



# Entwicklung und Evaluation eines Amira Plug-Ins zur Intraoperativen Bildfusion von MRT- und Thermografiedaten in der Neurochirurgie

Verteidigung der Masterarbeit, Florian Weidner

Betreuer: Dipl.-Inf Nico Hoffmann  
M.Sc. Peter Urban

Dresden, 12.12.2014



# Gliederung

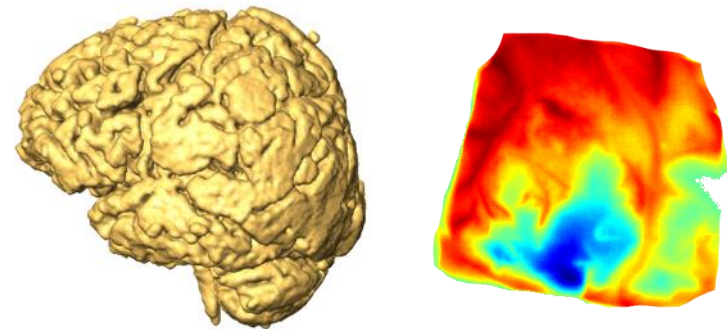
1. Einführung
2. Phantom
3. Amira Plug-In zur Bildfusion
4. Weitere Funktionen
5. Evaluation

## Einführung

Domäne: Neurochirurgie

Aufgabe: Tumorentfernung

- Problem:  
Unterscheidung von tumorösen  
und gesundem Gewebe ☹
- Lösung:  
Thermografie ☺

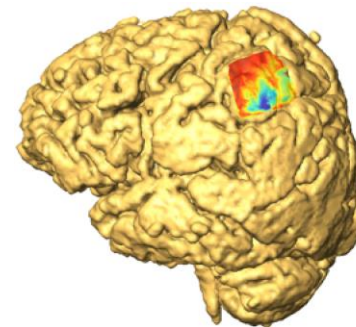


*Links: 3D-MRT eines Gehirns; Rechts:  
Thermografieaufnahme mit deutlicher Struktur*

# Einführung

## Thermografie

- Problem:  
Kaum räumliche Informationen  
→ erschwerte Analyse ☹️
- Lösung:  
Bildfusion! 😊

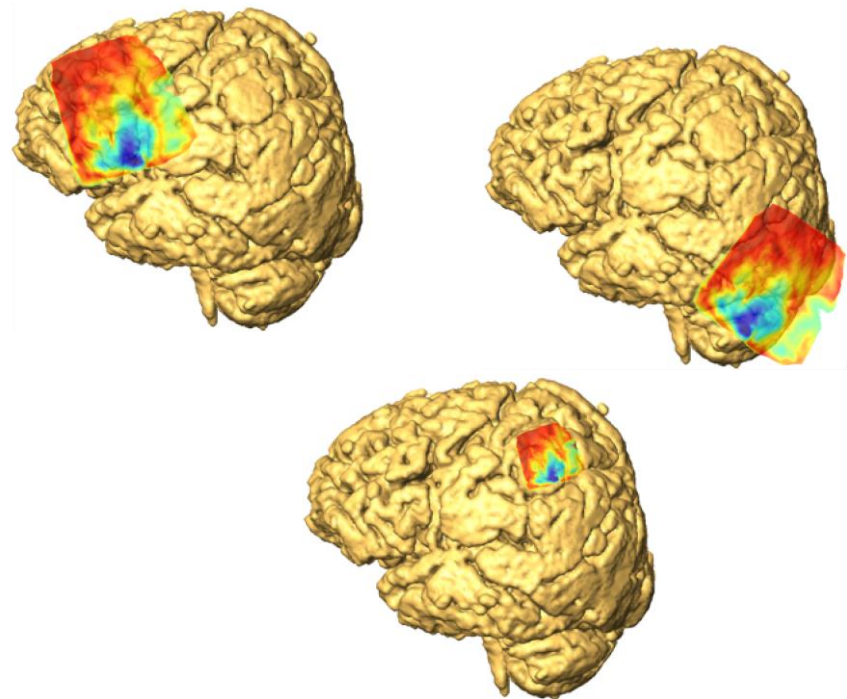


*Transparenzbasierte Bildfusion*

## 1. Einführung

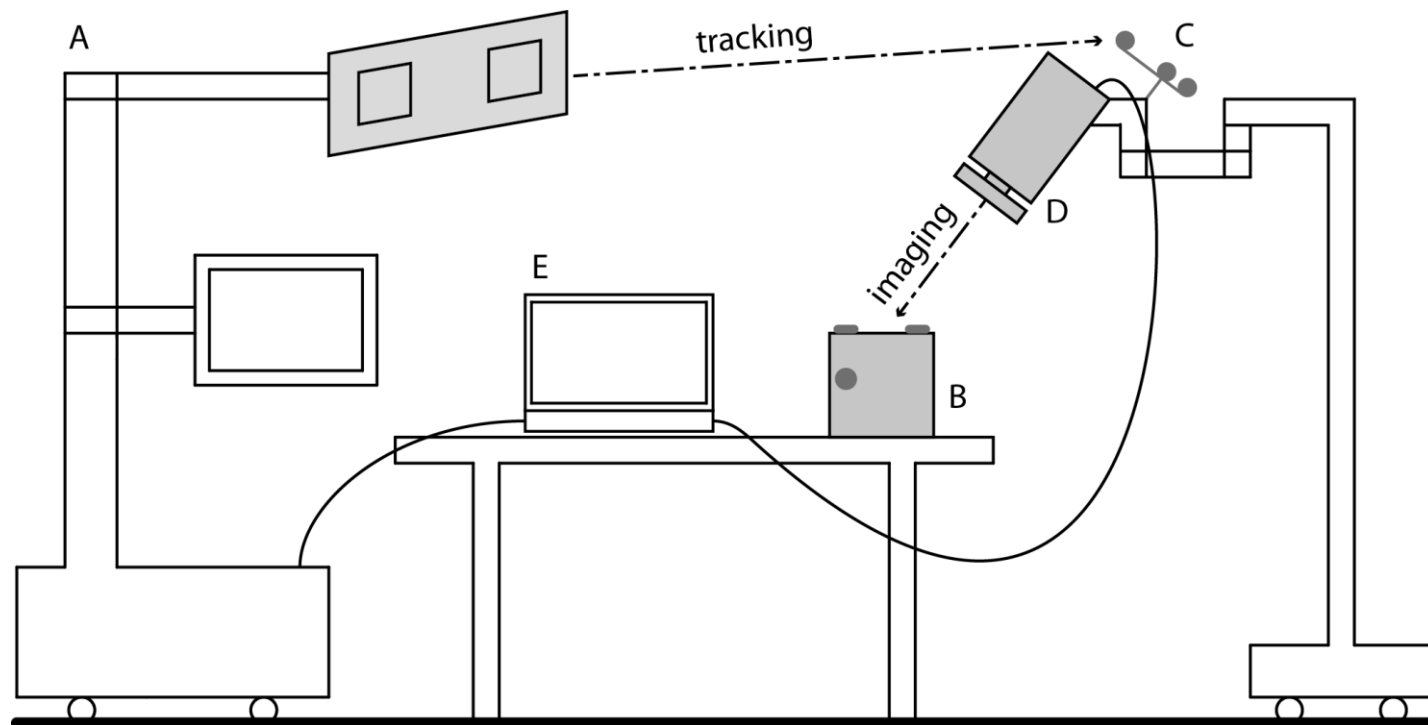
### Bildfusion: Kombination von Informationen

- Problem:  
Wie korrespondieren  
die Bilder? ☹
- Lösung:  
Registrierung! 😊



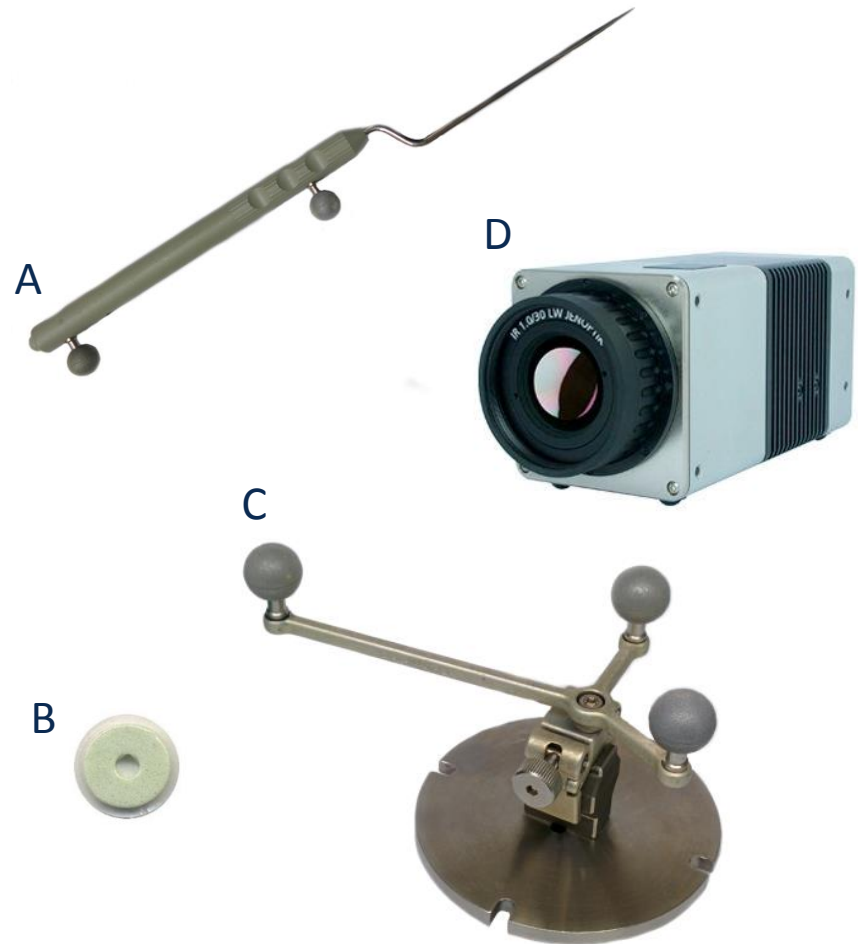
*Oben: Beispiele für fehlgeschlagene Überlagerungen.  
Unten: Erfolgreiche Überlagerung*

# 1. Einführung



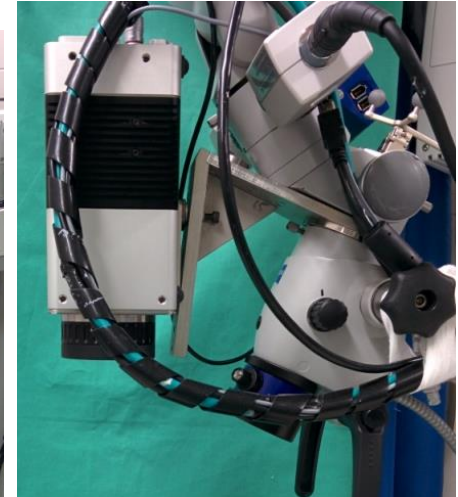
*Schematischer Überblick mit involvierten Komponenten. A: Neuronavigationssystem; B: Phantom/Subjekt; C: Instrumentenadapter; D: Thermokamera; E: Laptop (Amira, InfraTecServer)*

## BrainLab



*Links: Neuronavigationssystem BrainLab VectorVision; A: Pointer; B: Thermokamera; C: Fiducial Marker; D: Instrumentenadapter mit Halterung*

# 1. Einführung

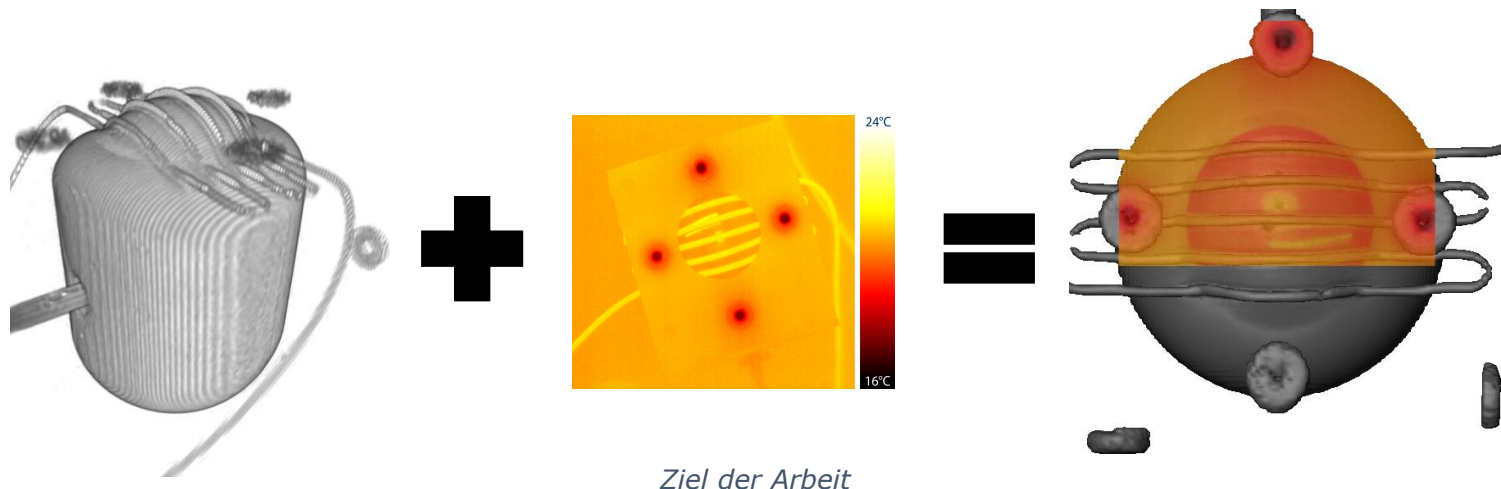


*Bilder realer Komponenten (links: Neuronavigationssystem; rechts unten: Phantom; rechts oben: Thermografiekamera mit Stern*



## 1. Einführung

- Positionsdaten des Navigationssystems
- Kompensation der Differenz zwischen Instrumentenadapter und Kamera
- Bilder der Thermokamera



# 1. Einführung

## Aufgaben

1. Phantom zum Testen und Evaluieren entwickeln
2. Setup der Geräte (Neuronavigationssystem, Kamera, Instrumentenadapter)
3. Tracking des Subjekts und des Instrumentenadapters
4. Kalibrierungsbasierte Registrierung des Thermobildes und der MRT-Aufnahme
5. Kontinuierliches Update der Farbe und Position des Thermobildes
6. Fusion des 2D-Bildes mit der 3D-MRT-Aufnahme

## 2. Phantom

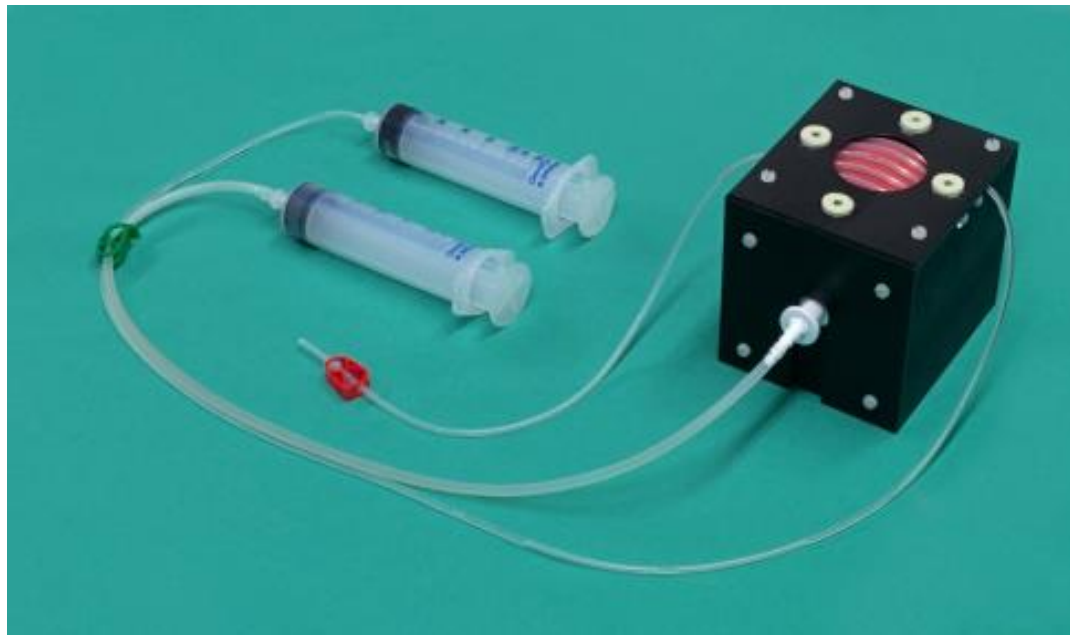
## 2. Phantom

### Anforderungen

- Merkmale: MRT, CT, Thermografie & Weißlicht
- Keine metallischen Teile
- Simulation
  - Eines Schädels/Gehirns
  - Brain Shift
  - Perfusion
  - Trepanation
- Reproduzierbare Messergebnisse

