

Ultraschall-Rohrprüfung konventionell oder mittels Phased-Arrays? Ein POD-Vergleich kann helfen

Thomas ORTH *, Nikolai CHICHKOV *, Till SCHMITTE *, Martin SPIES **

* Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH, Duisburg

** Fraunhofer Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM, Kaiserslautern

Kurzfassung

Bei vielen Prüfscenarien im Bereich der industriellen Produktion stellt die Prüfgeschwindigkeit einen entscheidenden Aspekt dar. Der Ersatz konventioneller Prüftechniken durch Phased-Array Verfahren ist vielversprechend, da beispielsweise die bei der Prüfung mit mehreren Einschallwinkeln erlangte Information durch einen Phased-Array Sektorscan erhalten werden kann. Der durch den Einsatz neuer Prüftechniken zu erzielende Zeitvorteil muss aber im Hinblick auf die Leistungsfähigkeit des Verfahrens bezüglich der zulässigen und damit aufzufindenden Fehlertypen und Fehlergrößen gesehen werden.

In diesem Beitrag berichten wir über Ergebnisse, die wir im Rahmen einer POD-Studie zum Vergleich konventioneller Prüftechniken mit Phased-Array Verfahren erzielt haben. Die Grundlage für die experimentellen Untersuchungen bilden Testfehler unterschiedlicher Dimensionen als Modellfehler, die in einem Testrohr aus ferritischem Stahl eingebracht wurden. Die mittels konventionellen und Phased-Array Prüfköpfen mechanisiert aufgezeichneten Ultraschalldaten haben wir hinsichtlich der maximalen Fehleramplituden ausgewertet und in einer „ \hat{a} versus a' “-Analyse zur Bestimmung der Fehlerauffindwahrscheinlichkeit (engl. Probability of Detection POD) verwendet. Wir zeigen repräsentative Ergebnisse unserer POD-Berechnungen, wobei wir neben der mh1823-Software nach MIL-HDBK-1823 auch eigene, am Fraunhofer ITWM entwickelte Berechnungsverfahren eingesetzt haben. Wir stellen die für die beiden Prüfverfahren erzielten Ergebnisse gegenüber und diskutieren deren Bedeutung für die Prüfpraxis.

Ultraschall-Rohrprüfung konventionell oder mittels Phased-Arrays? Ein POD-Vergleich kann helfen

T. Orth,

N. Chichkov, T. Schmitte

Salzgitter Mannesmann Forschung, Duisburg

M. Spies

Fraunhofer ITWM, Kaiserslautern

DGZfP-Jahrestagung 2014, Potsdam – 26.-28. Mai 2014

Konventionell oder PA: ein POD-Vergleich kann helfen

Übersicht

-  Motivation
-  Experimentelle Vorbereitung zur POD-Analyse
-  Grundlagen POD und MAPOD
 -  POD-Modell auf Basis der Rice-Verteilung
 -  validiertes Simulationsverfahren GPSS
-  POD Berechnungen für konventionelle und Phased-Array Daten
 -  \hat{a} vs a – Plots
 -  POD-Ergebnisse mittels ‚mh1823‘ und ITWM-Modell
-  Zusammenfassung

Konventionell oder PA: ein POD-Vergleich kann helfen

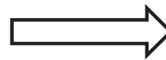
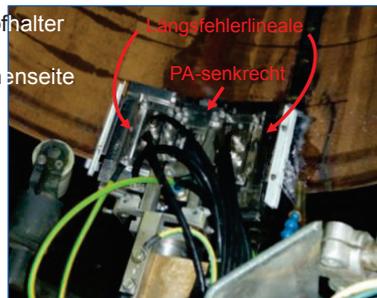
Motivation: Neue Rohrendenprüfung EUROPIPE Mülheim

Prüfung der
Rohrenden auf:
1. Dopplungen
2. Längsfehler



Kombination mit
MP-Prüfung der
Faskante

Prüfkopfhalter
an der
Rohrinnenseite



*Innovative Prüfung des
Rohrendes bei UP-
geschweißten Großrohren auf
Dopplungen mit
Gruppenstrahlertechnik im
Rohrwerk EUROPIPE in
Mülheim an der Ruhr*

**12:30 gleich Mi. 3.A.1
im Kongress-Saal !**

Competence in NDT&E

Konventionell oder PA: ein POD-Vergleich kann helfen

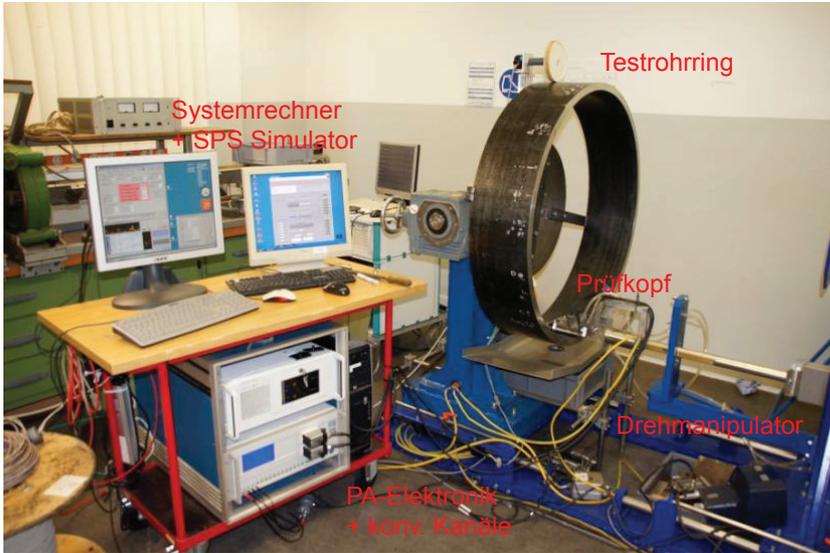
Übersicht

-  Motivation
-  Experimentelle Vorbereitung zur POD-Analyse
-  Grundlagen POD und MAPOD
 -  POD-Modell auf Basis der Rice-Verteilung
 -  validiertes Simulationsverfahren GPSS
-  POD Berechnungen für konventionelle und Phased-Array Daten
 -  \hat{a} vs a – Plots
 -  POD-Ergebnisse mittels ‚mh1823‘ und ITWM-Modell
-  Zusammenfassung

