

Erhöhung der Prüfsicherheit und der Prüfproduktivität durch erweiterte Phased Array-Technologien

Stephan FALTER*, Roman KOCH*

* GE Sensing & Inspection Technologies GmbH

Kurzfassung

Aufgrund von Produktions- und Qualitätsvorgaben verschiebt sich der Fokus der angewendeten Techniken bei der industriellen Prüfung von Halbzeugen und Produkten hin zum verstärkten Einsatz parallelisierter Verfahren. Hierbei kommt es maßgeblich darauf an, bei kleineren aufzufindenden Ersatzfehlern im Material den Durchsatz der Prüfanlage so hoch wie möglich zu halten. Zum Erreichen dieses Ziels fällt dem Einsatz von parallelen Techniken eine Schlüsselrolle zu, insbesondere dann, wenn die Anwendung den Einsatz von Paint Brush-Techniken erlaubt. Mithilfe moderner Prüfssysteme kann heutzutage nahezu jede Prüfung einer zusätzlichen online Datenauswertung unterzogen werden. Einer der wesentlichen im Anlagenbereich genutzten Vorzüge von Phased Array-Systemen besteht in der Möglichkeit, virtuelle Prüfköpfe mit sehr hoher Überlappung betreiben zu können. Das kann je nach Prüfaufgabe zum Beispiel einerseits durch das Verschieben über minimal eine Elementteilung (scanning) erzielt werden, aber auch über die Kombination einer Vielzahl von Winkeln. Bei der konventionellen Anwendung von Phased Array-Systemen, bei welchen die Datenaufnahme sequentiell vorgenommen wird, ist das allerdings mit dem Nachteil verbunden, dass sich die Prüfzeit durch die ggf. große Anzahl der Prüfschüsse erhöht. Demgegenüber haben parallele Verfahren den Vorteil, dass sie mit einem Prüfschuss nach Möglichkeit den gesamten durch den Kopf abgedeckten Bereich erfassen. Um aber dennoch eine hohe Fehlerauflösung zu erzielen, ist es notwendig, die aufgenommenen Signale weiterführend zu verarbeiten. Das kann mit moderner Hardware in zusätzlichen Berechnungszyklen geschehen, welche deutlich weniger Zeit beanspruchen als echte Prüfzyklen. Auf diese Art und Weise können durch verschiedene Algorithmen sowohl vor- als auch nachverarbeitet werden. Typische Beispiele für so realisierbare Verfahren sind neben anderen DDF, DDA oder adaptive Delaygestaltung. Verschiedene Beispiele für den Einsatz dieser Verfahren werden diskutiert und bzgl. ihrer Leistungsfähigkeit mit den Standardverfahren verglichen.

Erhöhung der Prüfsicherheit und der Prüfproduktivität durch erweiterte Phased-Array Technologien

DGZfP-Jahrestagung Dresden 2013

Stephan Falter
Roman Koch



GE imagination at work

Anforderungen an automatisierte Prüfanlagen

- Höherer Durchsatz
 - Erweiterter Prüfumfang
 - Kleinere Referenzfehler
 - Höhere Anzahl der Prüffunktionen
 - Verbesserte Prüfhomogenität
 - Höhere Überlappung der Prüfschüsse
- ⇒ Vergrößerung der Prüfsysteme
- ⇒ **Erhöhung der Leistungsfähigkeit der Prüfelektroniken und Prüfköpfe**
- ⇒ **Anwendung von Rekonstruktionsalgorithmen zur Erhöhung des Signal-Rauschabstands**



GE imagination at work

Copyright © 2013 General Electric Company

Lösungen mit der Prüfelektronik USIP|xx

Durchgängige Umsetzung des Akquirierungskonzepts

- Empfangene Daten werden gespeichert
- A-Bild basierte Auswertezyklen in Sub-Cycles
- Aktuelle Umsetzung bei:
 - Fehlerprüfung / Korrektur von Schräglagen
 - Dopplungsprüfung / DDF Konzept zur besseren Auflösung kleiner Fehler
- Geplante Umsetzung bei:
 - Vollmaterialprüfung in planarer Geometrie
 - Vollmaterialprüfung in zylindrischer Geometrie
 - Einsatz von DDA/DDF Konzepten



