

# 3D-Ultraschallcomputertomographie: Auf dem Weg zu einer früheren Brustkrebsdiagnose?

Nicole Rüter

INSTITUT FÜR PROZESSDATENVERARBEITUNG UND ELEKTRONIK



# Karlsruher Institut für Technologie

Campus Süd  
Technische Universität Karlsruhe



Campus Nord  
Forschungszentrum Karlsruhe



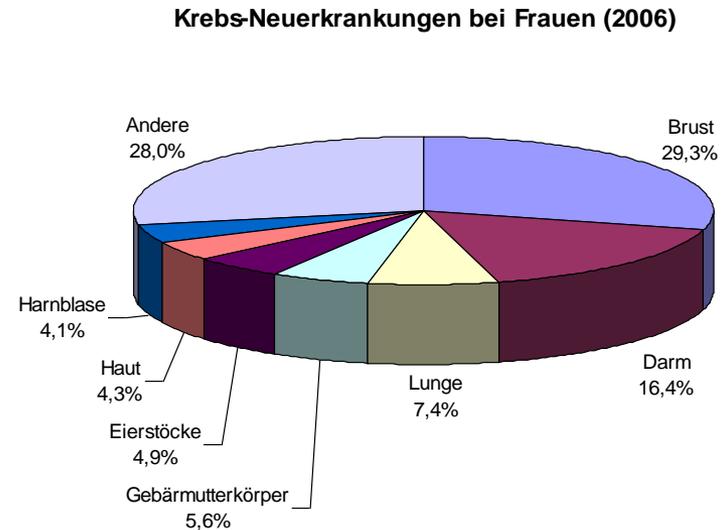
9 254 Mitarbeiter, 23 905 Studenten, 359 Professoren



# Medizinischer Hintergrund und Motivation

# Brustkrebs: Häufigster Krebs bei Frauen

- Häufigster Krebs bei Frauen in der westlichen Welt (ca. jede 10. Frau betroffen)
- Stetige Zunahme an Neuerkrankungen
- Meiste Krebstodesfälle für Frauen (21% in Deutschland)



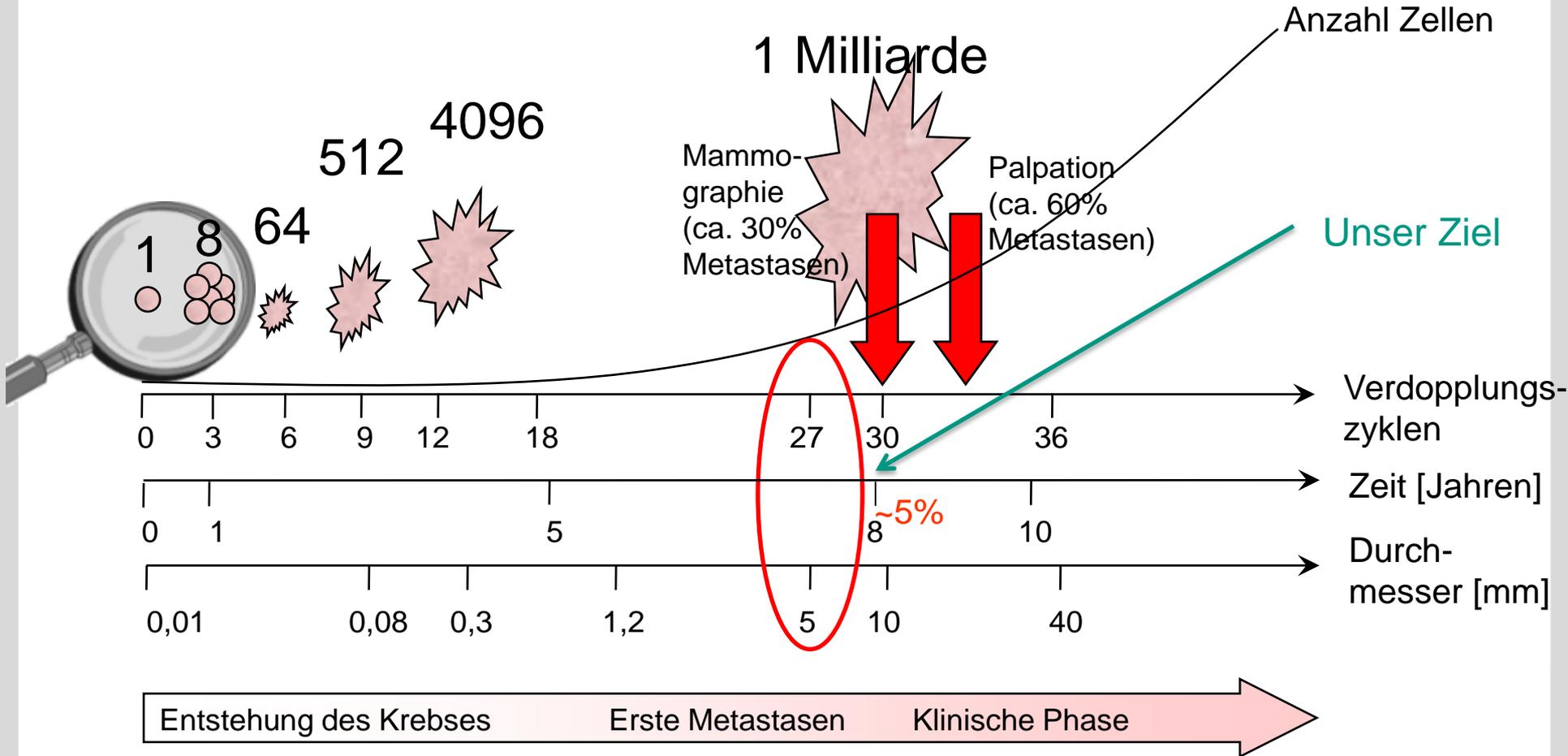
Quelle: Robert Koch Institut, Sant et al

- Warum sterben Frauen an Brustkrebs?

# Brustkrebsdiagnostik: Besonderheiten

- Primärer Tumor nicht tödlich:  
Metastasen in lebenswichtigen Organen  
→ Diagnosezeitpunkt möglichst vor Metastasenbildung
  
- Frühes bis mittleres Stadium: Keine Symptome  
→ Screeningverfahren (Reihenuntersuchung)
  
- Wann?

# Modell der Brustkrebsentwicklung



Quelle: D. von Fournier et al: Breast Cancer Screening in Cancer Diagnosis

# Aktuelle Stand der Brustkrebsdiagnose

## 1. Palpation (Abtastung):

- + Billig, kann selbst durchgeführt werden (oft)
  - Abhängig von der Größe der Brust und Position der Läsion
- Mittlere Tumorgöße bei Diagnose ~20 mm



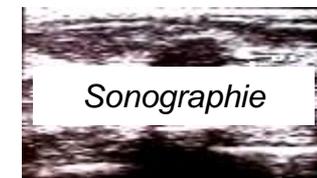
## 2. Mammographie:

- + Billig, verbreitet, der "Gold-Standard"
  - 2D Projektion: Überlagerung möglich
  - Nicht geeignet für junge Frauen, Risikogruppe „dichte Brust“
- Mittlere Tumorgöße bei Diagnose ~10 mm



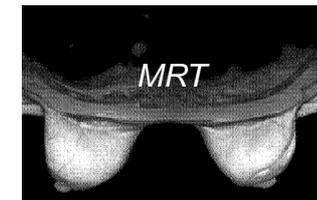
## 3. Sonographie:

- + Billig, verbreitet
  - Abhängig vom Bediener, nicht reproduzierbar
- Tumorgöße: ab 5 mm (nur wenn Läsion bekannt!)



## 4. Magnet-Resonanz-Tomographie (MRT):

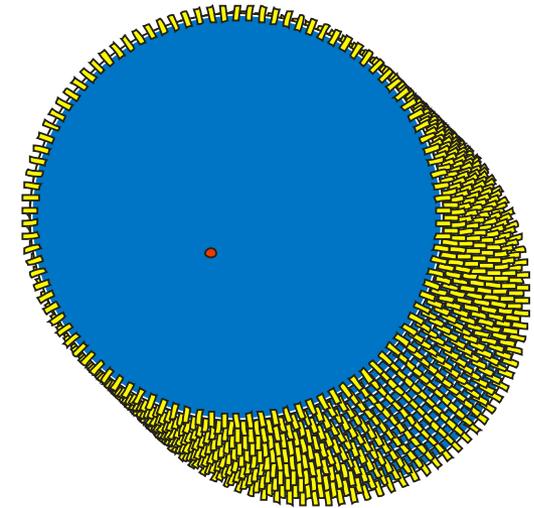
- + Hohe Sensitivität für kleine Tumoren
  - Teuer, Kontrastmittel nötig
  - Oft niedrige Spezifität (viele falsch positive)
- Tumorgöße: ab 5 mm



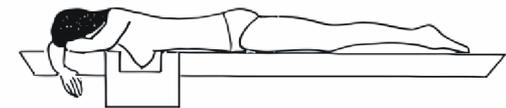
# Ultraschallcomputertomographie

# Ultraschallcomputertomographie

- Grundidee:  
Objekt wird mit unfokussierte  
Ultraschallwandlern in einem festen Aufbau  
umgeben
  
- Vorteile:
  - Reproduzierbare 3D Bilder mit Ultraschall
  - Drei Modalitäten gleichzeitig
  - Sub-millimeter Volumen
  - Optimal fokussierte Bilder in 3D (isotrope PSF)
  - Sehr schnelle Datenaufnahme



*Beispiel*

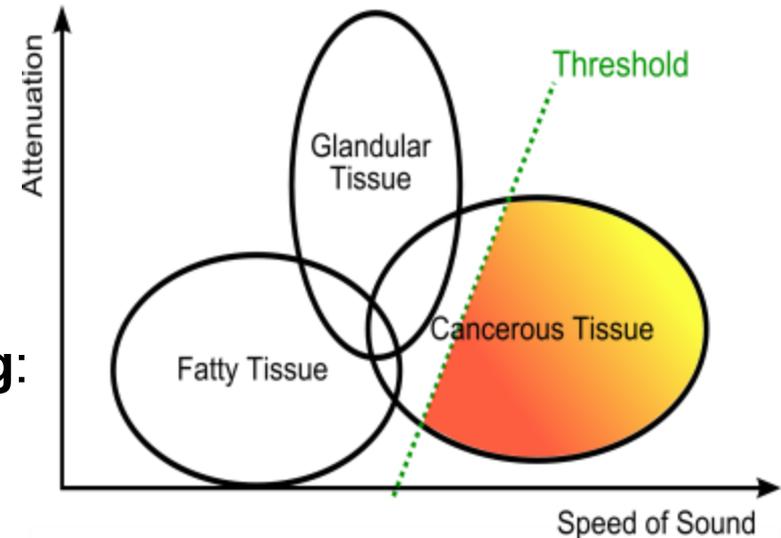


*Brustabbildung*

Das macht unser System weltweit einzigartig!

