



Westsächsische Hochschule Zwickau
University of Applied Sciences

Ansätze zur automatischen Erkennung und Lokalisierung von MRT-Markern

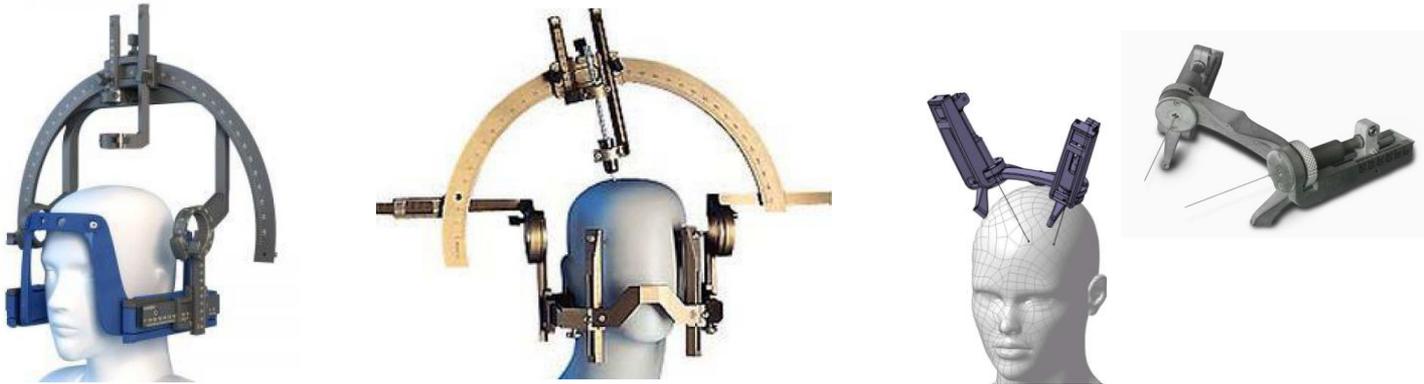
Workshop „Mathematik in Forschung und Lehre“
26.09.2022

Christian Fiedler

Einleitung

Stereotaktische Neurochirurgie

- Exakte Instrumentenpositionierung durch Stereotaxievorrichtung
- Operationsplanung an prä-operativen Bildern (z.B. MRT)



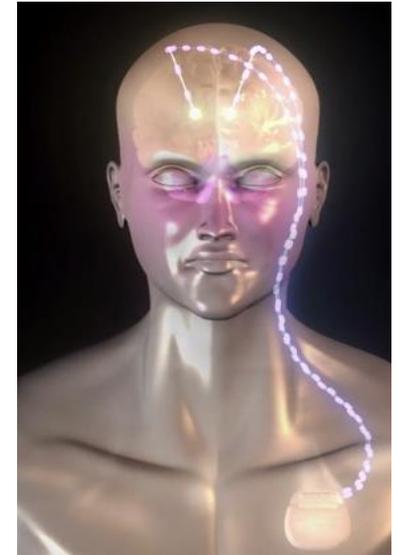
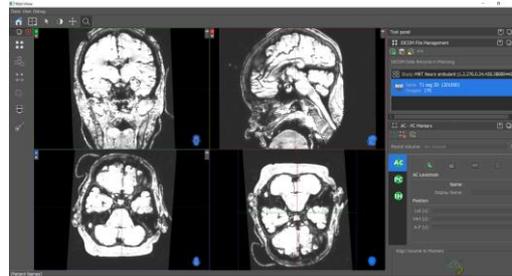
Konventionelle und patientenspezifische Stereotaxievorrichtungen

(MRT: Magnetresonanztomographie)

Einleitung

Funktionale Stereotaxie: Tiefenhirnstimulation bei Morbus Parkinson

- Feine Elektroden werden dauerhaft ins Hirn implantiert
- Schwache elektrische Impulse stimulieren das Gehirn

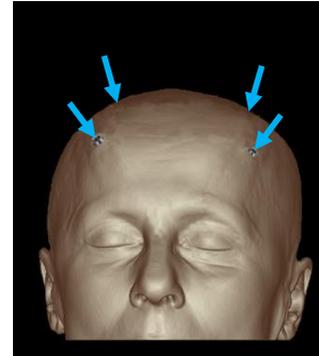


Forschungsprojekt “Tiefenhirnstimulation”

