

## So funktionieren Ultraschallköpfe

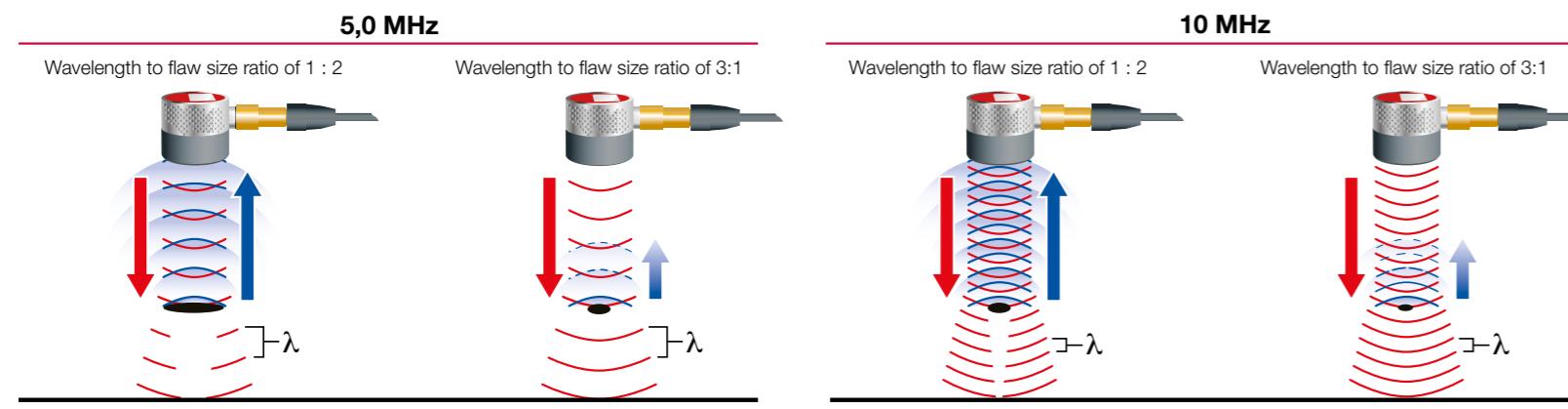
### Auswahl der Frequenz

Mit zunehmender Frequenz nimmt die Wellenlänge ab, was die Erkennung kleiner Fehler und genauer Wanddicken/Fehlerpositionen ermöglicht. Mit abnehmender Frequenz nimmt die Wellenlänge zu, was eine größere Durchdringung in dicke und schalldämpfende Materialien ermöglicht. Zudem beeinflussen andere Faktoren, wie Nahfeldlänge, Schallbündelausbreitung und Schallbündeldurchmesser die Frequenzauswahl.

Bei üblichen Impuls-Echo-Kontaktechniken, wie Kontaktprüfungen von feinkörnigen Stählen, werden in der Regel Frequenzen zwischen 2,25 MHz und 5,0 MHz verwendet. Gussteile aus Stahl mit mittelhohem Kohlenstoffgehalt werden häufig mit einer Frequenz zwischen 1,0 MHz und 5,0 MHz geprüft. Hochlegierte Stähle mit hohem Kohlenstoffgehalt können niedrigere Frequenzen zwischen 0,5 MHz und 1,0 MHz erfordern. Für Prüfungen von dünnen Kunststoffen und Keramiken werden Frequenzen von 20 MHz und höher verwendet. Allgemein gilt, dass die Wellenlänge gleich lang oder kleiner sein muss als die Mindestgröße des zu erkennenden Fehlers.

