

Zerstörungsfreie Werkstoffprüfungen

- Einführung
- Charakteristische Fehlertypen
- Möglichkeit des Fehlernachweises
- Anforderungen an der Prüfmethode
- Auswahl der Prüfmethode
 - Visuelle Prüfung
 - Eindringverfahren (Penetrierverfahren)
 - Akustische Emission
 - Magnetische Prüfung
 - Wirbelstromprüfung
 - Ultraschallprüfung
 - Röntgen- und Gammastrahlprüfung

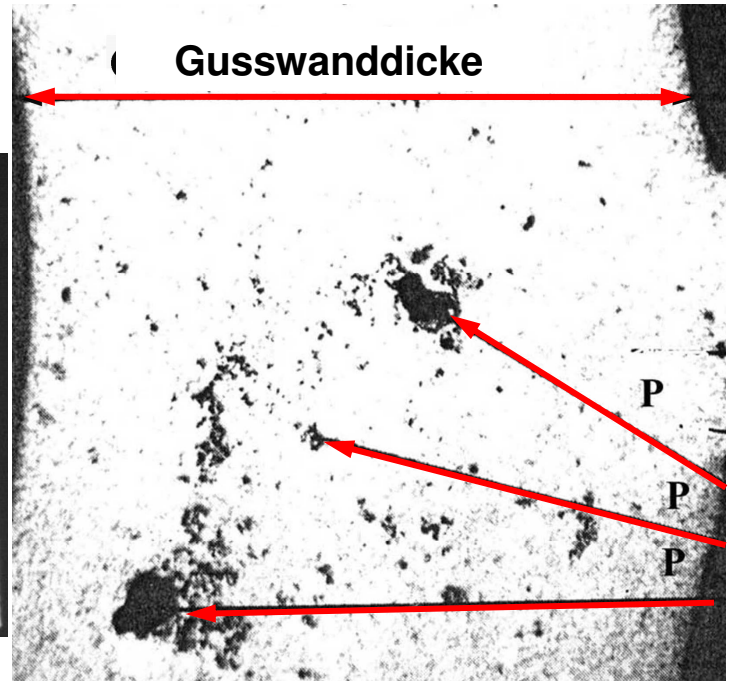
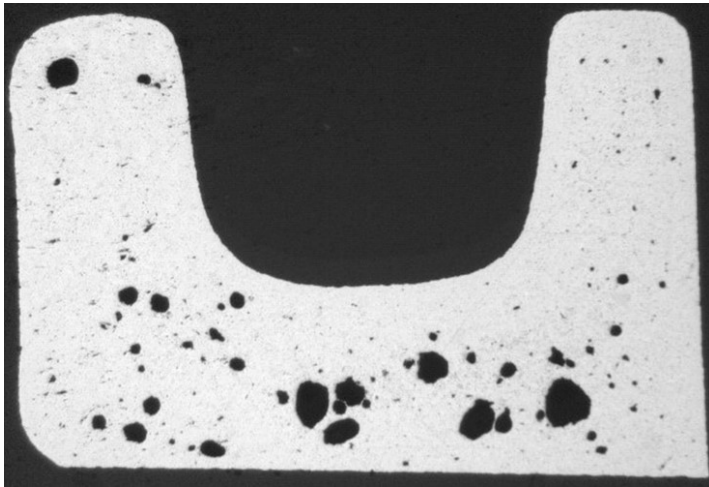
- Bedeutung in Qualitätssicherung
- Zerstörungsfreie Kontrollierung der Eigenschaften
- Nachweis der Fehler (bei der Herstellung – Ersparung, danach – Untersuchung der Schaden)
- Verschiedene Fehler
- Ursachen (Produktionstechnologie, Betrieb)
- Erscheinungsform
- Größe

Folie: 3

- Gieß- und Schweißfehler
(Schrumpfrisse, Risse, Gas- und Schlackeneinschlüsse)
- Fehler durch plastische Umformung
- Fehler durch Wärmebehandlung
(z.B. Härterisse)
- Fehler durch Zerspannung
(z.B. Schleifrisse)

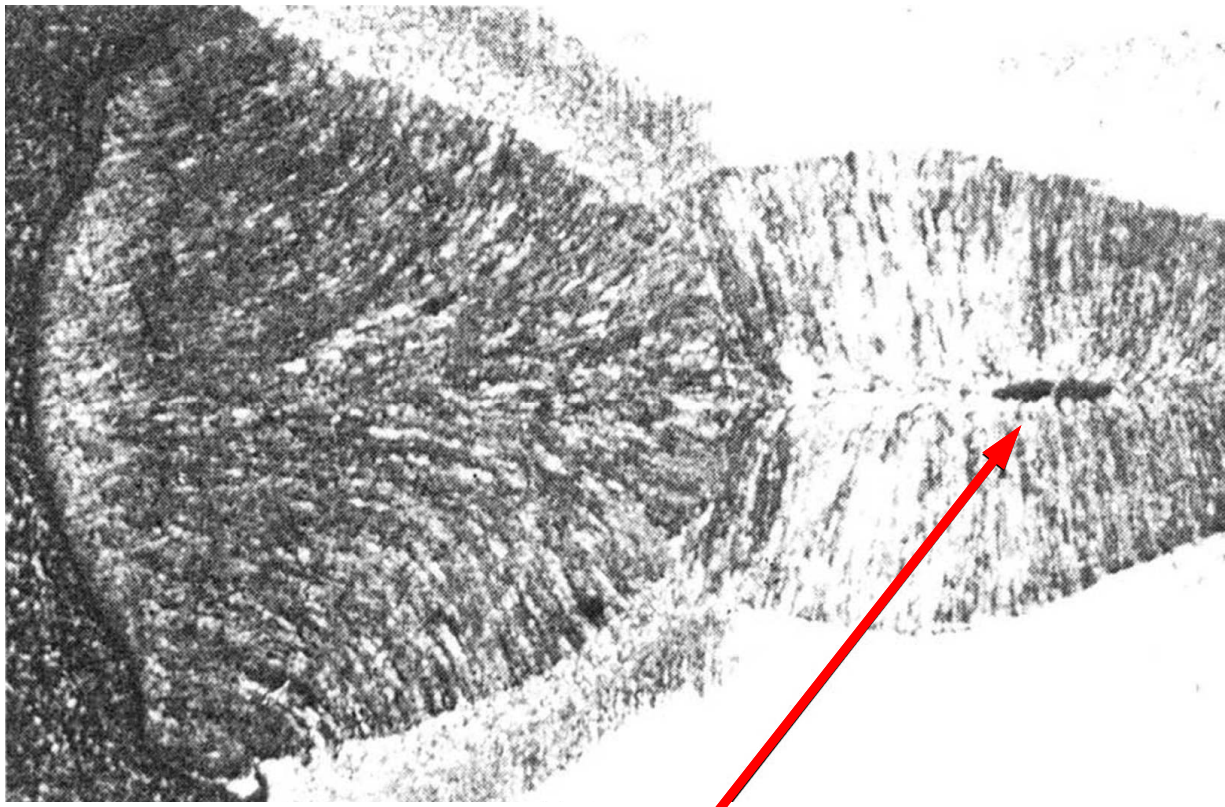
Es folgen einige charakteristische Technologiefehler:

Folie: 4



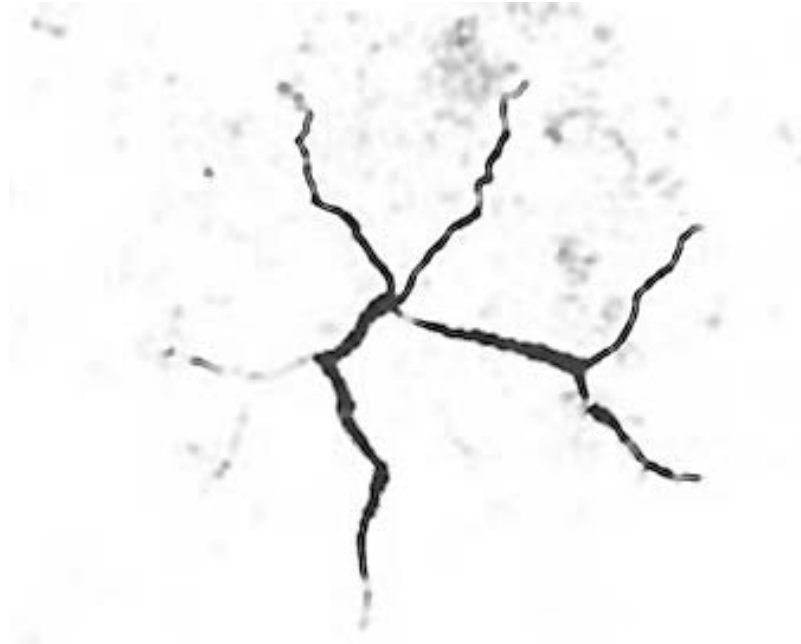
**Gasporosität in einer AlSi12Fe2Cu1
Gusslegierung**

