Basiswissen
Magnetpulver-Rissprüfung

KARL DEUTSCH

Prinzip der Magnetpulver-Rissprüfung

Ferromagnetische Werkstoffe (Eisen, Kobalt und Nickel) haben eine deutlich bessere "magnetische Leitfähigkeit" als Luft (bzw. als andere Werkstoffe). Tangential unter der Oberfläche verlaufende Feldlinien treten daher nicht aus dem Werkstück aus, es sei denn, der geradlinige Feldlinienverlauf wird durch einen Riss gestört. Dieses Austreten der Feldlinien wird auch ***Streufluss*** genannt und ist der entscheidende Effekt bei der Magnetpulver-Rissprüfung.
An den Austrittsstellen der Feldlinien bilden sich magnetische Pole (Süd- und Nordpol). Feiner eisenhaltiger Staub (Prüfmittel) wird von diesen Polstellen angezogen und festgehalten. Da die Polbereiche größer sind als die Rissbreite, ist die Prüfmittel-Ansammlung besser zu erkennen als der Riss selbst. Die Erkennbarkeit kann durch Einfärben des Prüfmittels (z.B. mit fluoreszierenden Farben) noch verbessert werden.

Grundlegende Formeln und Begriffe:

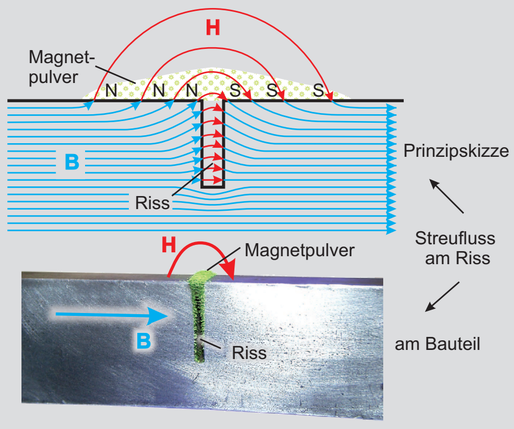
Magnetische Feldstärke H:
H ist das von außen (Luft) angelegte bzw. erregende Feld.
Einheit: A/m (bzw. A/cm oder kA/m; 1 kA/m = 1000 A/m = 10 A/cm)
alte Einheit: Oerstedt (Oe)
Umrechnung: 1 Oe = 80 A/m bzw. 1 A/m = 0,0126 Oe

Magnetische Induktion B:
B ist die magnetische Flussdichte im Material.
Einheit: Tesla (T) (1 T = 1 Vs/m²)
alte Einheit: Gauß (G)
Umrechnung: 1 G = 0,0001 T bzw. 1 T = 10.000 G

Zusammenhang zwischen H und B:

$B = \mu_r \mu_o H$

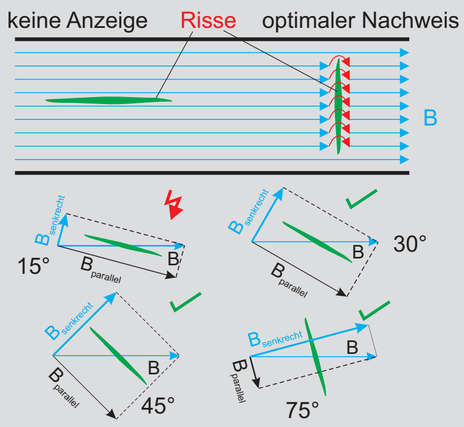
μ_o = magn. Konstante = 1,257 10^{-6} Vs/Am
μ_r = **Permeabilität** (ohne Einheit);
auch: magnetische **Leitfähigkeit** abhängig vom Stoff und der Magnetisierung
μ_r = 50 ... 26000 für ferromagnetische Stoffe
$\mu_r \simeq 1$ für alle nicht ferromagnetischen Stoffe



Nachweis von Rissen

Risse lassen sich mit der Magnetpulver-Rissprüfung nur nachweisen, wenn diese den magnetischen Fluss bzw. die magnetische Induktion (B) stören. Zur Rissanzeige trägt nur die von B senkrecht zum Riss wirkende Induktion ($B_{senkrecht}$) bei. Dieser Beitrag ist ausreichend groß, wenn die Rissorientierung und die Richtung der magnetischen Induktion wenigstens einen Winkel von 30° bilden; ideal ist ein Winkel von 90°.

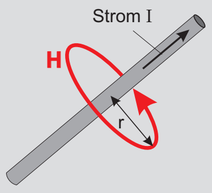
Konsequenz: Um Risse aller Orientierungen zu finden, muss ein Bauteil wenigstens in zwei Richtungen magnetisiert werden.



