

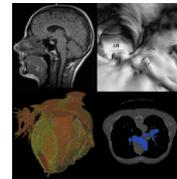
# Visualisierung und virtuelle Realität in der Medizin

## Virtuelle und erweiterte Realität

Dirk Bartz

Visual Computing (ICCAS), University of Leipzig

dirk.bartz@iccas.de



UNIVERSITÄT LEIPZIG

iccas  
innovation center  
computer assisted surgery  
Visual  
Computing (VCM)



## Navigationsgestützte Chirurgie

Visual  
Computing (VCM)

### Image-guided Surgery (IGS)

- **Überlagert** Bilddatensatz mit Patienten
- **Verfolgt Instrumente** während eines Eingriffs
- **Repräsentiert** Instrumente im Bilddatensatz des Patienten
- Erfordert **Registrierung** von Patient zu Datensatz
- Erfordert Trackingtechnik
  - Optisches (Infrarot) Tracking
  - Magnetisches Tracking
  - Videotracking

UNIVERSITÄT LEIPZIG

iccas

Visualisierung und VR in der Medizin, BVM 2008



## Navigationsgestützte Chirurgie

Visual Computing (VCM)

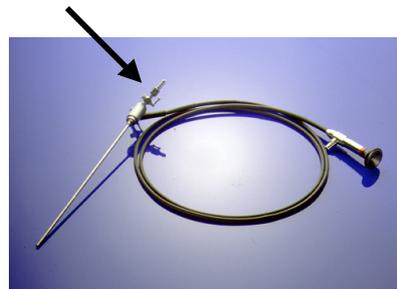


### ▪ **Optisches (Infrarot) Tracking**

- Verfolgt oft nur **Instrumentenende**
- Erfordert **Sichtbarkeit**
- + Hohe Genauigkeit
- + Keine (geringe) Interferenz mit Umgebung



[Abb.: NDI Polaris]



UNIVERSITÄT LEIPZIG

iccas

Visualisierung und VR in der [Abb.: D. Freudenstein, NCH Tü]



## Navigationsgestützte Chirurgie

Visual Computing (VCM)

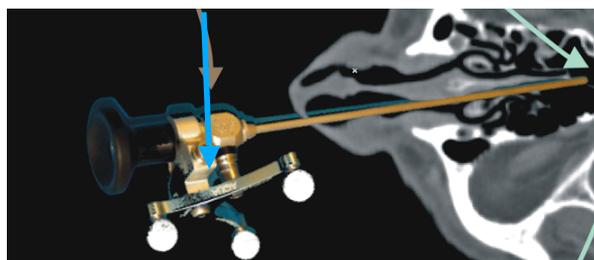


### ▪ **Optisches (Infrarot) Tracking**

- Verfolgt oft nur **Instrumentenende**
- Erfordert **Sichtbarkeit**
- + Hohe Genauigkeit
- + Keine (geringe) Interferenz mit Umgebung



[Abb.: NDI Polaris]

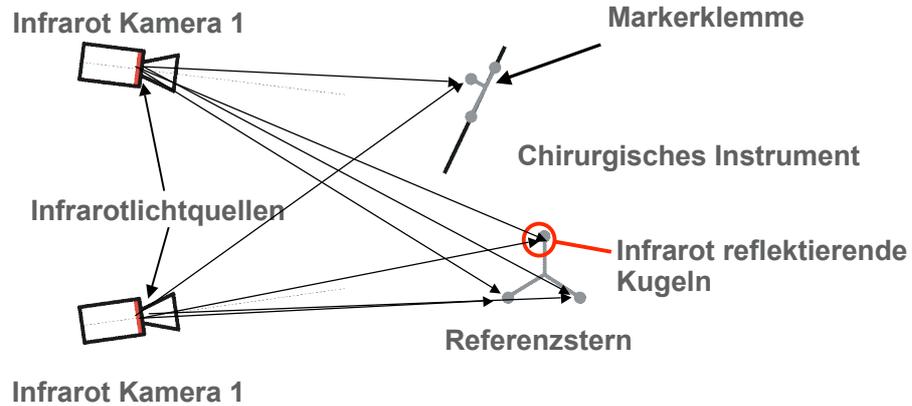


UNIVERSITÄT LEIPZIG

iccas

Visualisierung und VR in der N [Abb.: A. Neubauer, VRVis]

