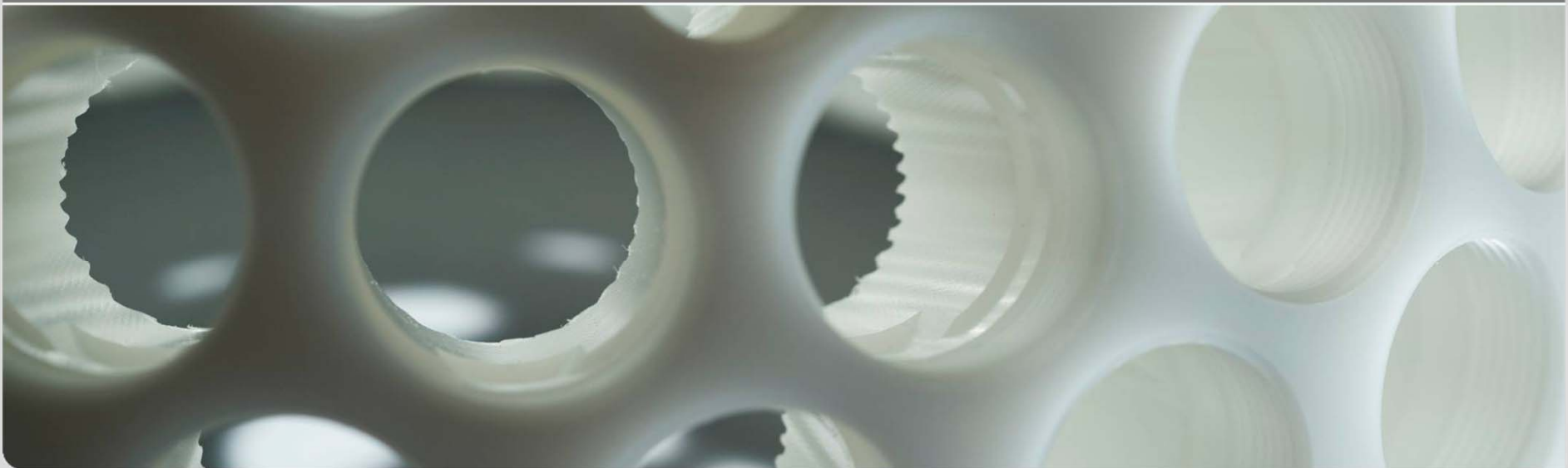


3D Ultraschall-Computertomographie für die Brustkrebsdiagnose

N.V. Ruiter

Institut für Prozessdatenverarbeitung und Elektronik

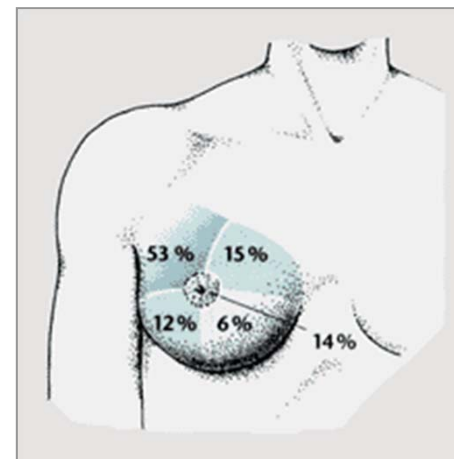
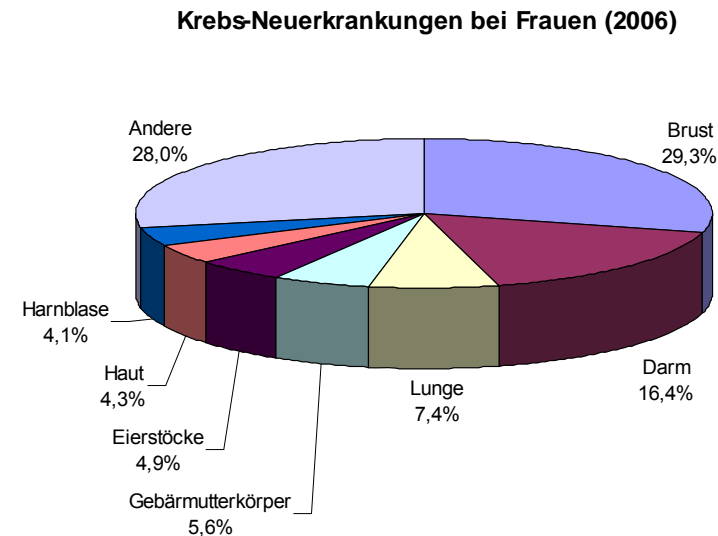


