

# Anwendung von SAFT im Energemaschinenbau

Hubert MOOSHOFER \*, Karl FENDT \*, Uwe BÜCHNER \*\*, Werner HEINRICH \*\*\*,  
Karsten KOLK \*\*\*, Hans-Peter LOHMANN \*\*\*, Johannes VRANA \*\*\*

\* Siemens AG Corporate Technology

\*\* Siemens AG Energy Sector Fossil Power Generation Division

\*\*\* Siemens AG Power Generation

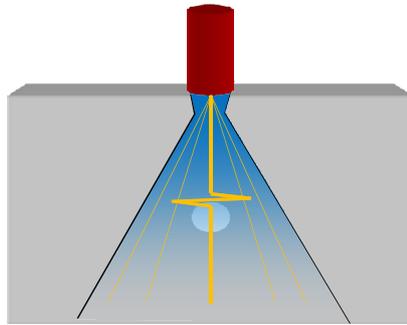
## Kurzfassung

Im Energemaschinenbau ist die Ultraschallprüfung ein unverzichtbares Werkzeug für die zerstörungsfreie Prüfung von Bauteilen, die im Betrieb hohen Belastungen unterliegen. Bei der Herstellungsprüfung handelt es sich meist um Scheiben und Wellen, die ihren Einsatz in Turbinen bzw. Generatoren finden.

Der Einsatz der Synthetic Aperture Focussing Technique (SAFT) bietet hierfür mehrere Vorteile. Neben der genaueren Defektlokalisierung und der besseren Trennung benachbarter Defektanzeigen ist auch die Verbesserung des gefügebedingten Signal/Rausch-Verhältnisses (SNR) ein wichtiger Grund für den Einsatz von SAFT.

Im Rahmen dieses Beitrages wird auf den Einsatz von SAFT bei zylindrischen Prüflingen besonders eingegangen. Neben der Gegenüberstellung von 2D-SAFT und 3D-SAFT, liegt das Hauptaugenmerk auf der mit SAFT erreichbaren Auflösung bzw. räumlichen Defekttrennung. Es wird gezeigt, wie die Auflösung mittels Simulation bestimmt werden kann, und wie sich dies im Falle einer zylindrischen Scheibe mit einer empirisch ermittelten Formel vergleicht. Für ein konkretes Beispiel wird dargestellt wie sich die Auflösung in Abhängigkeit des verwendeten Prüfkopfes mit zunehmender Tiefenlage verbessert.

SAFT Prinzip

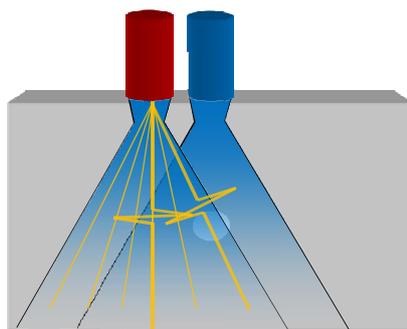


Prüfanordnung (schematisch)

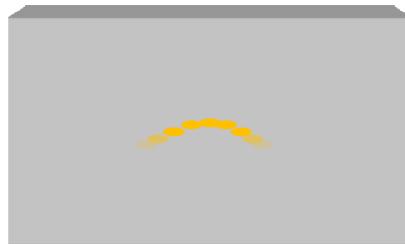


Inspektionsergebnis (B-Bild)

SAFT Prinzip

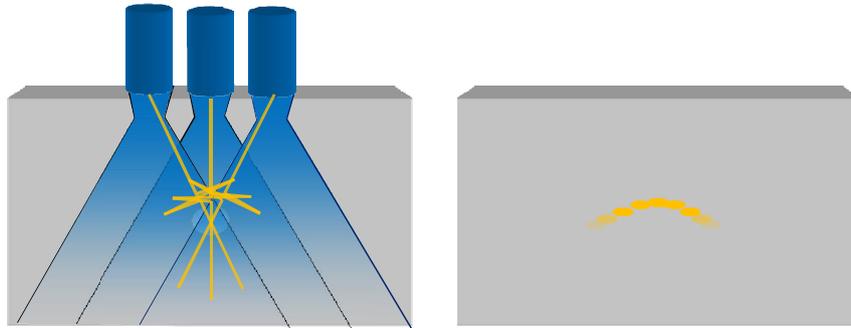


Prüfanordnung (schematisch)



