

# 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

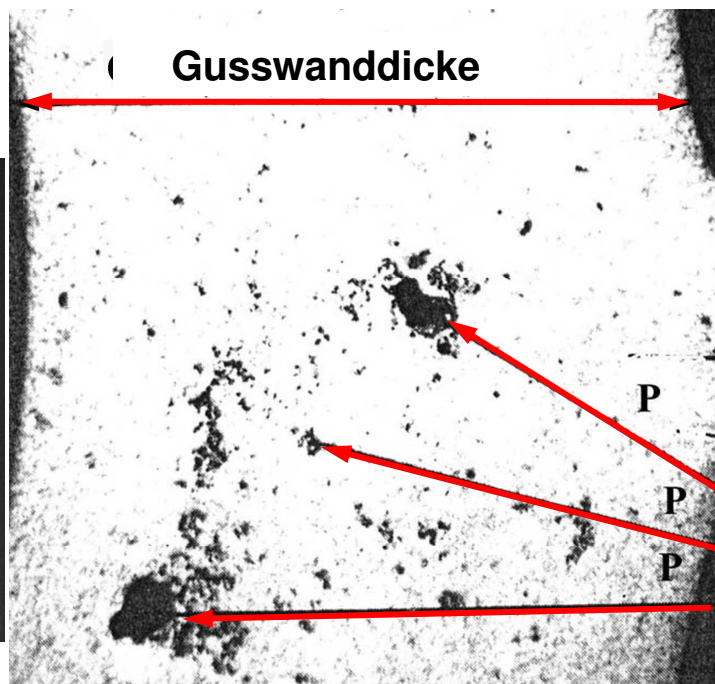
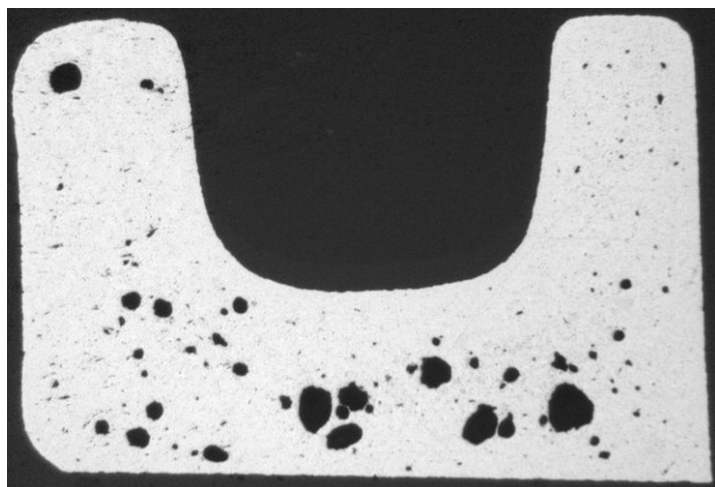
- Bedeutung in Qualitätssicherung
- Zerstörungsfreie Kontrollierung der Eigenschaften
- Nachweis der Fehler (bei der Herstellung – Ersparung, danach – Untersuchung der Schaden)
- Verschiedene Fehler
- Ursachen (Produktionstechnologie, Betrieb)
- Erscheinungsform
- Größe

Folie: 3

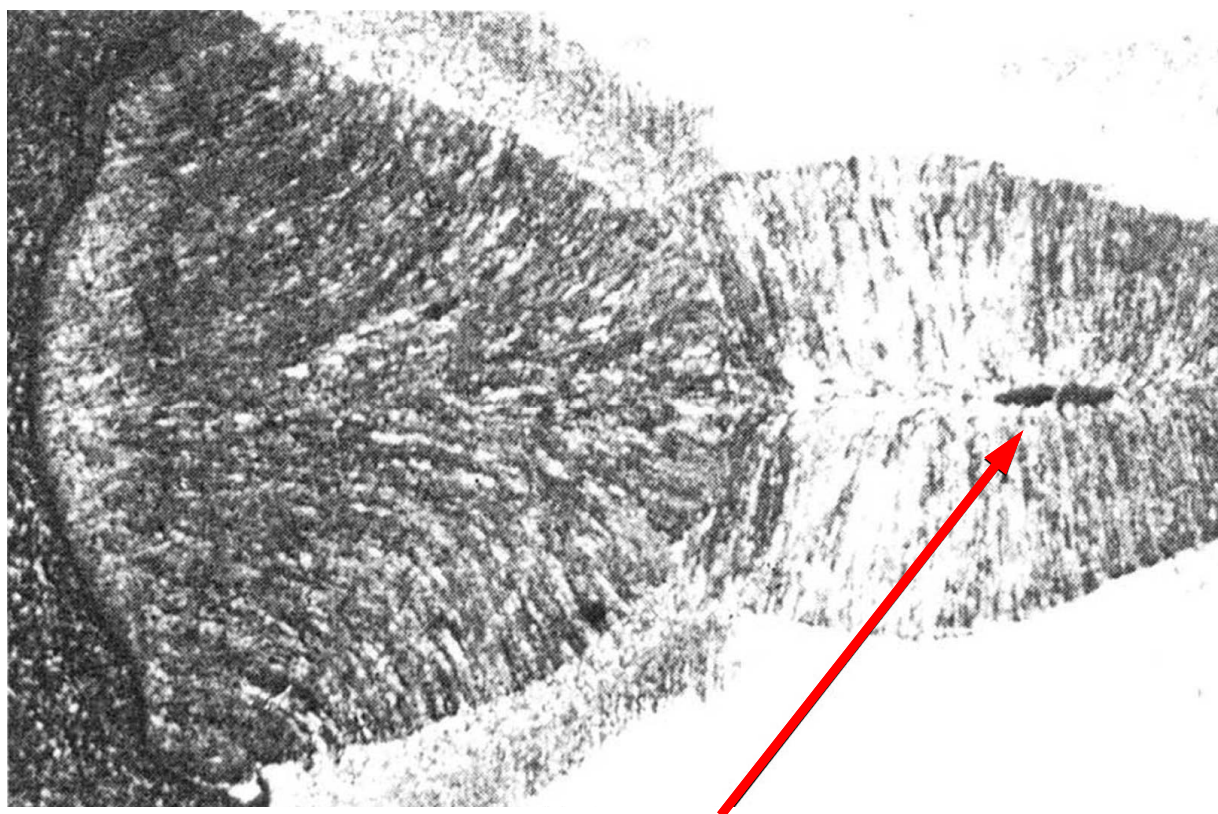
- Gieß- und Schweißfehler  
(Schrumpfrisse, Risse, Gas- und Schlackeneinschlüsse)
- Fehler durch plastische Umformung
- Fehler durch Wärmebehandlung  
(z.B. Härterisse)
- Fehler durch Zerspannung  
(z.B. Schleifrisse)

*Es folgen einige charakteristische Technologiefehler:*

Folie: 4



Gasporosität in einer AlSi12Fe2Cu1  
Gusslegierung



Riss im Schweissnaht eines Stahlrohres



Legiertes Stahlschmiedstück mit Riss in der Mitte wegen fehlerhaften Verformen

Folie: 7



## Versagen im Betrieb

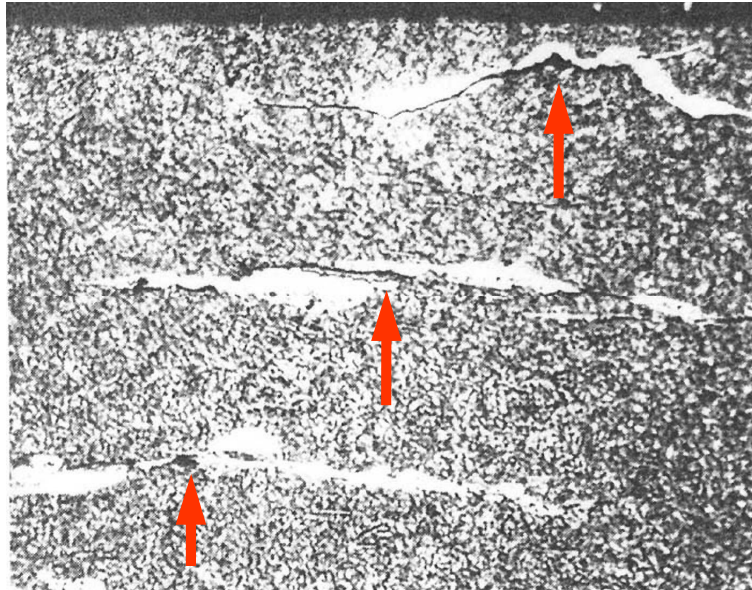


- Rissbildung durch Ermüdung
- Korrosion- und Spannungskorrosionsrisse
- Schädigung durch Kriechen