## 2. Phantom

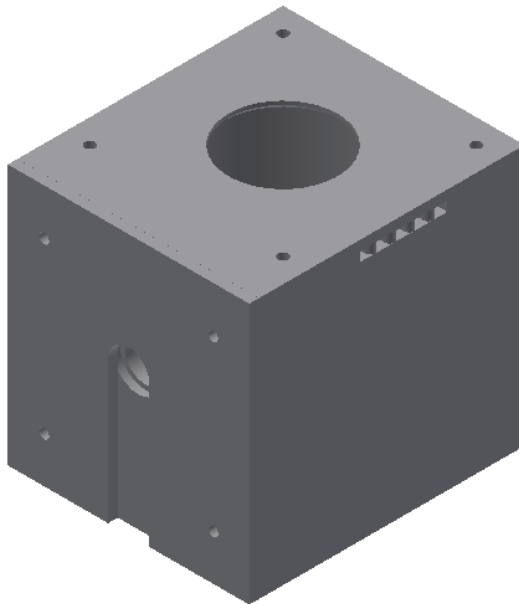
### Finales Modell



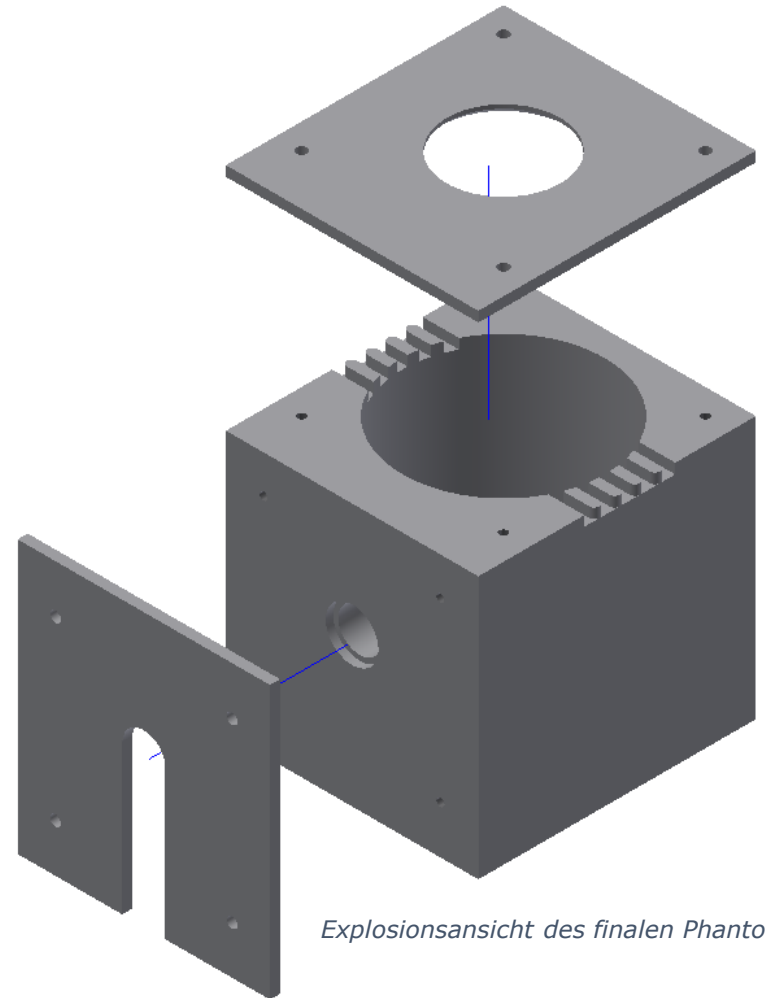
*Finales Phantoms mit Bauteilen*

## 2. Phantom

### Finales Modell



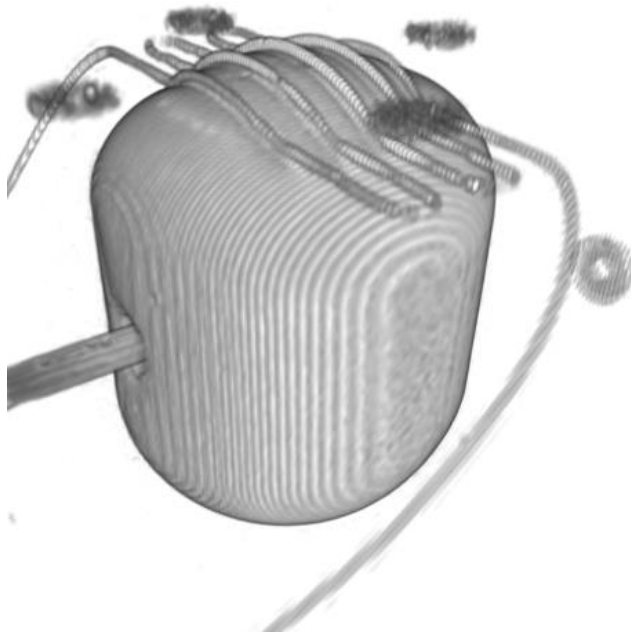
*Modellansicht des finalen Phantoms*



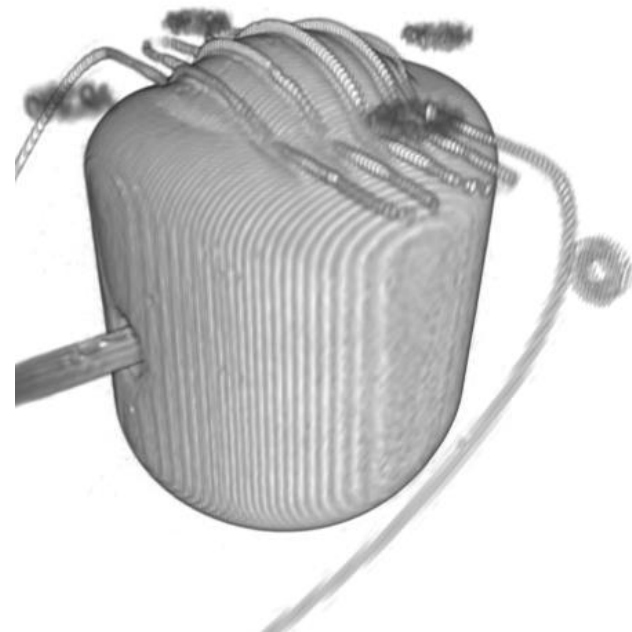
*Explosionsansicht des finalen Phantoms*

## 2. Phantom

### Finales Modell



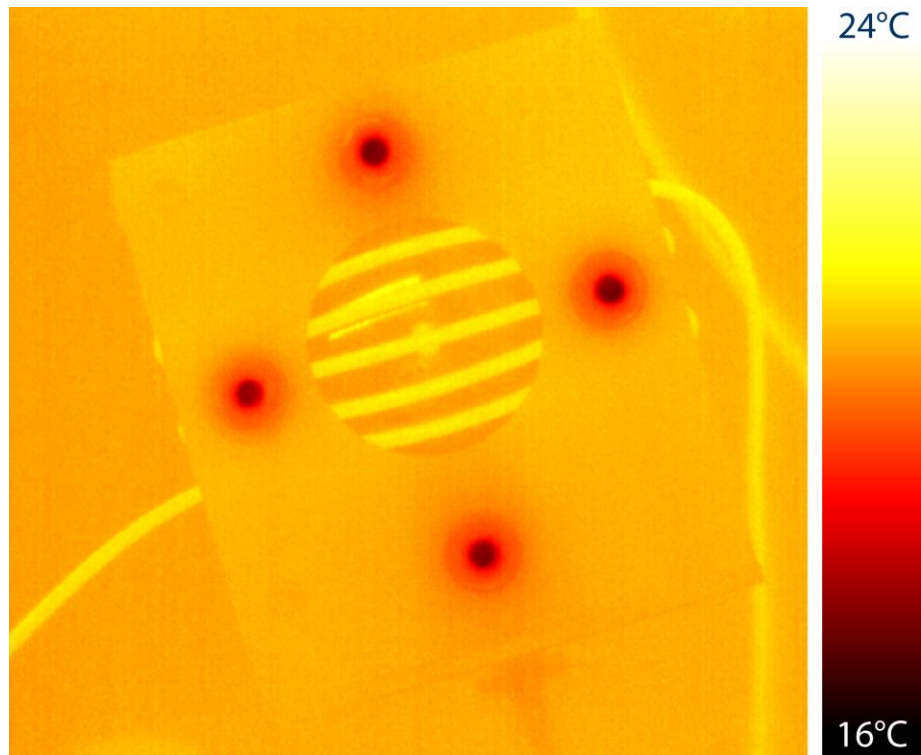
*MRT-Aufnahme (FLAIR) mit 500ml*



*MRT-Aufnahme (FLAIR) mit 525ml*

## 2. Phantom

### Finales Modell



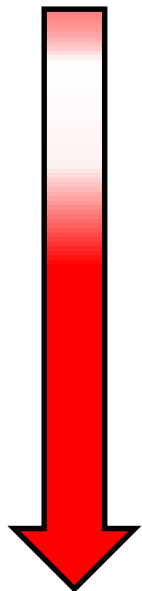
*Thermografieaufnahme des finalen Phantoms mit sichtbaren Merkmalen*



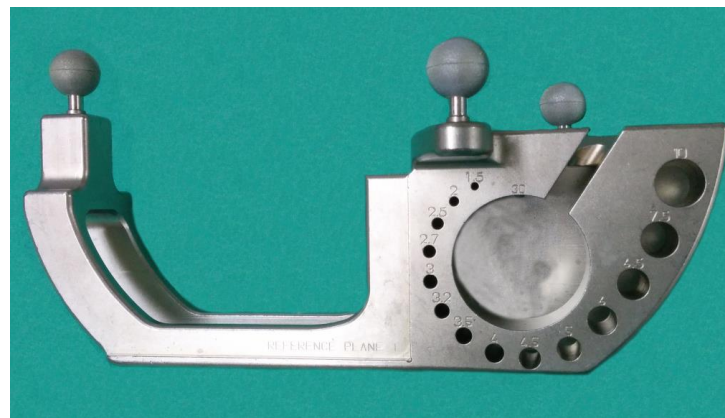
### 3. Amira Plug-In zur Bildfusion

### 3. Amira Plug-In zur Bildfusion

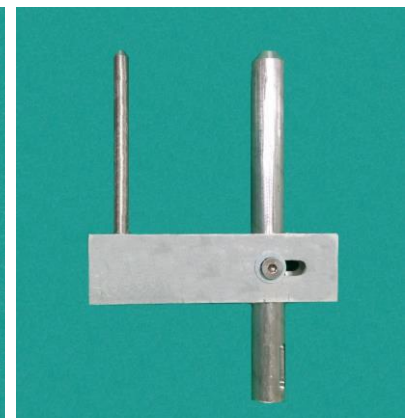
#### Ablauf

- 
1. MRT-Aufnahme
  2. Marker definieren → iPlanNet 3.0
  3. Objekt registrieren → VectorVision cranial 2.5
  4. Instrumentenadapter kalibrieren → VectorVision cranial 2.5
  5. Kalibrierungsbasierte Registrierung → Amira 5.6
  6. Farbe aktualisieren → Amira 5.6
  7. Bilder fusionieren → Amira 5.6

### 3. Amira Plug-In zur Bildfusion

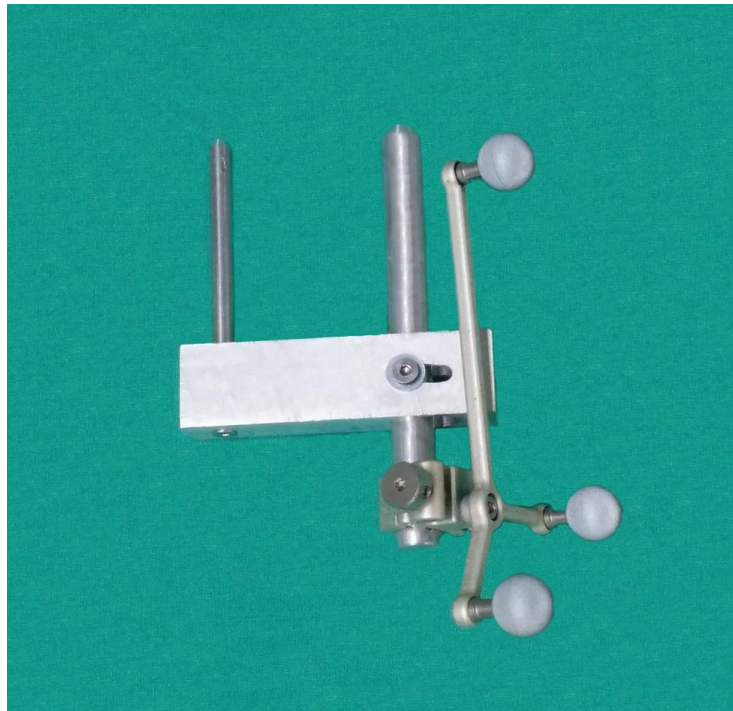


*Kalibrierungseinheit von BrainLab*



*Selbstentwickelte  
Kalibrierungslehre*

### 3. Amira Plug-In zur Bildfusion



*Instrumentenadapter an Kalibrierungslehre*



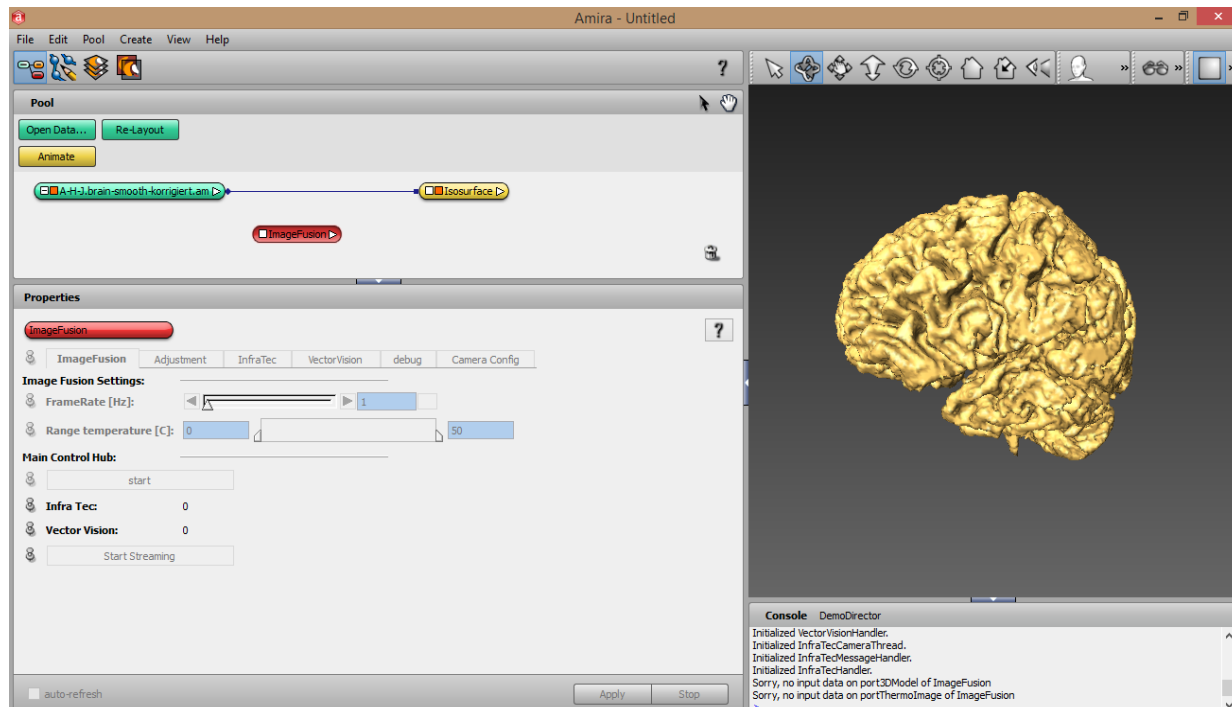
*Komplettes Set-up zur Kalibrierung des  
Instrumentenadapters*

### 3. Amira Plug-In zur Bildfusion

- ✓ Phantom/Patient registriert
  - ✓ Instrumentenadapter kalibriert & angebaut
  - ✓ Neuronavigationssystem sendet  
*Position* und *Orientierung* des Instrumentenadapters  
im Koordinatensystem des registrierten Subjektes
- ➔ zweite Registrierung + Update + Fusion ➔ Amira

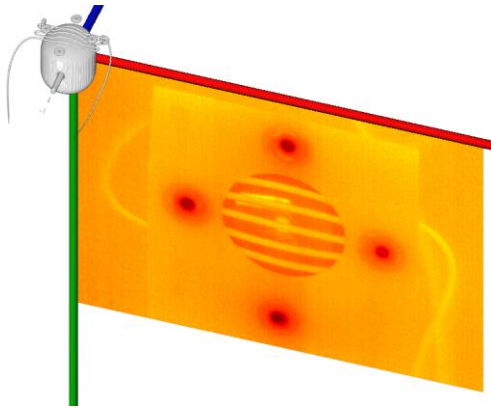
### 3. Amira Plug-In zur Bildfusion

Amira: „Software zum *Analysieren, Visualisieren* und *Manipulieren* von medizinischen Datensätzen“

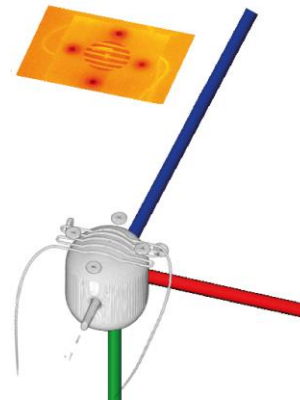


Benutzeroberfläche von Amira

### 3. Amira Plug-In zur Bildfusion (Registrierung)



*Datenobjekte ohne Manipulation*



*Ziel der Registrierung: Datenobjekte ausrichten (links)  
um Fusion zu ermöglichen (rechts)*

### 3. Amira Plug-In zur Bildfusion (Registrierung)

#### Transformationen:

$M_{BrainLab}$	Positionierung und Ausrichtung bzgl. des IA
$M_{Kalibrierung}$	Initiale Position & Ausrichtung
$M_{Skalierung}$	Bildgröße
$M_{Koord}$	Koordinatensystemtransformation

$$M_{final} = M_{Koord} \cdot M_{Skalierung} \cdot M_{Kalibrierung} \cdot M_{BrainLab}$$



