



Reaktive Kollisionsvermeidung in kollaborativen Arbeitsumgebungen

Anas Atmani und Philipp Lüdtke

1. Thema der Projektarbeit
2. Stand der Technik
3. Methodik
 - a) Ansatz
 - b) Übersicht des Hauptprogrammes
 - c) DBSCAN
 - d) Parameterfindung
 - e) Objektverfolgung und Bewegungsvektor
4. Resultate der Laborversuche
 - a) Filtern von statischen Voxel und Messfehler
 - b) Video eines Laborversuchs
 - c) Limitationen
5. Ausblick
6. Quellen



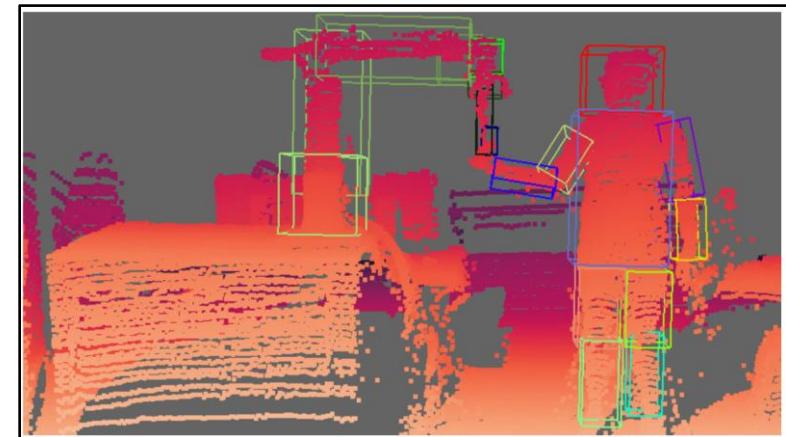
- Verstärkte Zusammenarbeit zwischen Mensch und Maschine
 - Bedarf an erhöhter Sicherheit in Mensch-Maschinen-Kollaborationen
 - Kollisionsvermeidung als zentraler Bestandteil → Objekterkennung und -verfolgung als essenzieller erster Schritt

Ziel der Projektarbeit: Mithilfe eines zuvor entwickelten Sensorring Objekte zu erkennen, diese über die Zeit zu verfolgen und grobe Bewegungsgeschwindigkeiten sowie -richtungen zu ermitteln.

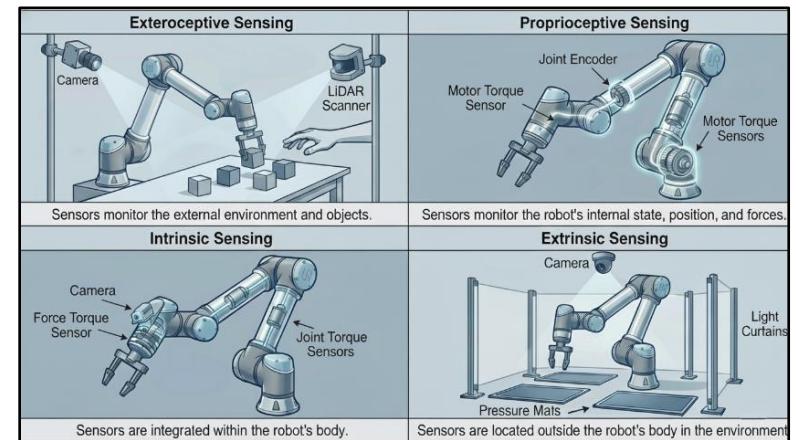


Inklusiver Arbeitsplatz [Next Generation]

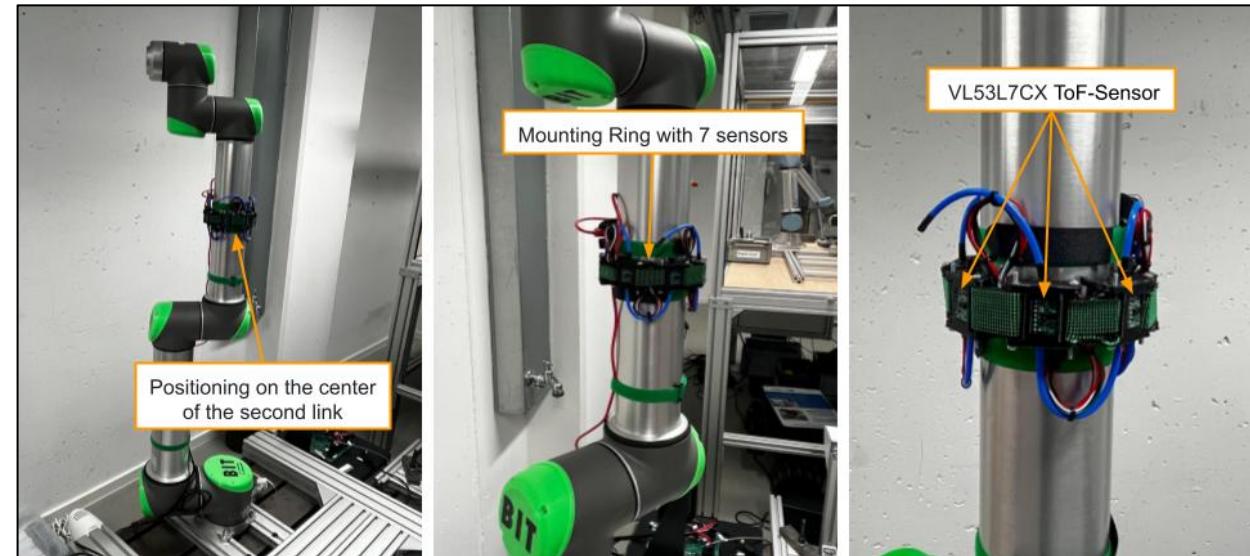
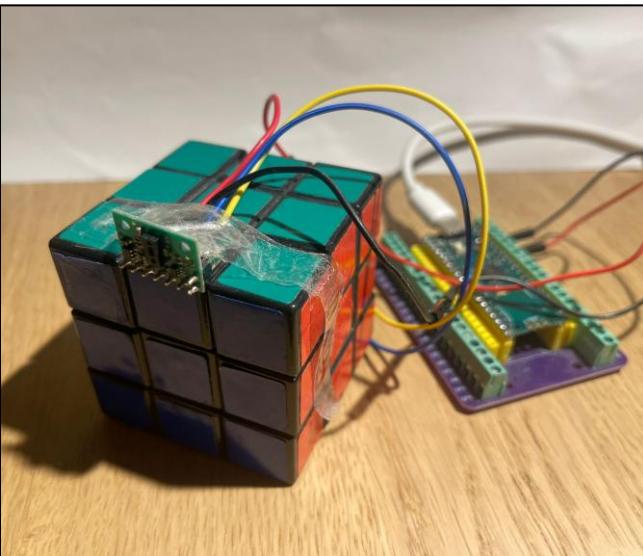
- Trend: Kollisionserkennung → Compliance Control → Proximity Sensing
 - Fokus auf KI-basierte Lösungen (RL, VLMs, usw.), teure extrinsische Sensorkonfigurationen (3D-LiDARs, Sensor Fusion, usw.)
 - Vorteile einer intrinsischen Sensorik: Reduzierterer Kalibrierungsaufwand, Datenrepräsentationskomplexität sowie eine breitere Anwendung
 - Vorteile von ToF-Sensoren: Kompakte Bauform, geringe Kosten, hohe Bildwiederholrate und robuste Tiefeninformation
- **Forschungslücke:** Anwendung von Clustering-Algorithmen im gefiltertem, schwach besetztem Voxelraum für Echtzeitobjektverfolgung in Mensch-Maschinen-Kollaboration



