

# Automation der Anlagenvermessung – Potenziale und Anwendungsmöglichkeiten von KI und UAS

Lukas Hart

# Workflow Industrieisolierung



Ausgangszustand



Isolierte Rohrleitung



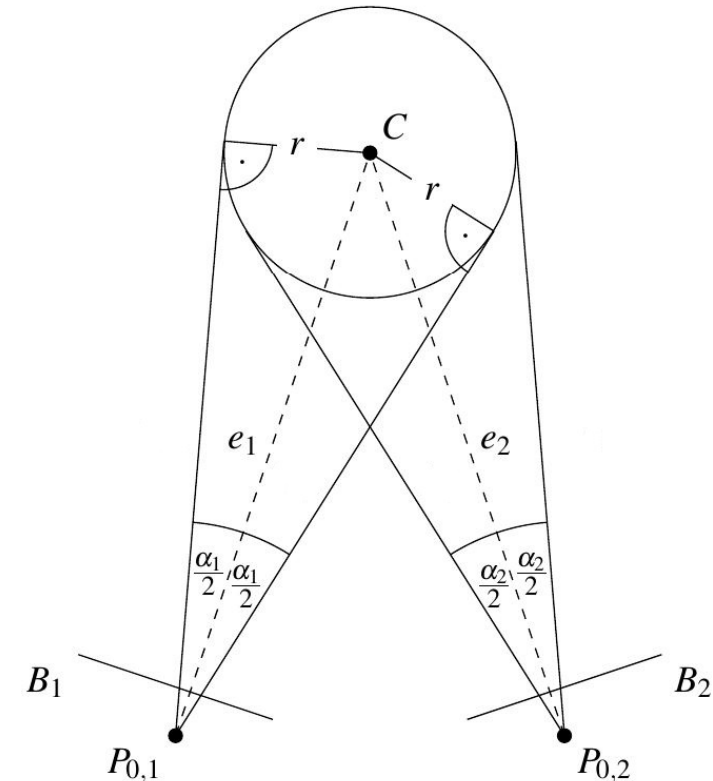
Blechhülle zum Schutz  
der Dämmung

# Motivation

- Fertigung der Blechhülle erfordert Aufmaß der Rohrgeometrie
- Aktuell: händisches Aufmaß
- Bestehende Lösungen (TLS) ungeeignet:
  - Hohe Hardwarekosten für Laserscanner
  - Problematisch bei spiegelnden Oberflächen
  - Auswertung erfordert verschiedene Softwarepakete
    - teuer
    - komplex
    - wenig automatisiert

# Stand der Technik: Photogrammetrische Rohrrekonstruktion

- Kantenbasierte photogrammetrische Rohrrekonstruktion  
Jones u. a. (1996), Hilgers u. a. (1998), Veldhuis und Vosselman (1998), Burger (1999), Chapman (2004), Navab (2004)
- Bildbasiertes Ausgleichungsverfahren für Rohre  
Ermes und van den Heuvel (1998), Ermes und Vosselman (1999), Tangelder u. a. (1999), Tangelder u. a. (2003)
- UAS-basierte Rohrleitungsrekonstruktion (in Kombination mit LIDAR)  
Guerra u. a. (2018)
- Automatisierte Rekonstruktion mittels Deep Learning (z.T. in Kombination mit LIDAR)  
Guerra u. a. (2020), Wang u. a. (2022), Hart u. a. (2023)



Berechnungsprinzip nach Navab (2004)

# Mess- & Auswertekonzept

- Befliegung mit UAS
- Automation durch Objekterkennung
- Simultane Orientierung & Rekonstruktion über Rohrkanten
- Verzicht auf 3D-Passpunkte