Inspektionsergebnis (B-Bild)

## SAFT Prinzip



Ziel: Eine fokussierte Anzeige anstelle der sichelförmigen Anzeige  
 → Jeder Ort wird individuell durch Rechnung fokussiert („Synthetische Apertur“)  
 → SAFT = **S**ynthetic **A**perture **F**ocusing **T**echnique

## Vorteile SAFT

### Vorteile:

- Abgrenzung nahe benachbarter Defekte
  - Mögliche Trennung von Gruppenanzeigen
- Verbesserung der lateralen Größenbestimmung (~ eine Wellenlänge)
- Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses bei Gefügerauschen
- Nutzung vorhandener Prüfsysteme
  - Keine zusätzlichen Prüfschritte
- Ergebnis ist für erfahrene Prüfer leicht zu verstehen / interpretieren

### Voraussetzungen:

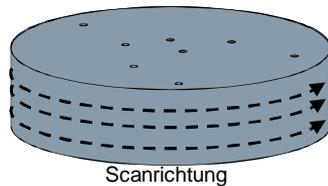
- Leistungsfähiger Computer
- Mechanisierte Ultraschallprüfung
- Aufzeichnung von HF-Daten (im Gegensatz zu gleichgerichteten Daten)

## UT im Energiemaschinenbau

Einsatz großer Schmiedeteile im Energiemaschinenbau  
insbesondere in Form von Scheiben/Wellen für Turbinen und Generatoren

Eine Ultraschallprüfung wird bei der Herstellung und im Service durchgeführt

Beispiel: Testscheibe für UT

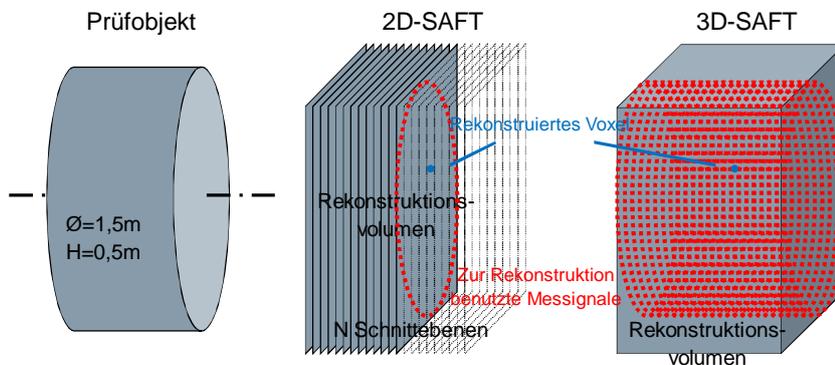


Querbohrungen:  $d=3\text{mm}$   
Bauteildurchmesser: 1,6m  
Bauteildicke: 0,5m  
SPK mit 2MHz

## Typische Merkmale der Herstellungsprüfung

- Herstellungsprüfung im konturarmen Zustand
- Zylindrische Geometrie (mit/ohne Innenbohrung)
- Große Schmiedeteile
- Lange Schallwege (im Meterbereich)
- Schallschwächung ist abhängig von Material und Wärmebehandlung
- Moderate Prüffrequenz (im unteren MHz-Bereich)
- Verwendung mehrerer Einschallpositionen und -richtungen  
(z.B. von der Mantelfläche aus senkrecht und mit mehreren Einschallwinkeln)

## SAFT-Rekonstruktion: 2D vs. 3D



2D-SAFT: SAFT-Auswertung nur innerhalb der Schnittebenen

Das Rekonstruktionsvolumen wird aus den Schnittebenen zusammengesetzt.

