

# Innovatives Phased Array-System für die automatisierte Ultraschallprüfung

Johannes BÜCHLER\*, Norbert STEINHOFF\*

\* GE Sensing & Inspection Technologies GmbH

Robert-Bosch-Str.3, 50354 Huerth, Germany

johannes.buechler@ge.com, norbert.steinhoff@ge.com

## Kurzfassung

Die steigenden Anforderungen an ein automatisiertes Prüfsystem zur Erhöhung der Produktivität und einer besseren Fehlerauffindbarkeit benötigen Systemarchitekturen zur Auswertung und Visualisierung der Messergebnisse, die herausragende Ultraschalleigenschaften mit schneller Signalverarbeitung und einer sehr hohen parallelen Datenverarbeitung ermöglichen. Anwendungen in der Rohr-, Knüppel-, Blech- oder Luftfahrtkomponentenprüfung erfordern für eine verbesserte Prüfdeckung in der Inlineprüfung eine große Anzahl von Kanälen zur parallelen Ansteuerung der Sensoren. Um diese Anforderungen zu erfüllen, wurde unter Verwendung von neuen Technologien ein skalierbares Ultraschallsystem entwickelt, das viele Prüfköpfe mit einer sehr großen Elementzahl parallel ansteuern kann. So können in einem System bis zu 768 Elemente mit Prüfkopffaperturen von bis 256 Elementen gleichzeitig genutzt werden, die lineare oder 2D Arrays treiben können. Diese Systeme können auch miteinander kombiniert werden und bis zu 6144 Elemente ansteuern. Durch die Nutzung einer großen Zahl von Takten und Untertakten zur elektronischen Schallstrahleinstellung des virtuellen Prüfkopfes kombiniert mit einer parallelen Auswertung der Echosignale kann die Fehlerauffindbarkeit und Produktivität erhöht werden. Die Erfassung der Signalamplitude mit 20bit und einer hohen zeitlichen Auflösung in jedem Kanal erlauben genaue Auswertungen. Dadurch sind die internen Datenraten sehr hoch und erfordern viele parallele Datenverbindungen mit Übertragungsraten von bis zu 5GB/s. Mit dem ATCA Rack Standard wurde ein System eingesetzt, das diese Anforderung an ein Bussystem und Gehäuse erfüllt. Die Auswerteergebnisse werden über Ethernet zu dem Bedien-PC übertragen, der mit einer applikationsspezifischen Bediensoftware dem Anwender eine einfache Bedienung eines komplexen Systems gewährleistet. Um eigene Auswertungen durchführen zu können, ist auch für den Kunden der Zugang zu den Ultraschalldaten für weitere Auswertungen über spezielle Schnittstellen möglich.

## Innovatives Phased-Array-System für die automatisierte Ultraschallprüfung

DGZfP-Jahrestagung Dresden 2013

Johannes Büchler  
Norbert Steinhoff



## Agenda

- Motivation für die neue Prüfelektronik
- Technologieüberblick
- Systemüberblick
- Skalierbarkeit
- Anwendungen
- Zusammenfassung



## Anforderungen an eine neue Gerätegeneration

- Höhere Prüfgeschwindigkeit =>
- Parallele Nutzung vieler Phased-Array-Prüfköpfe zur Erhöhung der Prüfgeschwindigkeit, parallele Verarbeitung
  - Größere Phased-Array-Aperturen
  - Unterstützung von 2D-Arrays
  - Hohe interne Datenraten zur Auswertung (Gbit/s)
- Einfache Skalierbarkeit =>
- Flexible und kosteneffiziente Anpassung an die Anwendung
- Verbesserte Messeigenschaften =>
- Hohe Signaldynamik
- Vereinfachte Bedienung =>
- Anwenderfreundliche Bedienung



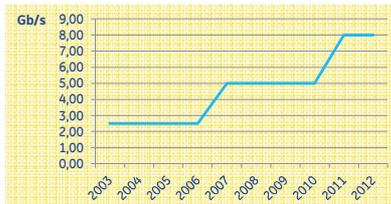
Copyright © 2013 General Electric Company

## Neue Technologien für ein Systemrack

### PCIe (Peripheral Component Interconnect express)

- Standardisierter serieller Link, bestehend aus mehreren Lanes zur Datenübertragung
- Datenrate für jede Lane beträgt 250 MB/s, bis zu 32 Lanes sind parallel nutzbar, skalierbar
- Zur Datenübertragung von A-Bild, Blenden, Alarmen