### 3. Amira Plug-In zur Bildfusion (Registrierung)

#### Skalierung

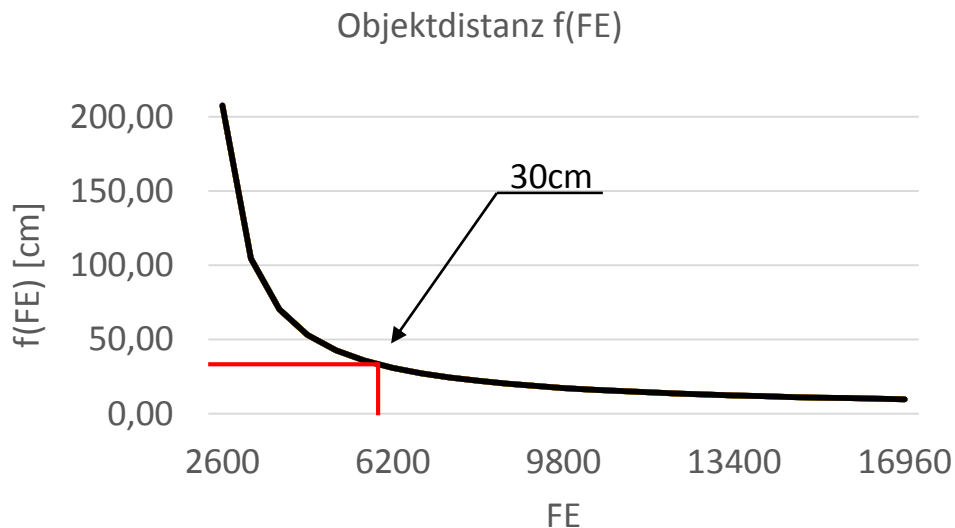
- Kamera hat geringe Schärfentiefe
- Fokuswert  $FE$  = Position des Schrittmotors
- Empirisch ermittelte Funktion für Distanz zwischen Fokusebene und Kamera  
(Kalibrieraufnahmen, Iterative Closes Point, gegeben)

$$d(FE) = \text{Hauptpunkt} + \left( \frac{Faktor}{FE} - P_{unendlich} \right)$$

### 3. Amira Plug-In zur Bildfusion (Registrierung)

## Skalierung

$$d(FE) = 1.46\text{cm} + (12357/FE - 200)$$



### 3. Amira Plug-In zur Bildfusion (Registrierung)

#### Skalierung

- Bildgröße: 640×480×1 [Pixel]
- Anfängliche Voxelgröße: 1×1×1 (mm)
- Bildfeld (horizontal × vertikal): 29.9×22.6 (°)
- Distanz von Funktion

$$\text{Skalierungsfaktor } s = \frac{\text{Skaliert}}{\text{Original}}$$

### 3. Amira Plug-In zur Bildfusion (Registrierung)

#### Kalibrierungsbasierte Registrierung

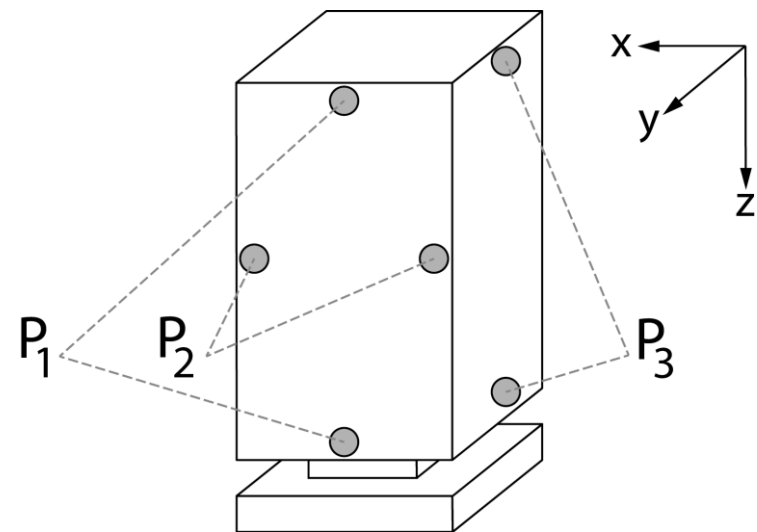
- Neuronavigationssystem liefert Position und Orientierung des Instrumentenadapters
  - Wir wollen Position und Orientierung des Sensors der Kamera
- ➔ Kalibrierung kompensiert Differenz in Position und Orientierung
- ➔ Im Besten Fall nur einmal notwendig

### 3. Amira Plug-In zur Bildfusion (Registrierung)

#### Kalibrierung - Orientierung

- Physikalische Kamera senkrecht nach unten zeigen lassen
- Virtuelles Bild horizontal ausrichten

→ Übereinstimmung



*Referenzpunkte an Kamera*

### 3. Amira Plug-In zur Bildfusion (Registrierung)

#### Kalibrierung - Position

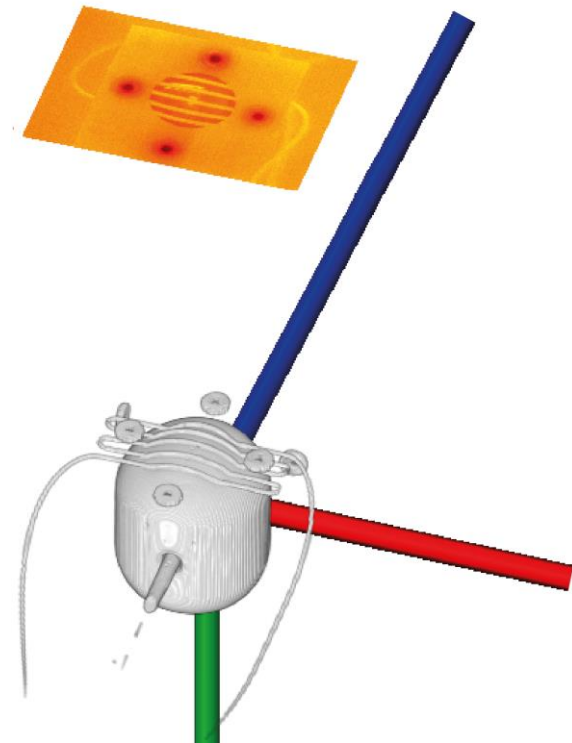
- Orientiertes Bild verschieben  
→ Überlagerung herstellen
- Kontrolle für verschiedene Positionen  
und anpassen

→ Universelle Kalibrierungsparameter

### 3. Amira Plug-In zur Bildfusion (Registrierung)

Mit Transformationen:

- Bild skaliert
- Bild positioniert
- Bild orientiert



*Ergebnis der Registrierung*

### 3. Amira Plug-In zur Bildfusion (Update)

- InfraTecServer sendet Bilder
- Doppelpufferung
- Transparenz steuerbar
- Umrechnung  
Short Integer → Farbe
- Transferfunktion:
  - Lookup-Tabelle (hot/iron)
  - Beliebige Funktion





### 3. Amira Plug-In zur Bildfusion (Fusion)

#### Fusion: Kombination der Information

- Isosurface des 3D-Bildes generiert (Berechnung von Amira)
- Wärmebild als Textur der Isosurface (Texturmechanismus von Amira)
- Transparenz steuerbar (via Bildupdate)

### 3. Amira Plug-In zur Bildfusion

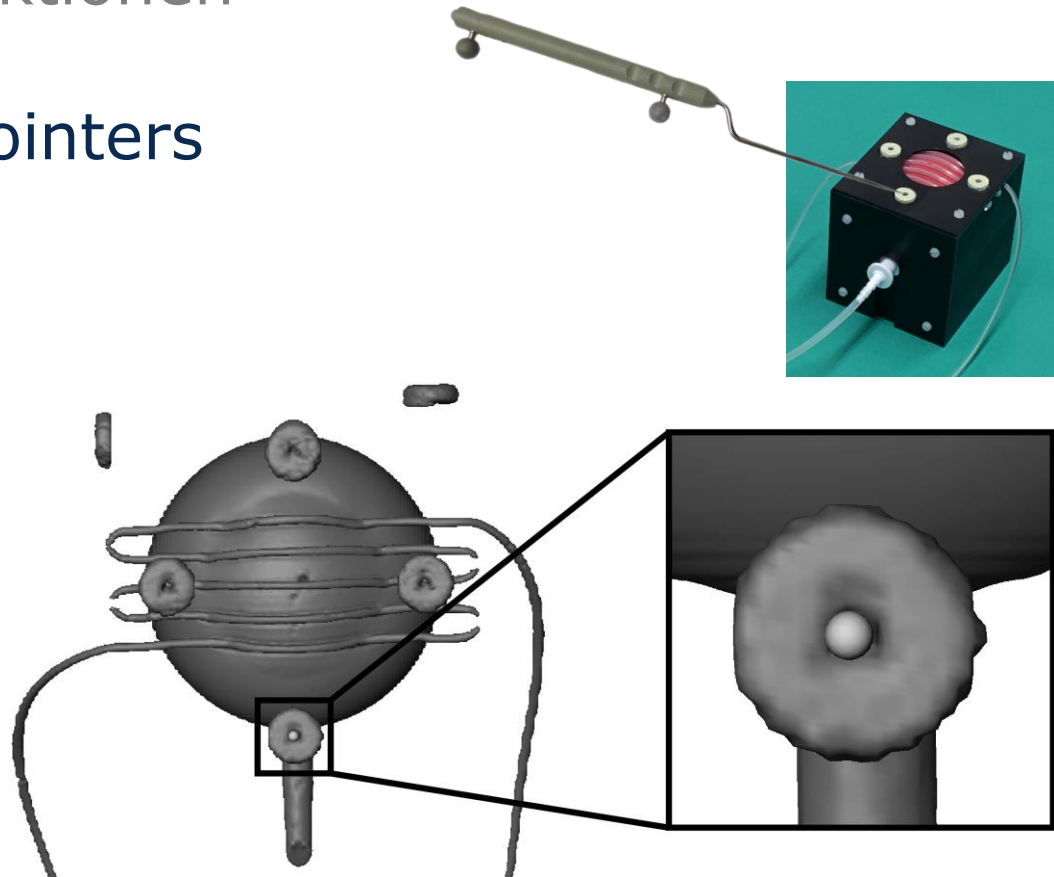
- ✓ Kalibrierungsbasierte Registrierung
- ✓ Bildupdate
- ✓ Bildfusion

## 4. Weitere Funktionen

## 4. Weitere Funktionen

### Tracking des Pointers

- Dateiausgabe
- Fixierbar
- Größe
- Anzeige



*MRT-Bild des Phantoms mit durch eine Kugel verdeutlichter Position des Pointers*

## 4. Weitere Funktionen

### Record-and-Replay

- Aufzeichnung der *Rohdaten*
- Server mit OpenIGTLink
- Sendet entweder...
  - Nur Thermodaten
  - Nur Positionsdaten
  - Beides
- Sendefrequenz anpassbar
- 100MB Dateien

## 4. Weitere Funktionen

### Konfigurationsdatei

```
1 #Kameraname, HH, INF, FAC
2 #Objektivname, min. Fokus, IFOV(mrad), FOV_H, FOV_V,
3 startCamera,
4 VarioCAM, 1.46, 200, 12357,
5 Lens, Weitwinkelobjektiv, 0.2, 2.8, 57, 44,
6 Lens, Normalobjektiv, 0.3, 1.4, 30, 23,
7 Lens, Teleobjektiv1, 2.0, 0.7, 15, 12,
8 endCamera,
9 startCamera,
10 VarioCamHD, 1.46, 2000, 123570,
11 Lens, Super-Weitwinkelobjektiv, 0.2, 0.139, 98.5, 82.1,
12 Lens, Weitwinkelobjektiv, 0.2, 0.065, 60.3, 47.0,
13 Lens, Normalobjektiv, 0.5, 0.033, 32.4, 24.6,
14 Lens, Teleobjektiv, 2.0, 0.016, 16.5, 12.4,
15 Lens, Superteleobjektiv, 10.0, 0.008, 8.3, 6.2,
16 endCamera,
17 End,
```

*Beispiel einer Konfigurationsdatei mit zwei Kameras und verschiedenen Objektiven*

## 4. Weitere Funktionen

### Höhenprofil

- Orientierung
- Alle Seiten
- Dateiausgabe
- ITK-basiert

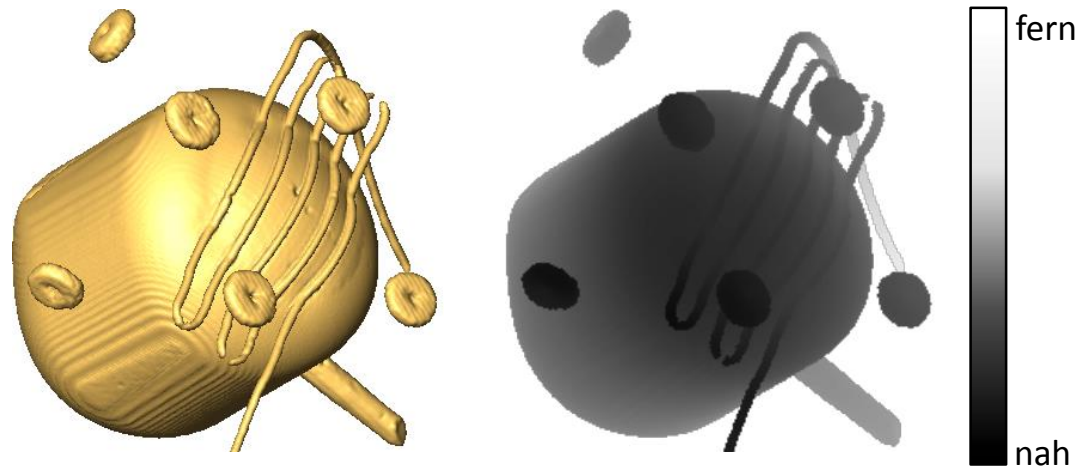
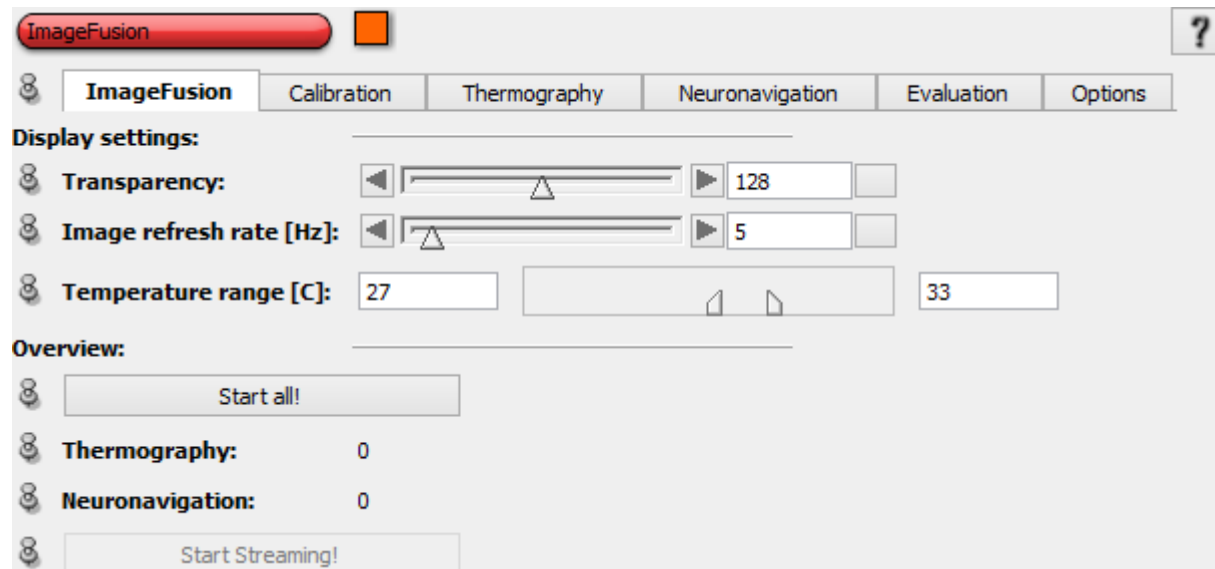


Abbildung xxx – Isosurface (links) mit zugehöriger Höhenkarte (rechts; schwarz = nahe, weiß = fern)