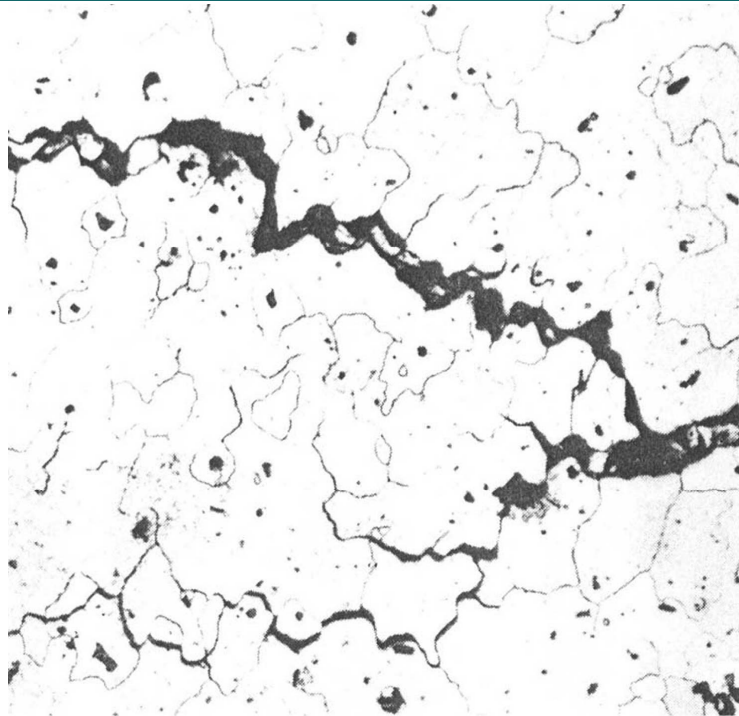
*Es folgen einige charakteristische Fehler beim Betrieb:*

Folie: 8





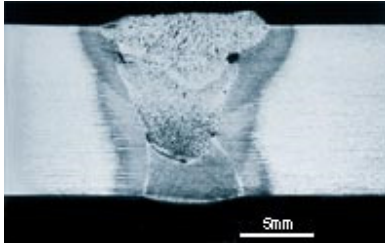
Kontakt Ermüdungsrisse in einer zementierte Rolle im Oberflächennahen Bereich



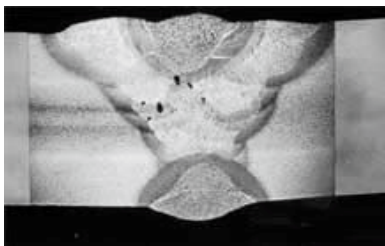
Interkristalline Spannungskorrosionriss in gepressten und vergüteten AlZnMg-Stange

## Volumenartige Fehler (3D)

Gaseinschlüsse:

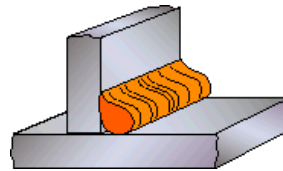


Schlackeneinschluss:

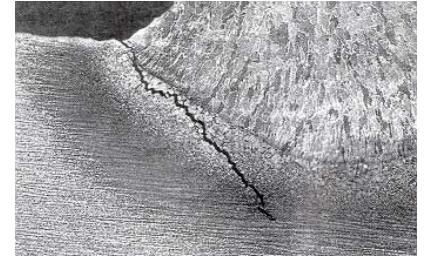


## Flächenartige Fehler (2D)

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

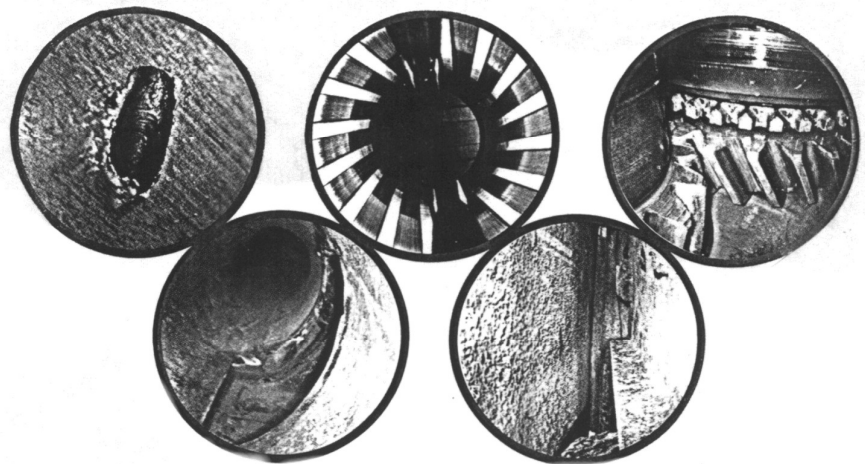
## Endoskop mit starrem Schaft (Boroskop)



Für schwer zugängliche Flächen

Folie: 18





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

Folie: 19

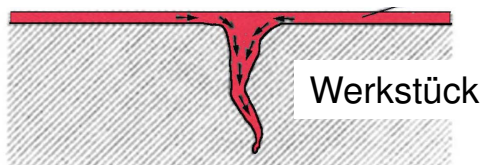
**Prüfprinzip:** Oberflächenrisse können durch Kapillarwirkung benetzende Flüssigkeit aufsaugen. Nach dem Entfernen der Flüssigkeit von der Oberfläche bleiben Reste im Spalt zurück.

**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



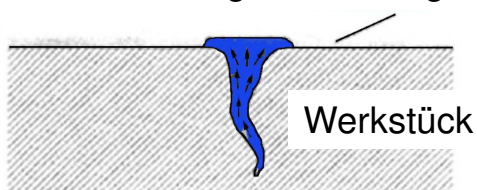
Werkstück

Penetrierflüssigkeit entfernen



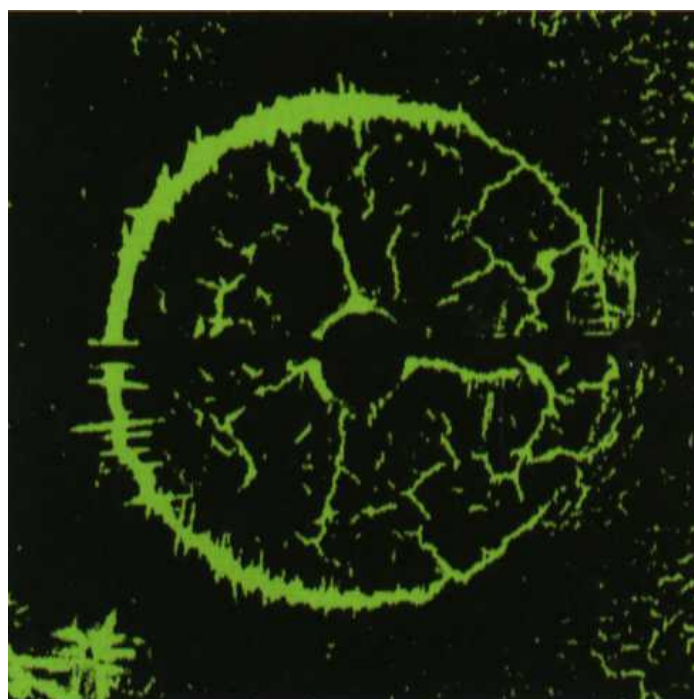
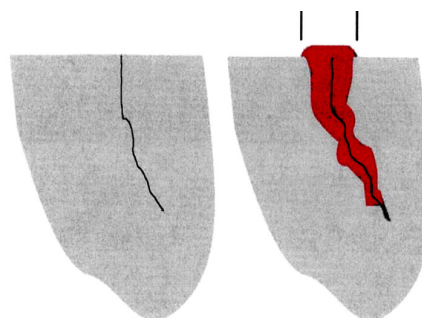
Werkstück

Entwicklerflüssigkeit aufbringen



Werkstück

Nachweis des Risses



- 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:

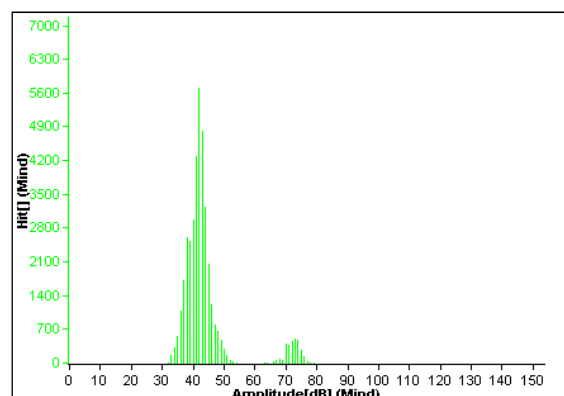
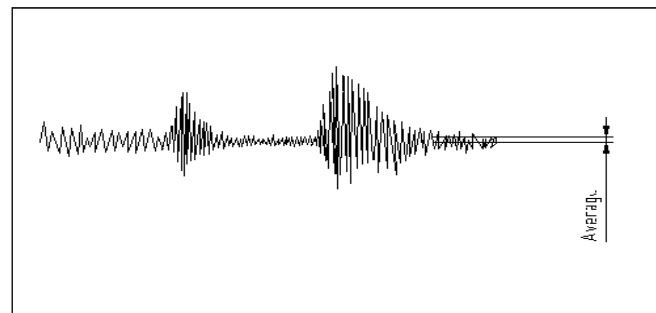
Penetrationsfl., Entwicklerfl., Reinigungsmittel