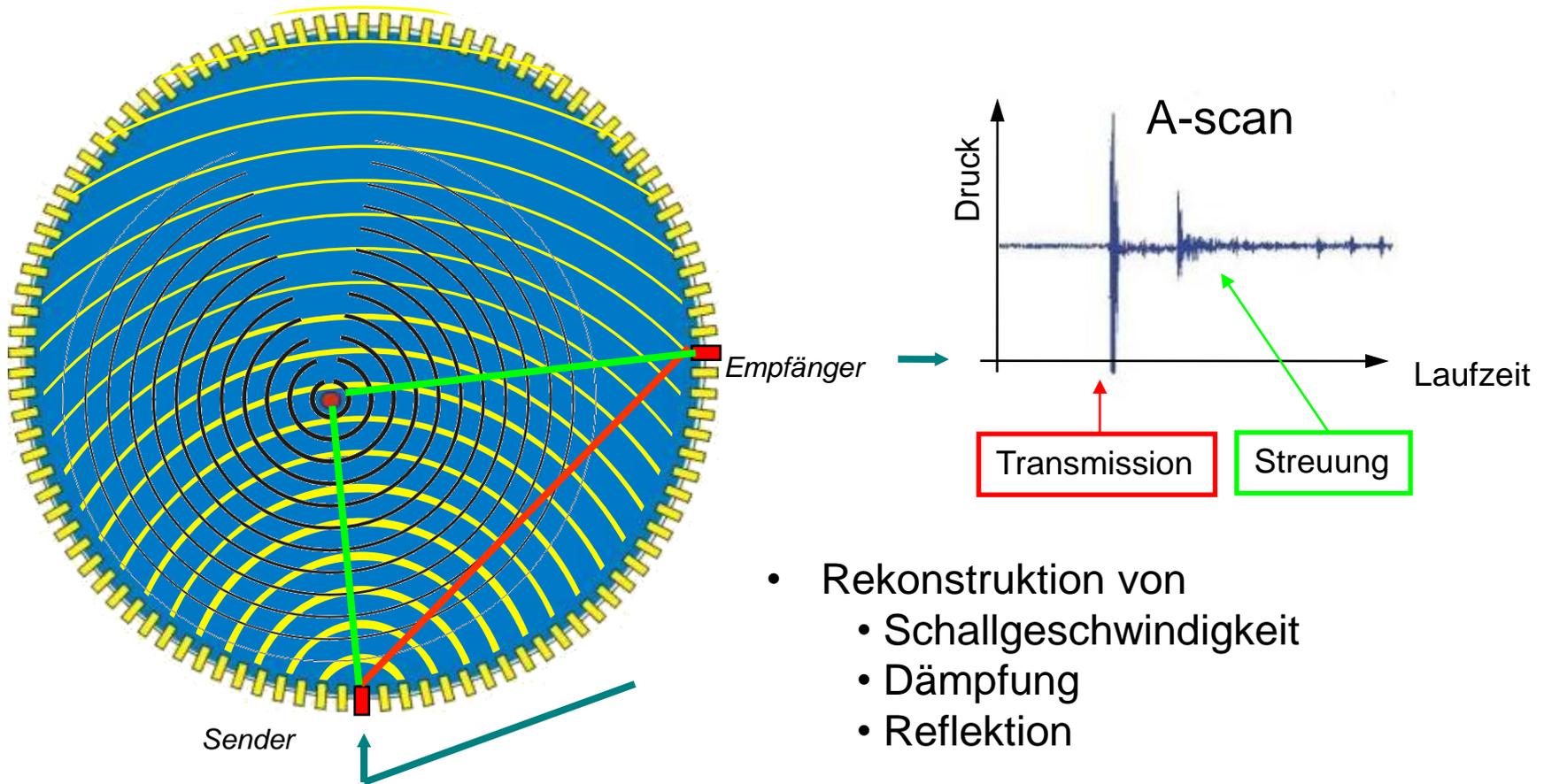
# Ideal für Brustkrebsdiagnose?

- Drei Gewebeeigenschaften werden gleichzeitig abgebildet
- **Reflektivität:**  
Qualitativ hochwertige “B-Scans”
- **Schallgeschwindigkeit** und **Dämpfung:**  
Quantitative Information
- USCT für frühe Brustkrebsdiagnose:
  - so gut wie MRT?
  - so bezahlbar wie Röntgenmammographie?
  - so ungefährlich wie diagnostischer Ultraschall!



[Simplified from Greenleaf et al.]

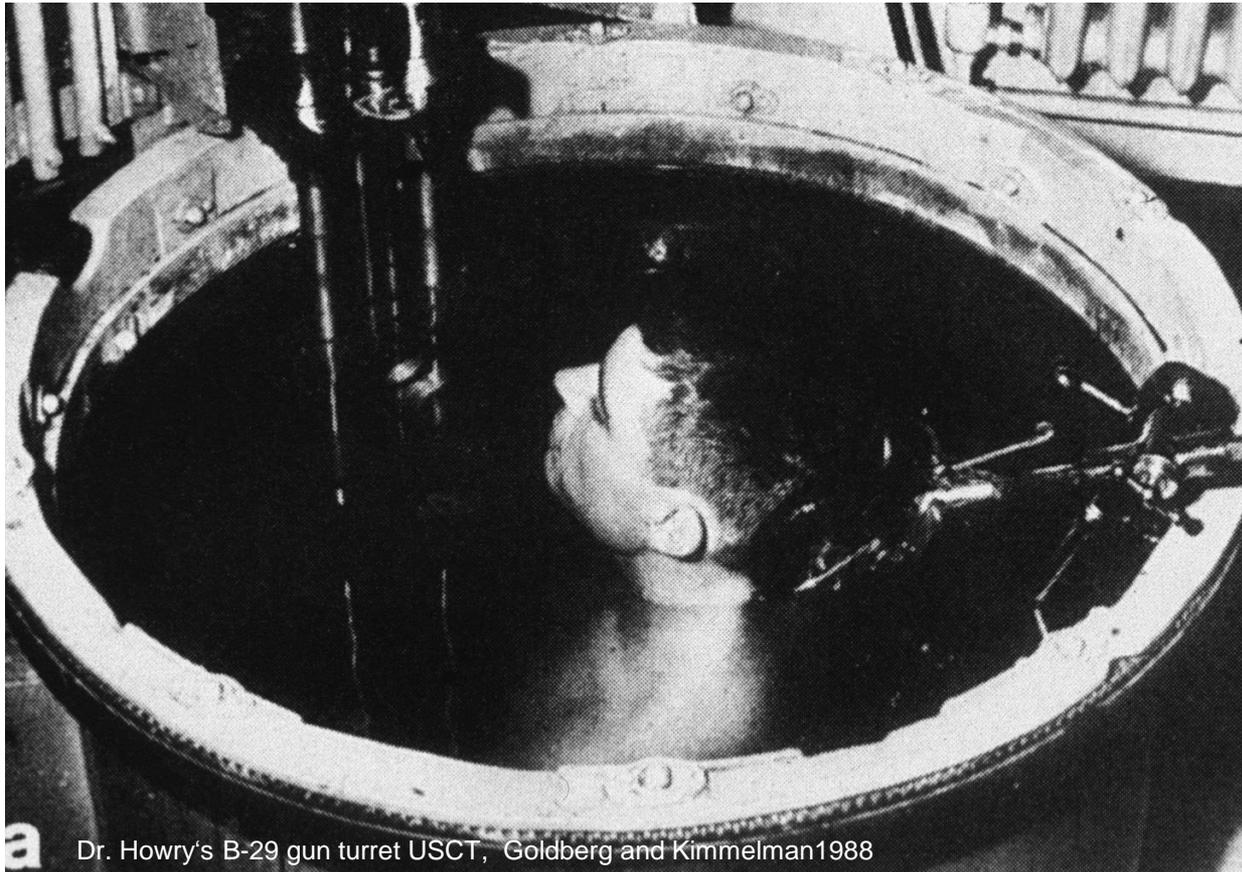
# Vorteil: „Drei zum Preis von Einem“



- Rekonstruktion von
  - Schallgeschwindigkeit
  - Dämpfung
  - Reflektion

# Die Anfänge

*Erstes USCT Gerät (1954): Schichtbild des Halses*



Dr. Howry's B-29 gun turret USCT, Goldberg and Kimmelman 1988

Zu viele technologische Herausforderungen

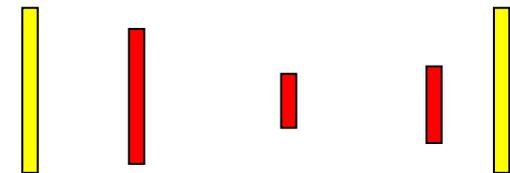
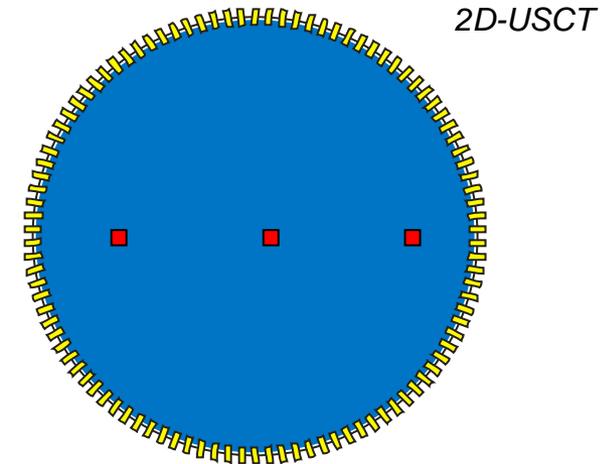
# Stand der Technik

- Potential von USCT seit späten 70ern bekannt, z.B. [1,2]
- Seit dem diverse Laboraufbauten, z.B. [3,4]
- Neueste Entwicklung: Klinische Studien mit zwei Systemen [5,6]
  - noch keine umfassende Auswertungen vorhanden
- Sind 2D-USCT-Systeme
  - große Schichtdicke
  - limitierte Tiefenschärfe
  - lange Aufnahmezeiten

- [1] H. Schomberg: An improved approach to reconstructive ultrasound tomography, J. Phys. D: Appl. Phys., 11, pp. L181-L185, 1978.
- [2] J. Greenleaf, J.J. Gisvold, and R. Bahn: Computed transmission ultrasound tomography, Medical Progress through Technology, 9, pp. 165-170, 1982.
- [3] M. Nguyen, H. Bressmer, P. Kugel, U. Faust: Improvements in ultrasound transmission computed tomography, Euro. Conf. Engin. and Med., 1993.
- [4] M. Ashfaq, H. Ermert: A new approach towards ultrasonic transmission tomography with a standard ultrasound system, Proc. IEEE UFFC Symp., 2004.
- [5] N. Duric, C. Li, C. Glide-Hurst, P. Littrup, et al.: Breast Imaging with Ultrasound Tomography: Clinical Results at the Karmanos Cancer Institute, Proc. of ICBEI, 2008.
- [6] J. Wiskin, D. Borup, S. Johnson, et al: Inverse scattering and refraction corrected reflection for breast cancer imaging, Proc. SPIE Medical Imaging, 2010.