Folie: 5



Riss im Schweissnaht eines Stahlrohres

Folie: 6



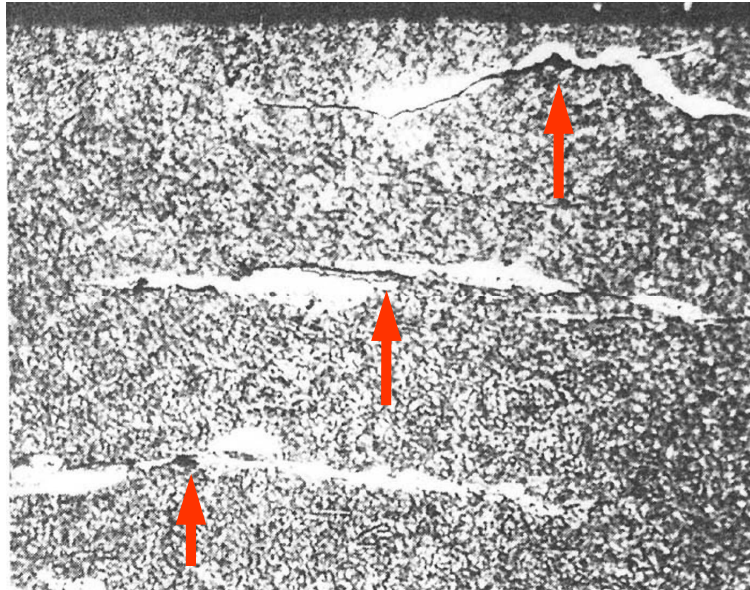
Legiertes Stahlschmiedstück mit Riss in der Mitte wegen fehlerhaften Verformen

Folie: 7

- Rissbildung durch Ermüdung
- Korrosion- und Spannungskorrosionsrisse
- Schädigung durch Kriechen

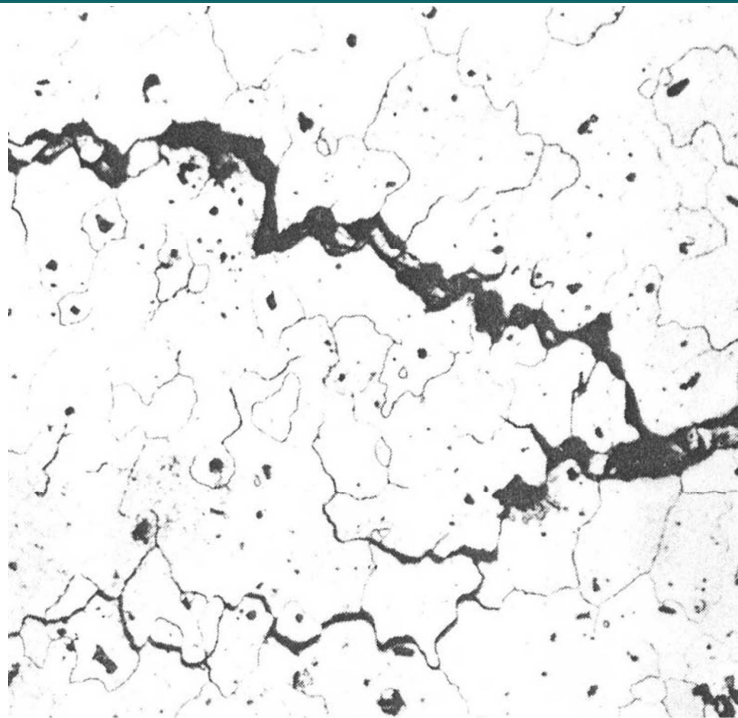
Es folgen einige charakteristische Fehler beim Betrieb:

Folie: 8



Kontakt Ermüdungsrisse in einer zementierte Rolle im Oberflächennahen Bereich

Folie: 9

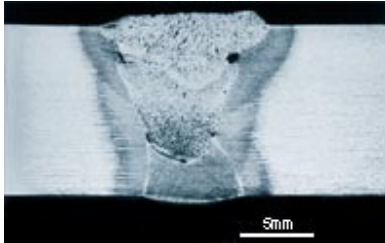


Interkristalline Spannungskorrosionsriss in gepressten und vergüteten AlZnMg-Stange

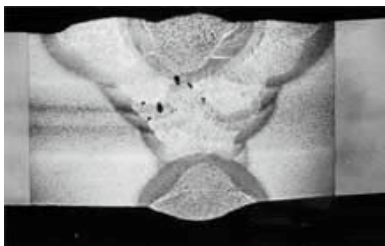
Folie: 10

Volumenartige Fehler (3D)

Gaseinschlüsse:

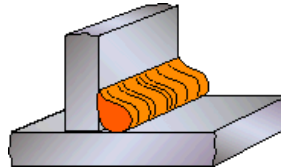


Schlackeneinschluss:

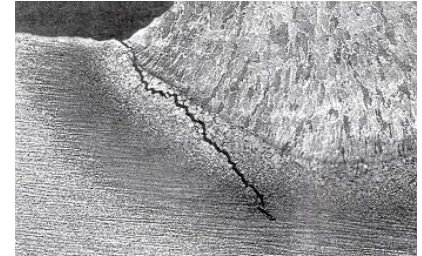


Flächenartige Fehler (2D)

Bindefehler:



Kaltriss:



Rissbildung bei Kristallisation:



Folie: 11

Grundprinzip:

Wegen den Fehlern ändern sich die physikalische Eigenschaften (optische, magnetische, elektrische usw.) des Materials in der Umgebung des Fehlers.

Diese Änderungen lassen auf den:

- Typ,
- Größe und
- Lage des Fehlers folgern.

Folie: 12

- Schnell,
- Zuverlässig,
- Einfach (Durchführung an Ort),
- Minimale Oberflächenvorbereitung,
- Umweltfreundlich (Sicherheitstechnik),
- Dokumentierbar

Gesichtspunkte:

- Größe, Material, und Geometrie des untersuchenden Stückes,
- die Genauigkeit des Nachweises,
- die Dokumentierbarkeit.

Es gibt keine universelle Prüfmethode !

Im Weiteren werden wir Prüfmethoden kennenlernen von einfacheren bis komplizierten Methoden

Folie: 15

Prüfprinzip: Mit bloßem Auge die Fehler zu bemerken

Einsatzbereich: nur für Fehler, die an der Oberfläche erscheinen. (Risse, Poren, Oberflächenfehler usw.)

Vor- und Nachteile: schnell, einfach, billig, Fachkenntnis nötig, aber subjektiv, schwer zu dokumentieren.

Videos: [1](#),

Folie: 16

- Verbesserung der Auflösung der menschlichen Augen mit Lupe,
- Beleuchtungsgeräte,
- Für inneren Flächen von Behälter, Röhre, Flaschen spezielle Instrumente:

Endoskop; starr oder flexibel →

- Boroskop,
- Fiberskop,
- Videoskop.

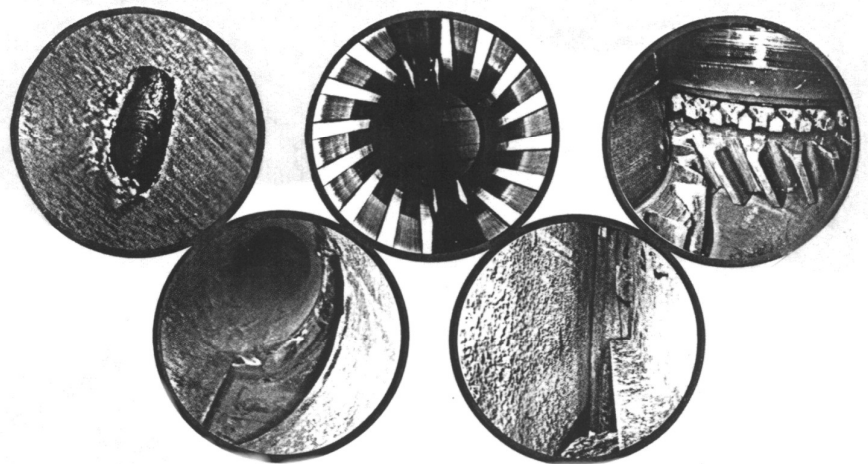
Folie: 17

Endoskop mit starrem Schaft (Boroskop)



Für schwer zugängliche Flächen

Folie: 18



Videos: [1](#), [2](#)

Folie: 19

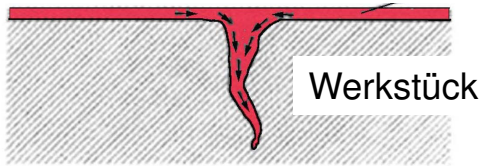
Prüfprinzip: Oberflächenrisse können durch Kapillarwirkung benetzende Flüssigkeit aufsaugen. Nach dem Entfernen der Flüssigkeit von der Oberfläche bleiben Reste im Spalt zurück.