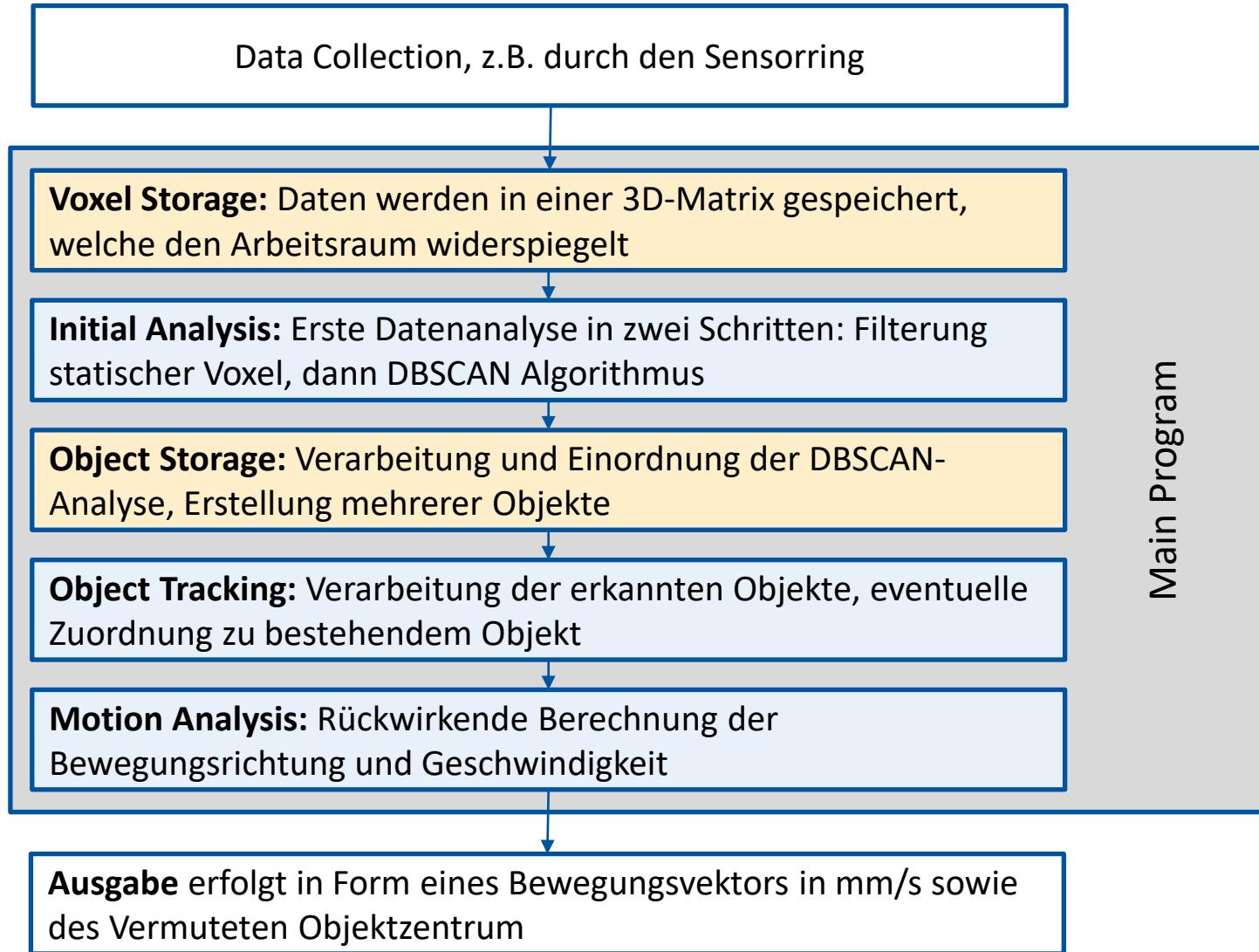
ABiD-Datensatz: Segmentierte 3D-Punktwolke, basierend auf RGB- und Tiefendaten mit Bounding-Box-Tracking [Katrakis et al. 2025]



- Zunächst Ausarbeitung eines Prototyp-Programms an einem einzelnen statischen Sensor
- Anwendung des Prototyp-Programms auf den Sensorring im Laborversuch
- Ausarbeitung des Hauptprogramms mittels Prototyp und Realtest-Ergebnissen

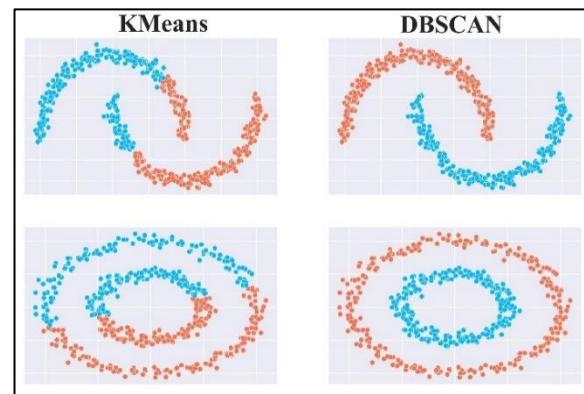


Methodik: Übersicht des Hauptprogramms



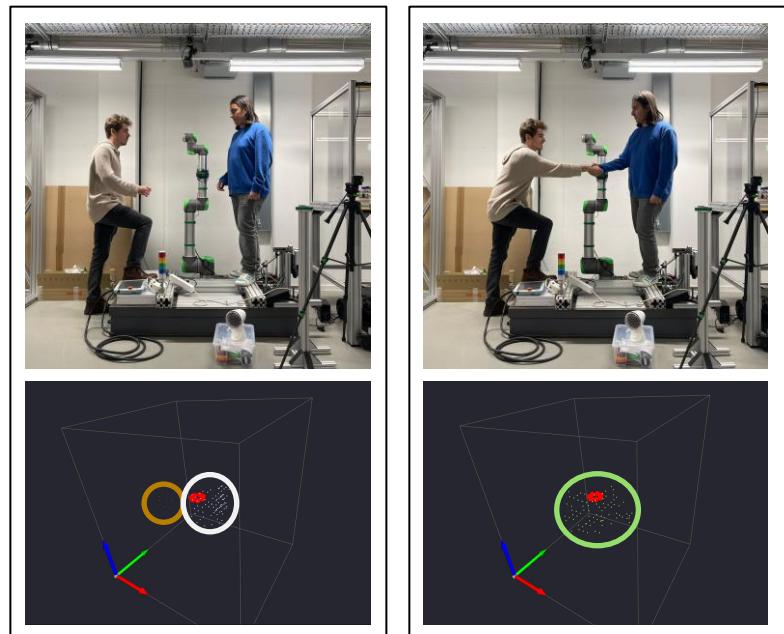
Wie funktioniert DBSCAN?

- DBSCAN gruppiert (clustering) Punkte über ihre relativen Positionen und Abstände
- Definiert über die Parameter *eps* (Maximaler Abstand zwischen Punkten) und *min_samples* (Minimale Anzahl an Punkten pro Cluster)



Was sind die Vorteile von DBSCAN?