=> Nachteil: Axiale Schallausbreitung wird ignoriert

3D-SAFT: Die Messpunkte aus allen Schnittebene werden zur Rekonstruktion herangezogen

=> Echte Volumenrekonstruktion; Axiale Schallausbreitung wird berücksichtigt

## Rechenzeit

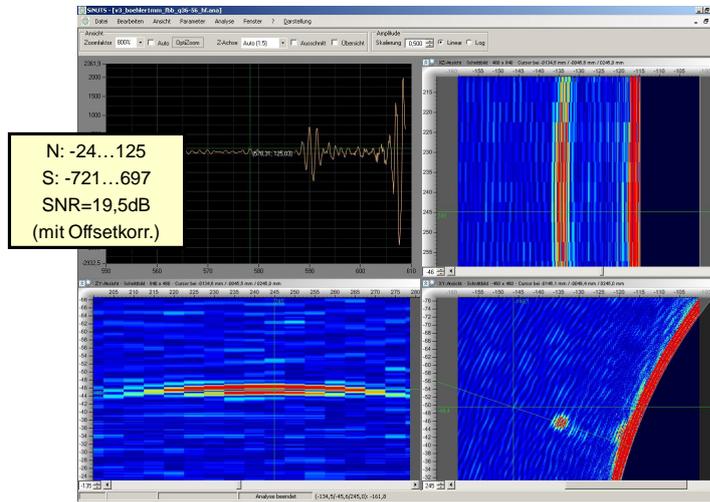
Die Rechenzeit hängt in erster Linie von der Größe des ausgewerteten Volumens und von der Anzahl der Scanpunkte ab.

BSP:

Prüfobjekt: Scheibe ohne Innenbohrung  
 1,6m Durchmesser; 0,75m gescannte axiale Länge  
 64 Spuren; 1001 Messpunkte auf dem Umfang  
 2D-SAFT: 1x1x12mm<sup>3</sup> Rekonstruktionsraster  
 => 25min Rechenzeit (CPU, 8 Cores)

- 2D-SAFT Rekonstruktion schneller als Messung  
Auswertung parallel zur Messung möglich (zeitversetzt um einen Takt)
- Multi-Core Nutzung: 3D-SAFT von Ausschnitten in „akzeptabler Zeit“
- GPU-Implementierung: Für komplette 3D-SAFT Rekonstruktion
- Bei ebener Messfläche Beschleunigung durch FFT-SAFT möglich  
(Es gibt Ansätze für Zylindrische Messfläche)