Competence in NDT&E

Konventionell oder PA: ein POD-Vergleich kann helfen

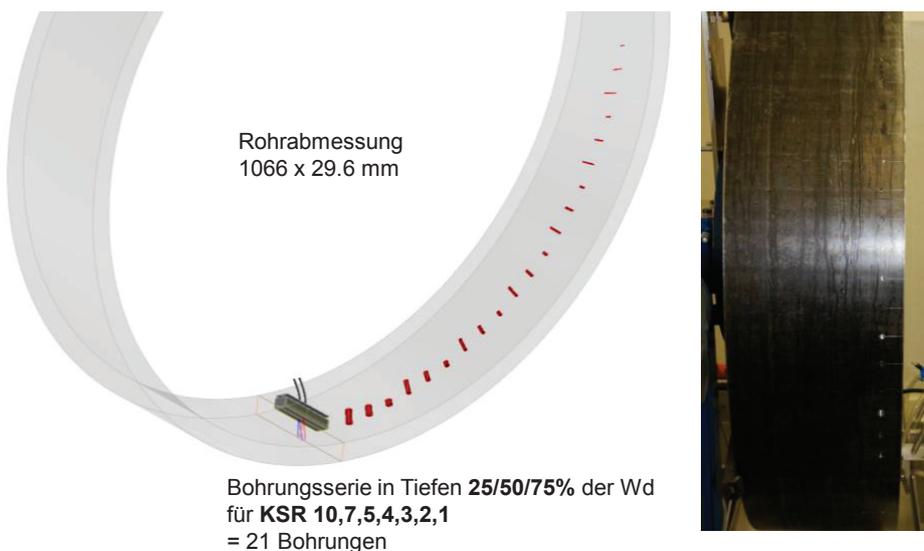
Experimenteller Aufbau



Competence in NDT&E

Konventionell oder PA: ein POD-Vergleich kann helfen

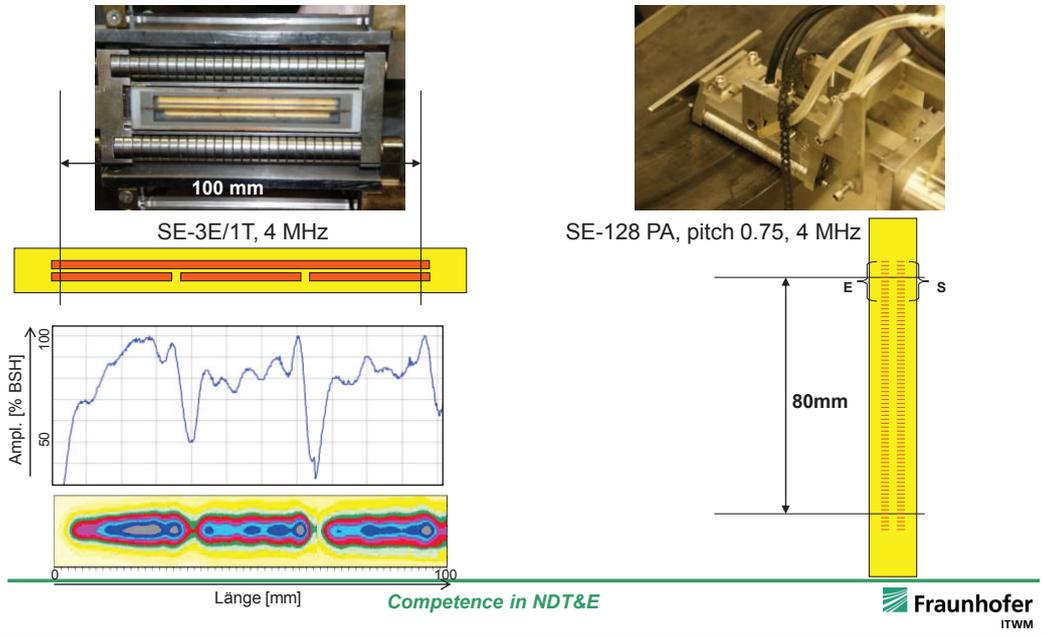
Referenzfehler



Competence in NDT&E

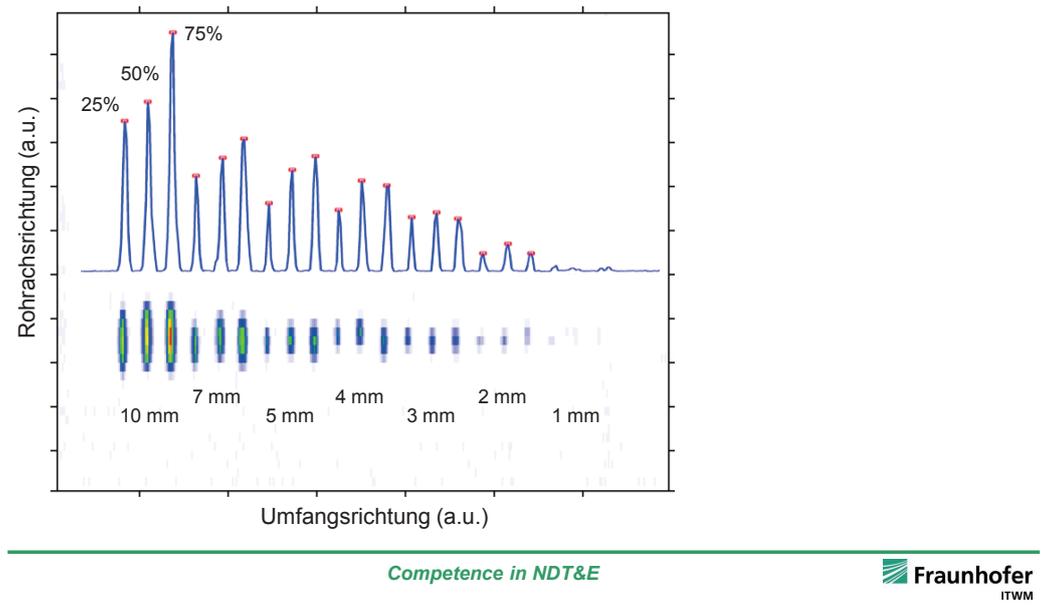
Konventionell oder PA: ein POD-Vergleich kann helfen