# Objekterkennung mittels Instanzsegmentierung

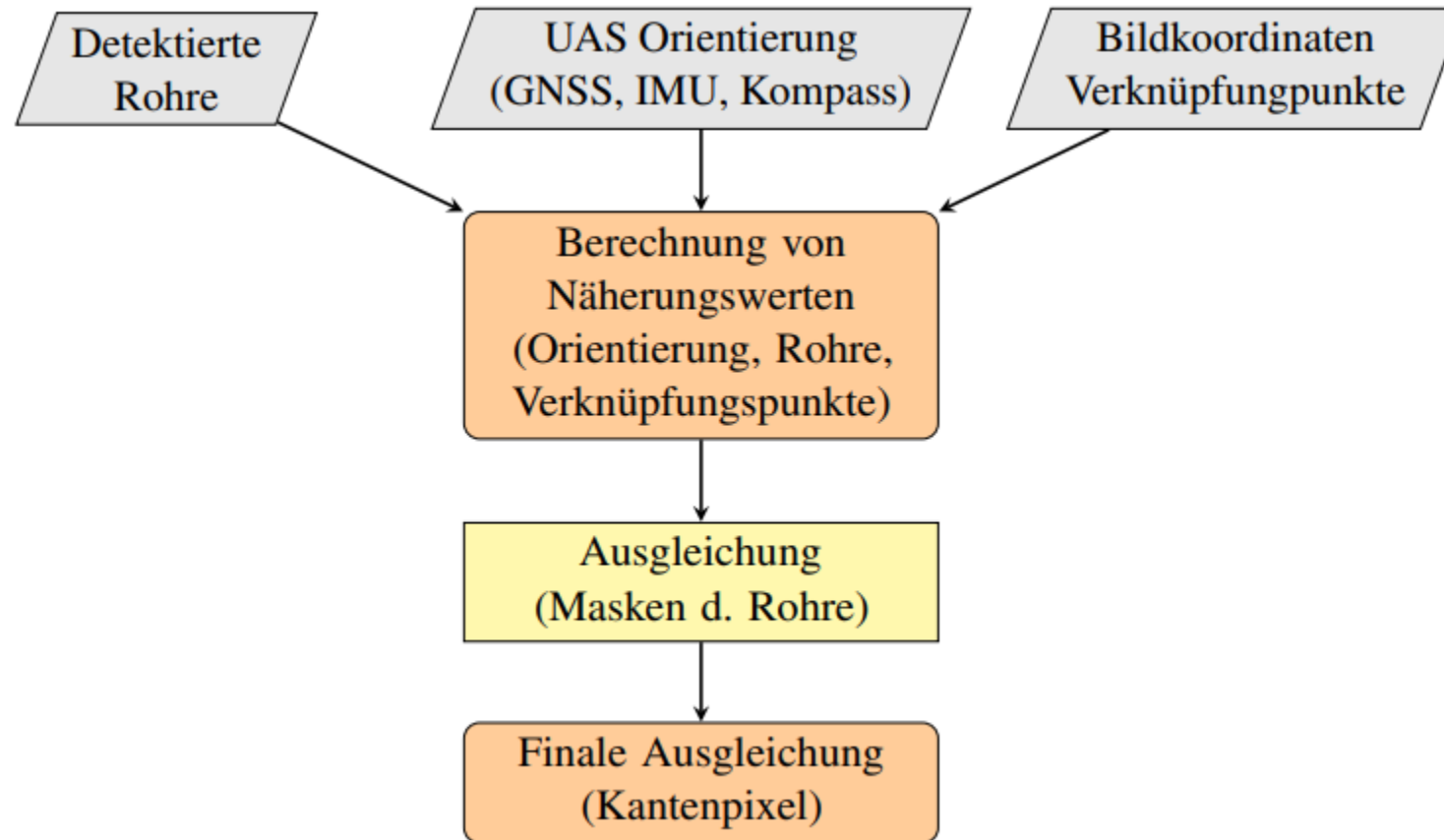
- Verwendung von Mask R-CNN zur Rohrerkennung
- Training mit ca. 900 Bildern
- Erkennungsrate (AP): 38,9%