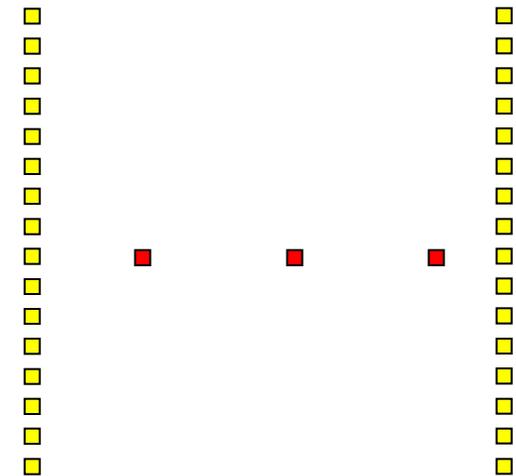
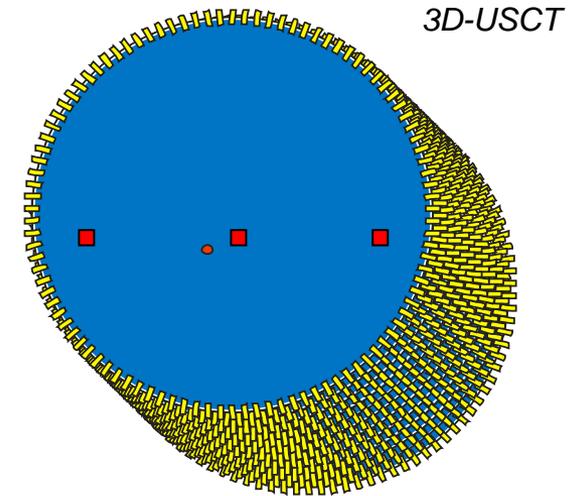
# 3D USCT: “Holographie”

- Objekt wird in 3D umgeben
- 3D-Datenaufnahme mit unfokussierten Ultraschallwandlern
  
- Vorteile:
  - Optimaler Fokus in 3D
  - Sehr schnelle Datenaufnahme möglich
  
- Herausforderungen:
  - Sehr große Anzahl von Wandlern nötig
  - Massiv-parallele Datenaufnahme
  - Verarbeitung riesiger Datenmengen



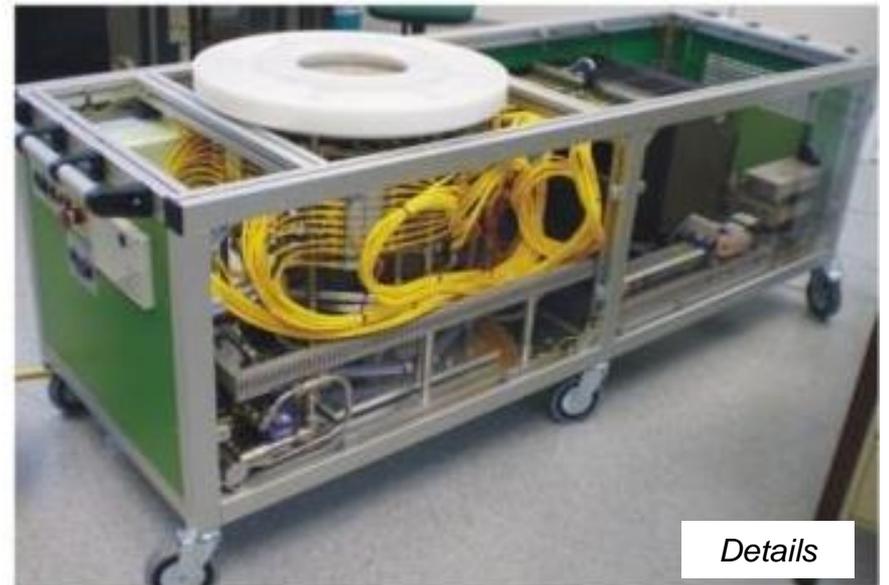
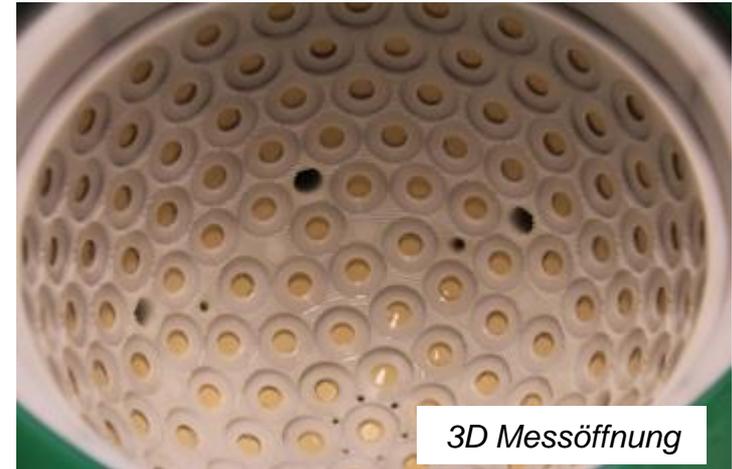
# 3D USCT: “Holographie”

- Objekt wird in 3D umgeben
- 3D-Datenaufnahme mit unfokussierten Ultraschallwandlern
  
- Vorteile:
  - Optimaler Fokus in 3D
  - Sehr schnelle Datenaufnahme möglich
  
- Herausforderungen:
  - Sehr große Anzahl von Wandlern nötig
  - Massiv-parallele Datenaufnahme
  - Verarbeitung riesiger Datenmengen



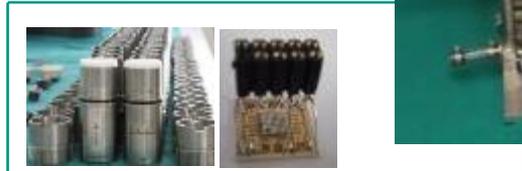
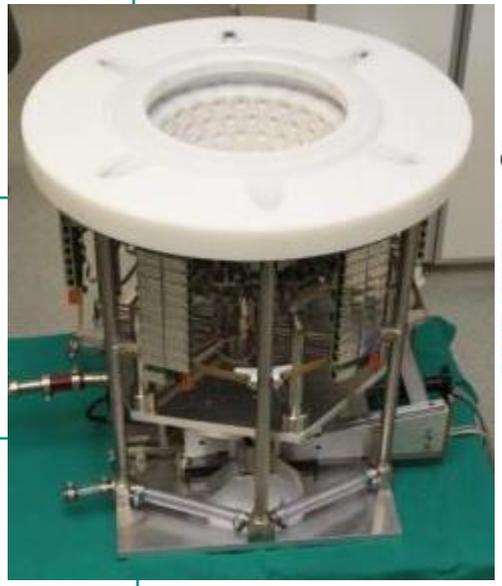
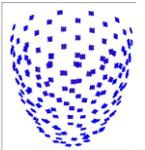