Konventioneller und PA-Prüfkopf, jeweils SE



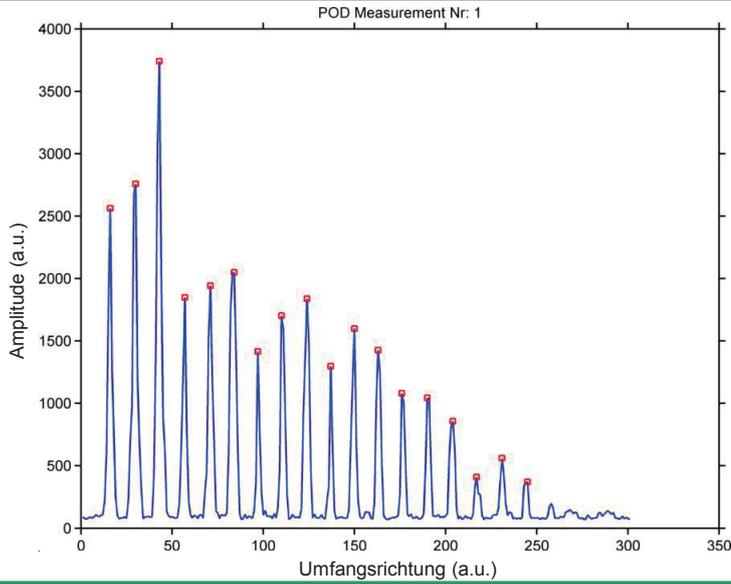
Konventionell oder PA: ein POD-Vergleich kann helfen

C-Scan und Echodynamik des PA-Prüfkopfes



Konventionell oder PA: ein POD-Vergleich kann helfen

Dynamik der 30 POD-Fahrten



Competence in NDT&E

Konventionell oder PA: ein POD-Vergleich kann helfen

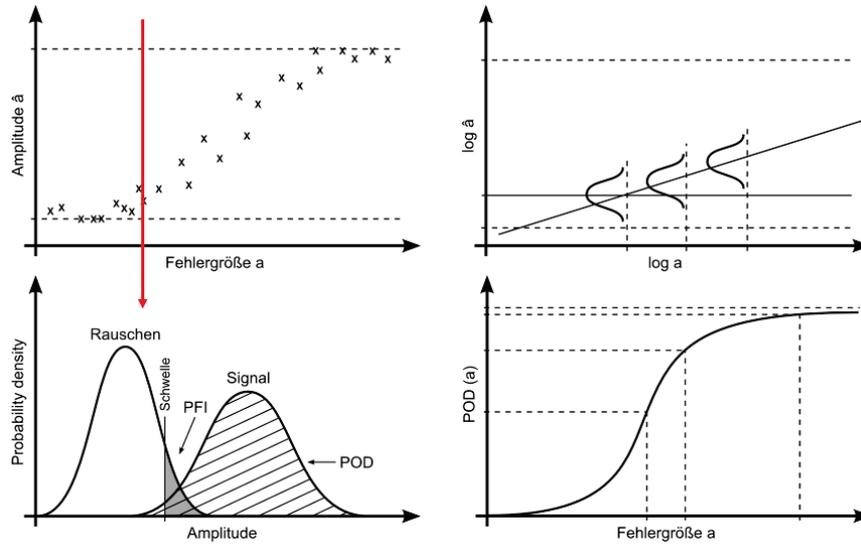
Übersicht

- Motivation
- Experimentelle Vorbereitung zur POD-Analyse
- Grundlagen POD und MAPOD
 - POD-Modell auf Basis der Rice-Verteilung
 - validiertes Simulationsverfahren GPSS
- POD Berechnungen für konventionelle und Phased-Array Daten
 - \hat{a} vs a - Plots
 - POD-Ergebnisse mittels ‚mh1823‘ und ITWM-Modell
- Zusammenfassung

Competence in NDT&E

Konventionell oder PA: ein POD-Vergleich kann helfen

Wie kommt man zu einer POD-Kurve? \hat{a} -vs- a -Analyse



Competence in NDT&E

Firma/Abteilung: Folie 11, 02/09/14

Konventionell oder PA: ein POD-Vergleich kann helfen

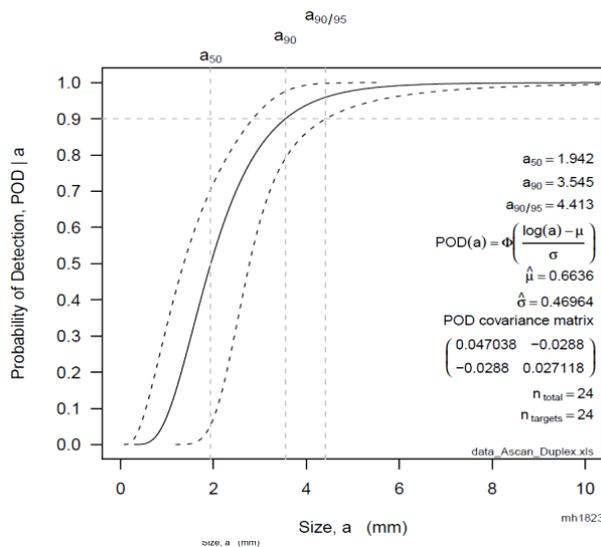
MIL-HDBK-1823 – Software mh1823

icalengineering.com

NOT MEASUREMENT
SENSITIVE

MIL-HDBK-1823A
7 April 2009

SUPERSEDING
MIL-HDBK-1823
14 April 2004



**DEPARTMENT OF DEFENSE
HANDBOOK**
**ONDESTRUCTIVE EVALUATION SYSTEM
RELIABILITY ASSESSMENT**



This handbook is for guidance only.
Do not cite this document as a requirement.