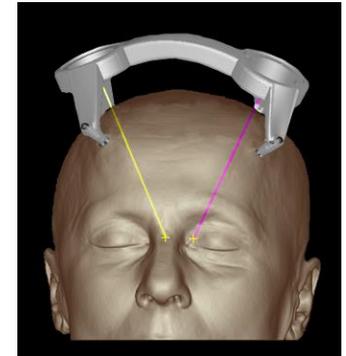
Entwicklung eines patientenspezifischen Stereotaxiesystems für die Tiefenhirnstimulation

Planungsschritte

1. Vorverarbeitung
- 2. Referenzpunkte finden**
3. Funktionales Koordinatensystem registrieren
4. Trajektorien planen
 - Zielpunkt festlegen
 - Eintrittspunkt festlegen



Referenzpunkte



Trajektorien und
Stereotaxievorrichtung

Referenzpunkte finden

Knochenanker als Referenzpunkte

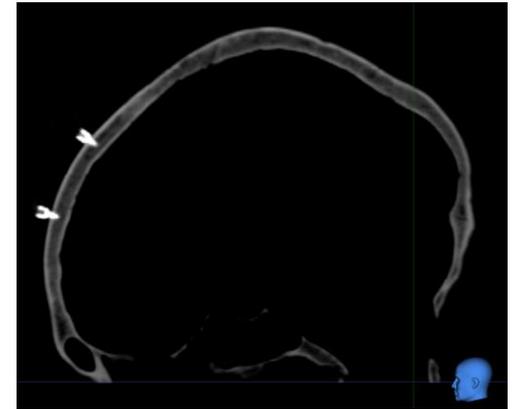
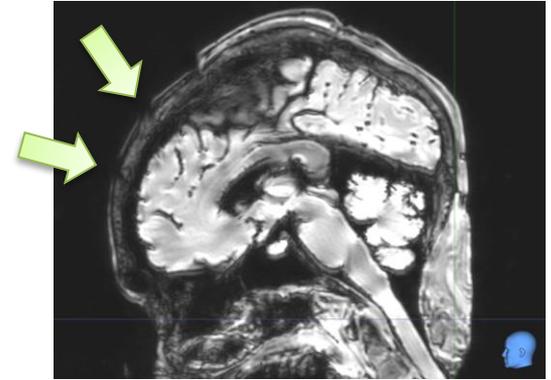
- zur Fixierung der Stereotaxievorrichtung
- Implantierung vor Bildaufnahme

MRT zeigt Details in weichen Geweben

- notwendig zur Zielpunkt- und Trajektorienplanung
- Knochenanker sind nicht sichtbar!

CT zeigt Knochen und Knochenanker

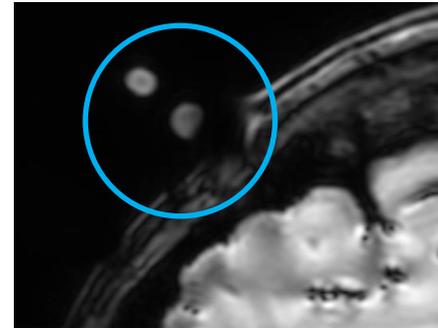
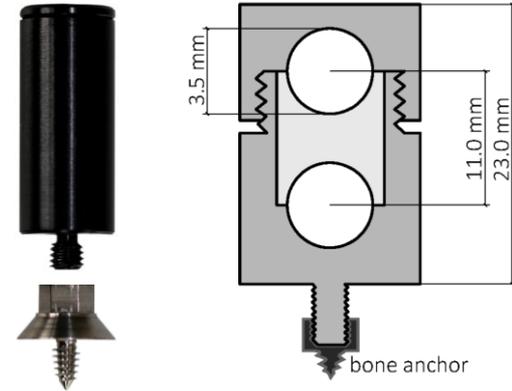
- hohe Strahlenbelastung
- Registrierungsaufwand



Referenzpunkte finden

Verwendung künstlicher MR-Marker

- Befestigung am Knochenanker während MRT-Aufnahme
- Bekannte Geometrie
 - Position und Orientierung der Knochenanker relativ zum Marker
- **Keine Strahlenbelastung** durch CT