# KIT 3D-USCT

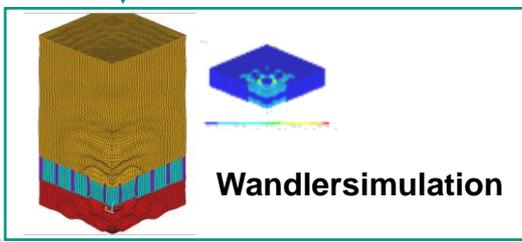


# Technische Herausforderung und Forschung

**Design und Konstruktion der Mechanik**

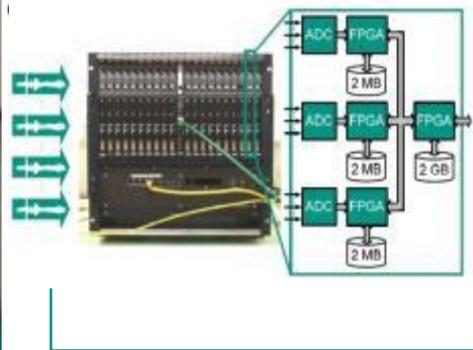


**Wandlerentwicklung und Fertigung**

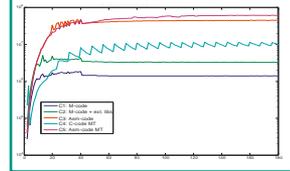


**Wandlersimulation**

**Parallele Datenaufnahme und Hardware-Beschleunigung**



**Software-Beschleunigung**



**Bildrekonstruktion**

**Dämpfung und Geschwindigkeit**

**Mehrfachstreuung**

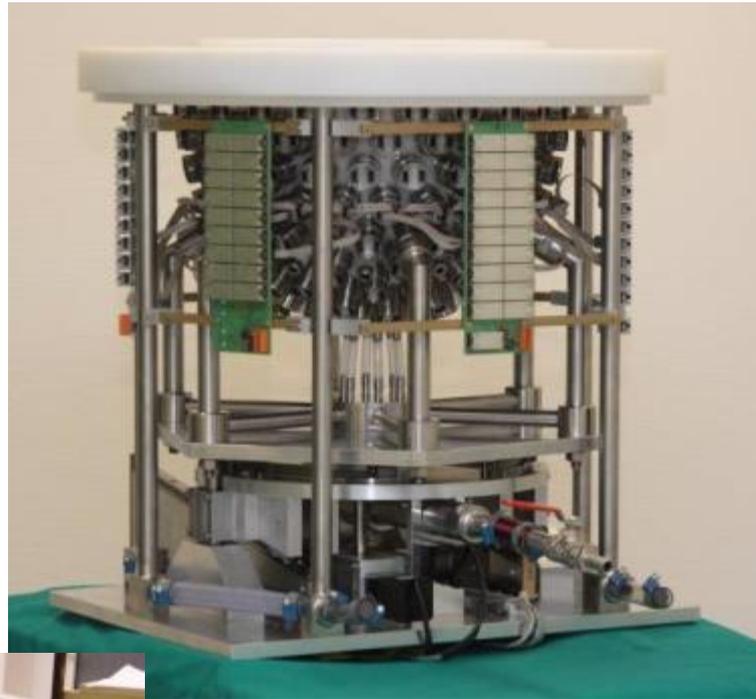
**Reflektivität**

**Registrierung und Befundung**

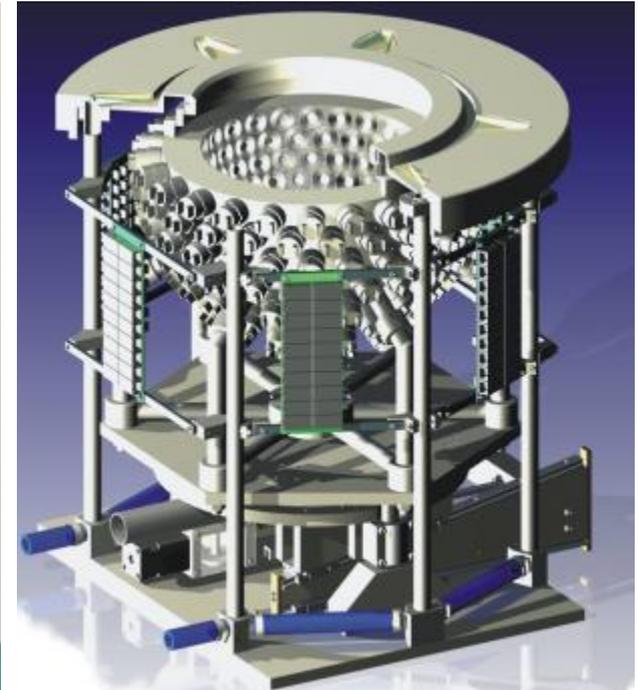
# 3D USCT II: Entwicklungen des IPE



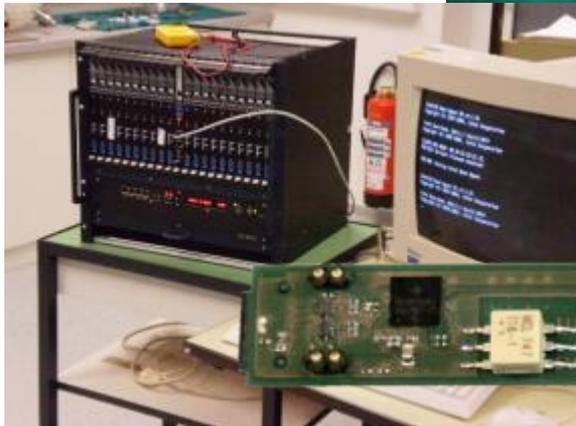
*Patientenliege*



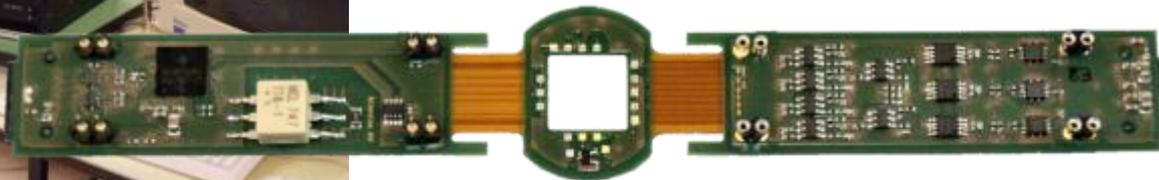
*Sensorhalterung*



*Technische Zeichnung Gesamtaufbau*



*IPE DAQ Elektronik*



*Eingebettete Elektronik der Wandlersysteme*

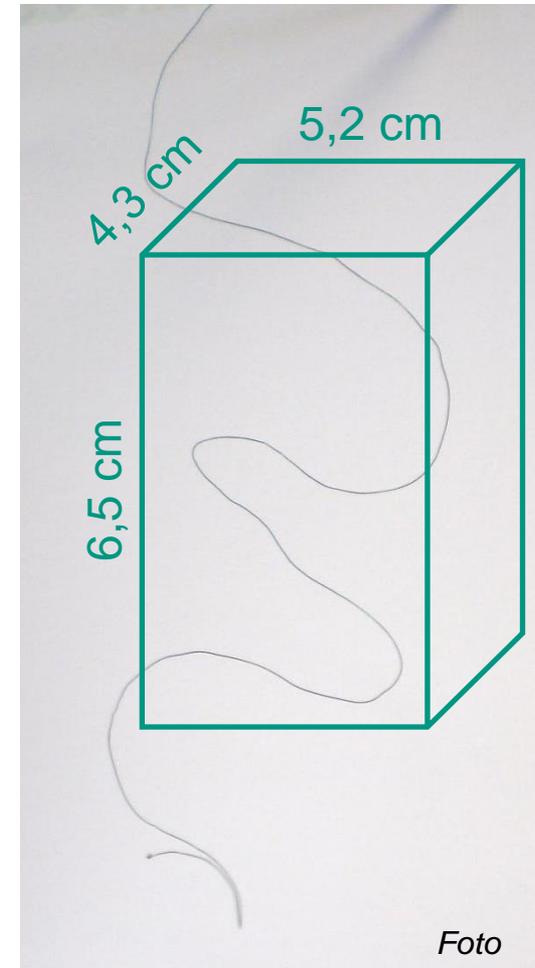


*Verkabelung*

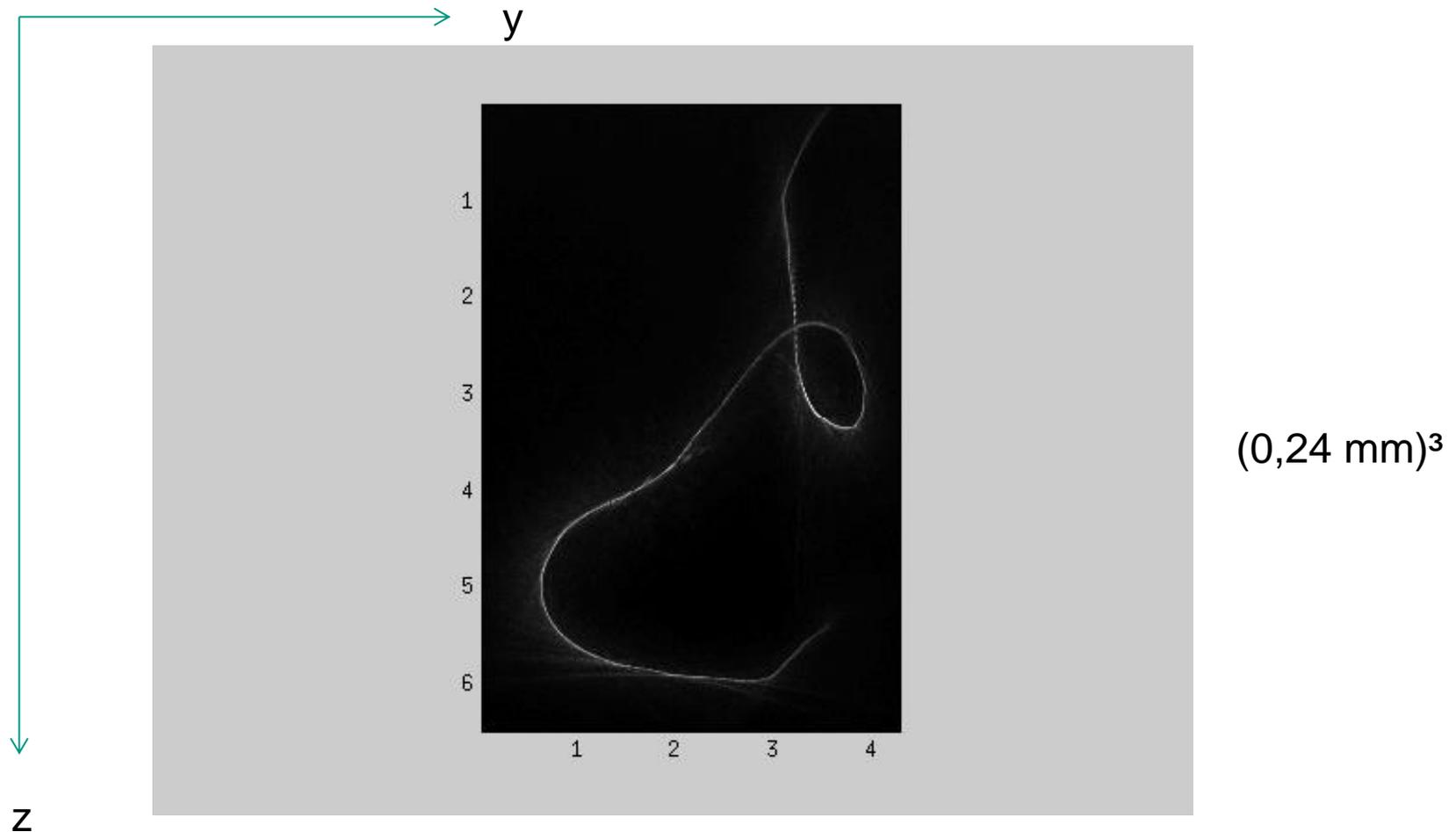
# Ergebnisse

# Draht-Phantom: Evaluierung der 3D PSF

- Messung der 3D Point Spread Function (PSF):
  - Abbildung eines verdrehten Drahtes
  - Messung 2D full-width-half-maximum (2D FWHM) Profile
- Draht mit 0,07 mm Durchmesser
- USCT Bildgebungsparameter:
  - Puls ( $f_c=2,4$  MHz,  $bw = 2$  MHz)
  - 890 000 A-scans (5 GB Rohdaten ~ 1 DVD)
  - Voxel:  $(0,06 \text{ mm})^3$