AREA NDTI

STATEMENT A. Approved for public release; distribution is unlimited.

Competence in NDT&E

Firma/Abteilung: Folie 12, 02/09/14

Konventionell oder PA: ein POD-Vergleich kann helfen

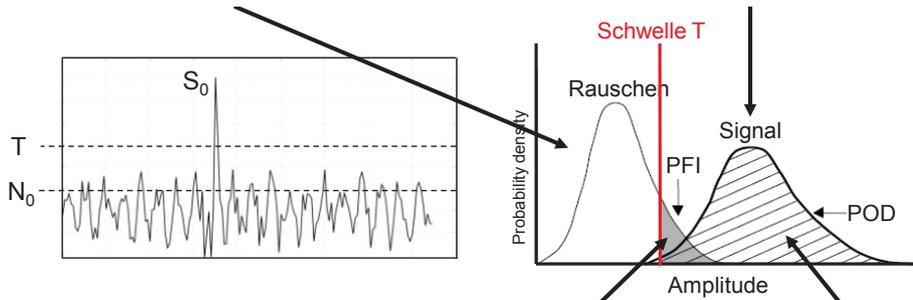
POD-Modell - Wahrscheinlichkeitsverteilungen, POD u. PFI

Rauschen: Rayleigh

$$P(N) = \frac{N}{\sigma_0^2} \exp\left[-\frac{N^2}{2\sigma_0^2}\right]$$

Signal: Rice

$$P(S) = \frac{S}{\sigma_0^2} \exp\left[-\frac{(S^2 + S_0^2)}{2\sigma_0^2}\right] I_0\left(\frac{S S_0}{\sigma_0^2}\right)$$



$$\langle N \rangle = N_0 = \sigma_0 \sqrt{\pi/2}$$

$$PFI = \int_T^\infty P(N) dN$$

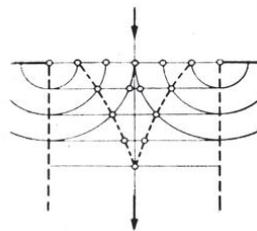
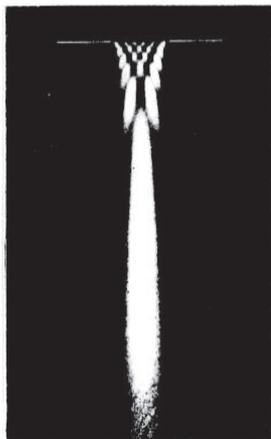
$$POD = \int_T^\infty P(S) dS$$

Competence in NDT&E

Firma/Abteilung: Folie 13, 02/09/14

Konventionell oder PA: ein POD-Vergleich kann helfen

MAPOD - Validiertes Simulationsverfahren Generalisierte Punktquellensynthese GPSS



Quelle: Krautkrämer & Krautkrämer,
„Werkstoffprüfung mit Ultraschall“, (Springer,
Berlin)

- Integralgleichung zur Schallfeldberechnung

$$\mathbf{u}(\mathbf{R}, \omega) \cong - \int \int_S \sum_{\alpha} [\mathbf{t}(\mathbf{R}', \omega) \cdot \mathbf{g}_{\alpha}(\hat{\mathbf{K}}(\Delta\mathbf{R}))] \cdot \hat{\mathbf{u}}_{\alpha}(\hat{\mathbf{K}}(\Delta\mathbf{R})) \frac{e^{j\omega|\Delta\mathbf{R}|/c_{\alpha}(\Delta\mathbf{R})}}{4\pi|\Delta\mathbf{R}|} dS'$$

- Integralgleichung zur Fehlersignalberechnung (Kirchhoff-Näherung)

$$\mathbf{u}_{sc}^{\alpha}(\mathbf{R}, \omega) \cong \int \int_S [\mathbf{u}_S(\mathbf{R}', \omega) \cdot \mathbf{t}_{\alpha}(\hat{\mathbf{K}}(\Delta\mathbf{R}))] \cdot \hat{\mathbf{u}}_{\alpha}(\hat{\mathbf{K}}(\Delta\mathbf{R})) \frac{e^{j\omega|\Delta\mathbf{R}|/c_{\alpha}(\Delta\mathbf{R})}}{4\pi|\Delta\mathbf{R}|} dS'$$

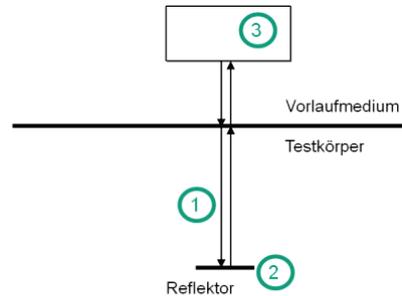
Competence in NDT&E

Firma/Abteilung: Folie 14, 02/09/14

Berechnung der Fehlersignale: Modellierungsschritte

- auf Fehler auftreffendes Schallfeld
= Schallfeld des Prüfkopfs mit
Vorlaufmedium ①
- gestreutes Wellenfeld mittels
Kirchhoffscher Näherung ②
- im Impuls-Echo-Betrieb empfangenes
Fehlersignal mittels Auld'schem
Reziprozitätstheorem ③