“Klassische” Bildverarbeitungsansätze

1. Erkennen und lokalisieren einzelner Kugeln

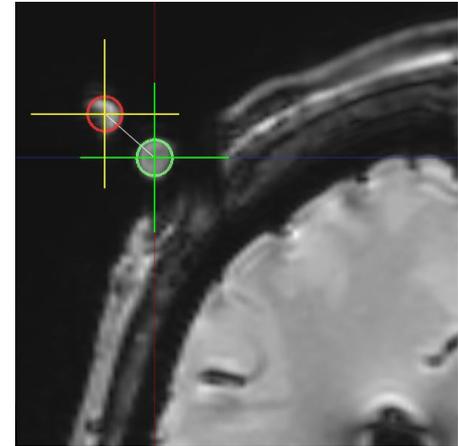
- Methode 1: CHT-Pipeline
- Methode 2: Kernel-Pipeline
- Methode 3: CCA-Pipeline

Ergebnis: Raumkoordinaten Kugelmittelpunkt

2. Ergebnisse filtern und Marker finden

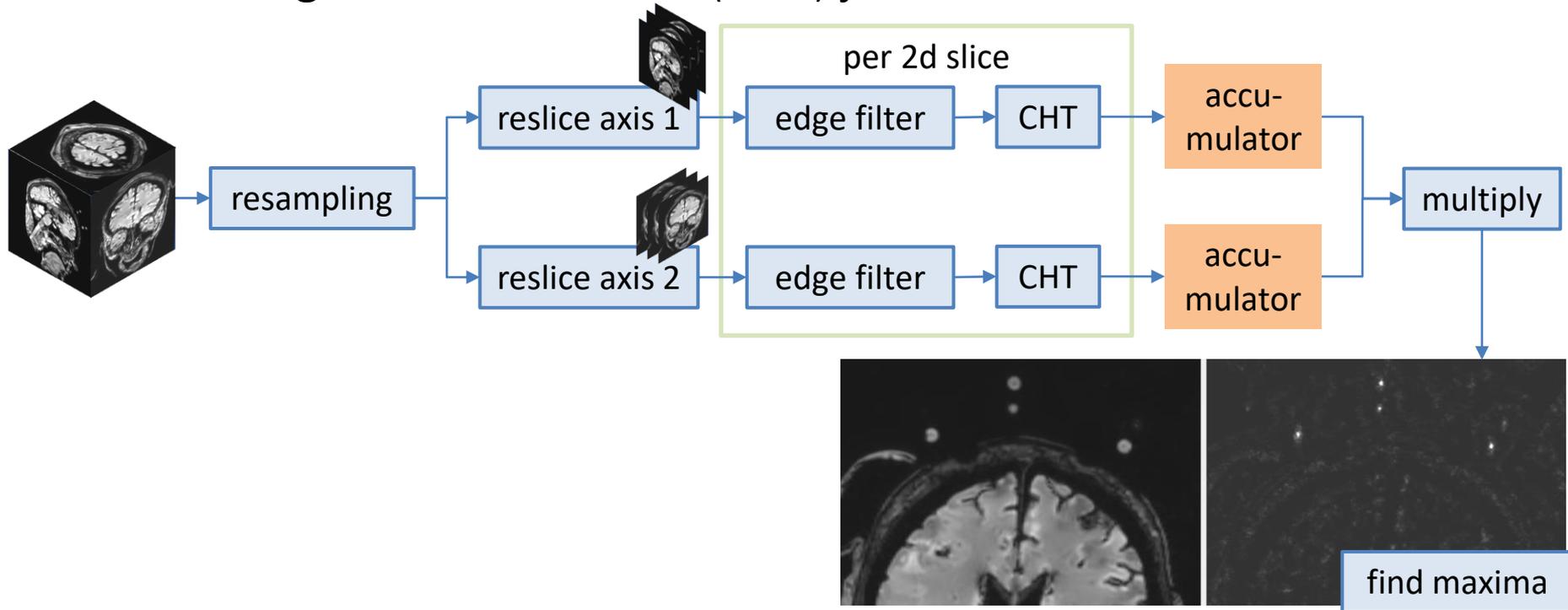
- Marker-Modell

