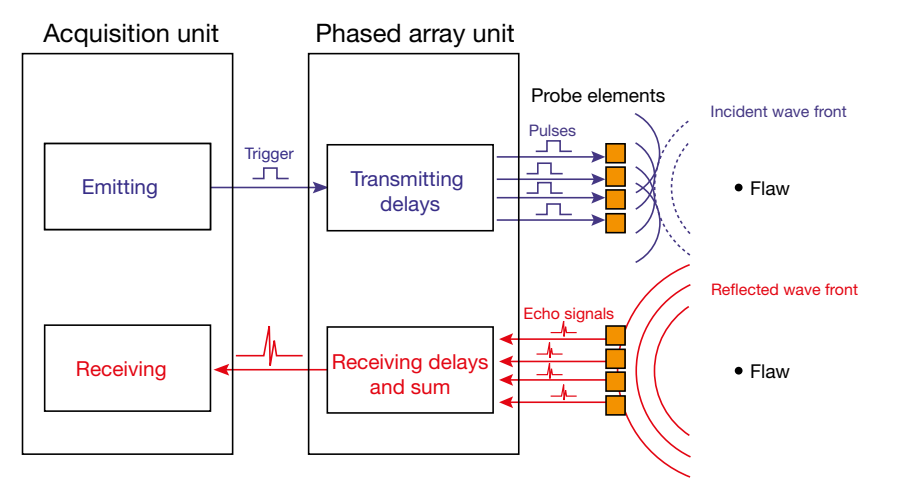


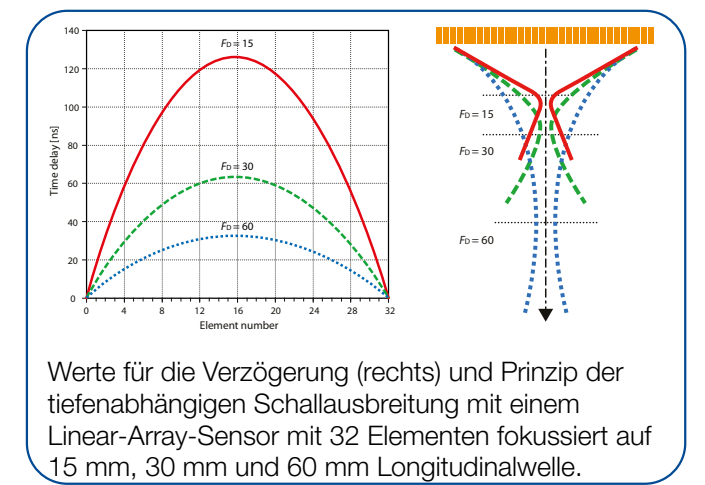
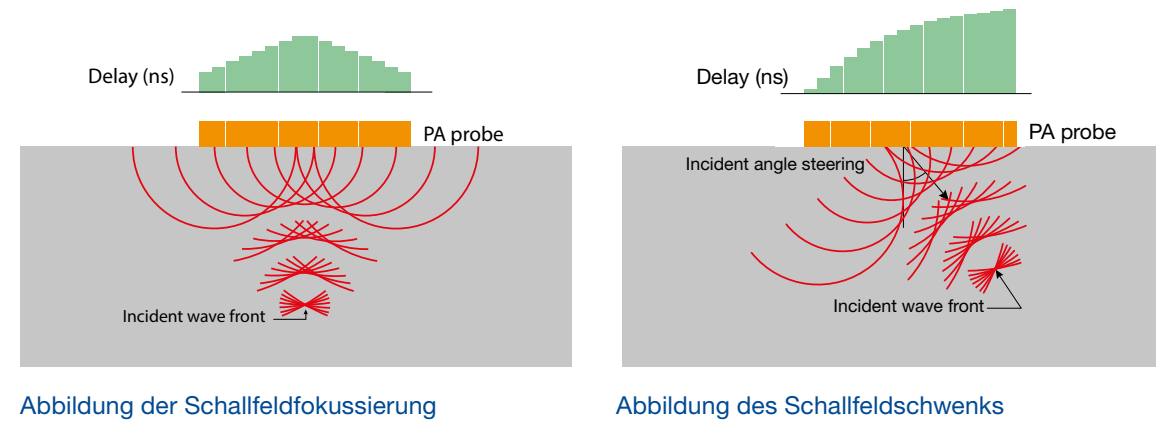
So funktioniert die Phased-Array-Technologie