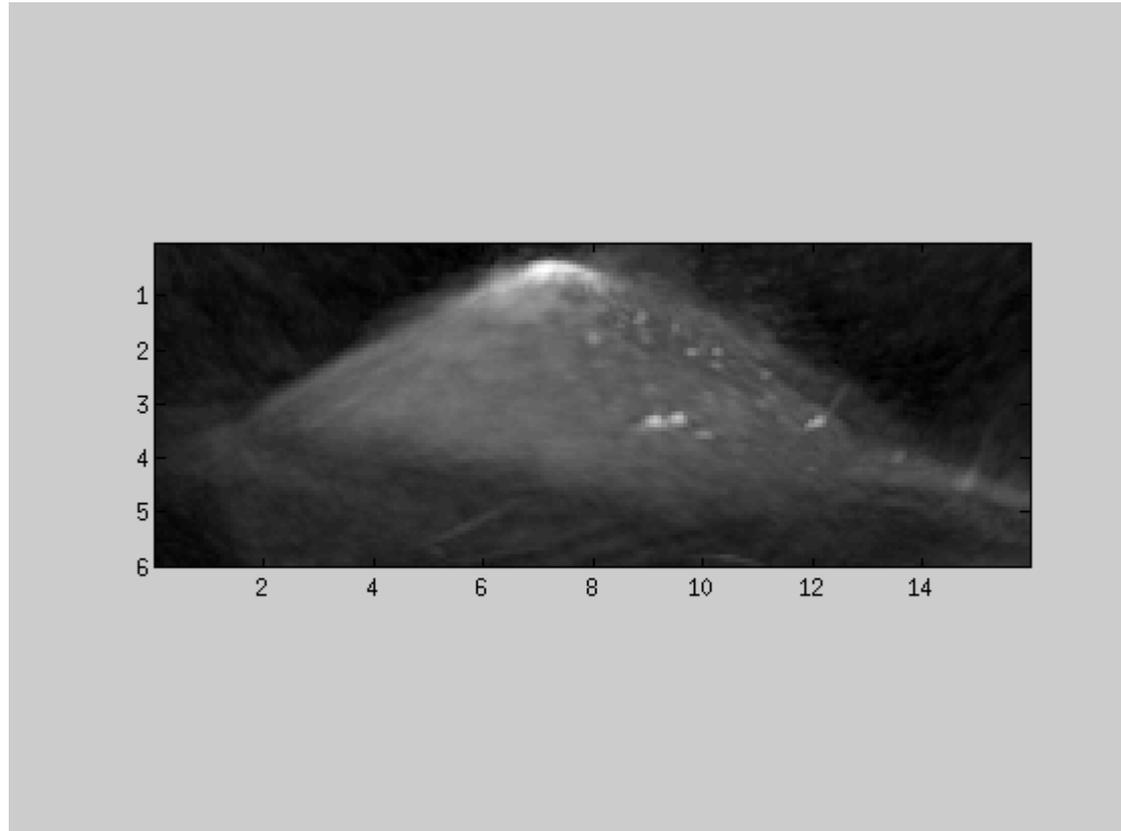


# Draht-Phantom: Ergebnisse



Maximumintensitätsprojektion (Achsen in cm)

# Erste Freiwillige



P2: Maximumintensitätsprojektion (Achsen in cm)

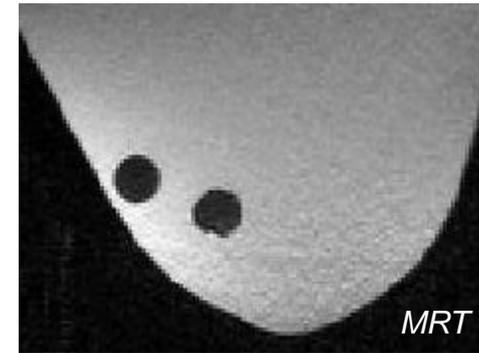
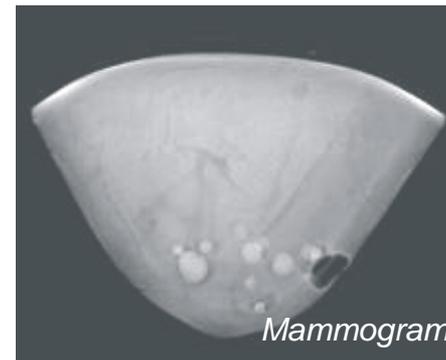
# Klinisches Brustphantom

- CIRS Triple Modality Biopsy Phantom



- Vergleich: MRT

- Siemens Trio (3 Tesla)
- Voxel:  $(0.67\text{mm})^3$



- USCT-Bildgebungsparameter:

- Frequency coded chirp ( $f_c=2,4$  MHz,  $bw = 2$  MHz,  $t = 1,28$   $\mu\text{s}$ )
- 3 500 000 A-Scans (20 GB Rohdaten  $\sim$  4 DVDs)
- Voxel:  $(0,26$  mm) $^3$

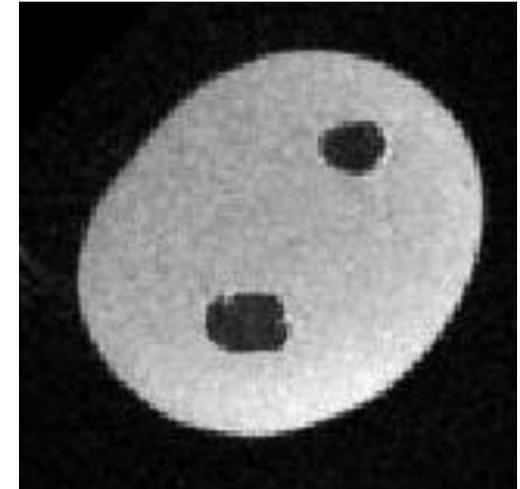
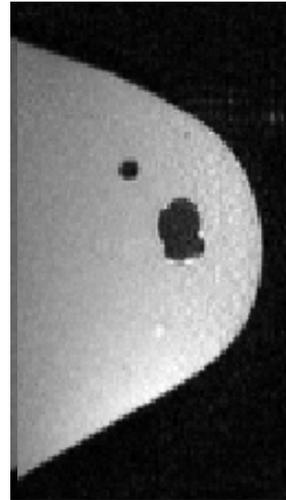
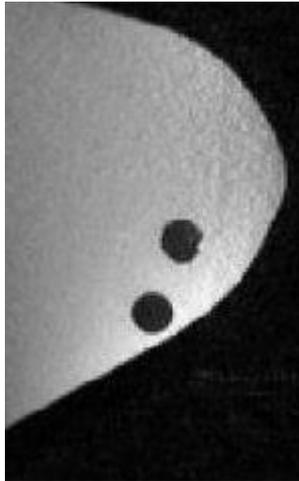
# Klinisches Brustphantom: Resultate

*Transversal*

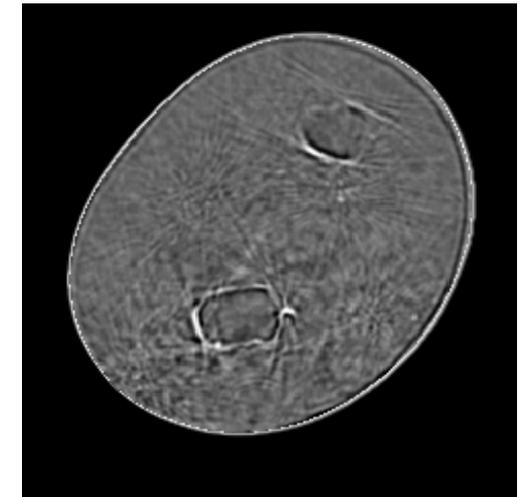
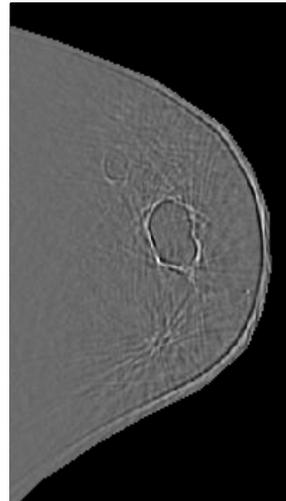
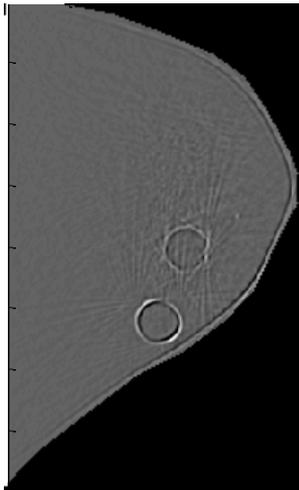
*Sagittal*