Ergebnis: sortierte Kugelpaare bzw. Position+Orientierung des Markers



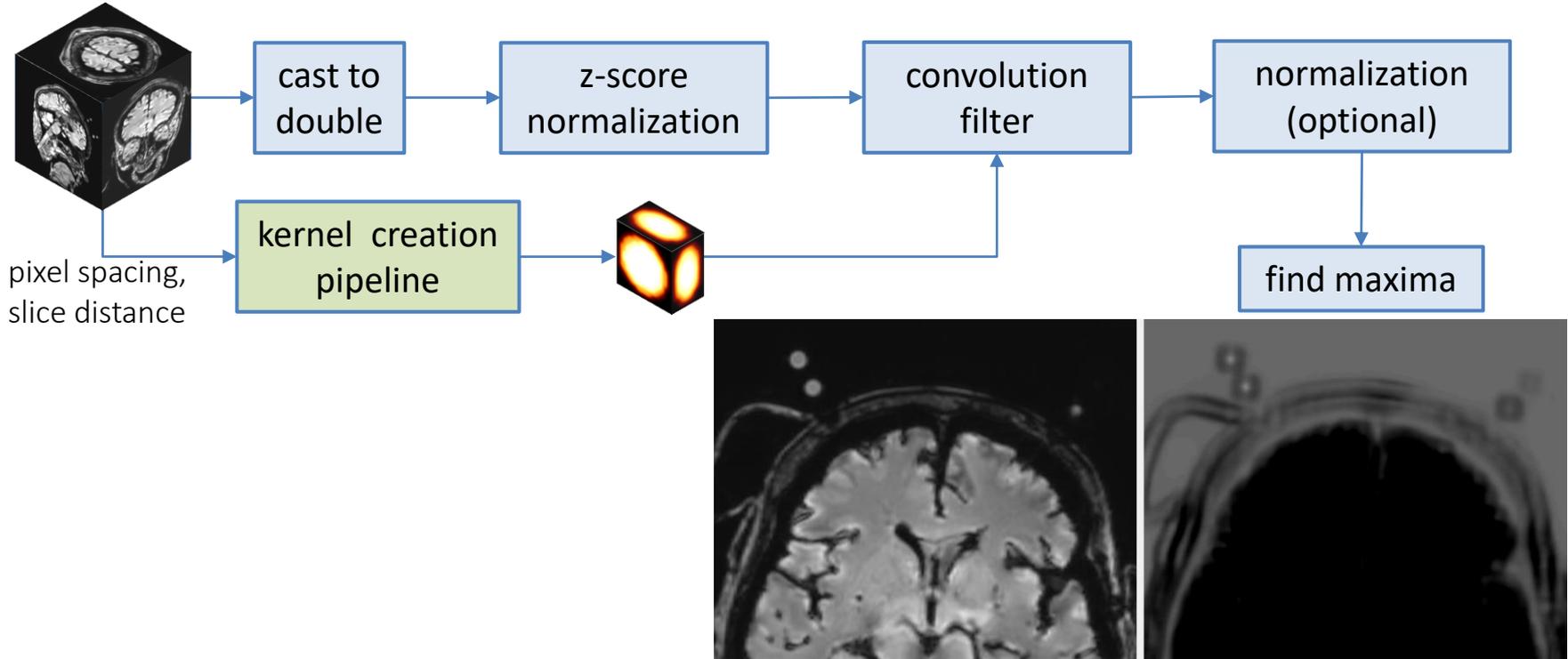
Methode 1: Pipeline auf Basis der CHT

Circular-Hough-Transformation (CHT) je 2D-Schnittbild in zwei Achsen



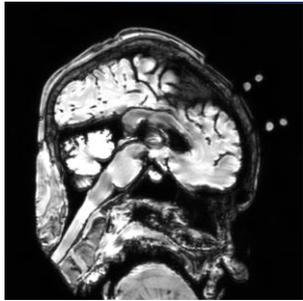
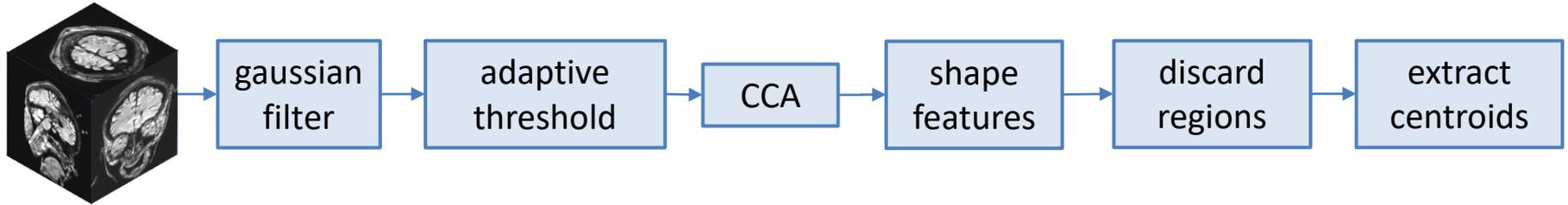
Methode 2: Kernel-basierte Pipeline