Grundlagen

Das, was die Phased-Array-Prüfung (PA) von der Ultraschallprüfung (UT) unterscheidet, ist die computergesteuerte Anregung (Amplitude und Vorlauf) jedes einzelnen Elements eines Phased-Array-Sensors. Die Anregung von mehreren Piezoelementen aus Verbundwerkstoff erzeugt ein fokussiertes Schallbündel. Die Software kann dann zur dynamischen Bearbeitung von Schallbündelparametern, wie Winkel, Fokusabstand und Größe des Fokuspunktes, verwendet werden. Um ein phasenverschobenes Schallbündel durch konstruktive Interferenz zu erstellen, werden die verschiedenen aktiven Elemente zu leicht verschobenen Zeitpunkten angeregt. In gleicher Weise wird das Echo des Fokuspunktes an den verschiedenen Prüfkopfelementen mit einer berechenbaren Verzögerung empfangen, die berechnet werden kann. Die von den Elementen empfangenen Echos werden zeitlich versetzt summiert. Diese resultierende Summe ist ein A-Bild, das das Signal des gewünschten Fokuspunktes hervorhebt und Echos anderer Punkte im Prüfteil abschwächt.



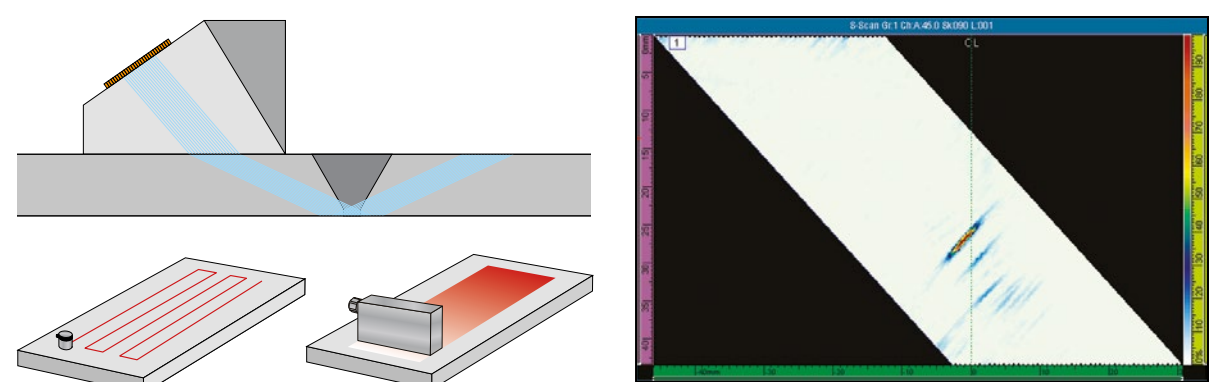
Beispiele für Sendemodulierungen



Schallfeldsteuerung

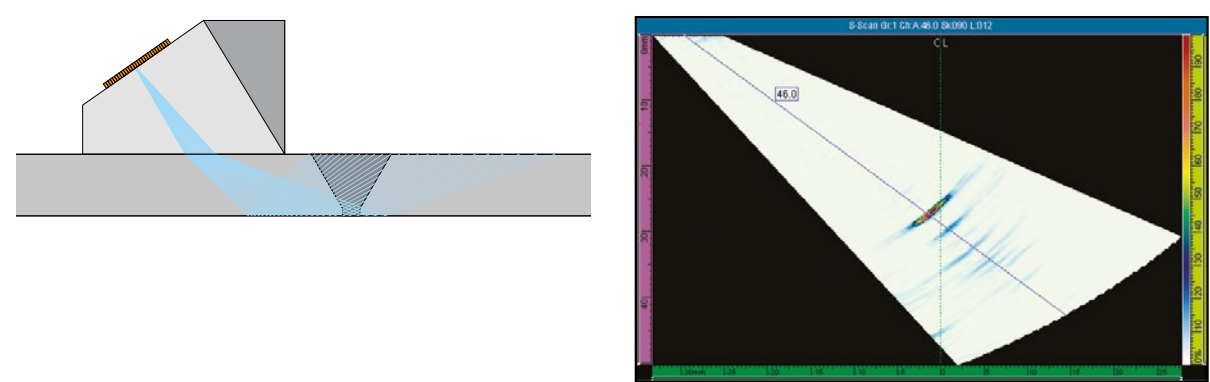
Elektronisches lineares Abtasten (Linien-Scan)