Brustkrebsdiagnose

Brustkrebs-Statistik

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

- Warum sterben Frauen an Brustkrebs?
 - Metastasen in lebenswichtigen Organen



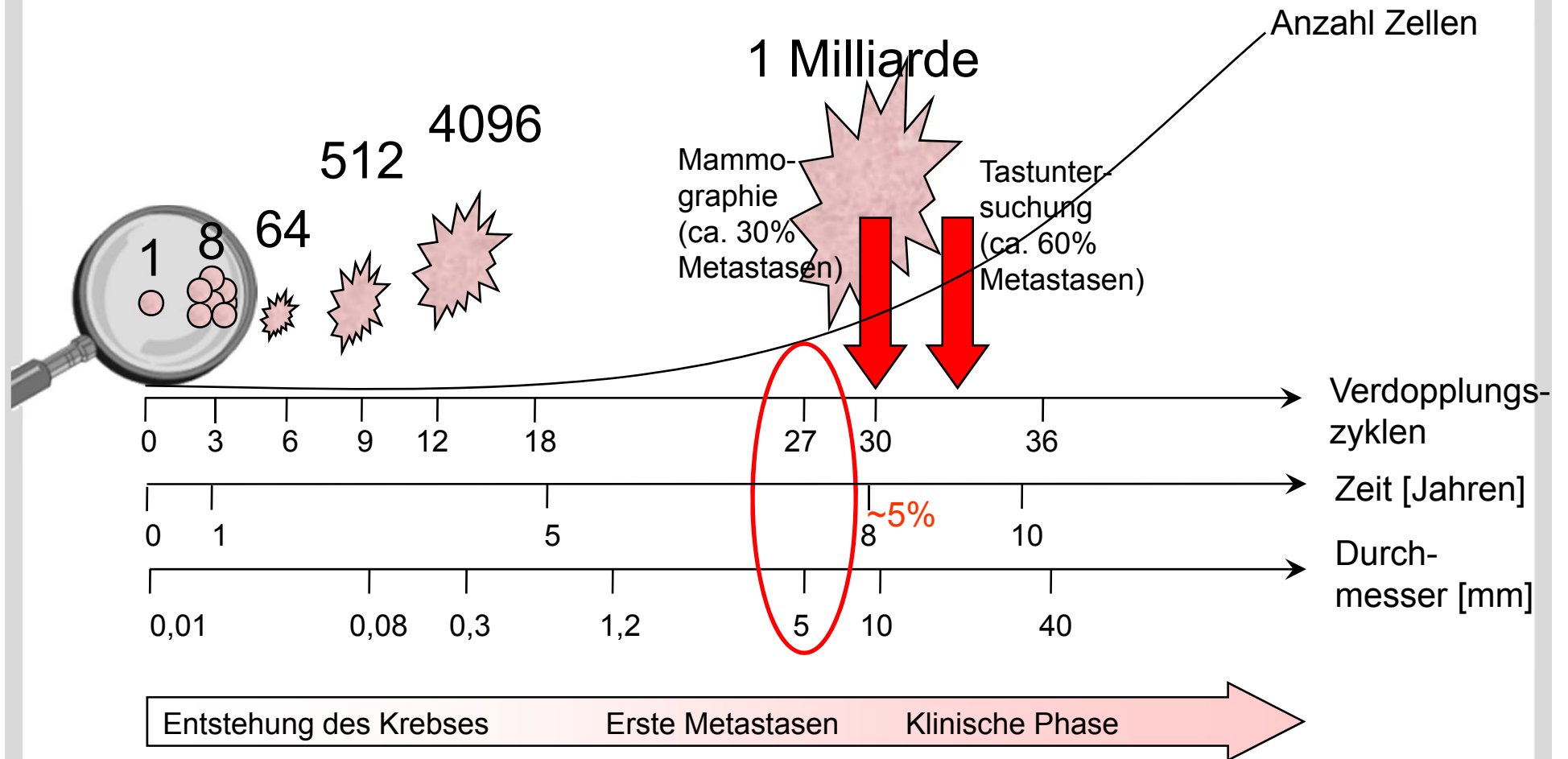
Brustkrebsdiagnostik: Besonderheiten

- 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 Methoden

1. Palpation:
 - + Billig, kann selbst durchgeführt werden (oft)
 - Abhängig von der Größe der Brust und Position der Läsion

Mittlere Tumorgöße bei Diagnose ~20mm
→ Ca. 60% Wahrscheinlichkeit für Metastasen
2. Mammographie:
 - + Billig, verbreitet, der "Gold-Standard"
 - 2D Projektion: Überlagerung möglich
 - Nicht geeignet für junge Frauen, Risikogruppe „dichte Brust“

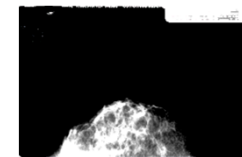
Mittlere Tumorgöße bei Diagnose ~10mm
→ Ca. 30% Wahrscheinlichkeit für Metastasen
3. Sonographie:
 - + Billig, verbreitet
 - Abhängig vom Bediener, nicht reproduzierbar

Tumorgöße ≥ 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)

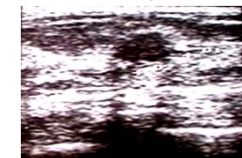
Tumorgöße ≥ 5 mm



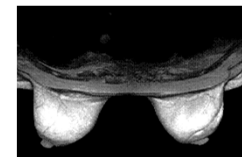
Palpation



Mammographie



Sonographie



MRT

Frühe Brustkrebserkennung: Aktuelle Trends

- Einbeziehung der dritten Dimension!

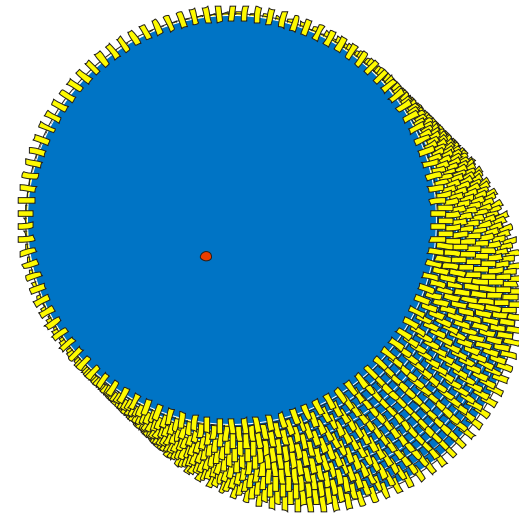
- Annahmen für Verbesserung der Erkennung:
 - Bildqualität
 - Submillimeter Auflösung in 3D
 - Hohe Bildqualität und -kontrast
 - Mehrfache Bildinformation
 - Abbildung komplementärer Gewebeparameter, Kontrastmittel, ...
 - Screening:
 - Reproduzierbare und vergleichbare Bilder
 - Niedere/keine Strahlungs-dosis
 - Günstig
 - Anwendbar für junge Frauen und alle Risikogruppen

