkanal nahezu identische Signale.

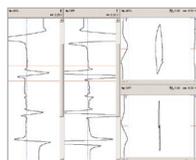


Nahfeldprüfung

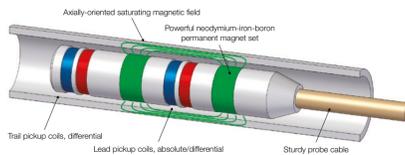


Nahfeldprüfungen für Rippenrohre in Luftkühlern verlangen eine einfache Wirbelstromsonde mit Sendespulen-Pickup, ohne dass eine externe Referenzspule erforderlich ist. Sie wurden entwickelt, um sehr einfache Signale für die Analyse bereitzustellen. Mit Nahfeldsonden wird der Liffoff oder die „Fülllichte“ gemessen und in auf der Amplitude basierende Signale umgewandelt.

Die Eindringfähigkeit der Sonde, die auf die Innenfläche beschränkt ist, macht sie unempfindlich gegenüber der Rippengeometrie an der Rohraußenfläche.



Magnetischer Streufluss



Fehlererkennung am AD

Mit Fehler am Außendurchmesser im Rohr:

- Der magnetische Streufluss wird nicht nur außerhalb des Rohrs in der Luft verzerrt, sondern auch im Inneren des Rohrs.
- Da die Rohrwand bereits gesättigt ist, können die verzerrten Streuflusslinien nicht innerhalb der Restwanddicke gehalten werden, sodass am Innendurchmesser (ID) ein Streufluss entsteht.
- Die Leitspule kann diesen Streufluss erkennen, da er sich zwischen den Magneten in der Mitte des Magnetkreises befindet.
- Die Nachlaufspule, die sich außerhalb des Magnetkreises befindet, kann den Fehler nicht erkennen, da im Rohr selbst kein Streufluss auftritt.

Zwei starke Dauermagnete, die an einen Stahlkern gekoppelt sind, erzeugen ein Magnetfeld, das die Rohrwand durchdringt.

Eine Absolutspule ist um den Kern gewickelt, um Schwankungen im Magnetfeld, die von einem allgemeinen Wanddickenverlust verursacht werden, zu messen.

Der Streufluss zwischen den Magneten wird durch eine Differenzspule (Leitspule) erkannt.

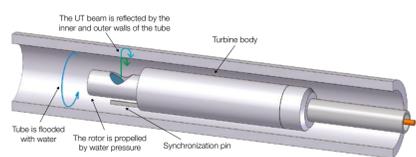
Eine Nachlaufspule am Ende der Sonde erfasst den Restmagnetismus von Löchern im Inneren.

Fehlererkennung am ID

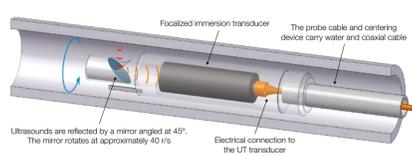
Mit Fehler am Innendurchmesser im Rohr:

- Der magnetische Streufluss wird im Rohr verzerrt, wenn der Magnetkreis sich am Fehler vorbeibewegt.
- An diesem Punkt kann die Leitspule den Streufluss erkennen.
- Nachdem der Magnetkreis sich an dem Fehler vorbeibewegt hat, bleibt ein Restmagnetismus beim Fehler.
- Die Nachlaufspule erkennt diesen Restmagnetismus und erzeugt ein Signal.

Rotierende Sonde

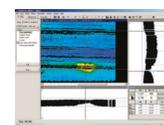


- Eine Sonde in einer Turbine erzeugt einen Ultraschallimpuls entlang der Rohrachse.
- Der Ultraschall wird von einem um 45° abgewinkelten Spiegel reflektiert, der zur Rohrwand ausgerichtet ist.
- Der Ultraschall wird teilweise vom Rohrinwendurchmesser (ID) reflektiert, dann durch die Wand übertragen und schließlich vom Rohraußendurchmesser (AD) reflektiert.
- Die Schallgeschwindigkeit im Rohrmaterial ermöglicht die Berechnung der Wanddicke unter Verwendung der Laufzeitdifferenz zwischen den Echos des Außen- und Innendurchmessers.



