

Praktikum Werkstoffmechanik  
Studiengang: Chemie-Ingenieurwesen  
Technische Universität München SS 2004

# Zerstörungsfreie Materialprüfung

Oliver Gobin

16 Juli 2004

Betreuer: Dr. W. Loos

# 1 Aufgabenstellung

Einige Proben sollen mit Hilfe von (Ultra-)Schall- und Farbeindringprüfung untersucht werden. Es wurden dabei drei Versuche durchgeführt:

- Die Bestimmung von Rissen in mehreren Umlaufbiegeproben und einer Platte mittels Farbeindringverfahren.
- Mittels Ultraschallprüfung, die Bestimmung des Wanddickenverlaufs einer Probe.
- Wiederum mittels Ultraschallprüfung, mögliche Fehlstellen in einer Stahlplatte.

## 2 Theoretischer Hintergrund

### 2.1 Übersicht über zerstörungsfreie Materialprüfungsverfahren

Zerstörungsfreie Prüfverfahren beeinträchtigen und verändern, wie der Name schon sagt, nicht das zu prüfende Material und geben dabei Aufschluss auf bestimmte Eigenschaften. Die Verfahren werden dann eingesetzt, wenn es entweder aus Funktions- oder aus wirtschaftlichen Gründen nicht tragbar ist, dass die Probe zerstört wird.

Abbildung 1 soll einen Überblick über die verschiedenen Verfahren geben. Röntgenverfahren werden in einem anderen Versuch behandelt, die verschiedenen Schall- und Eindringverfahren sind Thema dieses Versuchs.

Verfahren	physikalischer Effekt	Fehlerprüfung	Anwendbar zur Bestimmung/Ermittlung von			
			Fehlerlage	Fehlergröße	Eigenschaften	Messen
Eindringverfahren	Kapillarwirkung	+	+	(+)	-	-
Magnetpulver-Prfg. Magnetinduktion	Streufluß	+	+	(+)	-	-
	Permeabilität	+	(+)	(+)	+	Abstand, Schichtdicke
Wirbelstromprüfung	elektr. Leitfähigkeit	+	(+)	+	+	(+)
Durchschallung Impuls-Echo-Verf. Klangprobe	Absorption	(+)	-	(+)	+	-
	Reflexion	+	+	(+)	+	Abstand, Prüfdicke
	Eigenresonanz	+	-	-	-	-
Röntgenstrahlen Grobstruktur Feinstruktur	Absorption	+	(+)	(+)	(+)	(+)
	Interferenz	-	-	-	+	-
Gammastrahlen	Absorption	+	(+)	(+)	-	(+)

+ geeignet (+) bedingt geeignet - nicht geeignet

Abbildung 1: Vergleich verschiedenen zerstörungsfreier Prüfverfahren

## 2.2 Farbeindringverfahren

Das Farbeindringverfahren ist ein sehr einfaches Verfahren um Bauteile auf Oberflächenfehler wie Risse und Poren z.B. in Scheißnähten zu untersuchen. Trotz der Einfachheit des Verfahrens lassen sich damit Risse mit einer Breite von bis zu  $0,25 \mu m$  sichtbar machen, wodurch die noch immer große Relevanz des Verfahrens klar wird.

Das Farbeindringverfahren kann im Prinzip bei allen harten Werkstoffen eingesetzt werden, wobei natürlich die Auswertung und Deutung der Fehlstellen von Werkstoff zu Werkstoff unterschiedlich ist. Die größte Einschränkung des Verfahrens ist die Limitierung auf oberflächennahe Fehlstellen.

Die Vorgehensweise kann unter 3.1 nachgelesen werden. Das Farbeindringmittel muss eine geringe Oberflächenspannung besitzen, damit es durch Kapillarwirkung gut in die Risse eindringen kann. Der Entwickler muss dagegen das Farbeindringmittel stärker aufsaugen als es die Risse machen, damit die Risse auf dem Entwickler erscheinen. Früher wurde eine Kombination von Öl und Kreide benutzt, heutzutage können genau aufeinander abgestimmte Kombinationen von Reinigungsmittel, Färbemittel und Entwickler gekauft werden, die auf das Werkstück gesprüht werden können. Sonderformen des Verfahrens arbeiten bei höheren Temperaturen oder benutzen Eindringmittel mit besonderen Eigenschaften, wie z.B. fluoreszierende Eindringmittel.