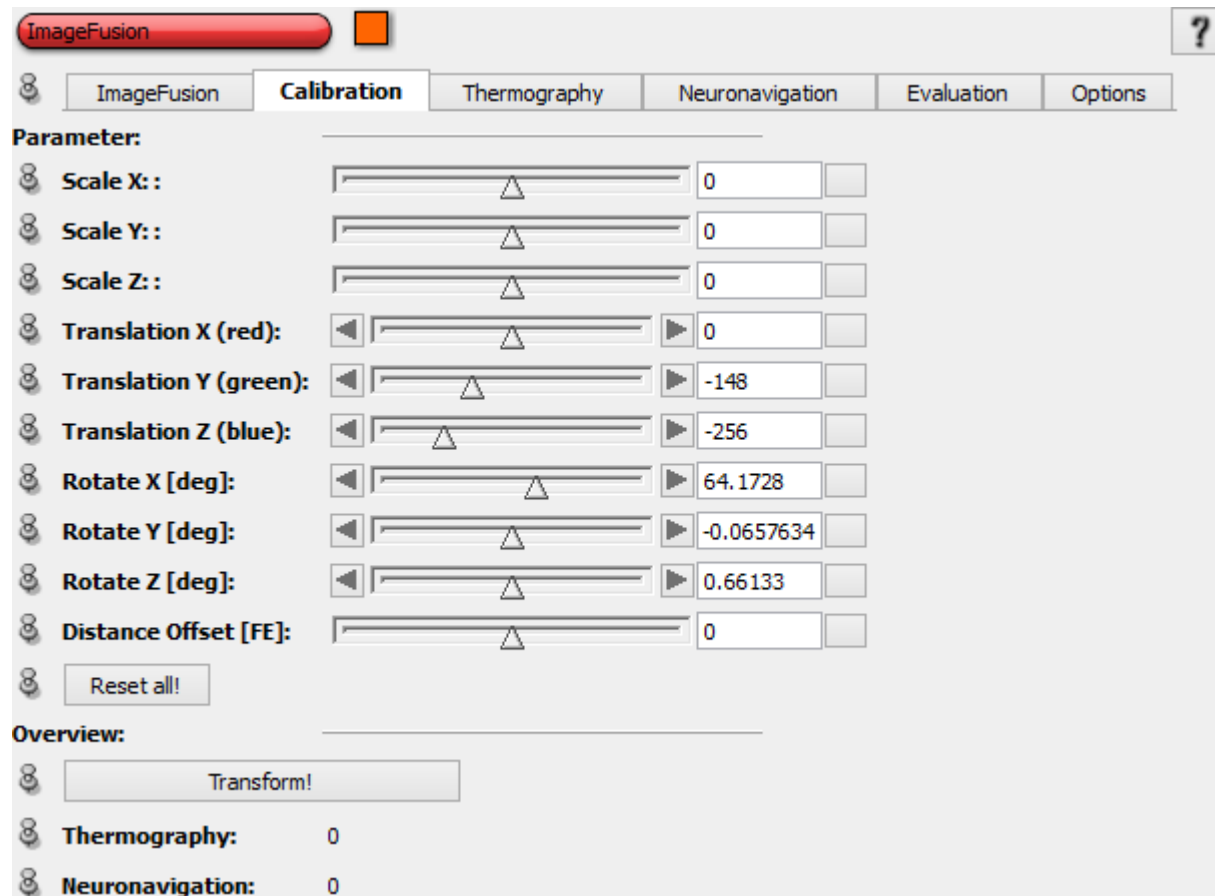
# Demo



*Tab Image Fusion*

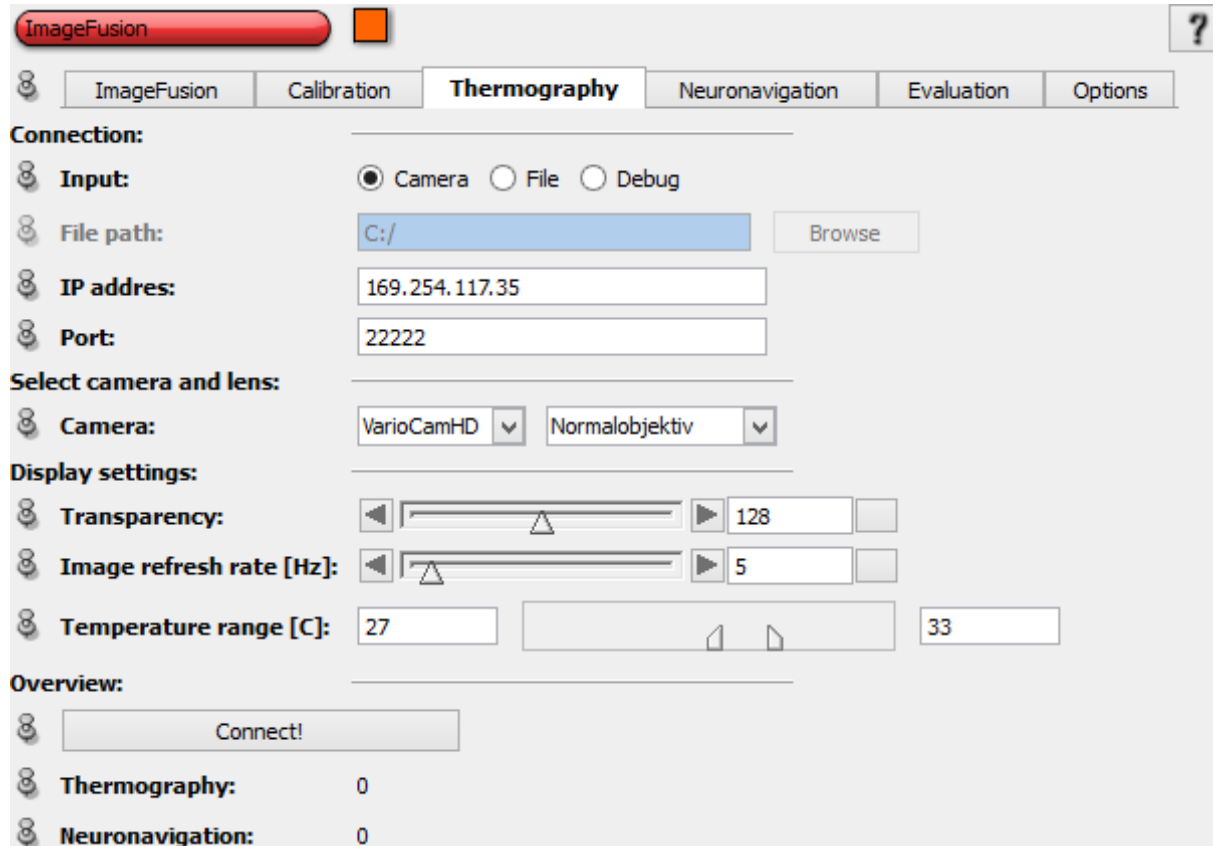


# Demo



*Tab Calibration*

# Demo



The screenshot shows the 'ImageFusion' software window with the 'Thermography' tab selected. The interface includes a top menu bar with tabs: ImageFusion, Calibration, Thermography, Neuronavigation, Evaluation, and Options. Below the menu, the 'Connection' section has radio buttons for 'Input' (Camera, File, Debug), a 'File path' field (C:/), and 'IP address' (169.254.117.35) and 'Port' (22222) fields. The 'Select camera and lens' section has dropdowns for 'Camera' (VarioCamHD) and 'Normalobjektiv'. The 'Display settings' section has sliders and input fields for 'Transparency' (128), 'Image refresh rate [Hz]' (5), and 'Temperature range [C]' (27 to 33). The 'Overview' section has a 'Connect!' button and status indicators for 'Thermography' and 'Neuronavigation' (both at 0).

**ImageFusion** [?] ?

ImageFusion Calibration **Thermography** Neuronavigation Evaluation Options

**Connection:**

**Input:** ☒ Camera ☐ File ☐ Debug

**File path:** C:/ Browse

**IP address:** 169.254.117.35

**Port:** 22222

**Select camera and lens:**

**Camera:** VarioCamHD Normalobjektiv

**Display settings:**

**Transparency:** [Slider] 128

**Image refresh rate [Hz]:** [Slider] 5

**Temperature range [C]:** 27 [Slider] 33

**Overview:**

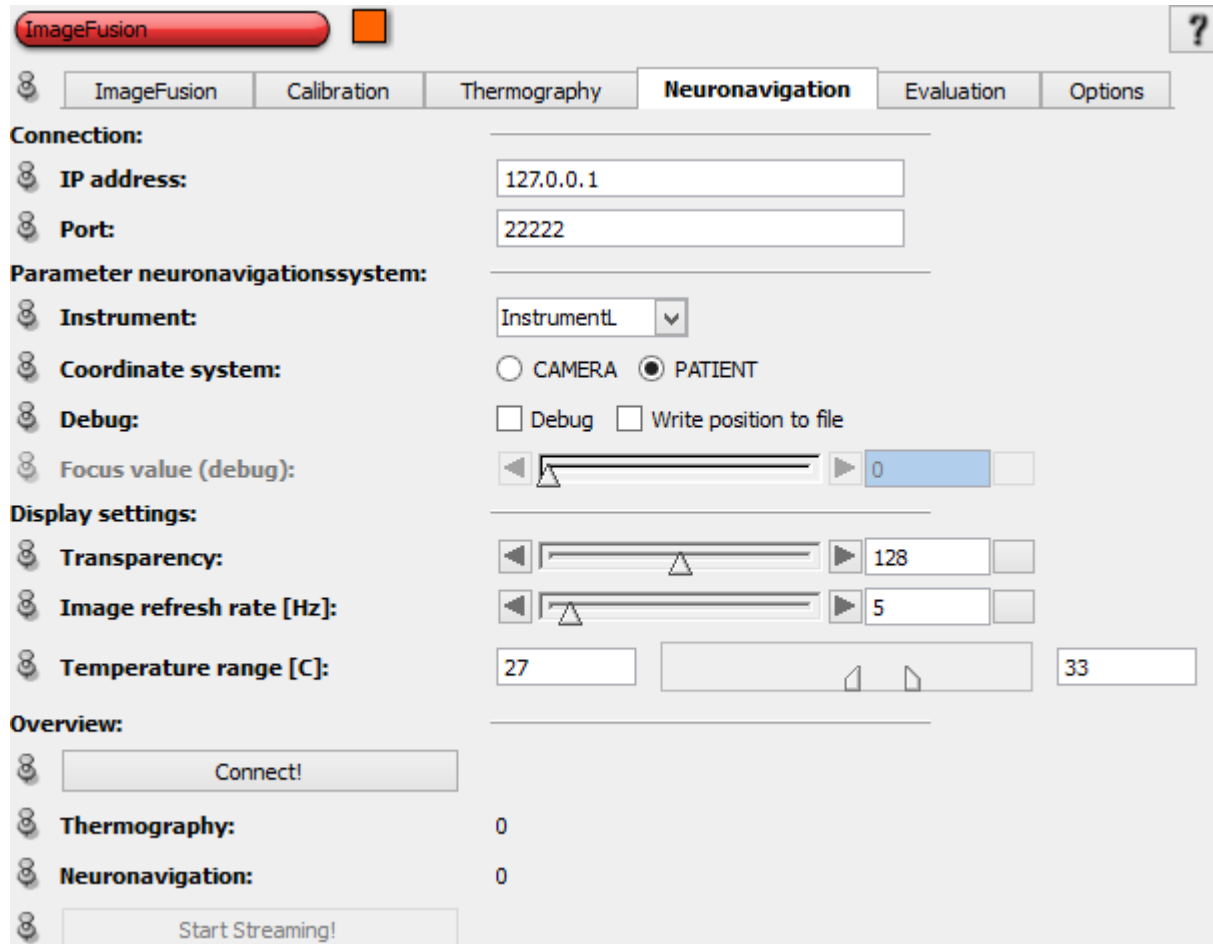
Connect!

**Thermography:** 0

**Neuronavigation:** 0

*Tab Thermography*

# Demo



**ImageFusion** [Orange Icon] [?]

ImageFusion | Calibration | Thermography | **Neuronavigation** | Evaluation | Options

**Connection:**

IP address: 127.0.0.1  
 Port: 22222

**Parameter neuronavigationssystem:**

Instrument: InstrumentL  
 Coordinate system: ☐ CAMERA ☒ PATIENT  
 Debug: ☐ Debug ☐ Write position to file  
 Focus value (debug): [Slider] 0

**Display settings:**

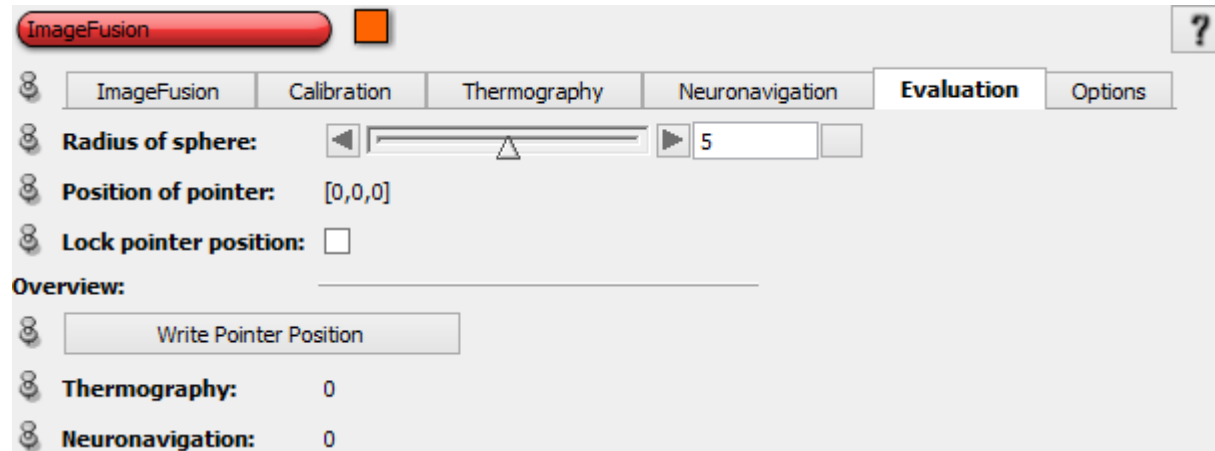
Transparency: [Slider] 128  
 Image refresh rate [Hz]: [Slider] 5  
 Temperature range [C]: 27 [Slider] 33

**Overview:**

Connect!  
 Thermography: 0  
 Neuronavigation: 0  
 Start Streaming!

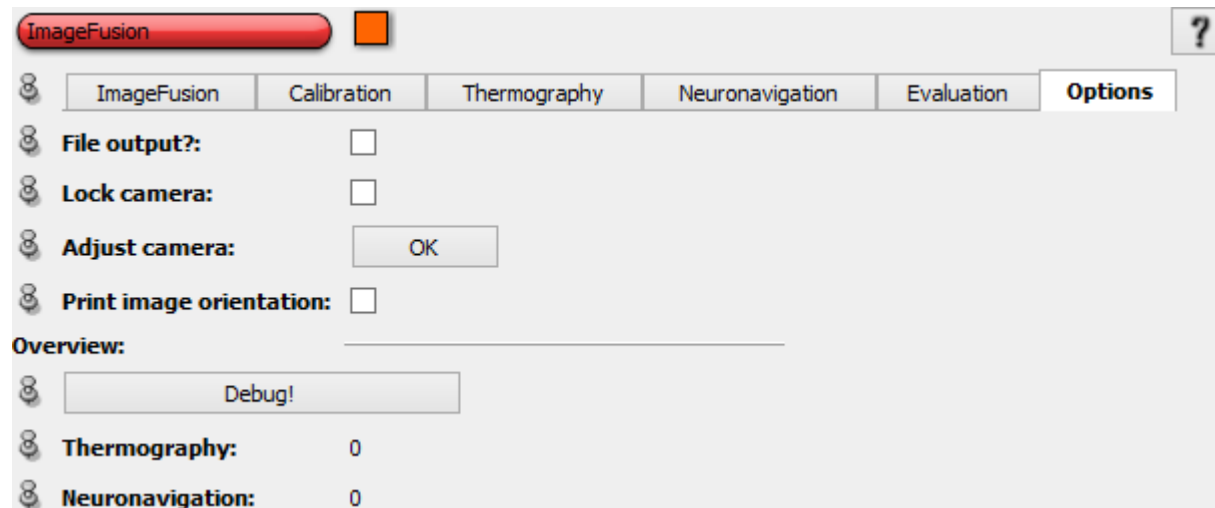
*Tab Neuro-  
navigation*

## Demo



*Tab Evaluation*

# Demo



*Tab Optionen*

## 5. Evaluation

## 5. Evaluation

- Referenz: Mittelpunkte der Marker im MRT
- Methode: Bildfusion
- Messen: Abstand zwischen Merkmalspunkte
  - Fusioniertes Thermobild
  - MRT

## 5. Evaluation

### Messszenarien

- Registrierung mit BrainLab
- Instrumentenadapter kalibrieren
- Instrumentenadapter anbringen
- Winkel- und Distanzabhängigkeit:
  - Distanz A, B, C bei  $0^\circ$
  - Distanz A, B, C bei  $30^\circ$

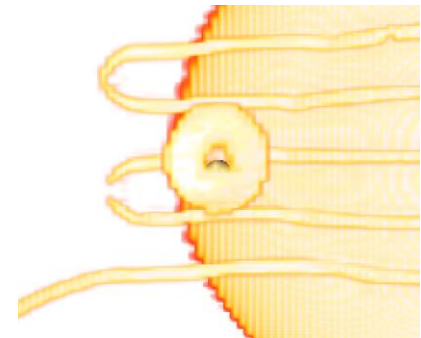
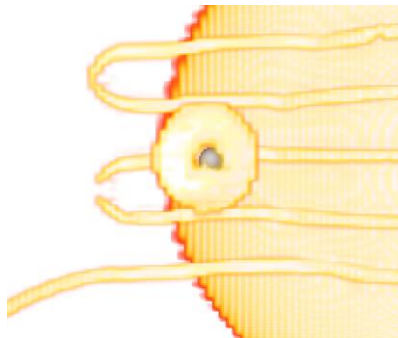
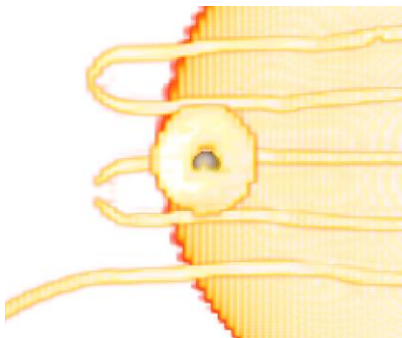


## 5. Evaluation

### Registrierung Subjekt zu Navigationssystem

*Tabelle 1: Axialer Fehler durch die Registrierung des Subjekts zum Neuronavigationssystem*

	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Mittlerer Fehler	0,37	0,43	0,99
Standardabweichung	0,31	0,31	0,79



*Instrumentenadapter an Kalibrierungslehre*

## 5. Evaluation

### Kalibrierung des Instrumentenadapters

*Tabelle 2: Fehler in der Orientierung und Position des Instrumentenadapters durch die Kalibrierung*

	Winkel (°)	Position (mm)
Mittlerer Fehler	0,2	0,1
Standardabweichung	0,1	0,1



*Kalibrierung*

## 5. Evaluation

# Anbringen des Instrumentenadapters

*Tabelle 3: Fehler in der Orientierung und Position des Instrumentenadapters durch das Montieren*

	Winkel (°)	Position (mm)
Mittlere Position	96	479,3
Standardabweichung	0,5	0,4



*Links: Halterung für IA; Rechts: Komplettes System*



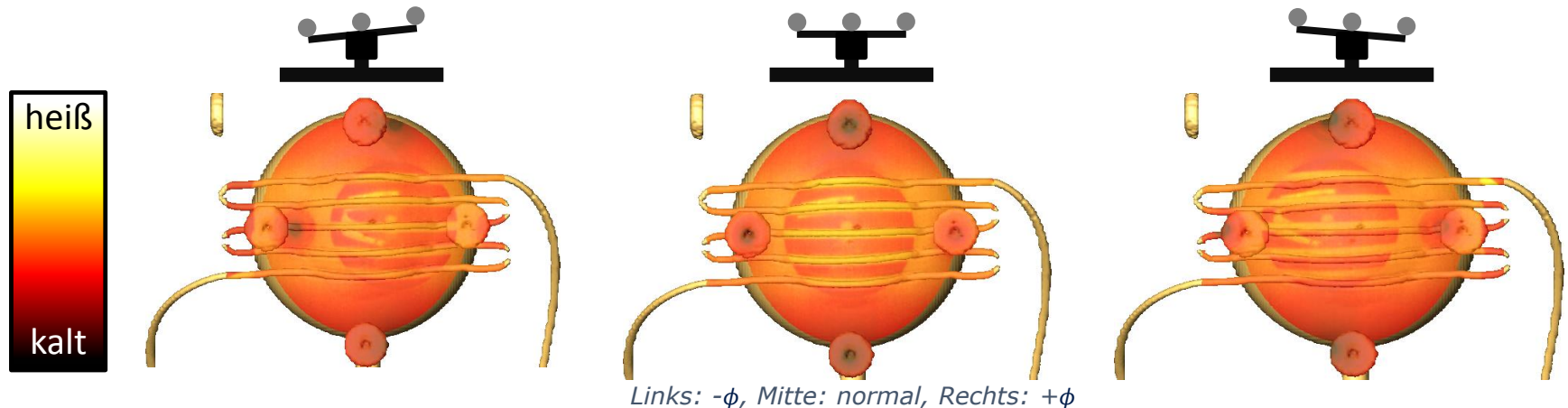
*Skizze des IA für folgende Folie*

## 5. Evaluation

### Anbringen des Instrumentenadapters

Tabelle 4: Mittlerer Fehler/Mittlere Distanz der Mittelpunkte mit schlecht montiertem Instrumentenadapter