Beim elektronischen Scannen wird eine Gruppe von aktiven Elementen unter gleichen Schallfeldbedingungen bewegt. Die Bewegung erfolgt in einem Winkel entlang der Sensorachse (Apertur). Diese entspricht dem Raster-Scan eines konventionellen Schallkopfs bei der Durchführung von flächigen Korrosionsprüfungen oder einer Transversalwellenprüfung. Mit einem schrägen Vorlaufkeil werden die verschiedenen Verzögerungen im Keil kompensiert.



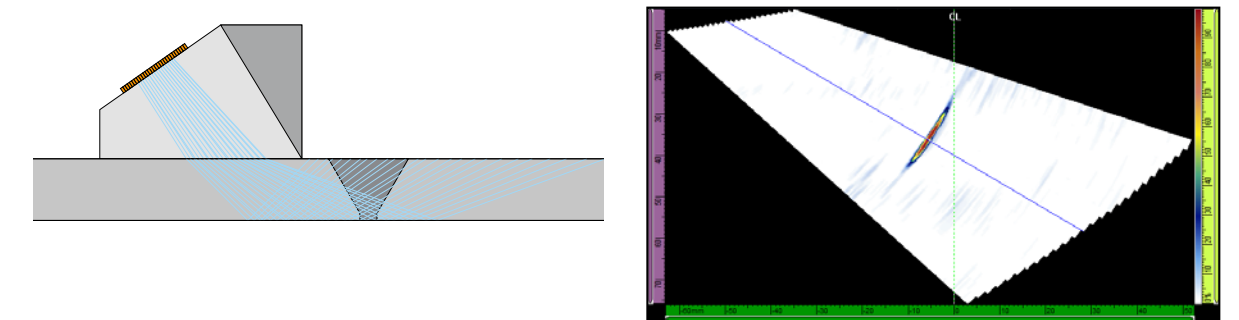
Sektor-Scan

Mit dem Sektor-Scan, auch Winkel-Scan genannt, wird das Ultraschallfeld in einem bestimmten Winkelbereich mit einem definierten Fokus unter Benutzung derselben Ultraschallelemente geschwenkt. Es können weitere Einschallbedingungen hinzugefügt werden. Die Winkelbereiche können ebenfalls unterschiedlich sein.



Kombinierter Scan

Ein kombinierter Scan ist eine verbesserte Prüfstrategie in Anwendungen, wie der Schweißnahtprüfung. Ein kombinierter Scan besteht aus linearen und sektoriellen Schallbündeln. Die geringe aktive Apertur erzeugt das Schallbündel mit kleinem Winkel und die größere aktive Apertur erzeugt das Schallbündel mit größerem Winkel. Diese Technik erzeugt ein kombiniertes S-Bild, das eine höhere Erkennungswahrscheinlichkeit, schnellere Prüfungen, kürzere Einstellungs- und Justierzeiten, schnellere Datenanalysen und kleinere Dateigrößen ermöglicht. Bei der Schweißnahtprüfung führt diese Technik zu einer besseren Schweißnahtabdeckung.



Phased-Array-Sensoren

Linear Array Sensoren sind die am häufigsten für Anwendungen in der Industrie eingesetzten Phased-Array-Sensoren, was die aktive Sensorapertur zu einem der wichtigsten Merkmale macht.

