

Optimierung von Empfindlichkeitszuschlägen bei der Rohrendenprüfung mittels POD-Analyse

Thomas ORTH¹, Martin SPIES², Thomas KERSTING³

¹ Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH, Duisburg

² Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP, Saarbrücken

³ EUROPIPE GmbH, Mülheim an der Ruhr

Kurzfassung

Der Einsatz neuer Prüftechniken im Bereich der industriellen Produktion zur Erhöhung der Prüfgeschwindigkeit erfordert die Bewertung der Leistungsfähigkeit der Verfahren bezüglich der zulässigen und damit aufzufindenden Fehlertypen und Fehlergrößen. Im Rahmen einer POD-Studie haben wir gezeigt, dass der Einsatz von Phased-Array Verfahren im Vergleich zu konventionellen Prüftechniken einen um in der Größenordnung von 0.5 bis 1 mm empfindlicheren Fehlernachweis je nach Tiefenlage der betrachteten Kreisscheibenreflektoren (KSR) erlaubt [DGZfP-JT 2014, Mi.2.A.4]. Dabei besteht ein eindeutiger Zusammenhang zwischen den Entscheidungsschwellwerten, der Fehlerauffindwahrscheinlichkeit (engl. Probability of Detection POD) und der Falschanzeigenrate (engl. Probability of False Indication PFI), der einen wichtigen Aspekt für die praktische Umsetzung darstellt.

In diesem Beitrag berichten wir über Ergebnisse, die wir im Rahmen von modellbasierten, virtuellen sowie experimentellen Untersuchungen dieses Zusammenhangs erzielt haben. In einem ersten Schritt haben wir eigene, am Fraunhofer-Institut entwickelte Berechnungsverfahren eingesetzt, um das Zusammenspiel von Kalibrierung (auf KSR 3 oder KSR 5), Empfindlichkeitszuschlag, Entscheidungsschwellwert und Messdatenstreuung zu beleuchten. Diese hinsichtlich der maximalen Fehleramplituden durchgeführten „a versus a'-POD-Analysen erlauben die quantitative Bewertung und die optimierte Auslegung von Empfindlichkeitszuschlägen. Die modellbasierten Ergebnisse haben wir dann mit Blick auf die Rohrendenprüfung an Testfehlern unterschiedlicher Dimensionen in einem Testrohr aus ferritischem Stahl experimentell untersucht. Wir präsentieren die erzielten Ergebnisse und diskutieren deren Bedeutung für die Prüfpraxis.

Optimierung von Empfindlichkeitszuschlägen bei der Rohrendenprüfung mittels POD-Analyse

T. Orth,

N. Chichkov, T. Schmitte

Salzgitter Mannesmann Forschung, Duisburg

M. Spies

Fraunhofer IZFP, Saarbrücken

T. Kersting

EUROPIPE, Mülheim an der Ruhr

DACH-Jahrestagung 2015, Salzburg – 11.-13. Mai 2015

Optimierung Empfindlichkeitszuschläge mit POD

Übersicht

-  Motivation
-  Experimentelle Vorbereitung zur POD-Analyse
-  (POD-Berechnungen mit mh1823: Einsatz eines IE-Prüfkopfes)
-  POD-Berechnungen mit dem Rayleigh-Rice-Modell: Empfindlichkeitszuschläge
-  POD-Berechnungen mit dem Rayleigh-Rice-Modell: Prüfparametervariation
-  Zusammenfassung

Übersicht

-  Motivation
-  Experimentelle Vorbereitung zur POD-Analyse
-  POD-Berechnungen mit mh1823: Einsatz eines IE-Prüfkopfes
-  POD-Berechnungen mit dem Rayleigh-Rice-Modell: Empfindlichkeitszuschläge
-  POD-Berechnungen mit dem Rayleigh-Rice-Modell: Prüfparametervariation
-  Zusammenfassung

Motivation I

-  Das Rohrende von Leitungsrohren steht immer im besonderen Fokus der Verleger.
-  Dopplungen oder auch Einschlüsse können zum einen beim Zusammenschweißen der Rohre zu Rundnahtschweißfehlern führen oder aber die anschließende Ultraschallprüfung der Rundnaht erheblich behindern.
-  Gängige Rohrspezifikationen (z.B. ISO 3183, ISO 10893-8, API 5L, u.a.) fordern mindestens eine Ultraschalldopplungsprüfung am Rohrumfang der letzten 25 mm bis 150 mm des Rohrendes.
-  Typische Referenzfehler zur Einstellung der Prüfempfindlichkeit sind 6 mm Flachbodenbohrungen (EUROPIPE Standard KSR5), an denen eine DAC-Kurve aufgenommen wird. Als Akzeptanzkriterium gilt in der Regel eine Fehlerfläche von 100 mm² - 250 mm².
-  Häufig werden diese Standardanforderungen projektbezogen deutlich verschärft, 3 mm Flachbodenbohrungen sind als Referenzfehler keine Seltenheit.
-  Die Erhöhung der Prüfempfindlichkeit durch Verstärkungszuschläge ist nicht generell eine Lösung, da infolge die Pseudoanzeigenrate steigt (Prüfzuverlässigkeit leidet).