# Ausgleichungsansatz

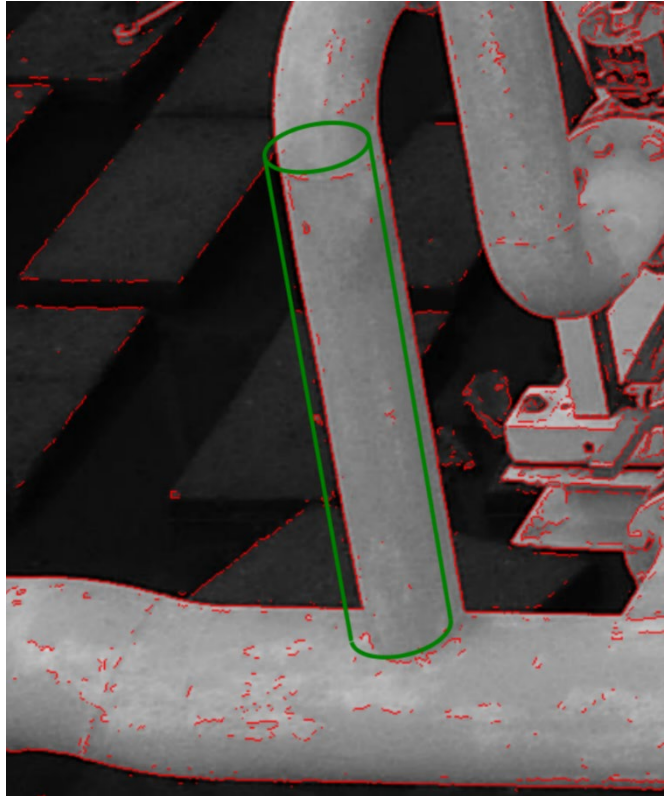
- Beobachtungen
  - Distanzen im Bild zwischen der Projektion & den Kantenpixeln
  - Bildkoordinaten der Verknüpfungspunkte
  - Strecke zwischen den 3D-Verknüpfungspunkten (Maßstab)
- Unbekannte:
  - Rohrparameter (Position, Orientierung, Durchmesser)
  - Kameraorientierung (Position, Rotation)
  - 3D-Koordinaten der Verknüpfungspunkte