	$-\phi$ (mm)	$+\phi$ (mm)
Mittlerer Fehler	10,06	7,94
Standardabweichung	0,52	0,68



## 5. Evaluation

### Einzelfehler

- Definieren der Passermarken und Registrieren des Objekts zum Neuronavigationssystem
- Kalibrierung und Anbringen des Instrumentenadapters
- *Einstellen des Fokuswertes*
- *MRT-Bildgebung*
- *Texture Mapping*
- *Verzerrung durch die Linse*

### Jetzt: Gesamtfehler

## 5. Evaluation



• 0°

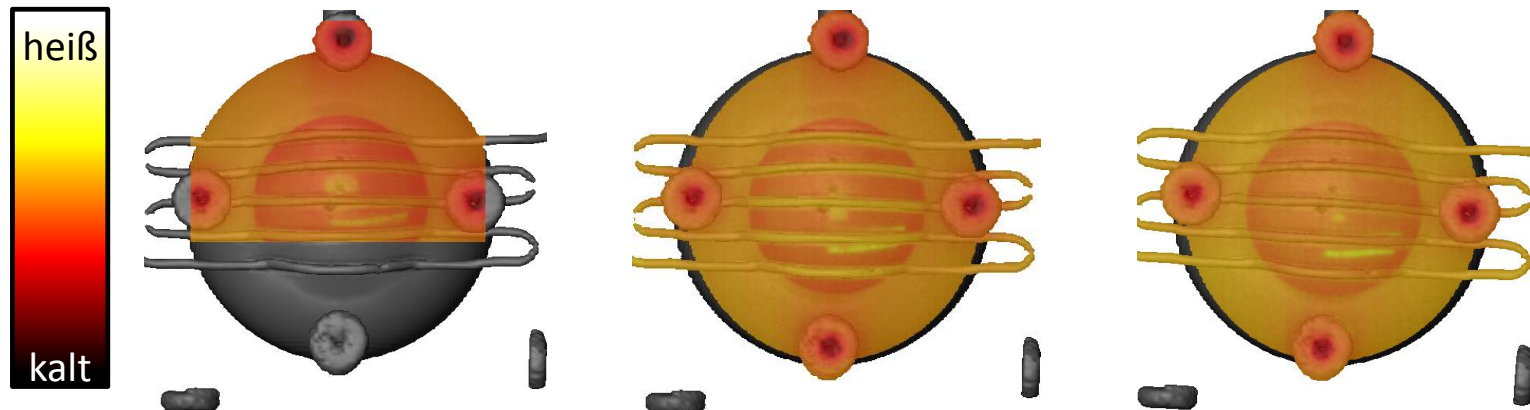


Tabelle 5: Mittlerer Abstand der Marker-Mittelpunkte bei einem Kamerawinkel von 0° und für drei Distanzen

Distanz (cm)	15,02	29,30	48,48
Mittlerer Fehler (mm)	0,64	0,52	0,62
Standardabweichung (mm)	0,08	0,26	0,16

## 5. Evaluation

- 30°



Links: 15,86cm; Mitte: 24,81cm; Rechts: 46,76cm

Tabelle 6: Mittlerer Abstand der Marker-Mittelpunkte bei einem Kamerawinkel von 30° und für drei Distanzen

Distanz (cm)	15,86	24,81	46,76
Mittlerer Fehler (mm)	2,09	2,84	2,71
Standardabweichung (mm)	1,27	1,36	0,08

## 5. Evaluation

### Fazit

- Genaue Registrierung des Objekts notwendig
- Instrumentenadapter hat großen Einfluss
- Parameter müssen sorgfältig bestimmt werden

➔ Mittlerer Fehler = 2,46mm 😊



## Zusammenfassung

- Phantom
- Amira Plug-In zur Bildfusion
  - Verbindung zur Thermokamera
  - Verbindung zu Neuronavigationssystem
  - Kalibrierungsparameter
  - Kalibrierungsbasierte Registrierung
  - Fusion
  - Zusätzliche Funktionen
- Evaluation

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

## Abbildungen:

- Abb. xxx:  
<http://www.brandenburgischer.kulturbund.de/michendorf/0490a79af20ee3809/sw%20notebook%20clipart.jpg> , 17.9.14
- Abb. xxx: [http://www.myorthosurgeon.com/image/Vector\\_vision.jpg](http://www.myorthosurgeon.com/image/Vector_vision.jpg), 17.9.14
- Rest: Screenshots und Patientendaten
- O. Sergeeva, F. Uhlemann, G. Schackert, C. Hergeth, U. Morgenstern, and R. Steinmeier. Integration of intraoperative 3D-ultrasound in a commercial navigation system. Zentralblatt für Neurochirurgie, 67(4):197–203, November 2006.

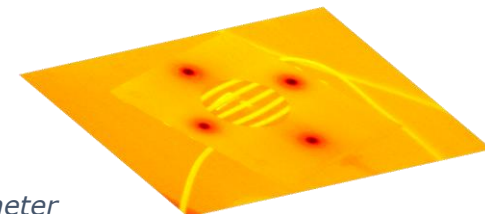
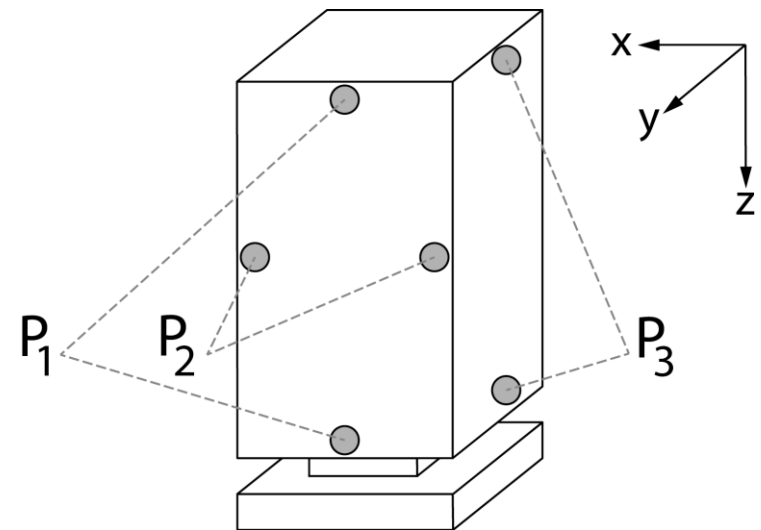
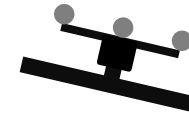
## Ausblick

- Bessere Hardware
  - Kalibrierung
  - Instrumentenadapter
- Bessere Projektion
  - Raycasting
- Kompression der Daten
- InfraTecServer erweitern
- Verfeinerung durch merkmalsbasierte Registrierung

# Texturierung

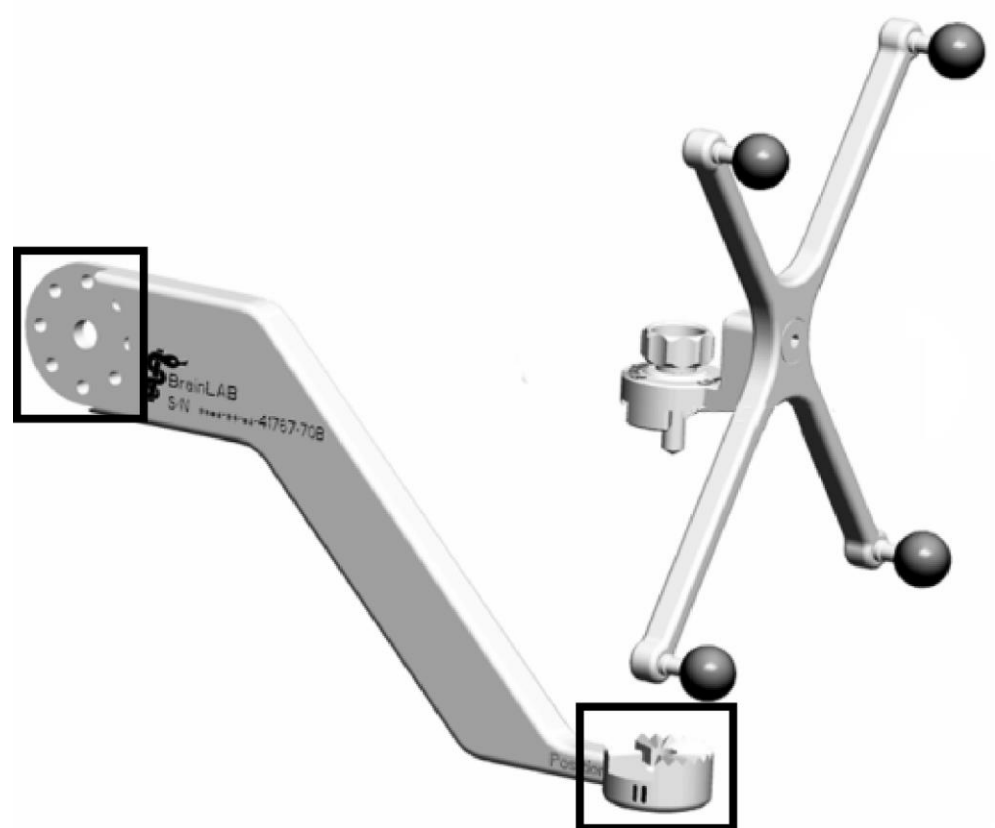
## Problem mit Parametern:

- Variierende bzw. falsche IA Daten
- Parameter nur für eine Position korrekt

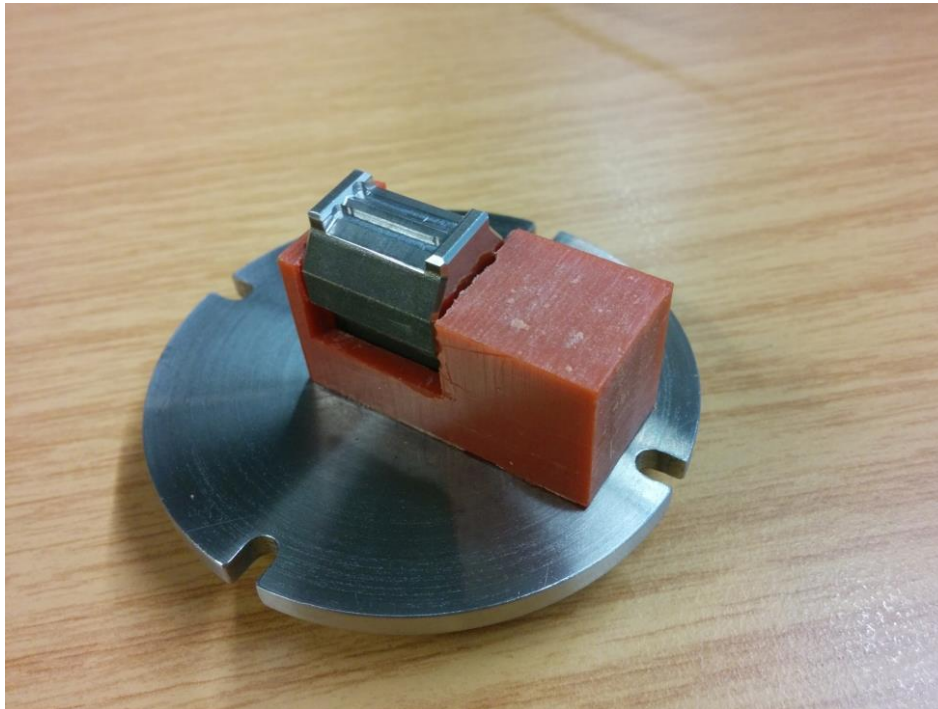


*Fehlerquellen für  
Kalibrierungsparameter*

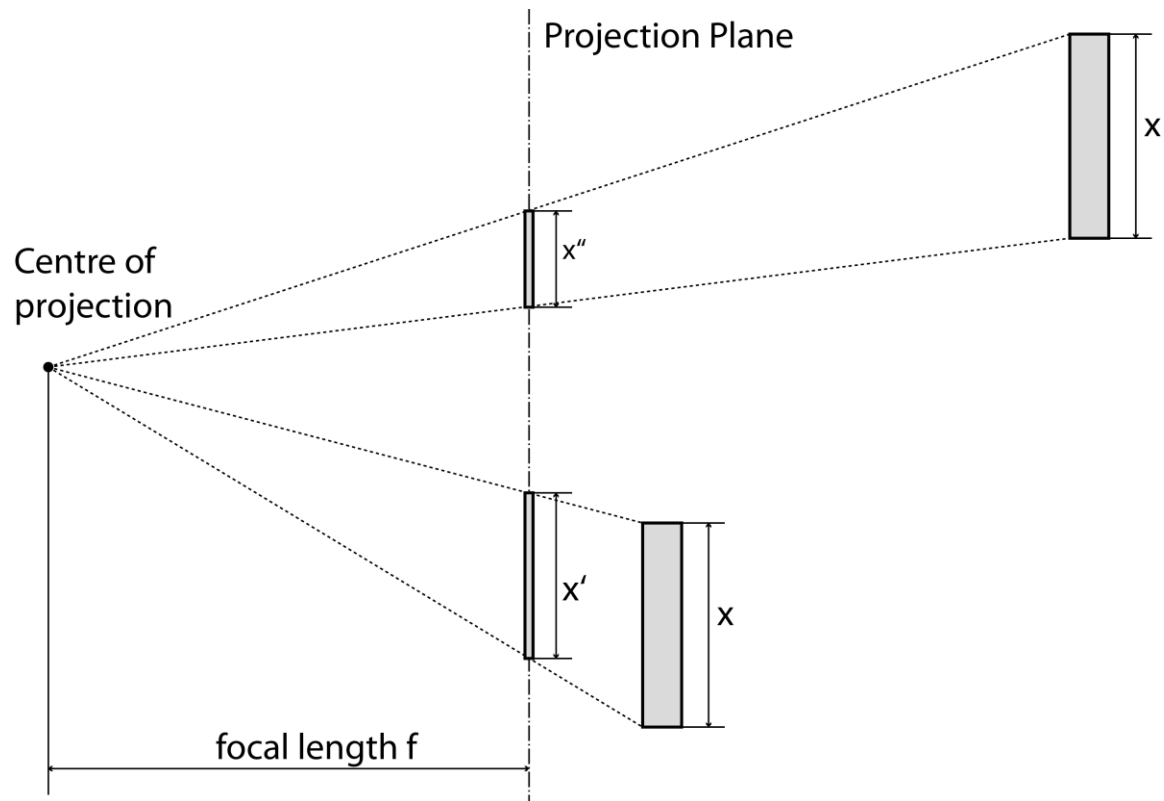
## Mikroskop Adapter-Set



## Modifiziertes Bauteil



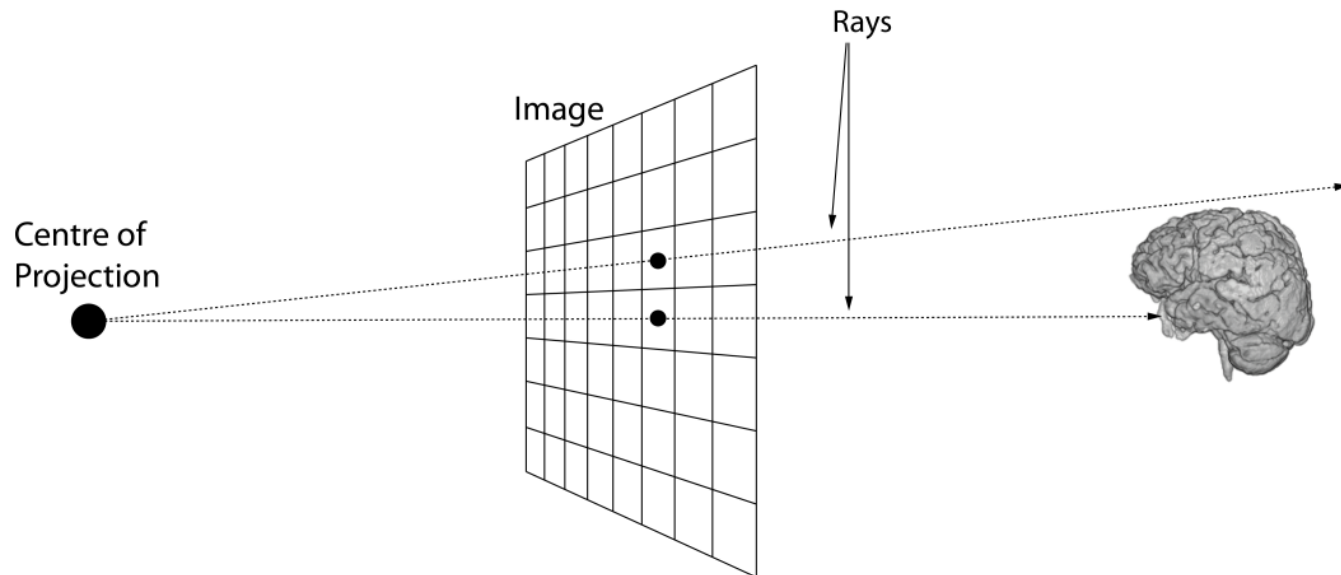
# Raycasting



*Die Thermokamera kann mit dem Modell einer Lochblenden-Kamera beschrieben werden*