## 2D-SAFT Auswertung KSR 1mm

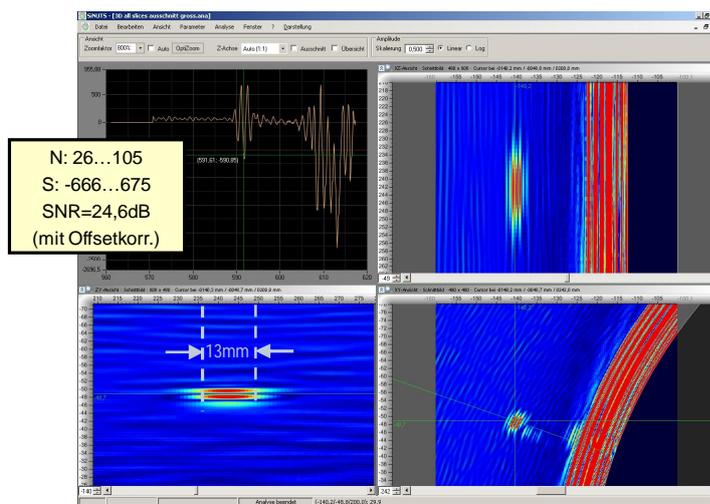


Nov 2013

Corporate Technology

Frei verwendbar © Siemens AG 2013. Alle Rechte vorbehalten

## 3D-SAFT Auswertung KSR 1mm

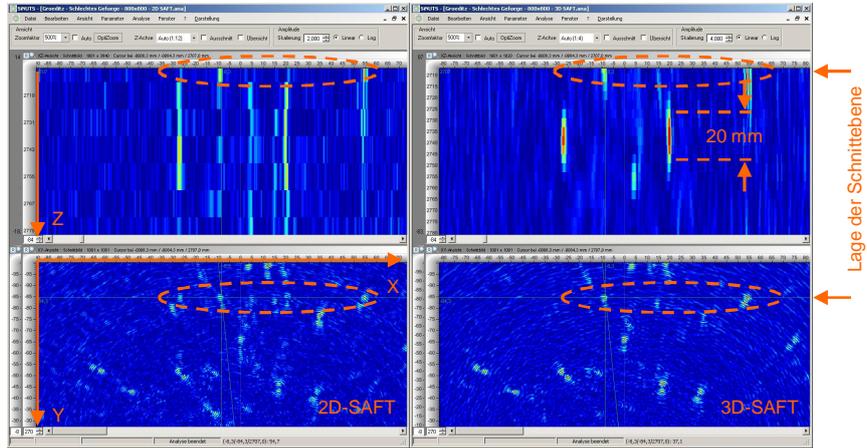


Nov 2013

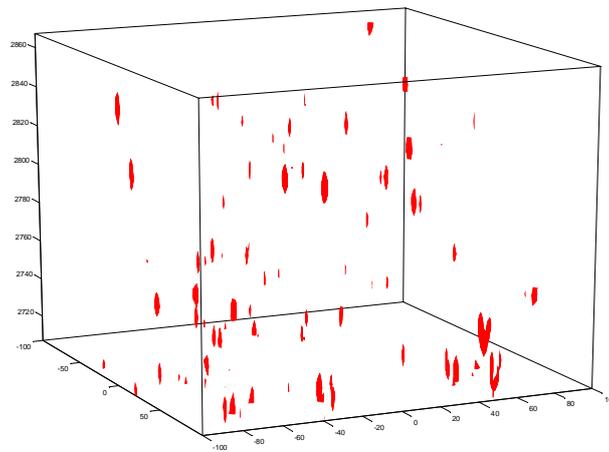
Corporate Technology

Frei verwendbar © Siemens AG 2013. Alle Rechte vorbehalten

### Schlechtes Gefüge - Vergleich 2D/3D-SAFT

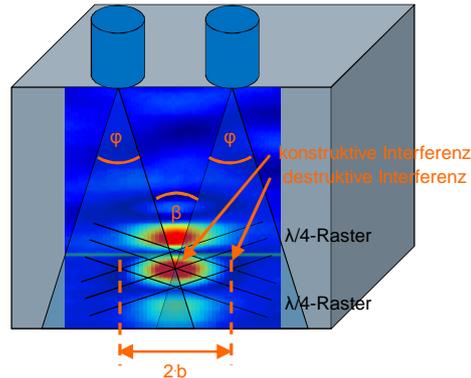


### Schlechtes Gefüge



## Anzeigenlänge bei 3D-SAFT

- Der Öffnungswinkel  $\varphi$  des Schallbündels bestimmt, unter welchem Winkel  $\beta$  ein Defekt „sichtbar“ ist
- Bei ebener Oberfläche gilt  $\varphi = \beta$
- Die Anzeigenlänge bei 3D-SAFT ist ungefähr gleich  $b$ .



$$b = \frac{\lambda / 4}{\sin(\beta / 2)}$$

B2S:  $\lambda = 3\text{mm}$ ,  $\varphi = 7^\circ$   
 $\rightarrow b = 12,3\text{mm}$

