

# Lösungen für die Prüfung von Verbundwerkstoffen

## Grundkonzept der Prüfung von Verbundwerkstoffen

Flugzeughersteller, Wartungsdienstleister und Luftfahrtunternehmen haben setzen immer mehr auf die Ultraschall-Phased-Array-Technologie (PA), um die Qualität von Komponenten aus Verbundwerkstoffen während der Wartung und Herstellung sicherzustellen. Teile aus kohlenfaserverstärktem Polymer (CFK) stellen aufgrund ihrer vielen Formen und Dicken eine Herausforderung für die Prüfung dar.

Die Phased-Array-Technologie ist eine zerstörungsfreie Technik, die Ultraschallbündel verwendet, wobei die Parameter, wie Winkel, Fokustiefe und Fokuspunktgröße, über eine Software gesteuert werden. Die Phased-Array-Technologie verbessert auch die Erkennung von Fehlern, die häufig bei Verbundwerkstoffen auftreten (insbesondere Delamination).

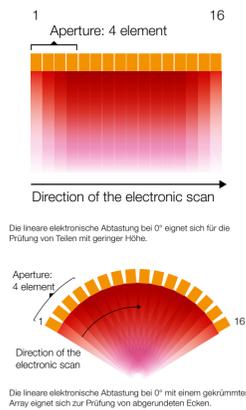
### Vorteile der Phased-Array-Technologie für die Prüfung von Verbundwerkstoffen

Die Verwendung von Phased-Array-Ultraschall für die Prüfung von Teilen mit geringer Höhe und Teilen mit abgerundeten Ecken aus Verbundwerkstoff bietet viele Vorteile. Vor allem die verbesserte Bildgebung kann menschliche Fehler reduzieren. Die C-Bild-Bildgebung erhöht zudem die Zuverlässigkeit der Prüfung, da sie eine vollständige Abdeckung der Prüflöcherfläche bietet. Große Sensoren mit mehreren Elementen wiederum erhöhen die Geschwindigkeit und Auflösung der Prüfung. A-Bild- und C-Bild-Daten können für weitere Analysen oder regelmäßige Vergleiche gespeichert werden.

Unser OmniScan PA-Prüfgerät unterstützt Phased Array sowie konventionellen Ultraschall mit einer Umschaltoption zwischen den beiden Techniken mit nur einem Tastendruck.

#### Vorteile der Phased-Array-Technologie:

- Schnellere Prüfgeschwindigkeit
- Gesamte Abdeckung mit einem Prüfdurchlauf
- Bessere Erkennungswahrscheinlichkeit
- Berichterstellung und Rückverfolgbarkeit

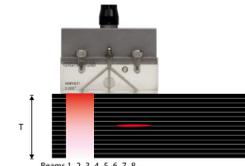


## Terminologie

Teile aus Verbundwerkstoff gibt es in vielen Formen und Dicken. Einige Teile bestehen aus einem etwas niedrigen Abschnitt und viele Teile besitzen Ecken. Teile mit geringer Höhe werden hauptsächlich durch ihre Dicke definiert, während zusätzliche Parameter bei abgerundeten Ecken berücksichtigt werden müssen.

### Teile mit geringer Höhe

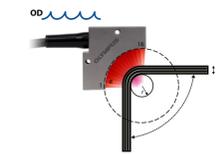
CFK-Teile mit geringer Höhe zeichnen sich nur durch die Dicke aus.



### Abgerundete Ecken

Die drei Hauptparameter von abgerundeten Ecken von CFK-Teilen sind:

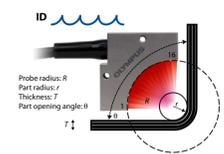
- Radius des Prüfteils
- Öffnungswinkel des Prüfteils
- Dicke



Die spezifischen linear gekrümmten Phased-Array-Sensoren, die zur Prüfung abgerundeter Ecken verwendet werden, werden auch durch den Sensorradius und den Sensorwinkel definiert.

Es gibt zwei Hauptprüfarten, wobei jede durch die relative Position des Sensors zur Ecke gekennzeichnet ist.

