

Der Unterschied zwischen Simulation und Praxis – Einfluss von Toleranzen im Ultraschallprüfsystem und deren Berücksichtigung

Thomas HECKEL¹, Viktoriya TKACHENKO¹, Tianyun ZHANG¹, Charleen LUPLOW¹,
Anne JÜNGERT², Daniel BRACKROCK¹, Marija BERTOVIĆ¹, Daniel KANZLER³

¹ Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin

² Materialprüfungsanstalt Universität Stuttgart, Stuttgart

³ Applied Validation of NDT, Berlin

Kontakt E-Mail: viktoriya.tkachenko@bam.de

Kurzfassung

Bei der simulationsunterstützten Planung kritischer Ultraschallprüfaufgaben ist die detaillierte Kenntnis der Parameter der eingesetzten Prüfköpfe von entscheidender Bedeutung. Durch die, in den Regelwerken (DIN EN ISO 22232-2) zugelassenen Toleranzen bei der Herstellung der Prüfköpfe sind einige Prüfkopfparameter nur ungefähr bekannt. Durch die Alterung von Prüfköpfen und Verschleiß können auch Parameter variieren, die nicht vollständig durch die erforderliche Justierung ausgeglichen werden können. Daher sind zusätzlichen Vorversuche oft unvermeidlich. In dieser Arbeit wurden nach einer statistischen Versuchsplanung (DoE) Untersuchungen zur relativen Echo-Empfindlichkeit von konventionellen Prüfköpfen durchgeführt. Die Auswertung wurde für prüfkopfbezogene und personenbezogene Stichproben durchgeführt. Es wird gezeigt, wie weit die Daten um den Zentralwert herum verteilt sind bzw. wie sehr sich das Testobjekt im untersuchten Merkmal unterscheidet.

Gerade in Hinblick auf die Beurteilung der intrinsischen Fähigkeit von Prüfverfahren und der Human Factors wird das POD-Analysekonzept zur quantitativen Bewertung der Zuverlässigkeit weiterentwickelt. Die HF-Quantifizierung bezieht sich auf verschiedene Faktoren und Methoden, die in der Veröffentlichung von M. Bertovic et al. [1] ausführlich beschrieben wurden. Die Schritte, die für das Bewertungsverfahren zur POD-Analyse erforderlich sind, werden in der Veröffentlichung von D. Kanzler et al. [2] detailliert dargestellt. Die grundlegenden Anforderungen an die Testkörpersätze für die POD-Analyse wurden in der Publikation von A. Jüngert et al. [3] zusammengefasst. Diesbezüglich wurden mit Hilfe von Simulationsrechnungen die möglichen Abweichungen an Beispielen der im Projekt norm-POD ausgewählten Prüfanordnungen dargestellt. Die Ergebnisse wurden Messungen an Testkörpern gegenübergestellt.

[1] Marija Bertovic et al.: Human Factors in der POD - ist das möglich? DGZfP-Jahrestagung (2022)

[2] Daniel Kanzler et al.: Lasst uns mal POD standardisieren! DGZfP-Jahrestagung (2022)

[3] Anne Jüngert et al.: POD, aber wie? Konzeption und Herstellung von Testkörpersätzen und Prüfvorschriften für die experimentelle Zuverlässigkeitsbestimmung von ZfP-Prüfansätzen. DGZfP-Jahrestagung (2022)

Der Unterschied zwischen Simulation und Praxis

Einfluss von Toleranzen im Ultraschallprüfsystem und deren Berücksichtigung

Thomas Heckel¹, Viktoriya Tkachenko¹, Tianyun Zhang¹, Charleen Luplow¹,
Anne Jüngert², Daniel Brackrock¹, Marija Bertovic¹, Daniel Kanzler³

- 1 Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin, Deutschland
- 2 Materialprüfungsanstalt Universität Stuttgart, Stuttgart, Deutschland
- 3 Applied Validation of NDT, Berlin, Deutschland

Zusammenfassung

Für die Bestimmung der Zuverlässigkeit zerstörungsfreier Prüfverfahren werden neben Untersuchungen an Testkörpern zunehmend Simulationsverfahren angewendet. Im Projekt normPOD wird erstmals ein Ansatz verfolgt, die intrinsische Fähigkeit einer Prüfanordnung unter anderem durch Simulation zu evaluieren und von den Einflüssen menschlichen Faktoren abzugrenzen. Die im Rahmen der Fertigung erlaubten Schwankungen von Parametern der verwendeten Prüfausrüstung können dabei einen signifikanten Einfluss auf die Zuverlässigkeit haben. Erste Untersuchungen zur relativen Echo-Empfindlichkeit und Bandbreite zeigen, dass für diese Simulationen möglichst die individuellen Parameter des verwendeten Prüfkopfes verwendet werden sollten.