## Optisches (Infrarot) Tracking



- Optisches (Infrarot) Tracking
- **Magnetisches Tracking**
  - Kleines Arbeitsfeld
  - Aufwendiger Aufbau
  - **Interferenz** mit metallischen Objekten
  - + **Erfordert keine** Sichtbarkeit
  - + Verfolgt (nicht sichtbare) **Instrumentenspitze**



[Abb.: NDI Aurora]

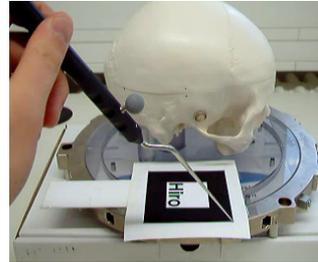


## Navigationsgestützte Chirurgie

Visual  
Computing (VCM)



- Optisches (Infrarot) Tracking
- Magnetisches Tracking
- **Videotracking**
  - **Geringere** Genauigkeit
  - Erfordert Sichtbarkeit
  - + Einfacher **Aufbau**



UNIVERSITÄT LEIPZIG

iccas

Visualisierung und VR in der Medizin, BVM 2008



## Navigationsgestützte Chirurgie

Visual  
Computing (VCM)



### Registrierung

- Berechnet räumlichen **Zusammenhang** zwischen Patient (**OP-Koordinatensystem**) und **Bilddatensatz**
- Typischerweise starre Transformation: Rotation, Verschiebung
- Basiert auf
  - **Landmarken (Fiducials)**
  - Punktmengen (Laserpointer)