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

## Geräuschquellen:

- Verformung
- Rissverbreitung
- Bruch
- Sickerung (Leckage)

- Reibung
- Aufladung
- mech. Geräusch





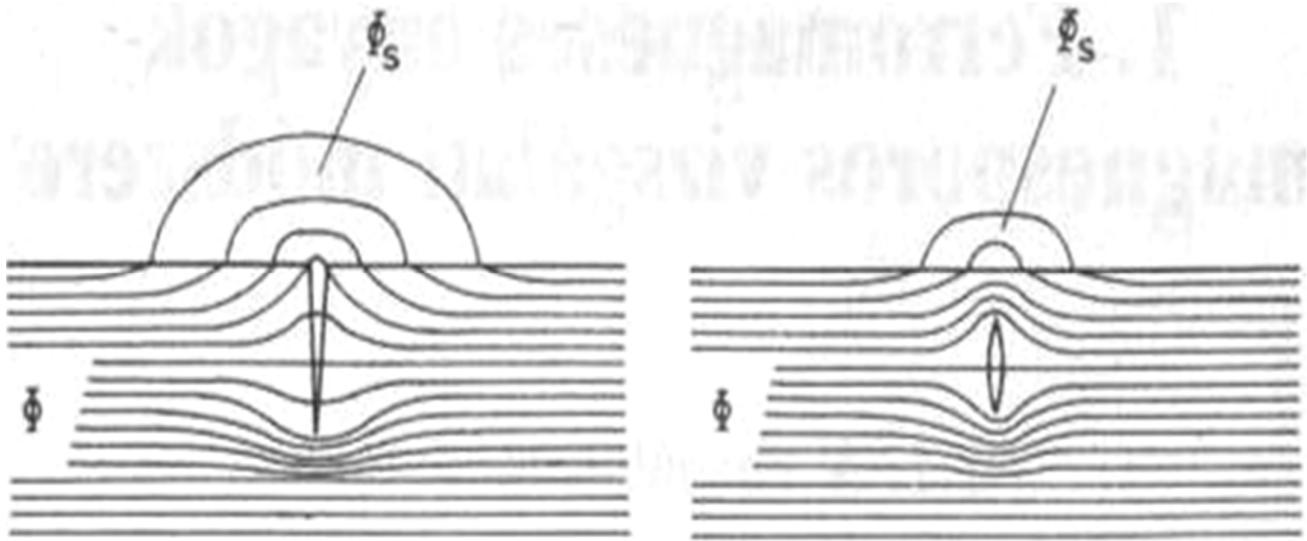


Folie: 25

**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

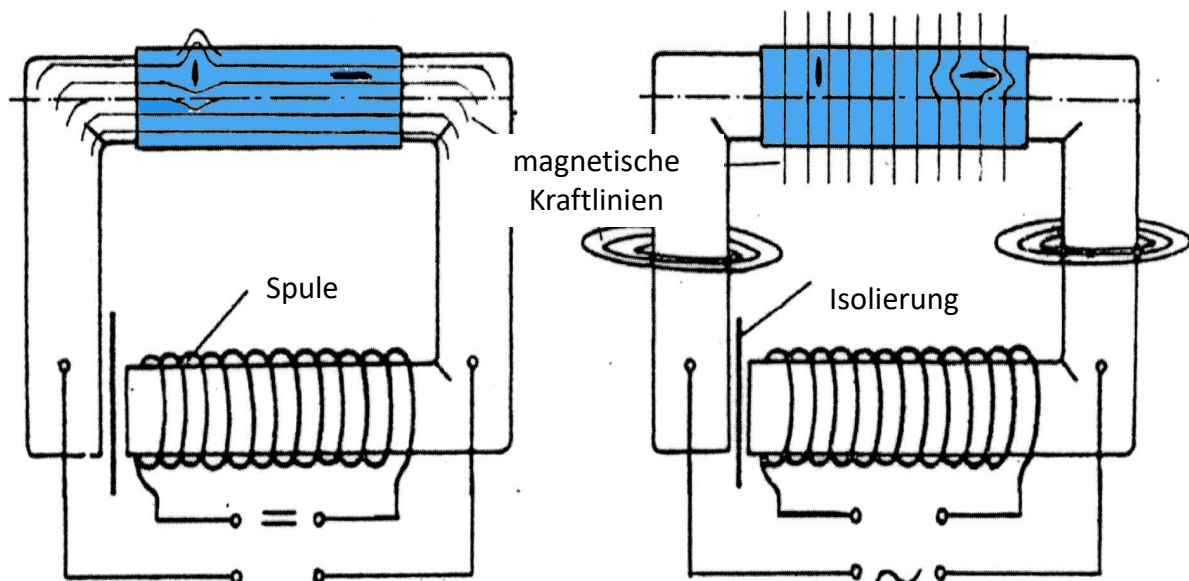
**Vor- und Nachteile:** einfach, große Genauigkeit (Nachweis bis eine Rissbreite von 0,001 mm), beschränkt durch dem Material



Der Verlauf der magnetischen Kraftlinien beeinflusst die Nachweisbarkeit des Fehlers.

Magnetfeld in Längsrichtung

Magnetfeld in Querrichtung



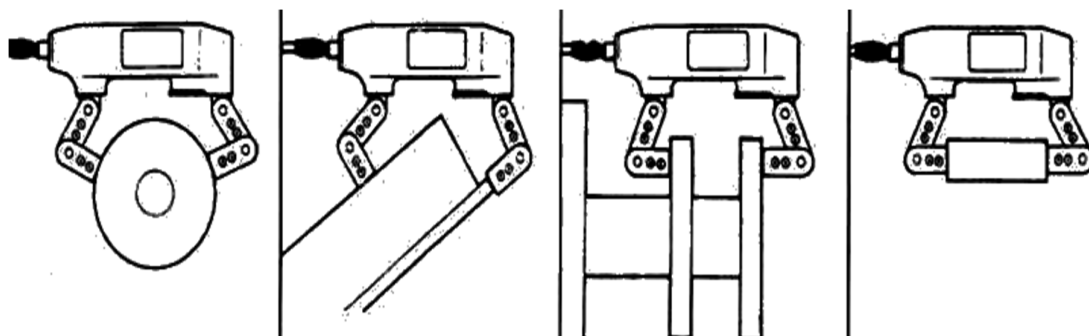


- Befestigung der Probe
- Einschalten des Magnetgeräts
- Bestreuung mit Magnetpulver
- Warten (ca. 5 Min.)
- Qualifikation (mit bloßem Auge, mit UV Bestrahlung)

Folie: 29



Joch-Magnet und seine Anwendungen:



Folie: 30

## Magnetpulver Suspensionen:

- in verschiedene Farben
- fluoreszente Suspension



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

Folie: 31

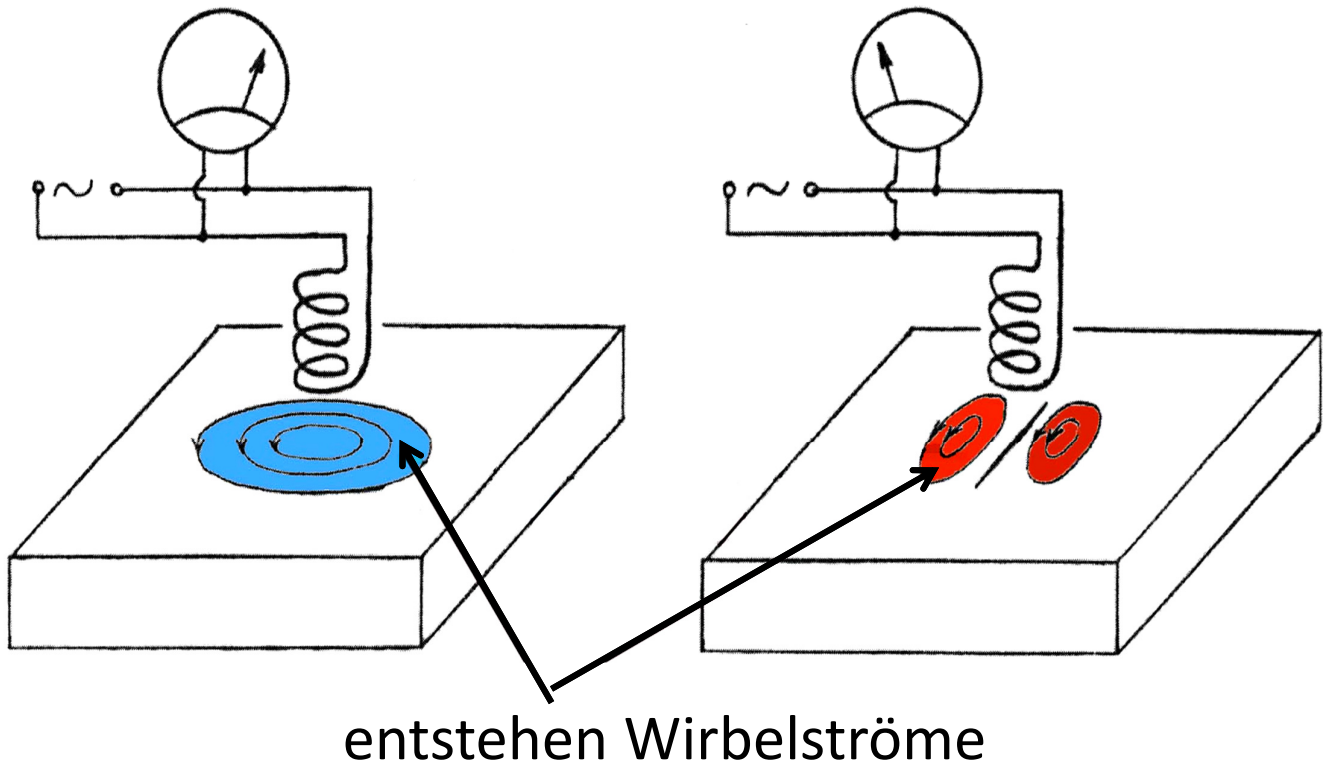
## Wirbelstromprüfung (magnetoinduktive Prüfung)