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

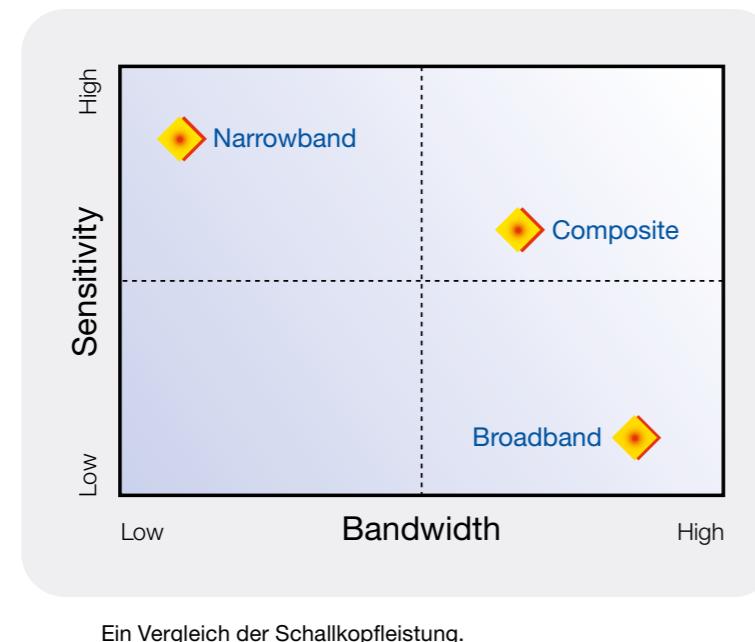
Wobei:  $\lambda$  = Wellenlänge  
c = Schallgeschwindigkeit im Material  
f = Frequenz



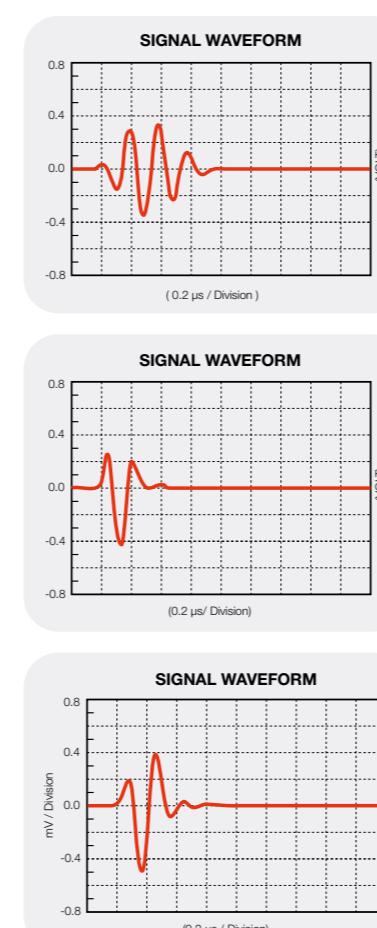
Mit zunehmender Frequenz nimmt die Wellenlänge ab, wodurch die Empfindlichkeit gegenüber kleinen Fehler verbessert wird.

### Warum ist die Bandbreite wichtig?

Die Bandbreite eines Schallkopfs bestimmt seine ausgesendete Frequenz, was sich wiederum auf seine Leistung auswirkt. Die Bandbreite wird allgemein als die Spanne zwischen der unteren und oberen Grenzfrequenz definiert, die im Spektrum bei einer Amplitude von -6 dB an der Mittenfrequenz auftritt. Eine schmale Bandbreite verbessert häufig die Empfindlichkeit, während eine große Bandbreite eine bessere Auflösung nahe der Oberfläche ermöglicht.

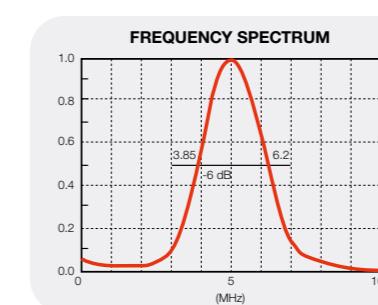


Ein Vergleich der Schallkopfleistung.



### Schmalband-Schallköpfe

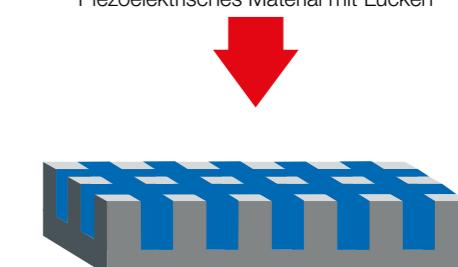
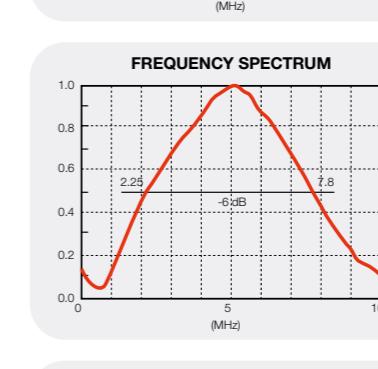
Ein Schmalband-Schallkopf hat aufgrund der leicht geschwächten Auslegung des Schallkopfs ein kleineres Frequenzspektrum und kehrt langsamer in den Ruhezustand zurück, wodurch er empfindlicher für Reflexionen von kleineren Indikationen ist. Diese Schallköpfe werden zur Fehlererkennung und Fehlergrößenbestimmung verwendet.



