

# Ultraschall und seine Anwendung

## ► Allgemeines

Ultraschall ist ein Schall bzw. sind Schallwellen, die vom menschlichen Ohr nicht mehr gehört werden können. Seine Frequenzen sind höher als 20 kHz. Ultraschall wird durch elektrisch erregte Kristalle von Quarz erzeugt. Einsatzgebiete des Ultraschalls findet man heute in der Metallurgie beim Lötten von Aluminium, Ultraschallschweißen und -bohren, in der chemischen Industrie z.B. beim Reinigen von Oberflächen, Mischen und Homogenisieren von Flüssigkeiten, in der medizinischen Therapie und vor allem in der medizinischen Diagnostik, in der Werkstoffprüfung, der Messtechnik und Prozessüberwachung, der Lebensmittelindustrie, Elektronik und Mikroelektronik sowie in den Bereichen des Waschens von Textilien, zur Herstellung feinsten fotografischer Emulsion, zur Nachrichtenübermittlung unter Wasser und bei der Echolotung auf Seeschiffen. Seine größte Anwendung und Bedeutung findet der Ultraschall aber in der Medizin, denn mit Hilfe der Ultraschalldiagnostik kann man z.B. menschliche Organe "abtasten" und auf einem Bildschirm sichtbar machen, ohne dass dabei Gewebe zerstört oder geschädigt würde. Anlass für den enormen Aufschwung der Ultraschallanwendungen sind neben der gewaltigen Entwicklung der elektronisch - mikroelektronischen Messtechnik vor allem auch die gewachsenen Kenntnisse über die physikalischen Eigenschaften.

## ► Anwendung in der Medizin

Von jeher war es der Wunsch der Ärzte einmal in den Menschen "hineinschauen" zu können, ohne ihn aufschneiden zu müssen. Dies gelang erstmals nach der Entdeckung der Röntgenstrahlen 1895. Parallel zur Röntgendiagnostik wurde die Ultraschalldiagnostik entwickelt. Sie ist oft einfacher und weniger aufwendig. Bei Ultraschalluntersuchungen ermöglicht der infolge unterschiedlicher akustischer Widerstände an Grenzflächen reflektierte Schall den Aufbau eines Bildes. Voraussetzungen für die Entwicklung der Anwendung des Ultraschalls basierten auf physikalischen Kenntnissen und Grundlagen. Bei der Anwendung des Ultraschalls wird der biophysikalische Grundmechanismus der Wechselwirkung der eingesetzten Strahlung mit dem lebenden Organismus ausgenutzt.

### **Ultraschalldiagnostik:**

Die Methoden der Ultraschalldiagnostik sind zahlreich und breit angewandt. Sie beruhen letztlich auf der Gewinnung von Informationen durch Reflexion des Ultraschalls an den Grenzflächen zwischen Gewebe und Luft, akustisch unterschiedlichen Geweben und an den Grenzflächen zw. Knochen und Geweben. Der Stand der kommerziell erwerblichen Ultraschallgeräte für Therapie und Diagnostik macht den Einsatz des Ultraschalls in vielen Bereichen möglich und ist auf verschiedenen Gebieten anderen Methoden überlegen, z.B. in der Ausmessung der Frucht im Mutterleib oder der sonographischen Nachweisbarkeit von Steinen, die im Röntgenbild keinen Schatten ergeben. Beim Einsatz des Ultraschalls handelt es sich um nichtinvasive und nichtionisierende Prüf- und Heilverfahren. Weitere Anwendung auf medizinischen Gebieten findet der Ultraschall in: Heilbehandlung des Auge - innere Organe - Unterleibsdiagnostik - zur Feststellung von Leberabnormalitäten - für Gallenblasen- und Nierenuntersuchung - bei Harnblasenkontrollen - zur Milz- und Bauchspeicheldrüsenuntersuchung - Gynäkologie - bei Durchblutungsstörungen - zur Herzuntersuchung - bei krankhaften Veränderungen z.B. Tumor - bei der Geburtshilfe u. in der Schwangerschaft und zur Untersuchung der Gelenke. In den letzten 15 Jahren ist die Ultraschalldiagnostik in der Geburtshilfe zu einem unverzichtbaren Bestandteil geworden. In der geburtshelfenden Diagnostik werden, solch geringe Schallintensitäten genutzt, die dem jungen Leben keinen Schaden zufügen. Hierbei ist sehr wichtig, dass Ultraschall eine mechanische Welle und keine elektromagnetische Strahlung ist. In einer Betreuung sollen Risikofälle (z.B. ob sich das Kind in Form und Figur normal entwickelt) ermittelt werden. Es folgt u.a. die Feststellung von Mehrlingsgeburten, die Diagnose ausgeprägter Fehlbildungen, sogar das Geschlecht kann man bestimmen, und viele andere Hinweise für eine komplikationslose Geburt können gewonnen werden. Ultraschall gelangt in den menschlichen Körper, indem man über geeignete Koppelmedien (Öle,