*Frontal*

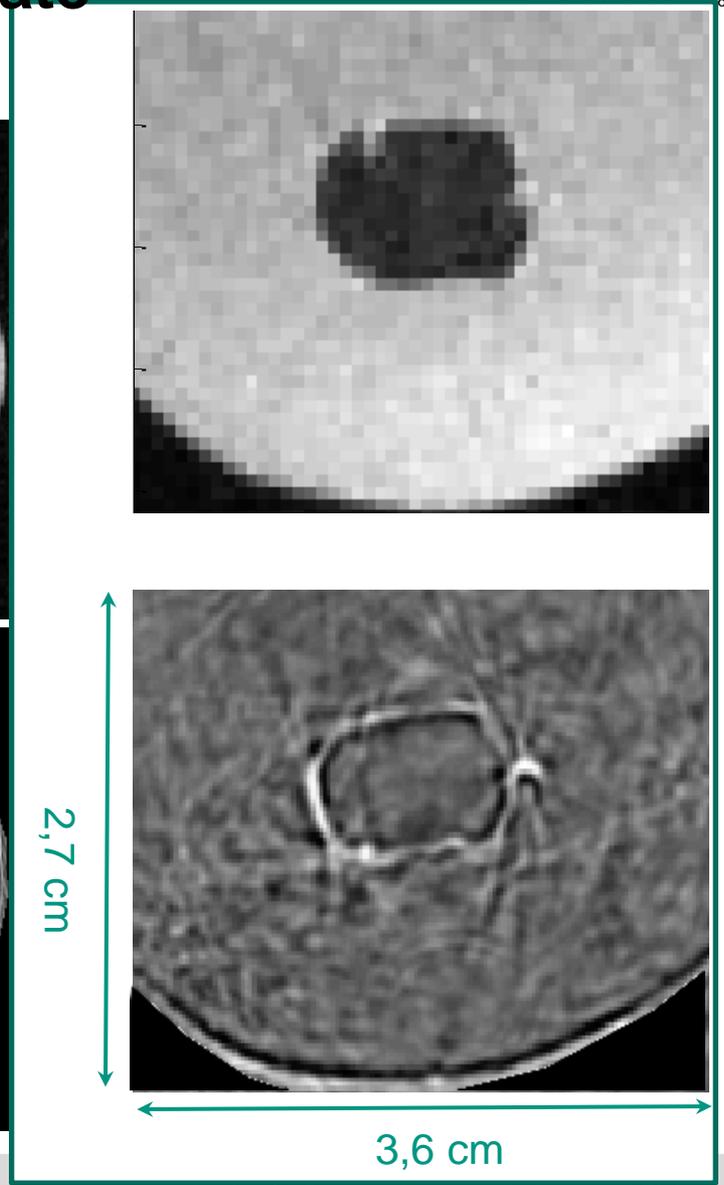
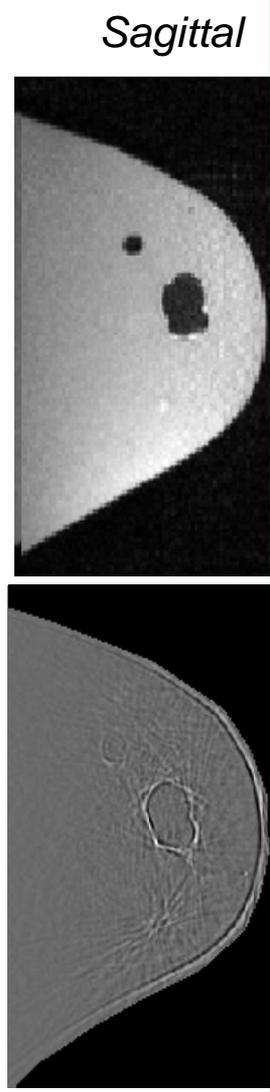
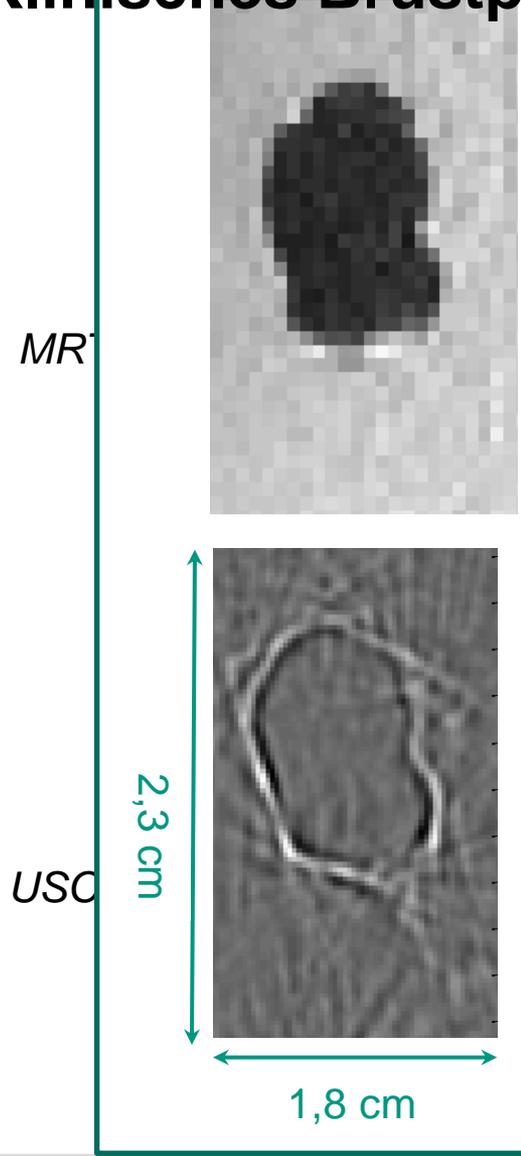
*MRT*



*USCT*

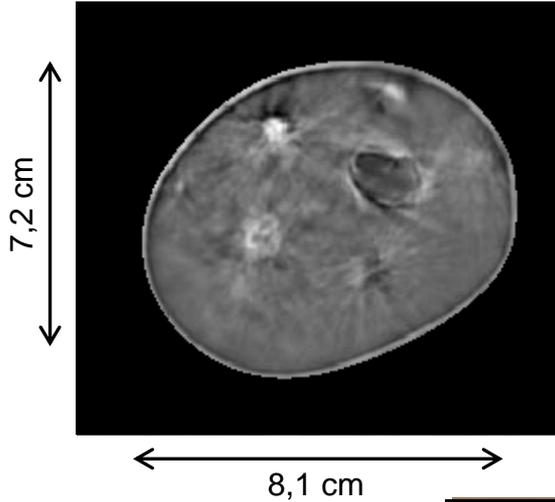


# Klinisches Brustphantom: Resultate

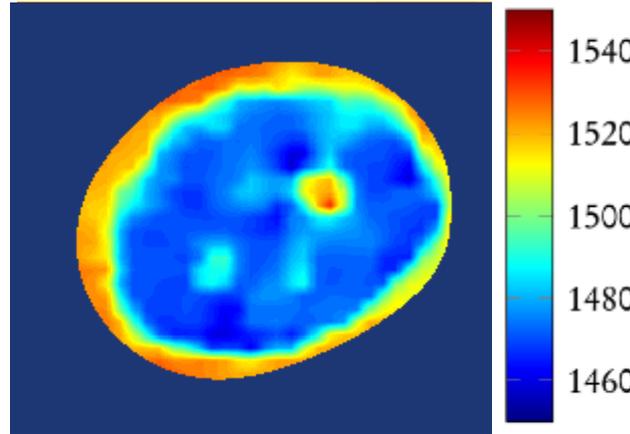


# Schallgeschwindigkeit und Dämpfung

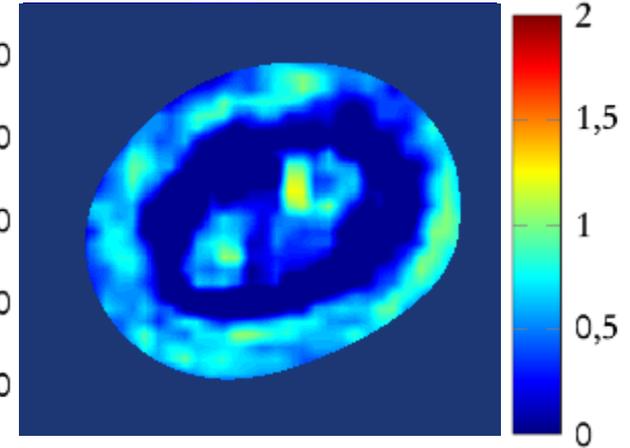
Reflektivität



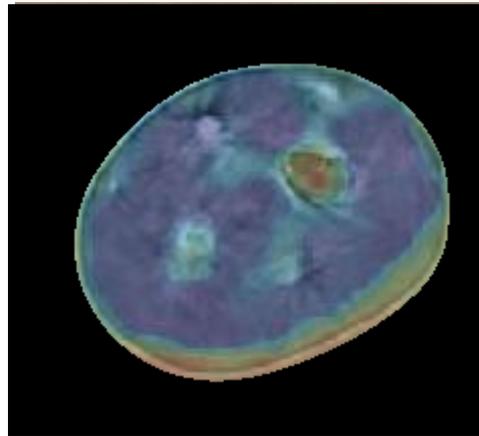
Schallgeschwindigkeit m/s



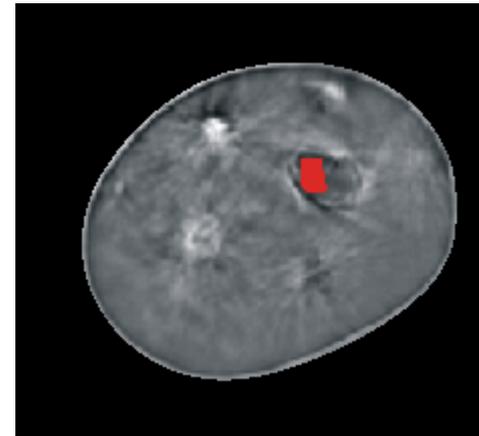
Dämpfung dB/cm/MHz



Beispielhafte  
Fusionierte Bilder



Reflektivität und  
Schallgeschwindigkeit



Alle Modalitäten mit Schwellwert

# Pilotstudie

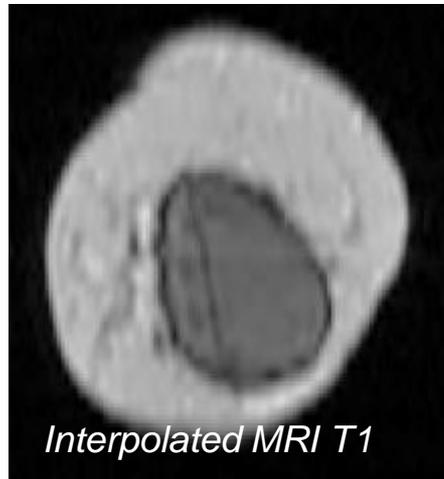
## Test des 3D-USCT an zehn Patienten

1. Evaluierung der Datenakquise und Bildrekonstruktion
2. Test der Bildfusionierung multimodaler USCT-Bilder
3. Test und Optimierung der Datenaufnahme

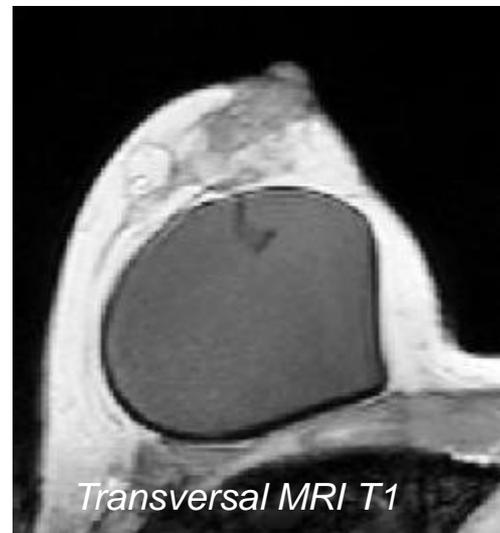
## Pilotstudie wurde durchgeführt

- am Universitätskrankenhaus Jena
- in drei Tagen im November 2012
- hat MRT als Vergleichsgrundlage