Piezoelektrisches Material mit Lücken

### Breitband-Schallköpfe

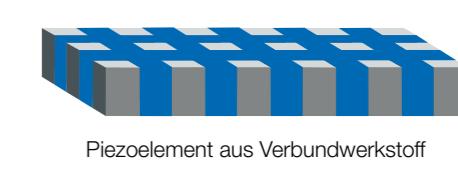
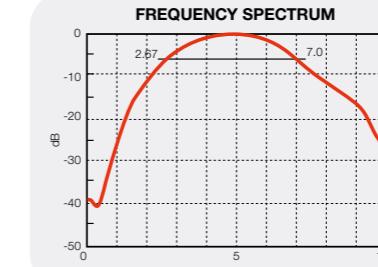
Ein Breitband-Schallkopf hat aufgrund der stark geschwächten Auslegung zur Verbesserung der axialen Auflösung nahe der Oberfläche ein größeres Frequenzspektrum und eine kürzere Zeit für die Rückkehr in den Ruhezustand. Diese Schallköpfe werden normalerweise für Dickenmessungen, Schallgeschwindigkeitsmessungen und Laufzeitbeugungstechniken verwendet.



Piezoelektrisches Material aufgefüllt mit Epoxidharz

### Schallköpfe aus Verbundwerkstoff

Ein Schallkopf aus Verbundwerkstoff besteht aus einem Standardelement mit Lücken, die mit Epoxidharz aufgefüllt sind, wodurch sich die mechanischen und elektrischen Eigenschaften verändern. Dies ergibt einen Schallkopf mit einer großen Bandbreite und einer hohen Empfindlichkeit. Elemente aus Verbundwerkstoff haben eine niedrige akustische Impedanz, was zu einer effizienteren Energieübertragung in andere Materialien mit niedriger Impedanz führt. Verbundwerkstoffe sind vorteilhaft für die Erkennung von Fehlern in schalldämpfenden Materialien, die eine gute Auflösung nahe der Oberfläche, eine hohe Empfindlichkeit und ein hohes Signal-Rausch-Verhältnis erfordern.