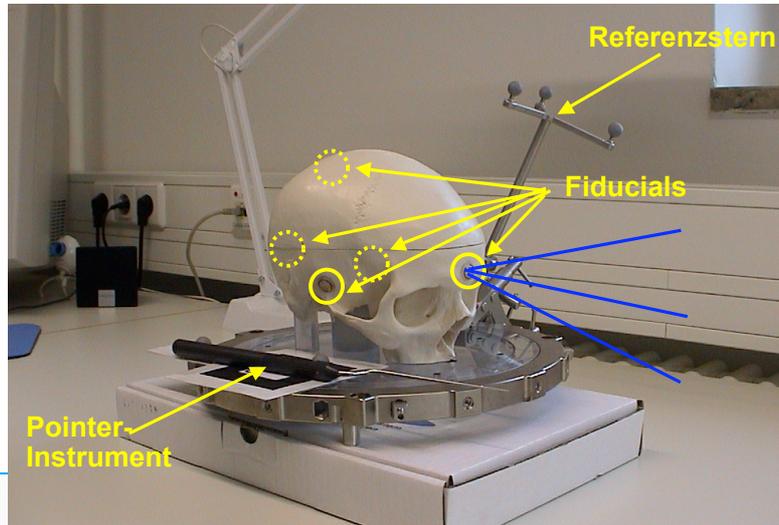
UNIVERSITÄT LEIPZIG

iccas

Visualisierung und VR in der Medizin, BVM 2008



## Landmarken-basierte Registrierung mit Fiducials



## Optisches Tracking

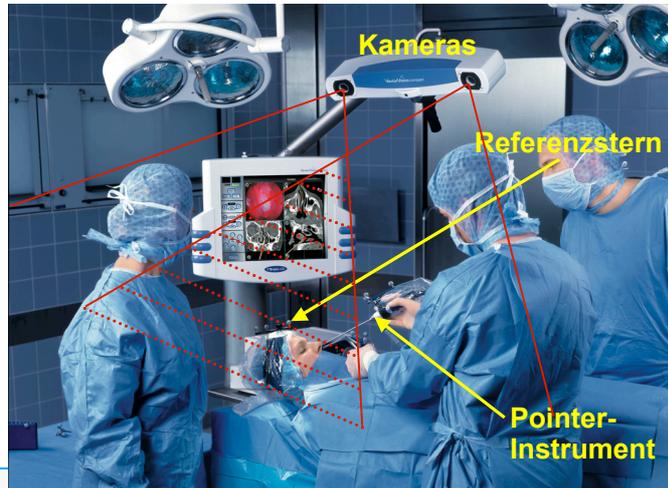


- **Echtzeit-Bestimmung** von **Position und Orientierung** (=Pose) verschiedener Objekte im Raum (Patient, Instrument, Roboter ...)
- Erfassung der 3D-Position von **aktiven oder passiven Markern**.
- **Projektion** des überwachten (getrackten) Instruments in präoperativen CT/MR-Datensatz ermöglicht intraoperative Orientierung in Echtzeit.





## Navigierter Eingriff



Visualisierung und VR in der Medizin,

[Abb.: BrainLAB]



## Punktmengen-basierte Registrierung mit einem **Laserpointer**

- Laseraufpunkt wird von Infrarotkameras gesehen
- Punktmengen werden gemessen
- Registrierung mit ICP



Visualisierung ur

[Abb.: Maxillo Facial Surgery Tübingen]



### Probleme

- **Genauigkeit:** Je besser die Registrierung, desto höher ist die Genauigkeit
- **Verdeckung von Markern:** Tracking ist nicht möglich
- **Sichtbarkeit:** Nur sichtbare Anteile der Instrumente werden verfolgt (zB. minimal-invasive Chirurgie)
- **Flexibilität:** Markerklammer muss an Instrument befestigt werden



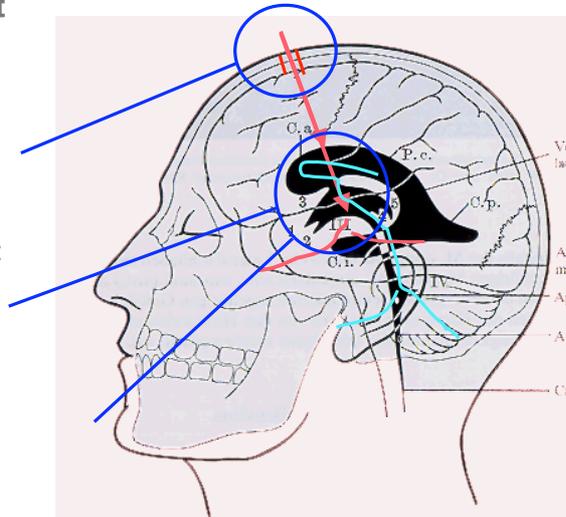
### Probleme, Fortsetzung

- **Gewebedeformation**
  - Navigationssystem verwenden typischerweise präoperativ akquirierte Daten
  - Je nach Zielgebiet kann es **erhebliche Deformationen** geben (zB. Brainshift)
  - Deformationen treten **nicht gleichmäßig auf** (können im Zielgebiet klein sein)
  - Daten sind **nicht aktuell**; ggf. Korrektur durch **intraoperative Bildgebung**



### Beispiel für Brainshift

- **Bohrloch im Schädel:** erhebliche Deformationen
- **Ventrikelsystem:** vernachlässigbare Deformationen
- Nach **Ventrikulostomie:** (eher geringe) Deformationen



### Gewebedeformation

- Kopf: **Potentiell kontrollierbar** (Aufbau)
- Abdomen: **Sehr schwierig** zu kontrollieren (permanente ungleichmäßige Deformationen)
- Herz/Lungen: **Möglicherweise** kontrollierbar  
Herz/Atmungs-**Monitoring**  
(periodische Bewegung)



## Intraoperative Bildgebung

Visual Computing (VCM)



- MRT (Offenes-MRT, intraoperatives Vollfeld-MRT)
- Röntgen (C-Bogen, intraoperatives CT)
- **Ultraschall**
- **Endoskopische Scanner**

Neue Bilder **müssen** mit Patienten- und präoperativ akquiriertem Datensatz **registriert werden** (zB. eine Markerklemme an der **Ultraschallsonde**).