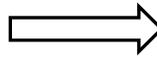
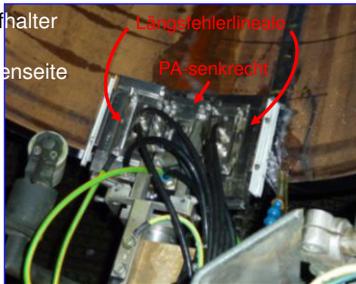
Motivation II: Rohrendenprüfung EUROPIPE 2013

Prüfung der Rohrenden auf:
1. Dopplungen
2. Längsfehler



Kombination mit MP-Prüfung der Faskante

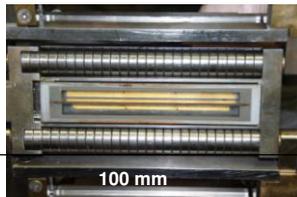
Prüfkopfhalter an der Rohrinneenseite



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

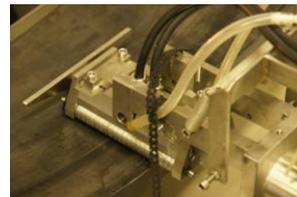
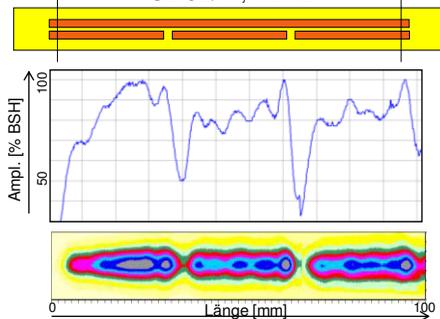
DGZfP-Jahrestagung 2014, Potsdam

Konventioneller und PA-Prüfkopf, jeweils SE

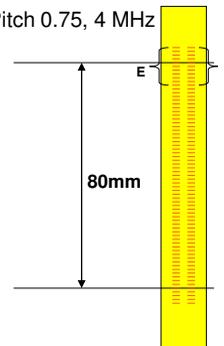


100 mm

SE-3E/1T, 4 MHz



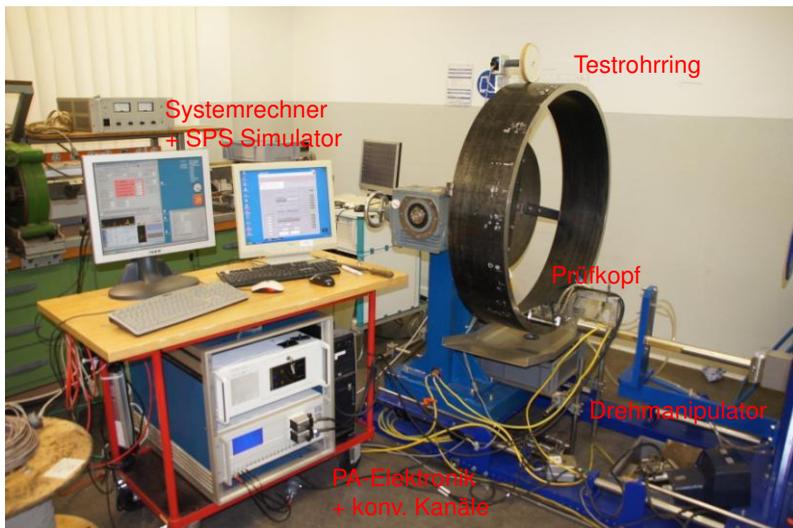
SE-128 PA, Pitch 0.75, 4 MHz



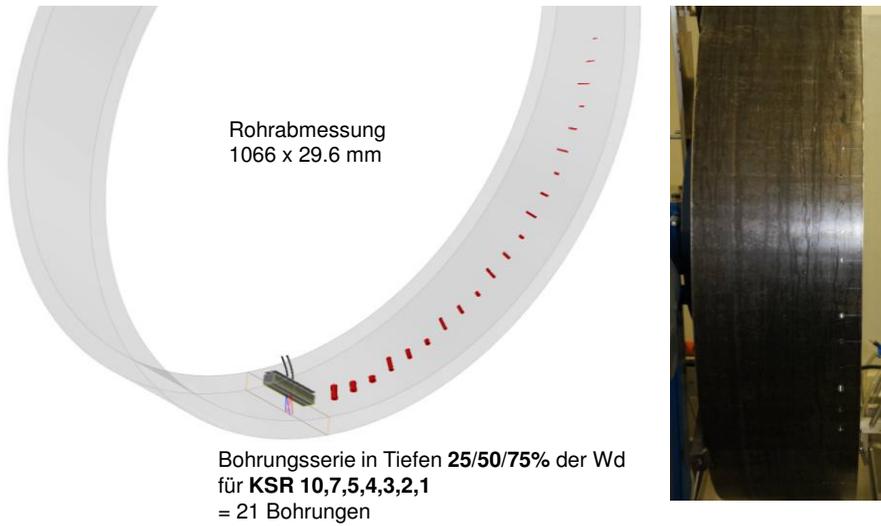
Übersicht

- Motivation
- Experimentelle Vorbereitung zur POD-Analyse
- POD-Berechnungen mit mh1823: Einsatz eines IE-Prüfkopfes
- POD-Berechnungen mit dem Rayleigh-Rice-Modell: Empfindlichkeitszuschläge
- POD-Berechnungen mit dem Rayleigh-Rice-Modell: Prüfparametervariation
- Zusammenfassung