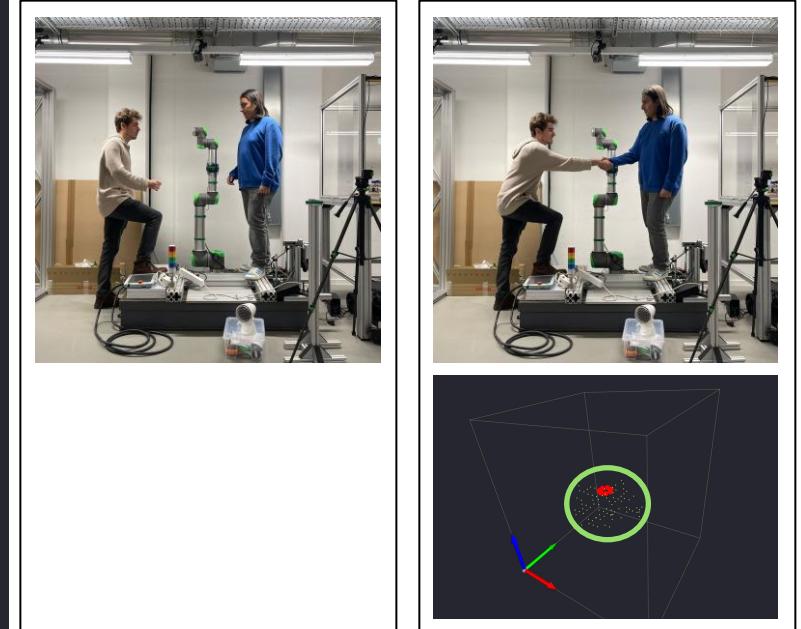
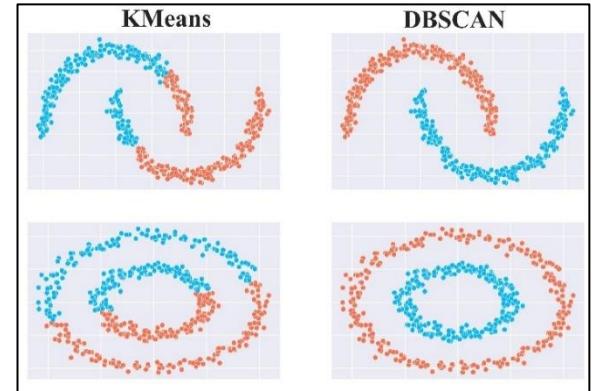
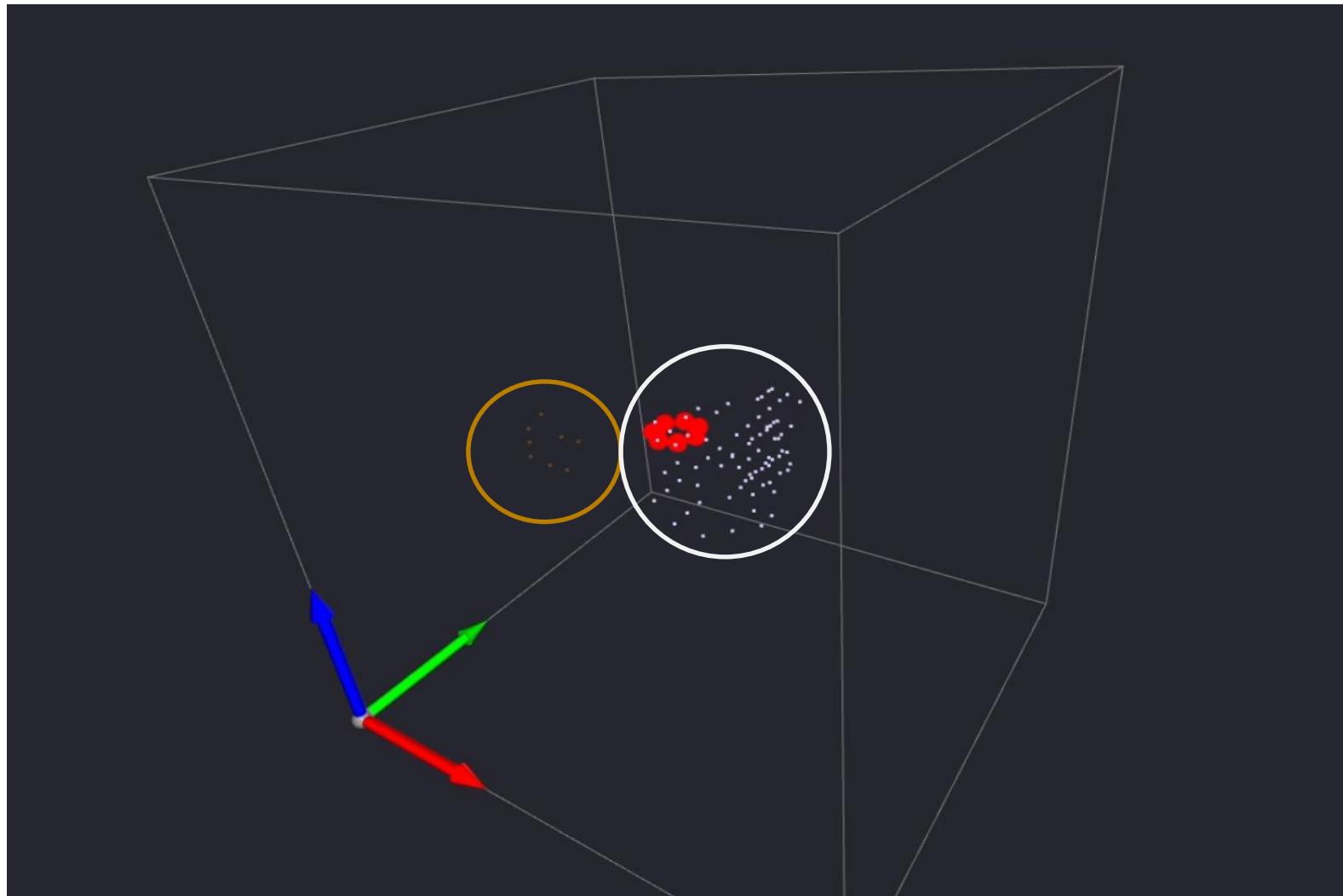
- Simpelster Algorithmus zur Erkennung komplexer Geometrien
- Performance bleibt bei großen Datenmengen konstant gut
- Liefert konsistente und reproduzierbare Ergebnisse



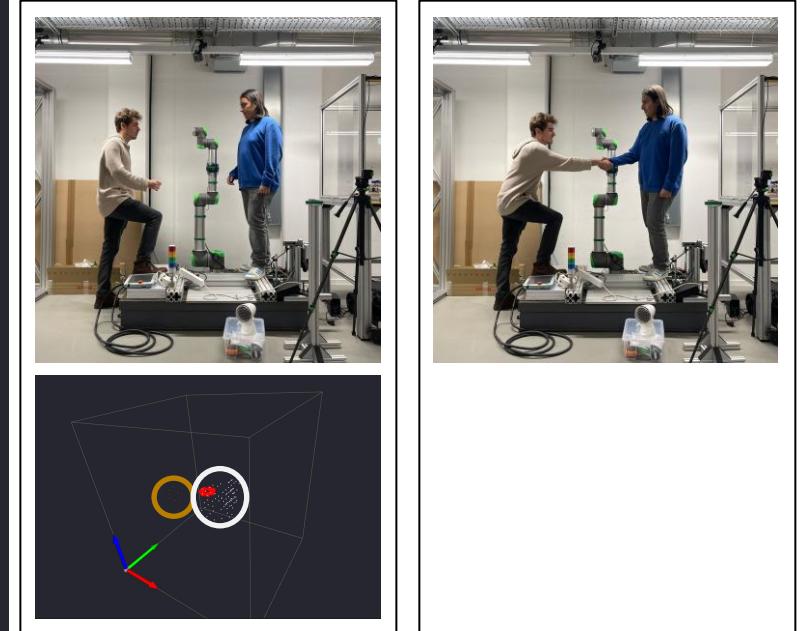
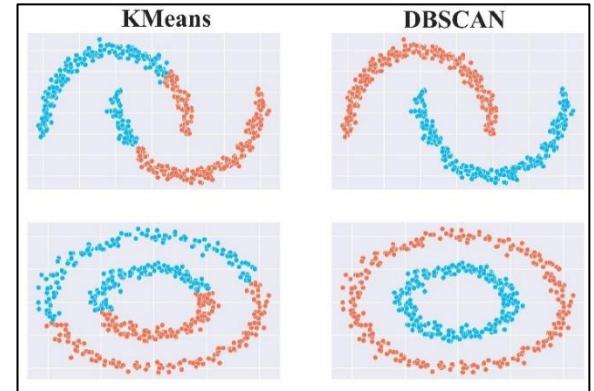
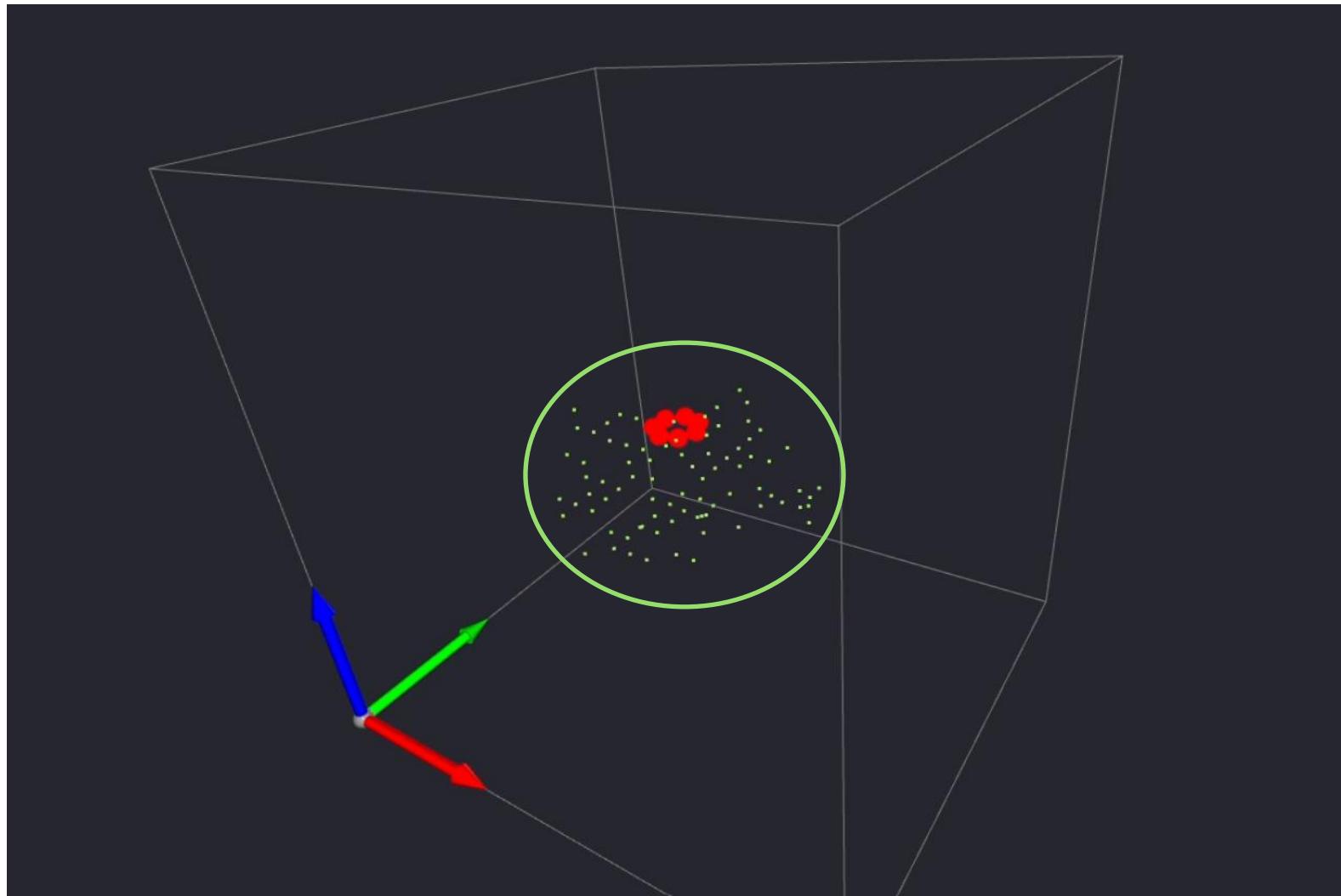
Welche Nachteile ergeben sich durch DBSCAN?