Einsatzbereich: nur für Fehler, Risse, die an der Oberfläche erscheinen.

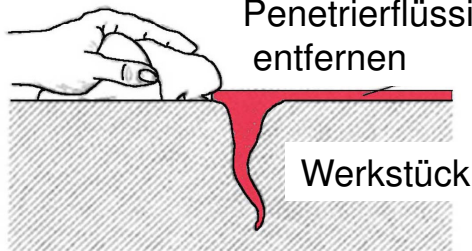
Durchführung: 1. Oberflächenreinigung, 2. Penetrierflüssigkeit aufbringen, 3. Entfernen der überflüssigen Flüssigkeit, 4. Entwicklerflüssigkeit aufzubringen, 5. visuelle Fehlernachweis.

Folie: 20

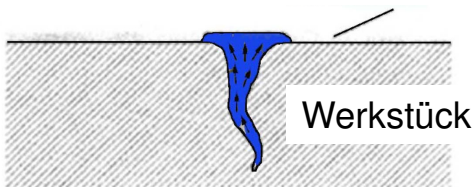
Penetrierflüssigkeit aufbringen



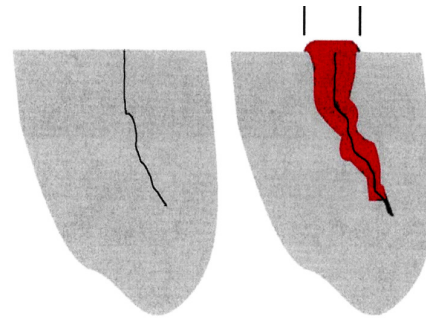
Penetrierflüssigkeit entfernen



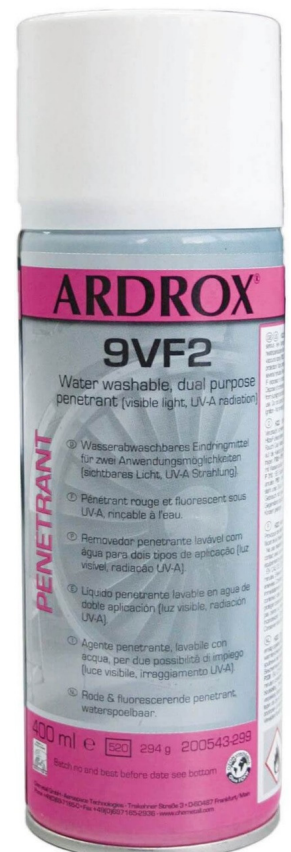
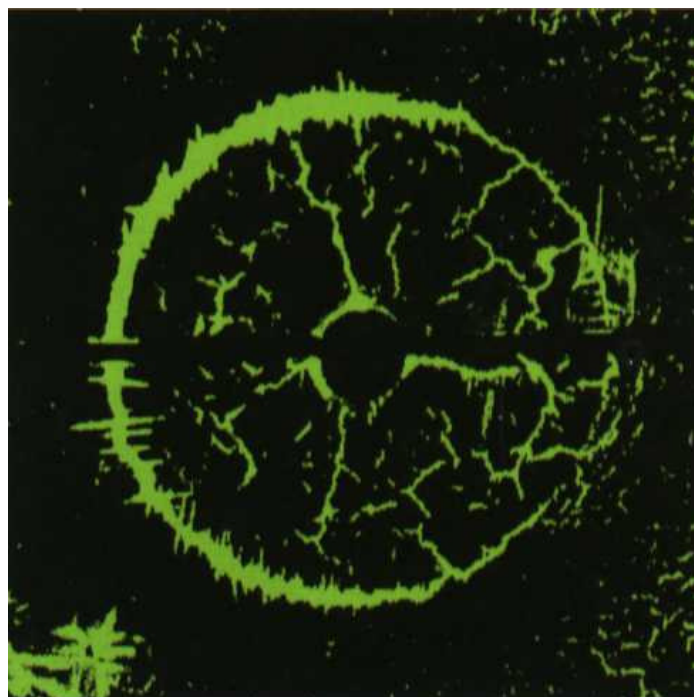
Entwicklerflüssigkeit aufbringen



Nachweis des Risses



Eindringverfahren mit fluoreszenter Eindringmittel



- Prüfen wie mit farbiger Penetrierflüssigkeit
- Belichtung mit UV licht

Vorteile:

- einfach,
- unabhängig von Werkstoffmaterial,
- billig.

Beschränkung des Einsatzbereiches:

- für poröse Oberflächen nicht geeignet,
- sorgfältige Oberflächenreinigung nötig,
- nachträgliche Reinigung nötig.

Instrumente:

Penetrationsfl., Entwicklerfl., Reinigungsmittel

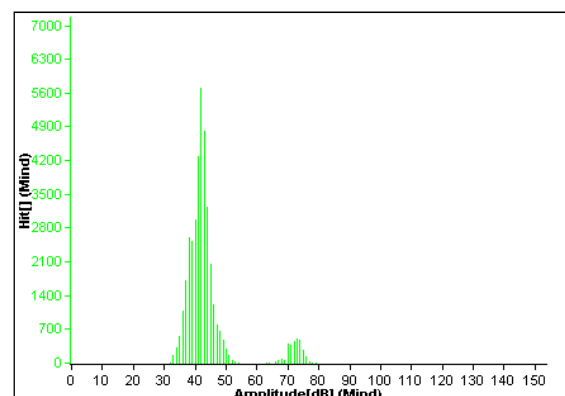
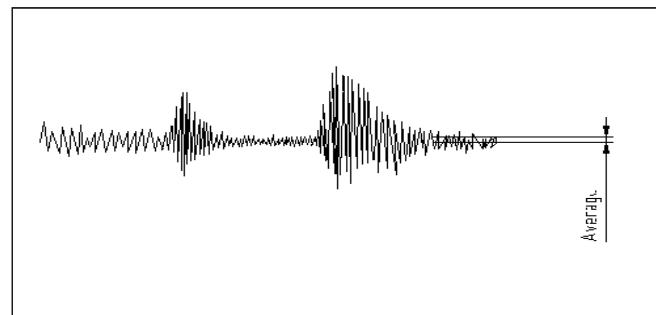
Videos: [1](#), [2](#), [3](#), [4](#)

Folie: 23

Geräuschquellen:

- Verformung
- Rissverbreitung
- Bruch
- Sickerung (Leckage)