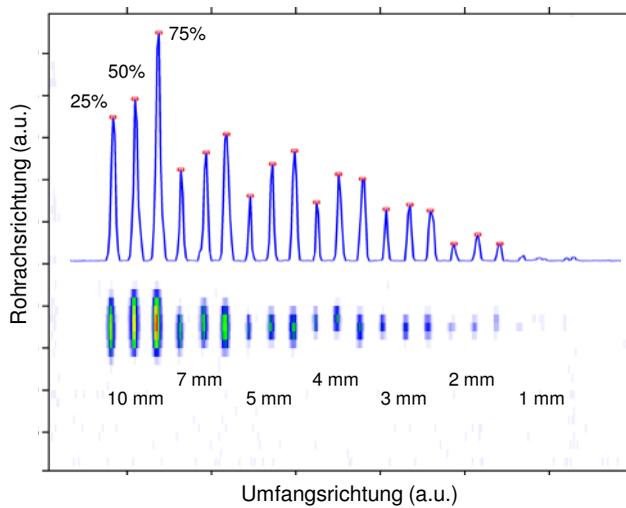
Experimenteller Aufbau



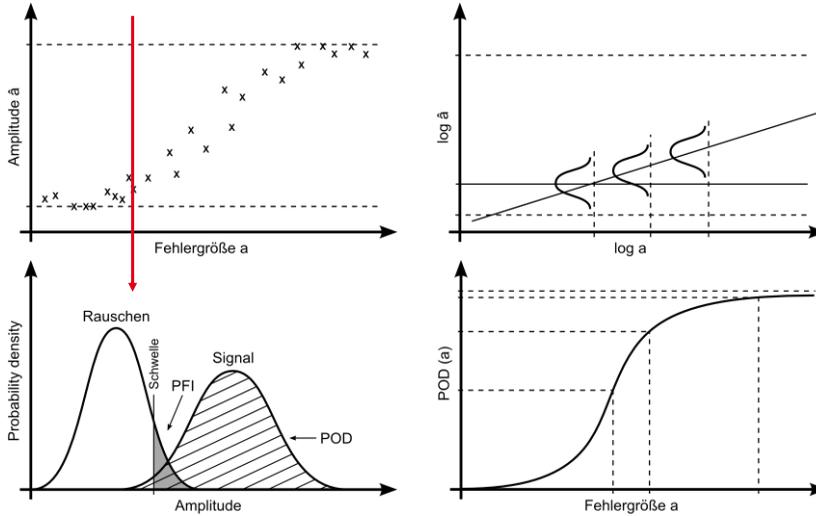
Referenzfehler



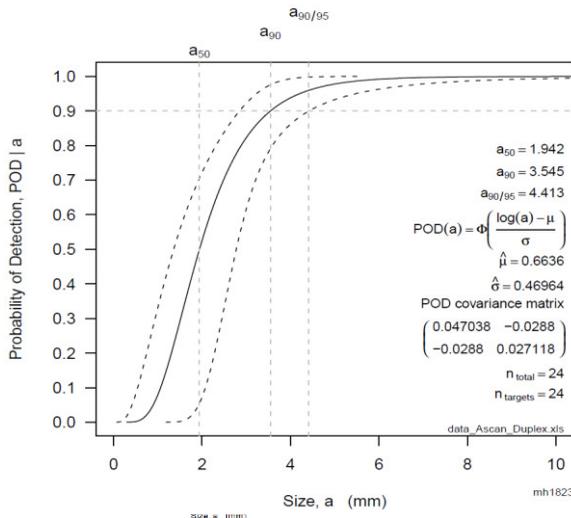
C-Scan und Echodynamik des SE-PA-Lineararrays



