

# 3D Hybridmodellierung zur Porositätsprüfung an Grobblechen mit einem Ultraschall-Array-Prüfkopf: Simulation und deren experimentelle Validierung

Dr. Sanjeevareddy KOLKOORI<sup>1</sup>, Dr. Roman Heinrich KOCH<sup>1</sup>, Dr. Stephan FALTER<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ROSEN Technology and Research Center GmbH, Alzenau

<sup>2</sup> ROSEN Germany GmbH, Stutensee

Kontakt E-Mail: skolkoori@rosen-group.com

## Kurzfassung

Durch den Einsatz angepasster Simulationsmethoden kann die Entwicklungszeit und die Anzahl der Prototypen zur applikationsspezifischen Optimierung des Designs von Ultraschall-Array-Prüfköpfen stark reduziert werden. Zur Erzielung hoher Genauigkeiten (Amplitudenabweichung  $< 1$  dB) bei reduzierten Rechenzeiten benötigt man zur Simulation nicht nur eine hochfrequente Näherung für die akustische Wellenausbreitung, sondern auch ein hochpräzises elektroakustisches Kopplungsmodell.

In diesem Beitrag berichten wir über ein effizientes 3D-Hybridmodell zur Modellierung eines Ultraschall-Array-Prüfkopfes für die Inspektion von Grobblechen auf Porosität. Diese Methode basiert auf einer dreidimensionalen Finiten-Elementen-Analyse (FEA) und der semi-analytischen Simulation „Ray-Tracing“. Zuerst wird das FEA-Modell des Array-Prüfkopfs mit den Komponenten Komposite-Schwinger, Anordnung der Arrayelemente, leitfähige Elektroden, Anpassschicht, Dämpfungsmaterial, elektrische Beschaltung mit einem 50 $\Omega$ -Koaxialkabel und der Keilgeometrie eines Prüfkopf-Arrays vorgestellt. Zusätzlich werden hier das akustische und elektrische Übersprechen (Cross-Talk) zwischen benachbarten Elementen in der FEA Simulation berücksichtigt. Die FEA modellierten Pulse-Echo Signale des Array-Wandlers im Zeit- und Frequenzbereich eines Stahlreflektors im Fernfeld werden als Referenzsignale in dem semi-analytischen Simulationsverfahren „CIVA-UT Software“ weiterverwendet, um die quantitative Bestimmung der Porosität in Grobblechen zu simulieren. Die Vorteile dieses Hybridverfahrens sind die Reduktion des zeit- und kostenaufwendigen Array-Prüfkopf-Prototypenbaus und die Berücksichtigung des realen Sendeimpulses des in der Industrie eingesetzten Ultraschall-Prüfgeräts „ROMIS (ROSEN Modular Inspection System)“ in der Modellierung. Die Abhängigkeit der Detektierbarkeit der Porosität von der Array-Prüfkopffrequenz und der virtuellen Prüfkopffapertur werden quantitativ analysiert.

Die als 3D-Hybridmodell simulierten Fehlerechosignale und TCG Kurven in einem Grobblech werden mit den experimentellen Daten verglichen und es wird eine gute quantitative Übereinstimmung zwischen dem Experiment und der Simulation erzielt.



# 3D Hybridmodellierung zur Porositätsprüfung an Grobblechen mit einem Ultraschall-Array-Prüfkopf: Simulation und deren experimentelle Validierung

Dr. Sanjeevareddy KOLKOORI, Dr. Roman Heinrich KOCH (ROSEN Technology and Research Center GmbH, Alzenau)  
 Dr. Stephan FALTER (ROSEN Germany GmbH, Stutensee)

## PROBLEMSTELLUNG

- Ein optimiertes Prüfkopfdesign verbessert die Porositätsprüfung an Grobblechen.
- Die Anzahl der erforderlichen Prüfköpfe wird durch den Einsatz von Phased Array Prüfköpfen reduziert.
- Eine optimierte Keilgeometrie reduziert unerwünschte Keilechos.

## ZIELE

- Eine realitätsnahe Simulation reduziert den Aufwand für Applikationsmessungen und Prototypenbau.
- Das angepasste 3D-Hybridmodell zur Porositätsprüfung an Grobblechen wurde experimentell validiert.
- Das 3D-Hybrid-Simulationsverfahren wurde für zukünftige Phased Array Anwendungen qualifiziert.