- Berechnung unter Berücksichtigung der
Materialeigenschaften

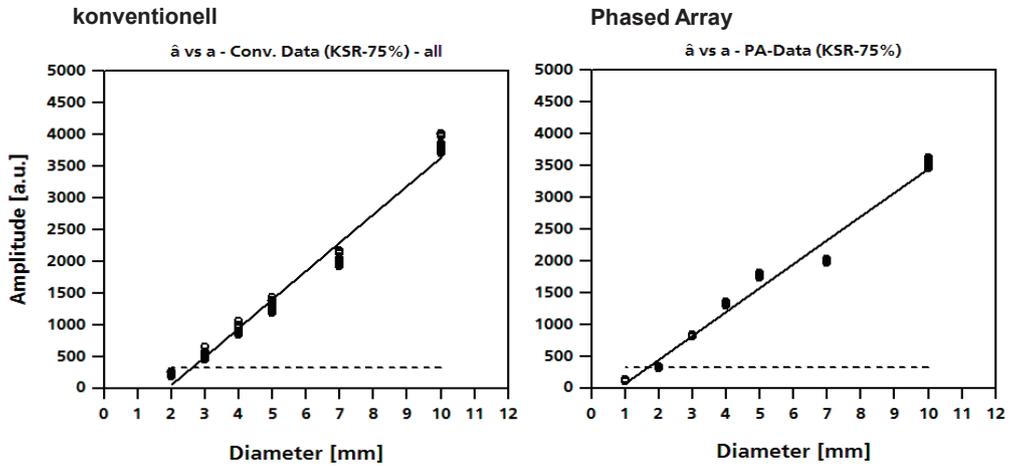


Übersicht

- Motivation
- Experimentelle Vorbereitung zur POD-Analyse
- Grundlagen POD und MAPOD
 - POD-Modell auf Basis der Rice-Verteilung
 - validiertes Simulationsverfahren GPSS
- POD Berechnungen für konventionelle und Phased-Array Daten
 - \hat{a} vs a – Plots
 - POD-Ergebnisse mittels ‚mh1823‘ und ITWM-Modell
- Zusammenfassung

Konventionell oder PA: ein POD-Vergleich kann helfen

Gemessene Maximalamplituden – KSR 75%

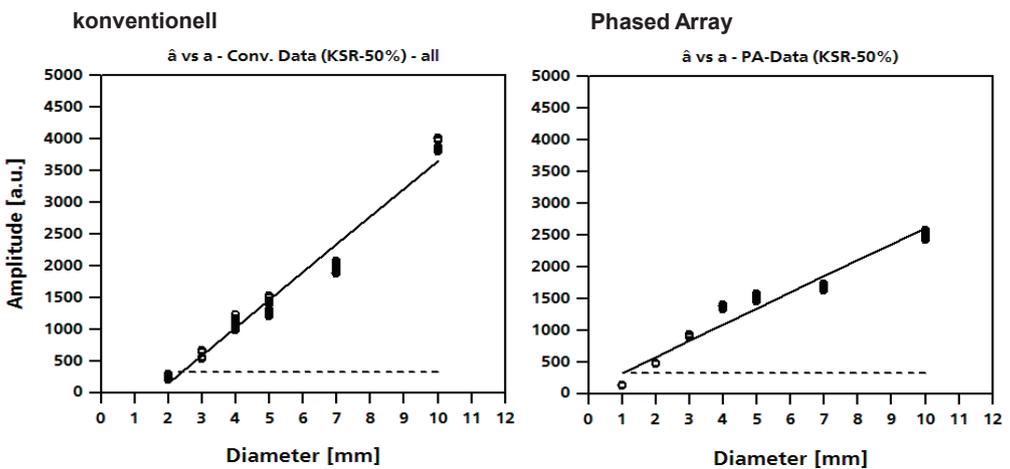


Competence in NDT&E

Firma-Abteilung, Folie 17, 02.09.14

Konventionell oder PA: ein POD-Vergleich kann helfen

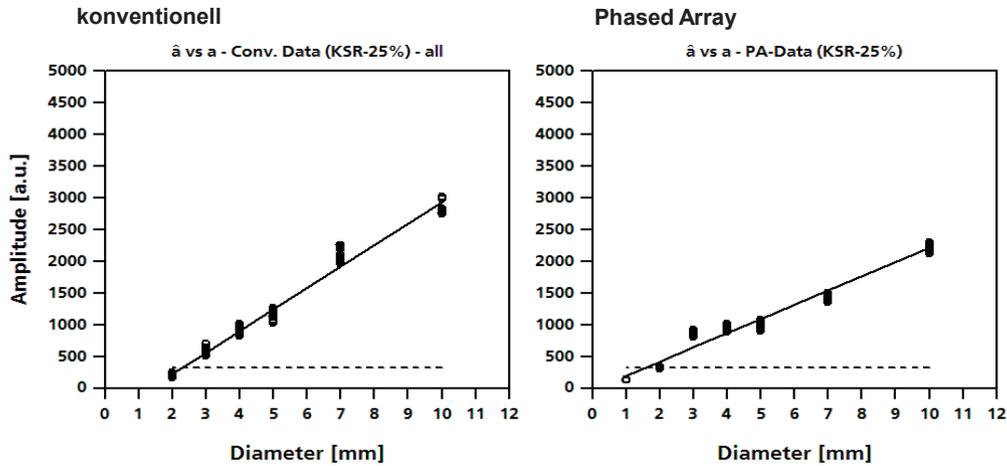
Gemessene Maximalamplituden – KSR 50%



Competence in NDT&E

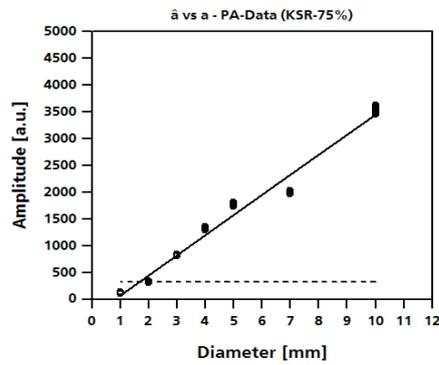
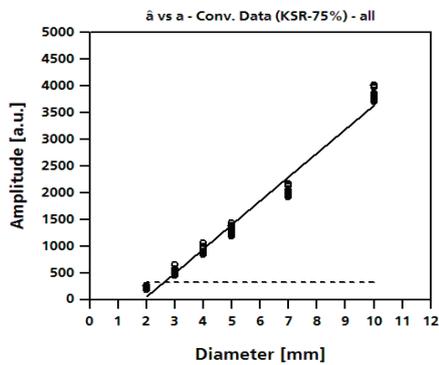
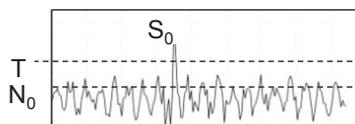
Firma-Abteilung, Folie 18, 02.09.14