- Aktuelle Entwicklungen:
 - Tomosynthesis, Röntgen-CT
 - Spektroskopie mit MRT
 - USCT:
3D, hohe Auflösung, mehrere Gewebeeigenschaften, günstig, keine Strahlung

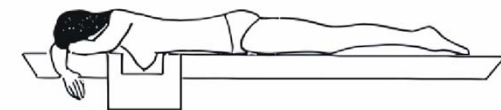
Ultraschall-Computertomographie: Grundkonzept

Ultraschall-Computertomographie

- Idee bekannt seit > 30 Jahren
- Grundidee:
Objekt mit Ultraschallwandlern in einem festen Aufbau umgeben
→ Sehr anspruchsvolle Technik nötig
- Vorteile:
 - Reproduzierbare 3D Bilder mit Ultraschall
 - Unfokussierter Ultraschall in 3D:
Höhere Bildqualität und gleichmäßigere Auflösung
 - Ultraschallwandler umgeben Objekt:
 - Drei Gewebeeigenschaften gleichzeitig

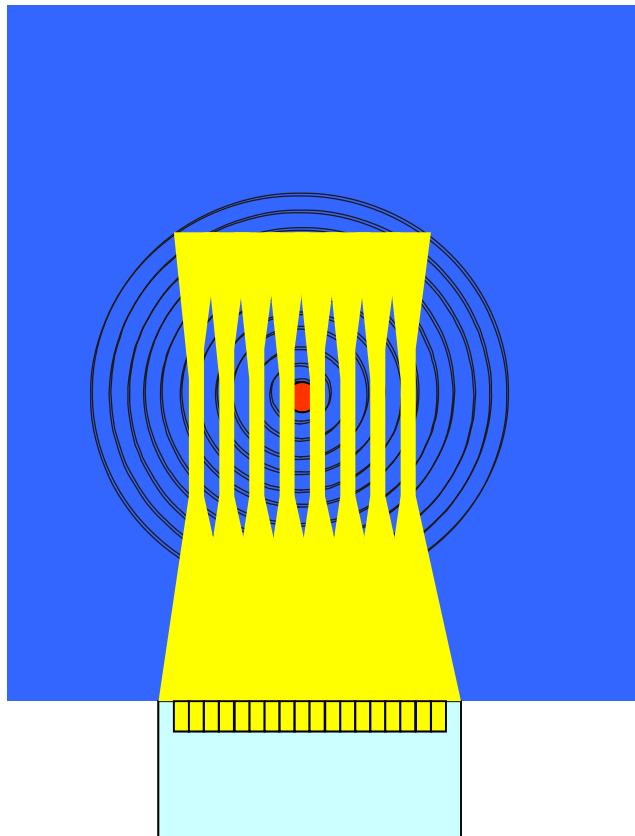


Beispielhafter 3D-Aufbau

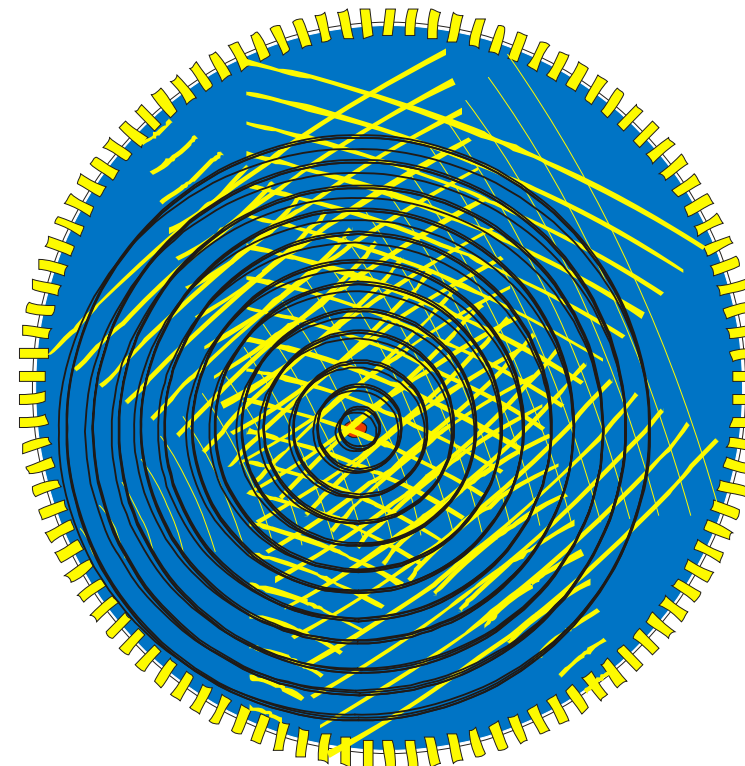


Brustbildgebung mit festem Aufbau

Vorteil: Bessere Bilder in kürzerer Zeit



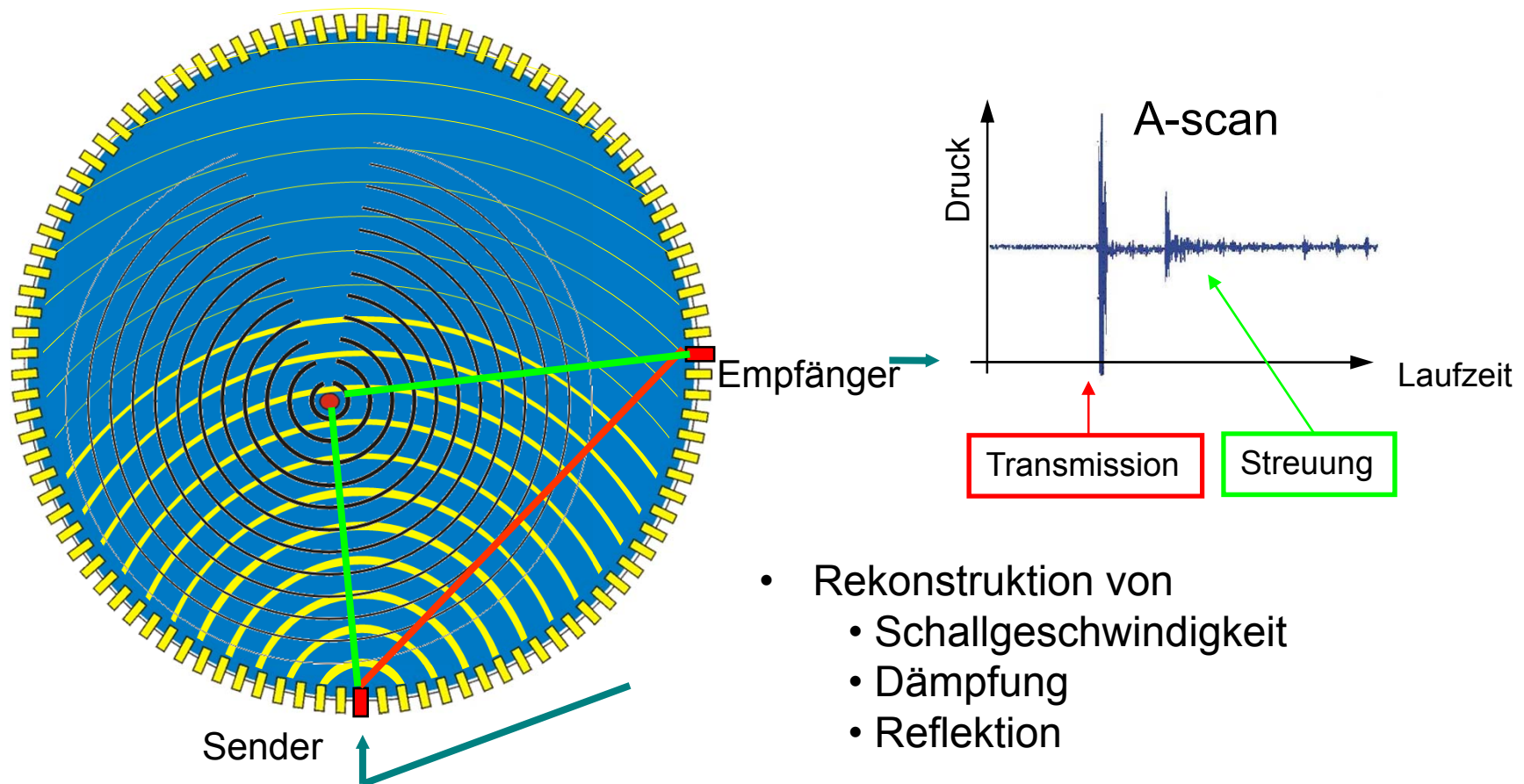
Prinzip konventionelle Sonographie



Prinzip Ultraschall Computertomographie

- Fokus wird überall ideal in Rekonstruktion erstellt
- Mehr Information in deutlich kürzerer Zeit
- Unser Ansatz: Unfokussiert in 3D

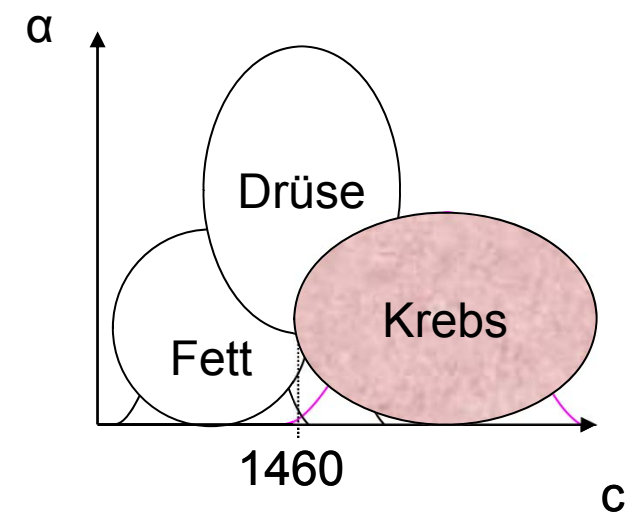
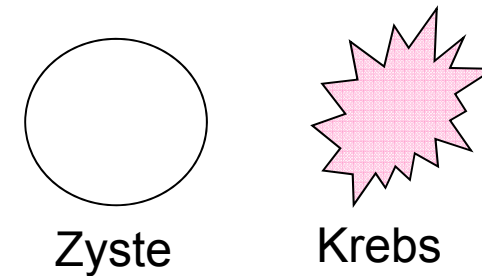
Vorteil: „Drei zum Preis von Einem“