Nov 2013

Corporate Technology

Frei verwendbar © Siemens AG 2013. Alle Rechte vorbehalten

## Anzeigenlänge und Anzeigauflösung

Definition Auflösung:

Auflösbar wenn 6dB Abfall zwischen zwei Defektanzeigen

Bei planarer Oberfläche:  $D/2$  gemäß Cutrona

Im Zentrum eines Zylinders:  $\lambda/4$  gemäß Norton/Linzer

Anzeigenlänge bei 3D SAFT (siehe vorherige Folie):

$$b = (\lambda/4) / \sin(\beta/2) \quad \text{heuristische Formel}$$

Bei planarer Oberfläche:

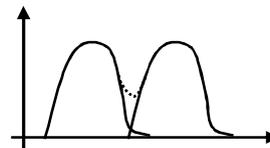
$$[\sin(\beta/2)]_{-6\text{dB}} = \lambda/(2D) \quad (\text{einseitiger } 6\text{dB Divergenzwinkel})$$

$$\rightarrow b = D/2 \quad \text{d.h. Anzeigenlänge} = \text{Auflösung} \quad \checkmark$$

Im Zentrum eines Zylinders:

$$\beta = 180^\circ \quad \text{im Zentrum eines Zylinders (von vorne angeschallt)}$$

$$\rightarrow b = \lambda/4 \quad \text{d.h. Anzeigenlänge} = \text{Auflösung} \quad \checkmark$$



Nov 2013

Corporate Technology

Frei verwendbar © Siemens AG 2013. Alle Rechte vorbehalten

## Simulation Anzeigenauflösung

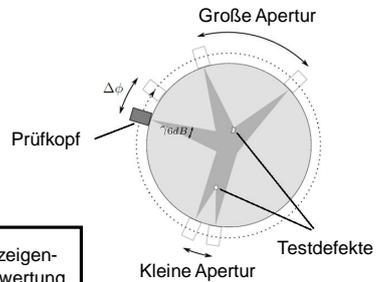
Scan in axialer Richtung:

- Entspricht planarer Oberfläche

Scan in Umfangsrichtung:

- Tiefliegende Defekte unter größerem Winkel „sichtbar“

Bestimmung der Auflösung durch Simulation:

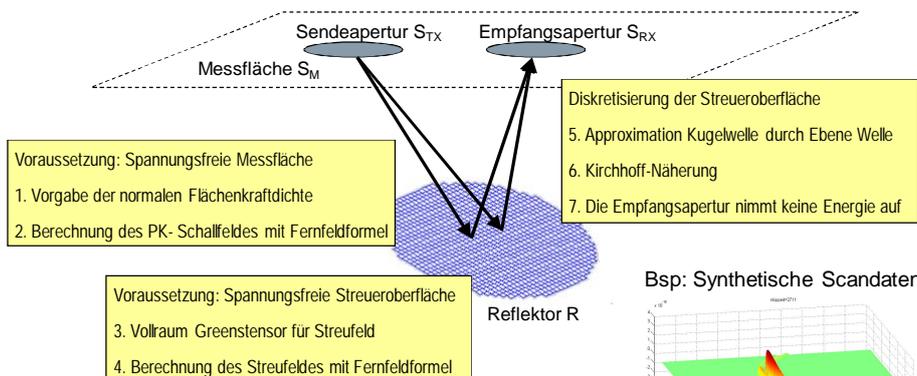


Simulation mittels Elastodynamischer Punktquellensynthese

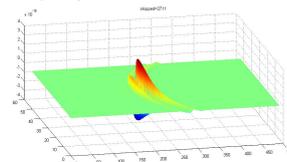
- (1) Schallabstrahlung durch den PK
- (2) Reflexion am Streuer
- (3) Rückausbreitung des Schalles zum Prüfkopf