PCIe-Datenraten  
definiert durch die  
PCI-SIG-Community



Copyright © 2013 General Electric Company

## Neue Technologien für ein Systemrack

### ATCA (Advanced Telecom Computing Architecture)

- Etablierter Standard aus der Telekommunikation
- 100 Unternehmen
- Zielsetzung:
  - Unterstützung von Schnittstellen bis zu 40 Gbit/s
  - Hohe System-Modularität
  - Sehr hohe Zuverlässigkeit
  - System-Skalierbarkeit
- 19" Rack-Gehäuse mit unterschiedlichen Slot-Anzahlen



Copyright © 2013 General Electric Company

## Neue Technologien für ein Systemrack

### Das Beste aus dem ATCA-Standard nutzen:

- Standard ATCA-Chassis mit Mechanik- und Kühlkonzept
- Bewährte EMV-Eigenschaften
- Kundenspezifische Busplatine
  - Zone I Standard (Stromversorgung)
  - Zone II Verbindungen für hohe Datenraten
  - PCIe als Standardkommunikation
  - Punkt-zu-Punkt-Verbindungen für die Applikationsdaten
  - Zone III nicht genutzt
- Interne 5 Gbit/s Kommunikationsverbindungen
- Netzeingang für 1,2 KW oder 2,4 KW

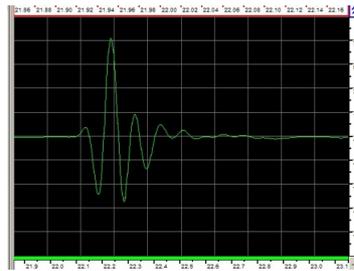


Copyright © 2013 General Electric Company

## Neue Technologien für die Signalbearbeitung

### Signaldigitalisierung

- Sehr genaue Digitalisierung des Ultraschallsignals
- Abtastung und Interpolation bis zu 400 MHz
- Signaldynamik bis zu 90 dB gespeichert
- 20-Bit-Auflösung für jeden Kanal
- Verstärkung ausschließlich digital einstellbar
- Signale für die Echtzeitbearbeitung
- Signale für die Nachbearbeitung



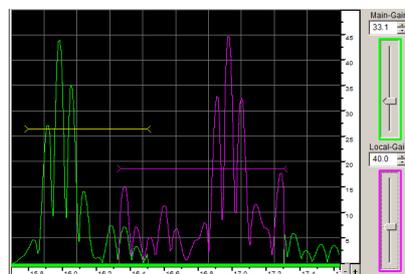
GE imagination at work

Copyright © 2013 General Electric Company

## Neue Technologien für die Signalbearbeitung

### “Lokale” Verstärkung:

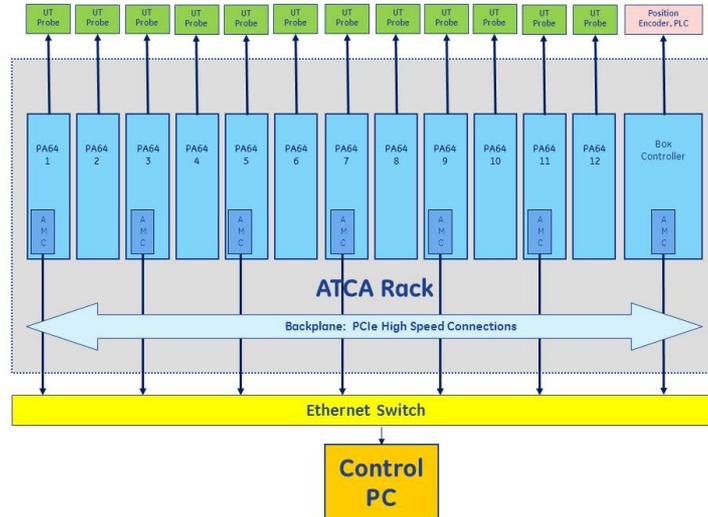
- Gesamte Dynamik des Signals ist gespeichert
- Volle Nutzung der Dynamik für die digitale Verstärkung
- Genutzt für :
  - Blendenspezifische Verstärkung, einschließlich Überlappung
  - Rückwandechoabsenkung
  - TCG (“unendliche” Anstiegszeit)
  - Individueller Verstärkungs-Offset für jede Blende zur Kalibrierung



