

# Verbesserung der Fehlerauffindwahrscheinlichkeit (POD) mittels SAFT bei der Ultraschallprüfung von schwer prüfbareren Werkstoffen

Martin SPIES, Hans RIEDER, Alexander DILLHÖFER  
Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM, Kaiserslautern

**Kurzfassung.** Der sichere Betrieb von Transportmitteln wie Flugzeugen, Bahnen und Fähren erfordert die permanente Inspektion relevanter Bauteile und Komponenten. Wie auch bei der Anwendung von ZfP-Verfahren in anderen industriellen Bereichen wird die Auswahl der geeigneten Prüfmethode im Hinblick auf das zu untersuchende Material und die aufzufindenden Fehler bestimmt. Insbesondere in den genannten sicherheitsrelevanten Bereichen muss gezeigt werden, dass das gewählte Verfahren die erforderlichen Nachweiseigenschaften besitzt. Im Hinblick auf die Ultraschallprüfung von Schiffsantriebskomponenten und Bauteilen im Off-Shore-Bereich befassen wir uns in diesem Beitrag mit der Detektion und der Größenbestimmung von innen liegenden Fehlern. Die Grobkornstruktur und/oder die gemischte Phasenstruktur der aufgrund ihrer Festigkeitseigenschaften und ihrer Korrosionsbeständigkeit üblicherweise eingesetzten Werkstoffe wie Duplexstähle und Bronze-Gusslegierungen (Cu3) führen zu einer starken Schwächung des Ultraschalls durch Streuung. Die Ultraschallprüfung muss daher im Hinblick auf die kleinste zu detektierende Fehlergröße optimiert werden. Eine Möglichkeit bietet die Synthetische Apertur Fokus Technik SAFT, die zu einer Reduzierung des Gefügerauschens und damit zu einer Erhöhung des Nutzsignals bei der bildgebenden Ultraschallprüfung führt. Auf der Basis verschiedener, an Duplex- und Cu3-Testblöcken mit Modellfehlern unterschiedlichen Durchmessers aufgezeichneter Ultraschall-HF-Daten haben wir eine  $\hat{a}$  versus  $a$ -Analyse zur Bestimmung der Fehlerauffindwahrscheinlichkeit (englisch: Probability of Detection, POD) durchgeführt. Dem internationalen Standard MIL-HDBK-1823 in der aktuellen Version von 2007 folgend haben wir POD-Kurven aus den Ultraschall-Rohdaten und den SAFT-Daten ermittelt. Wir zeigen, dass die Anwendung von SAFT zu einer erheblichen Verbesserung der POD führt und den Einsatz der Ultraschallprüfung als quantitatives ZfP-Verfahren zur Sicherung der Integrität solcher Bauteile aus schwerprüfbareren Werkstoffen unterstützt.

# Verbesserung der Fehlerauffindwahrscheinlichkeit (POD) mittels SAFT bei der Ultraschallprüfung von schwer prüfbar Werkstoffen

Martin Spies, Hans Rieder, Alexander Dillhöfer

Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM, Fraunhofer-Platz 1, D-67663 Kaiserslautern, www.itwm.fraunhofer.de

## Hintergrund



Propeller



Reparieren



Schweißen



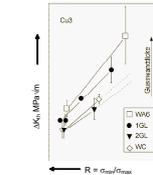
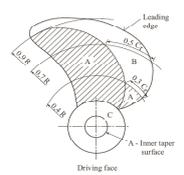
Prüfen

## Schwer prüfbare Werkstoffe

- CuNiAl-Bronzen
- Duplex-Stähle
- auch als Off-shore-Komponenten
- Grobkorn-/Multiphasen-Struktur
- hohe Schallschwächung durch Streuung



## Tolerierbare Fehlergröße



$$\Delta K_{I1} = Y \cdot \Delta \sigma \cdot \sqrt{\pi \cdot a}$$

$$\Delta K_{I1} \leq \Delta K_{Ith}$$

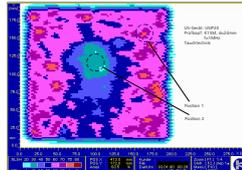
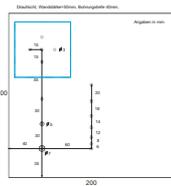
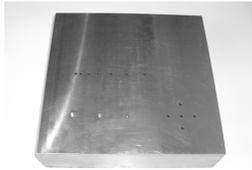
a : 'Ersatz-Fehlergröße'