UNIVERSITÄT LEIPZIG

iccas

Visualisierung und VR in der Medizin, BVM 2008



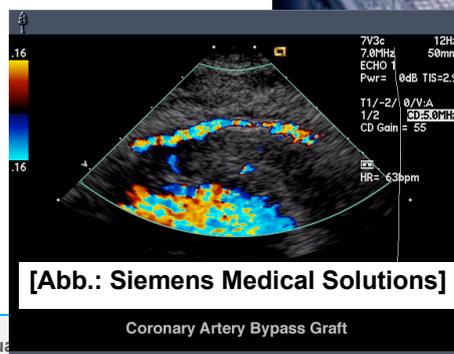
## Intraoperative Bildgebung

Visual Computing (VCM)



### Ultraschall

- Echtes interaktives Scanning
- Verschiedene Modi
- Sehr verrauscht



UNIVERSITÄT LEIPZIG

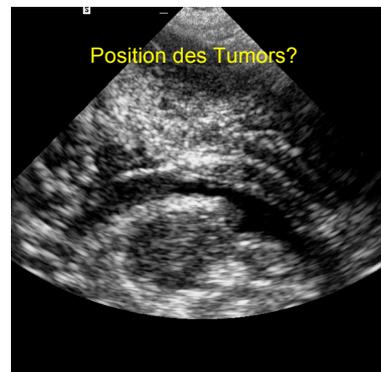
iccas

Visual



## Ultraschall

- Adaption zum **Brainshift** oder anderen Gewebe-  
deformationen  
(Resektionskontrolle)
- Schlechte **räumliche Orientierung**
- Welche **weiteren Instrumente** werden genutzt?

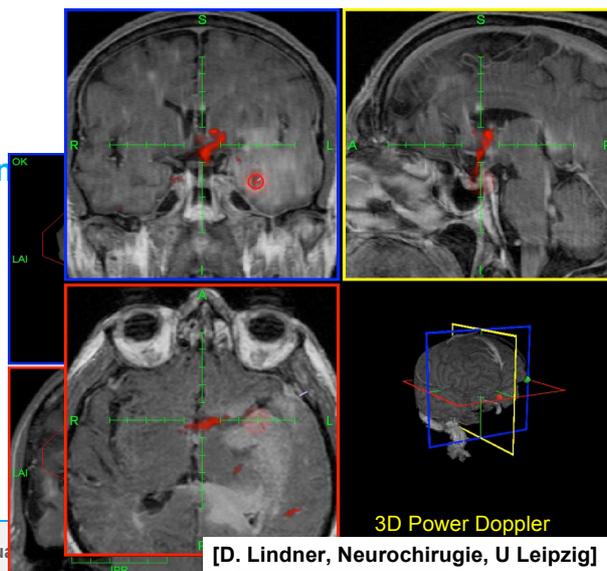


- **5% Unterschied** zwischen 3D US und post MRT



## Ultraschall

- Nutzung erfordert typischerweise **Registrierung** mit **präoperativen** Datensatz (NCH: MRT)
- **Doppler** gut für Blutfluss





### Endoskopische Scanner

- Mit Endoskop zum Zielgebiet
- Laserscanner für geometrische Vermessung
- Holographische Scanner für volumetrische Vermessung (hängt von optischen Eigenschaften ab)
- (Noch) keine verfügbaren Geräte, nur Forschungsprototypen



[Abb.: Fraunhofer IPA]



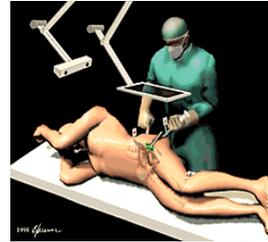
Kombiniert virtuelle und reale Welt in eine **gemischte, erweiterte Realität** (Augmented Reality): **Mensch-Maschine-Schnittstelle**