Hervorheben von Kugeln durch Faltung mit adaptiertem 3D-Filterkern



Methode 3: CCA

Zusammenhängende Regionen nach Formeigenschaften filtern



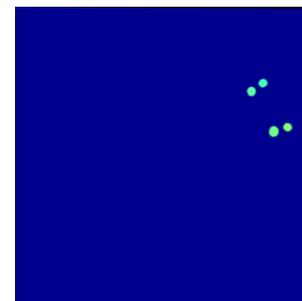
Originalbild



Binarisierung



CCA-Label-Map



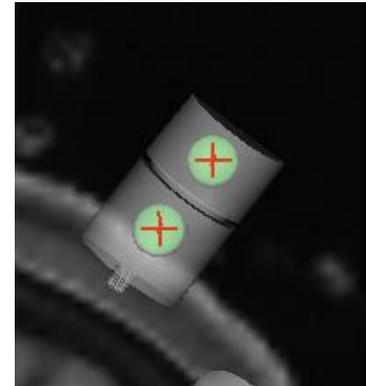
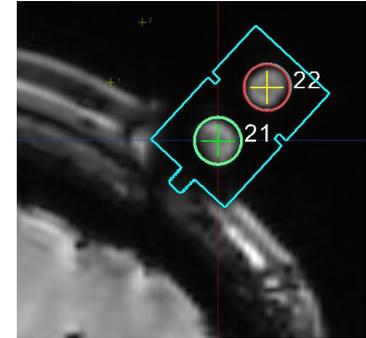
gefilterte Label-Map

(CCA: Connected Component Analysis)

Marker Modell

Modell basiert auf bekannter Markergeometrie

- Kugeln mit ~11mm Abstand bilden ein Paar
- Kugeln ohne Partner werden verworfen
- Kugeln werden als proximal/ distal klassifiziert
- Position und Richtungsvektor des Markers wird berechnet