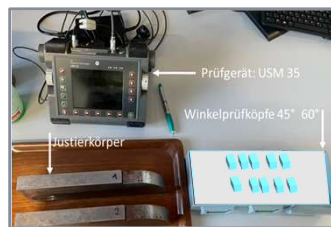
Das Projekt „Normung für die probabilistische Bewertung der Zuverlässigkeit für zerstörungsfreie Prüfverfahren“ wird durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie unter dem Förderkennzeichen 03TN0006C gefördert

Gefördert durch:

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Messverfahren, Datenerfassung und -Auswertung

Experimentelle Untersuchungen zur Abgrenzung der Einflüsse der Prüffähigkeit (IF) und der menschlichen Faktoren (HF) für die POD-Analyse

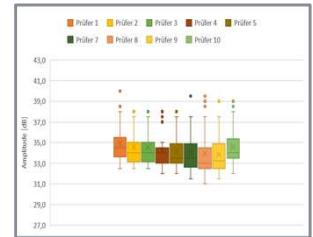
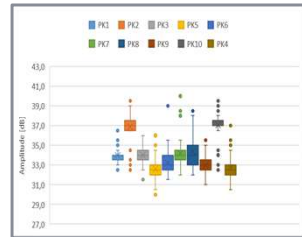


	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	PK1	1 PK2	2 PK3	3 PK4	4 PK5				
2	32,5	0,0483896	32,5	0,0057072	31,5	0,0088475	30,5	0,0483896	30
3	32	0,0068916	32,5	0,0057072	32,5	0,0277038	30,5	0,0483896	30,5
4	33	0,0068916							
5	33,5	0,1545135							
6	33,5	0,1545135	2	40,0	0,0807521	40,0	0,0807521	42,5	0,0610641
7	33,5	0,1545135	3	37,0	0,2075139	37,0	0,2075139	38,5	0,1707499
8	33,5	0,1545135	4	37,0	0,2075139	37,0	0,2075139	38,5	0,1707499
9	33,5	0,1545135	5	36,5	0,1895905	36,5	0,1895905	37,0	0,2074983
10	33,5	0,1545135	6	36,0	0,1616805	36,0	0,1616805	36,0	0,1540646
11	33,5	0,1545135	7	41,5	0,0194933	41,5	0,0194933	43,0	0,0426073
12	33,5	0,1545135	8	39,0	0,0951462	39,0	0,0951462	39,5	0,0426073
13	33,5	0,1545135	9	38,0	0,2008172	38,0	0,2008172	40,5	0,1540546
14	33,5	0,1545135	10	38,0	0,2008172	38,0	0,2008172	39,0	0,1797584
15	39,0	0,1485131	39,0	0,1485131	40,5	0,1540546	40,5		
16	39,0	0,1485131	39,0	0,1485131	41,5	0,1074983	41,0		
17	37,5	0,2112490	37,5	0,2112490	37,5	0,2112490	37,5	0,2112490	39,0
18	38,5	0,1895905	38,5	0,1895905	37,5	0,1320524	37,5		

Anwendungsfall: Messaufbau für die manuelle Ultraschallprüfung (Impuls - Echo Methode)

Datenmatrix der quantitativen und qualitativen Variablen (Prüfkopfempfindlichkeit bzw. Amplitude, Prüfkopf-Spezifikation und Prüfleistung/Prüfer)

Vergleichsdiagramme zur Empfindlichkeit für Miniaturwinkelprüfköpfe 4 MHz

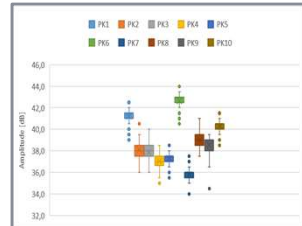


Box-Plot der Echoamplituden für die zehn untersuchten 45° Prüfköpfe für jeweils alle neun Prüfer