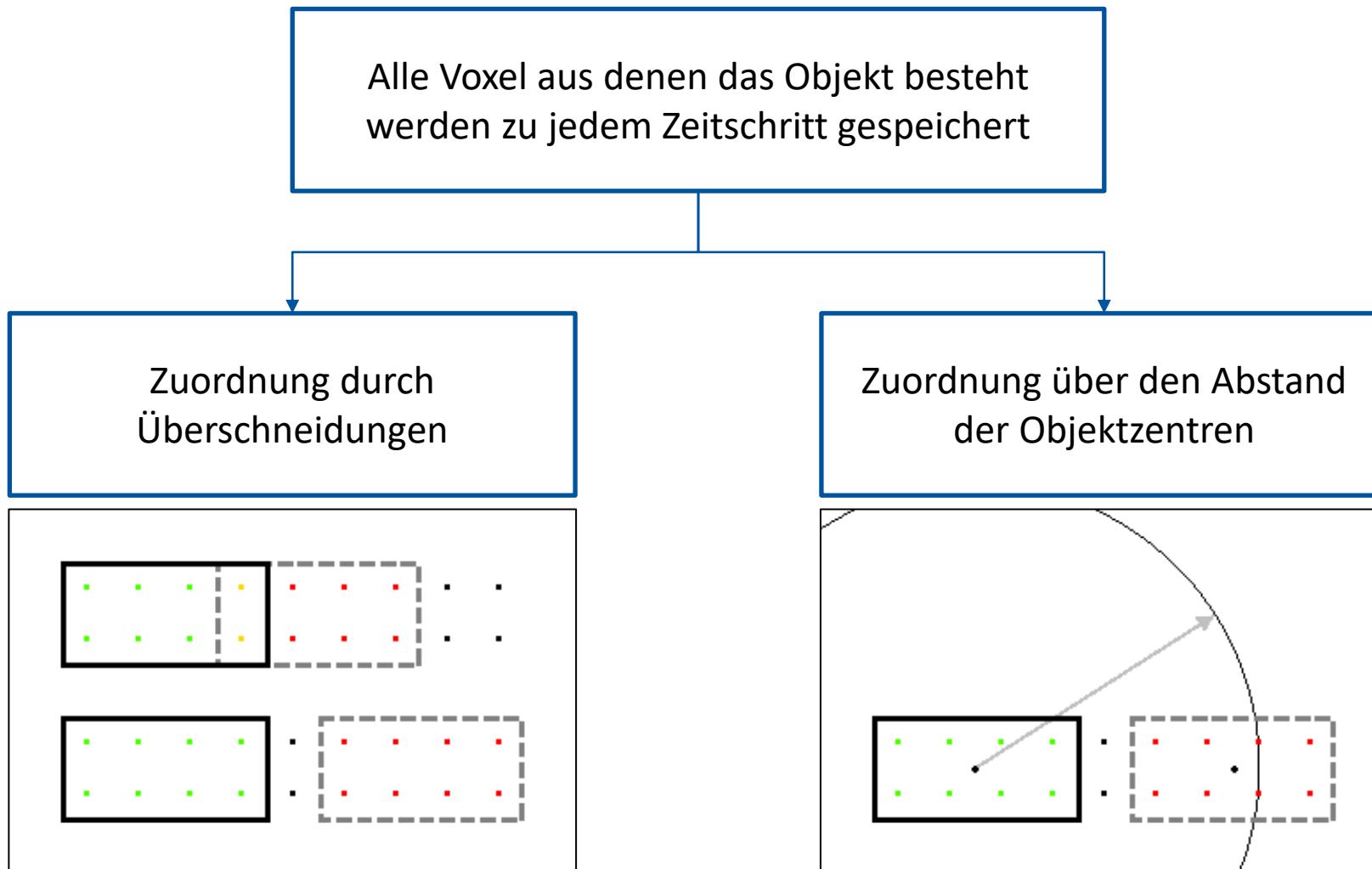
- Zusammenfassen (merging) von Objekten, welche sich zu nahe kommen (durch Voxel verstärkt)
- Geringe Anpassungsfähigkeit (nur zwei Parameter)