- Rekonstruktion von
 - Schallgeschwindigkeit
 - Dämpfung
 - Reflektion

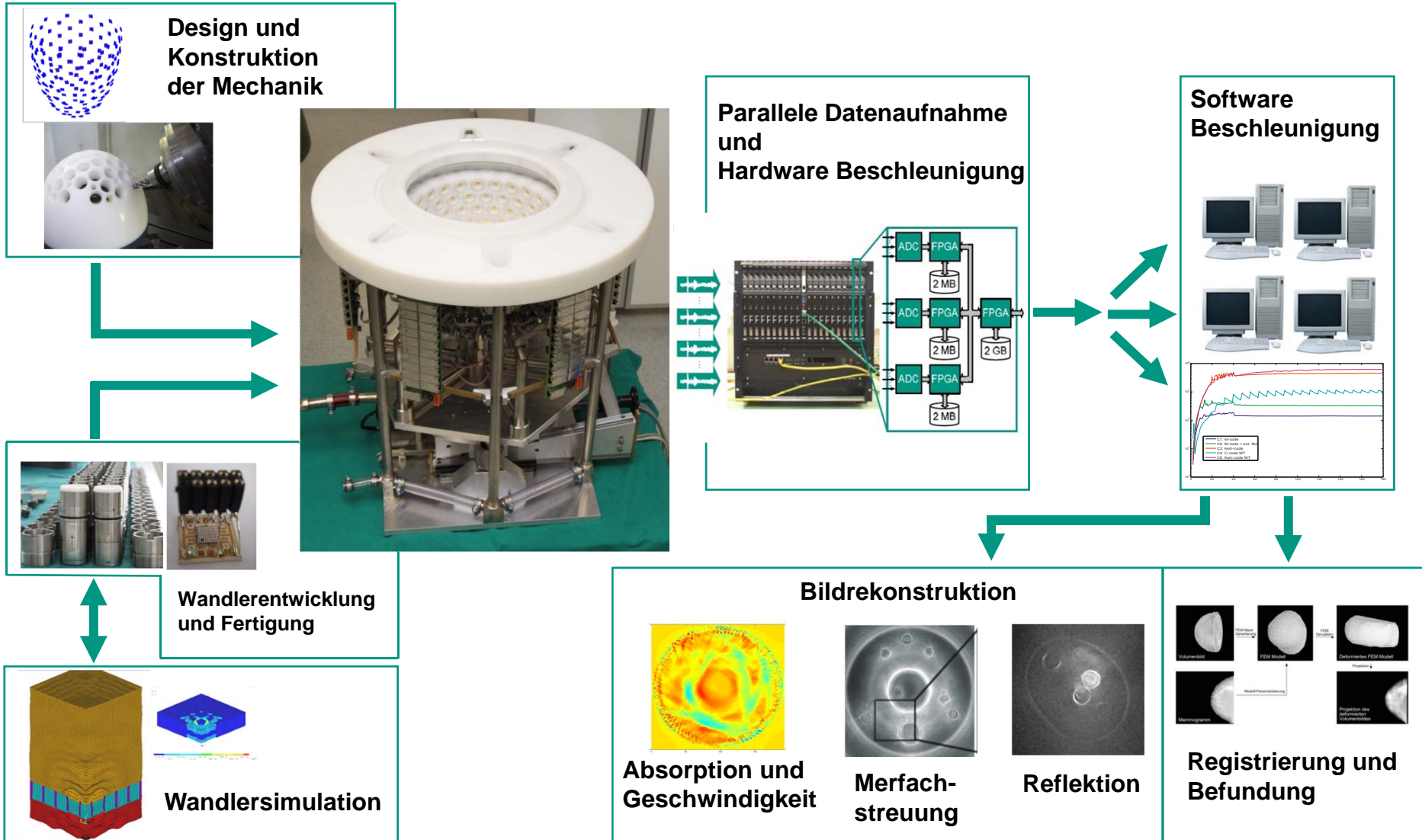
Diagnostische Information

- Reflektion:
 - Morphologie
 - Strukturinformation
- Schallgeschwindigkeit:
 - Normal: 1350 – 1500 m/s
 - Krebs: 1460 – 1600 m/s
- Dämpfung („Absorption“):
 - Geringer bei Krebs
 - Zusätzliche Information
- z.B. $c = 1470 \text{ m/s}$, α klein \rightarrow sehr verdächtig



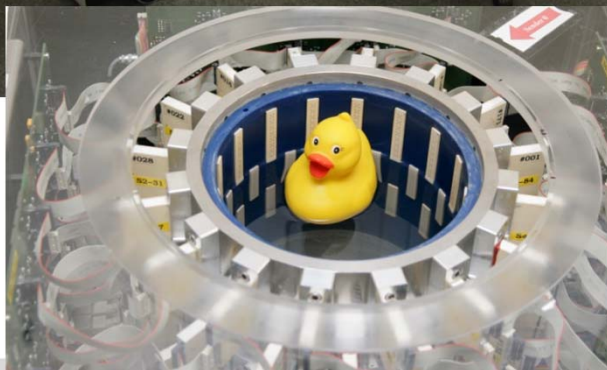
Vereinfacht, basierend
Greenleaf et al, Clinical Imaging 1981.

Technische Herausforderung und Forschung



3D USCT I: Prototyp

Erster 3D USCT: Technische Machbarkeit

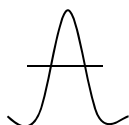


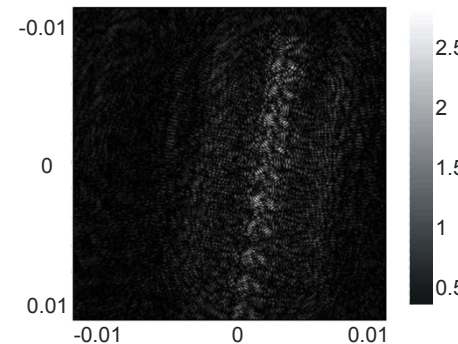
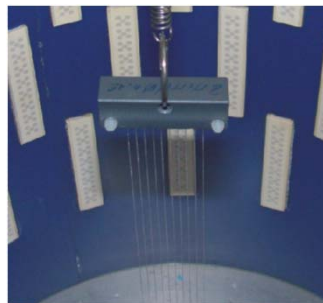
- Zylinder
 - Durchmesser 20 cm
 - Höhe 23 cm
- Anzahl Ultraschallwandler (virtuelle Anzahl):
 - 384 Sender (2304)
 - 1536 Empfänger (9216)
- Technische Herausforderungen:
 - Ultraschallwandler
 - Preiswert
 - Reproduzierbar
 - Hohe Signalgüte
 - Datenmenge/-rate
 - 3,5 Mio. A-Scans (35 CD Roms)
 - Bildgenerierung
 - Komplexität
 - Genauigkeit