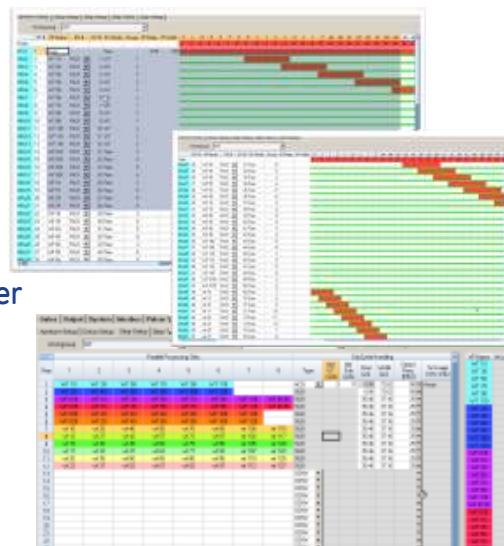
GE imagination at work

Copyright © 2013 General Electric Company

Lösungen mit der Prüfelektronik USIP|xx

Kernelement des Prüfelektroniksystems USIP|xx

- Lösung des virtuellen Prüfkopfes von fester Position im Ablaufschema
- Definition von:
 - Konventioneller virtueller Prüfkopf (1D, 2D, pitch-catch, etc.)
 - Aquisitionsbasierter virtueller Prüfkopf (1D, 2D).



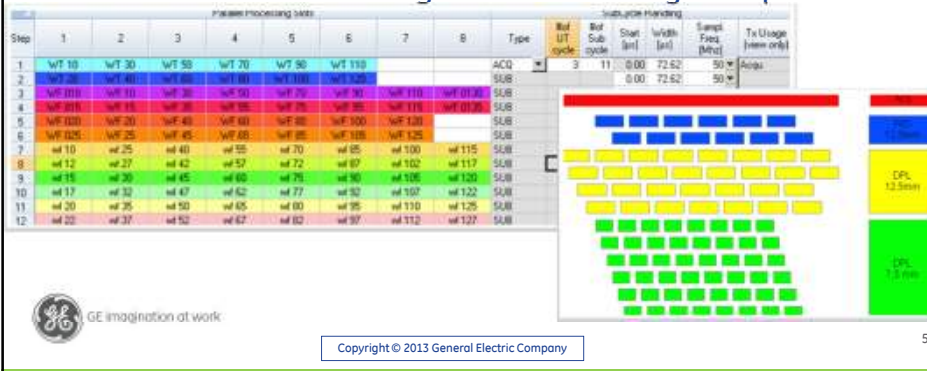
GE imagination at work

Copyright © 2013 General Electric Company

DDF Konzept zur Dopplungsprüfung

Anwendungsmotivation

- Auffinden kleinerer Fehler
- Erhöhung der Nahauflösung
- Erhöhung der Fernauflösung
- Variation der Nahfeldlänge durch Änderung der Apertur



GE imagination at work

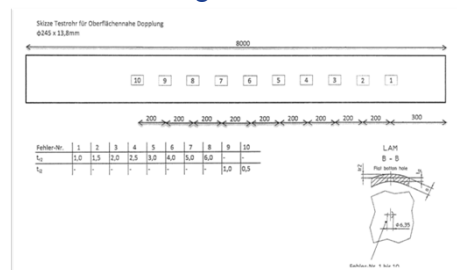
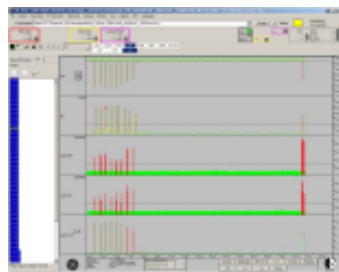
Copyright © 2013 General Electric Company

5

DDF Konzept zur Dopplungsprüfung

API 5CT

- KSR \varnothing 6.35mm
- Fehlertiefe 10 % - 90 % WTmin
- Referenztest: 7,2% - 96,3%, absolut 1,0mm — WT - 0,5mm
- Rückwandnahe Dopplung mit TOF Prüfung