Wasser, Gel) den Ultraschallwandler so auf die Haut aufbringt, dass keine Luftzwischen-schicht o.a. die Schallübertragung stört. Auf dem Weg in das Körperinnere kommt es nun zu einer Wechselwirkung zwischen Schall und dem biologischen Gewebe, den Knochen etc.. Ultraschall findet auch Anwendung bei vielen entzündlichen Prozessen u. Erkrankungen. Durch degenerative Prozesse, z.B. der Gelenke erzielt man durch den Einsatz von Ultraschall gute Heilerfolge. Bei der Ultraschalldiagnostik wird die Reflexion von hochfrequenten Ultraschallwellen an Grenzflächen unterschiedlicher Gewebestrukturen im Körper ausgenutzt.

### ► Anwendung in der Natur

Ultraschall kann nicht nur künstlich erzeugt werden, sondern ist bereits in der Natur vorhanden, denn vieles von dem, was der Mensch in den letzten 50 Jahren auf diesem Gebiet mühsam entwickelt hat, beherrscht der Delphin seit Jahrtausenden. Es ist bekannt, dass sein Sehvermögen sehr begrenzt ist. Durch sein hervorragend funktionierendes Schallorientierungssystem reagiert er sehr schnell und exakt auf auftretende Hindernisse selbst in der Dunkelheit des Meeres. Für Tierarten wie Fledermäuse hat der Ultraschall auch eine große Bedeutung. Ihre Ultraschall - Echo - Orientierung ist eine perfekte Sinnesleistung in dem Sinne, dass sie ohne diese nicht leben können. In der Natur gibt es eine Reihe von Tierarten - von vielen wissen wir es vielleicht noch gar nicht - deren Hörbereich andersartiger bzw. umfangreicher ist als der des Menschen. Die meisten dieser Tierarten benutzen den Ultraschall vor allem zur Informationsübertragung. Das akustische Orientierungssystem scheint bei den Fledermäusen am ausgereiftesten zu sein. Fledermäuse können mit dem Echo - Peilsystem ihre Beutetiere sehr genau "orten" . Die sogenannten "Ultraschallschreie" werden bei Fledermäusen im Kehlkopf, der als Schallerzeuger dient, erzeugt und durch den leicht geöffneten Mund nach außen abgegeben. Treffen diese ausgesendeten Ultraschallwellen auf einen fliegenden Körper, z.B. ein kleines Beutetier, so werden sie reflektiert und gelangen zurück zum Ohr, das als Schallsignalempfänger dient. Die Hörorgane der Fledermäuse müssen zu extremer Schallanalyse hinsichtlich der Frequenz, Frequenzveränderung oder der Intensität, zu einem perfekten und selektiven Analysieren imstande sein. Das Ultraschall - Echo - Orientierungssystem dient den Fledermäusen dazu, sich von der Umgebung ein "Hörbild" zu machen und ihre Beute zu orten.