- Reibung
- Aufladung
- mech. Geräusch



Folie: 24

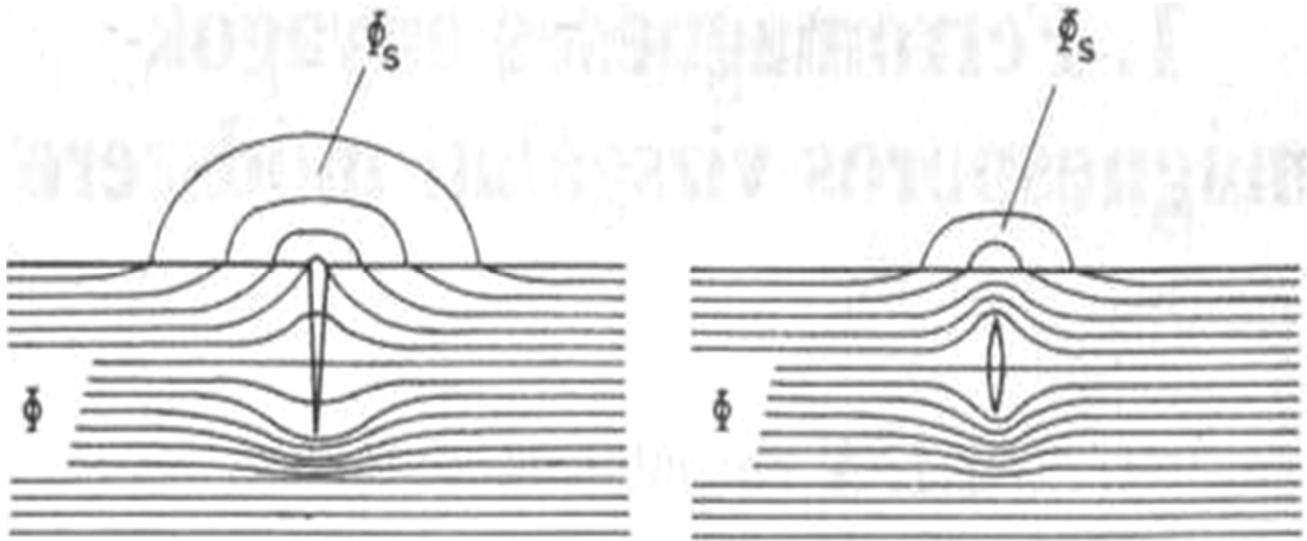


Folie: 25

Prüfprinzip: Die Fehler lenken die magnetische Kraftlinien aus. Die Fluxstreuung wird durch Magnetpulver ersichtlich.

Einsatzbereich: nur für ferromagnetische Werkstoffe, Fehler an der Oberfläche oder in der Nähe der Oberfläche

Vor- und Nachteile: einfach, große Genauigkeit (Nachweis bis eine Rissbreite von 0,001 mm), beschränkt durch dem Material

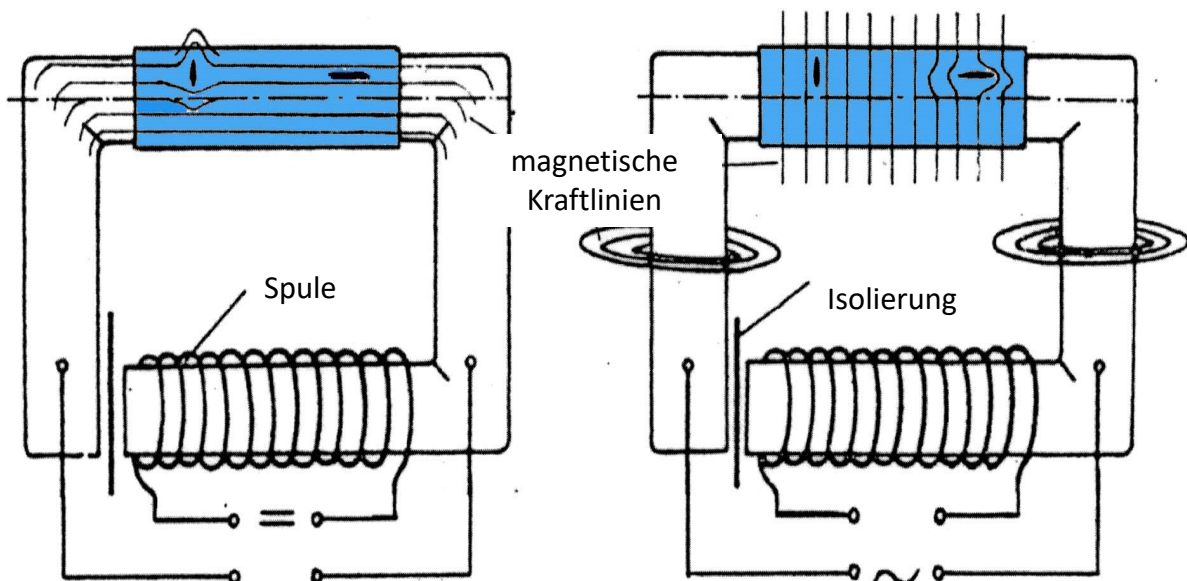


Der Verlauf der magnetischen Kraftlinien beeinflusst die Nachweisbarkeit des Fehlers.

Folie: 27

Magnetfeld in Längsrichtung

Magnetfeld in Querrichtung



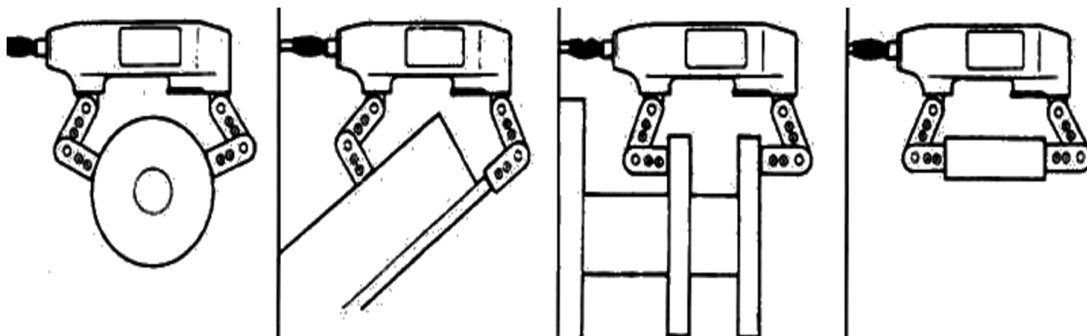
Folie: 28

- Befestigung der Probe
- Einschalten des Magnetgeräts
- Bestreuung mit Magnetpulver
- Warten (ca. 5 Min.)
- Qualifikation (mit bloßem Auge, mit UV Bestrahlung)

Folie: 29



Joch-Magnet und seine Anwendungen:



Folie: 30

Magnetpulver Suspensionen:

- in verschiedene Farben
- fluoreszente Suspension



Videos: [1](#), [2](#), [3](#)

Folie: 31

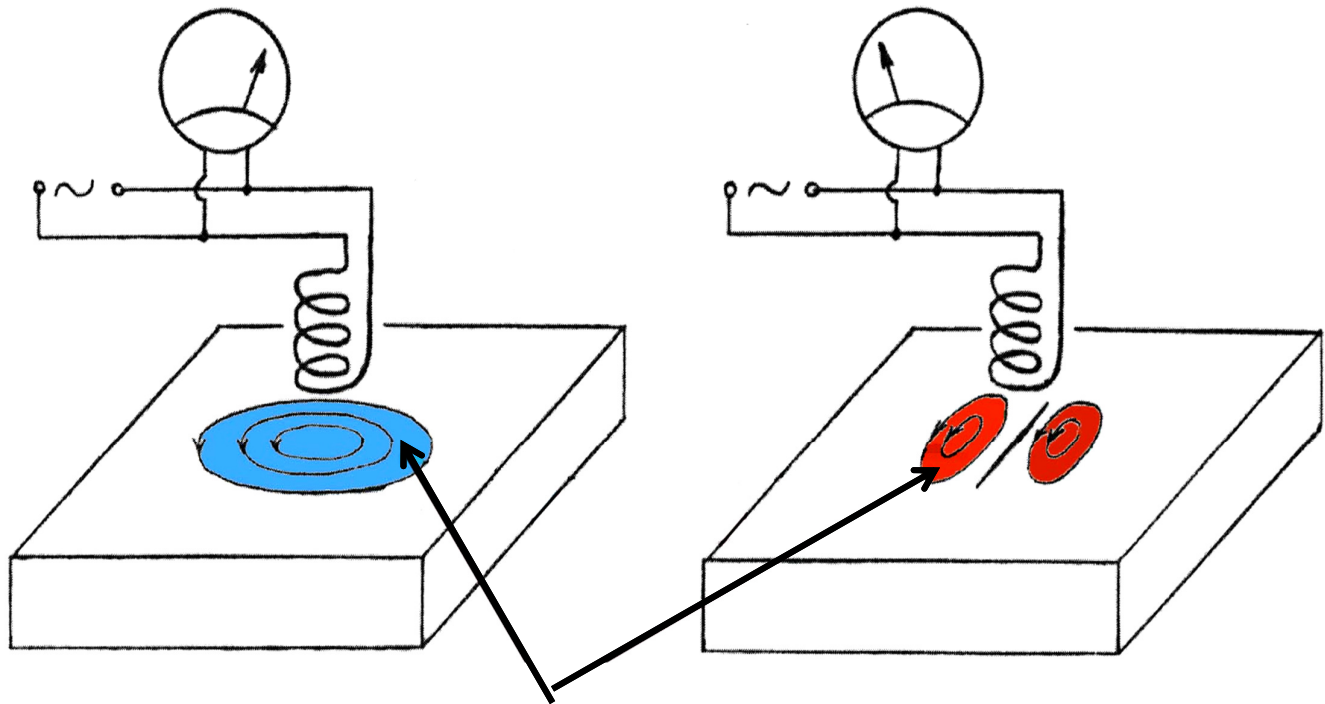
Wirbelstromprüfung (magnetoinduktive Prüfung)

Prüfprinzip: das Magnetfeld der Wirbelströme und die Wechselwirkung der Primärspuhle - der die Wirbelstrom induziert - verändert sich infolge Fehlerstellen.

