

Ultraschall (US) und Mikroseismik (MS)

Seite 1 von 3

Aufgabe

Verfahren zur Bestimmung von Materialkennwerten und Strukturen im Bauteil.

Anwendungen

- Ermittlung der elastischen Wellengeschwindigkeit als qualitatives Maß für die Materialfestigkeit
- Berechnung von elastischen Materialkennwerten aus der Wellengeschwindigkeit
- Bestimmung von Abmessungen (z.B. Plattendicke, Stablängen)
- Detektion von Fehlstellen
- Risttiefenabschätzung

Verfahrensgrundlagen

Sowohl US- als auch MS-Verfahren beruhen auf der Ausbreitung von elastischen Wellen in Materialien. Häufig werden die Raumwellen oder annähernde Raumwellen betrachtet. Im unbegrenzten Festkörper sind dies die Kompressionswellen (schnellste Welle) und die Scherwellen. Unbegrenzt bedeutet dabei im Rahmen der Wellenlänge. Weitere Wellenarten im begrenzten Festkörper wie z.B. Dehn- und Biegewellen (Platte, Stab) können ebenfalls Ziel von Messungen sein. Oberflächenwellen werden dagegen häufig als Störsignal betrachtet.

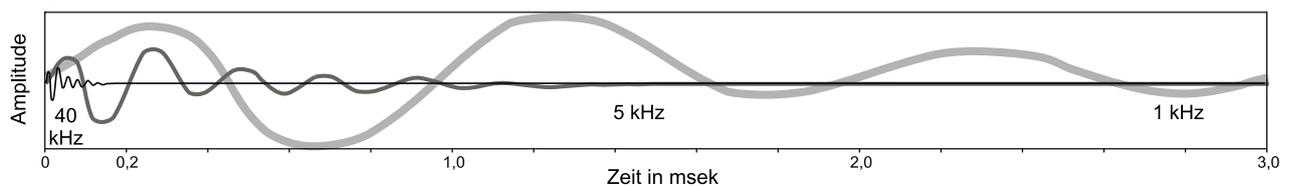
Bei der Messung wird ein US- oder MS-Signal von einem Sender angeregt, läuft im Medium mit einer material- aber in geringerem Maße auch geometrieabhängigen Wellengeschwindigkeit. Das Signal wird dann von einem Empfänger aufgenommen. Auf seinem Weg erfährt das Signal Absorption, Reflexion und Refraktion (Beugung). Gemessen wird die Signallaufzeit, um daraus deren Geschwindigkeit zu ermitteln.

Die **Unterscheidung** von US und MS liegt in der Wellenlänge bzw. dem Frequenzgehalt des impulsartigen Signals (siehe Abb. Z/F). Bei US liegen die Frequenzen jenseits der Hörgrenze. Gebräuchliche US-Sensoren haben Mittenfrequenzen zwischen 40 und 100 kHz. Zur Signalerzeugung und -aufnahme wird vielfach die Piezokristalltechnik verwendet. Im Gegensatz dazu wird das MS-Signal in der Regel durch den Schlag eines Impulshammers auf das Bauteil angeregt. Je nach Masse und Härte des Hammers sowie der elastischen Eigenschaft der Schlagstelle ergeben sich verschiedene Signalfrequenzen, die unterhalb der Hörgrenze von ca. 16 kHz liegen. Zur Signalaufnahme werden häufig Beschleunigungssensoren (Piezokristalltechnik) oder Geophone (Schwingspulentechnik) verwendet. Die Abgrenzung zur Seismik in der Geophysik ergibt sich durch deren großräumigere Anwendung bei Bodenuntersuchungen sowie deren noch niedrigere Signalfrequenzen (unter 0,1 kHz). Die höheren Frequenzen des US bedeuten ein besseres Auflösungsvermögen bzw. eine höhere Genauigkeit und die niedrigeren Frequenzen der MS eine größere Reichweite.

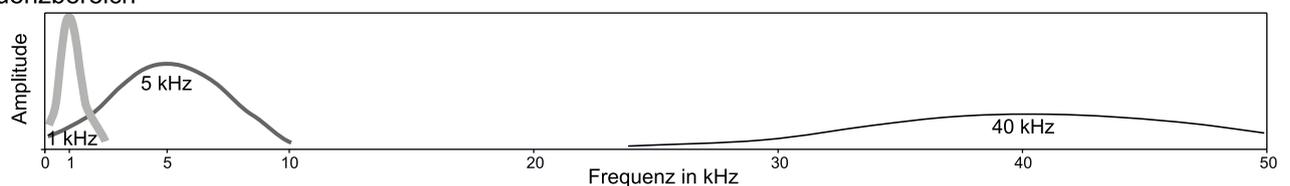
Basierend auf diesen Unterschieden sowie auf den verschiedenen Wellenarten ergibt sich eine Vielzahl von speziellen Messtechniken, von denen ein Teil hier beschrieben wird.