- Trackingmethode
- Anzeigemethode
  - Head-Mounted-Displays (HMDs):
    - Zu umständlich für Chirurgie
    - Zu beschränkte Wahrnehmung und Bewegung
  - Halbtransparente Anzeigeräte
  - Aufprojektion
  - Standardanzeige (Monitor) plus Videokamera



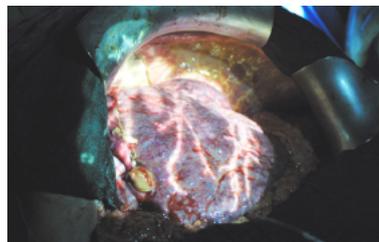
## Halbdurchlässige Displays

- Registriertes TFT für Virtualität
- Durchsicht für Realität
- Aber auch **reduzierte** Darstellungsqualität



## Aufprojektion

- Qualität schlecht **ohne gute Projektionsfläche**
- **Verdeckung** durch Objekte zwischen Projektor und Projektionsfläche
- Platzverbrauch



[Ritter et al., 2006]



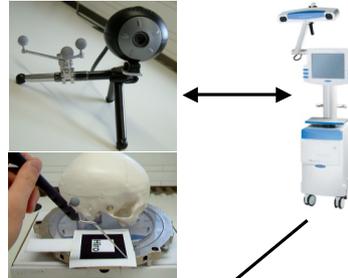


### Standardbildschirm und Kamera

- Postprocessing  $\rightarrow$  **gute Qualität**
- Navigiertes Display oder navigierte Kamera



[Weber, 2003]



[Abb.: VCM L/TÜ]



- Darstellung der Realität muss **registriert und verfolgt** werden
- **Fusion** von realen und virtuellen Videoströmen
- Offen: Wie sollen **virtuelle Objekte hinter realen Objekten** behandelt werden (Verdeckung)?



# Medizinische Erweiterte Realität

Visual Computing (VCM)

- Tracking: **Optisch** und **video-basiert**

Markerklemme



Webkamera



Navigationssystem

UNIVERSITÄT LEIPZIG



Visualisierung und VR in der Medizin, BVM 2008

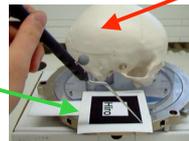
[Fischer, 2004]



# Medizinische Erweiterte Realität

Visual Computing (VCM)

- Infrarotkameras sehen
  - Patienten (Schädel) und Videomarker
  - Markerklemme an Webkamera
- Webkamera sieht Videomarker
- System berechnet Transformation zwischen Kameras und kommuniziert mit Navigationssystem



VVL

Visualisierung und VR in der Medizin, BVM 2008

[Fischer, 2004]

UNIVERSITÄT LEIPZIG



UNIVERSITÄT LEIPZIG

Visual Computing (VCM)

## Medizinische Erweiterte Realität

Bewegte Kamera	Bewegtes Objekt
<p>Medical Augmented Reality based on Image Guided Surgery</p> <p>Overlay of manually placed tumor model</p>	<p>Medical Augmented Reality based on Image Guided Surgery</p> <p>Automatic alignment with patient coordinate system</p>

Visualisierung und VR in der Medizin, BVM 2008 [Fischer, 2004]

iccas

UNIVERSITÄT LEIPZIG

Visual Computing (VCM)

## Medizinische Erweiterte Realität

**Probleme**

- Hohe Positionsgenauigkeit, aber **niedrige Richtungsgenauigkeit**
  - ➔ visuelle "Vibration" durch kleine Richtungsfehler
- Verdeckung

Medical Augmented Reality based on Image Guided Surgery

Automatic alignment with patient coordinate system

Visualisierung und VR in der Medizin, BVM 2008

iccas



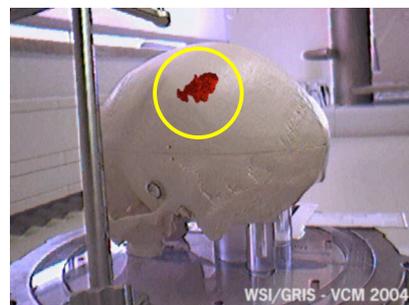
### Verdeckungsproblem

- Der Videostrom **ist 2D**, enthält also keine Tiefeninformation
- Die virtuellen Objekte **sind 3D** und enthalten Tiefeninformation
- Die medizinische erweiterte Realität (MER) **erfordert korrekte Sortierung** für eine gute Tiefenorientierung
  - ➔ Tiefeninformation muss rekonstruiert werden