Wdh. der Echosignalsimulation für jeden Scanpunkt

## Simulationsmodell – Verwendete Näherungen

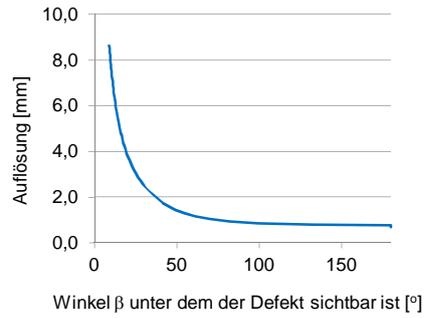
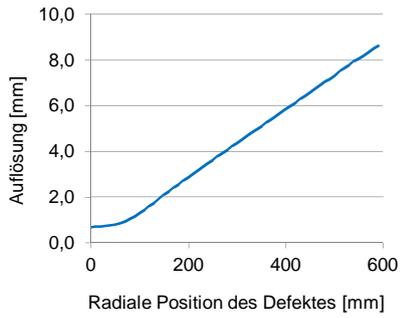


Bsp: Synthetische Scandaten



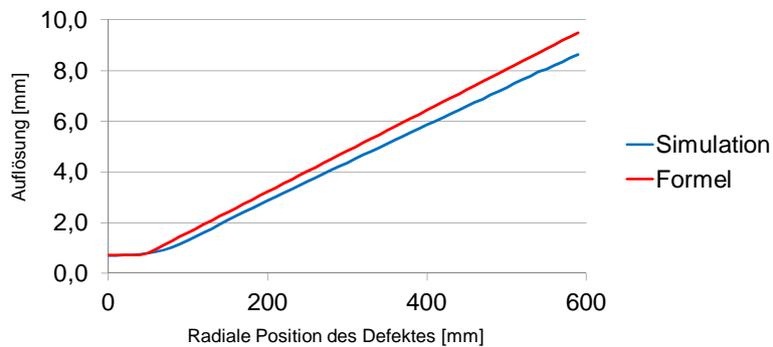
### Simulierte Auflösung

Simulierte Auflösung für eine zylindrische Scheibe ohne Innenbohrung mit  $\varnothing=1500\text{mm}$   
(Stahl; PK: 2MHz; D=24mm)



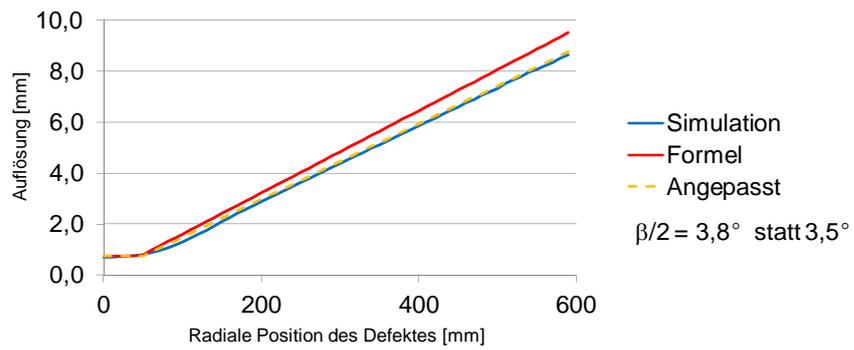
### Gegenüberstellung Simulation - Formel

Auflösung für eine zylindrische Scheibe ohne Innenbohrung mit  $\varnothing=1500\text{mm}$   
(Stahl; PK: 2MHz; D=24mm)



## Gegenüberstellung Simulation - Formel

Auflösung für eine zylindrische Scheibe ohne Innenbohrung mit  $\varnothing=1500\text{mm}$   
(Stahl; PK: 2MHz; D=24mm)



## Danksagung

Die Autoren danken der Böhler Edelstahl GmbH  
und den Schmiedewerken Gröditz,  
für die Bereitstellung der Messdaten.