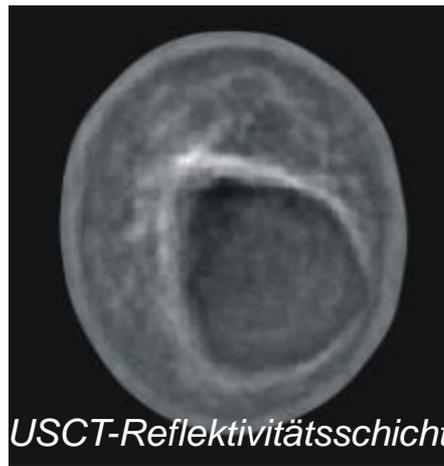
# Patient mit Implantat



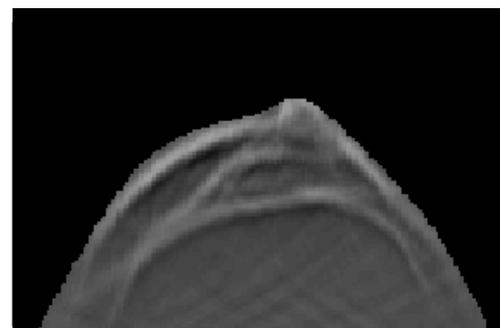
8,6 cm



9,4 cm

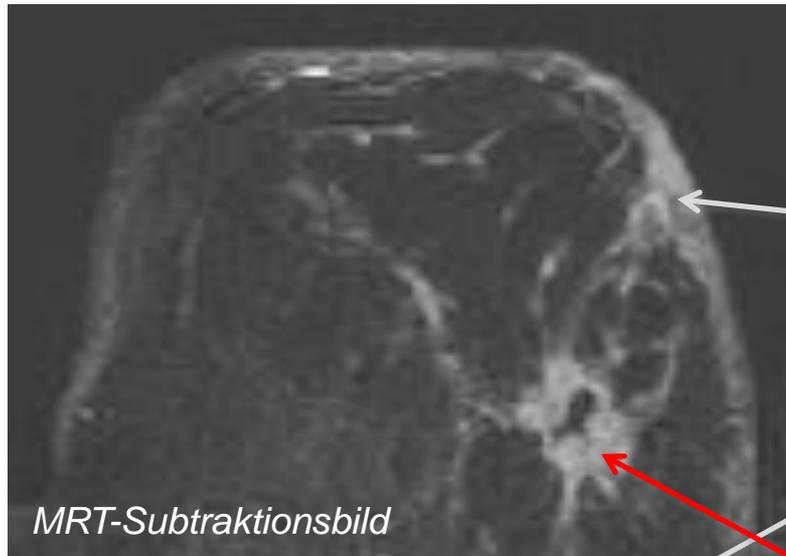


8,7 cm

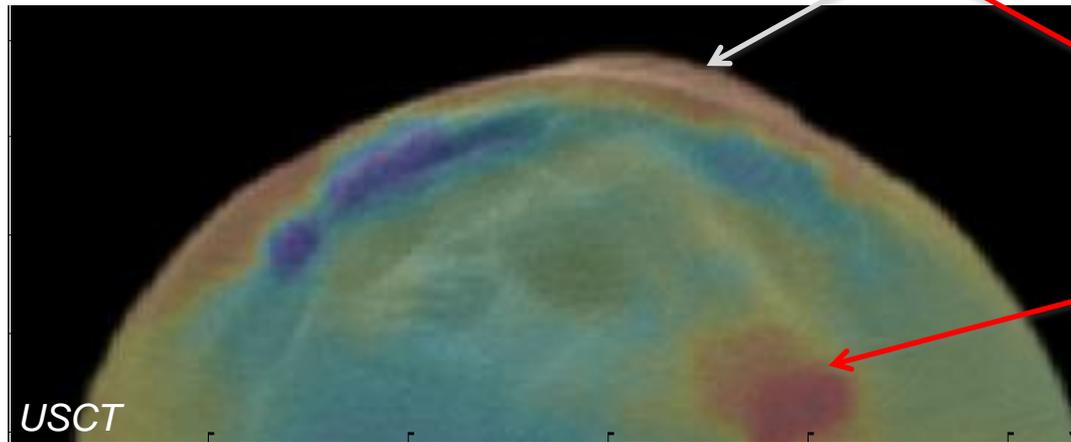


6,4 cm

# Reflektivität und Schallgeschwindigkeit

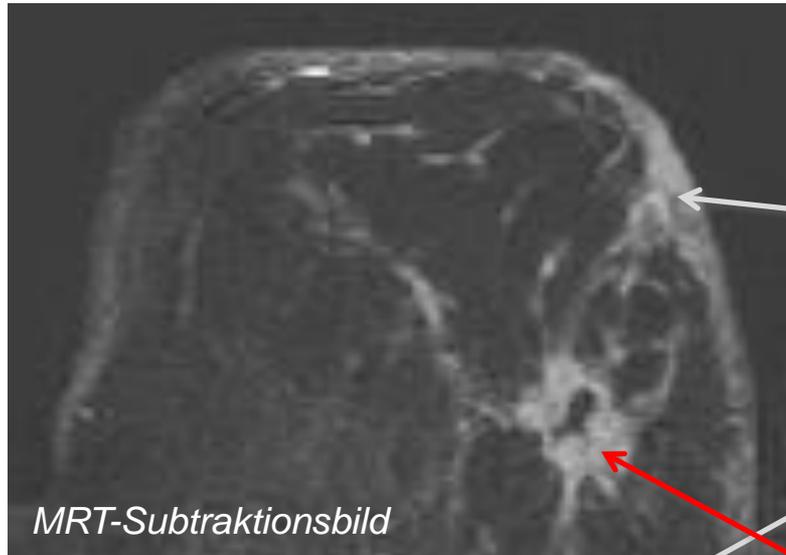


Brustwarze

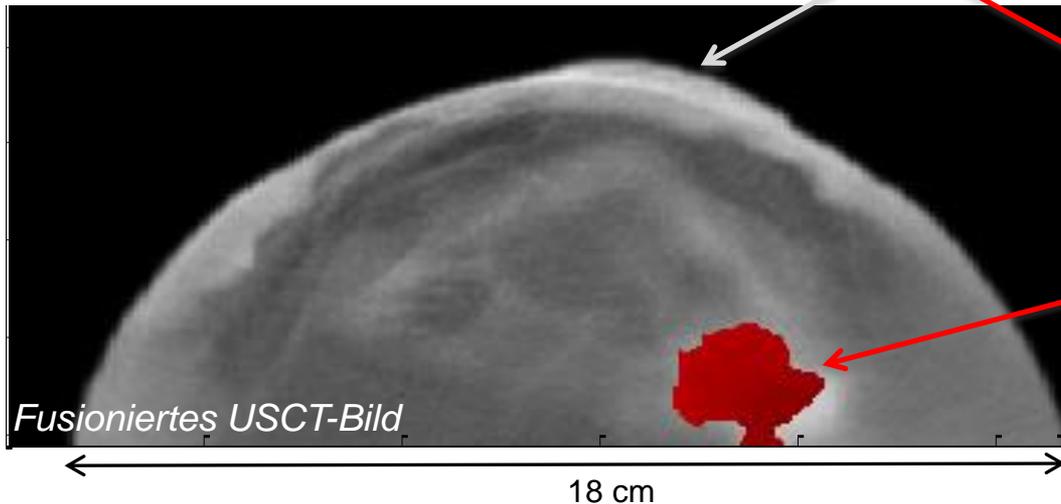


Krebs

# Alle Modalitäten mit Schwellwert



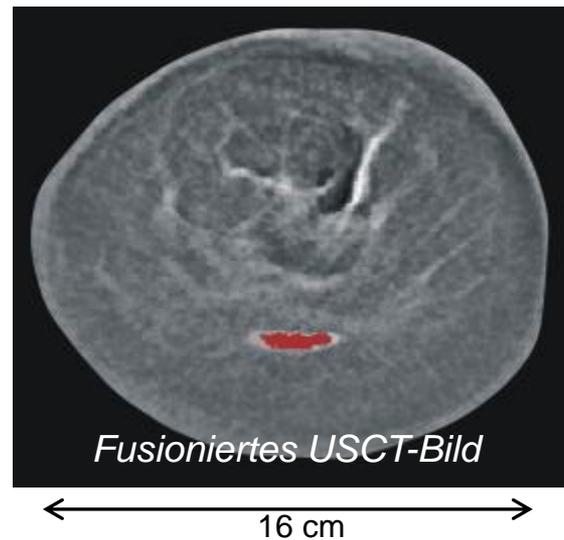
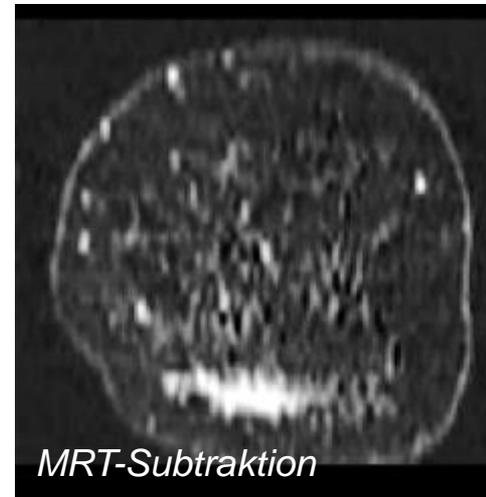
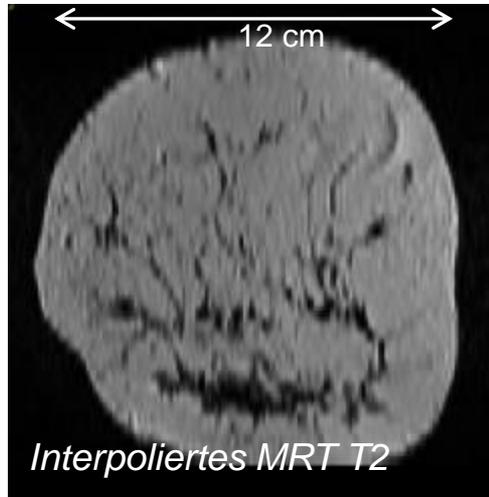
Brustwarze