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



MIL-HDBK-1823 – Software mh1823

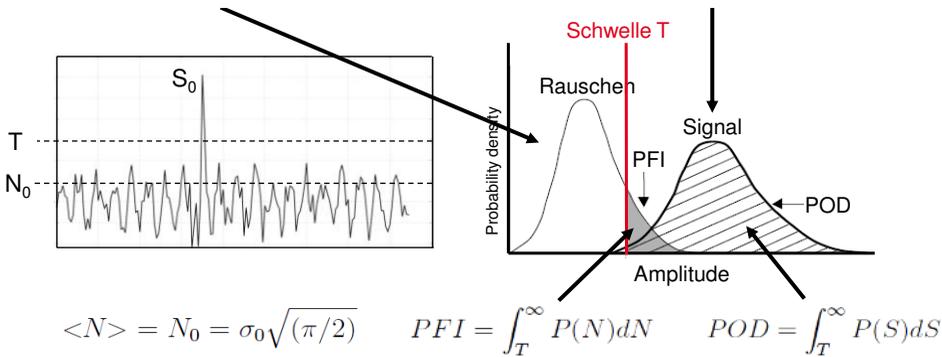


Rauschen: Rayleigh

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

Signal: Rice

$$P(S) = \frac{S}{\sigma_0^2} \exp\left[-\frac{(S^2 + S_0^2)}{2\sigma_0^2}\right] I_0\left(\frac{SS_0}{\sigma_0^2}\right)$$



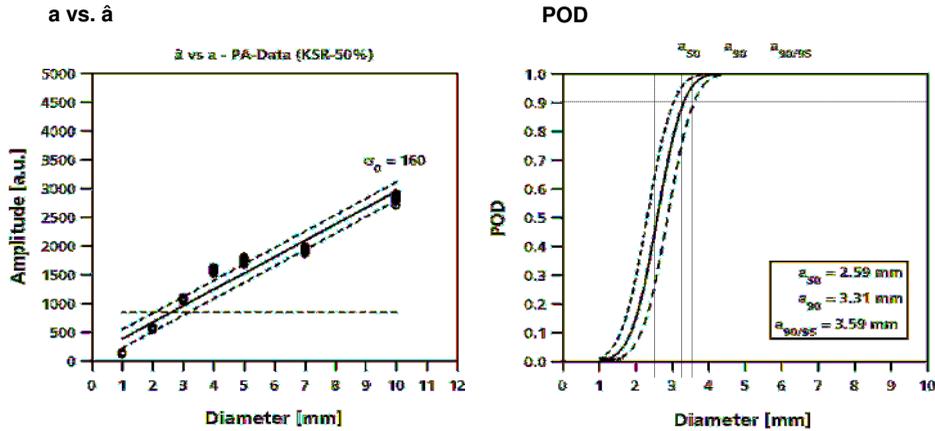
M. Spies et al., DACH-Tagung 2012 Graz, Mi.3.B.1

Übersicht

- Motivation
- Experimentelle Vorbereitung zur POD-Analyse
- POD-Berechnungen mit mh1823: Einsatz eines IE-Prüfkopfes
- POD-Berechnungen mit dem Rayleigh-Rice-Modell: Empfindlichkeitszuschläge
- POD-Berechnungen mit dem Rayleigh-Rice-Modell: Prüfparametervariation
- Zusammenfassung

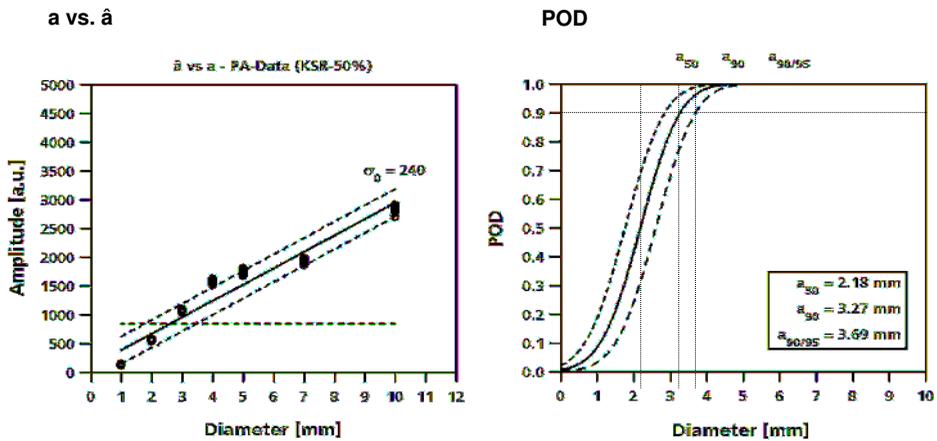
Phased Array – KSR 50% - Kalibrierung auf KSR5

(-6 dB, Varianz $\sigma_0 = 160$)



Phased Array – KSR 50% - Kalibrierung auf KSR5

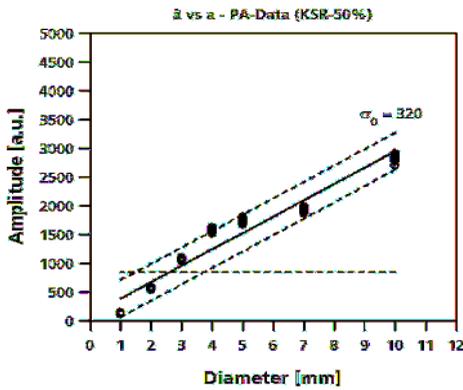
(-6 dB, Varianz $\sigma_0 = 240$)