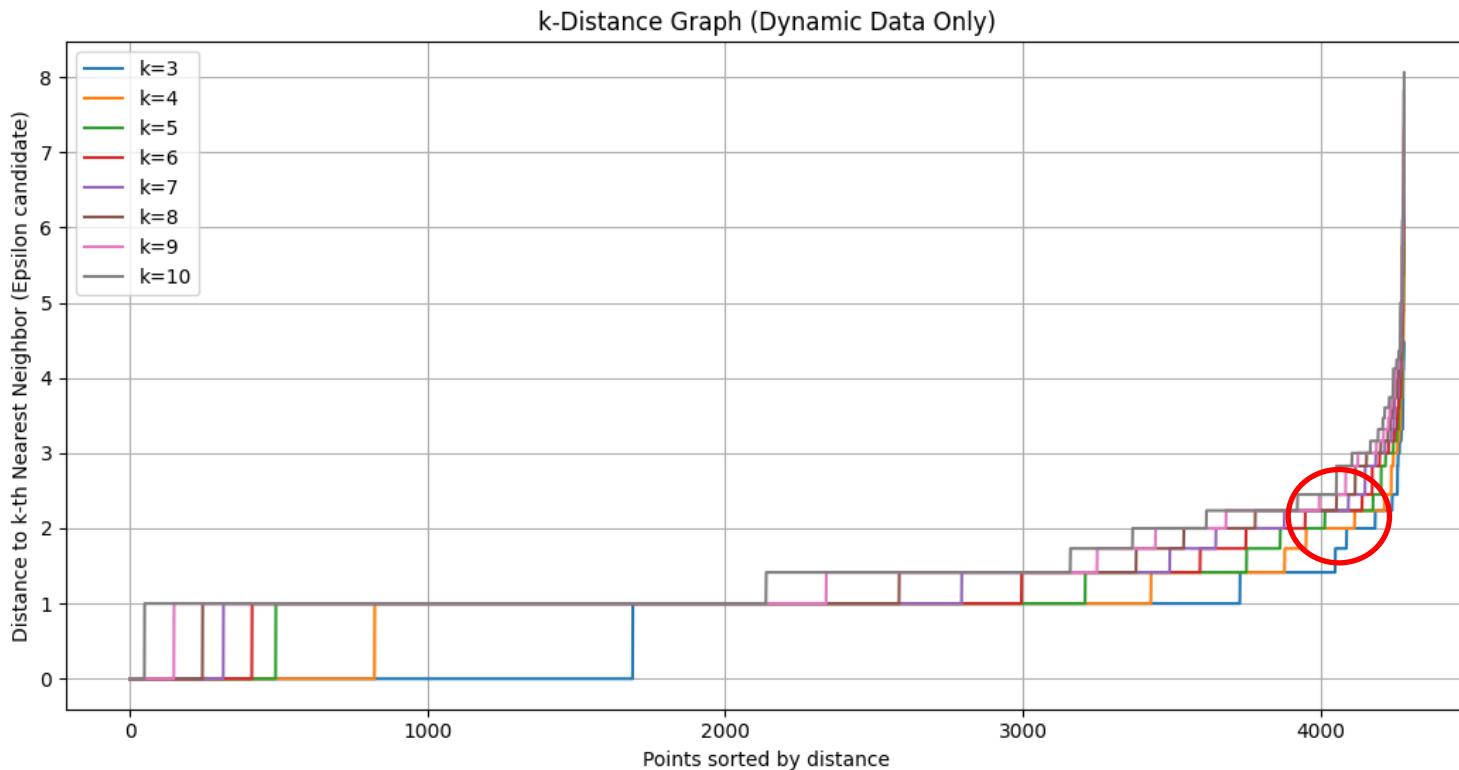
Methodik: DBSCAN



Methodik: DBSCAN





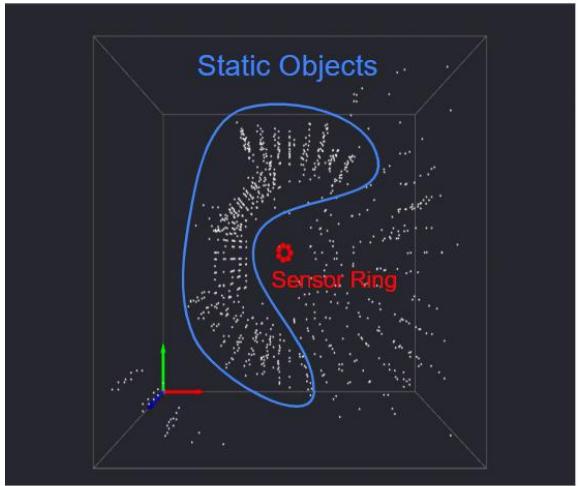


- Quantisierung durch Voxel-Diskretisierung erzeugt ausgedehnte Plateaus im Graphen
 - Erhöhte min_samples sorgen für zusätzliche aggressive Filterung in bereits schwach besetztem Voxelraum
 - Empfohlene Wahl von ϵ : Nahe und vor dem Sprung, um abrupte und signifikante Unterschiede im Clustering zu vermeiden
- Optimale Parameterwerte für DBSCAN in unserer Versuchskonfiguration: $\epsilon = 2$, min_samples = 8
(Entspricht 10 cm Abstände zwischen den Punkten, 8 Punkte je Objekt)

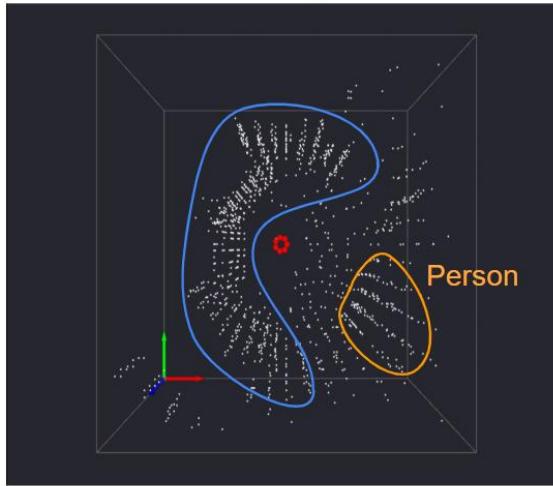
Resultate der Laborversuche: Filtern von statischen Voxel und beständige Messfehler