### ► Echolot

Gerät, mit dem aus der Laufzeit eines ausgestrahlten und nach Reflexion wieder empfangenen Ultraschallimpulses Entfernungen bestimmt werden, z.B. die Tiefe von Gewässern, Fischschwärmen, Gletschern oder die Flughöhe von Flugzeugen. Man unterscheidet zwischen Passiv - und Aktivortung. Bei der Passivortung werden die von einem interessierenden Objekt ausgesendeten Geräusche empfangen und analysiert. Bei der Aktivortung werden entsprechend aufbereitete Signale ausgesendet, und von Hindernissen reflektierten Signale werden empfangen und präzise analysiert.

### Spezialfall Schiff:

Auf einem Schiff werden Ultraschallimpulse ausgesendet und vom Meeresboden bzw. Fischschwärmen reflektiert und gelangen zurück zum Empfänger (werden von ihm wieder aufgenommen). Aus der gemessenen Laufzeit dieses Echos und der Schallgeschwindigkeit im Wasser ermittelt ein Rechner den Weg des Ultraschallimpulses. Gemessen wird die Zeit der Aussendung eines Schallsignals bis zum Eintreffen seines Echos, das beim Auftreffen auf den Grund zurückgeschickt wird. Die vom Schiffsboden aus in schneller Folge ausgesendeten Ultraschallwellen haben eine Frequenz von 20-30 kHz.

## ► Anwendung in der Technik

Ein wesentlicher Vorteil des Ultraschalls in der Metallurgie besteht darin, dass im homogenen Material die Schallabsorption wesentlich geringer ist als von Röntgenstrahlen. Es gelingt bis zu 10m lange Strecken zu durchschallen und z.B. Fehlstrukturen des Materials bzw. Verunreinigungen sichtbar zu machen.

### **Ultraschallprüfung als Qualitätskontrolle:**

Vor allem in den letzten Jahren hat sich die Ultraschallprüfung zur Qualitätskontrolle durchgesetzt. Durch höhere Effektivität der Prüftechnik, die Prüfungsmöglichkeit an größeren Schweißnahtdicken und durch bessere Nachweisbarkeit bestimmter Fehlerarten (z.B.: Risse, Bindefehler) ist die Ultraschallprüfung auch zu einer wertvollen Ergänzung der Röntgen- und Gammadefektoskopie geworden, vor allem aufgrund keiner Schädigung der Gesundheit und durch eine kostengünstigere Alternative zu anderen Methoden (wie z.B. Röntgenstrahlen). Bei der Qualitätskontrolle mittels Ultraschall sind zwei Richtungen zu unterscheiden. Einmal kann aus der Messung von Geschwindigkeit und Absorption eine integrale Information über die Struktur, die Qualität des hergestellten Stoffes geliefert werden. Zum anderen liefert der Ultraschall augenblicklich eine Aussage zu Eigenschaften von Verbunden. Der Schallstrahl des Ultraschalls breitet sich aufgrund seiner quasioptischen Eigenschaften gerichtet wie das Licht aus. Beugungserscheinungen treten nur dann auf, wenn die verursachenden Hindernisse die Größenordnung der Wellen haben. Ultraschallwellen werden von Metallen kaum absorbiert. Es wird die Eigenschaft der Reflexion von Schallwellen ausgenutzt, die an Grenzflächen, aber auch an Fehlstellen, die z.B. durch Risse entstanden, auftritt. Trifft solch ein Schallimpuls auf einen Schweißnahtfehler, so wird er je nach Größe und Form an der Trennfläche reflektiert. Die zurückkehrenden Wellen werden vom Prüfkopf wieder aufgenommen und auf dem Bildschirm als mehr oder weniger hohes Fehlerecho angezeigt, es kann somit die Fehlergröße in Länge und Breite, jedoch nicht in Tiefe angenähert nachgewiesen werden (Höhe des Fehlerechos ist nicht immer gleich der Größe des Fehlers). Die Fehlerart des Werkstückes kann allerdings mittels Ultraschall nicht erkannt werden. Eine der wichtigsten Anwendungen ist die Qualitätskontrolle im Flugzeugbau.