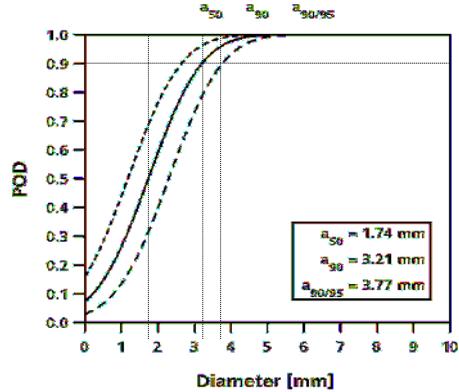
Phased Array – KSR 50% - Kalibrierung auf KSR5

(-6 dB, Varianz $\sigma_0 = 320$)

a vs. \hat{a}



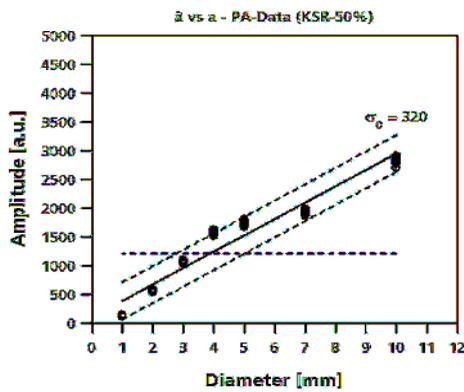
POD



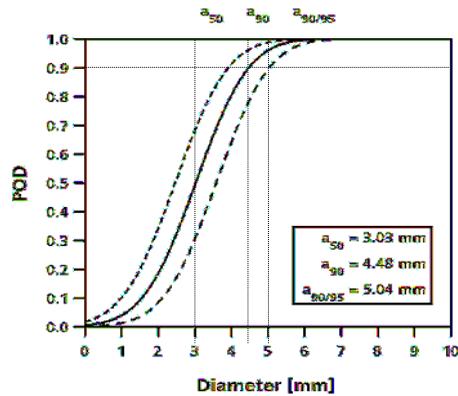
Phased Array – KSR 50% - Kalibrierung auf KSR5

(-3 dB, Varianz $\sigma_0 = 320$)

a vs. \hat{a}

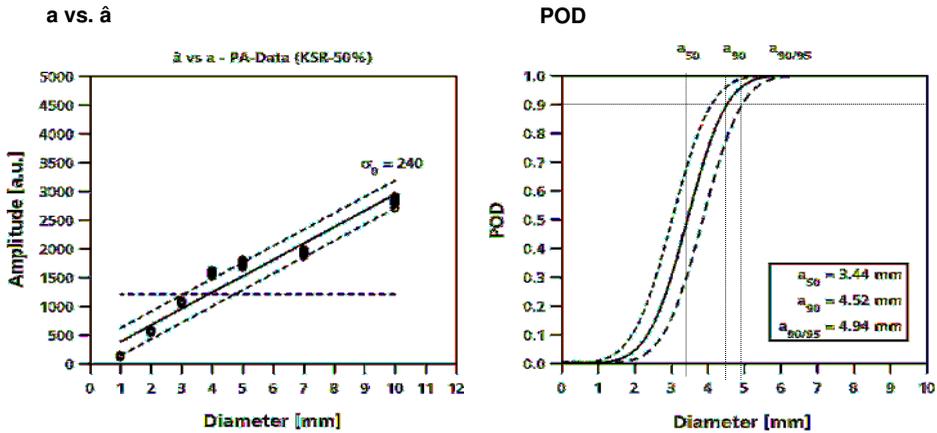


POD



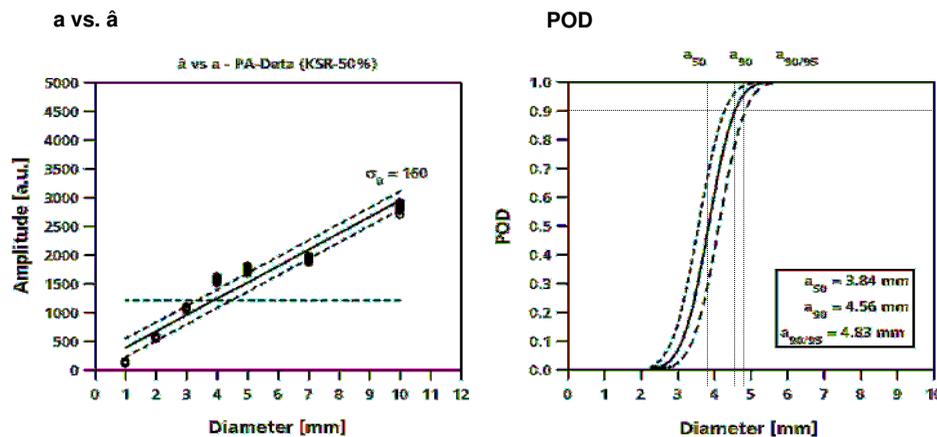
Phased Array – KSR 50% - Kalibrierung auf KSR5

(-3 dB, Varianz $\sigma_0 = 240$)