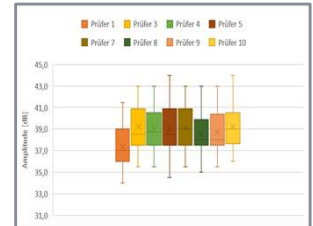
Box-Plot der von neun Prüfern ermittelten Echoamplituden für jeweils alle zehn 45° Prüfköpfe

- #### Experimentelles Vorgehen
- Erstellung einer statistischen Versuchsplanung (DoE)
 - Erarbeitung der Auswahlkriterien für die gesuchten Variablen
 - Datenerfassung, Systematisierung und Klassifizierung
 - statistische Auswertung und Analyse

- #### Interpretation der Ergebnisse
- Die untersuchten Prüfköpfe weisen deutlich unterschiedliche Grundempfindlichkeiten auf.
 - Die Prüfer ermitteln insgesamt ähnliche Ergebnisse. Es gibt nur geringe Unterschiede zwischen Lage- und Streumaße sowie der Spannweite des Datensatzes.



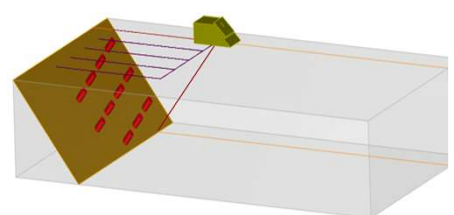
Box-Plot der Echoamplituden für die zehn untersuchten 60° Prüfköpfe für jeweils alle acht Prüfer



Box-Plot der von acht Prüfern ermittelten Echoamplituden für jeweils alle zehn 60° Prüfköpfe

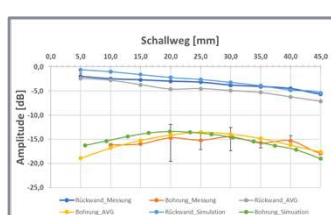
Modell-basierte Untersuchungen zur parametrischen POD-Analyse

Unterstützung der experimentellen Erhebung durch Simulation für Zuverlässigkeitsbewertung

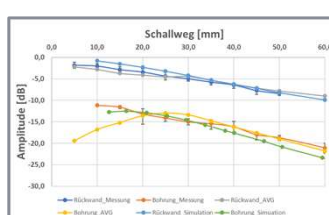


- #### Simulation eines Ultraschallprüfungsszenarios
- Prüfköpfe: MWPK 45°, MWPK 60°
 - Prüffrequenz: 4 MHz
 - Testkörper TK45: Neigung Rückwand 45°
 - Testkörper TK60: Neigung Rückwand 60°
 - Reflektoren: Rückwand, KSR 3 mm
 - Schallschwächung: 40 dB/m

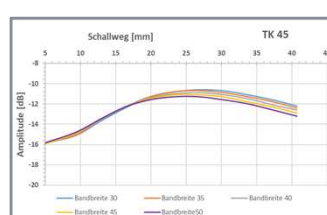
- #### Interpretation der Ergebnisse
- Die normierten Vergleichsdiagramme zeigen eine gute Übereinstimmung zwischen Theorie, Simulation und gemittelten Messwerten für das Fernfeld.
 - Die Parametervariation der Impuls-Bandbreite zeigt eine Beeinflussung der Empfindlichkeit im Fernfeld.



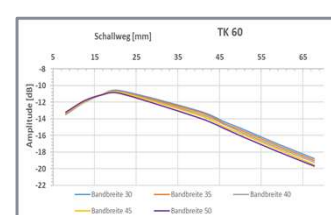
Vergleich von Simulation, AVG-Kurve und Messdaten für einen MWPK 45° am Testkörper 45



Vergleich von Simulation, AVG-Kurve und Messdaten für einen MWPK 60° am Testkörper 60



Variation der Impuls-Bandbreite eines MWPK 45 durch Simulation für Reflektoren mit KSR 3 mm am Testkörper 45



Variation der Impuls-Bandbreite eines MWPK 60 durch Simulation für Reflektoren mit KSR 3 mm am Testkörper 60