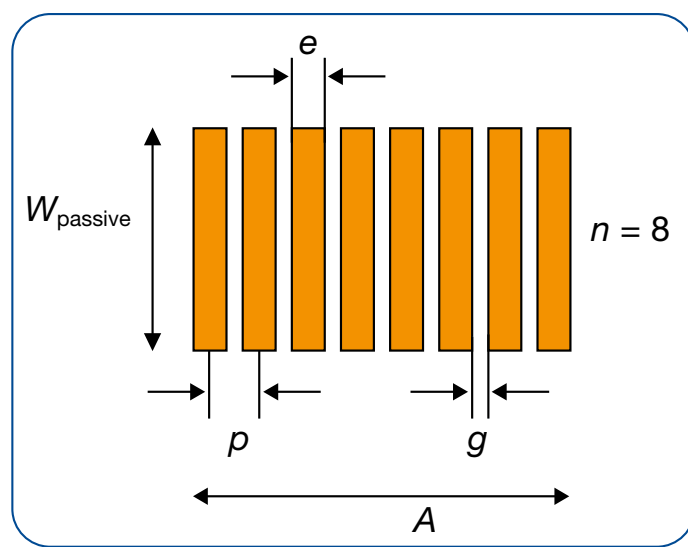
Die aktive Apertur (A) ist die aktive Gesamtlänge des Sensors. Die Apertur wird durch folgende Formel definiert:

$$A = (n-1) \cdot p + e$$

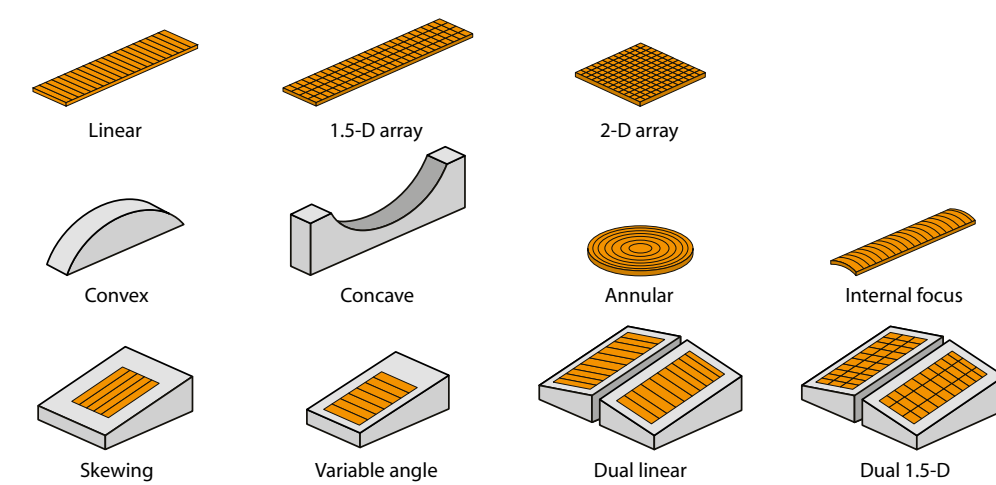
wobei: n = Anzahl Elemente im PA-Sensor
 p = Abstand der Elemente, gemessen von Mitte zu Mitte zweier nebeneinanderliegender Elemente
 e = Elementbreite – Breite eines einzelnen Piezoelements (ein praktischer Wert ist $e < \lambda/2$)
 g = Abstand zwischen den Elementen

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

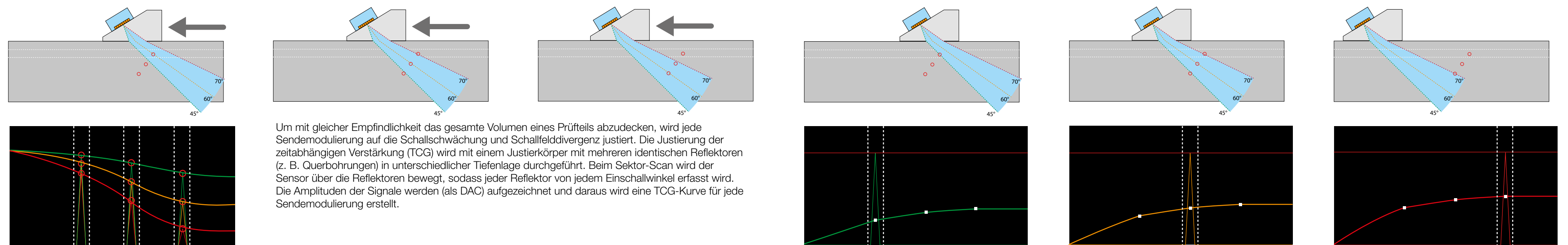
wobei: λ = Wellenlänge
 v = Schallgeschwindigkeit im Material
 f = Frequenz