GE imagination at work

Copyright © 2013 General Electric Company

6

DDA/DDF Konzepte zur Vollmaterialprüfung

Erhöhung der Produktivität durch Aquirierungsschuss

- Einteilung des Empfangsintervalls in Prüfzonen
- A-Bild basierte Auswertung für jeden virtuellen Prüfkopf in seiner Prüfzone
- Nachteil:
 - Keine konsequente TCG Behandlung
 - Harte Übergänge zwischen Prüfzonen
- Lösung:
 - Kontinuierliches DDA/DDF Konzept mit Anpassung von Focus, Apertur und TCG pro Sample
 - Zonenimplementation für flexible Geometrieanpassung



GE imagination at work

Copyright © 2013 General Electric Company

7

DDA/DDF Konzepte zur Vollmaterialprüfung

Scenario I:

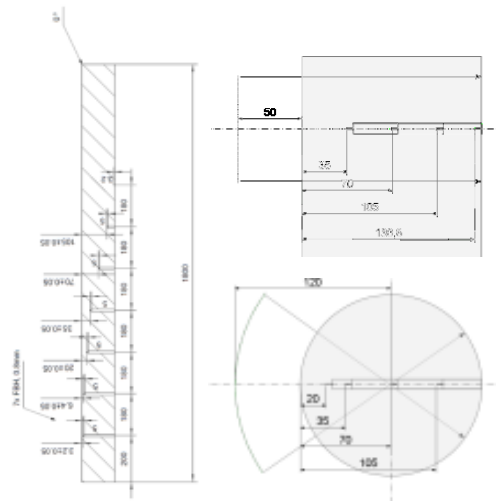
koplanare Anordnung

- Ebener Phased-Array Prüfkopf
- Ebenes Prüfstück relativ zur Arrayachse

Scenario II:

konzentrische Anordnung

- Gekrümmter Phased-Array Prüfkopf
- Gekrümmtes Prüfstück relativ zur Arrayachse



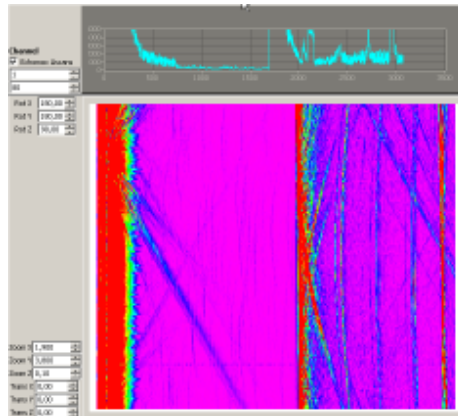
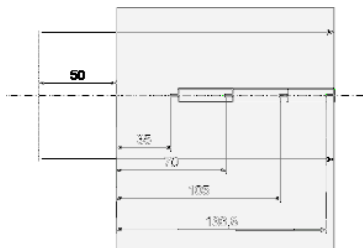
GE imagination at work

Copyright © 2013 General Electric Company

8

DDA/DDF Konzepte zur Vollmaterialprüfung

Urdatenaufnahme – Koplanare Geometrie



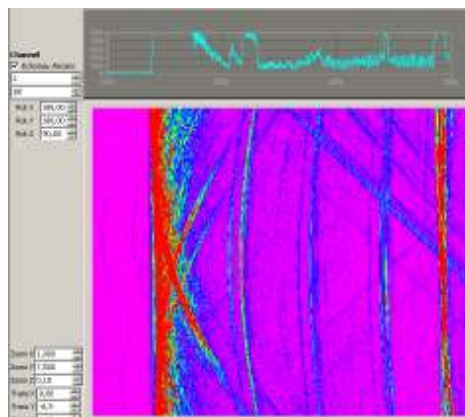
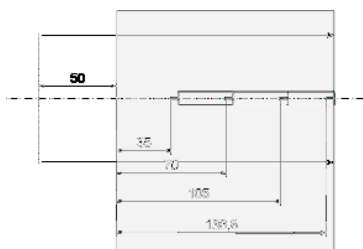
GE imagination at work