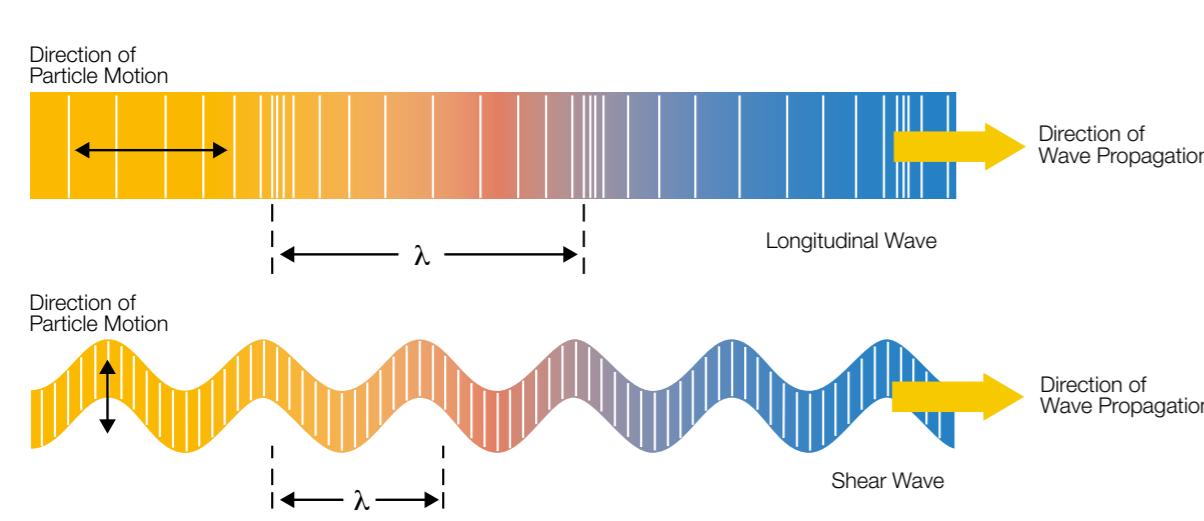
Piezoelement aus Verbundwerkstoff

### Ist der Wellenmodus wichtig?

Ein Wellenmodus wird durch die Bewegung der Moleküle im Prüfteil definiert. Die beiden häufigsten Wellenmodi für die zerstörungsfreie Ultraschallprüfung sind Longitudinalwellen und Transversalwellen. Diese beiden Modi bewegen sich im Material mit unterschiedlichen Schallgeschwindigkeiten. Die Länge der Transversalwelle ist normalerweise fast die halbe Wellenlänge der Longitudinalwelle bei einer festgelegten Frequenz.

**Longitudinalwellen:** In diesem Modus bewegen sich die Partikel in die gleiche Richtung wie die Wellenbewegung. Longitudinalwellen werden für die meisten Dickenmessungen und Fehlererkennungen mit Senkrechteschallung und Schrägeschallung in grobkörnigen Materialien (wie Edelstahlguss) verwendet, bei denen kürzere Wellenlängen nicht durchdringen können.

**Transversalwellen:** In diesem Modus bewegen sich die Partikel lotrecht zur Wellenbewegung. Da die Länge von Transversalwellen allgemein die halbe Wellenlänge der Longitudinalwelle beträgt, können kleinere Fehler mit einer bestimmten Frequenz lokalisiert werden. Transversalwellen werden verwendet, um die Erkennung kleiner Reflektoren mit Schrägeschallung zu verbessern und um die Schallgeschwindigkeitskomponenten von Transversalwellen zur Materialbeschreibung zu bestimmen.



Vergleich der Partikelbewegung mit Transversalwellen und Longitudinalwellen.

### Schallkopftypen



#### Sender-Empfänger-Schallkopf

Dieser Schallkopf verwendet getrennte Element zum Senden und Empfangen, um einen Pseudofokus zu erzeugen, was für die Prüfung von Prüfteilen mit rauen Rückwandoberflächen vorteilhaft ist. Die Anwendungen umfassen Messungen der Restwanddicke, Überwachung von Korrosion/Erosion und Hochtemperaturanwendungen.

#### Kontaktschallkopf

Dieser Schallkopf ist für die Prüfung mit direktem Kontakt zum Prüfteil vorgesehen und hat normalerweise eine harte Verschleißoberfläche, die für den Kontakt mit den meisten Metallen optimiert ist. Die Anwendungen umfassen die Fehlererkennung mit Senkrechteschallung, Dickenmessung und Messung der Schallgeschwindigkeit.

#### Winkelschallkopf

Der austauschbare oder integrierte Vorlaufkeil führt den Schall schräg durch das Prüfteil. Die Hauptanwendungen umfassen die Schweißnahtprüfung und andere Techniken zur Fehlererkennung und Rissabmessung, einschließlich Laufzeitbeugung.

#### Vorlaufstreckenschallkopf

Die Verwendung eines zusätzlichen Materialteils, das als Vorlaufstrecke zwischen dem Schallkopf und dem Prüfteil bezeichnet wird, trennt Echos von den angerichteten Sendesignalen und isoliert das Schallkopflement vor Hitze. Die Anwendungen umfassen die Dickenmessung und Fehlererkennung von dünnen Materialien und Hochtemperaturanwendungen.

#### Schallkopf für die Tauchtechnik

Dieser Schallkopf ist zur Prüfung eines Prüfteils vorgesehen, das sich teilweise oder vollständig im Wasser befindet. Das Wasser dient als einheitliches Ankoppelmittel und als flüssige Vorlaufstrecke. Dieser Schallkopf eignet sich für automatisierte Prüfungen, Inline-Dickenmessungen und sehr schnelle Fehlererkennungen und kann auch fokussiert werden, um die Empfindlichkeit gegenüber kleinen Reflektoren zu verbessern.