Gemessene Maximalamplituden – KSR 25%



POD-Berechnungen – Parameter ITWM-Modell

- PA: Varianz $\sigma_0 = 120$
- konv.: Varianz $\sigma_0 = 120$
- Schwellwert T : 11 dB über Rauschen
gemäß Kalibrierung (KSR3)



Konventionell oder PA: ein POD-Vergleich kann helfen

mh1823 – \hat{a} vs a – Fit-Modelle – KSR 75%

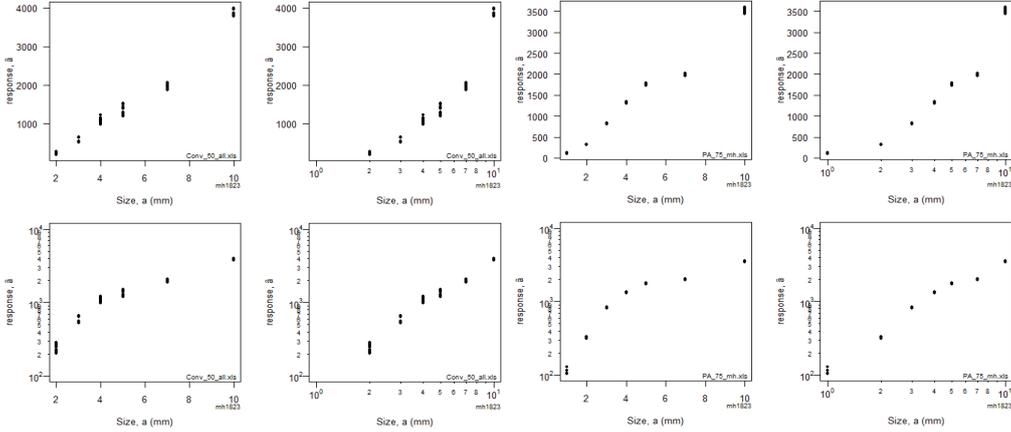


Konventionell

Phased Array

Four Possible \hat{a} vs. a Models
also use to determine values for left.censur (= a.hat.noise),
right.censur, and a.hat.decision

Four Possible \hat{a} vs. a Models
also use to determine values for left.censur (= a.hat.noise),
right.censur, and a.hat.decision



Competence in NDT&E



Firmen-Abbildung, Folie 21, 02/08/14

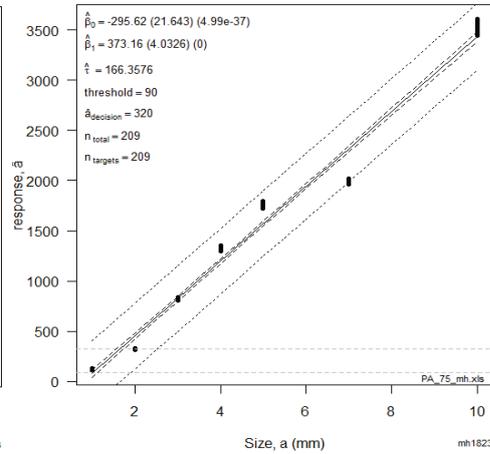
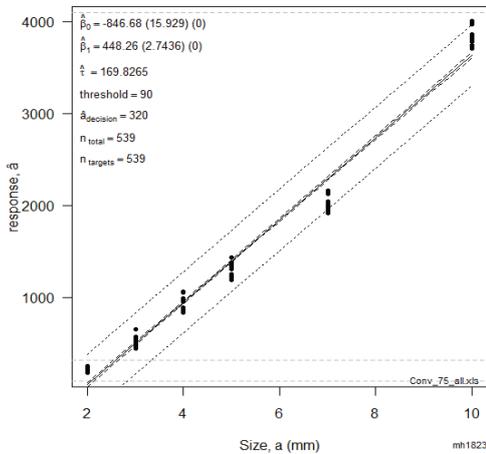
Konventionell oder PA: ein POD-Vergleich kann helfen