Strom und Magnetismus

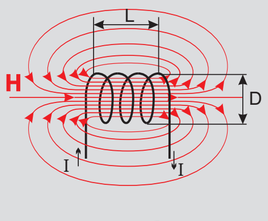
Zur Erzeugung von Magnetfeldern wird ausgenutzt, dass um einen stromdurchflossenen Leiter ein magnetisches Feld entsteht.

Magnetfeld eines stromdurchflossenen Leiters



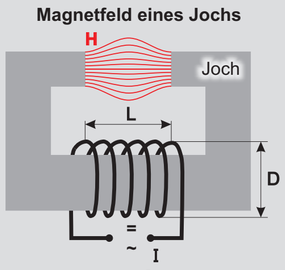
$H = \frac{I}{2 \pi r}$

Magnetfeld im Inneren einer Spule



$H = \frac{n I}{\sqrt{L^2 + D^2}}$

Magnetfeld eines Jochs



$H = \frac{n I}{\sqrt{L^2 + D^2}}$

n = Anzahl der Windungen

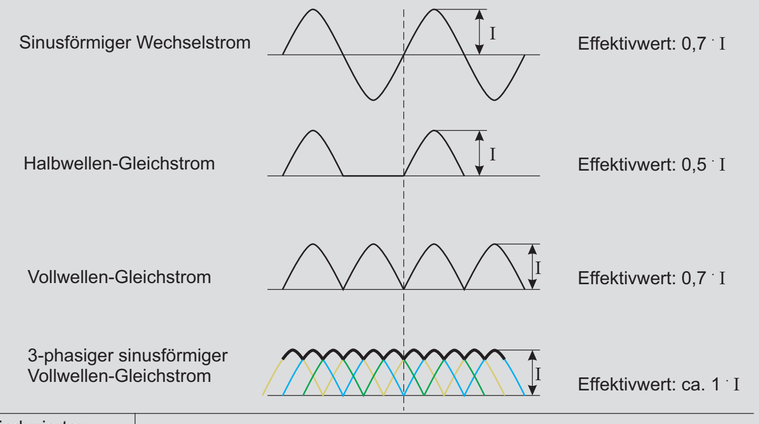
Stromarten

Die Stromarten lassen sich grob in Gleich- und Wechselstrom klassifizieren.

Wechselstrom: Aufgrund des Skineffekts bildet sich im Kern des Bauteils keine Magnetisierung aus. Die Magnetisierung nimmt von der Oberfläche ins Innere ab.

Vorteil: gleichmäßigere Feldverteilung bei Querschnittsänderungen, kleinere ungeprüfte Bereiche.

Mit **Gleichstrom** wird das gesamte Bauteil bis in den Kern aufmagnetisiert. Dies erschwert eine Entmagnetisierung. Gleichstrom wird aus dem Wechselstromnetz durch Gleichrichtung gewonnen. Nur die 3-phasige sinusförmige Vollwellengleichrichtung liefert eine Stromart, die dem Gleichstrom sehr nahe kommt.



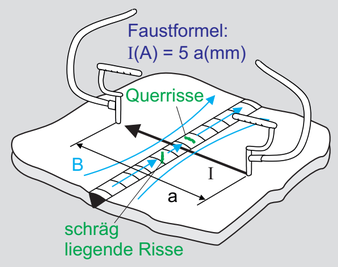
Magnetisierungstechniken

Die Magnetisierungstechniken (bzw. -verfahren) lassen sich in zwei Gruppen unterteilen:

Stromdurchflutungsverfahren: Es wird ein Strom direkt durch das Prüfteil geleitet. Das magnetische Feld, das dieser Strom erzeugt, wird zur Rissprüfung genutzt.

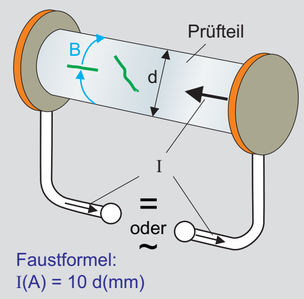
Felddurchflutungsverfahren: Das magnetische Feld wird außerhalb des Bauteils erzeugt und in das Prüfteil eingeleitet.

Stromdurchflutungsverfahren



Stromdurchflutung mit Aufsetzelektroden

Anzeige von Querrissen (bzgl. der Schweißnaht) und schräg liegenden Rissen jedoch nicht von Längsrissen.