**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



Folie: 33

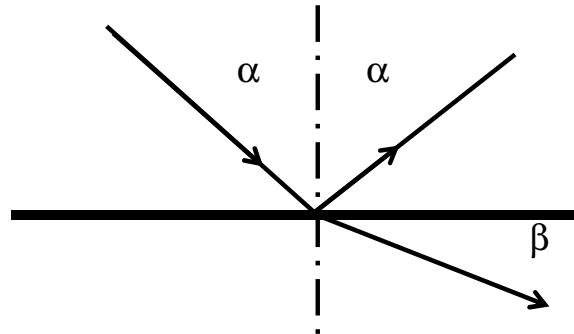
### Vorteile:

- 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 Reflexion
- Geschwindigkeit:

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

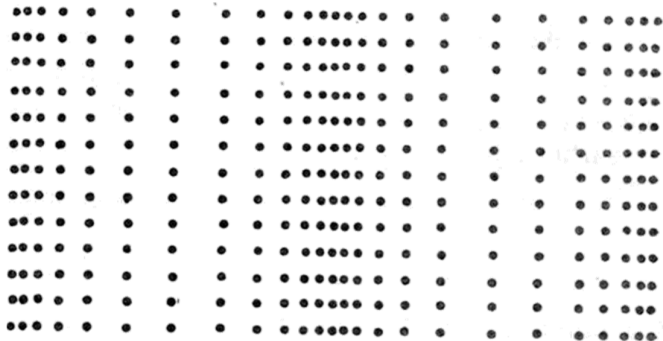
E - Elastizitätsmodul

$\rho$  - Dichte