Draufsicht

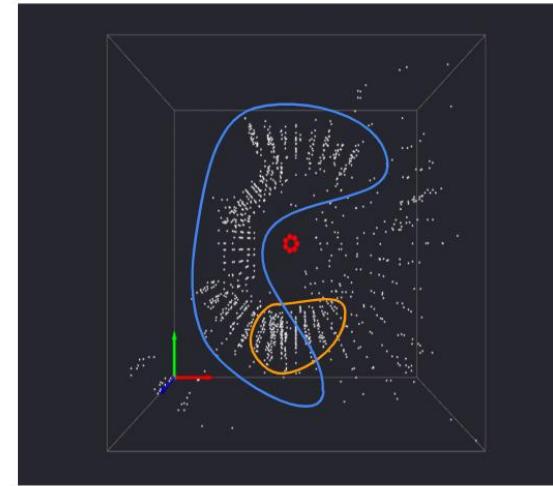
$t = 0$



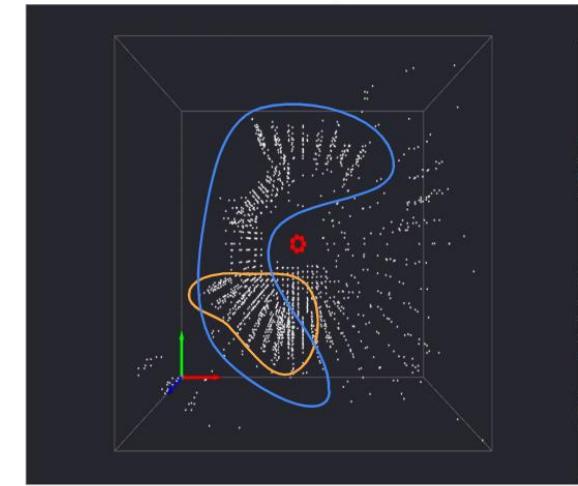
$t = t_1$



$t = t_2$



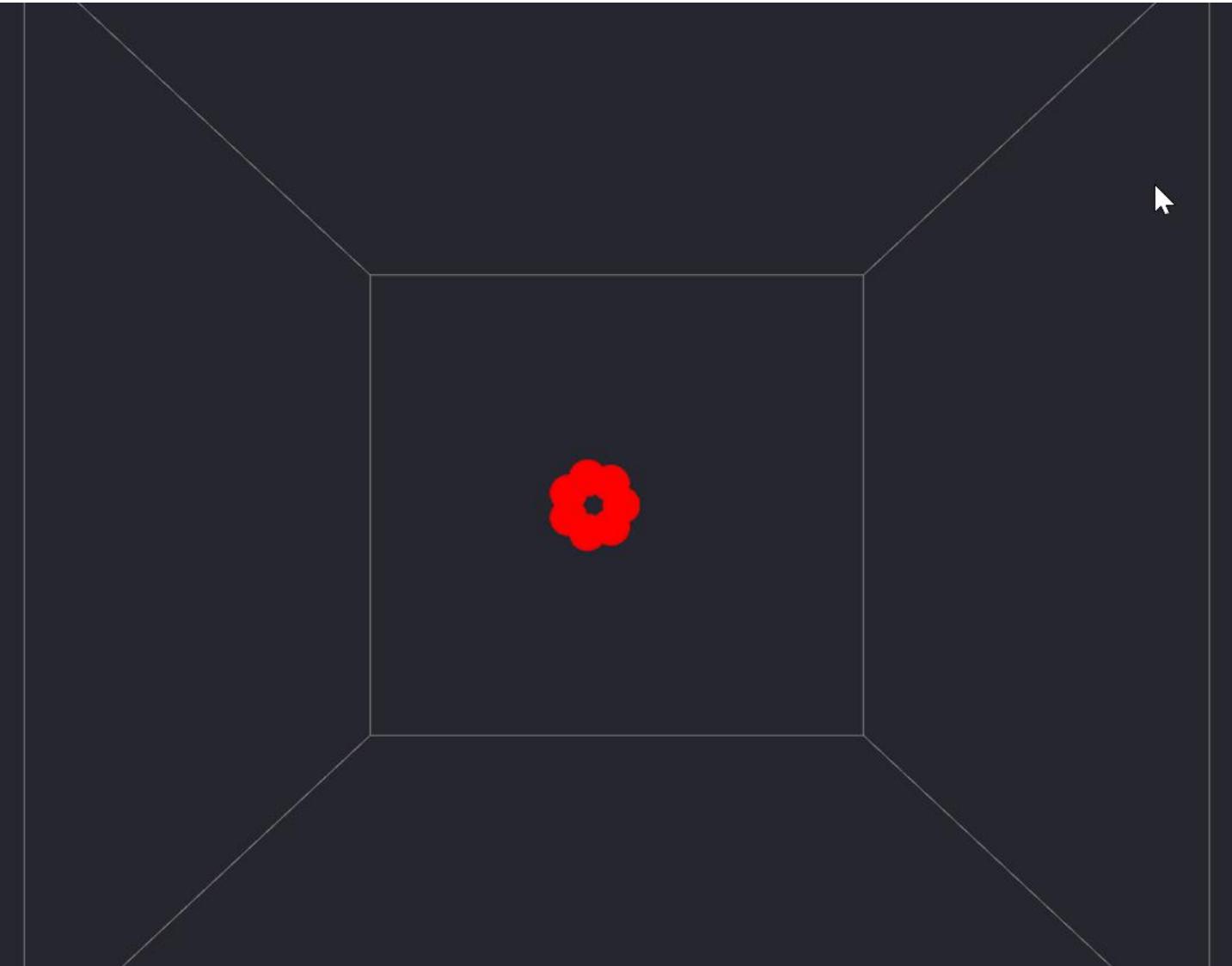
$t = t_3$



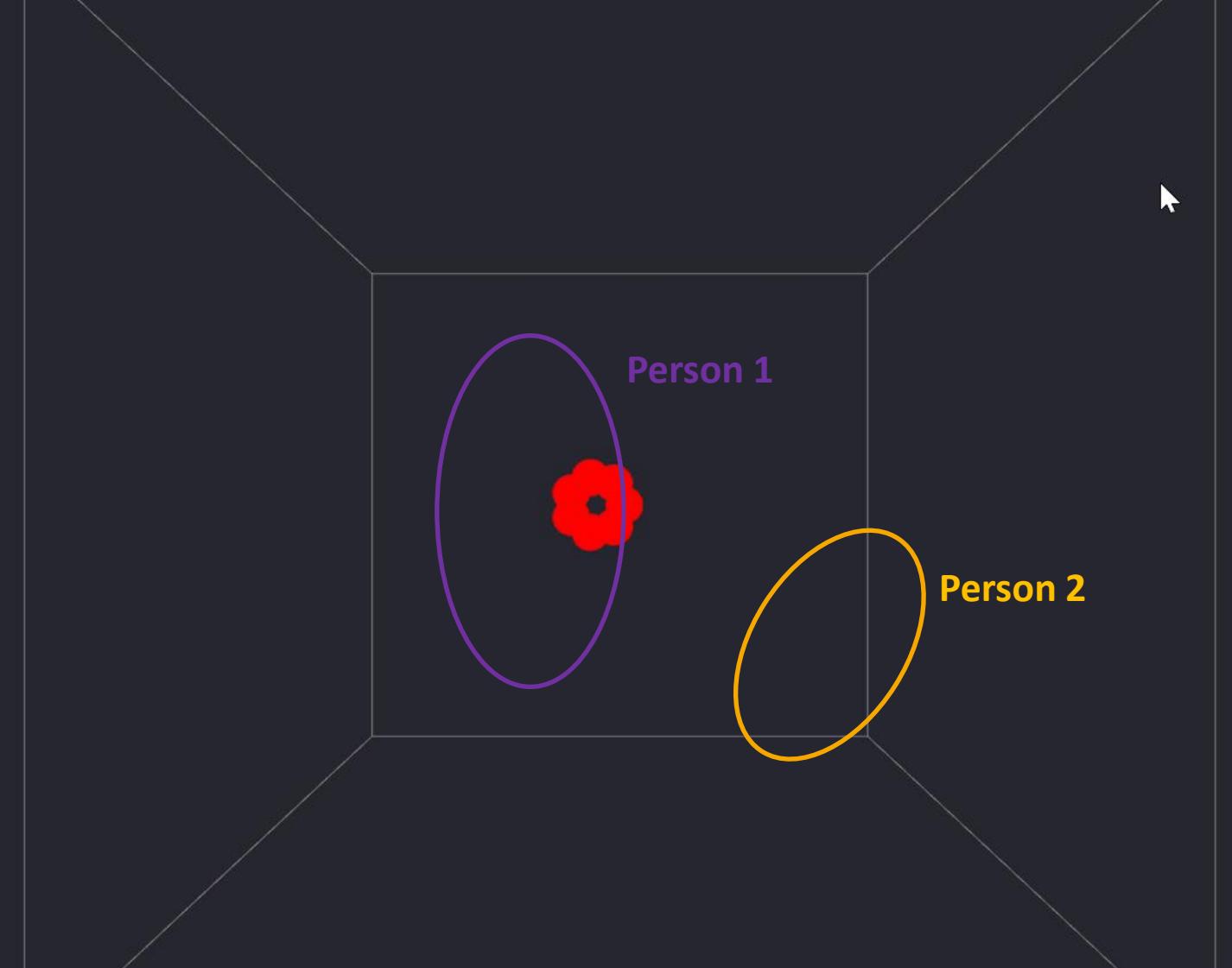
Vordersicht



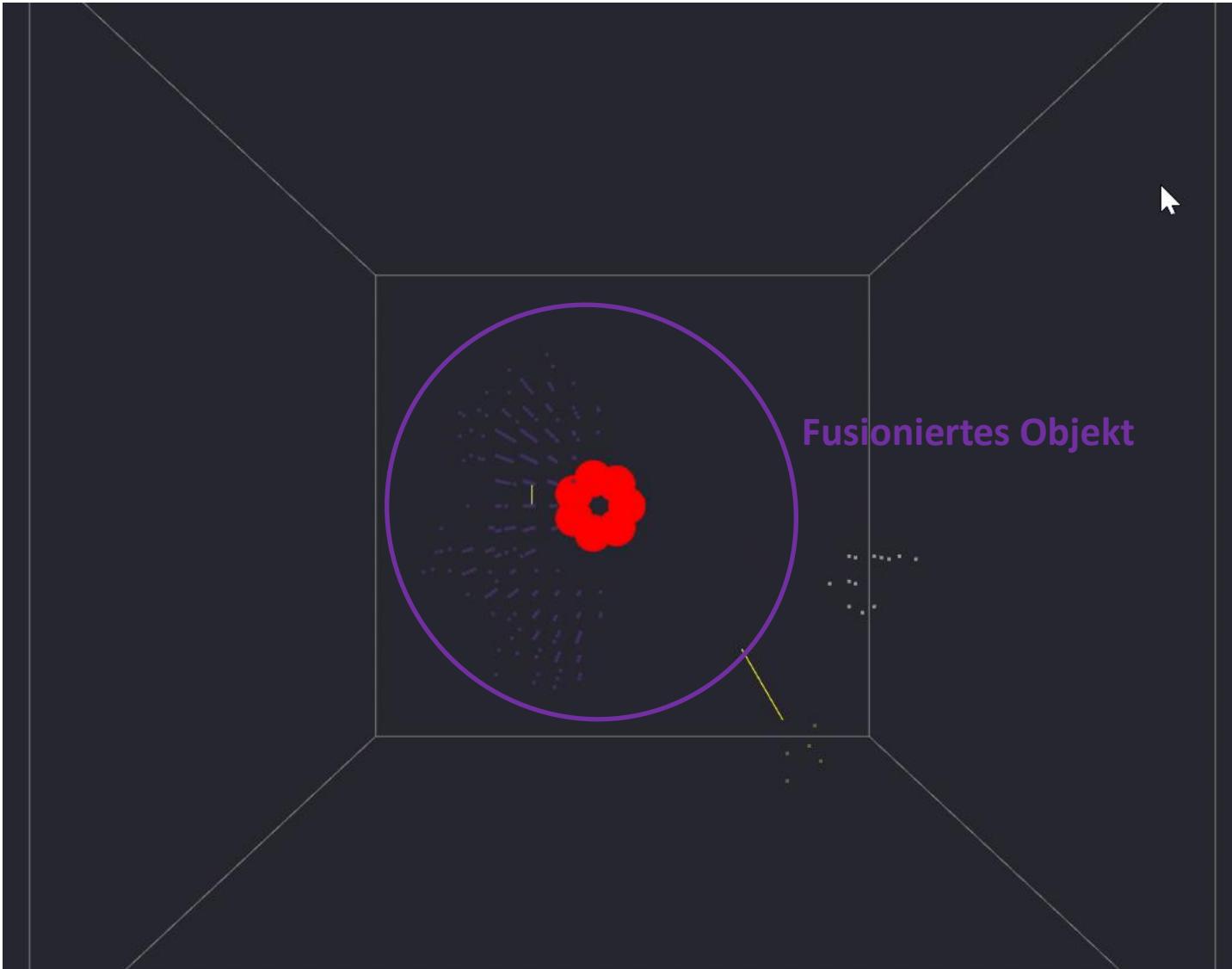
Resultate der Laborversuche: Video eines Realversuchs