- Innenseite, ID der Ecke
- Außenseite, AD der Ecke



## Typische Konfiguration

Eine typische Konfiguration für Teile mit geringer Höhe und abgerundeten Ecken von Teilen aus Verbundwerkstoffen ist sehr ähnlich. Bei beiden Prüfungen muss der Prüfer die Blende A unmittelbar nach dem Vorderwand-Echo bis hinter das Rückwand-Echo positionieren. Die Prüfung von niedrigen Komponenten wird mit einem manuellen Scanner auf zwei codierten Achsen durchgeführt und die Prüfung von abgerundeten Ecken wird mit der Tauchtechnik auf einer codierten Achse durchgeführt.

### Zwei oder drei Blenden (I, A, B)

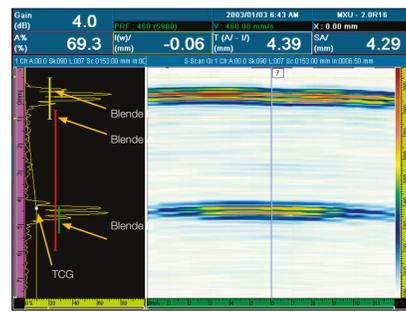
- Blende I kann verwendet werden, um die anderen 2 Blenden mit der Vorderwand zu synchronisieren.
- Blende A beginnt normalerweise direkt nach der Vorderwand und erstreckt sich bis hinter die Rückwand. Diese Blende wird verwendet, um C-Bilder mit Amplitude und Laufzeit (TOF) zu erzeugen.
- Blende B wird häufig verwendet, um die Rückwand-Amplitude von Flächen mit relativ konstanter Dicke zu überwachen.

### Zeitabhängige Verstärkung (TCG)

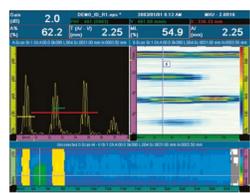
- Zum Erhalt von 80 % Vorderwand- und Rückwand-Echo.

### C-Bilder (A%, TOF, B%)

- Je nach Sensor und den Fehlern hat jede Anzeige ihre Vor- und Nachteile.



Typische Konfiguration mit einem angezeigten A-Bild und S-Bild.



Angezeigtes A-Bild, S-Bild und TOF-C-Bild.



Angezeigtes A-Bild, Amplituden-C-Bild und TOF-C-Bild.

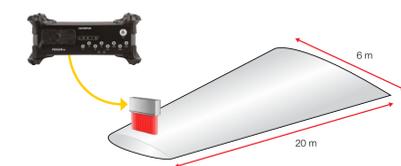


Angezeigtes A-Bild, S-Bild und Amplituden-C-Bild.

## Automatisierte Prüfsysteme für Teile aus Verbundwerkstoff

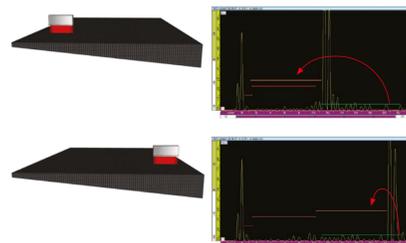
### Funktion für unbegrenzte Prüfteilgröße

Die kontinuierliche Prüffunktion ermöglicht die Prüfung von sehr großen Prüfteilen, ohne dabei die Prüfsequenz unterbrechen zu müssen. Diese Funktion ermöglicht, dass während der Prüfung ununterbrochen Prüfdaten erstellt werden, was die Prüfzeit erheblich reduziert.



### Erweiterte Prüffähigkeit

Mehrere Blenden mit erweiterten Synchronisations- und Vorsynchronisationsfunktionen bieten effektive Werkzeuge zur Handhabung von Schwierigkeiten, die bei der Prüfung komplexer Geometrien auftreten können, z. B. bei Teilen mit verschiedenen Dicken.



Verknüpfte Blenden passen ihre Position entsprechend den geometrischen Variationen an.