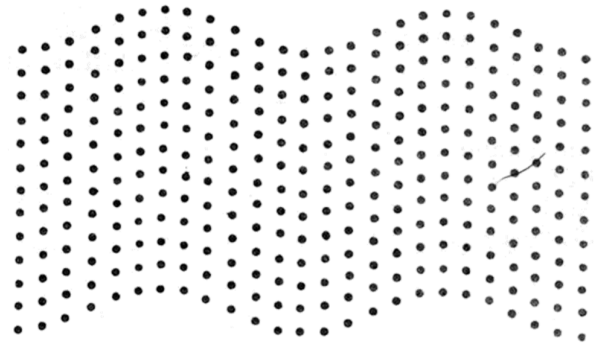
$\nu$  - Poisson-Koeffizient

Folie: 36

## longitudinal

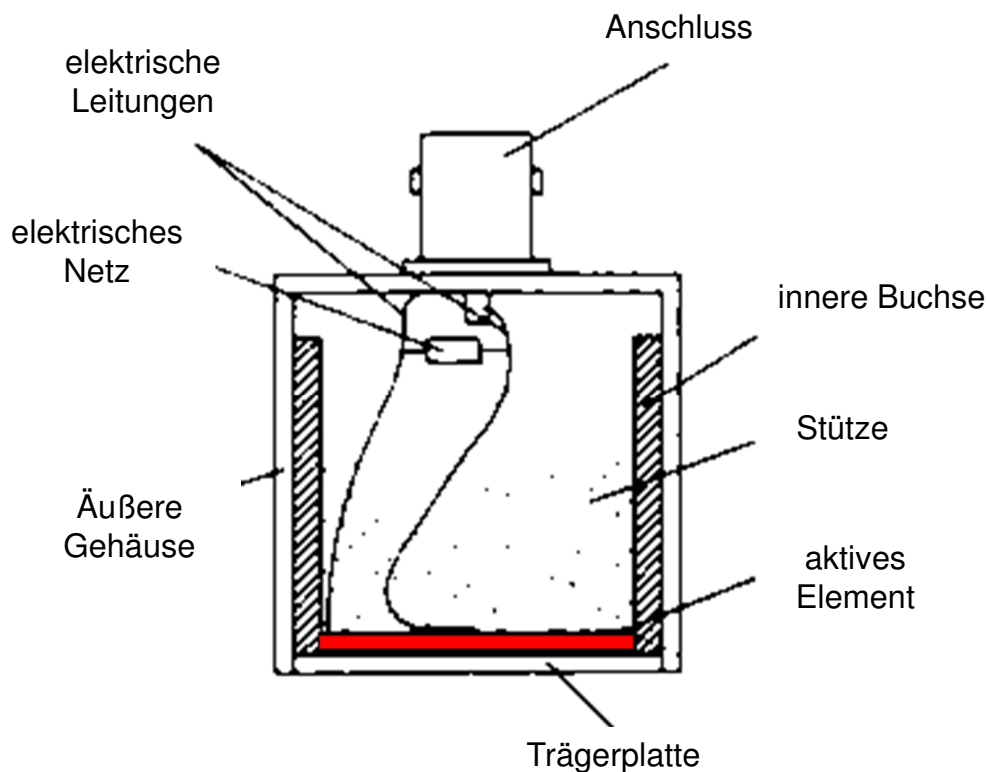


## transverzal



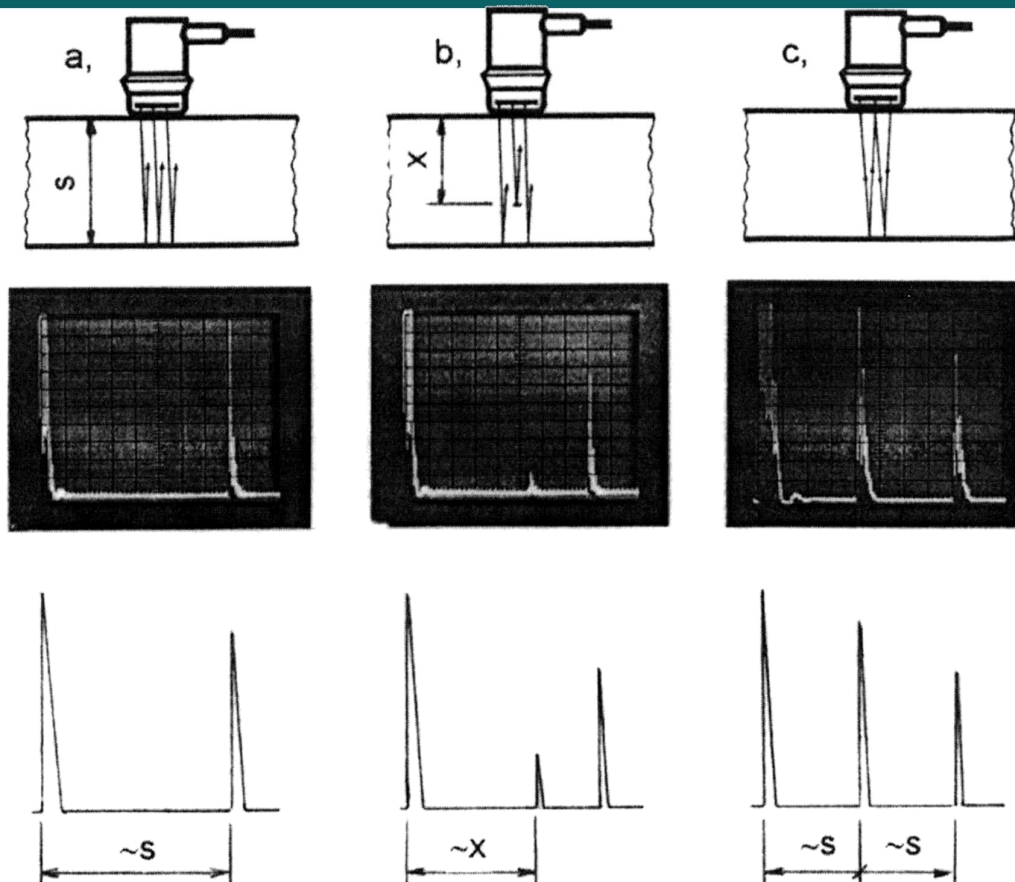
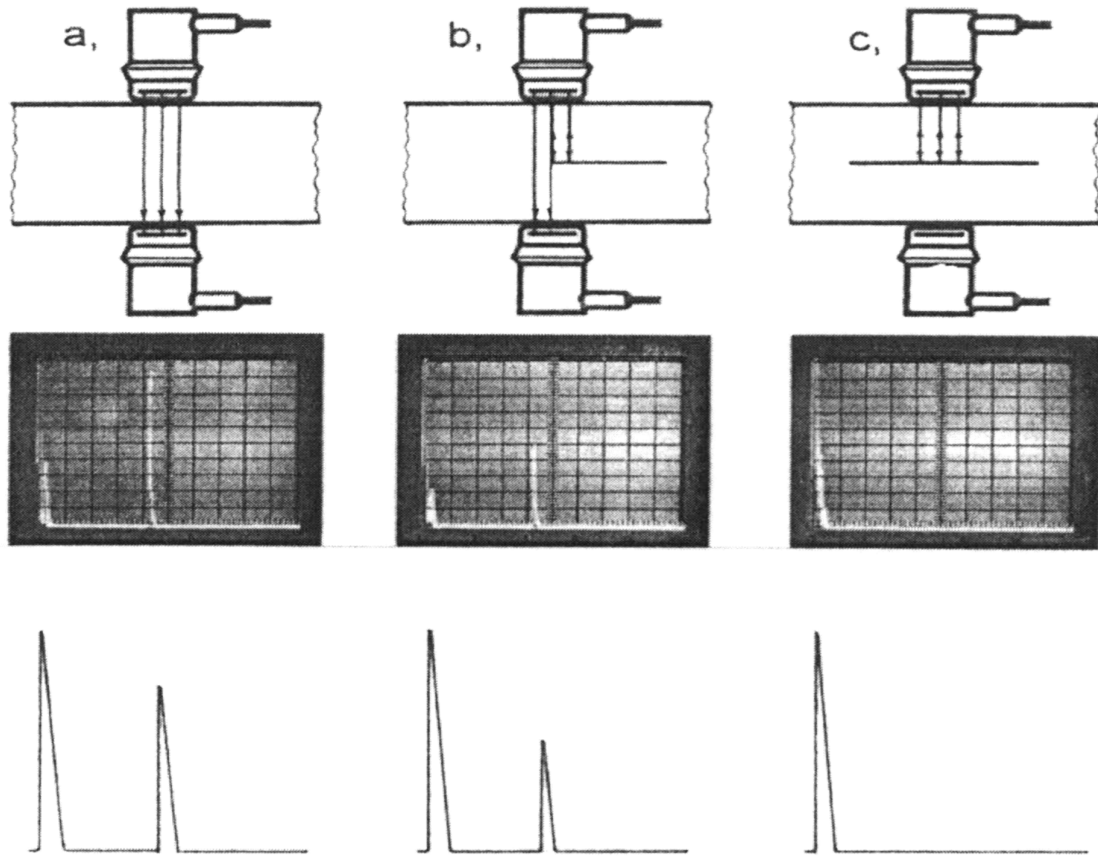
Folie: 37

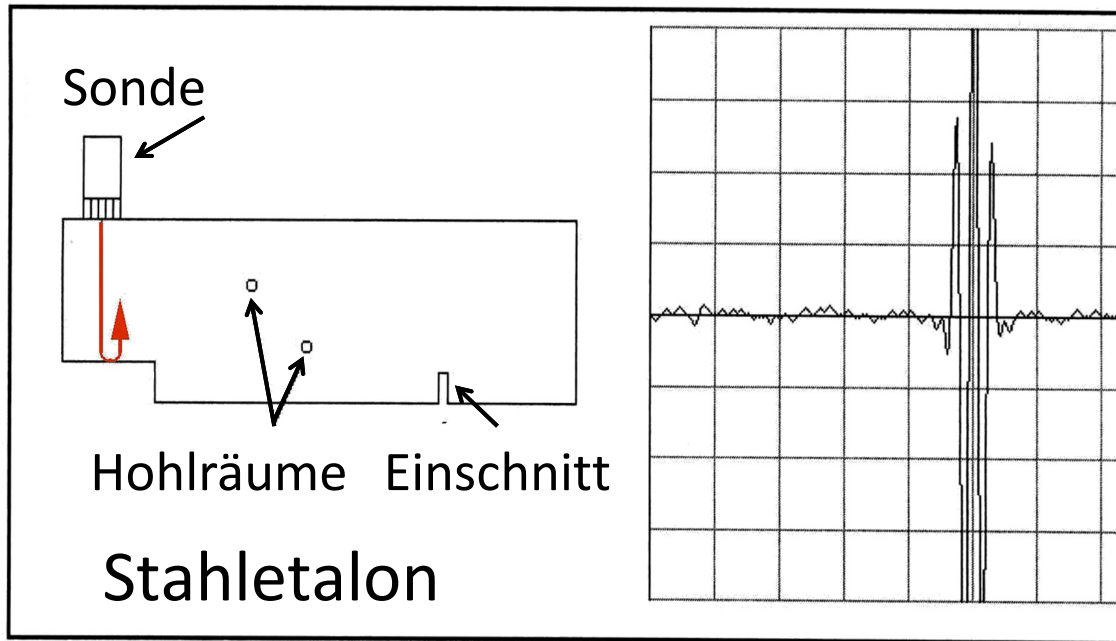
## Aufbau der Messkopf vom Ultraschallprüfgerät