### **Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung:**

Neben der Qualitätskontrolle wird der Ultraschall also auch zur zerstörungsfreien Werkstoffprüfung verwendet. Ein wesentlicher Vorteil des Ultraschalls in der Metallurgie besteht darin, dass im homogenen Material die Schallabsorption wesentlich geringer ist als bei Röntgenstrahlen und somit eine genauere Bestimmung der Fehler im Werkstück mittels Ultraschalls erfolgen kann. Es gelingt auch bis zu 10m lange Strecken zu durchschallen und Fehlerstrukturen im Material bzw. Verunreinigungen sichtbar zu machen. Bei der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung werden Schweißnähte analysiert und der Schweißvorgang kann kontrolliert beobachtet werden. Zur Schweißnahtprüfung werden häufig Impulsverfahren angewendet. Eventuelle Lunker oder andere Inhomogenitäten können leicht aus dem Impulsbild sichtbar festgestellt werden. Es gibt viele kommerzielle Geräte. Neue Entwicklungen auf diesem Gebiet sind dadurch gekennzeichnet, dass komplizierte Wandler eingesetzt wurden, die z.B. einen wählbaren Winkelbereich überstreichen. Mit Mikroprozessoren ausgestattete Geräte können dann äußerst vielgestaltige Auswertungen ermöglichen. Form, Größe, Verteilung der Einschüsse oder Fehlerstellen können ermittelt werden, wenn nicht nur die Amplitude, sondern auch der Frequenzinhalt der erhaltenen Signale analysiert wird.

### **Ultraschallprüfung:**

Das Verfahren beruht auf dem Prinzip der Laufzeitmessung des Schalls. Fehler im Werkstückinneren, wie Risse, Lunker in Gussteilen und Gasblasen, aber vor allem Bindefehler in Schweißnähten, kann man nach Lage und Größe auf einem Bildschirm als Resonanzwelle sichtbar machen, bei fehlerfreiem Werkstück dürfen keine Resonanzwellen

auftreten. Die Schallwellen, ausgesendet von einem Schallkopf, werden nämlich an der Werkstückrückwand, aber auch an Fehlerstellen reflektiert. An den Grenzflächen solcher Fehlerstellen treten Änderungen der akustischen Eigenschaften auf und die Ursachen der Schallschwächung in diese Fällen sind diffuse Reflexionen, also keine Absorption. Durch Versetzen des Schallkopfes können Größe und Lage des Fehlers im Werkstück lokalisiert werden. Nach dem selben Prinzip lässt sich auch die Dicke von Werkstücken, z.B.: Blechdicke von Behältern, Rohrwandstärke bestimmen. Die Eichung und Bedienung von Ultraschallgeräten verlangt allerdings viel Geschick und Erfahrung.

### ► Anwendung in Elektronik und Mikroelektronik

#### **Ultraschallschweißen:**

Zu einer ausgereiften Technologie haben sich in den zurückliegenden 30-40 Jahren das Ultraschalllöten und -schweißen entwickelt. Löten und Schweißen stellen eine Anwendung des Leistungultraschalls dar. Verfolgte man ursprünglich vor allem das Ziel, Aluminium und Aluminiumlegierungen zu löten, gelingt es heute, viele Metalle durch Ultraschall zu schweißen. Die zu schweißenden Komponenten können gleichartige und ungleichartige Metalle sein. Auch Plaste schweißt man mit Ultraschall. Für das Löten mit Ultraschall nutzt man die Ultraschallkavitation aus. Man benötigt ein Flussmittel z.B. Zinn, das zum Lötzweck erwärmt werden muss. Die bekannteste Ultraschallschweißmethode ist das Kaltpressschweißen. Dieses Kaltpressschweißen hat den Nachteil, dass hohe Drücke erforderlich sind und erhebliche Verformungen auftreten. Beim Kaltpressschweißen kommt es zu einer innigen Berührung der Teile in der Schweißebene und zu einer stoffschlüssigen Verbindung. Dabei werden die Oberflächenschichten zerstört und mit den Verschmutzungen seitlich herausgequetscht. Eine Ultraschallschweißmaschine hat die Aufgabe, hochfrequente mechanische Schwingungen zu erzeugen, diese der Schweißstelle zuzuleiten und Schweißteile unter Druck zu fixieren.