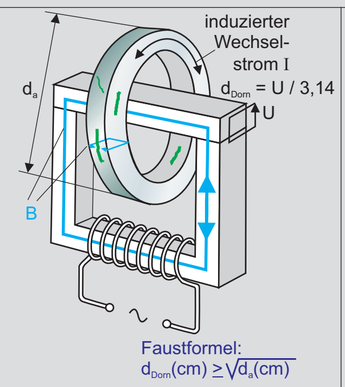
Axiale Stromdurchflutung

Anzeige von Längsrissen und schräg liegenden Rissen jedoch nicht von Querrissen.

Induktionsdurchflutung

Nach dem Transformator-Prinzip wird in einem Hohlkörper (z.B. Ring) ein Strom induziert, der zum Rissnachweis genutzt wird.

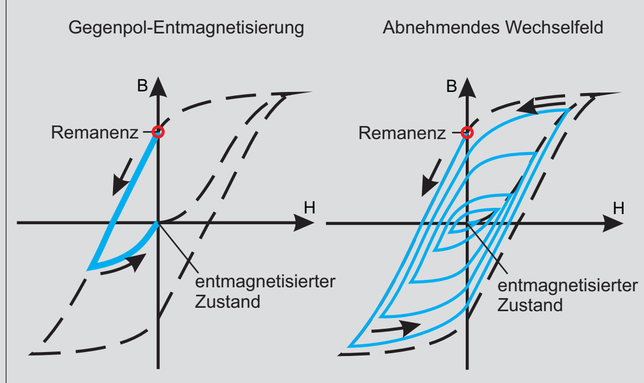
Anzeige von umlaufenden Rissen und schräg liegenden Rissen an allen Oberflächen jedoch nicht von axialen und radialen Rissen.



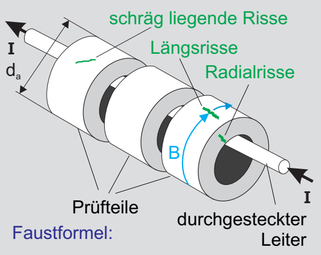
Entmagnetisierung

Zur Entmagnetisierung stehen 3 Verfahren zur Verfügung:

- **Erhitzung über die Curietemperatur** (T_c): Dies ist eine kaum praktizierte Methode, da diese Temperatur sehr hoch ist (für Stahl: T_c = 768°C).
- **Gegenpol-Entmagnetisierung**: Das Bauteil wird mit einem geeigneten Feld in entgegengesetzter Richtung magnetisiert (Gegenpol), so dass nach dem Ausschalten das äußerlich messbare Feld verschwindet.
- **Abnehmendes Wechselfeld**: Unter Einhaltung gewisser Randbedingungen ist dies die wirksamste (und meist angewendete) Methode zur Entmagnetisierung. Das abnehmende Wechselfeld kann entweder elektronisch (direkt in der Prüfbank) oder mit Hilfe einer Durchlaufspule (Entmagnetisier-Tunnel) erzeugt werden.

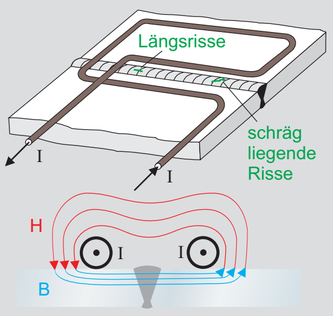


Felddurchflutungsverfahren



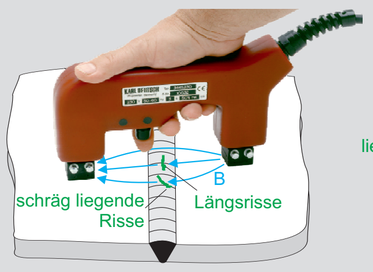
Durchgesteckter Leiter

Anzeige von axialen und radialen Rissen und schräg liegenden Rissen an allen Oberflächen jedoch nicht von umlaufenden Rissen.



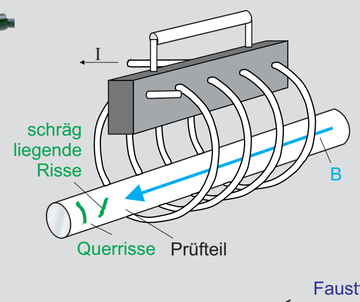
Angelegter Leiter

Anzeige von Längsrissen (zur Schweißnaht) und schräg liegenden Rissen jedoch nicht von Querrissen.