## 2.3 Akkustische Verfahren

### 2.3.1 Grundlagen

Der Schall breitet sich in festen Körpern in Form von Longitudinalwellen  $L$  und Transversalwellen  $T$  aus, in Flüssigkeiten und Gasen dagegen nur in Form von Longitudinalwellen. Grund dafür ist das Fehlen einer Schub- oder Scherspannung. Transversalwellen werden daher auch als Schwerwellen bezeichnet.

Die Schallausbreitung erfolgt dabei über Gitterschwingungen (Phononen) durch das Gefüge, wobei bei den Longitudinalwellen das Elastizitätsmodul  $E$ , bei den Transversalwellen das Schubmodul  $G$ , als Rückstellkonstante  $R$  auftritt (bei Schallwellen in Flüssigkeiten oder Gasen, ist das Kompressionsmodul  $K$  die Rückstellkonstante):

Für die Ausbreitungsgeschwindigkeiten der Schallwellen gilt allgemein für den einachsigen Spannungszustand, mit der Dichte des Mediums  $\rho$ :

$$c = \sqrt{\frac{R}{\rho}} \quad (1)$$

Wobei für die Rückstellkonstante  $R$  eines der oben genannten Module eingesetzt werden muss. Da das Schubmodul im allgemeinen kleiner als das Elastizitätsmodul ist, sind auch die Transversalwellen entsprechend langsamer als die Longitudinalen. Beispielsweise ist die Longitudinalschallgeschwindigkeit für Schall mit ca.  $6000 \text{ m/s}$  um fast das doppelte schneller als die von transversalen Wellen im Stahl.

Trifft eine Schallwelle auf eine Phasengrenze, so wird sie zum Teil durchgelassen und zum anderen Teil reflektiert, nur wenn der Schallwellenwiderstand (Akkustische Impedanz)  $Z = c \cdot \rho$  sich nicht ändert, ändert sich die Welle nicht. Es gilt für den Reflexionskoeffizienten  $R$ :

$$R = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \quad (2)$$

und für den Durchlässigkeitskoeffizient  $D$ :

$$D = 1 - R \quad (3)$$

Die Reflexion ist daher um so größer, je größer der Unterschied zwischen den Schallwellenwiderständen der beiden Medien ist. Für den Übergang von Stahl zu Luft errechnet sich ein Reflexionskoeffizient von fast 1, das bedeutet praktisch 100%ige Schallreflexion, was das Grundprinzip der Ultraschallprüfung ist, da auch Risse mit Luft gefüllt sind und daher den Schall totalreflektieren.

Beim Durchgang der Schallwelle durch den Festkörper erfolgt eine Dämpfung der Schallwelle, die von der Temperatur und der Frequenz abhängig ist und sich, analog zu Lichtwellen, gut mit dem Lambert-Beerschen Absorptionsgesetz beschreiben lässt:

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu(f)x} \quad (4)$$

wobei  $x$  die Dicke des Materials,  $I$  die Intensität und  $\mu$  der Dämpfungskoeffizient ist. Dabei ist  $\mu$  wie folgt abhängig von der Frequenz:

$$\mu = \mu_0 \cdot f^n \quad (5)$$

### 2.3.2 Schallprüfung

Unter der Schallprüfung wird die Auswertung von Schwingungs- und Geräuschsignalen mit Frequenzen von bis zu einigen kHz. Die Analyse kann mittels Frequenzanalyse oder teilweise mit blosem Ohr erfolgen. Da Risse sich teilweise im hörbaren Frequenzbereich befinden wird die Schallprüfung auch Klangprüfung genannt.

Der unterschiedliche 'Klang' von Risteilen ist auf eine Verschiebung von Resonanzfrequenzen, der Dämpfung von Resonanzfrequenzen oder dem Entstehen zusätzlicher Frequenzanteile zurückzuführen.

### 2.3.3 Ultraschallprüfung

Da der Übergang Luft auf Stahl eine Totalreflexion des Schalls hervorruft, muss bei der Ultraschallprüfung die Ankopplung der Prüfköpfe über eine Flüssigkeit (Öl, Glycerin) erfolgen, was die Reflexion auf etwa 90% ausreichend vermindert.

Die Erzeugung der Ultraschallwellen mit dem sog. Normalprüfkopf erfolgt mittels piezoelektrischer Kristalle, die sehr schnell, kleine elastische Verformungen hervorrufen und so Frequenzen von etwa 0.5 bis 10 MHz erreichen (Ultraschall). Die Reichweite des Schalls hängt von den eingesetzten Normalprüfköpfen ab, beginnend bei etwa 5000 mm.