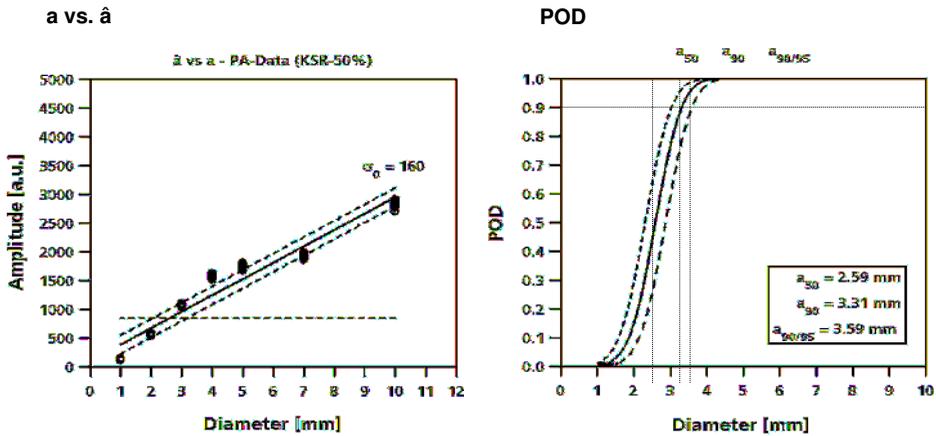
Phased Array – KSR 50% - Kalibrierung auf KSR5

(-3 dB, Varianz $\sigma_0 = 160$)



Phased Array – KSR 50% - Kalibrierung auf KSR5

(-6 dB, Varianz $\sigma_0 = 160$)



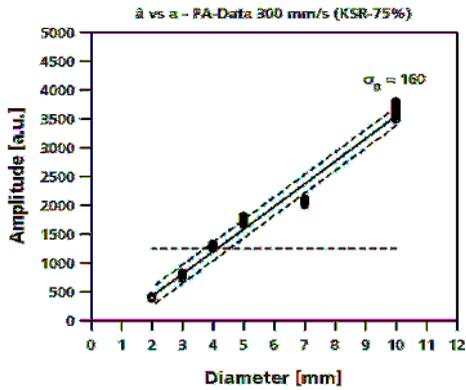
Übersicht

- Motivation
- Experimentelle Vorbereitung zur POD-Analyse
- POD-Berechnungen mit mh1823: Einsatz eines IE-Prüfkopfes
- POD-Berechnungen mit dem Rayleigh-Rice-Modell: Empfindlichkeitszuschläge
- POD-Berechnungen mit dem Rayleigh-Rice-Modell: Prüfparametervariation
- Zusammenfassung