Grenzen für Kontrast und Auflösung

10 Nylonfäden, \varnothing 0,2 mm

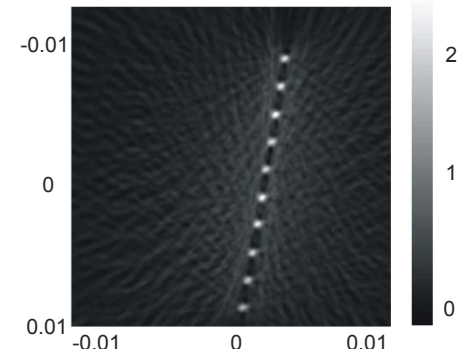
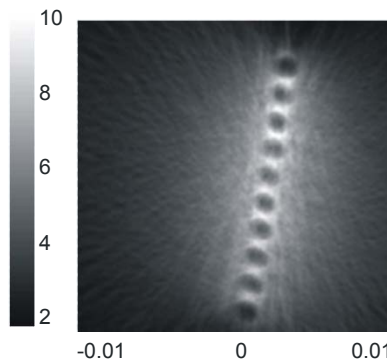
$$\text{SDNR} = \frac{\mu_{\text{FG}} - \mu_{\text{BG}}}{\sigma_{\text{BG}}} > 5$$

FWHM  $\sim 0,2$ mm



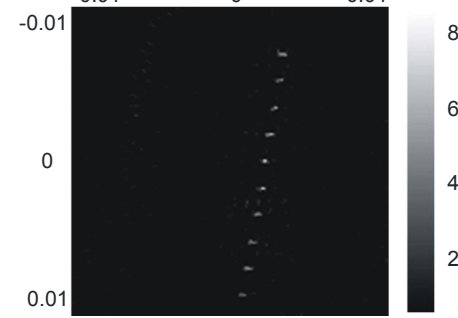
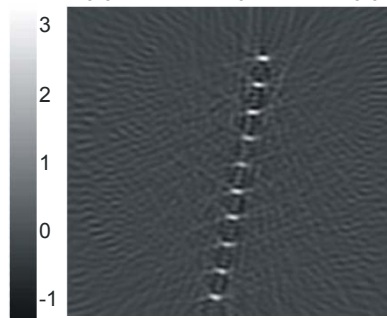
Kohärente Summation:
 SDNR N/A
 FWHM N/A

Einfache Lösung:
Einhüllende
 SDNR 0,5
 FWHM 2,1 mm



Signalverarbeitung:
„Adapted matched filter with Chirp“
 SDNR 11,0
 FWHM 0,62 mm

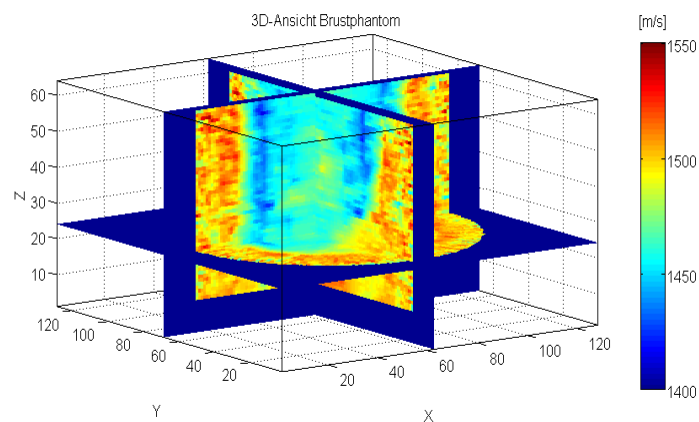
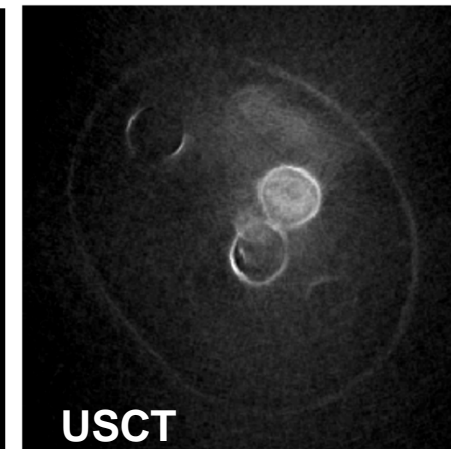
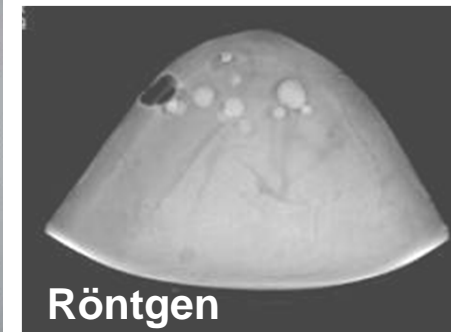
Signalverarbeitung II:
„Wavelet signal detection“
 SDNR 15,9
 FWHM 0,45 mm



Bildverarbeitung:
„Adaptive Beamforming“
 SDNR 35,9
 FWHM 0,24 mm

Brust-Biopsiephantom

- Drei Abbildungsmethoden:
 - Röntgenmammographie
 - Magnet Resonanz Tomographie
 - Sonographie
- „Krebs“: \varnothing 2-8 mm
- „Zysten“: \varnothing 3-10 mm