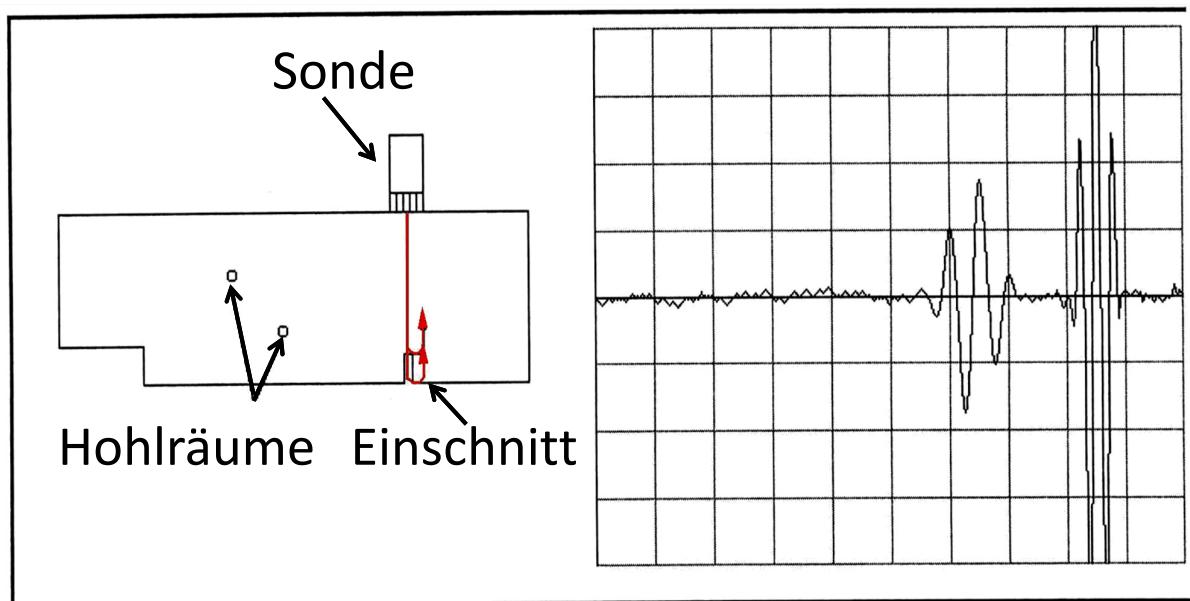
Folie: 38



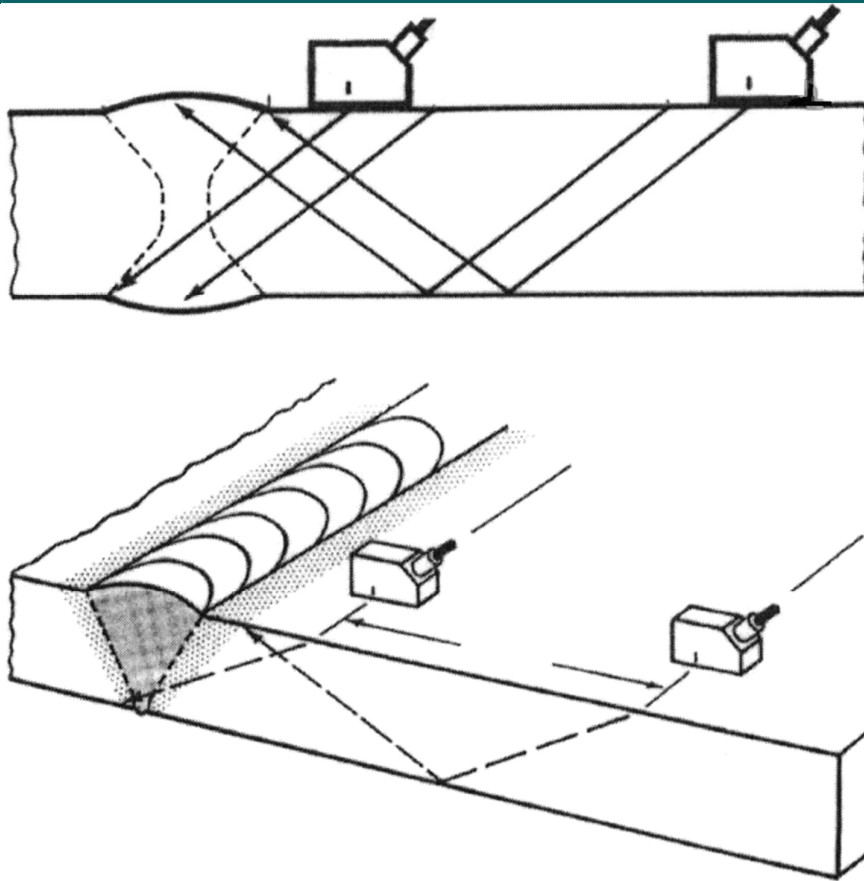




Folie: 41



Folie: 42



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

Folie: 43



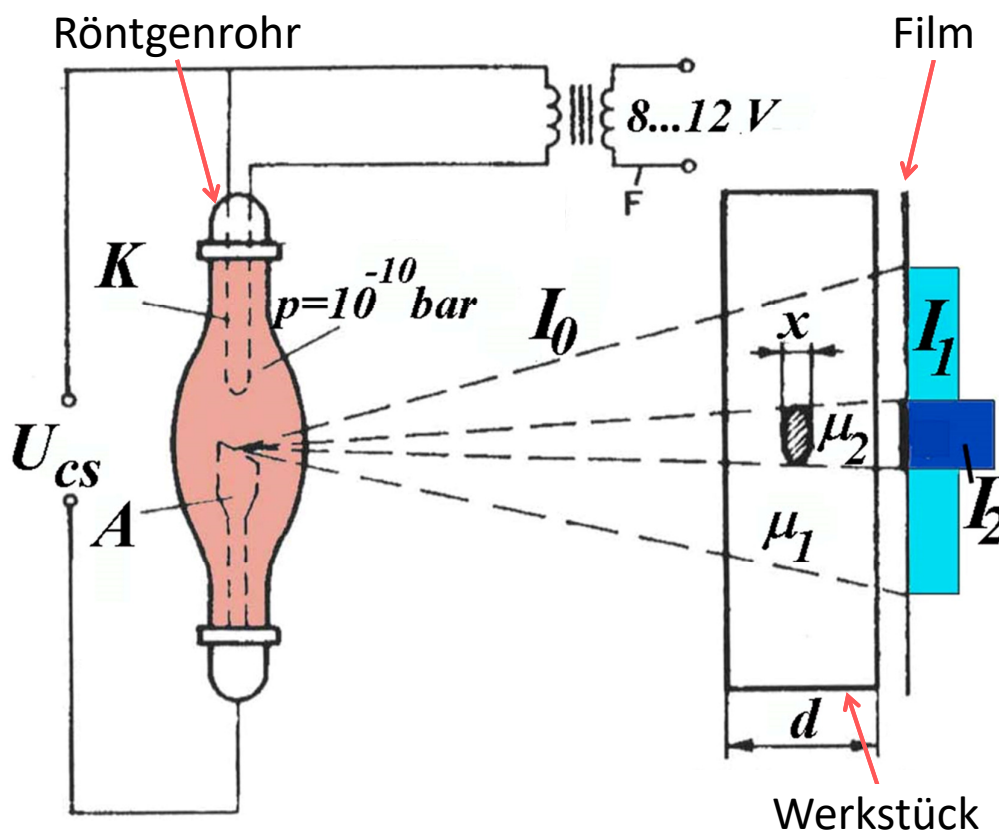
Folie: 44

**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 (zB.: Hohlräume, Einschlüsse), Nachweis für flächenartige Fehler (z.B. Risse) schwieriger. Um 2D-Fehler auszuschließen ist zusätzliche Ultraschallprüfung nötig.

**RADIOSKOPIE**

**RADIOGRAFIE**



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

$\mu$  - Schwächungskoeffizient

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

$\mu'$  - Absorptionskoeffizient

$\sigma$  - Streukoeffizient der Röntgenstrahlen

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

$c$  - Konstante,  $\rho$  - Dichte,

$\lambda$  - Wellenlänge der Strahlung,

$z$  - Ordnungszahl des Werkstoffs

## Erhöhung der Fehlerdetektionsvermögen

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

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

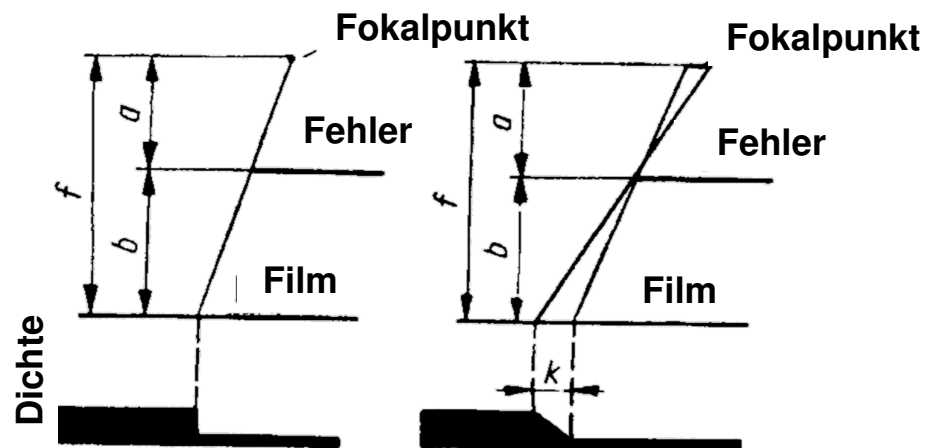
Die größere Intensitätsunterschied ermöglicht bessere Fehlerdetektion:  $\mu' = c \cdot \rho \cdot \lambda^3 \cdot z^3 \Rightarrow \lambda$  höher, bessere Fehlernachweis



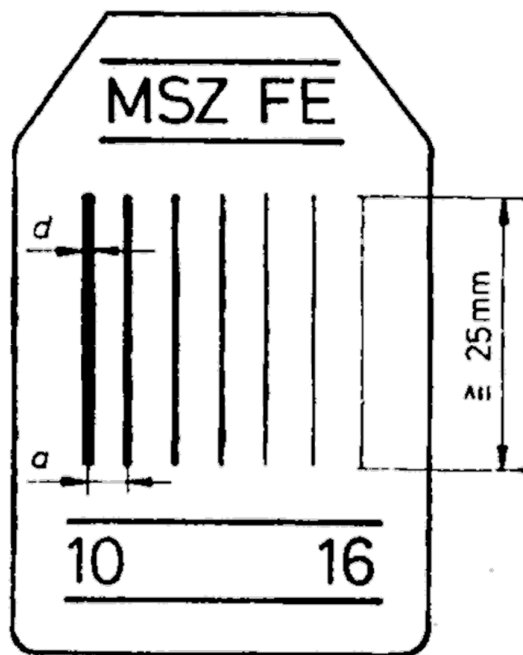
## Bildschärfe: Kontrolle der Bildqualität mit Drahtrehie

→ innere Unschärfe (vom Filmmaterial abhängig)

→ äußere Unschärfe (von der Fokusgeometrie abhängig)