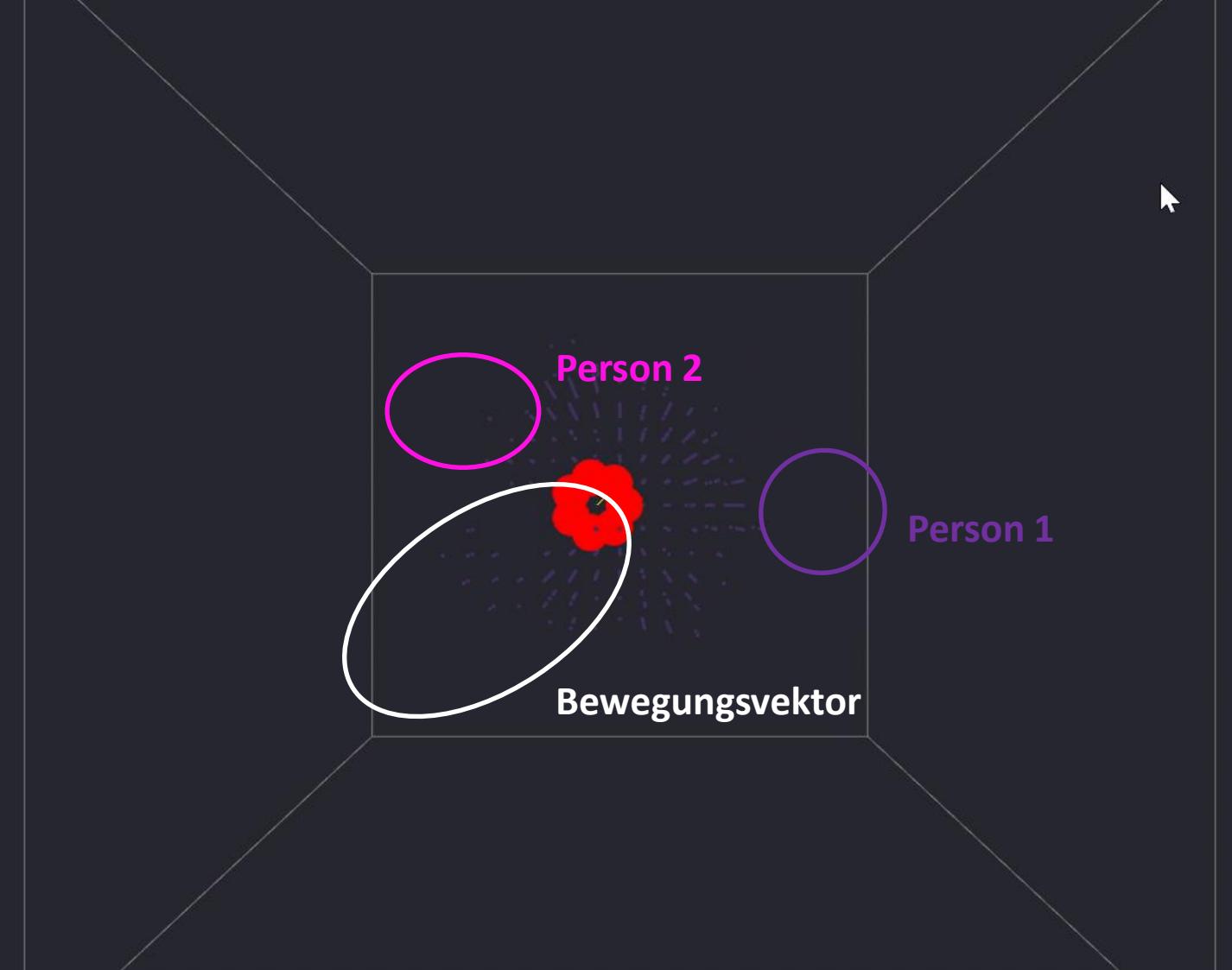
Resultate der Laborversuche: Video eines Realversuchs



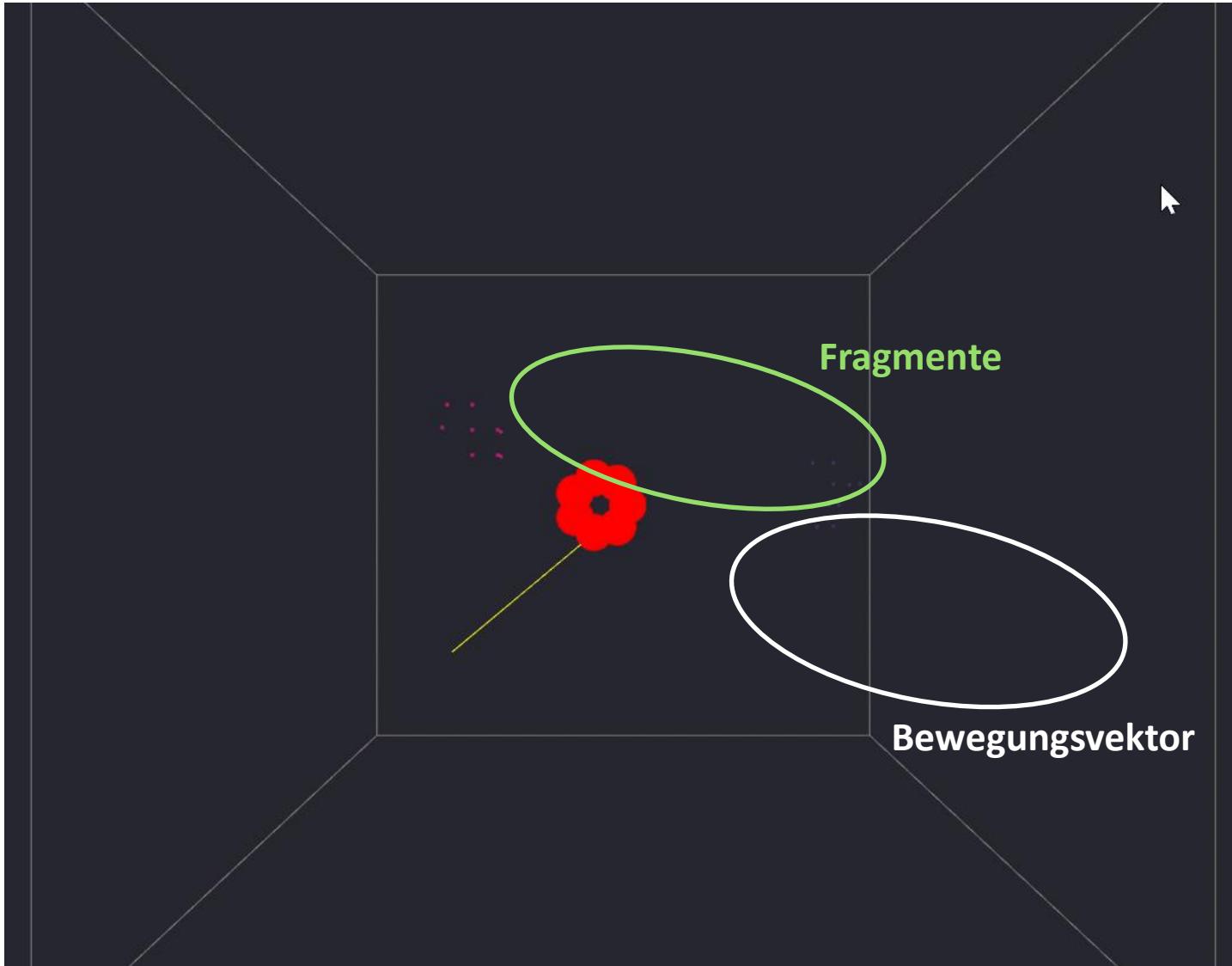
Resultate der Laborversuche: Video eines Realversuchs