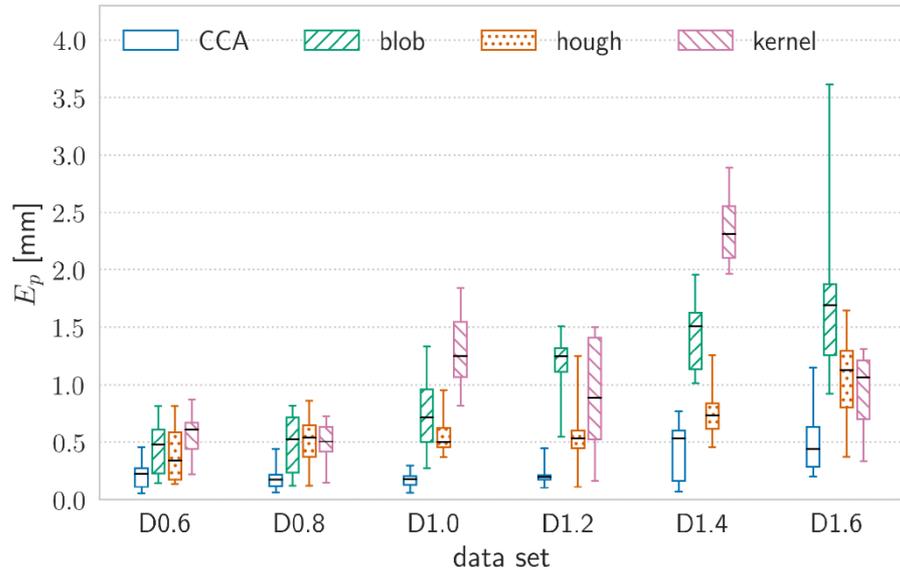


Ergebnisse

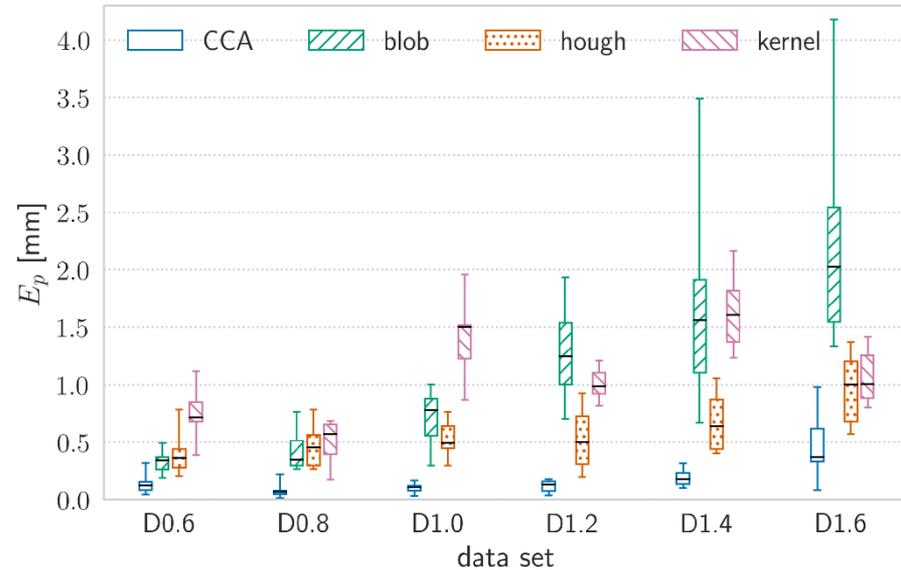
Abweichung Kugelpositionen zu manueller Ermittlung durch Segmentierung

- Mittlere Position aus fünf manuellen Segmentierungen ($\sigma = 0,37\text{mm}$)

Positioning Error by T1 Data Set and Method



Positioning Error by T2 Data Set and Method



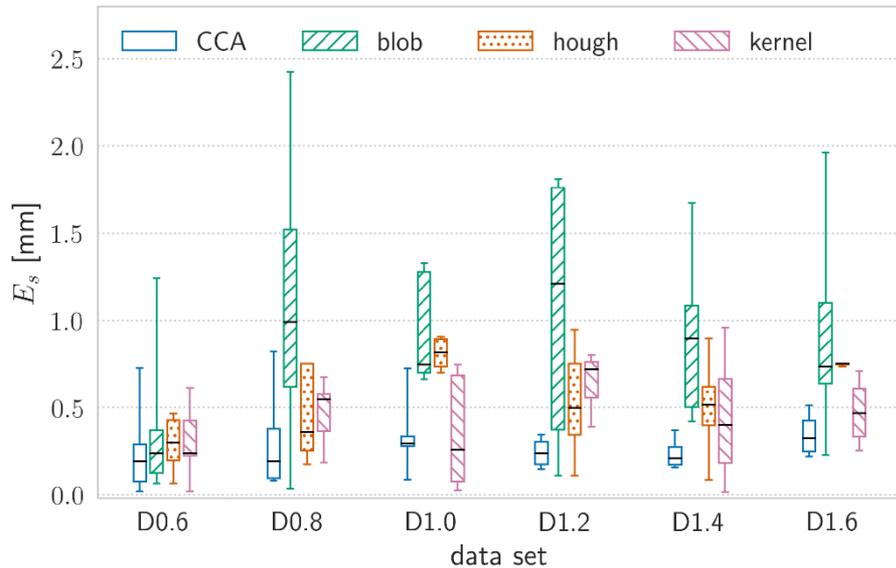
(<https://doi.org/10.3390/brainsci11070876>)