Copyright © 2013 General Electric Company

9

DDA/DDF Konzepte zur Vollmaterialprüfung

Urdatenaufnahme – Koplanare Geometrie



GE imagination at work

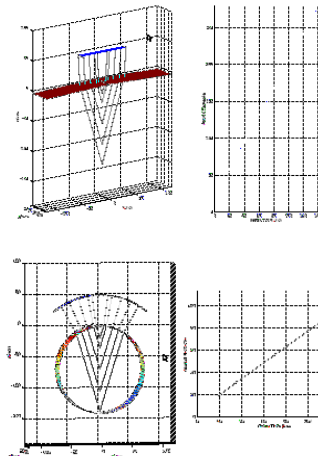
Copyright © 2013 General Electric Company

10

DDA/DDF Konzepte zur Vollmaterialprüfung

Numerische Rekonstruktion

- Anpassung des Fokus
 - Delayberechnung sampleweise (numerisch exakt lösbar)
 - Unstetiges Verhalten im konzentrischen Fall
- Anpassen der Apertur
 - Abhängig von der Fehlergröße
 - Abschätzung für \varnothing KSR 0.8 aus Divergenzwinkel unter Berücksichtigung der Geometrie
 - Aperturanpassung verhält sich in beiden Geometrien linear



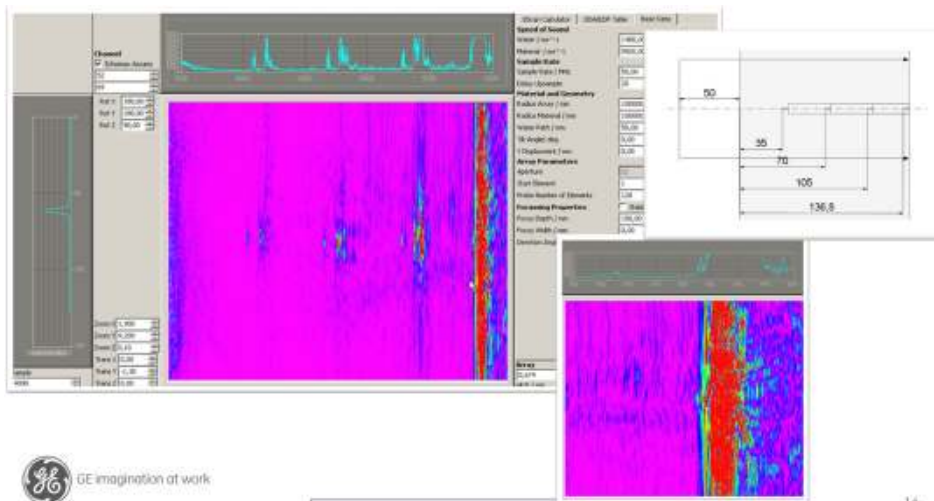
GE imagination at work

Copyright © 2013 General Electric Company

13

DDA/DDF Konzepte zur Vollmaterialprüfung

Numerische Rekonstruktion – Ergebnis Szenario I



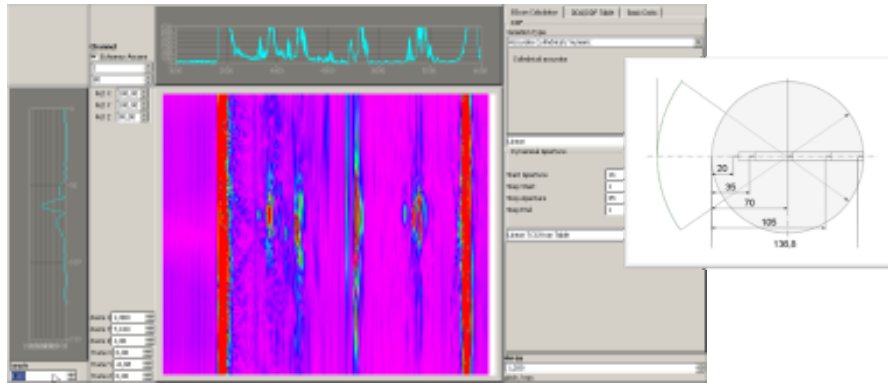
GE imagination at work

Copyright © 2013 General Electric Company

14

DDA/DDF Konzepte zur Vollmaterialprüfung

Numerische Rekonstruktion – Ergebnis Scenario II



GE imagination at work

Copyright © 2013 General Electric Company

15

DDA/DDF Konzepte zur Vollmaterialprüfung

Echtzeit Rekonstruktion

- Flexible Anpassung an andere geometrische Szenarien
- Einfacher, funktionaler Zusammenhang zur Implementierung in Hardware
 - Funktioneller Ansatz für DDA und DDF
 - Zonenansatz mit stetigen Übergängen
 - Kombination mit TCG Zonenmodell