Phased-Array-Sensoren werden in verschiedenen Formen und Größen für verschiedene Anwendungsbereiche hergestellt. Einige Beispiele sind hier dargestellt:



Zeitabhängige Verstärkung

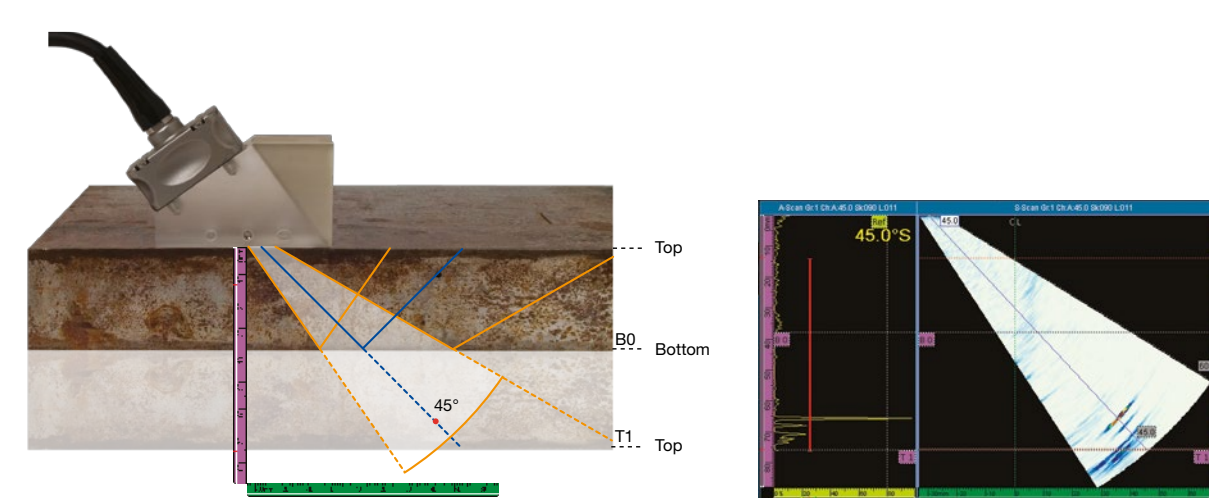


DAC-Kurve (Laufzeit-Amplituden-Kurve) wird zum Erstellen der zeitabhängigen Verstärkung (TCG) benutzt.

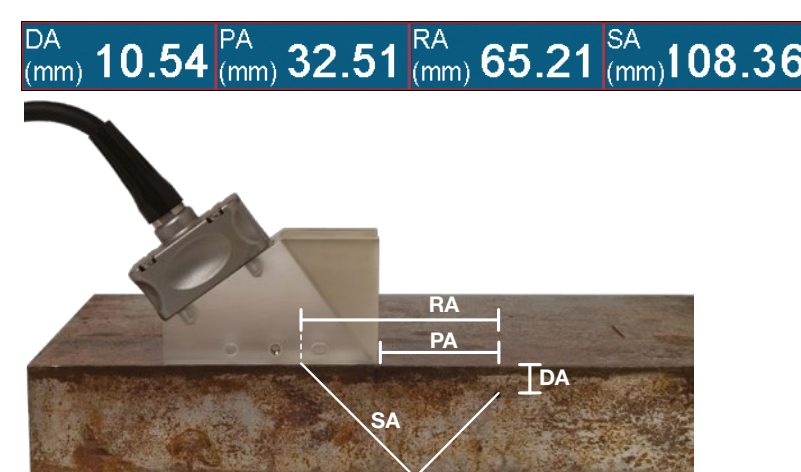
Um mit gleicher Empfindlichkeit das gesamte Volumen eines Prüfteils abzudecken, wird jede Sendemodulierung auf die Schallschwächung und Schallfelddivergenz justiert. Die Justierung der zeitabhängigen Verstärkung (TCG) wird mit einem Justierkörper mit mehreren identischen Reflektoren (z. B. Querbohrungen) in unterschiedlicher Tiefenlage durchgeführt. Beim Sektor-Scan wird der Sensor über die Reflektoren bewegt, sodass jeder Reflektor von jedem Einschallwinkel erfasst wird. Die Amplituden der Signale werden (als DAC) aufgezeichnet und daraus wird eine TCG-Kurve für jede Sendemodulierung erstellt.