# Workflow der Berechnung

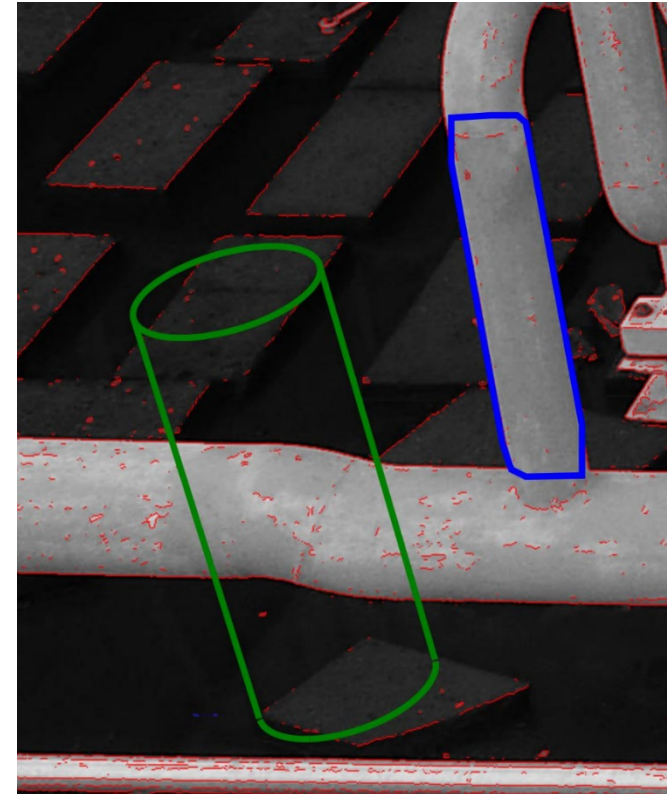




# Distanzbeobachtungen bei schlechten Startwerten



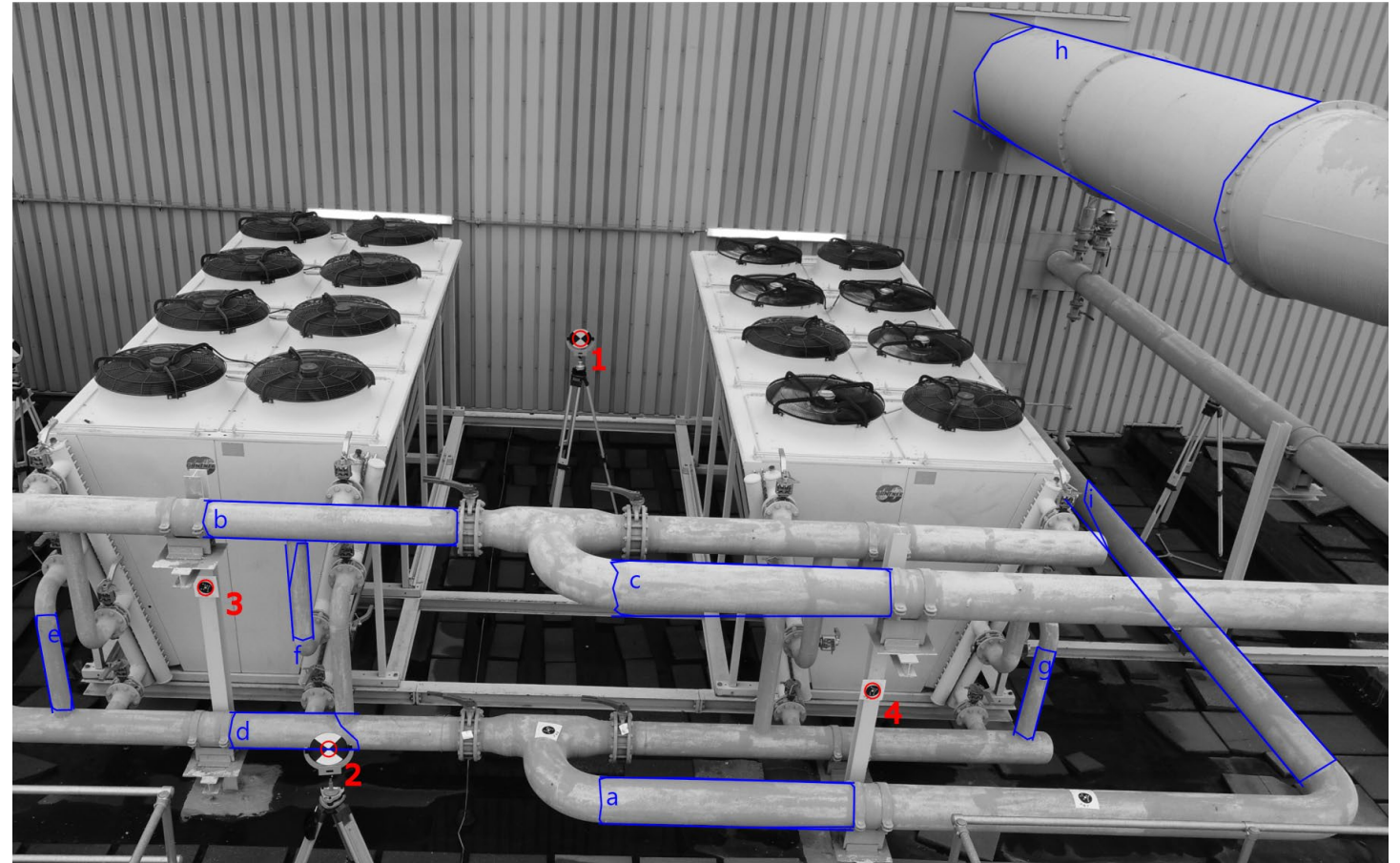
Distanzbeobachtung zu Kanten-  
pixeln in der Nachbarschaft



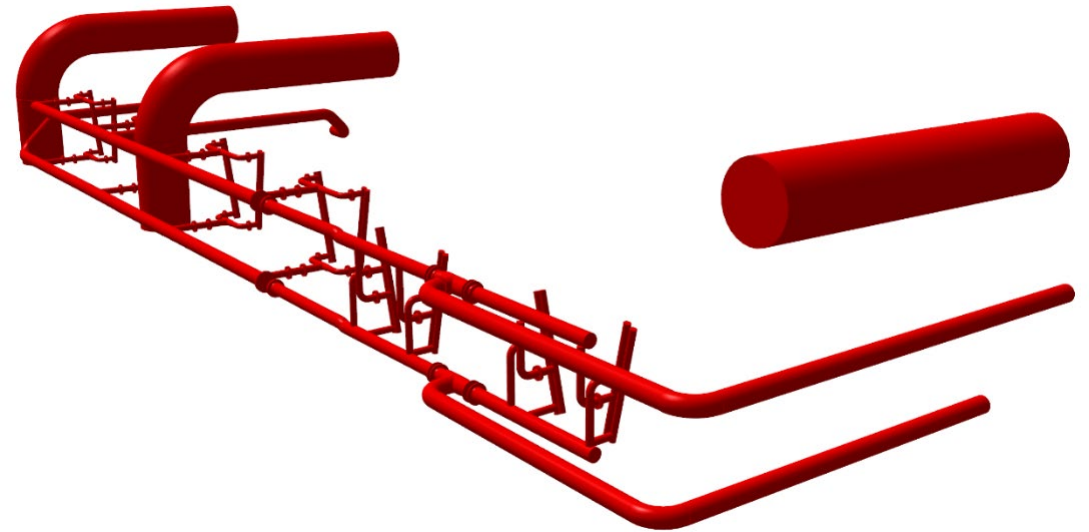
Nachbarschaft durch schlechte  
Startwerte nicht gegeben