Schallgeschwindigkeitsbild

↔
→ 3D USCT Vorteile bestätigt

3D USCT II: Erste klinische Studie

3D USCT Generation II: Klinische Studie

Neue IPE Ultraschallwandler



Optimierte Sensoranordnung



Gesamtaufbau

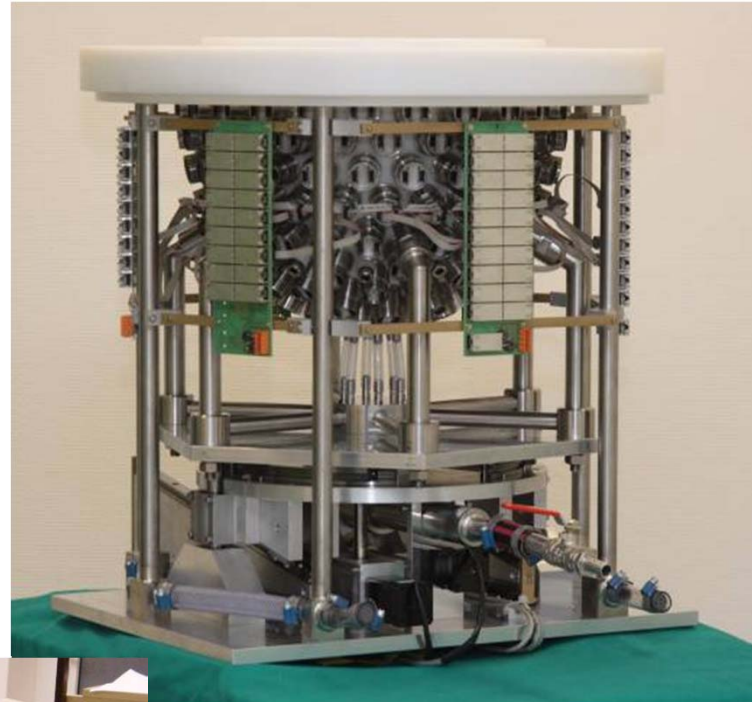
- Optimierte Sensorapertur
- DAQ Zeit ≤ 2 min

- Inbetriebnahme: Ende 2010
- Erste Probandin: Anfang 2011

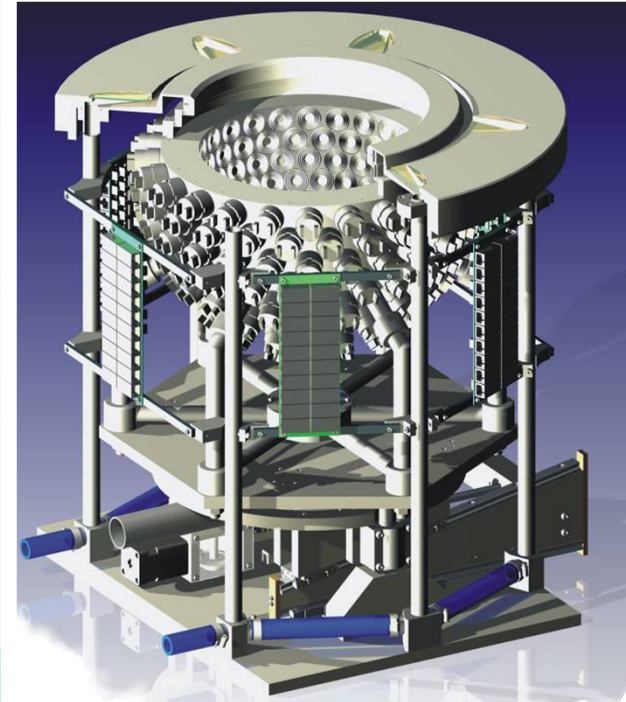
3D USCT Generation II: Weitere Impressionen