mh1823 – \hat{a} vs a – lin-lin-Modell – KSR 75%



konventionell

Phased Array



Competence in NDT&E



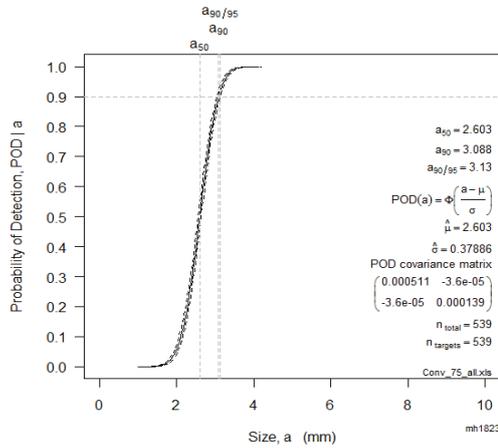
Firmen-Abbildung, Folie 22, 02/08/14

Konventionell oder PA: ein POD-Vergleich kann helfen

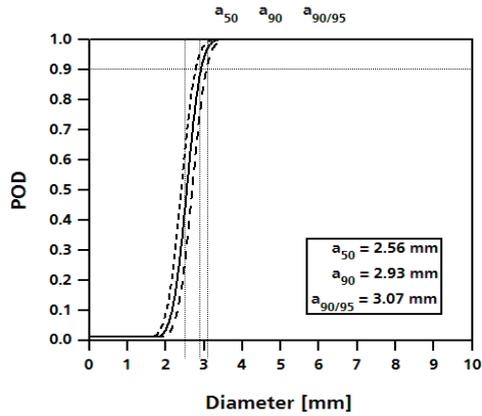
POD-Kurven – konventionell – KSR 75%



mh1823



ITWM



Competence in NDT&E



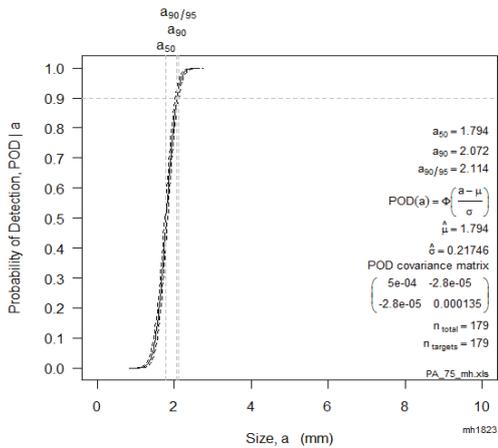
Firma, Abbildung, Folie 23, 02/08/14

Konventionell oder PA: ein POD-Vergleich kann helfen

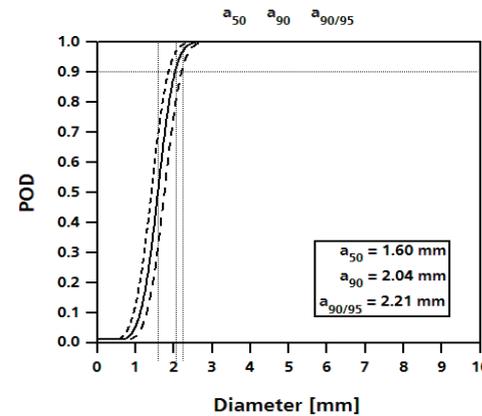
POD-Kurven – Phased Array – KSR 75%



mh1823



ITWM



Competence in NDT&E

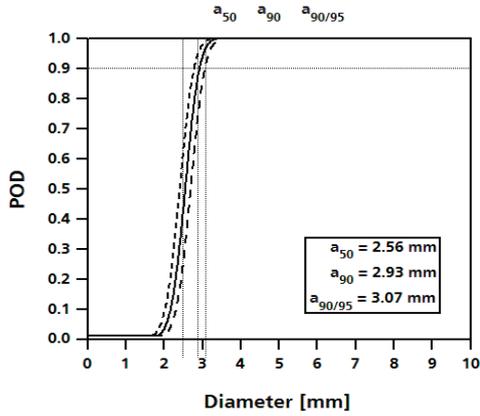


Firma, Abbildung, Folie 24, 02/08/14

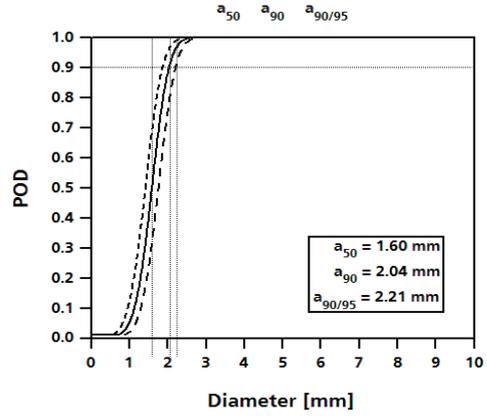
Konventionell oder PA: ein POD-Vergleich kann helfen

POD-Kurven – KSR 75%

konventionell



Phased Array

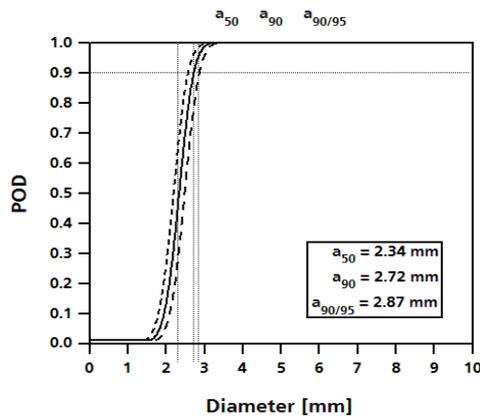


Competence in NDT&E

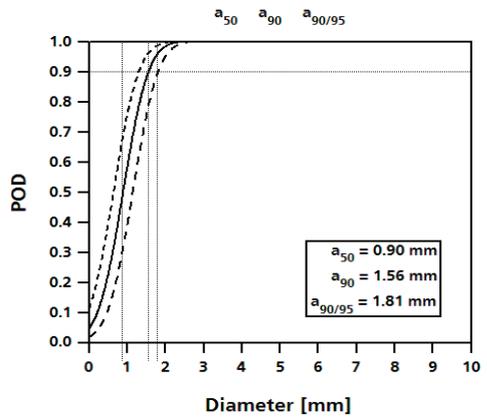
Konventionell oder PA: ein POD-Vergleich kann helfen