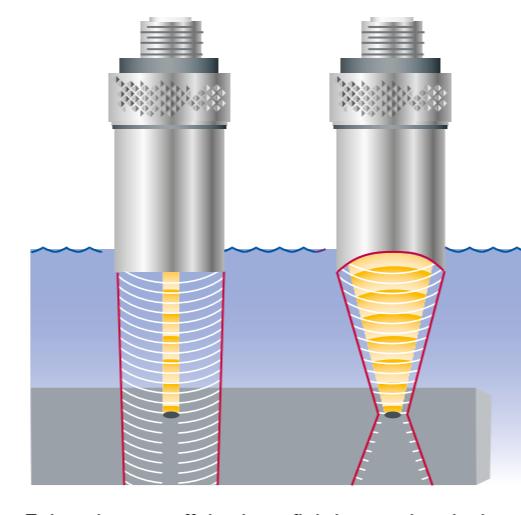
### Was macht die Fokussierung?

Bei einem Schallkopf mit flacher Oberfläche wird die Nahfeldgrenze des Schallkopfs als natürlicher Fokus des Schallbündels betrachtet. Das ist der Punkt, an dem die meiste Schallenergie pro Flächeneinheit und an dem die höchste Echo von einem Ziel oder Reflektor vorliegt. Tauchtechnik-Schallköpfe können mit einer Linse fokussiert werden, um die Konzentration der Schallenergie am Fokuspunkt zu erhöhen. Wird die Schallenergie auf einen kleineren Schallbündeldurchmesser fokussiert, wird mehr gesendete Energie des Schallkopfs von einer kleinen Indikation reflektiert. Schallköpfe können sphärisch und zylindrisch fokussiert werden.

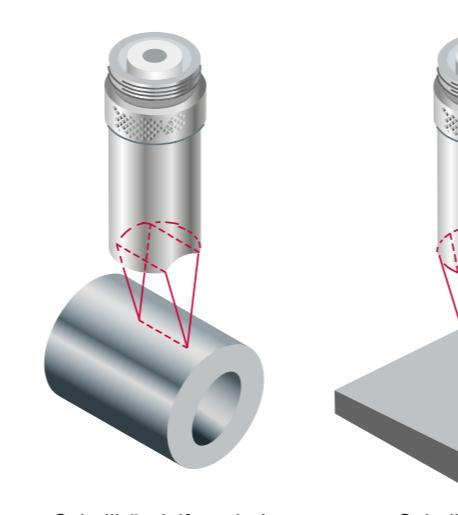
Der Schallbündeldurchmesser ist gemäß folgender Formel von der Fokuslänge, der Schallgeschwindigkeit im Material, der Frequenz und dem Elementdurchmesser abhängig:

$$BD (-6 \text{ dB}) = \frac{1,02 \text{ Fc}}{fD}$$

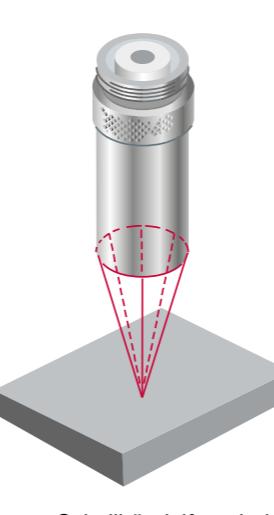
Wobei:  
BD = Schallbündeldurchmesser  
F = Fokuslänge  
c = Schallgeschwindigkeit im Material  
f = Frequenz  
D = Elementdurchmesser



Fokussierungseffekt der reflektierten akustischen Energie.



Schallbündelform bei zylindrischem Fokus.



Schallbündelform bei sphärischem Fokus.

### Welchen Effekt hat das Nahfeld?

Das Nahfeld ist der Bereich direkt vor dem Schallkopf, in dem die Echoamplitude aufgrund konstruktiver und destruktiver Interferenzen durch das vibrierende aktive Element stark variiert. Das Ende des Nahfelds ist der natürliche Fokus des Schallkopfs und der Punkt, an dem das Schallfeld ein Amplitudemaximum erreicht, wonach der Schallfelddruck stufenweise auf Null abfällt. Die Nahfeldlänge ist gemäß folgender Formel von dem Elementdurchmesser, der Frequenz und der Schallgeschwindigkeit im Material abhängig:

$$N = \frac{D^2 f}{4c}$$

Wobei:  
N = Nahfeld  
D = Elementdurchmesser  
f = Frequenz  
c = Schallgeschwindigkeit im Material