GE imagination at work

Copyright © 2013 General Electric Company

## USIP|xx System-Überblick



GE imagination at work

Copyright © 2013 General Electric Company

## USIP|xx Rack-System

- Skalierbare, aus steckbaren Modulen bestehende Architektur
- Bis zu 13 Module in einem Rack
- 12 x PA64, 1 x BCON zur Ansteuerung von Phased-Array-Prüfköpfen
- Vorbereitet zur Nutzung von 2D Phased-Array-Prüfköpfen
- Interne Datenrate bis zu 5 Gbit/s



PA64

ATCA Rack

BCON

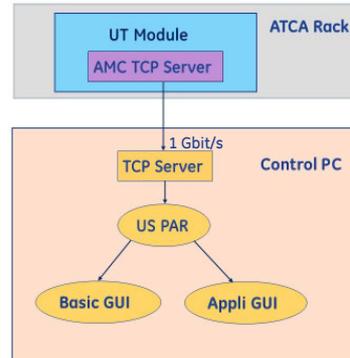


GE imagination at work

Copyright © 2013 General Electric Company

## Überblick über die SW-Architektur

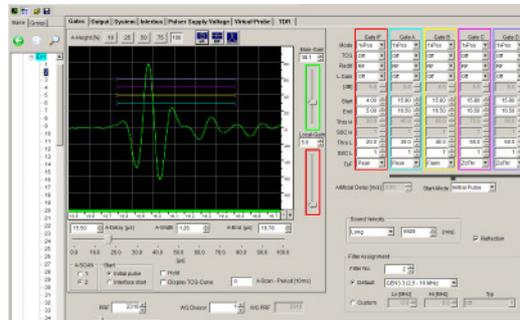
- Modulare Struktur
- Standard-Kommunikationsprotokoll TCP/IP
- 1 Gbit/s Datenverbindung zum ATCA-Rack
- US PAR, die zentrale Steuerungseinheit für alle Ultraschallparameter
- COM-Schnittstelle
- Applikationsspezifische Bedienerschnittstellen
- Einfache Einbindung von Kundenanforderungen



Copyright © 2013 General Electric Company

## System-Bedienung, Blenden

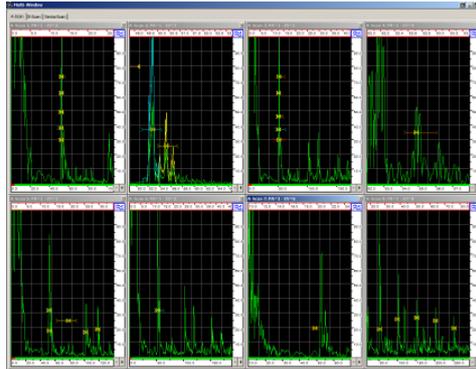
- 5 individuelle Blenden, mit Echostart
- Individuelle Verstärkung für jede Blende
- Präzise Wanddickenmessung mit 2,5 ns Auflösung
- 16 feste digitale Filter
- Kundenspezifische Filter (untere & obere Grenzfrequenz individuell einstellbar)



Copyright © 2013 General Electric Company

## System-Bedienung, A-Bild

- Mehrfach-A-Bild zur Vereinfachung der Bedienung
- Bis zu 8 individuelle A-Bild-Fenster, die von einem Modul oder verschiedenen Racks kommen können
- Akkumulierung von Takten, auch über Modulgrenzen hinweg



Copyright © 2013 General Electric Company

## USIP|xx – Skalierbarkeit des Systems

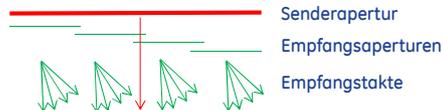
- Bis zu 12 \* PA64 = 768 Kanäle/Rack
- 8 || virtuelle Prüfköpfe/PA64
- Bis zu 8 Racks kombinierbar => 6144 Kanäle
- Aperturgröße bis zu 256 Kanälen



Copyright © 2013 General Electric Company

## Das Paint Brush-Prinzip zur Erhöhung der Produktivität

- Paint Brush-Prinzip:
  - Paralleles Senden vieler Elemente zur Erzeugung einer ebenen Welle
  - Empfangsseitige Verarbeitung von Sub-Aperturen zur Einstellung von Winkeln in Untertakten
  - Optimierung der Auswertzeit durch Reduzierung der Laufzeitverluste im Wasservorlauf
- Parallele Verarbeitung der Auswertesignale
- Überlappung von Aperturen
- Jedes Element kann bis zu 4 verschiedene Empfangsverzögerungen im gleichen Takt haben, Überlappung von Aperturen