# Raycasting



*Abbildung xxx – Raycasting invertiert Projektion der Lochblenden-Kamera*

## Demo

### Ablauf (einmalig):

Daten initialisieren

Plug-In initialisieren

Plug-In konfigurieren

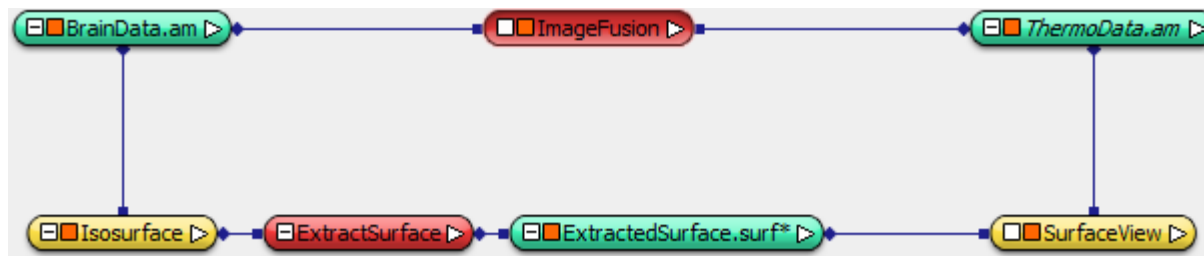
Verbindungen herstellen

Eventuell manuell justieren

➔ Analysieren 😊

## Demo

Ablauf (laden):  
Amira Netz laden  
Starten



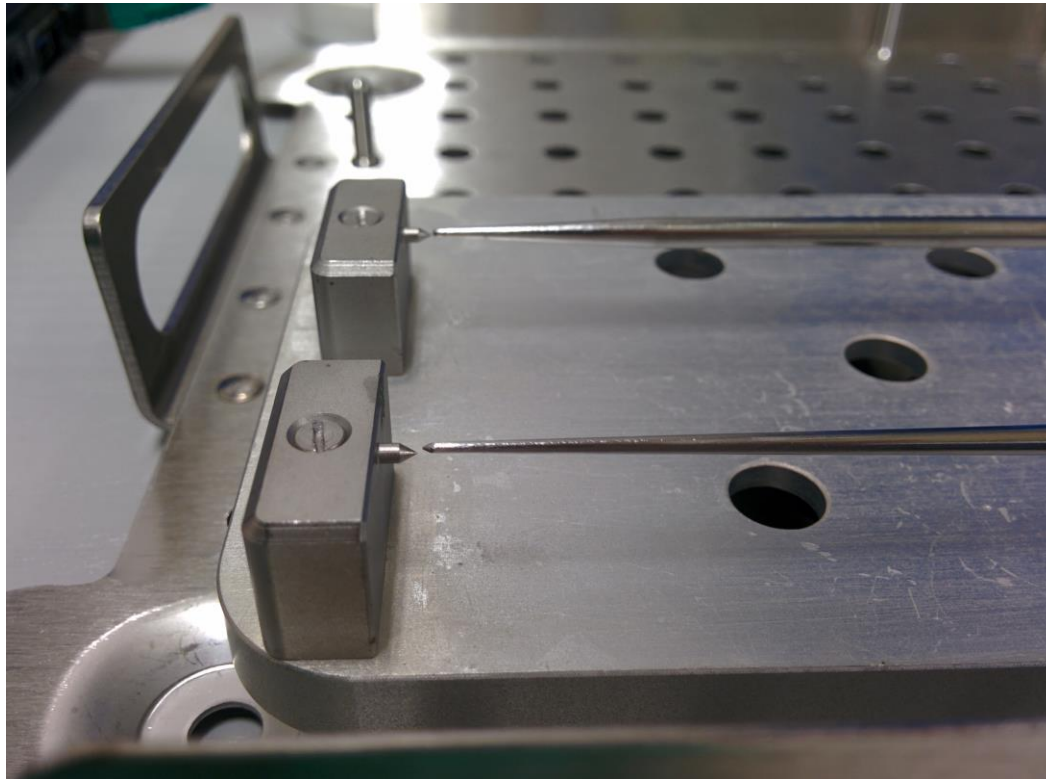
➔ Analysieren 😊

## Demo

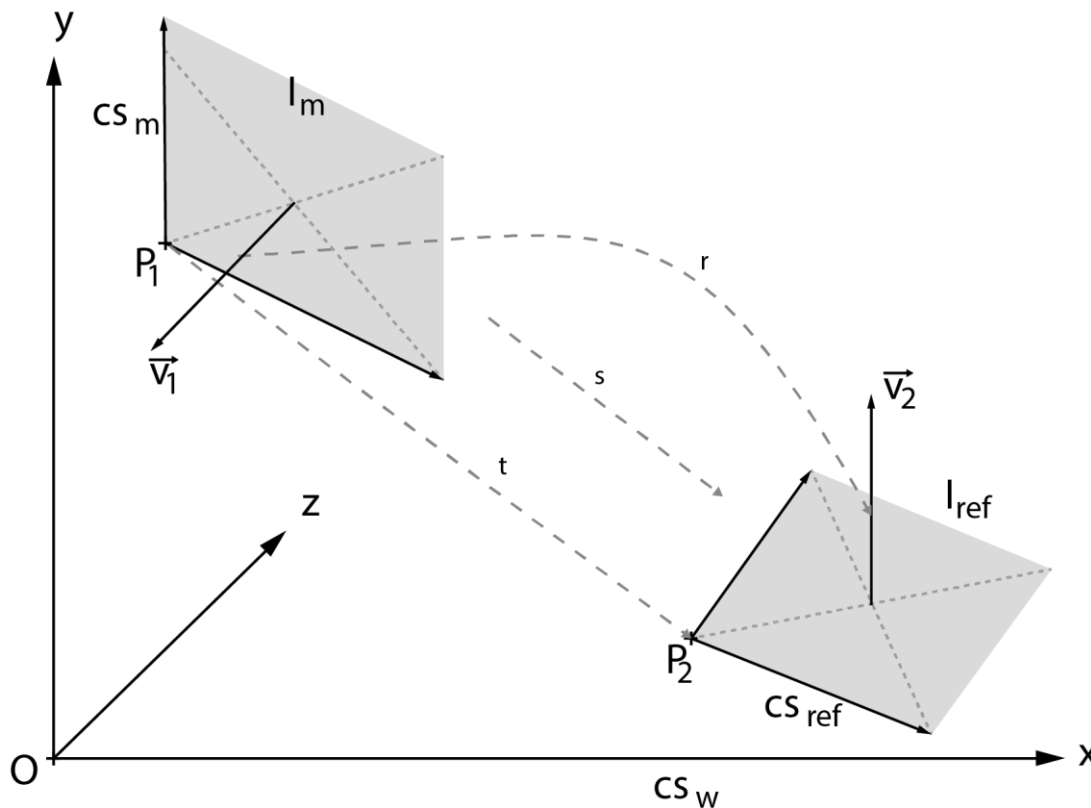
### Was passiert in Amira:

1. ColorField laden (Thermobild)
2. DICOM laden (MRT)
3. Isosurface aus DICOM (Intensitäten)
4. SurfaceView erstellen
5. ColorField als Textur für SurfaceView
- 6. Mit Image Fusion verbinden & starten**

## BrainLab Pointer Ungenauigkeit



### 3. Amira Plug-In zur Bildfusion (Registrierung)

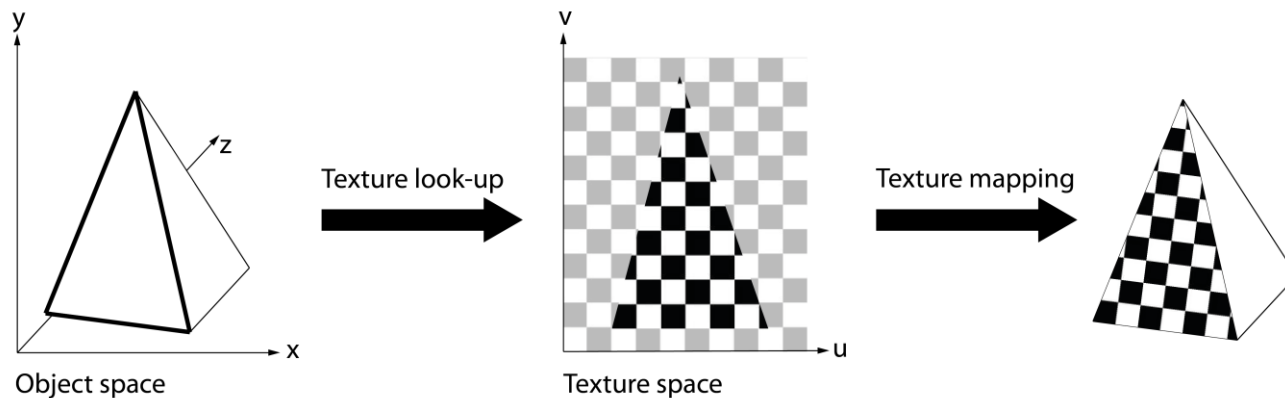


Registrierung: Notwendige Manipulationen am 2D Bild

- $CS_w$  Weltkoordinatensystem
- $I_{ref}$  Referenzbild
- $CS_{ref}$  Koordinatensystem  $I_{ref}$
- $P_2$  Ursprung von  $CS_{ref}$
- $\vec{v}_2$  Oberflächennormale  $I_{ref}$
- $I_m$  Bewegtes Bild
- $CS_m$  Koordinatensystem  $I_m$
- $P_1$  Ursprung von  $CS_m$
- $\vec{v}_1$  Oberflächennormale  $I_m$

## Texturierung

- Koordinaten im virtuellen Screen → Pixmap
- Sucht über Pixmap-Koordinate die Texturkoordinate → Farbwert



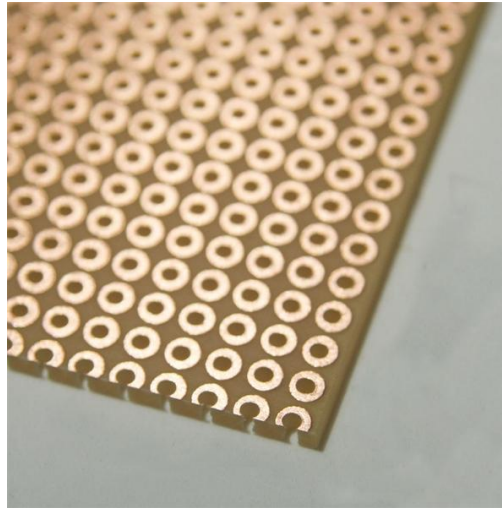
*Schema des Texture Mappings*

# Einordnung der Registrierung

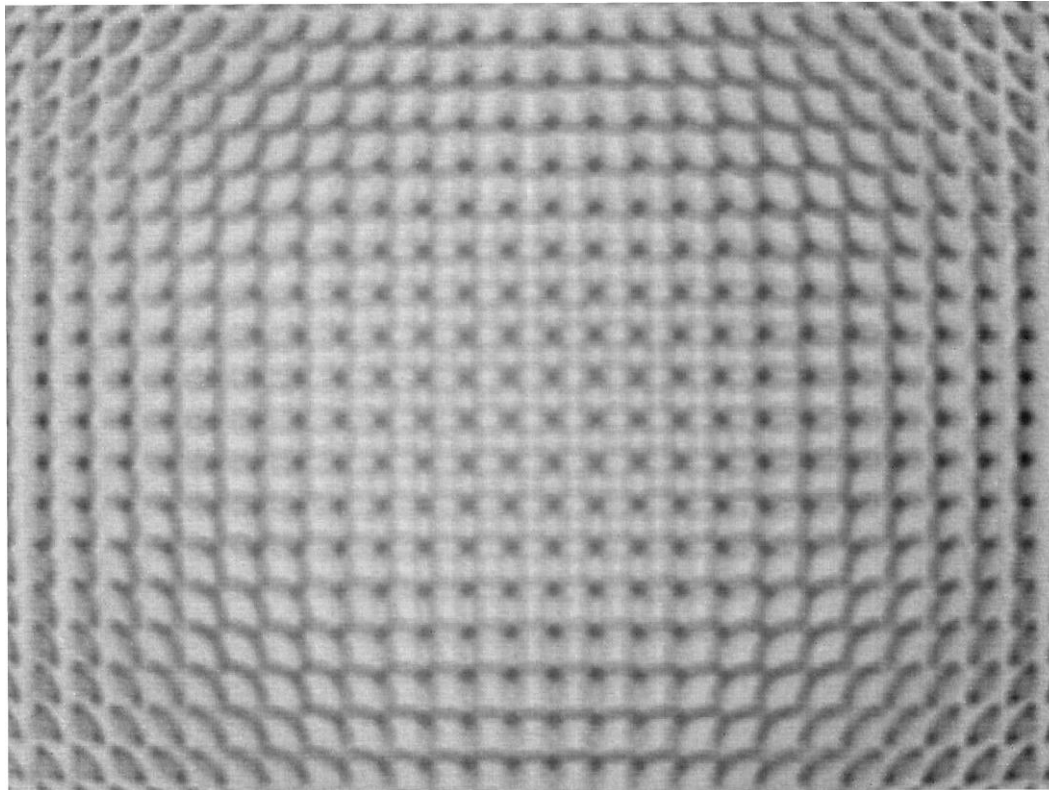
Medizinische Registrierung: Taxonomie								
Dimension	Basis der Registrierung	Art der Transformation	Gültigkeit der Transformation	Interaktion	Optimierung	Modalitäten	Subjekt	Objekt
Raum und Zeit (4D)	Extrinsisch	Rigide	Lokal	Interaktiv	Parameter berechnen	Monomodal	Intra-Subjekt	Kopf
Raum (2D, 3D)	Intrinsisch	Affin	Global	Semi-automatisch	Parameter suchen	Multimodal	Inter-Subjekt	Thorax
	Nicht bild-basiert	Projektiv		Automatisch		Modalität zu Modell	Atlas	Abdomen
		Verkrümmt				Patient zu Model		Pelvis und Perineum
		Nicht-rigide						Extremitäten
								Wirbelsäule und Wirbel