Ergebnisse

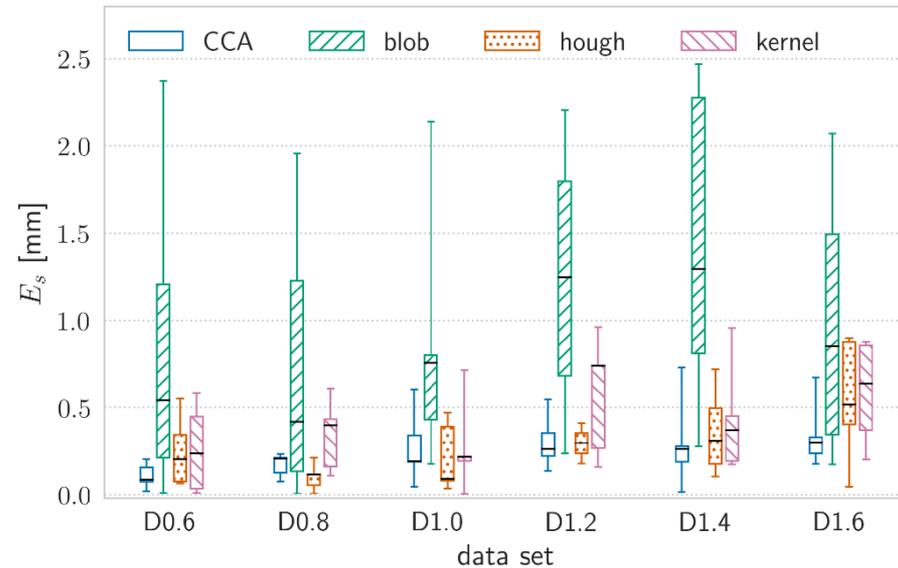
Abweichung relativer Abstand zweier Markerkugeln (11mm konstruktionsseitig)

- Nutzerunabhängig, (bei manueller Lokalisierung: $\overline{E_s} = 0,22\text{mm}, \sigma = 0,17\text{mm}$)

Spacing Error by T1 Data Set and Method



Spacing Error by T2 Data Set and Method



(<https://doi.org/10.3390/brainsci11070876>)

Ergebnisse

Erkennungsleistung

Mod	s [mm]	CCA					Kernel					Hough				
		tp	fp	fn	F _{1bm}	F _{1am}	tp	fp	fn	F _{1bm}	F _{1am}	tp	fp	fn	F _{1bm}	F _{1am}
T1	0.6	10	0	0	1.00	1.00	10	1	0	0.95	1.00	10	9	0	0.69	1.00
T1	0.8	10	0	0	1.00	1.00	10	0	0	1.00	1.00	10	3	0	0.87	1.00
T1	1.0	10	0	0	1.00	1.00	10	0	0	1.00	1.00	10	3	0	0.87	0.89
T1	1.2	9	0	1	0.95	0.89	10	0	0	1.00	0.75	10	20	0	0.50	0.80
T1	1.4	9	0	1	0.95	0.89	3	1	7	0.43	0.00	10	16	0	0.56	0.89
T1	1.6	9	3	1	0.82	0.89	5	0	5	0.67	0.33	10	20	0	0.50	0.89
T2	0.6	10	1	0	0.95	1.00	10	0	0	1.00	1.00	10	2	0	0.91	0.91
T2	0.8	10	0	0	1.00	1.00	10	1	0	0.95	1.00	10	3	0	0.87	0.91
T2	1.0	10	0	0	1.00	1.00	10	0	0	1.00	1.00	10	1	0	0.95	1.00
T2	1.2	10	1	0	0.95	1.00	7	0	3	0.82	0.75	10	1	0	0.95	0.57
T2	1.4	10	1	0	0.95	1.00	7	0	3	0.82	0.75	10	2	0	0.91	0.89
T2	1.6	10	3	0	0.87	0.91	5	0	5	0.67	0.33	10	6	0	0.77	1.00