#### **Ultraschallmikroskop:**

Das Mikroskop ist ein Gerät, mit dem von einem sehr kleinen, für das Auge nicht mehr wahrnehmbares Objekt ein deutlich vergrößertes Bild erzeugt wird. In Luft oder anderen durchsichtigen Stoffen sind wir es gewöhnt, mit dem optischen Mikroskop zu arbeiten. Schallwellen werden in Luft und in Gasen stark gedämpft, ihre Reichweite ist gering. In Festkörpern und Flüssigkeiten können sie jedoch eindringen, auch wenn sie optisch undurchsichtig sind. Schallwellen besitzen hier gegenüber Lichtwellen einen großen Vorteil. Mit dem akustischen Mikroskop werden Objekte deutlich, die sich durch elastische Eigenschaften und verschiedene Schallgeschwindigkeiten unterscheiden. Beim Ultraschall ermöglicht der an Grenzflächen unterschiedlicher akustischer Impedanz reflektierte Schall den Aufbau eines Bildes. Lichtmikroskop und Ultraschallmikroskop sind keine Konkurrenten, sondern ergänzen einander. Vorteilhaft einsetzbar sind akustische Mikroskope (Ultraschallmikroskope) in der biologischen und medizinischen Forschung. Viele Strukturen lebender Zellen haben Abmessungen im Mikrometerbereich. Kleine Strukturelemente unterscheiden sich häufig stark in ihren elastischen Eigenschaften. Da die Proben in Wasser eingebettet sind und weder getrocknet noch angefärbt oder dem Vakuum ausgesetzt werden müssen, ist die Untersuchung am lebenden Material möglich. Besonders gut geeignet sind akustische Mikroskope auch in der Elektronik, z.B. bei der Untersuchung mikroelektronischer Schaltkreise. Die gewonnen akustischen Bilder sind kontrastreicher als optische Aufnahmen. Als weitere Einsatzmöglichkeit seien genannt die zerstörungsfreie Werkstoffprüfung, die Prüfung von Metalloberflächen und die Untersuchung von Festkörpern auf verschiedene Zustände.

### ► Anwendung des Leistungultraschalls

Zielstellung des Leistungultraschalls ist die bewusst gezielte Stoffveränderung oder -zerstörung. Deshalb ist es berechtigt zu sagen, dass das Ultraschallschweißen eine Anwendung des Leistungultraschalls ist, da dort unter hohem Druck Material verändert wird, indem es zusammengeschweißt wird. In der Biotechnologie werden Fermente aus tierischem und pflanzlichem Material mittels Ultraschallkavitation extrahiert. Hier wird der

Ultraschall zur Zerstörung von schädlichen Mikroorganismen verwendet, z.B. beim Tierarzt die Ultraschallzahnsteinentfernung bei Tieren mittels Ultraschall.

### ► Literaturangabe

- Bertelsmann Universallexikon A-Z. 1.Auflage. Bertelsmann Bibliographisches Institut. Leipzig. 1988.
- Jugendlexikon. Gerhard Butzmann. 14.Auflage. Bertelsmann Bibliographisches Institut. Leipzig. 1987.
- Neues Großes Schülerlexikon. Erik Fock und Heinz Gascha. Sonderausgabe. 1994.
- Schweißerlehrbuch. Zentralinstitut für Schweißtechnik. Halle.
- Ultraschall in Wissenschaft und Technik. Georg Sorge und P. Hautmann. 1.Auflage. BSB B.G. Teubner Verlagsgesellschaft. Leipzig. 1985.