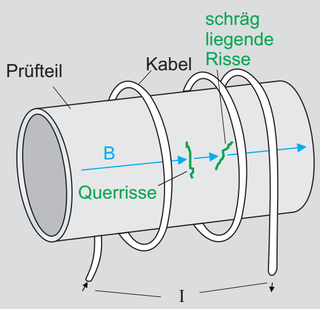
Handmagnet (Joch)

Anzeige von Rissen quer zur Verbindungslinie zwischen den beiden Polen jedoch nicht von Rissen parallel zur Verbindungslinie.



Feste Spule

Anzeige von Querrissen und schräg liegenden Rissen jedoch nicht von Längsrissen.



Kabelspule

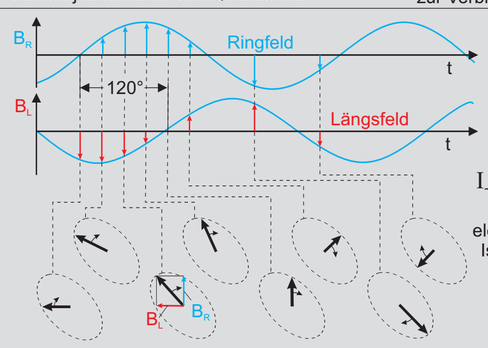
Anzeige von Querrissen und schräg liegenden Rissen jedoch nicht von Längsrissen.

Faustformel:
$H = \frac{n I}{\sqrt{L^2 + D^2}}$

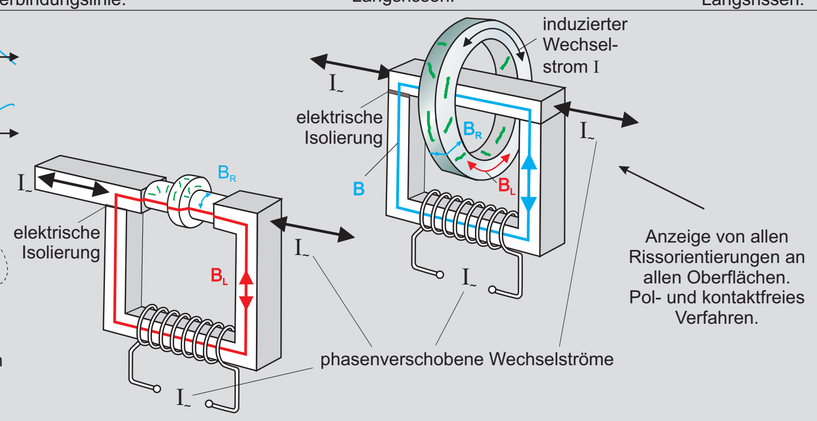
Kombinierte Verfahren

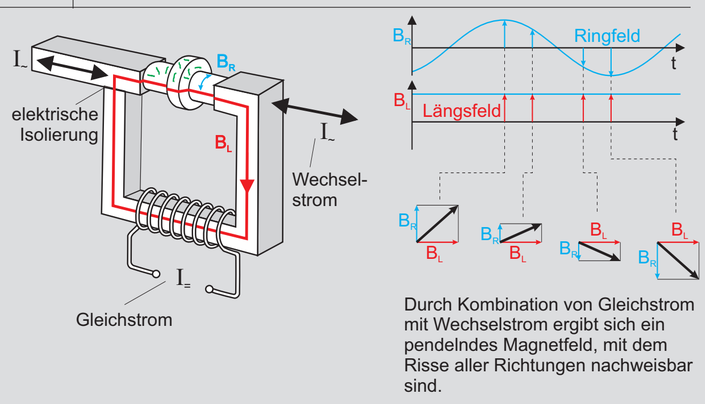
Durch eine Kombination der Strom- und Felddurchflutung ist es möglich, in einem Prüftakt (Prüfschritt) Risse aller Richtungen nachzuweisen. Hierbei ist zu beachten, dass die erregenden Ströme für die Strom- und Felddurchflutung entweder

- phasenverschobene Wechselströme sind oder
- mit unterschiedlichen Stromarten erregt werden (z.B. Gleich- und Wechselstrom)



Für eine Phasenverschiebung von 120° resultiert ein ellipsenförmig umlaufendes Magnetfeld.





Durch Kombination von Gleichstrom mit Wechselstrom ergibt sich ein pendelndes Magnetfeld, mit dem Risse aller Richtungen nachweisbar sind.