### Medizinische erweiterte Realität - Standard

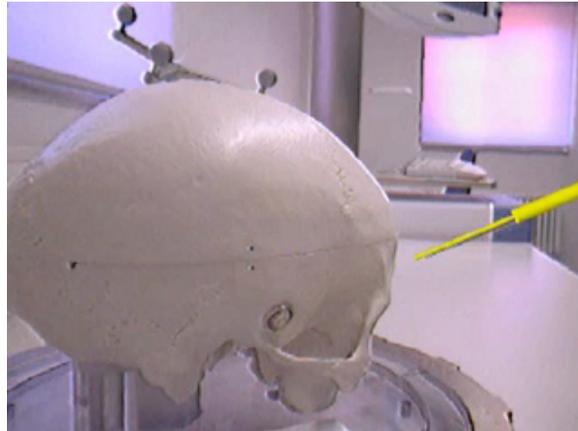
- Virtuelle Objekte werden **über** den Videostrom **gezeichnet**
- **Ermöglicht keine** korrekte Tiefenwahrnehmung
- Objekte hinter realen Patientenstrukturen sollten
  - **nicht** oder
  - **anders gezeichnet** werden (zB. semi-transparent)



WSI/GRIS - VCM 2004



### Verdeckungsproblem der medizinischen erweiterten Realität



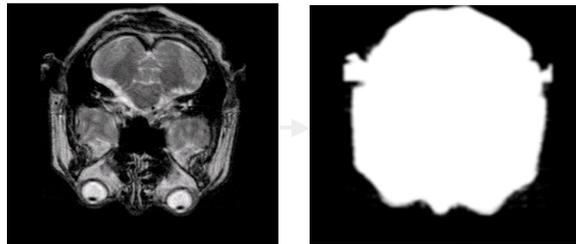
### Rekonstruktion der 3D Tiefeninformation

- Nutzen des **präoperativ akquirierten** Patientendatensatzes
- **Extrahieren Phantom**(-geometrie) des Patienten
- **Rendern** des Phantoms **in Tiefenpuffer**
- Aber: Phantom ist iA. zu komplex  
→ **Vereinfache** Phantom



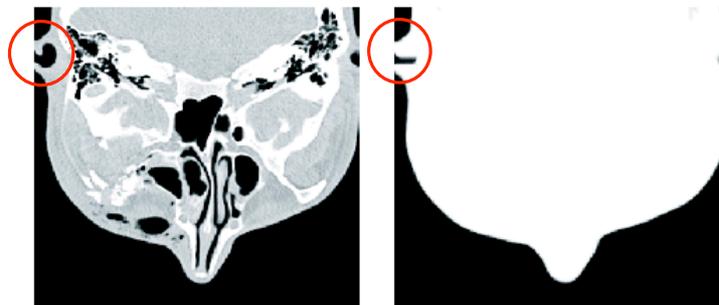
### Vereinfache Phantom

- **Bereinige** Datensatz (Gauß, Morphologie)
- Berechne **visuelle Hülle** (entferne innere Strukturen)
- **Glätte** Ergebnis (Median, Gauß)
- **Extrahiere** Isofläche



### Kleine Ungenauigkeiten

- Verfahren kann nicht alle Details rekonstruieren:  
Halb-geschlossene Bereiche
- Genauigkeit idR. ausreichend für fast alle Fälle