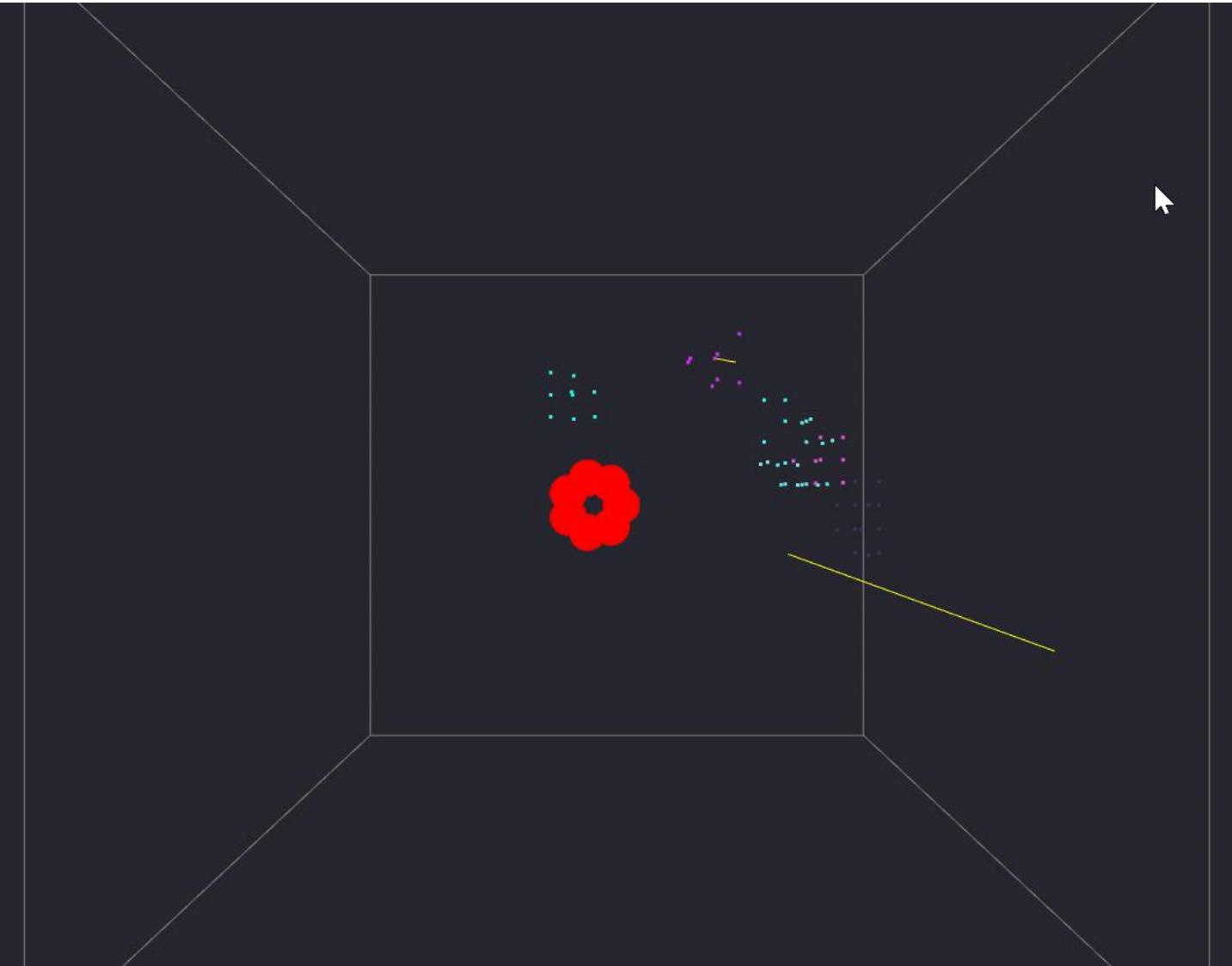
Resultate der Laborversuche: Video eines Realversuchs



Resultate der Laborversuche: Video eines Realversuchs

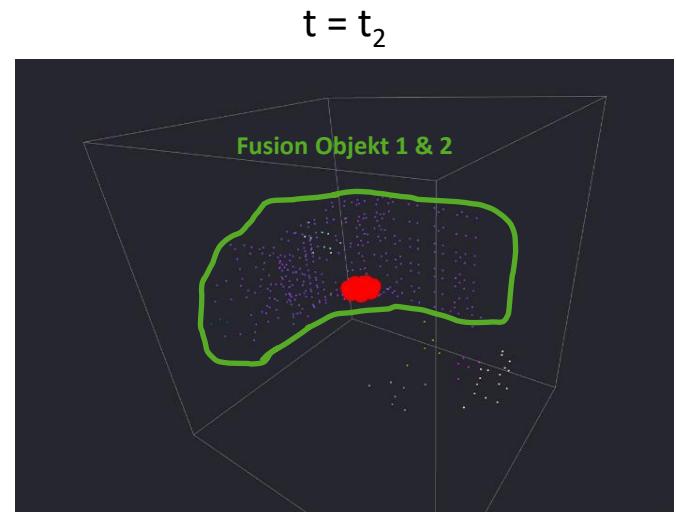
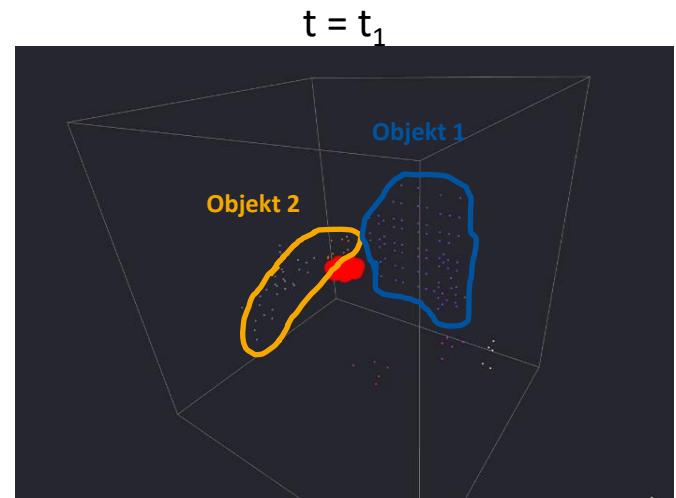


Resultate der Laborversuche: Video eines Realversuchs

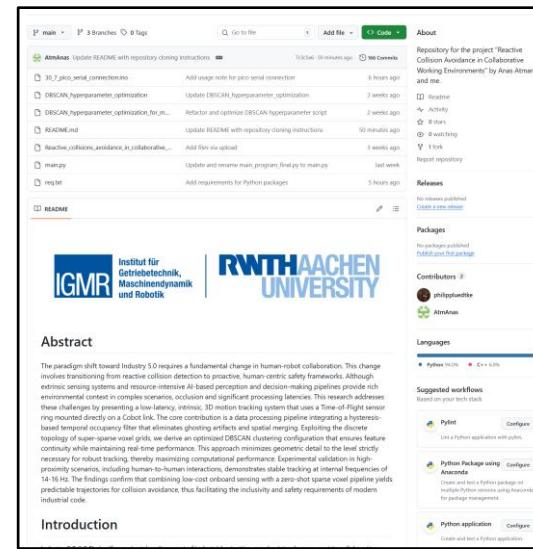
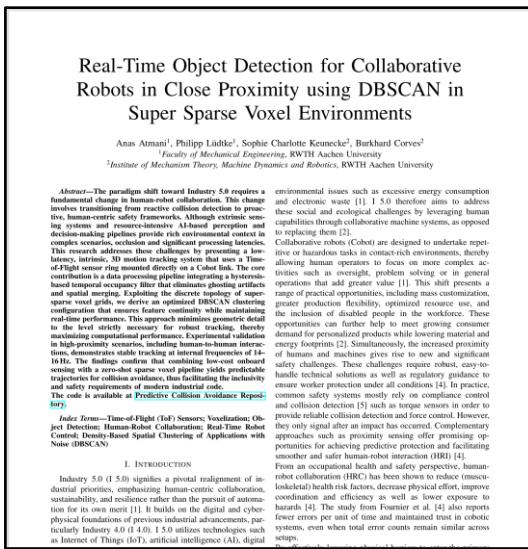


Resultate der Laborversuche: Limitationen

- Optimierung auf Arbeitsbereich unterhalb eines Meters
 - Datenqualität nimmt aufgrund der Sensorphysik mit der Distanz ab
- Schnellbewegende Objekte verursachen Ausdehnungsartefakte
- Unterrepräsentierung von Objektmerkmalen zugunsten von geringen Latenzzeiten
- Starke Abhängigkeit zwischen DBSCAN-Clustering und Bewegungsvektorberechnung
 - Verfälschtes Clustering → Verfälschte Trajektorienberechnung



- Verbesserung der Clustering-Genauigkeit durch erhöhten Datenzufluss
 - Programm mit mehreren Sensoren oder Sensorringe testen
- Verbesserung der Datenstrukturen
 - DichteVerteilung der Punkte sowie Parameteroptimierung dynamisch in Datenstruktur intergiert (z.B. Quadtree)
- Verbesserung der Trennung sowie Verfolgung der Objekte
 - Separate Speicherung erkannter Objekte zur Erstellung von Bewegungs- sowie Belegungshistorie



GitHub & Paper



- <https://blog.dailydoseofds.com/p/hdbscan-vs-dbscan>
- <https://ieeexplore.ieee.org/document/9302892>
- <https://arxiv.labs.arxiv.org/html/2012.00987>
- [Dynamic Risk Assessment for Human-Robot Collaboration Using a Heuristics-based Approach](#)
- [Next Generation | Startseite](#)

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Kontakt:

Institut für Getriebetechnik, Maschinendynamik und Robotik

RWTH Aachen

Eilfschornsteinstraße 18

52062 Aachen

(+49)-241 80-95546

mbox@igmr.rwth-aachen.de

www.igmr.rwth-aachen.de