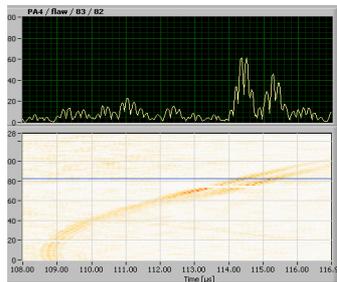


GE imagination at work

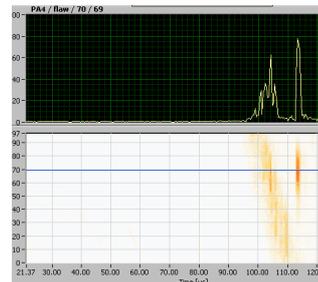
Copyright © 2013 General Electric Company

## Das Paint Brush-Prinzip zur Erhöhung der Produktivität

Paint Brush für eine bessere Fehlerauffindung, besseres S/N  
Beispiel: Nahtlos-Rohrprüfung



128 Kanäle,  
Senden und Empfangen,  
keine elektronische  
Steuerung des Schallfelds



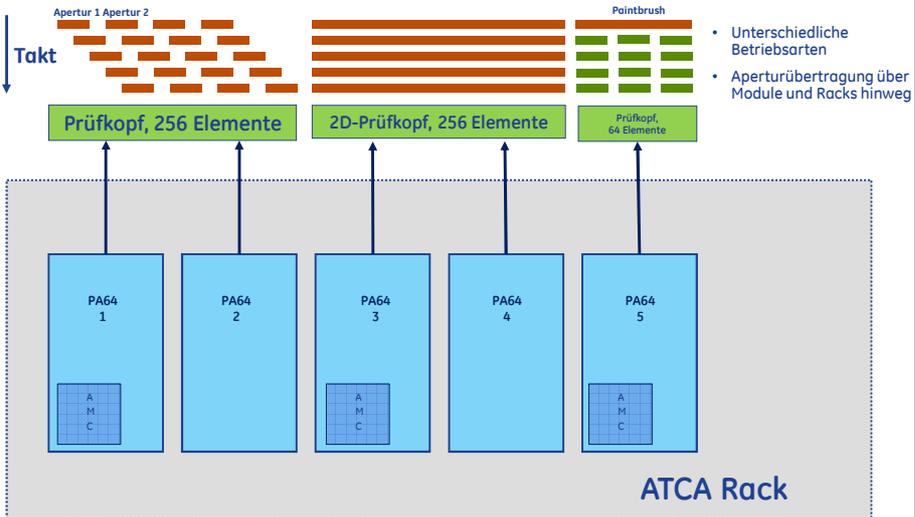
128 Kanäle,  
Senden und Empfangen,  
elektronische Steuerung von  
32 Empfängerkanälen in  
unterschiedlichen Untertakten



GE imagination at work

Copyright © 2013 General Electric Company

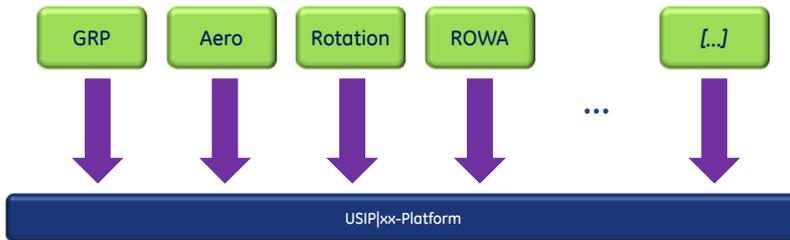
# USIP|xx – Skalierbarkeit des Systems



GE imagination at work

Copyright © 2013 General Electric Company

# Unterschiedliche Anwendungen



GE imagination at work

Copyright © 2013 General Electric Company

## Zusammenfassung

- **Höhere Produktivität**  
Bis zu fünf mal höherer Durchsatz, abhängig von der Applikation (Paint Brush)
- **Bessere Fehlerkenntnis**  
Mehr detaillierte Inspektionsdaten, größere Prüfabdeckung
- **Bessere Möglichkeiten zur Fehlerdetektion (POD)**  
Große Aperturen, 2D-Matrix-Arrays
- **Bessere Ultraschalleigenschaften**  
Hohe Signaldynamik, S/N
- **Skalierbares Anlagensystem**  
Unterschiedliche Prüfköpfe & Aperturen
- **Einfache Wartung**  
Modulare Architektur, Fernwartung



GE imagination at work

Copyright © 2013 General Electric Company



GE  
Measurement & Control