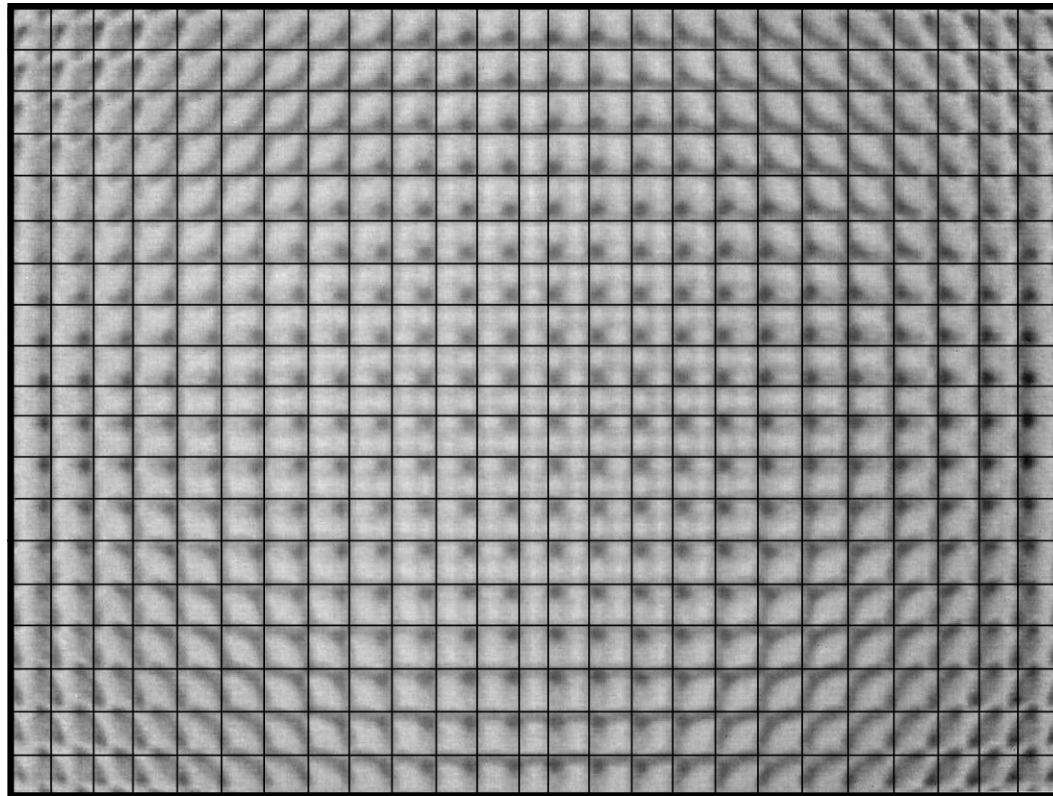
# Verzerrung



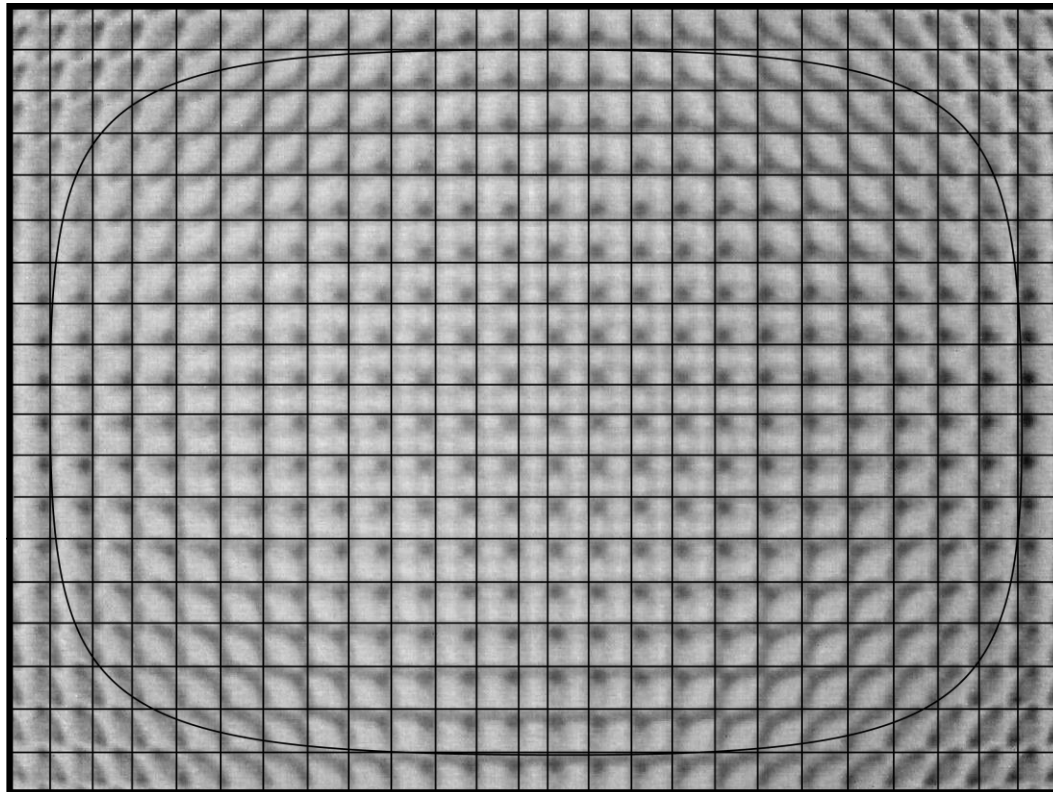
# Verzerrung



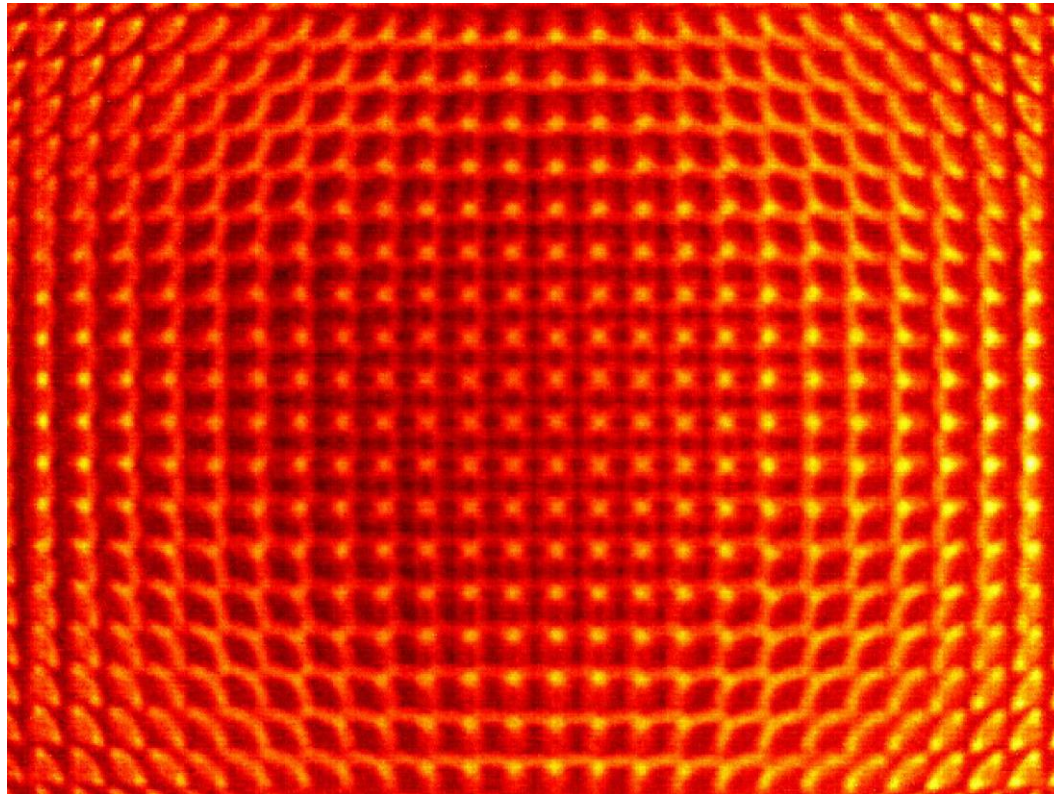
# Verzerrung



# Verzerrung

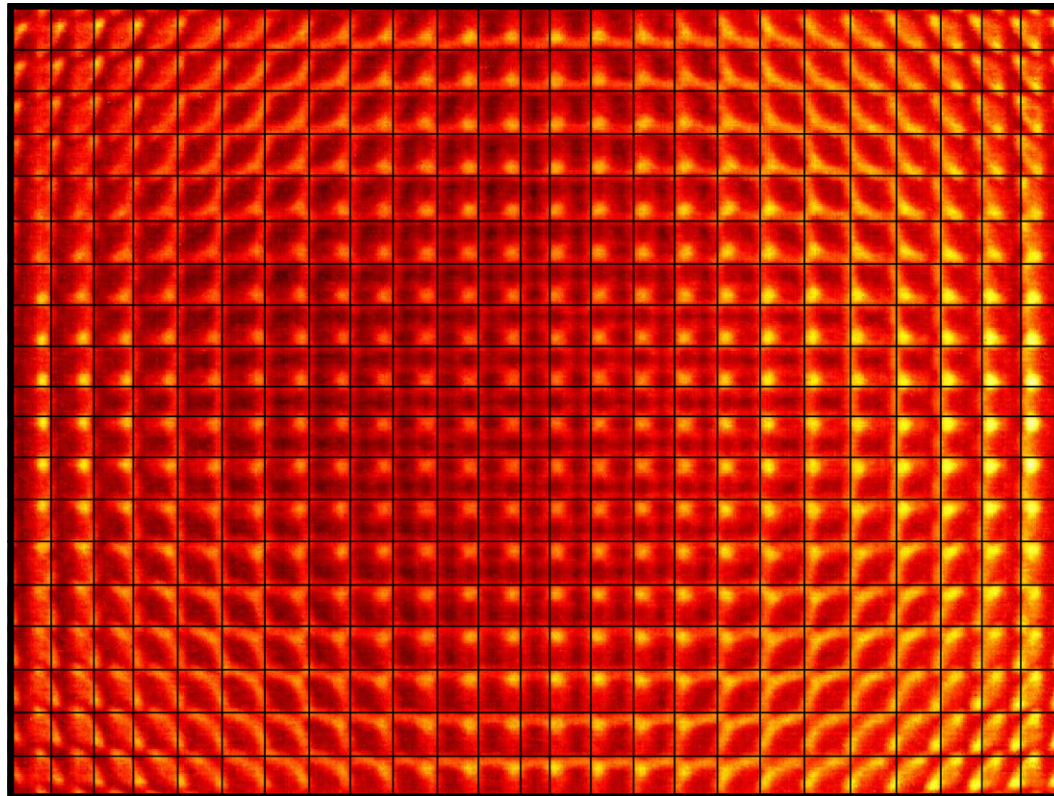


# Verzerrung

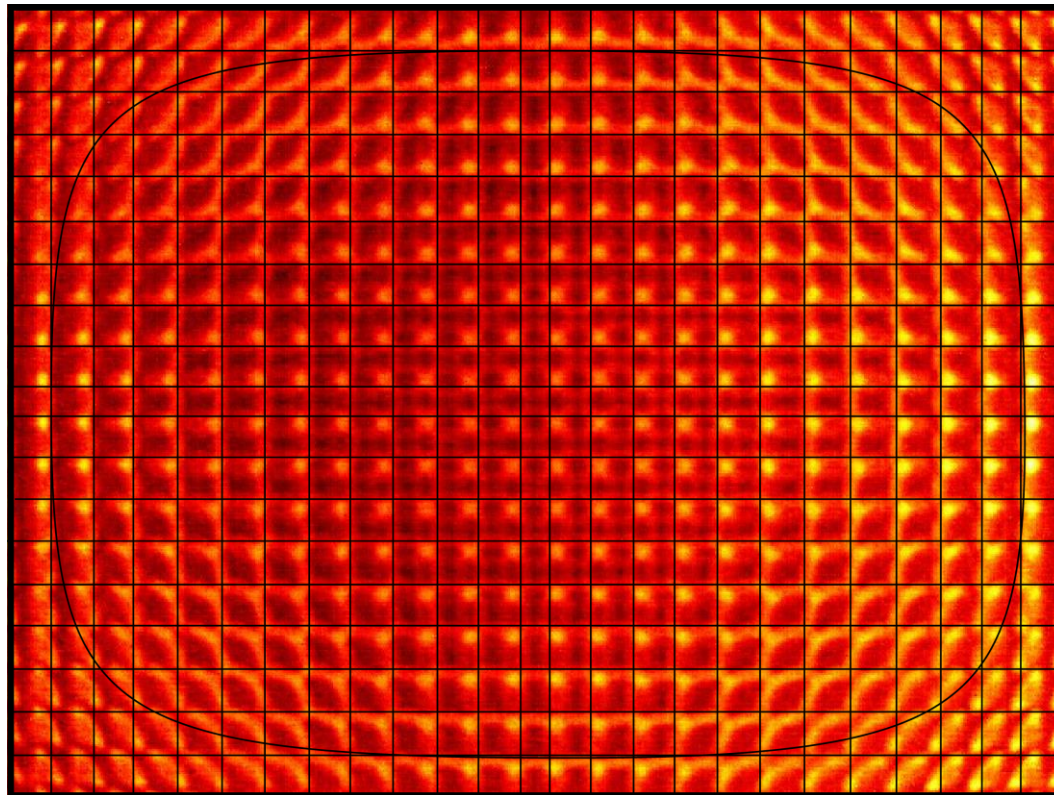




# Verzerrung

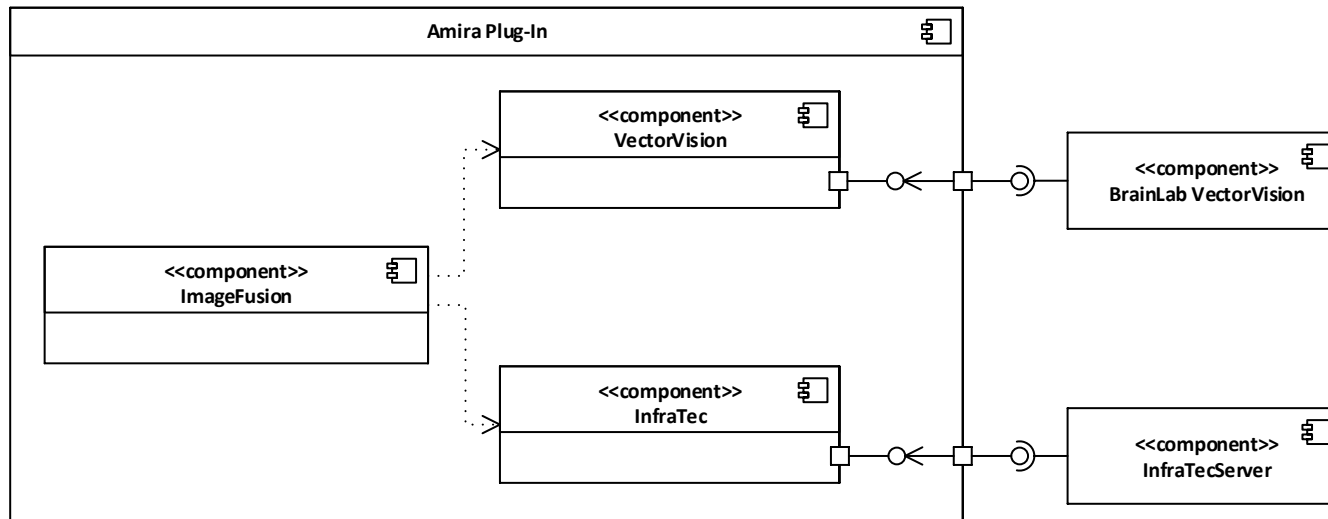


# Verzerrung



### 3. Amira Plug-In zur Bildfusion

## Komponentendiagramm

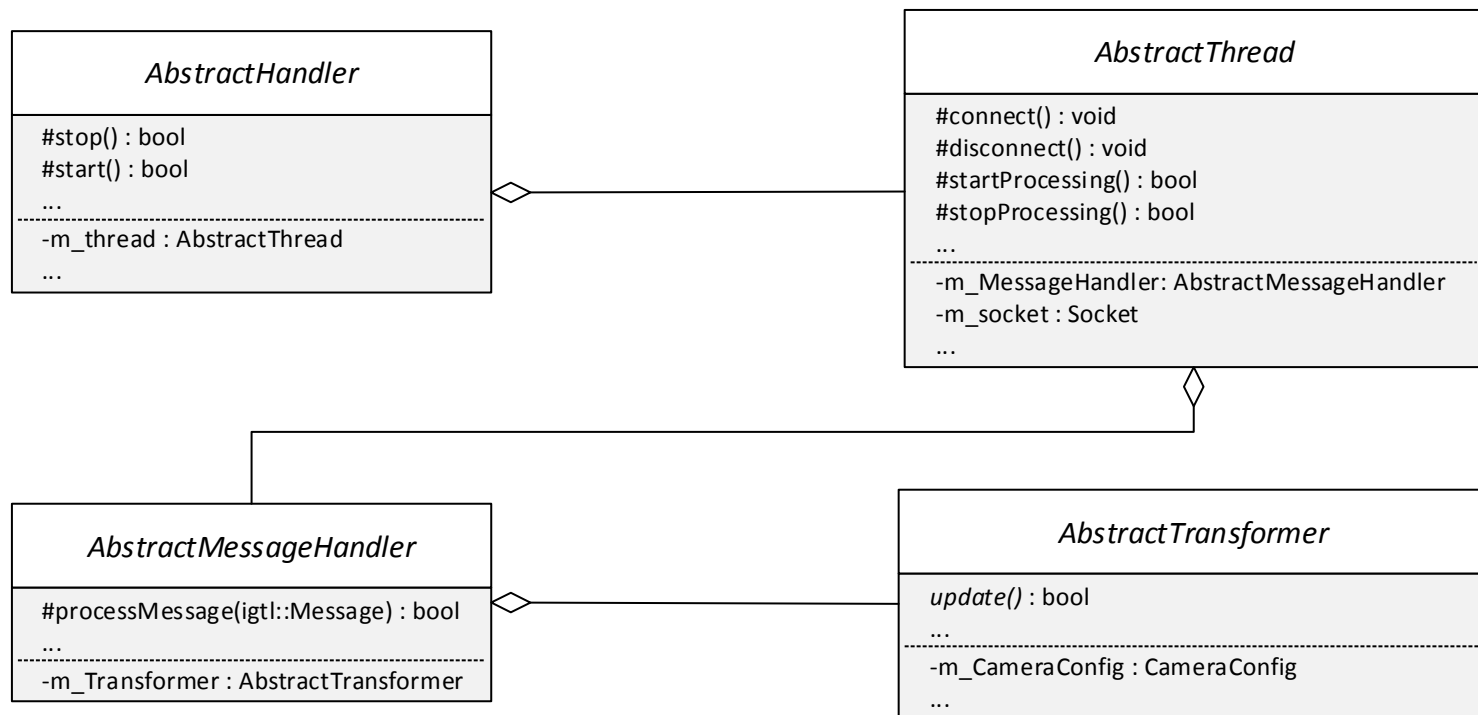


*Programmstruktur dargestellt durch vereinfachtes Komponentendiagramm*



## 3. Amira Plug-In zur Bildfusion

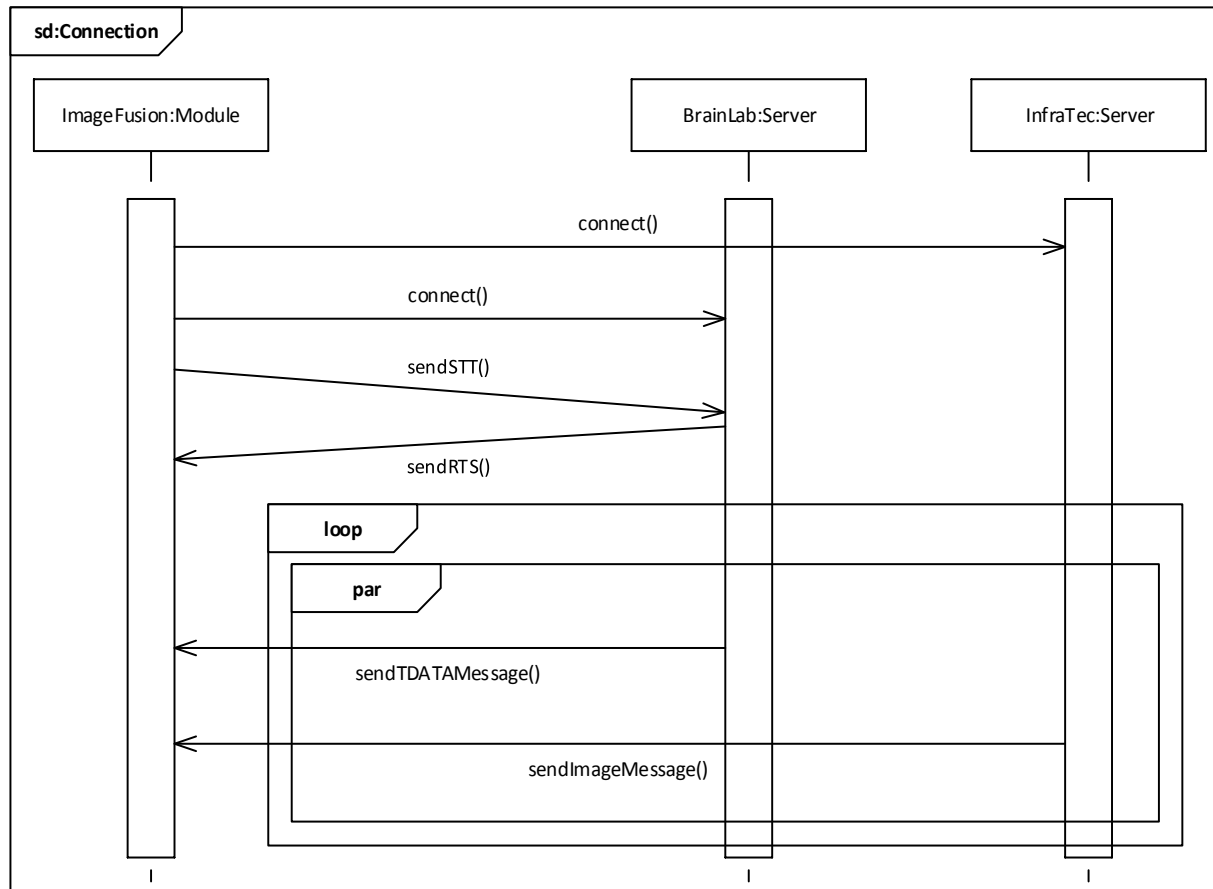
### Aufbau eines Threads



*Vereinfachte Struktur der Komponenten InfraTec und VectorVision*

## 3. Amira Plug-In zur Bildfusion

### Kommunikation



*Kommunikationsdiagramm  
mit den erforderlichen  
OpenIGTLink-Nachrichten  
beim Programmstart*

### 3. Amira Plug-In zur Bildfusion

#### Datenübertragung

- *OpenIGTLink* (<http://openigtlink.org/>)
  - Offen, erweiterbar
  - Für medizinische Anwendungen
- WLAN 802.11n: ca. 13 Bilder pro Sekunde
- Ein PC: >50 Bilder pro Sekunde



*Kommunizierende Komponenten mit Protokoll*

# Transformationsmatrizen

$$M_{RotX}(\alpha) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\alpha) & -\sin(\alpha) \\ 0 & \sin(\alpha) & \cos(\alpha) \end{pmatrix}$$

$$M_{Translation} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & x \\ 0 & 1 & 0 & y \\ 0 & 0 & 1 & z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$M_{RotY}(\beta) = \begin{pmatrix} \cos(\beta) & 0 & \sin(\beta) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\beta) & 0 & \cos(\beta) \end{pmatrix}$$

$$M_{Skalierung} = \begin{pmatrix} s_x & 0 & 0 \\ 0 & s_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$M_{RotZ}(\gamma) = \begin{pmatrix} \cos(\gamma) & -\sin(\gamma) & 0 \\ \sin(\gamma) & \cos(\gamma) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$M_{Rotation} = M_{RotZ} \cdot M_{RotY} \cdot M_{RotX}$$

# Transformationsmatrizen

## Homogene Koordinaten

- Raumpunkt? Richtungsvektor?
- Transformation:
  - Raumpunkt: Alles
  - Richtungsvektor: Nur Skalierung, Rotation
- ➔ Dimensionserweiterung
  - 3x3-Matrix zu 4x4-Matrix
  - 3x1 zu 4x1

# Transformationsmatrizen

## Homogene Koordinaten

Vierte Komponente: 1 oder 0!