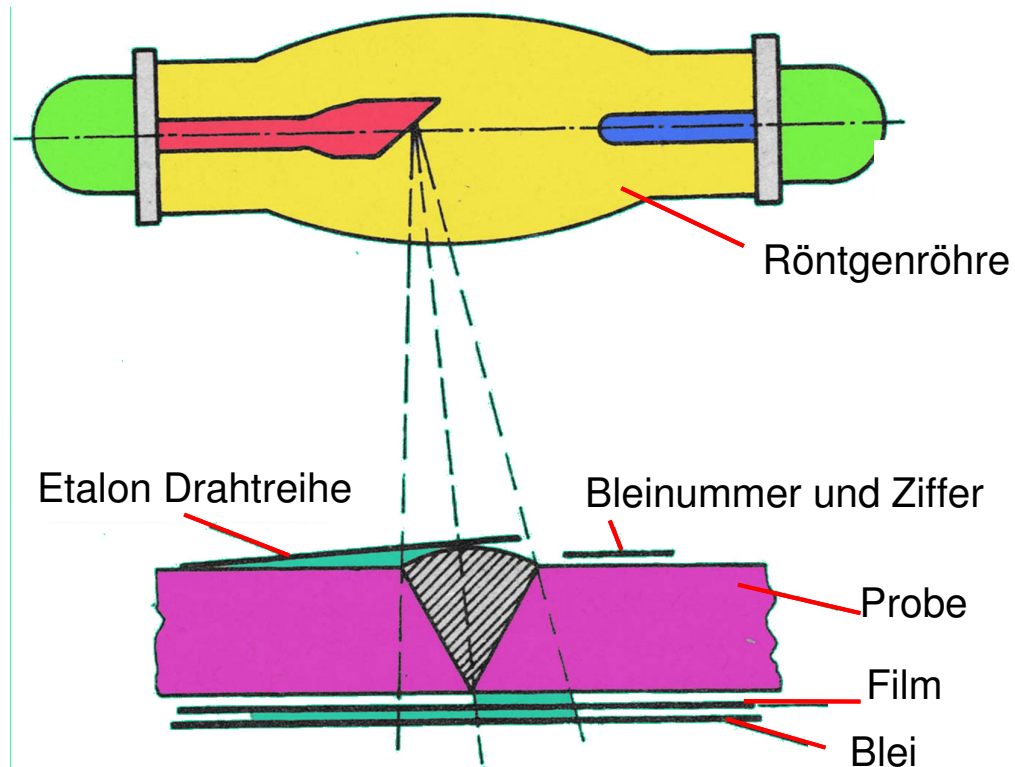
Folie: 49



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

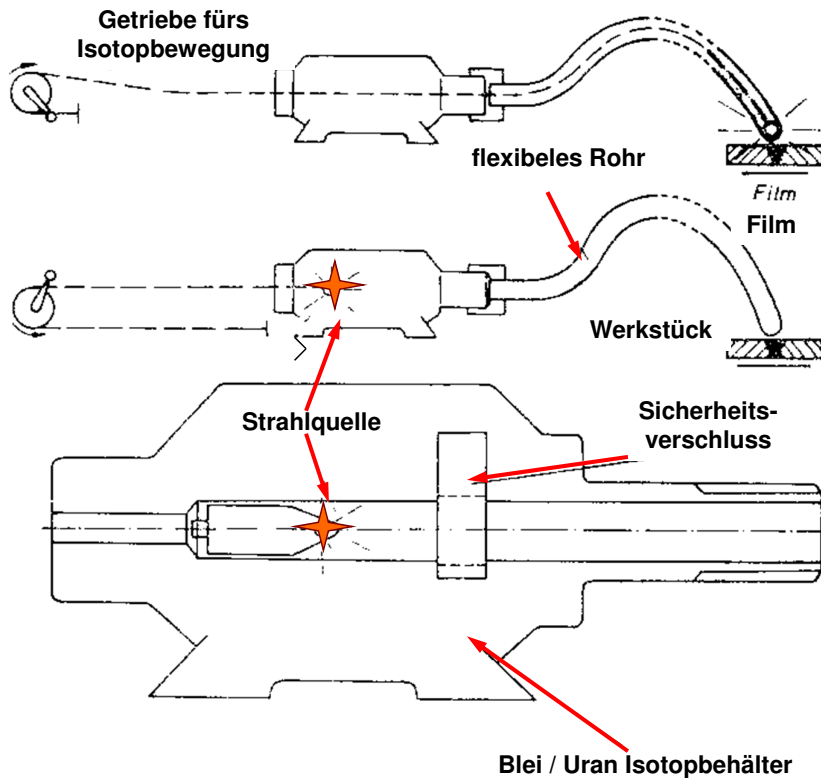
### Vorteile:

- 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).



# Danke für die Aufmerksamkeit!

Folie: 55



## Hegesztett kötések szabványos NDT vizsgálatai



- [MSZ EN ISO 17635:2017](#) Hegesztett kötések roncsolásmentes vizsgálata. **Fémek általános előírásai**
- [MSZ EN ISO 17637:2017](#) Hegesztett kötések roncsolásmentes vizsgálata. Ömlesztőhegesztéssel készített kötések **szemrevételezéses vizsgálata**
- [MSZ EN ISO 17638:2017](#) Hegesztett kötések roncsolásmentes vizsgálata. **Mágnesezhető poros vizsgálatok**
- [MSZ EN ISO 17643:2016](#) Hegesztett kötések roncsolásmentes vizsgálata. Hegesztett kötések **örvényáramú vizsgálata** vektorelemzéssel
- [MSZ EN ISO 23277:2015](#) Hegesztett kötések roncsolásmentes vizsgálata. **Folyadékbehatolásos vizsgálat**. Átvételi szintek
- [MSZ EN ISO 23278:2015](#) Hegesztett kötések roncsolásmentes vizsgálata. **Mágnesezhető poros vizsgálat**. Átvételi szintek
- [MSZ EN ISO 17636-1:2013](#) Hegesztett kötések roncsolásmentes vizsgálata. **Radiográfiai vizsgálat**. 1. rész: **Filmre alapozott** röntgen- és gamma-sugaras módszerek
- [MSZ EN ISO 17636-2:2013](#) Hegesztett kötések roncsolásmentes vizsgálata. **Radiográfiai vizsgálat**. 2. rész: **Digitális detektorokra** alapozott röntgen- és gamma-sugaras módszerek
- [MSZ EN ISO 10675-1:2022](#) Hegesztett kötések roncsolásmentes vizsgálata. **Radiográfiai vizsgálatok** átvételi szintjei. 1. rész: Acél, nikkell, titán és ötvözetek
- [MSZ EN ISO 10675-2:2022](#) Hegesztett kötések roncsolásmentes vizsgálata. **Radiográfiai vizsgálatok** átvételi szintjei. 2. rész: Alumínium és ötvözetek
- [MSZ EN ISO 23864:2022](#) Hegesztett kötések roncsolásmentes vizsgálata. **Ultraszónus vizsgálatok**. Automatizált, **teljesen fókuszáló módszer (TFM)** és kapcsolódó technológiák alkalmazása
- [MSZ EN ISO 10863:2020](#) Hegesztett kötések roncsolásmentes vizsgálata. **Ultraszónus vizsgálatok**. A **futásidő-szóródásos (TOFD-)** módszer alkalmazása
- [MSZ EN ISO 13588:2019](#) Hegesztett kötések roncsolásmentes vizsgálata. **Ultraszónus vizsgálatok**. **Automatikus fázisvezérelt módszer** alkalmazása
- [MSZ EN ISO 17640:2019](#) Hegesztett kötések roncsolásmentes vizsgálata. **Ultraszónus vizsgálatok**. Eljárások, vizsgálati szintek és értékelés
- [MSZ EN ISO 20601:2019](#) Hegesztett kötések roncsolásmentes vizsgálata. **Ultraszónus vizsgálatok**. Automatikus fázisvezérelt módszer alkalmazása vékony falú acélok esetén
- [MSZ EN ISO 15626:2019](#) Hegesztett kötések roncsolásmentes vizsgálata. Futásidő-szóródásos eljárás (TOFD). Átvételi szintek
- [MSZ EN ISO 11666:2018](#) Hegesztett kötések roncsolásmentes vizsgálata. **Ultraszónus vizsgálat**. Átvételi szintek
- [MSZ EN ISO 22825:2018](#) Hegesztett kötések roncsolásmentes vizsgálata. **Ultraszónus vizsgálatok**. Ausztenites acélok és nikkelnbázisú ötvözetek hegesztett kötéseinek vizsgálata
- [MSZ EN ISO 19285:2017](#) Hegesztett kötések roncsolásmentes vizsgálata. **Fázisvezérelt ultraszónus vizsgálat (PAUT)**. Átvételi szintek (ISO 19285:2017)
- [MSZ EN ISO 23279:2017](#) Hegesztett kötések roncsolásmentes vizsgálata. **Ultraszónus vizsgálatok**. Hegesztett kötésekben lévő folytonossági hiányok jellemzése

[MSZ EN ISO 17635:2017](#) Hegesztett kötések roncsolásmentes vizsgálata. **Fémek általános előírásai**

[MSZ EN ISO 17637:2017](#) Hegesztett kötések roncsolásmentes vizsgálata. Ömlesztőhegesztéssel készített kötések **szemrevételezéses vizsgálata**

[MSZ EN ISO 17638:2017](#) Hegesztett kötések roncsolásmentes vizsgálata. **Mágnesezhető poros vizsgálatok**

[MSZ EN ISO 17643:2016](#) Hegesztett kötések roncsolásmentes vizsgálata. Hegesztett kötések **örvényáramú vizsgálata** vektorelemzéssel

[MSZ EN ISO 23277:2015](#) Hegesztett kötések roncsolásmentes vizsgálata. **Folyadékbehatolásos vizsgálat.** Átvételi szintek

[MSZ EN ISO 23278:2015](#) Hegesztett kötések roncsolásmentes vizsgálata. **Mágnesezhető poros vizsgálat.** Átvételi szintek

[MSZ EN ISO 17636](#)

sugaras módszerek

[MSZ EN ISO 17636](#)

röntgen- és gamma

ötvezetek

[MSZ EN ISO 10675](#)

ötvezetek

[MSZ EN ISO 23864](#)