POD-Kurven – KSR 50%

konventionell



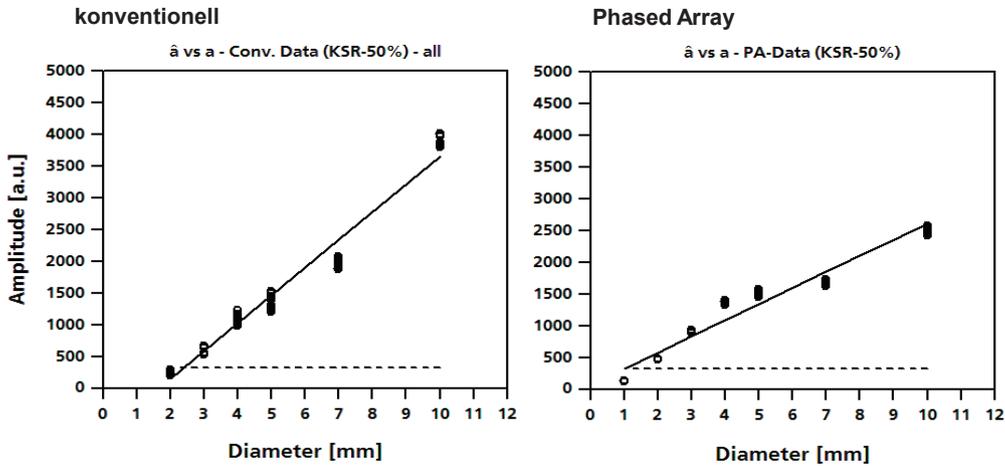
Phased Array



Competence in NDT&E

Konventionell oder PA: ein POD-Vergleich kann helfen

Gemessene Maximalamplituden – KSR 50%

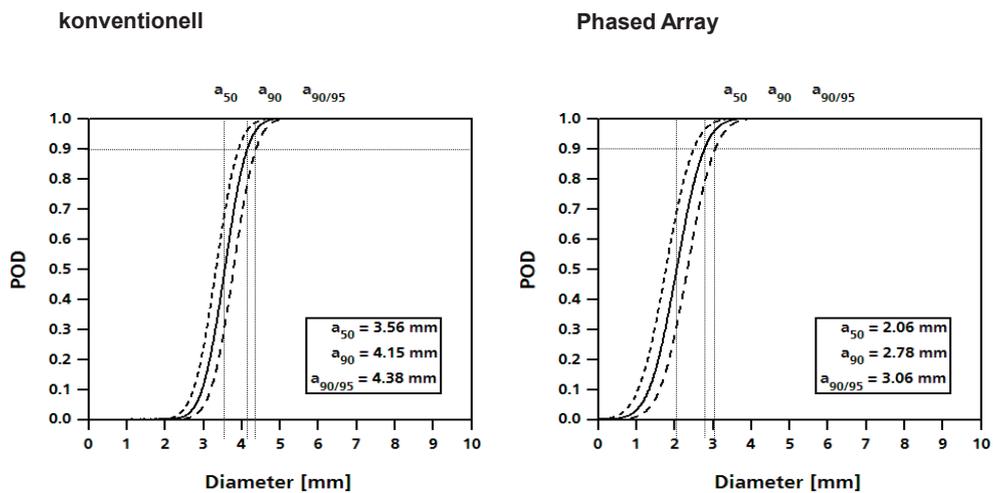


Competence in NDT&E

Firma: Ableitung, Folie 27, 02/08/14

Konventionell oder PA: ein POD-Vergleich kann helfen

POD-Kurven – KSR 50% - Kalibrierung auf KSR5

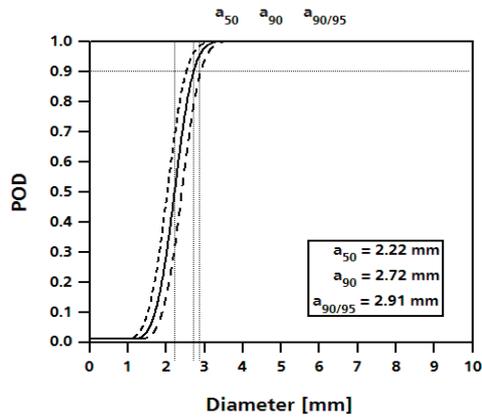


Competence in NDT&E

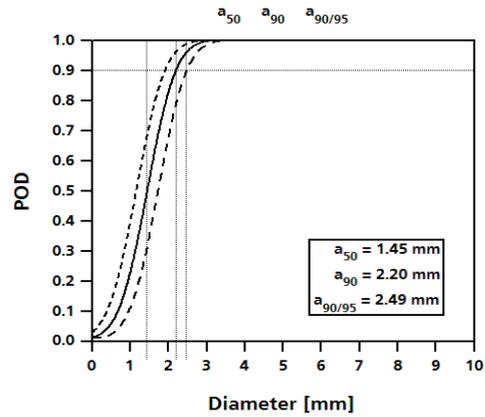
Firma: Ableitung, Folie 28, 02/08/14

POD-Kurven – KSR 25%

konventionell



Phased Array



Übersicht

- Motivation
- Experimentelle Vorbereitung zur POD-Analyse
- Grundlagen POD und MAPOD
 - POD-Modell auf Basis der Rice-Verteilung
 - validiertes Simulationsverfahren GPSS
- POD Berechnungen für konventionelle und Phased-Array Daten
 - \hat{a} vs a – Plots
 - POD-Ergebnisse mittels ‚mh1823‘ und ITWM-Modell
- Zusammenfassung

Zusammenfassung

-  Die dargestellte POD-Analyse hilft quantitativ bei dem Vergleich beider Prüftechniken.
-  Im Vergleich zeigt der Einsatz von Phased-Array einen empfindlicheren sicheren Fehlernachweis je nach Tiefenlage des KSR in der Größenordnung von 0.5 – 1 mm.
-  Der Effekt des Zusammenhanges POD und PFI konnte eindeutig gezeigt werden (Kalibrierung auf KSR 3 oder KSR 5) und stellt einen wichtigen Aspekt für die praktische Umsetzung dar.
-  Die Auslegung von Empfindlichkeitszuschlägen kann über eine POD-Analyse quantitativ bewertet werden.
-  Die Betrachtung von realitätsnahen Referenzfehlern ist wesentlich für die POD-Analyse.
-  Die experimentelle POD-Analyse ist aufwändig und kann durch partiellen Einsatz von Simulationsdaten vereinfacht oder unterstützt werden.