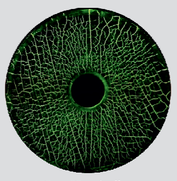
Kontrollen

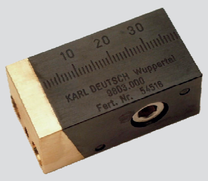
Zur Kontrolle des Prüfmittels und auf ausreichende Magnetisierung gibt es unterschiedliche Hilfsmittel. Hierbei gibt es die Möglichkeit

- das Prüfmittel alleine (MTU-Testkörper, FLUXA-Testkörper),
- die Magnetisierung alleine (Feldstärkenmessgerät) oder
- beides zusammen (Berthold-Testkörper)

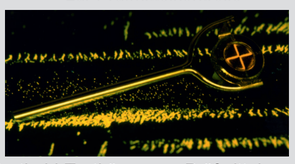
zu kontrollieren.

In der Norm EN ISO 9934-2 erscheinen nur die Vergleichskörper 1 (MTU-Testkörper) und 2 (ein abgewandelter FLUXA-Testkörper). Diese dienen ausschließlich zur Prüfmittelkontrolle.





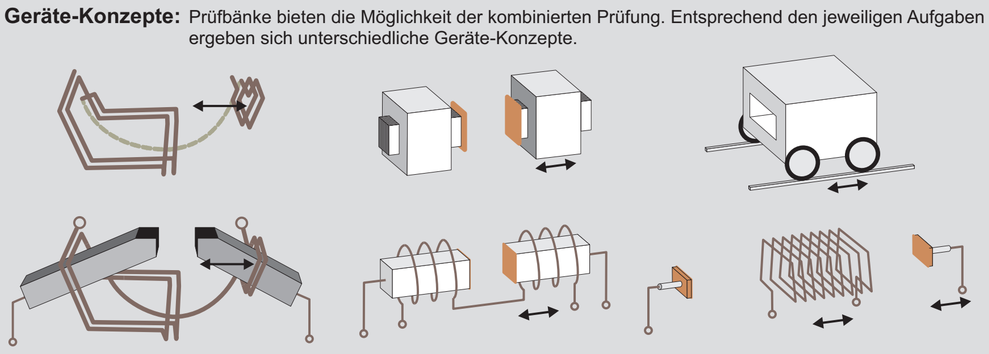
MTU-Testkörper und FLUXA-Testkörper zur Prüfmittelkontrolle



Berthold-Testkörper zur Prüfmittel- und Magnetisierungs-Kontrolle

DEUTROMETER zur Messung der Feldstärke

Geräte-Konzepte: Prüfbänke bieten die Möglichkeit der kombinierten Prüfung. Entsprechend den jeweiligen Aufgaben ergeben sich unterschiedliche Geräte-Konzepte.



DEUTRO-Spule

(Hochstromspule) für ein gleichmäßiges Magnetfeld

Offenes Joch

für einen hohen Durchsatz

Überlaufspule

für lange Prüfteile

Wissenswertes

Prüfablauf: Magnetisieren & Bespülen, Nachmagnetisieren, Betrachten

Tangentialfeldstärke:
2 kA/m bis ca. 6,5 kA/m

Restmagnetismus (nach der Prüfung):
typisch 0,4 kA/m bis 1,0 kA/m

Betrachtungsbedingungen:
Tageslicht-Prüfmittel
wenigstens 500 Lux
Fluoreszierende Prüfmittel
höchstens 20 Lux (Tageslicht)
mindestens 10 W/m² (UV-Licht)

Normen:
EN ISO 9934-1: Allgemeine Grundlagen
EN ISO 12707: Begriffe
EN ISO 3059: Betrachtungsbedingungen
EN 473: Prüfpersonal

DEUTROPULS
für die mobile Prüfung

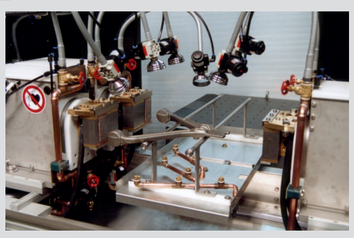
Handmagnet und Stromerzeuger

DEUTROFLUX (Serienmaschinen)
für den stationären Einsatz

UWE 350
Kleinteile, Sitzarbeitsplatz

UWE 600
Standard-Prüfbank

DEUTROMAT (Sondermaschinen)



Mehrfacher Kontakt mit Auswerfer

mit Kettenförderer zum automatischen Bauteiltransport

Zubehör & FLUXA Prüfmittel

UV-Lampen
FLUXA Prüfmittel
Kontrollkörper
Messgeräte

Karl Deutsch Prüf- und Messgerätebau GmbH + Co KG · Otto Hausmann Ring 101 · D-42115 Wuppertal · Tel.: (+49-202) 7192-0 · Fax: (+49-202) 714932 · e-mail: info@karldeutsch.de · www.karldeutsch.de