	Equivalent Depth / mm	Equivalent Focus / mm	Aperture	Zone Gain / dB
Zone 1	0	100000	32	0
Zone 2	48	100000	32	0
Zone 3	57,8	-132	32	0
Zone 4	60,8	-191	48	4
Zone 5	70	-330	64	14
Zone 6	79	-470	96	20
Zone 7	86,7	-590	64	21



GE imagination at work

Copyright © 2013 General Electric Company

16

DDA/DDF Konzepte zur Vollmaterialprüfung

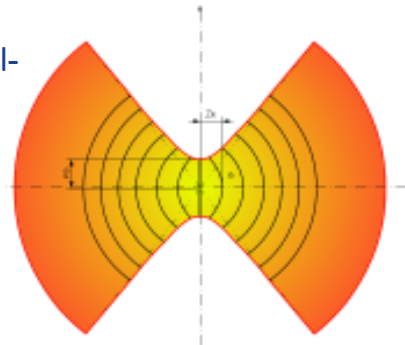
Gaußstrahlenmodell

- Paraxiale Näherung
- Gaußsche Strahlen als Eigenmoden des freien Feldes
- Propagation des komplexen Strahlparameters mit ABCD Matrizen

$$\frac{1}{q(z)} = \frac{1}{R(z)} - i \frac{f}{v_m \pi w_0^2}$$

$$q_2(z) = \frac{A q_1(z) + B}{C q_1(z) + D}$$

$$\begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_n & B_n \\ C_n & D_n \end{pmatrix} * \dots * \begin{pmatrix} A_1 & B_1 \\ C_1 & D_1 \end{pmatrix}$$



GE imagination at work

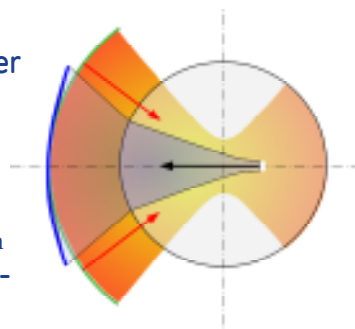
Copyright © 2013 General Electric Company

17

DDA/DDF Konzepte zur Vollmaterialprüfung

Delayberechnung durch Phasenfrontkompensation: Scenario II

- Einlaufendes Schallfeld in Testkörper
- Reflektion durch Fehler
- Eingangsgrößen zur Delayberechnung:
 - Differentieller Winkel $d\phi = p/R_a$
 - Arrayradius R_a und Phasenfront-radius R_f
 - Schallgeschwindigkeit
- Einfacher, funktionaler Zusammenhang



GE imagination at work

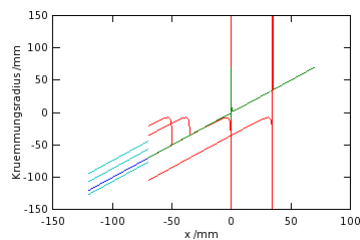
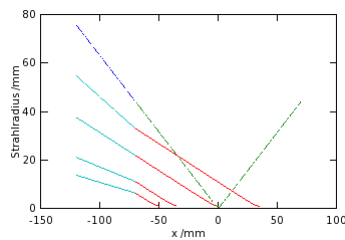
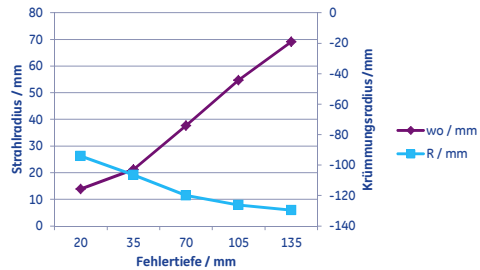
Copyright © 2013 General Electric Company