Einsatzbereich: nur bei elektrisch leitenden Materialien und nur für Oberflächenfehler oder oberflächennahe Fehler. Auch für Detektion der Veränderungen von Werkstoffkenngrößen

Ausführung: Ringspuhlen- und Tastspulen-Ausführung

Folie: 32



entstehen Wirbelströme

Folie: 33

Vorteile von Wirbelstromprüfung und Prüfgrenzen

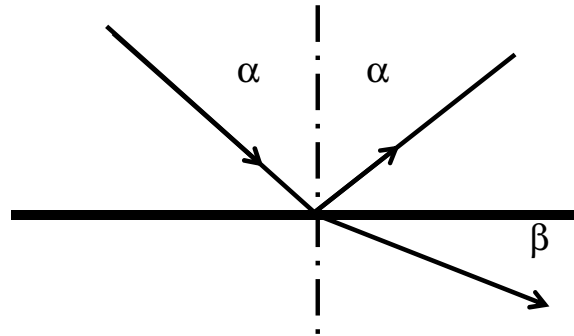
Vorteile:

- berührungslos,
- Probenvorbereitung und nachträgliche Reinigung unnötig,
- gut automatisierbar,
- für Serienmessungen tauglich

Einschränkungen:

- nur für oberflächennahe Bereiche geeignet,
- die Signalabbildung hängt von vielen Parametern ab,
- für die Auswertung ist Fachpersonal nötig

Prüfprinzip: die Fortpflanzungsverhältnisse der Druckwellen (Schallwellen) in der Probe werden durch Fehlerstellen verändert.



Einsatzbereich: für den Nachweis von flächenartige (2D) Fehler – Risse, Schichten – vorteilhaft, die Detektion von volumenartige (3D) Fehler mühsam.

Folie: 35

Charakteristik der Ultraschall:

- Frequenzbereich (16 kHz - 100 MHz),
- Erzeugung (piezoelektrischer Effekt oder magnetostruktiver Effekt),
- Fortpflanzung und Reflektion
- Geschwindigkeit:

$$c_L = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}}$$

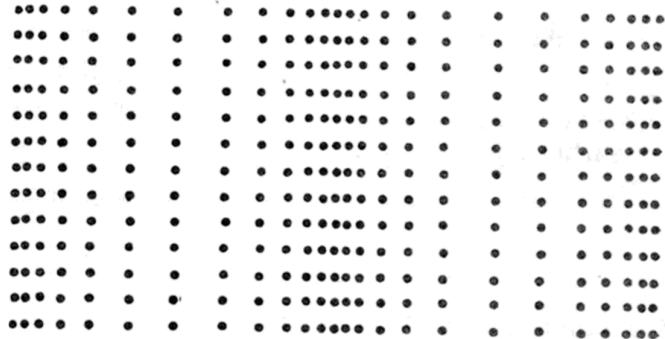
E - Elastizitätsmodul

ρ - Dichte

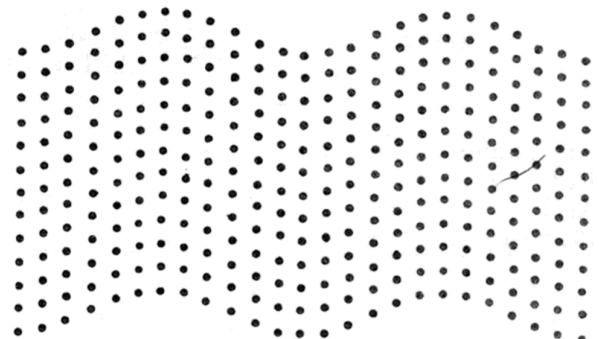
ν - Poisson-Koeffizient

Folie: 36

longitudinal

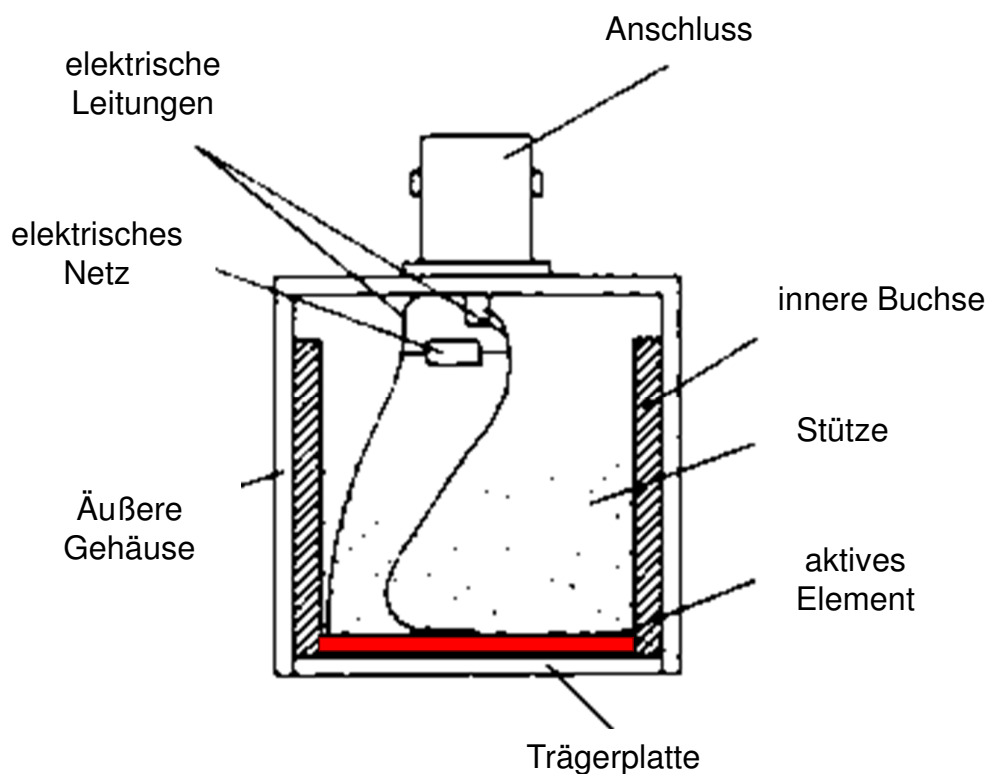


transverzal

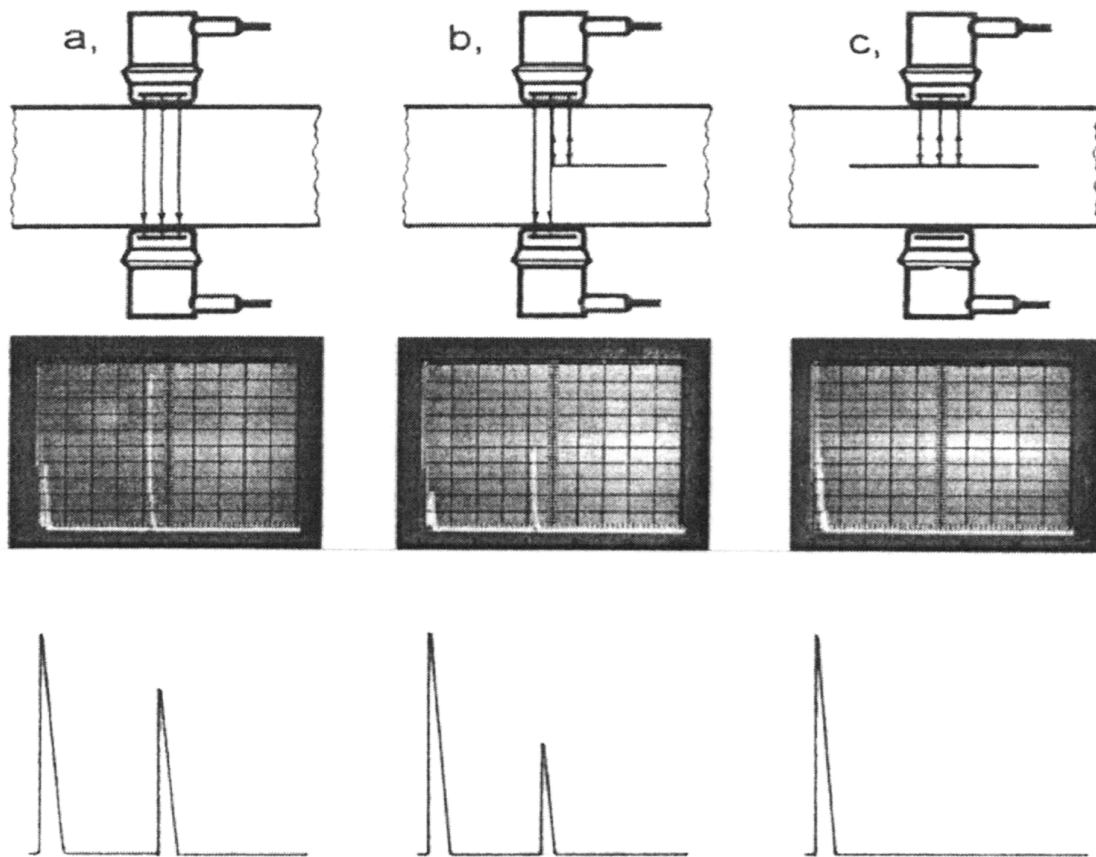


Folie: 37

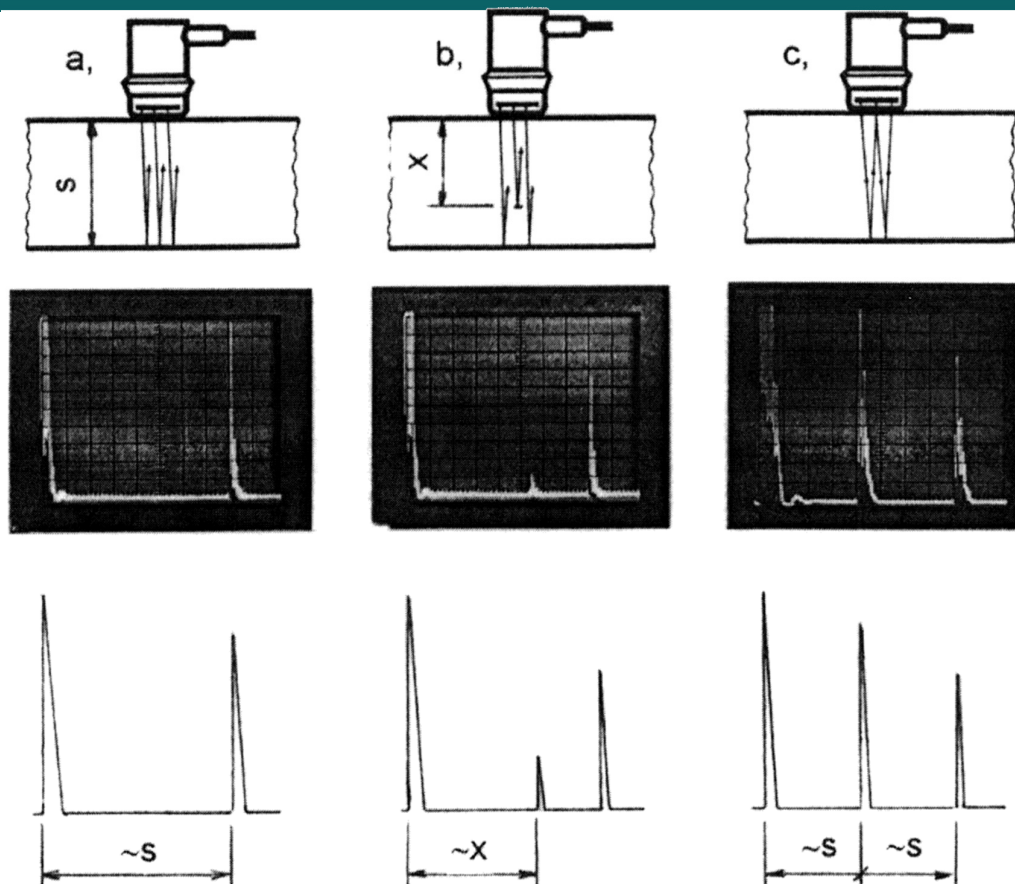
Aufbau der Messkopf vom Ultraschallprüfgerät