## Datenanalyse

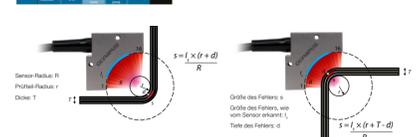
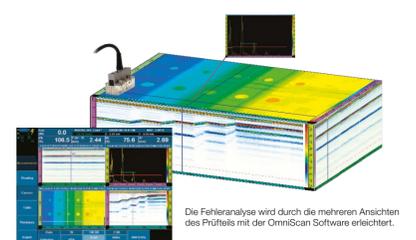
Die Durchführung schneller Prüfungen von großen Flächen erfordert zerstörungsfreie Werkzeuge mit geeigneten Bildgebungsfunktionen. Die verschiedenen Bildgebungsfunktionen wie A-Bild, B-Bild, S-Bild und C-Bild mit und/oder Laufzeit ermöglichen die Durchführung zuverlässiger Prüfungen.

Die Hauptunterschiede zwischen der Prüfung von abgerundeten Ecken und Teilen mit geringer Höhe sind:

- Die Korrelation, die für die Fehlergrößenbestimmung an den Ecken erforderlich ist.
- Die Schallbündelinvertierung für die Prüfung des ID.

### Fehlergrößenbestimmung an den Ecken

Die Fehlergrößenbestimmung in Abtastrichtung kann direkt anhand der codierten Messwerte und der Anzeigen auf dem OmniScan Prüfgerät gemessen werden. Eine geometrische Umrechnung unter Berücksichtigung des Radius des Phased-Array-Sensors (R), des Radius der Ecke (r), der Tiefe der des Fehlers (d) und der Dicke des Prüfteils (T) und der angezeigten Größe des Fehlers auf dem OmniScan Prüfgerät (S) sind erforderlich, um die tatsächliche Fehlergröße (s) zu erhalten. Diese Umrechnung ist auch abhängig von der Prüflart (ID oder AD).



### Schallbündelinvertierung für Prüfung des ID

Bei einer Prüfung des Innendurchmessers (ID) wird das Schallbündel der ersten Elemente des Sensors am höchsten Teil der Ecke (Schallbündel 1) reflektiert, während das Schallbündel der letzten Elemente am unteren Teil der Ecke reflektiert wird (Schallbündel 8). Daher werden die Schallbündel im S-Bild und im C-Bild invertiert.



Aufgrund der Schallbündelinvertierung werden die Schallbündel im C-Bild invertiert dargestellt.

## Verbesserte Haftflächenprüfung mittels C-Bild

Eine einfach ablesbare C-Bild-Darstellung auf einem tragbaren Gerät ist jetzt möglich. Diese OmniScan Lösung eignet sich zur Prüfung des Haftverlusts von Verbundwerkstoffen mit Wabenstruktur und zur genauen Prüfung von Delaminationen. Sie wurde vor allem für Wartungsprüfungen in der Luftfahrtindustrie entwickelt und eignet sich auch für Fertigungsverfahren, z. B. in der Automobilherstellung und im Schiffsbau (wie Schiffsrümpfe aus Verbundwerkstoff).

Für jedes C-Bild gibt es zwei Anzeigeeoptionen: als C-Bild der Amplitude, in dem auf der Signalamplitude, ungeachtet der Phase, basierende Farbvariationen angezeigt werden, die ideale Anzeigart für klares und zügiges Erkennen von Haftverlust, oder als C-Bild der Phase, mit einer Farbpalette von 0° bis 360°, die die Änderungen des Phasenwinkels anzeigt und die Unterscheidung zwischen verschiedenen Arten von Fehlerindikationen erleichtert, wie z. B. zwischen Kitt (Reparatur) und Ablösung.



### Hochpräzise Prüfung von CFK-Teilen mit geringer Höhe

OmniScan Prüfgerät und Software  
GLIDER Scanner  
PA-Sensoren und Vorlaufkeile



### Ergonomische Prüfung von CFK-Teilen mit geringer Höhe oder gekrümmten Flächen

OmniScan Prüfgerät und Software  
RollerFORM Scanner  
PA-Sensor



### Prüflösung für abgerundete Ecken von CFK-Teilen

OmniScan Prüfgerät und Software  
Linear gekrümmte PA-Sensoren und Vorlaufkeile (für Tauchtechnik)



### Weitere Produkte für die Prüfung von Verbundwerkstoffen