Abb. Z/F Schematischer Vergleich eines 40 kHz US-Signals (dünne schwarze Linie) mit zwei MS-Signalen von 1 kHz (dicke hellgraue Linie) und 5 kHz (mittelgraue Linie) im Zeitbereich zur Beurteilung der Wellenlänge und im Frequenzbereich (Spektrum) zur Beurteilung des Frequenzgehaltes. Die Amplitude der Signale nimmt in der Regel mit der Wellenlänge zu.

Zeitbereich



Frequenzbereich



Ultraschall (US) und Mikroseismik (MS)

Transmissionsanordnung

Bei dieser Anordnung befinden sich der Sender und der Empfänger auf gegenüberliegenden Seiten einer zu durchschallenden Strecke d eines Bauteils. Es ist also eine zweiseitige Zugänglichkeit am Bauteil erforderlich. Ergebnis ist die Laufzeit des Signals t . Die gesuchte Wellengeschwindigkeit v errechnet sich dann nach $v = d/t$. Ggf. wird auch die Form bzw. die Signalveränderung (Amplitudenabnahme) betrachtet. Die Reichweite der Signale wird vor allem durch die Homogenität (im Vergleich zur Wellenlänge) des durchstrahlten Materials bestimmt. Daraus wird klar, dass es sehr große Reichweitenunterschiede geben kann. Bei US wird häufig eine Reichweite bis 50 cm erzielt, kann aber bei sehr homogenem Material (z.B. Marmor) mehrere Meter betragen. Bei MS ist die Reichweite meist unkritisch, da die Wellenlänge groß ist. Zudem können durch größere Impulshämmer stärkere Signale erzeugt werden.

Eine spezielle Ausführung der Transmission ist die **Tomografie**. Hierbei werden jedem Sendepunkt sehr viele Empfangspunkte zugeordnet. Dadurch erhält man eine Vielzahl von Transmissionen unter verschiedenen Winkeln, d.h. der Überdeckungsgrad ist hoch. Die Laufzeiten sowie ggf. die Amplituden der Signale werden durch eine Inversionsrechnung in ein Abbild des durchstrahlten Bauteils überführt (tomografisches Schnittbild). Abbildungsgrundlage ist in der Regel die Wellengeschwindigkeit. Die Signalamplituden werden als Tomografie nur selten ausgewertet.

Anwendungen der Transmissionsanordnung:

- Bestimmung der Wellengeschwindigkeit als Maß für die qualitative Festigkeit
- Berechnung von elastischen Kennwerten aus der Wellengeschwindigkeit
- Ermittlung von Geschwindigkeitanomalien als Hinweis auf Fehlstellen und Hohlräume
- Abschätzung von Risstiefen über Umwegeffekte
- Prüfung auf kraftschlüssige Verbindung oder Ablösungen

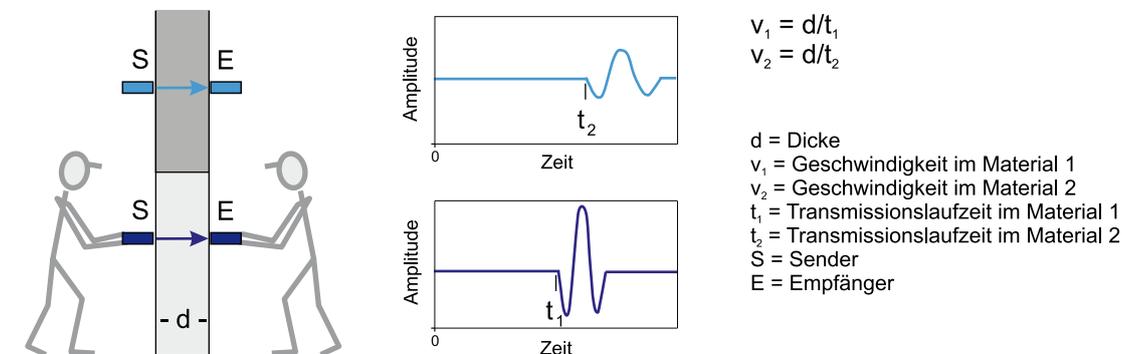


Abb. T-A

Transmission zur Bestimmung der Wellengeschwindigkeit v aus der Laufzeit t des Signals. In Abhängigkeit von der Materialeigenschaft ändert sich die Wellengeschwindigkeit. Auch die Signalamplitude kann sich durch Absorption und Streuung verändern.