Belastung

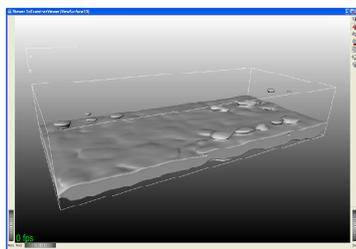
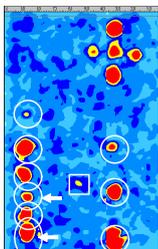
Werkstoff

Bruchmechanik

## Ultraschallprüfung und Anwendung von SAFT

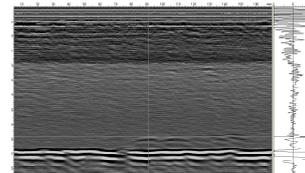


Duplex-Testkörper mit Anordnung der Flachbodenbohrungen und Schallschwächung

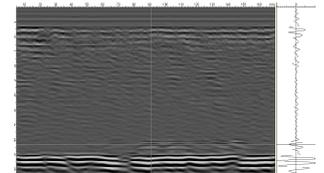


C-Bild und 3D-Darstellung der SAFT-Rekonstruktion der FBHs und zweier natürliche Fehler

B-Bilder: 3 mm FBHs

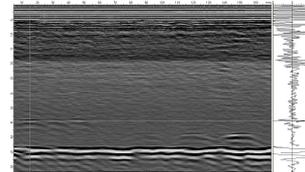


5 MHz Breitband-Filter

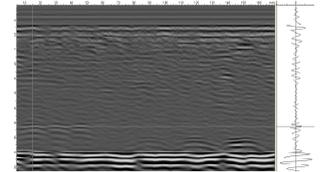


2 MHz-Filter

B-Bilder: 3 mm, 5 mm und 7 mm FBHs



5 MHz Breitband-Filter



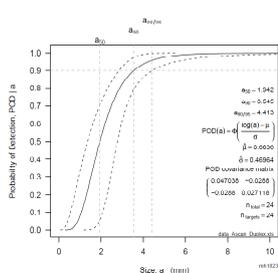
2 MHz-Filter

	A-Scan Amplitude linear (über Rauschen)	A-Scan Amplitude logarithmisch [dB]	SAFT Amplitude linear	SAFT Amplitude logarithmisch [dB]	Amplitudengewinn [dB]
Rauschen	1.0	0.0	1.0	0.0	
FBH 7 mm	8.1	18.2	20.0	26.0	9.8
FBH 5 mm	4.1	12.3	12.6	22.0	9.7
FBH 3 mm					
No. 1	1.0	0.0	4.5	13.1	13.1
No. 2	1.8	5.1	4.5	13.1	8.0
No. 3	5.4	14.6	14.1	23.0	8.4
No. 4	5.6	15.0	7.1	17.0	2.0
No. 5	2.4	7.6	7.1	17.0	9.4
No. 6	4.3	12.7	7.9	18.0	5.3
No. 7	nicht aufgelöst	-	-	-	-
No. 8	nicht aufgelöst	-	-	-	-

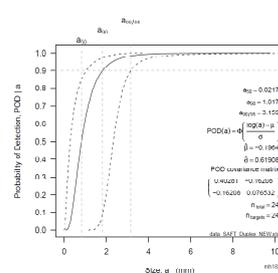
Fehleramplituden der HF-Daten und der SAFT-Daten

- POD nach MIL-HDBK 1823 (Update aus 2007)
- Analyse anhand von 3 gefilterten Datensätzen (baugleiche Prüfköpfe unterschiedlicher Frequenz)
- sicher detektierbare Fehlergröße a90/95:
  - konventionell 4,4 mm
  - SAFT-Daten 3,1 mm
- Erhöhung der Zuverlässigkeit durch SAFT

## POD-Berechnung



HF-Daten



SAFT-Daten