- Translation: Matrixmultiplikation
- Punkt im unendlichen:  $w = 0$

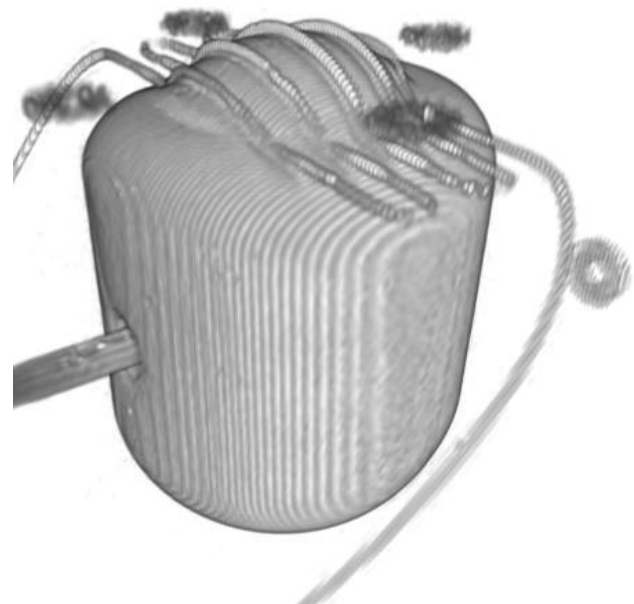
$$V_3 = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \longrightarrow V_4 = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ w \end{pmatrix}$$

$$M_{3 \times 3} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \longrightarrow M_{4 \times 4} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & x \\ 0 & 1 & 0 & y \\ 0 & 0 & 1 & z \\ 0 & 0 & 0 & w \end{pmatrix}$$

### 3. Amira Plug-In zur Bildfusion

**MRT-Aufnahme** → Marker definieren → Objekt registrieren → Instrumentenadapter → Bildfusion

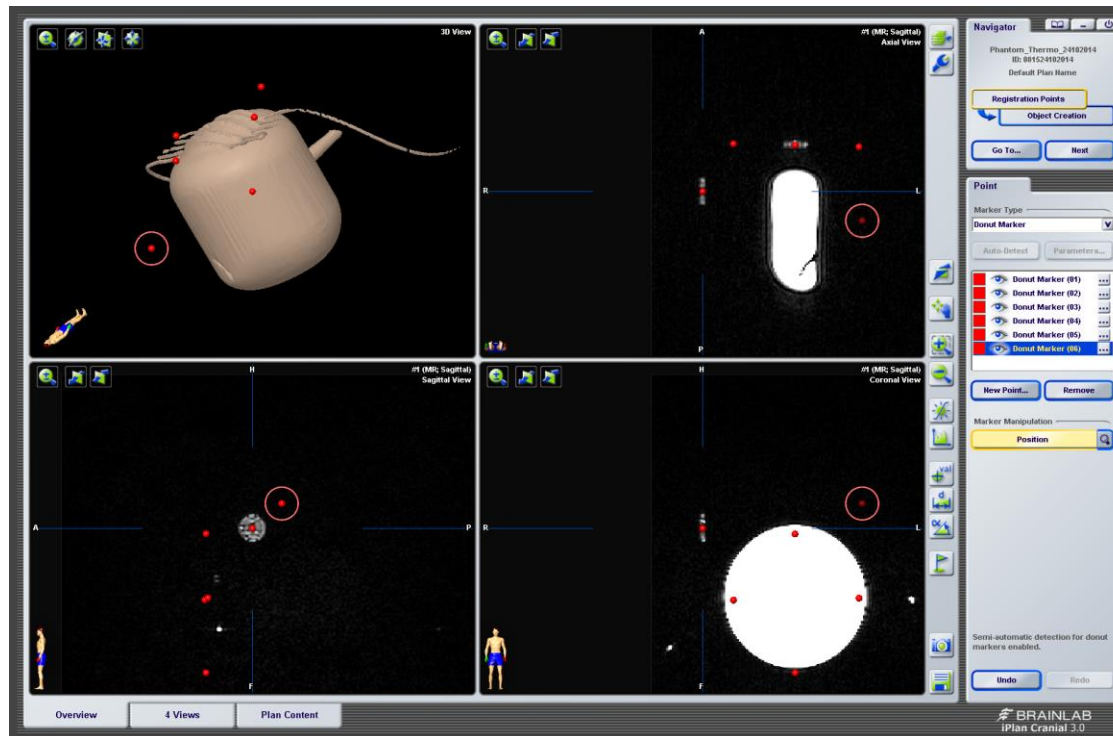
- Import nach iPlanNet 3.0
- Import nach Amira
- Eventuell vorverarbeiten



*MRT-Aufnahme des Prototypen*

### 3. Amira Plug-In zur Bildfusion

MRT-Aufnahme → **Marker definieren** → Objekt registrieren → Instrumentenadapter → Bildfusion

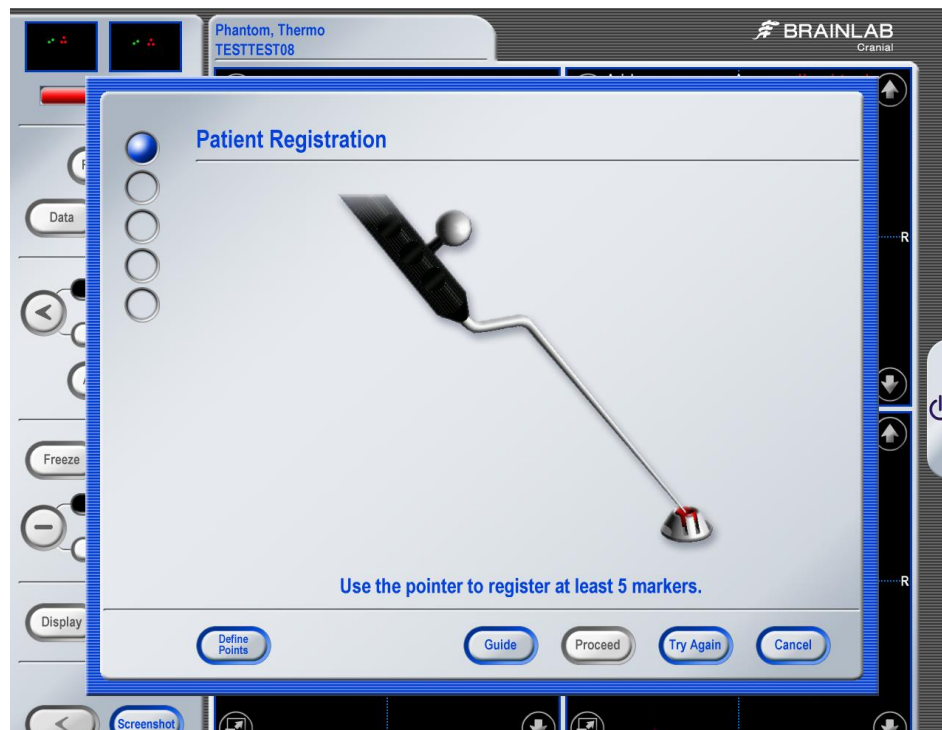


*iPlanNet 3.0:  
Marker (rote Punkte) im Modell  
definieren*



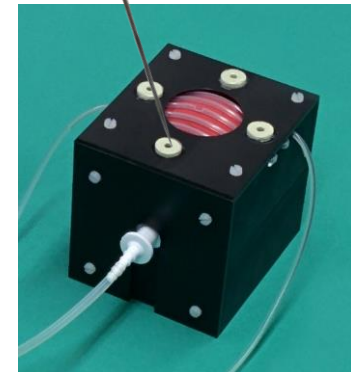
### 3. Amira Plug-In zur Bildfusion

MRT-Aufnahme → Marker definieren → **Objekt registrieren** → Instrumentenadapter → Bildfusion

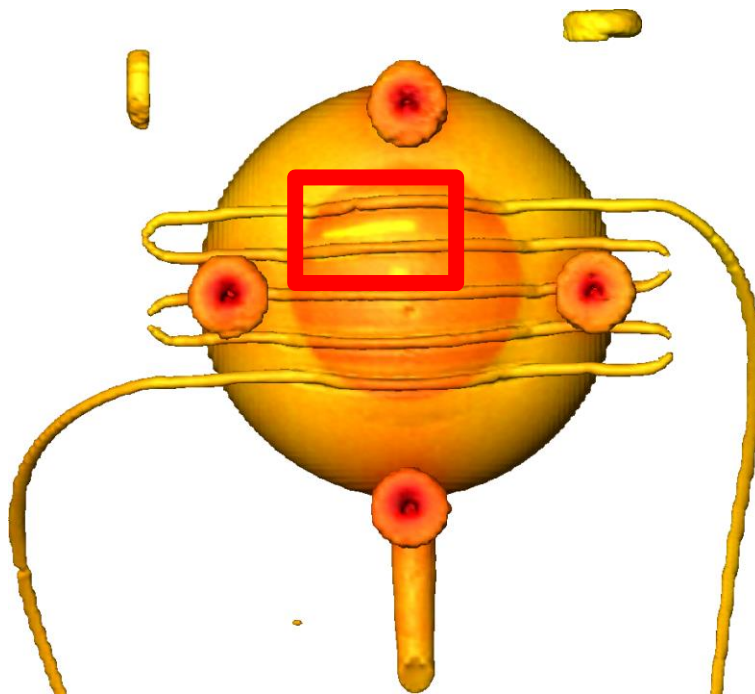


VectorVision 2.5 cranial; Screenshot: Registrierung

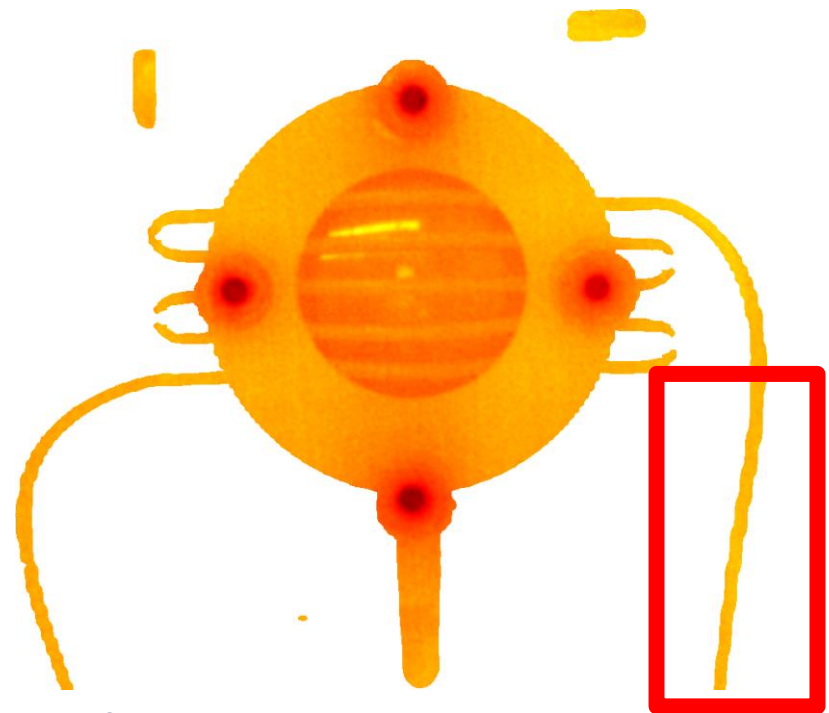
*Jede Passermarken  
mit Pointer berühren*



### 3. Amira Plug-In zur Bildfusion (Fusion)

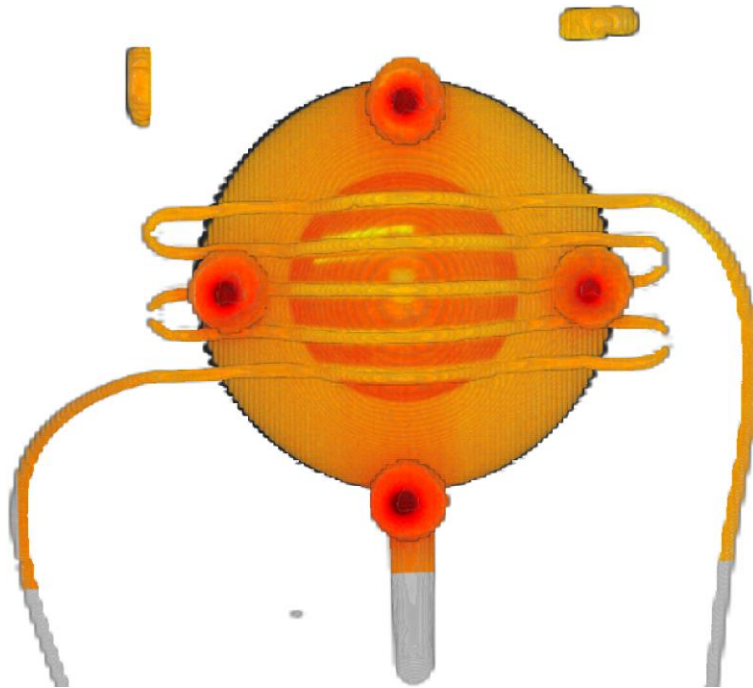


*Isosurface mit „ColorField“:  
Verlust der Auflösung*

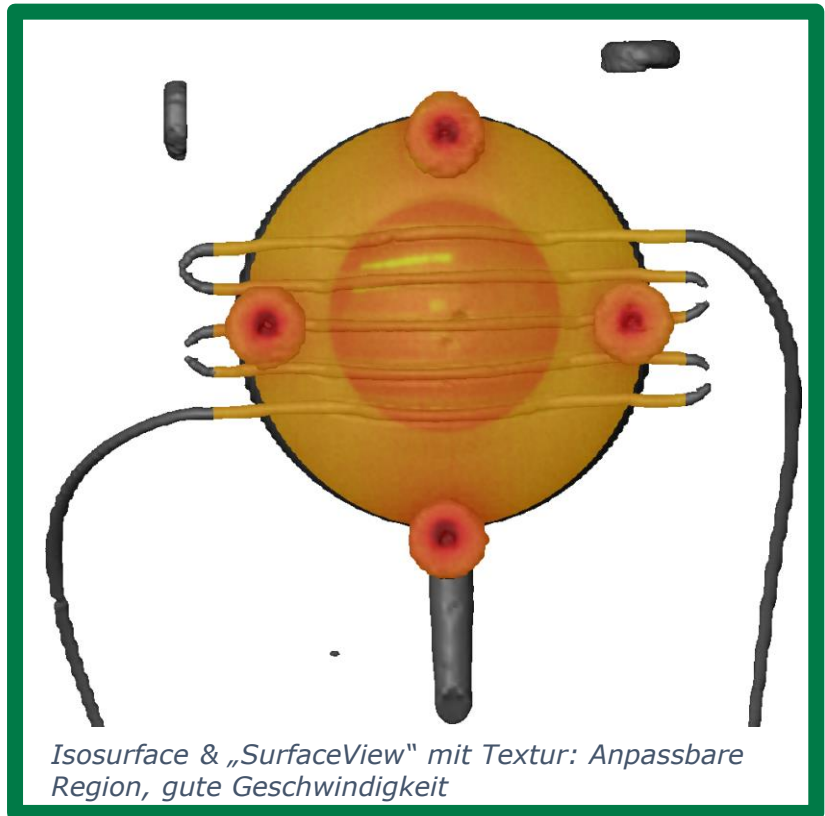


*Isosurface mit Textur:  
Keine Transparenz, zu großer Bereich*

### 3. Amira Plug-In zur Bildfusion (Fusion)



*Isosurface & „Voltex“ mit Textur  
„dirty hack“; Geschwindigkeitseinbruch durch  
Volumenrendering*



*Isosurface & „SurfaceView“ mit Textur: Anpassbare  
Region, gute Geschwindigkeit*

## 5. Evaluation

- 60°



Abbildung xxx – Links: 15,42cm; Mitte: 28,95cm; Rechts: 42,93cm

Tabelle 7: Mittlerer Abstand der Marker-Mittelpunkte bei einem Kamerawinkel von 60° und für drei Distanzen

Distanz (cm)	15,42	28,95	42,93
Mittlerer Fehler (mm)	4,30	3,80	3,58
Standardabweichung (mm)	1,54	0,50	0,90