Nach der Fertigstellung der TCG-Justierung hat jede Sendemodulierung eine eigene TCG-Kurve. Dadurch wird jeder Reflektor gleicher Größe mit derselben Amplitude, unabhängig von der Tiefenlage und dem reflektierten Einschallwinkel, angezeigt. Gleiche Reflektoren aus 3 mm Tiefe mit 45° oder 10 mm Tiefe mit 60° getroffen, erzeugen dieselben Amplituden.

Lokalisierung des Fehlers



Bei manuellen Prüfungen sind Messwerte in Echtzeit entscheidend für die schnelle Positionierung der reflektierenden Signalquelle entsprechend der Prüfteilgeometrie und/oder der Sensorposition.



Die Messwerte RA, PA, DA und SA helfen dem Prüfer, die Lage des Fehlers während der Prüfung in Echtzeit zu bestimmen.

RA Referenzpunkt zur Indikation in Blende A
PA Vorderkante des Sensors zur Indikation in Blende A
DA Tiefe der Indikation in Blende A
SA Länge des Schallwegs zur Indikation in Blende A

Sensortypen



Winkelsensoren

Winkelsensoren werden mit einem austauschbaren oder integrierten Vorlaufkeil verwendet, um eine gebrochene Transversal- oder Longitudinalwelle in ein Prüfteil einzuschallen. Die Winkelsensoren sind für verschiedenen Anwendungen ausgelegt und können verwendet werden, um den Winkel des gebrochenen Schallbündels oder die Neigung des Schallbündels, je nach Vorlaufkeilausrichtung zu variieren. Die Sensoroberfläche ist akustisch an den Vorlaufkeil angepasst.

Sensoren mit Gehäuse mit kleiner Totzone

Diese Sensoren mit einem Gehäuse mit kleiner Totzone minimieren die Totzone an den Sensorenden, da der Abstand zwischen dem letzten verfügbaren Element und der äußeren Kante des Gehäuses reduziert ist. Dieser Sensortyp eignet sich für die Prüfung von abgerundeten und eckigen Ecken von Komponenten aus Verbundwerkstoffen oder für Anwendungen, bei denen ein naher Kontakt mit einer Wand mit einem 0°-Vorlaufkeil erforderlich ist.

Sensoren für die Tauchtechnik

Sensoren für die Tauchtechnik werden mit einer Wasservorlaufstrecke oder in einem Tauchtank eingesetzt, in dem das Prüfteil teilweise oder ganz eingetaucht ist. Das Wasser erfüllt hierbei die Funktion des Koppelmittels und der Vorlaufstrecke. Die Tauchtechniksensoren senden eine Longitudinalwelle, die für die Prüfung mit gebrochenen Transversalwellen unter Wasser eingerichtet werden kann. Diese Sensoren werden hauptsächlich für automatisierte Prüfungen eingesetzt.

2-D und 1.5-D Array Sensoren

Zweidimensionale Arrays haben mehrere Reihen von linearen Arrays, um die elektronische Fokussierung und Steuerung auf zwei Sensorachsen zu ermöglichen. Zweidimensionale Arrays haben entlang beider Achsen die gleiche Anzahl Elemente, während 1,5-D-Sensoren jede Kombination mit einer ungeraden Anzahl Elemente enthalten. Die Sensoren eignen sich besonders, um eine optimale Fokussierung zu erreichen oder um einen festgelegten Bereich ohne Sensorbewegung abzudecken.

Dual Array Sensoren

Zwei lineare oder zwei 1,5-D-Array-Sensoren können auf einem Vorlaufkeil mit Dachwinkel positioniert werden. Einer der Sensoren wird als Sender verwendet, während der andere als Empfänger dient. Diese Konfiguration bietet optimale Leistung bei schallstreuenden Materialien, wie austenitischem Stahl, und ist in der Energieerzeugungsindustrie weit verbreitet.