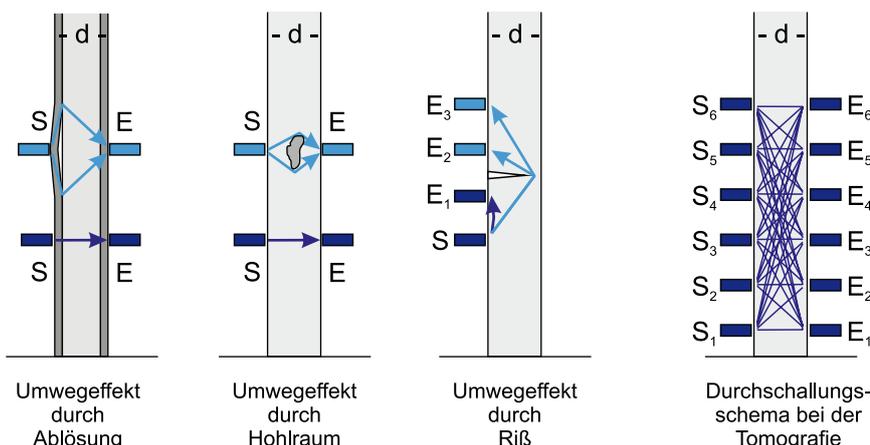


Abb. T-B

links: Durch Umwege der Welle um Fehlstellen ergeben sich Geschwindigkeitsanomalien (erniedrigte Scheingeschwindigkeiten)

rechts: Messanordnung für eine Tomografie

Ultraschall (US) und Mikroseismik (MS)

Seite 3 von 3

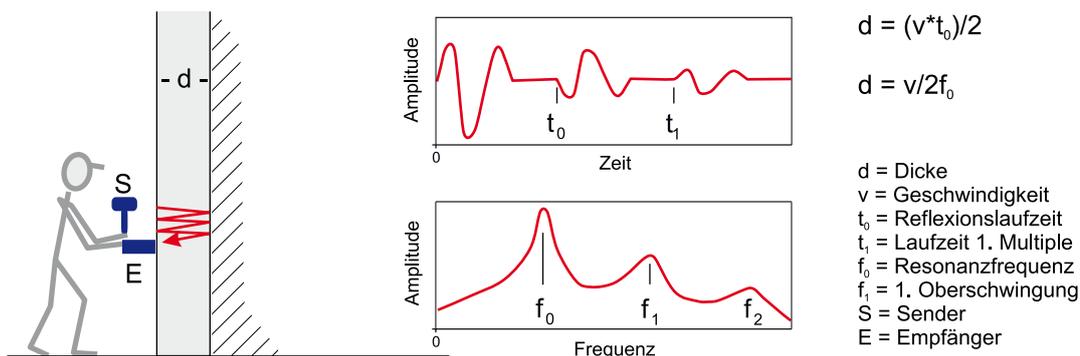
Reflexionsanordnung

Bei dieser Anordnung befinden sich der Sender und der Empfänger nebeneinander am Bauteil. Es wird die Reflexion an der gegenüberliegenden Seite betrachtet. Das Bauteil kann z.B. ein langer Stab sein, an dessen einem Ende S_A ein Impulssignal eingebracht und am anderen Ende S_B reflektiert wird. Bei einer Platte gilt das Gleiche: Impulseintrag auf der Seite P_A und Reflexion auf der gegenüberliegenden Plattenseite P_B . Die Stablänge oder Plattendicke d kann dann bei bekannter Wellengeschwindigkeit aus der Reflexionslaufzeit t_R gemäß $d = v * t_R / 2$ bestimmt werden.

Eine weitere Möglichkeit die Länge oder Dicke zu bestimmen, ergibt sich aus der Betrachtung der stehenden Welle, die sich zwischen den zwei Bauteilenden als Resonanz ausbilden kann. Die erste Resonanzfrequenz f_0 der stehenden Welle L_0 bildet sich aus, wenn die halbe Wellenlänge L_0 des Signals der Bauteillänge oder -dicke d entspricht: $L_0 / 2 = d = v / f_0$. Die Resonanzfrequenz f_0 ist dem Frequenzspektrum der Messdaten zu entnehmen. Die Wellengeschwindigkeit v wird dabei als bekannt vorausgesetzt (separate Messung).

Anwendungen der Reflexionsanordnung:

- Bestimmung von Stablängen mit MS aus der Reflexionslaufzeit (z.B. Pfahlintegritätsprüfung)
- Bestimmung von Plattendicken und -fehlstellen mit MS aus der Resonanzfrequenz (Impakt-Echo)
- Bestimmung von Plattendicken und -fehlstellen mit US (Scherwellen-Array)



Refraktionsanordnung

Sie ist im Merkblatt „Die Refraktionsseismik“ beschrieben. Die Anordnung besteht aus einem einzelnen Sender und einem Empfänger-Array. Das Prinzip der Refraktionsseismik beruht darauf, dass Wellen in Medien hoher Wellengeschwindigkeit elastische Energie in Medien langsamer Wellengeschwindigkeit abstrahlen. Dadurch lassen sich die geometrischen Verhältnisse beschreiben und die Wellengeschwindigkeiten als Maß für die qualitative Festigkeit angeben.

Anwendungen der Refraktionsanordnung:

- Ermittlung der Wellengeschwindigkeiten als refraktionstomografischer Tiefenschnitt längs einer Messlinie.
- Tiefenbestimmung von Fundamenten und Spundwänden (siehe Merkblatt „Mikroseismische Fundamenttiefenbestimmung“)