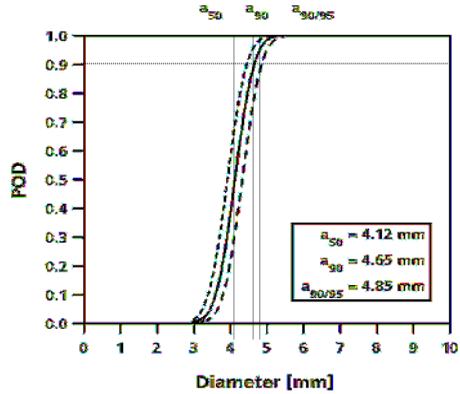
Phased Array – KSR 75%

(-3 dB, Varianz $\sigma_0 = 160$)
Prüfgeschwindigkeit 300 mm/s

a vs. \hat{a}



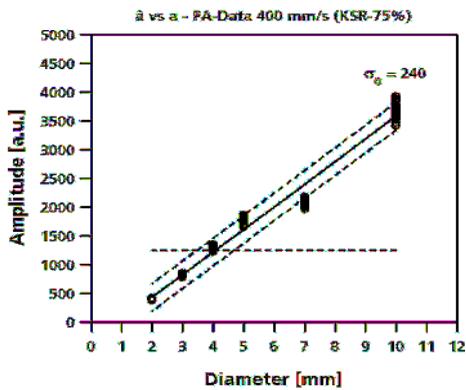
POD



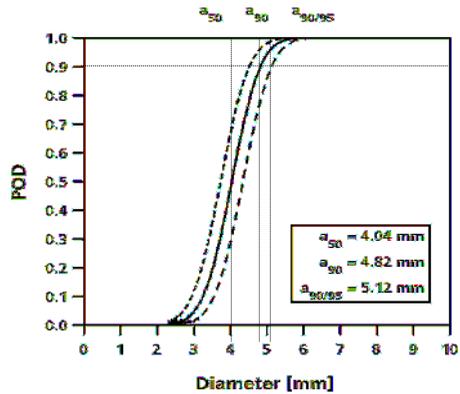
Phased Array – KSR 75%

(-3 dB, Varianz $\sigma_0 = 240$)
Prüfgeschwindigkeit 400 mm/s

a vs. \hat{a}



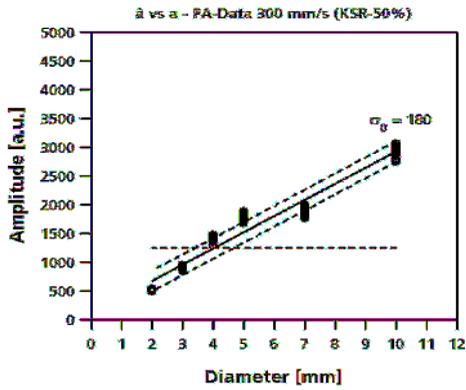
POD



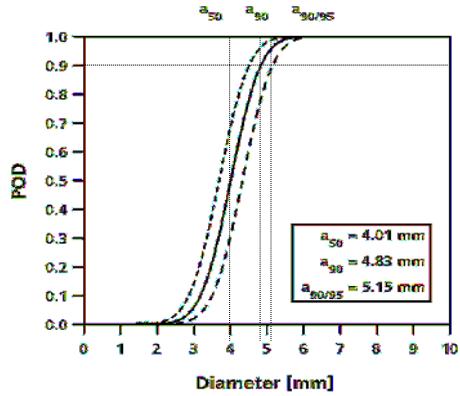
Phased Array – KSR 50%

(-3 dB, Varianz $\sigma_0 = 180$)
Prüfgeschwindigkeit 300 mm/s

a vs. \hat{a}



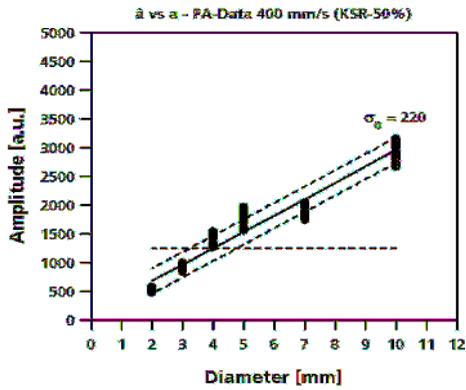
POD



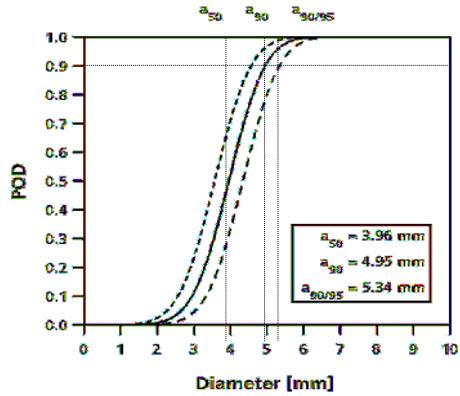
Phased Array – KSR 50%

(-3 dB, Varianz $\sigma_0 = 220$)
Prüfgeschwindigkeit 400 mm/s

a vs. \hat{a}



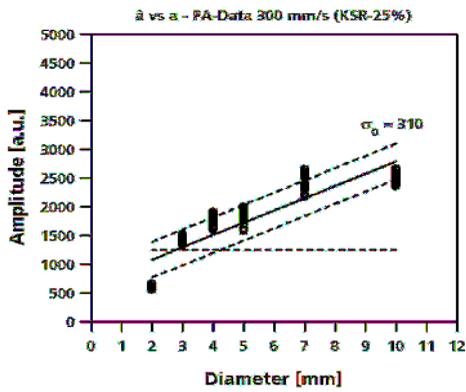
POD



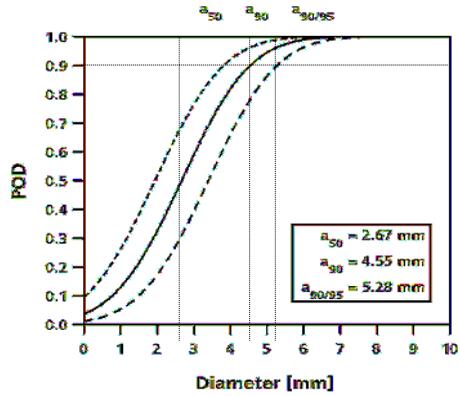
Phased Array – KSR 25%

(-3 dB, Varianz $\sigma_0 = 310$)
Prüfgeschwindigkeit 300 mm/s

a vs. \hat{a}



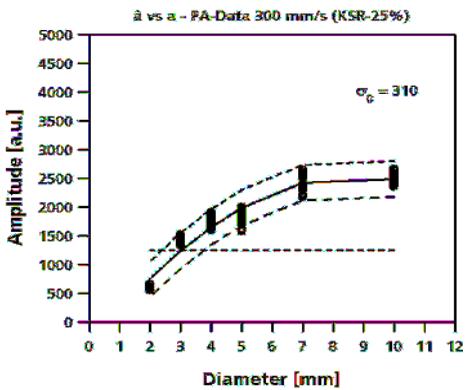
POD



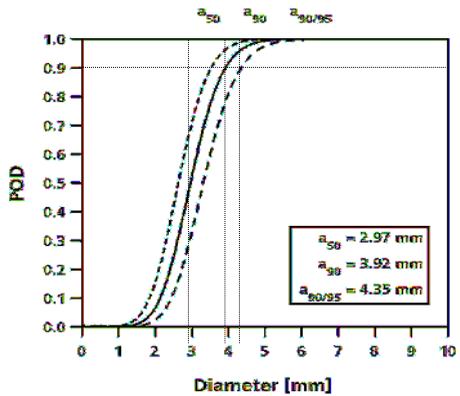
Phased Array – KSR 25%, Modell nicht-linear