Krebs

Schallgeschwindigkeit  $\geq 1520$  m/s  
Dämpfung  $\geq 1,5$  dB/cm

# Weitere Patientin



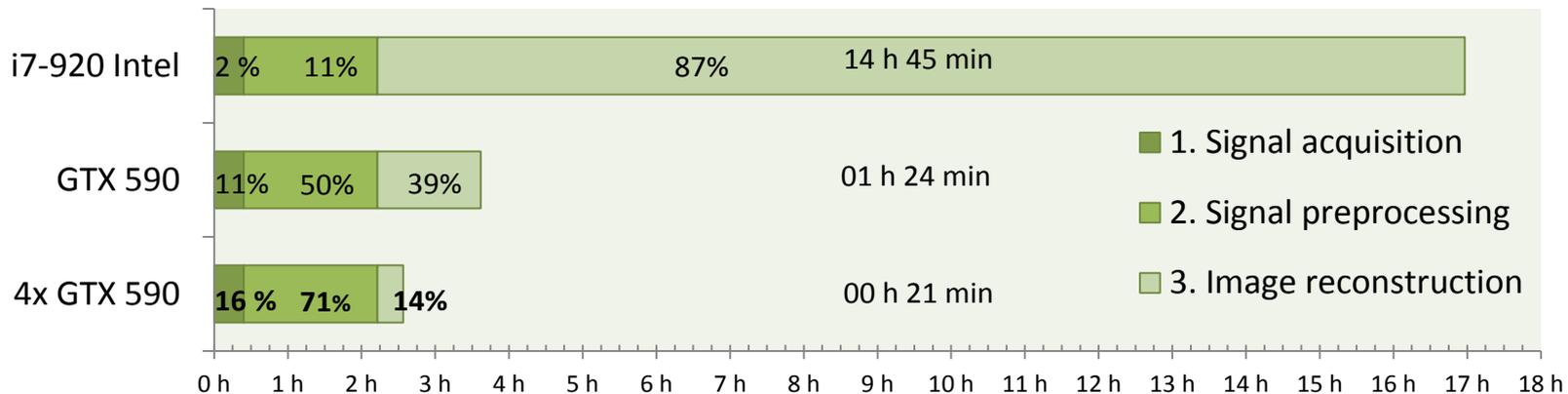
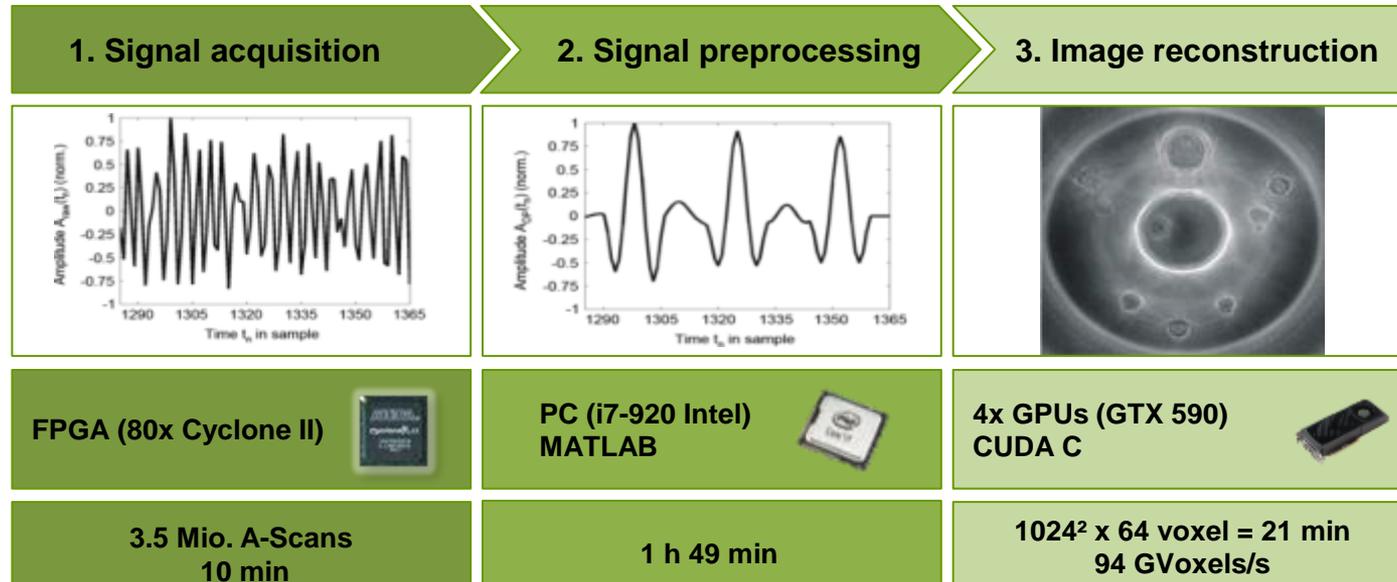
*Schallgeschwindigkeit  $\geq 1520$  m/s*  
*Dämpfung  $\geq 1,5$  dB/cm*

# Impressionen



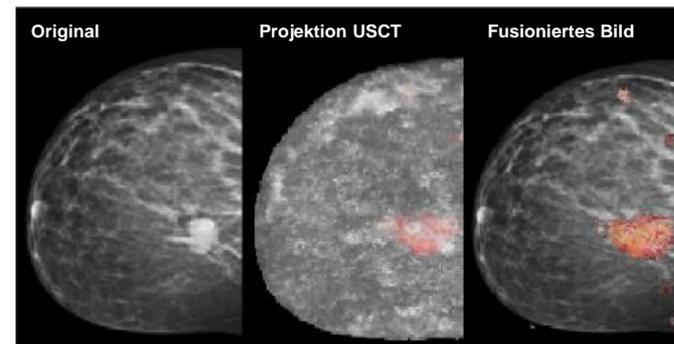
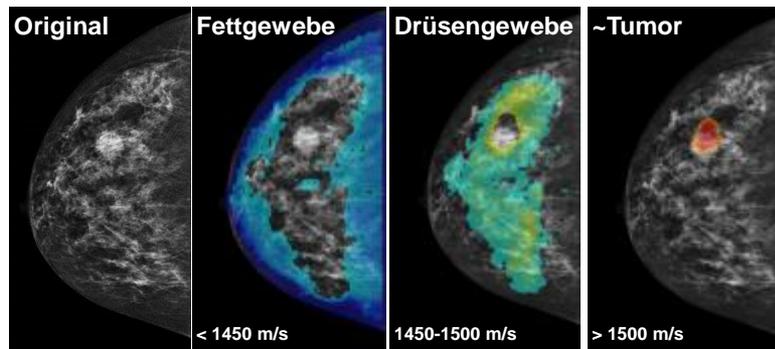
# Darüber hinaus

# Beschleunigung der Bildrekonstruktion

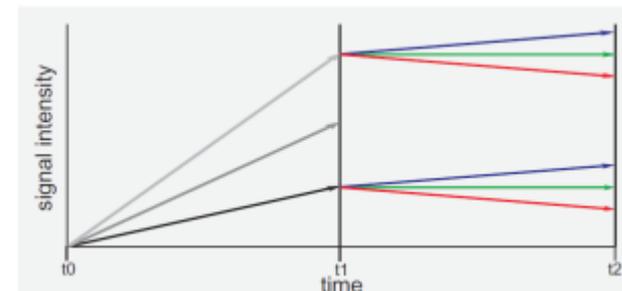
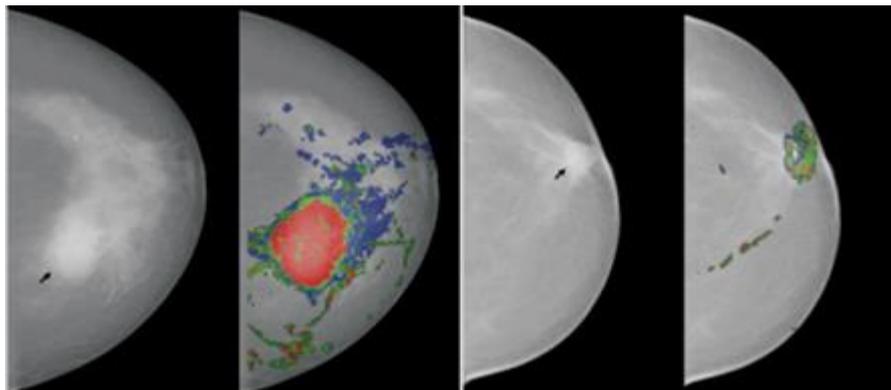


# Multimodale 2D/3D Bildfusion: Mammographie mit Volumendaten

- UCT (Karmanos, Detroit): Schallgeschwindigkeitsbilder (links), 4 Modalitäten in einem Bild (rechts)



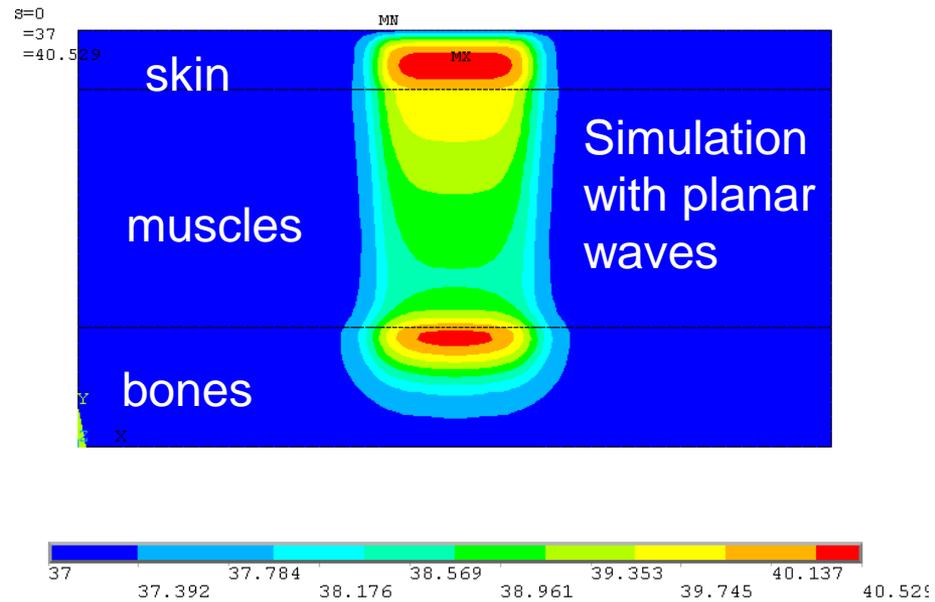
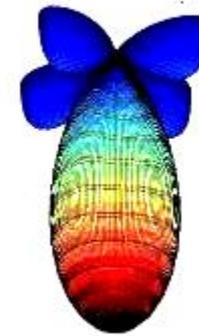
- MRT (Uniklinik Jena): Auswertung der Kontrastmittelanreicherung im Gewebe



# USCT in der Therapie

## ■ Thermoablation:

- Nicht-invasive OP kleiner Tumore
- Simulation: 3D-USCT sehr geeignet
  - Ca. 10 Min. für Tumervolumen
  - Online-Monitoring der Temperaturverteilung direkt möglich



# Zusammenfassung

- **Erste in vivo Bilder: Es funktioniert!**
- Technische Herausforderungen wurden bewältigt
- USCT hat das Potential die Brustkrebsscreening-Modalität der Zukunft zu sein



Bereit für größere klinische Studie an Universitätsklinikum Mannheim

# Vielen Dank!



Algorithms and Imaging  
**M. Zapf, R. Dapp, T. Hopp,  
H. Gemmeke**

HW Acceleration  
**M. Birk, E. Kretzek**

Transducers  
**B. Kohout, T. Blank**

DAQ und Hardware  
**D. Tcherniakhovski, S. Menshikov,  
M. Balzer**

Design and Mechanics  
**L. Berger, B. Osswald, T. Piller,  
W. Frank**