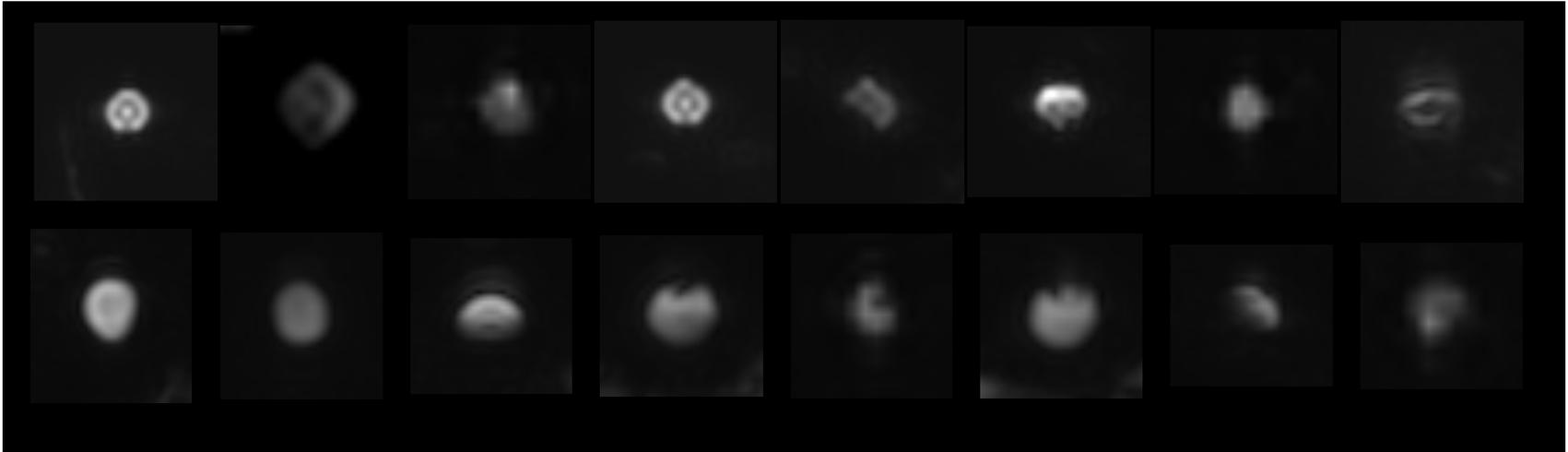
Fazit

Beste Ergebnisse im Test: Methode 3 (CCA-Pipeline)

- Kugeln werden in T1/T2-MRT zuverlässig erkannt
- hohe Genauigkeit der Lokalisierung
- Voxelgröße als limitierender Faktor, >1 mm ungünstig
- Markermodell
 - Effektives Verwerfen von Falschpositiven
 - Richtigpositive können bei sehr ungenauer Lokalisierung verworfen werden

Fazit

- Problematisch bei allen Methoden sind Abschattungen und inhomogene Kugeldarstellungen



Beispiele unterschiedlicher Kugeldarstellungen

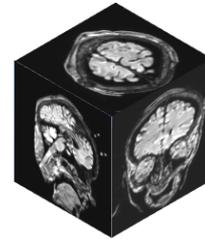
Marker lokalisieren mithilfe neuronaler Netze (NN)

- Anfälligkeit gegenüber Störungen?
- Erkennungsleistung und Genauigkeit im Vergleich zu Methode 1-3?

Mögliche Ansätze

1) Direkte Erkennung und Lokalisierung

- One-pass: YOLO (You Only Look Once), SSD (Single Shot MultiBox Detector)
- Two-pass: 1) Kandidatenregionen suchen, 2) Klassifikation+Filterung
- Typischerweise 2D
- Position einzelner Kugeln vs. Position+Orientierung ganzer Marker

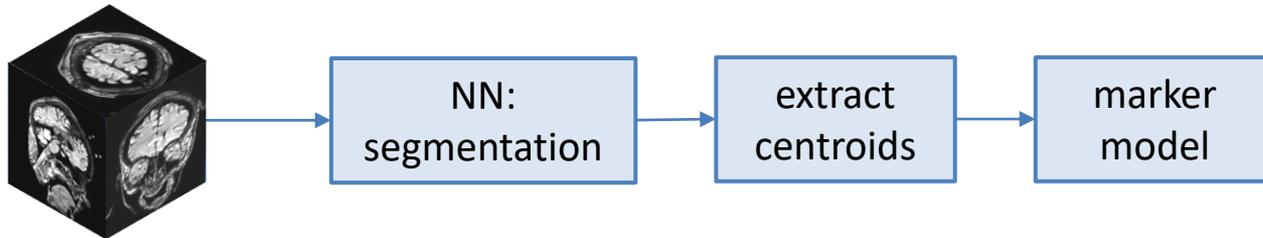


NN: direct
localization

Mögliche Ansätze

2) Segmentierung der Kugeln durch NN (dann Centroids berechnen, Marker Modell)

- Klassifizierung der einzelnen Pixel
- 2D Schichtbildweise: fCNN, speziell Encoder-Decoder-Netze wie U-Net
- 3D Volumetrisch: 3D-U-Net, V-Net
- Pseudo-3D: LSTM-Netze prinzipiell schichtbildweise Segmentierung mit Kontextinfo aus benachbarten Schichten



(NN: neural network, fCNN: fully convolutional neural network, LSTM: Long-Short-Term-Memory)

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Bildquellen

[1] Rajarshi Halder (<https://vimeo.com/150114120>), „Deep brain simulation- a simple animation“, Still image from video
<https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/>