(-3 dB, Varianz $\sigma_0 = 310$)
Prüfgeschwindigkeit 300 mm/s

a vs. \hat{a}

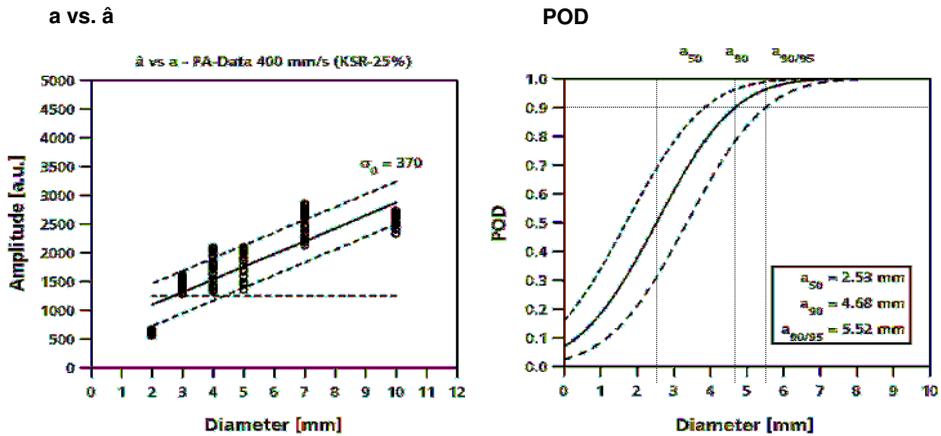


POD



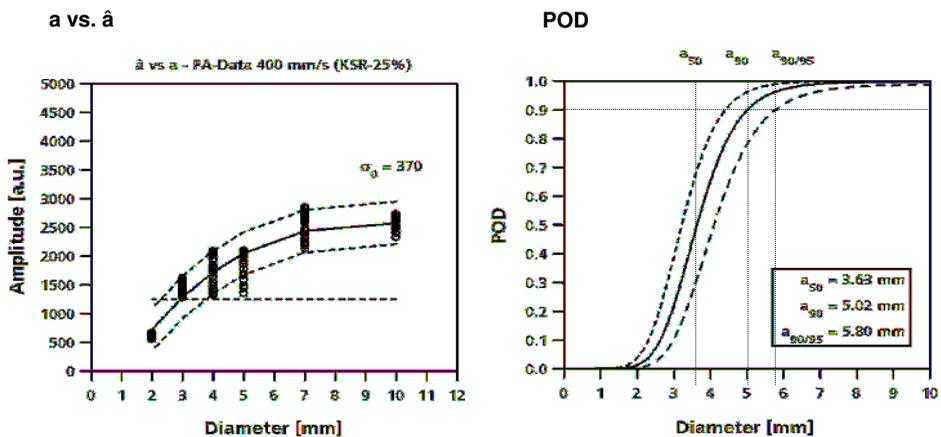
Phased Array – KSR 25%

(-3 dB, Varianz $\sigma_0 = 370$)
Prüfgeschwindigkeit 400 mm/s



Phased Array – KSR 25%, Modell nicht-linear

(-3 dB, Varianz $\sigma_0 = 370$)
Prüfgeschwindigkeit 400 mm/s



Übersicht

-  Motivation
-  Experimentelle Vorbereitung zur POD-Analyse
-  POD-Berechnungen mit mh1823: Einsatz eines IE-Prüfkopfes
-  POD-Berechnungen mit dem Rayleigh-Rice-Modell: Empfindlichkeitszuschläge
-  POD-Berechnungen mit dem Rayleigh-Rice-Modell: Prüfparametervariation
-  Zusammenfassung

Zusammenfassung

-  Ein anwendungsnaher experimenteller Aufbau sowie qualifizierte Testkörper und Testfehler sind für eine aussagekräftige POD-Analyse unerlässlich.
-  In vielen Fällen kann die standardisierte Vorgehensweise mit ‚mh1823‘ nicht angewendet werden, da die Messdaten nicht die entsprechenden Voraussetzungen erfüllen (linearer Fit-Verlauf).
-  Die am IZFP genutzte Implementierung auf Basis des Rayleigh-Rice-Modells bietet auch im Hinblick auf die Modell-basierte POD-Analyse Vorteile.
-  Unsere Analyse zeigt, dass durch prüfapplikationsspezifische Auslegung von Empfindlichkeitszuschlägen das Wechselspiel von sicherer Detektion, Falschanzeigenrate und Registrierung nicht relevanter Fehlergrößen (hier $< KSR_5$) optimiert werden kann.