## Korrekte Verdeckungsbehandlung

- Details am Jochbein werden auch korrekt behandelt



UNIVERSITÄT LEIPZIG

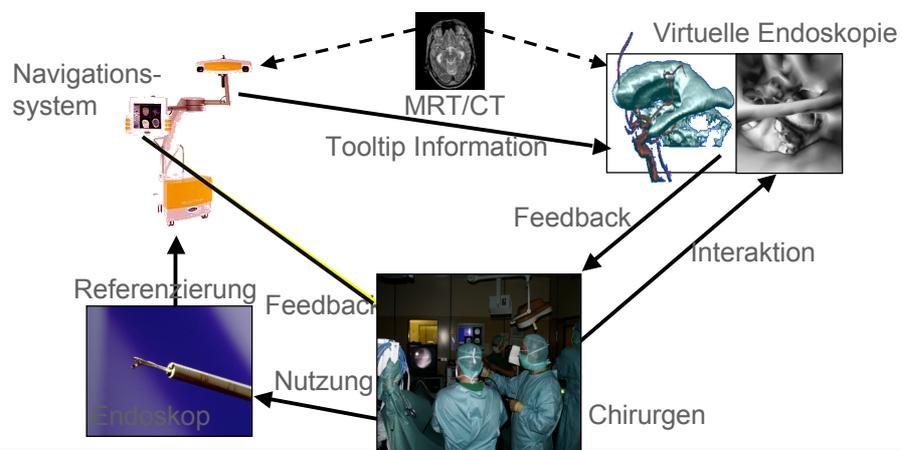
iccas

Visualisierung und VR in der Medizin, BVM 2008

[Fischer, 2004]



## Kopplung mit Navigationssystem



UNIVERSITÄT LEIPZIG

iccas

Visualisierung und VR in der Medizin, BVM 2008

[Bartz, 2002]



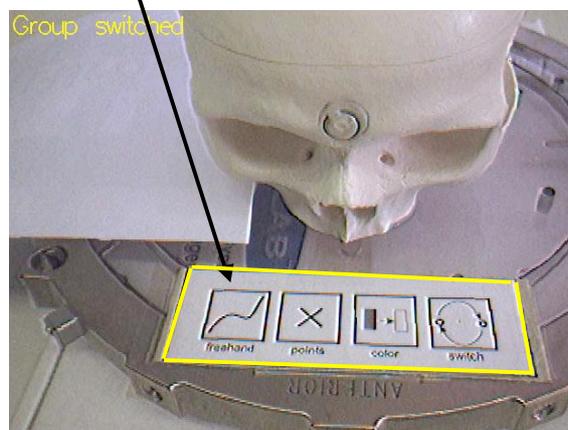
### Interaktion im OP

- Assistenzpersonal
- Fußtaste (oft schwierig die Richtige zu treffen)
- **Verwendung von navigierten Instrumenten**



### Interaktion im OP

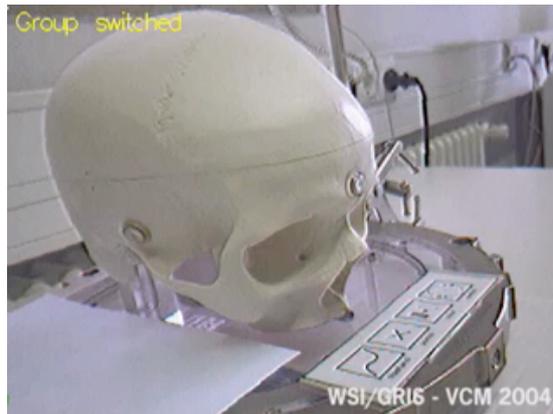
- **Kalibrierte**, sterilisierbare Aufkleber
- Eingemessene Aktionen (einmal), **werden** von Navigationssystem **erfasst**
- **Flexible Funktionalität** (zB. Screenshots, Position des Datensatzes, etc.)





### Interaktion im OP

- **Kalibrierte**, sterilisierbare Aufkleber
- Eingemessene Aktionen (einmal), **werden** von Navigationssystem **erfasst**
- **Flexible Funktionalität** (zB. Screenshots, Position des Datensatzes, etc.)