# Feldversuch im Müllheizkraftwerk Würzburg

- Befliegung mit DJI Inspire 2 & Zenmuse X4S
- Berechnung über:
  - 3 bzw. 8 Bildern
  - 9 Rohre
  - 2 Verknüpfungspunkte (3 & 4)



# Rekonstruierte Rohrleitungen im Müllheizkraftwerk





# Genauigkeit der Orientierung (Müllheizkraftwerk)

		$\sigma_{Pictran}$	$\Delta$ (3 Bilder)	$\Delta$ (8 Bilder)
Projektions- zentrum	RMS [mm]	5,2	12,5	9,2
	Max. [mm]	6,1	29	23,8
Rotation	RMS [°]	0,03	0,06	0,04
	Max. [°]	0,05	0,23	0,10

Abweichungen  $\Delta$  in der Orientierung gegenüber der Pictran-Berechnung über Passpunkte

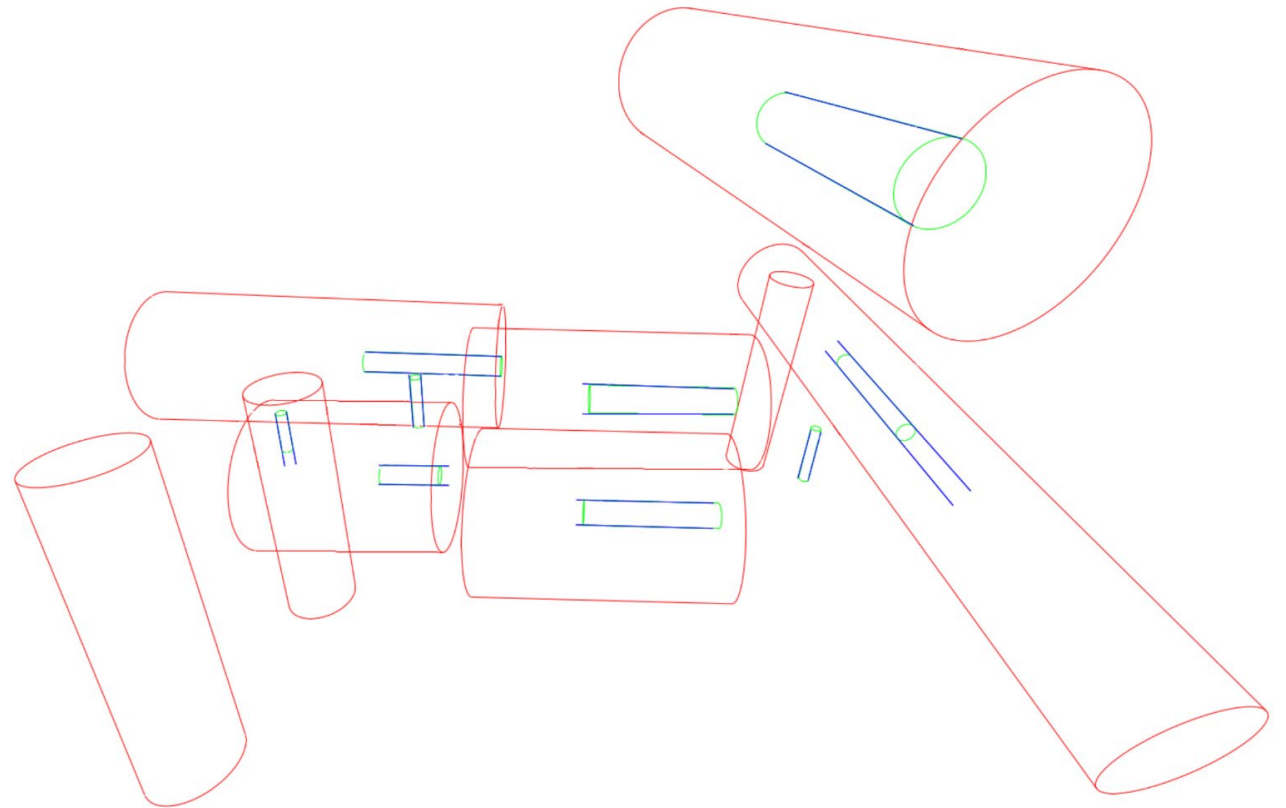
# Robustheit gegenüber den Näherungswerten