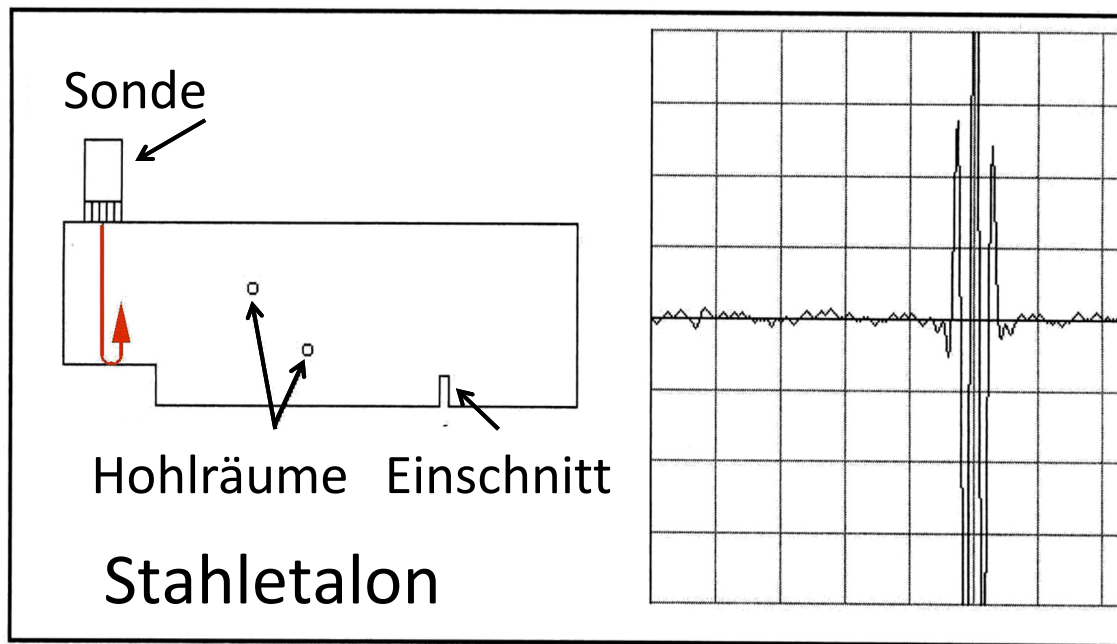
Folie: 38



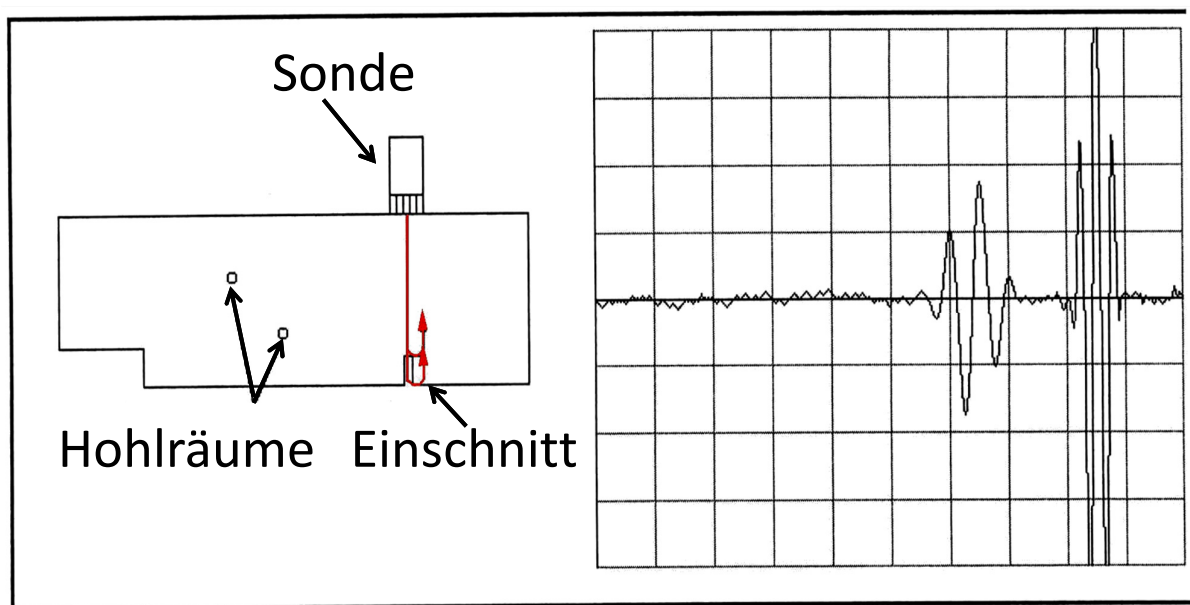
Folie: 39



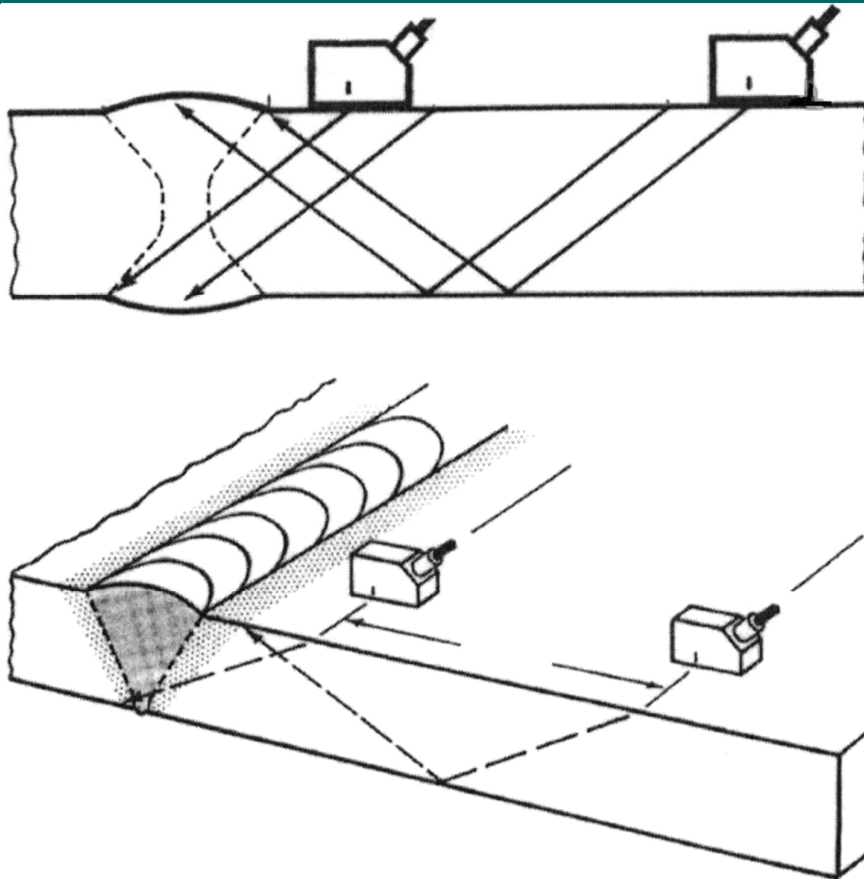
Folie: 40



Folie: 41



Folie: 42



Videos: [1](#), [2](#), [3](#), [4](#), [5](#), [6](#), [7](#)

Folie: 43



Folie: 44

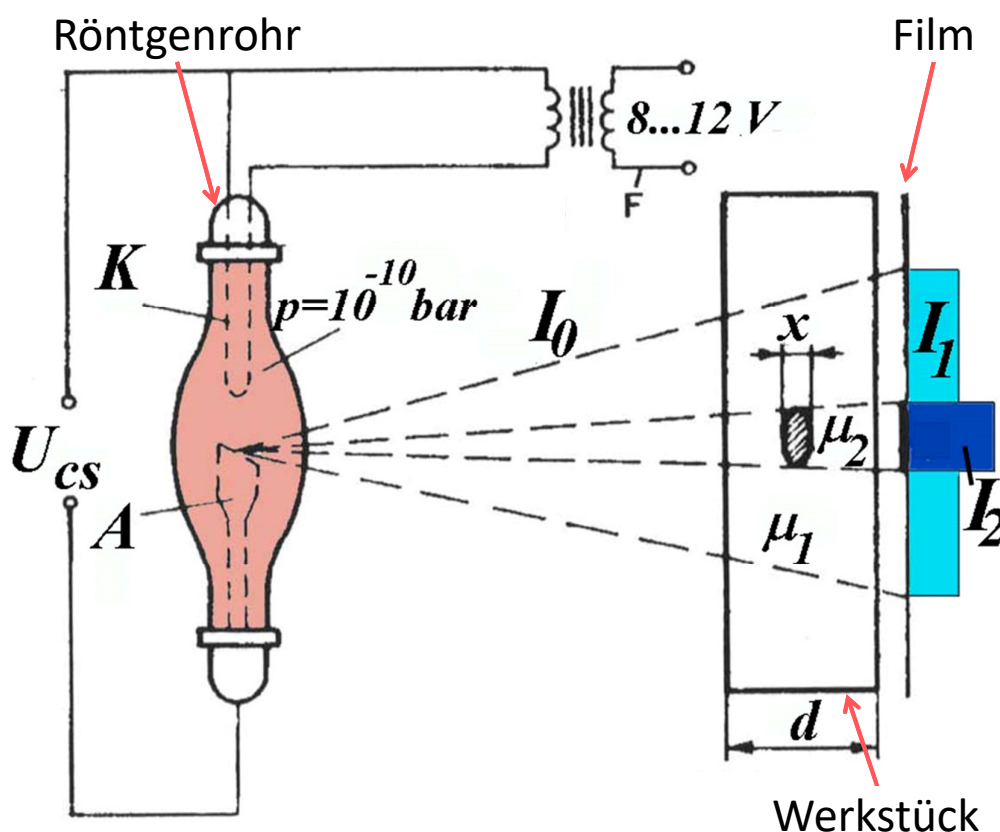
Prüfprinzip: die Intensität der verwendeten Gamma- (Neutron) oder Röntgenstrahlen verändert sich beim Durchstrahlen eines Materials abhängig von der Probendicke

Einsatzbereich: besser geeignet für den Nachweis von räumlichen (3D) Fehler (z.B.: Hohlräume, Einschlüsse), Nachweis für flächenartige Fehler (z.B. Risse) schwieriger. Um 2D-Fehler auszuschließen ist zusätzliche Ultraschallprüfung nötig.

RADIOSKOPIE

RADIOGRAFIE

Folie: 45



Folie: 46

$$I_1 = I_0 e^{-\mu d}$$

μ - Schwächungskoeffizient

$$\mu = \mu' + \sigma$$

μ' - Absorptionskoeffizient

σ - Streukoeffizient der
Röntgenstrahlen

$$\mu' = c\rho\lambda^3z^3$$

c - Konstante, ρ - Dichte,

λ - Wellenlänge der Strahlung,

z - Ordnungszahl des Werkstoffs

Folie: 47

$$I_2 = I_0 e^{-\mu(d-x)}$$

$$K = \frac{I_2}{I_1} = e^{\mu x}$$

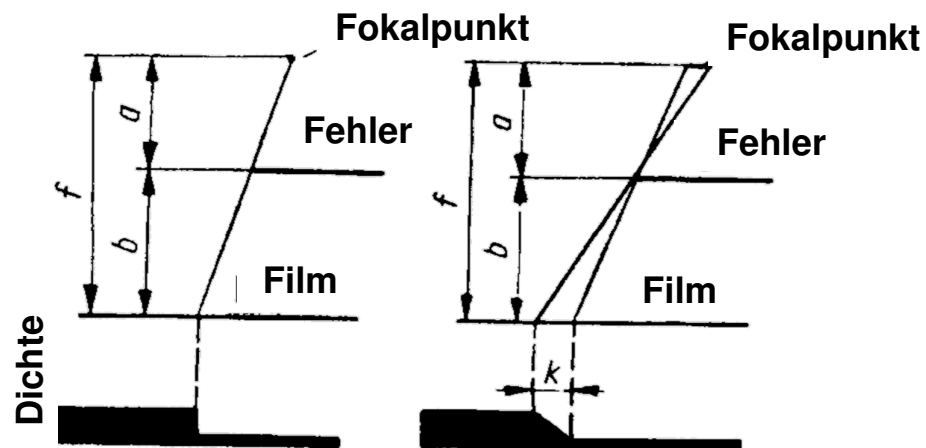
Die größere Intensitätsunterschied ermöglicht bessere Fehlerdetektion: $\mu' = c \cdot \rho \cdot \lambda^3 \cdot z^3 \Rightarrow \lambda$ höher, bessere Fehlernachweis