### Interaktion im OP

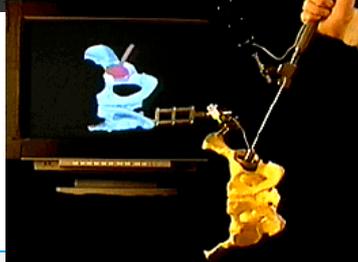
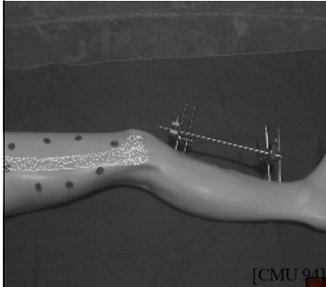
- Spezifikation von Zielen





# Medizinische Erweiterte Realität

Visual Computing (VCM)



UNIVERSITÄT LEIPZIG

iccas

Visualisierung und VR in der Medizin, BVM 2008

[CMU, IGD]



# Medizinische Erweiterte Realität

Visual Computing (VCM)



UNIVER

iccas

Visualisierung und VR in der Medizin, BVM 200

[Bajura 1992]



## Schlussfolgerungen

Visual  
Computing (VCM)



- **Medizinische erweiterte Realität** erfordert Tracking und Registrierung
- Tracking durch Einführung der Navigationssysteme gelöst (erfordert aber Kom'schnittstelle)
- **Verdeckungsproblem** muss adäquat gelöst werden
- **Gewebedeformation** kann ein **erhebliches Problem** für die bildgestützte Medizin darstellen
  - Kann **intraoperative Bildgebung** erfordern

UNIVERSITÄT LEIPZIG

iccas

Visualisierung und VR in der Medizin, BVM 2008



## Schlussfolgerungen

Visual  
Computing (VCM)



### Für die virtuelle Realität im OP

- Chirurgie ist oft unter Zeit- und Erfolgsdruck
  - Wenn es blutet, muss dies schnell und sicher behandelt werden
- Muss sich dem Chirurgen anpassen
- Muss in das OP-Umfeld passen (Setup)
- Muss Nutzen bringen, keine Bürde
- Darf dem Chirurgen mental nicht mehr belasten

UNIVERSITÄT LEIPZIG

iccas

Visualisierung und VR in der Medizin, BVM 2008



- Azuma: A Survey of Augmented Reality, In Presence, 6(4), 1997.
- Bajura, Fuchs, Ohbuchi: Merging Virtual Objects with the Real World: Seeing Ultrasound Imaginary within the Patient, In Proc. ACM SIGGRAPH, 1992.
- Bartz, Gürvit et al.: Integration von Navigation, optischer und virtueller Endoskopie in der Neurosowie MKG-Chirurgie, In Proc. Jahrestagung CURAC 2002.
- Birkfellner et al.: The Varioscope AR - A Head-mounted Operating Microscope for Augmented Reality, In Proc. MICCAI 2000.
- Del Rio, Fischer, et al.: Augmented Reality Interaction for Semi-automatic Volume Classification, In Proc. EG Symposium on Virtual Environments, 2005.
- Fischer, Neff, Bartz, Straßer: Medical Augmented Reality Based on Commercial Image-Guided Surgery, In Proc. EG Symposium on Virtual Environments, 2004.
- Fischer, Bartz, Straßer: Occlusion Handling for Medical Augmented Reality, In Proc. ACM VRST Symposium, 2004.
- Fischer, Bartz, Straßer: Intuitive and Lightweight User Interaction for Medical Augmented Reality, In Proc. Vision, Modeling, and Visualization, 2005.
- Preim/Bartz: Visualization in Medicine, Morgan-Kaufmann, 2007.
- Ritter, Hansen, Preim, Dicken, Konrad-Verse: Real-time Illustration of Vascular Structures for Surgery, In IEEE Trans. Visualization and Computer Graphics, 12(3), 2006.
- Schwaldt, Seibert, Weller: A Flexible Tracking Concept Applied to Medical Scenarios Using an AR Window, In Proc. IEEE/ACM Symposium on Mixed and Augmented Reality, 2002.
- Weber, Klein, Hein, Krüger, Lüth, Bier: The Navigated Image Viewer - Evaluation in Maxillofacial Surgery, In Proc. MICCAI, 2003.