18

DDA/DDF Konzepte zur Vollmaterialprüfung

Beispiel: Scenario II

- Propagation des Akquirierungsschuss bis zur Rückwand des Stabes
- Rückpropagation des Fehlersignals zum Prüfkopf



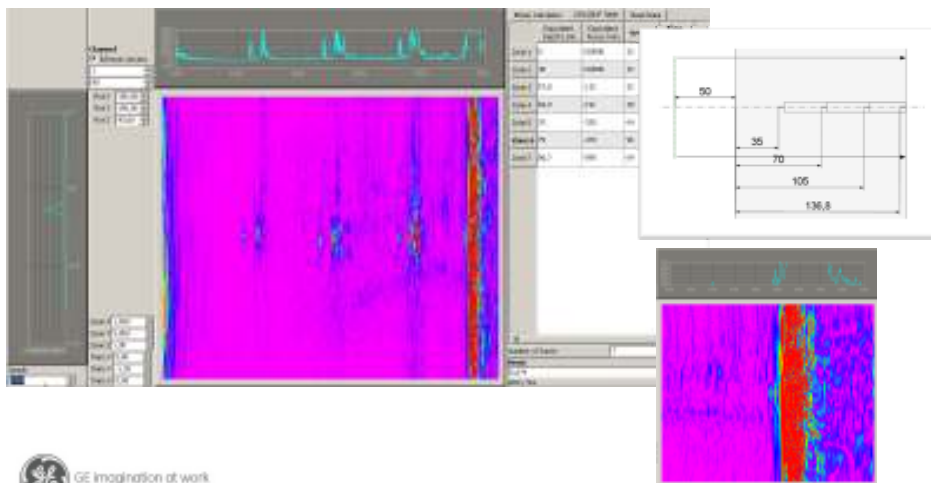
GE imagination at work

Copyright © 2013 General Electric Company

19

DDA/DDF Konzepte zur Vollmaterialprüfung

Gaußsche Rekonstruktion- Ergebnis Scenario I



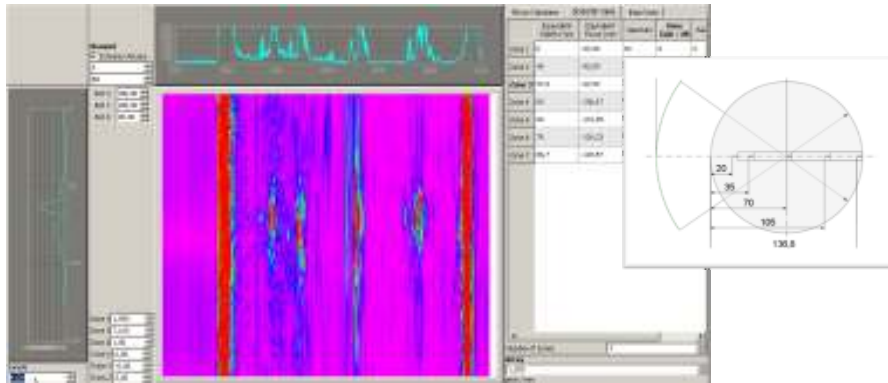
GE imagination at work

Copyright © 2013 General Electric Company

20

DDA/DDF Konzepte zur Vollmaterialprüfung

Gaußsche Rekonstruktion– Ergebnis Scenario II



GE imagination at work

Copyright © 2013 General Electric Company

21

Zusammenfassung

- Signifikante Verbesserung von Durchsatz durch vollständige Akquirierung
- Mögliche Abnahme der Signalqualität kann durch DDA/DDF Schema kompensiert werden
- Komplexe Geometrien erfordern flexible Anpassung des DDA/DDF Programms
- Zonenbasiertes DDA/DDF Verfahren
 - Äquivalent – Focus Methode
 - Funktionaler Zusammenhang über Phasenfront-Kompensation
 - Einfache Berechnungsmöglichkeit mit ABCD – Formalismus



GE imagination at work

Copyright © 2013 General Electric Company

22



GE
Measurement & Control