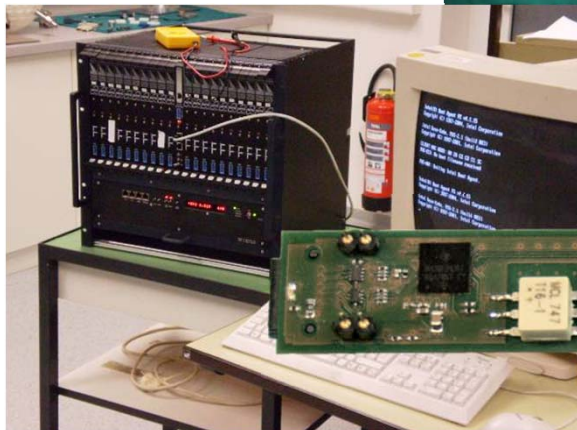
Patientenliege



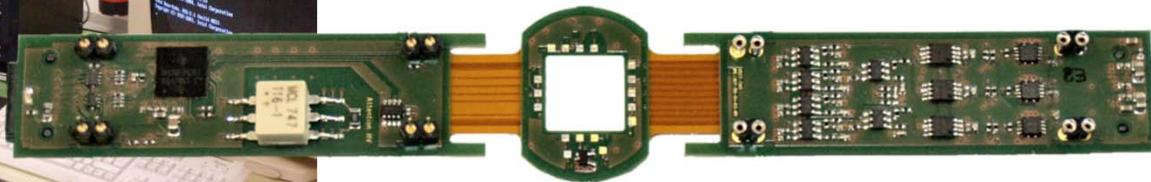
Sensorhalterung



Technische Zeichnung Gesamtaufbau



IPE DAQ Elektronik



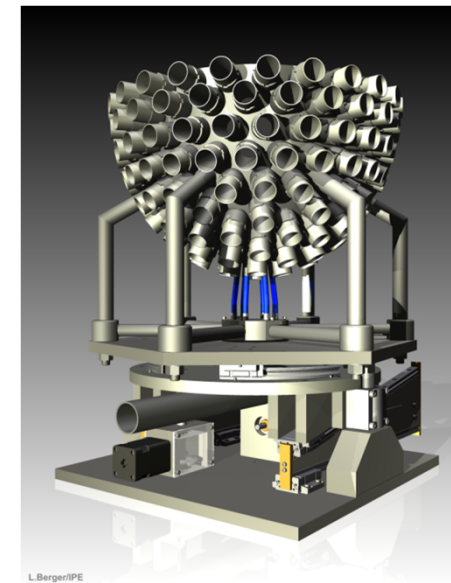
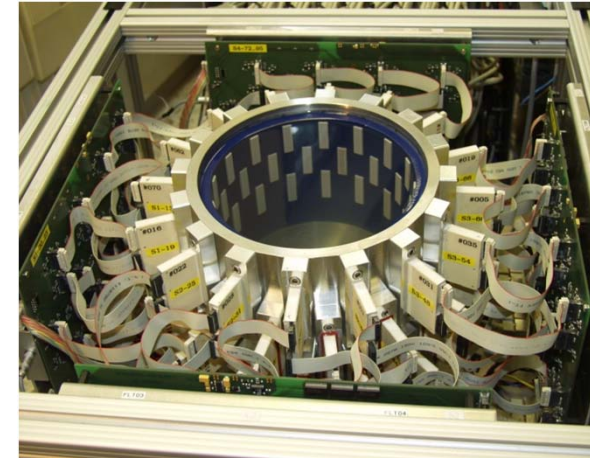
Eingebettete Elektronik der Wandler



Verkabelung

Aktueller Stand und Zukunft

- 3D USCT erste Generation
 - Welterster 3D USCT → Technische Machbarkeit
 - Limitationen:
 - Nur statische Phantome
 - Ungleichmäßige Ausleuchtung
 - Ungleichmäßige Punktabbildung (xy vs z)
- 3D USCT zweite Generation
 - Wird aktuell in Betrieb genommen
 - Lösungen für
 - Aufnahme in <2 min möglich
 - Optimierte Sensoranordnung für Ausleuchtung und Punktabbildung
 - Adaptive Beamforming
 - Nächstes Ziel: Klinische Studie



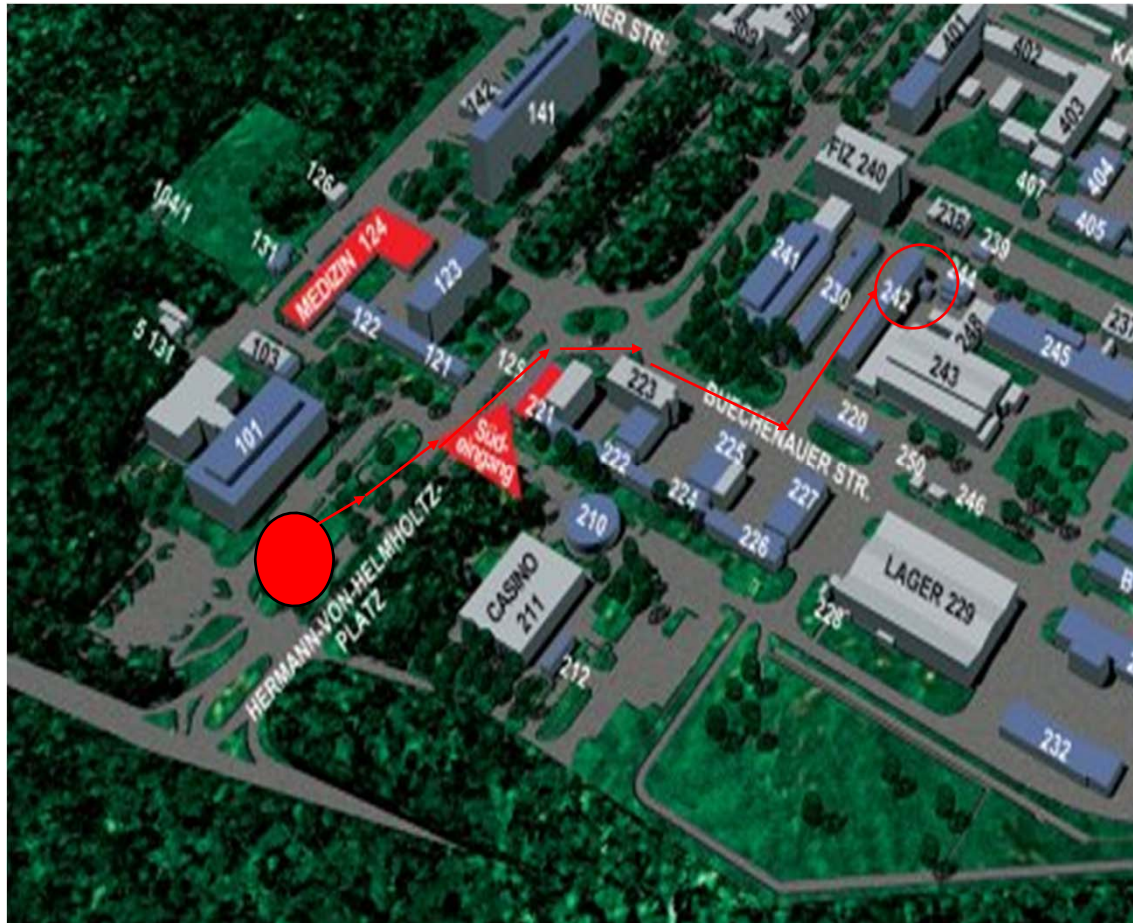
Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Fragen?

Wir beantworten sie gerne! IPE 242



Wegweiser ins IPE



Weitere USCT
Information:

- IPE,
Gebäude 242