## APPLIKATIONSSPEZIFISCHES PHASED-ARRAY-PRÜFKOPFDESIGN

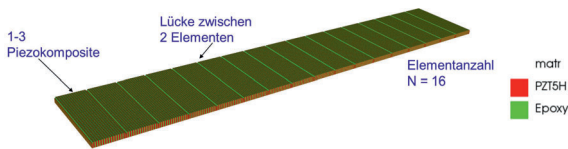


Abb.1: 3D FEA (PZFlex) Modellierung eines Lineararrayschwingers aus 1-3 Piezokomposite

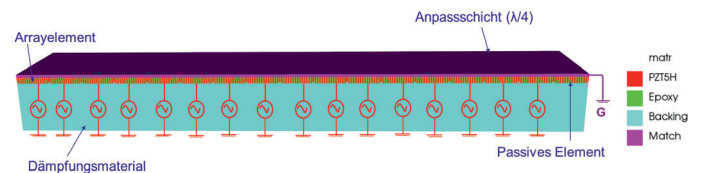


Abb.2: 3D FEA-Modellierung eines Lineararraywandlers mit elektrischer Beschaltung

## EXPERIMENTELLE VALIDIERUNG DER IMPULS-ECHO-SIGNALE

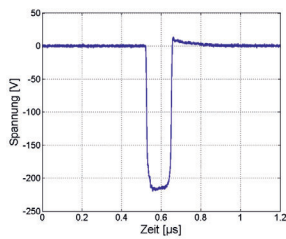


Abb.3: Anregungssignal für die UT PA Modellierung

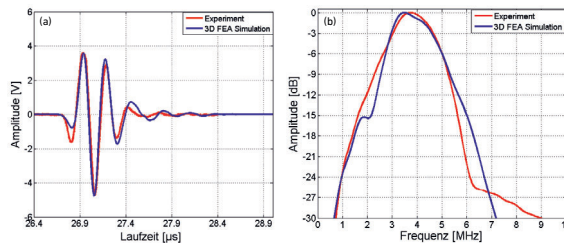


Abb.4: Vergleich zwischen dem gemessenen und FEA-simulierten Impuls-Echo-Signal des im eigenen Haus gefertigten 32 Elemente, 4 MHz PA Prüfkopfes (a) Laufzeitsignal, (b) Frequenzspektrum

- Berücksichtigung des Sendepulses eines realen Ultraschallprüfgerätes (ROMIS)
- Gute Übereinstimmung zwischen simuliertem und experimentellem Laufzeitsignal
- Fertigung des Phased-Array-Prüfkopfes entsprechend der Modellierung
- Mittelbandiger Prüfkopf mit kurzer Impulsdauer und wenigen Nachschwingungen

## OPTIMIERUNG DER KEILGEOMETRIE FÜR DIE POROSITÄTSPRÜFUNG

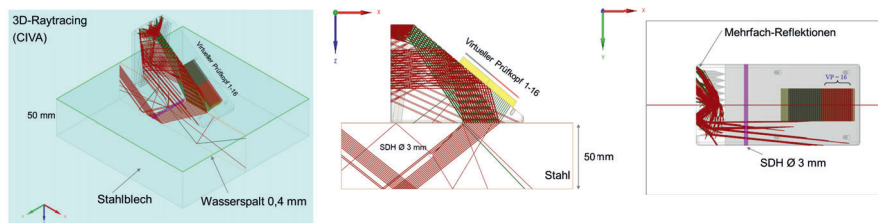


Abb.5: Quantitative Modellierung und Optimierung der Keilgeometrie (3D CIVA) zur Porositätsprüfung an Grobblechen

- Fließwasserankopplung
- Optimierung der akustischen Eigenschaften des Dämpfungsmaterials und der Keilgeometrie
- Auswahl der optimalen virtuellen Prüfkopfelemente
- Reduktion der unerwünschten Keilechos im aktiven Bereich des Prüfkopfes

## UT PA APPLIKATIONSSIMULATION UND VALIDIERUNG

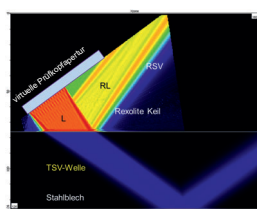


Abb.6: Simuliertes Schallfeld im Keil und Stahlblech

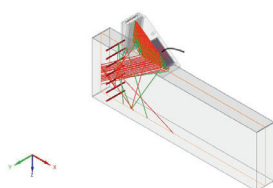


Abb.7: Referenzkörper für Porositätsprüfung 450 x 50 x 140 mm mit Ø 3 mm Bohrung

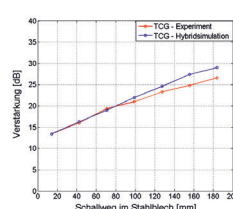


Abb.8: TCG-Kurven für Stahlblech mit Ø 3 mm SDH in verschiedenen Tiefen

- Gute Übereinstimmung zwischen den simulierten und experimentellen TCG-Kurven
- Verbesserte Nahauflösung und gutes SNR
- Erfolgreiche Integration der entwickelten PA Prüfköpfe in eine automatisierte UT PA Blechprüfanlage