## **Verfahren:** Durchschallungs- und Impuls-Echo-Verfahren

Beim Durchschallungsverfahren arbeitet man mit einem Sender- und Empfängerprüfkopf. Der Sendekopf sendet impulsweise Schallwellen aus, der Empfängerkopf ist immer empfangsbereit. Befindet sich ein Fehler im Schallweg, so verringert sich die Schallamplitude oder es kommt gar kein Signal mehr beim Empfänger an. Die Ermittlung der Tiefe des Fehlers ist jedoch nicht möglich.

Anders beim Impuls-Echo-Verfahren, dass das vorwiegend eingesetzte Verfahren ist. Dabei wird nur mit einem Prüfkopf gearbeitet, der gleichzeitig als Sender und Empfänger fungiert. Damit sind, über die Echoamplitude und die Echolaufzeit, die Lage und teilweise die Größe der Fehler ermittelbar. Die Beziehung dafür lautet:

$$d = c \cdot \Delta t \quad (6)$$

## **3 Versuchsdurchführung**

### **3.1 Farbeindringprüfung**

Folgende Schritte werden jeweils an jeder Probe durchgeführt:

1. Reinigung der Probe mit einem hydrophilen Lösungsmittel (Wasser)
2. Reinigung der Probe mit einem organischen Lösungsmittel (z.B. Spezialreiniger NPU)
3. Aufbringen und 5 bis 30 minutiges einwirken lassen des Farbeindringmittels (z.B. Penetrant DYE)
4. Reinigen und trocknen der Probe
5. Dünnes aufbringen und trocknen lassen des Entwicklers (z.B. Developer)

Anschließend sind evtl. Risse zu vermerken.

### **3.2 Waddickenmessung und Fehlerbestimmung**

Nach der Eichung des Echographs mit einer definierten Probe kann direkt die Dicke der Probe bestimmt werden. Durch systematisches Abtasten der Probe mit dem longitudinal Prüfkopf (Normal-Prüfkopf S12 HB4), kann der Dickeverlauf bestimmt werden. Die Fehlerbestimmung in der Platte folgt nach dem gleichen Prinzip.

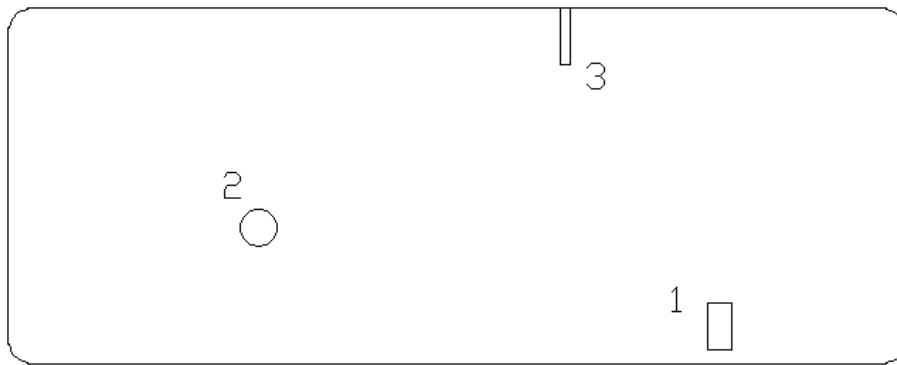


### 4.3 Fehlerbestimmung

Folgende drei Fehlstellen konnten betimmt werden (Das Koordinatensystem ist hat seinen Ursprung in der linken unteren Ecke der Abbildung):

1. Eine etwa 10x30 mm große Verkerbung in 18 mm Tiefe  
Koordinaten:  $x = 195-205$  mm,  $y = 5-35$  mm,  $z = -18$  mm
2. Eine kreisförmige Bohrung mit 20 mm Durchmesser und bei 10 mm Tiefe  
(Mittelpunkts-)Koordinaten:  $x = 70$  mm,  $y = 35$  mm,  $z = -10$  mm
3. Eine seitliche 20 mm tiefe Bohrung mit etwa 5 mm Durchmesser, in einer 20 mm Tiefe  
(von der Plattenoberfläche gesehen).  
Koordinaten:  $x = 115-120$  mm,  $y = 75-95$  mm,  $z = -20$  mm

Folgende Abbildung stellt die Fehlstellen der Platte, mit der Abmessung 240x95x37 mm, grafisch dar:



Die Koordinaten und Abmessungen der Fehlstellen sind nur grobe Werte, da es durch die Abmessungen des Prüfkopfes nicht immer möglich war, genauere Ablesungen zu machen. Beim automatisierten Betrieb ist selbstverständlich eine sehr genaue Ortung der Fehlstellen und ihrer Dimensionen möglich.