Folie: 48

Bildschärfe: Kontrolle der Bildqualität mit Drahtrehie

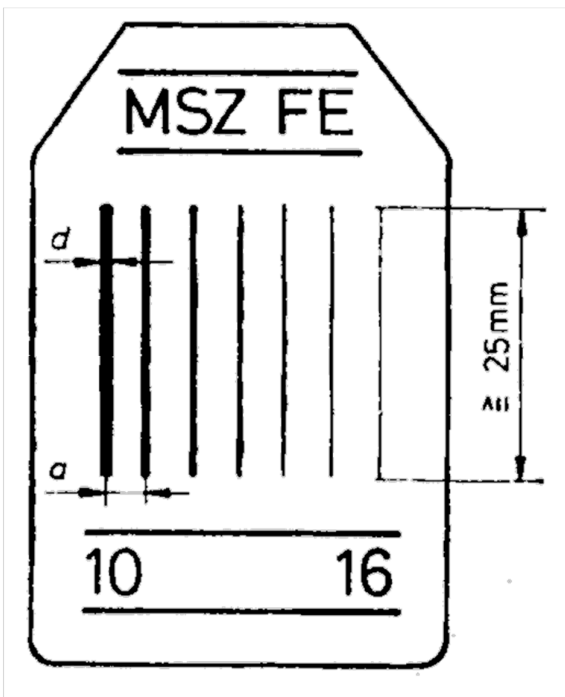
→ innere Unschärfe (vom Filmmaterial abhängig)

→ äußere Unschärfe (von der Fokusgeometrie abhängig)



Folie: 49

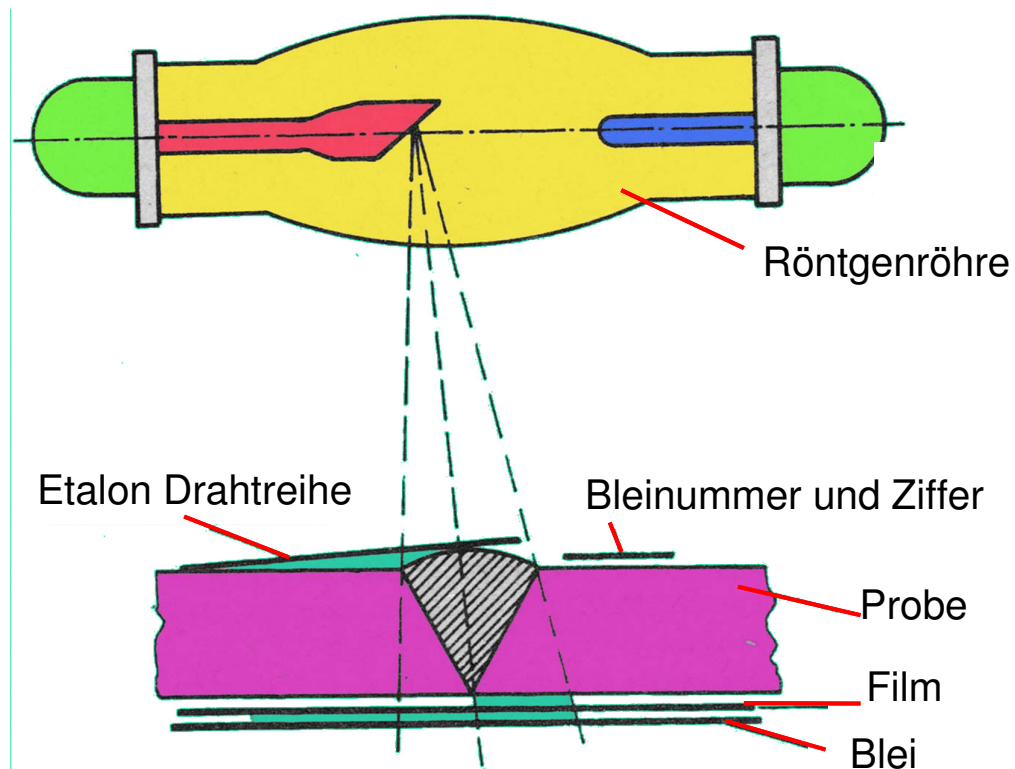
Etalon-Drahtrehie



Zur Bestimmung der Fehlergröße genormte R10-er Reihe:

1 : 3,2 mm	2 : 2,5 mm
3 : 2,0 mm	4 : 1,6 mm
5 : 1,25 mm	6 : 1,0 mm
7 : 0,8 mm	8 : 0,64 mm
9 : 0,5 mm	10 : 0,4 mm
11 : 0,32 mm	12 : 0,25 mm
13 : 0,2 mm	14 : 0,16 mm
15 : 0,125 mm	16 : 0,1 mm

Folie: 50



Folie: 51

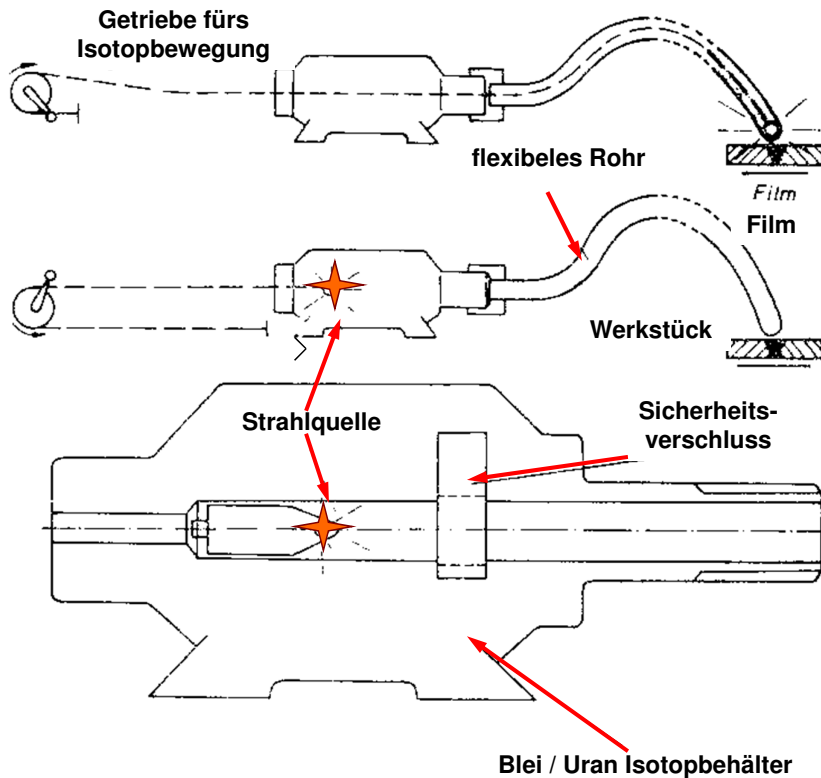
Vorteile:

- Genaue Nachweis von 3D-Fehler,
- dokumentierbar,
- Oberflächenvorbereitung nicht nötig.

Grenzen:

- Erhöhte Sicherheitstechnik nötig,
- großes Apparat Bedarf,
- langsam,
- für 2D-Fehler weniger geeignet,
- begrenzte Materialdicke.

Folie: 52



Verwendete Isotopen:

- Co-60
- Ir-192
- (Ce-137)

Die Prüfung ist analog zu der Röntgenuntersuchung.

Folie: 53

Vorteile und Grenzen von Prüfung mit Isotopen gegenüber der Röntgenprüfung

Vorteile:

- kleineres Platzbedarf, bessere Mobilität,
- größere Durchstrahlvermögen (bei Stählen ca. 300 mm),
- elektrischer Stromquelle ist nicht nötig,
- für 360°-Aufnahmen geeignet (z.B. innerhalb eines Rohres kann – mit rotierenden Isotop im Rohrmittle – ein ganzes Kreisschweißnaht durchgestrahlt werden).

Grenzen:

- größere äußere und innere Unschärfe,
- längere Expositionszeiten,
- schlechtere Fehlerwahrnehmung,
- Intensität der Strahlung ändert sich in der Zeit (Halbwertszeit),
- Kontinuierliche Strahlung (Isotop nicht ausschaltbar).