(TFM) és kapcsoló

[MSZ EN ISO 10863](#)

alkalmazása

[MSZ EN ISO 13588](#)

alkalmazása

[MSZ EN ISO 17640](#)

[MSZ EN ISO 20601](#)

alkalmazása vékony falú acélok esetén

[MSZ EN ISO 15626:2019](#) Hegesztett kötések roncsolásmentes vizsgálata. Futásidő-szóródásos eljárás (TOFD). Átvételi szintek

[MSZ EN ISO 11666:2018](#) Hegesztett kötések roncsolásmentes vizsgálata. **Ultrahangos vizsgálat.** Átvételi szintek

[MSZ EN ISO 22825:2018](#) Hegesztett kötések roncsolásmentes vizsgálata. **Ultrahangos vizsgálatok.** Auszteni acélok és nikkeltitán alapú ötvözetek

hegesztett kötéseinek vizsgálata

[MSZ EN ISO 19285:2017](#) Hegesztett kötések roncsolásmentes vizsgálata. **Fázisvezérelt ultrahangos vizsgálat (PAUT).** Átvételi szintek (ISO

19285:2017)

[MSZ EN ISO 23279:2017](#) Hegesztett kötések roncsolásmentes vizsgálata. **Ultrahangos vizsgálatok.** Hegesztett kötésekben lévő folytonossági

hiányok jellemzése

Vizsgálati módszer neve		Rövidítés
angolul	magarul	
Eddy current testing	Örvényáramú vizsgálat	ET
Magnetic particle testing	Mágnesezhető poros vizsgálat	MT
Penetrant testing	Folyadékbehatolásos vizsgálat	PT
Radiographic testing	Radiográfiai vizsgálat	RT
Ultrasonic testing	Ultrahangos vizsgálat	UT
Visual testing	Szemrevételezéses vizsgálat	VT

[MSZ EN ISO 9712:2022](#) Roncsolásmentes vizsgálat. Roncsolásmentes vizsgálatot végző személyzet minősítése és tanúsítása

[MSZ EN 4179:2022](#) Repülés és űrhajózás. Roncsolásmentes vizsgálatokat végző személyek minősítése és annak jóváhagyása

[MSZ EN 16602-70-15:2022](#) Űrrepülési eszközök biztonsága. Roncsolásmentes vizsgálat

Vizsgálati módszer neve		Rövidítés
angolul	magarul	
Eddy current testing	Örvényáramú vizsgálat	ET
Magnetic particle testing	Mágnesezhető poros vizsgálat	MT
Penetrant testing	Folyadékbehatolásos vizsgálat	PT
Radiographic testing	Radiográfiai vizsgálat	RT
Ultrasonic testing	Ultrahangos vizsgálat	UT
Visual testing	Szemrevételezéses vizsgálat	VT

**Eltérés / indikáció az anyagban  $\neq$  HIBA**  
**HA az eltérés meghaladja a megengedett mértéket**  
**onnantól HIBA addig csak eltérés!**



- Visuelle Prüfung
- Penetrationsprüfung
- Magnetische Prüfung
- Ultraschallprüfung für Rissdetektion
- Ultraschallprüfung zur Wanddickenmessung

Folie: 59

AC Permeameter, Detektorspuhle auf der Probe

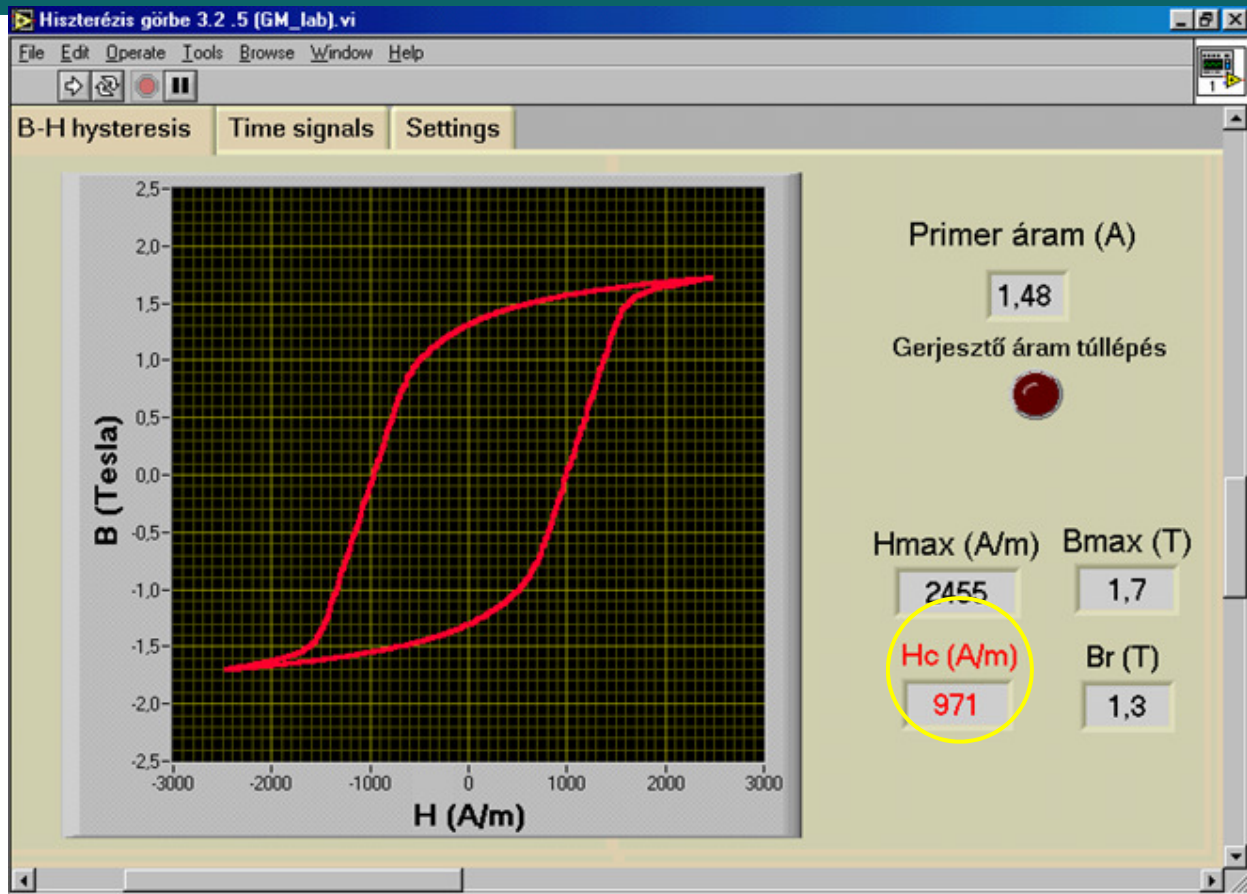
Anregung: sinusartig (H), 5 Hz

$H_{\max} = 2500 \text{ A/m}$

Hysteresenschleifen: 1000 Punkt

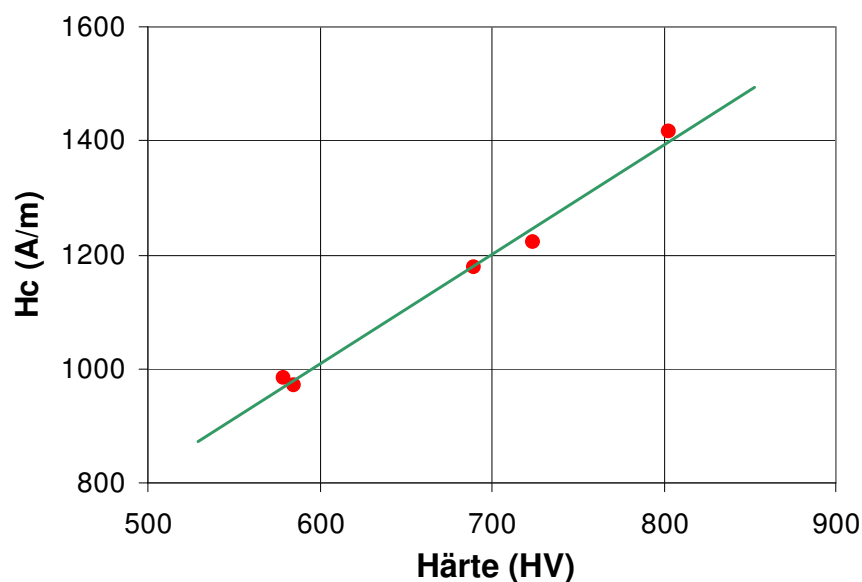


Folie: 60



Folie: 61

Der lineare Zusammenhang zwischen der mechanische Härte und der koerzitive Feldstärke ermöglicht eine zerstörungsfreie und indirekte Messung der Härte



Folie: 62

- vizuelle Prüfung
- Penetrierverfahren
- Magnetische Rissuntersuchung
- Ultraschallprüfung
- Wanddickenmessung mit Ultraschall
- magnetische Hysterese-Messung (indirekte Härtemessung)