Ultraschall-Echoerkennung

- Eine Erkennungsstufe wird auf einen Wert eingestellt, der die Erkennung des Synchronisationsstifts und des Echos des Innen- und Außendurchmessers ermöglicht.
- Das erste Echo ist T0 und das zweite Echo ist T1.
- Wenn T0 innerhalb der Synchronisationsblende erkannt wird, wird im C-Bild eine neue Drehung angezeigt.
- Die Wanddicke wird gemessen und als Farbdarstellung basierend auf dieser Berechnung angezeigt:



$$WT = v_{\text{steel}} \cdot \frac{(T1 - T0)}{2}$$

Schallweg im Rohr

- Die Sonde erzeugt einen Sendepuls.
- Ein Synchronisationsstift erzeugt pro Umdrehung ein Echo.
- Das Echo des Innendurchmessers wird mit einer hohen Amplitude nach der Stift-Anzeige erzeugt.
- Kurz danach wird das Echo des Außendurchmessers mit einer sehr geringen Amplitude erzeugt (weil die Schallgeschwindigkeit in Metall schneller ist als in Wasser).

Sondentypen



Wirbelstromsonden

- Mit der Wirbelstromprüfung werden nichtferroische Stähle, wie austenitischer Edelstahl, aber auch Messing, Kupfer-Nickel, Titan, Rippenrohre aus Kupfer und mehr, untersucht.
- Die Wirbelstromtechnik eignet sich zur Erfassung und Messung von Diskontinuitäten in Metallen, die häufig bei Rohrprüfungen auftreten.
- Es können Fehler (wie Korrosion, Erosion, Verschleiß, Lochfraß, Risse an Umlenkblechen, Wanddickenverlust) und Risse, erkannt und gemessen werden.
- Wirbelstromsonden eignen sich zur Prüfung von Kondensatorrohren, Speisewasservorwärmern und Klimaanlage.

Fernfeldsonden

- Die Fernfeldprüfung wird zur Prüfung von ferromagnetischen Röhren, z. B. aus Kohlenstoffstahl und ferritischem Edelstahl, verwendet.
- Die Fernfeldtechnik ist sehr empfindlich bei Wanddickenverlust, der durch Korrosion, Erosion, Verschleiß, Lochfraß und Risse an Umlenkblechen hervorgerufen wurde.
- Fernfeldsonden eignen sich zur Prüfung von Wärmetauschern, Speisewasservorwärmern und Kesselrohren.

Nahfeldsonden

- Die Nahfeldprüfung wurde speziell für die Prüfung von ferromagnetischen Rippenrohren bei Luftkühlern entwickelt.
- Das Nahfeld wird nicht durch vorhandene Rippen oder die Rippengeometrie beeinträchtigt.
- Hierfür ist keine externe Referenzspule oder Sonde erforderlich.

Sonden für magnetischen Streufluss

- Magnetischer Streufluss wird für die Prüfung von Röhren aus Kohlenstoffstahl mit Aluminiumrippen empfohlen, da der magnetische Streufluss nicht durch die vorhandenen Rippen beeinträchtigt wird.
- Mit dieser Technik können Unregelmäßigkeiten, wie Korrosion und Dampferosion, erkannt werden.
- Diese Sonden eignen sich auch zur Erkennung von Rissen in Umfangsrichtung (einem Fehlertyp, der mit der Fernfeldtechnik und mit rotierenden Sonden nicht erkannt wird).

Rotierende Sonden

- Diese im Inneren von Röhren rotierenden Sonden bieten eine Ultraschalltechnik, die sich für Rohrprüfungen in der Petrochemie und in gewissen Anlagenteilen von Kraftwerken eignet.
- Diese Sonden messen die Wanddicke, Wanddickenverluste und Fehlerausrichtungen in Röhren mit einem ID zwischen 0,5 Zoll und 3 Zoll.
- Sie dienen der Prüfung von Rohrbündelwärmeüberträgern, Luftkühlern und Kesselrohren.