## Erforderliche Qualität

- Der Projektionszentren: ca. 80cm
- Der Drehwinkel: ca. 5°

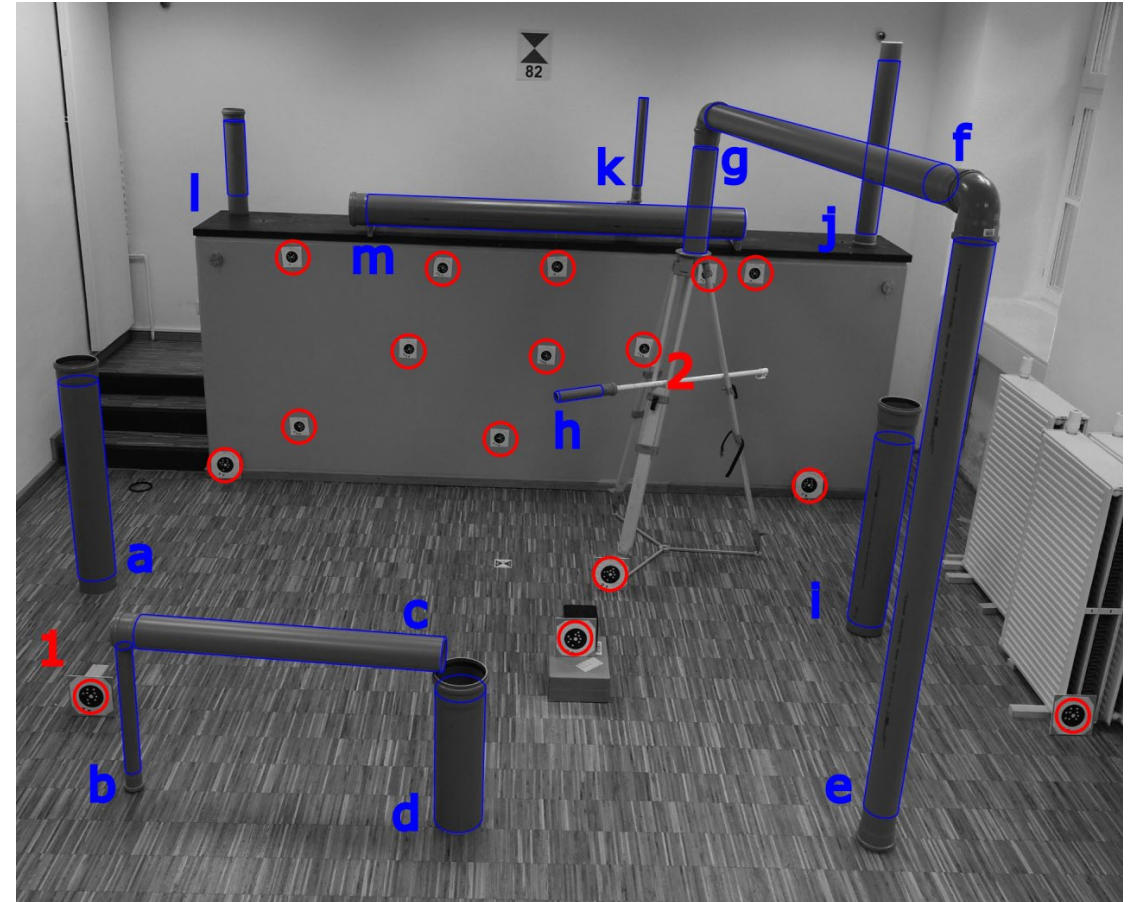
→ Orientierungsdaten des UAS ausreichend

→ RTK nicht zwingend notwendig



# Genauigkeitsuntersuchung im Labor

- Rekonstruktion über drei Aufnahmen der DJI Inspire 2 & Zenmuse X4S
- Vergleichsmessung mit Lasertracker Leica AT960 und T-Scan
- Transformation der Rekonstruktion über Passpunkte



# Genauigkeit der Rekonstruktion (Labor)

	Pictran	Rohre (alle)	Rohre (Auswahl)	Rohre (man. Kanten)
RMS [mm]	1,9	5,8	3,7	2,3
Max. [mm]	3,6	9,0	5,6	4,6

3D-Abweichungen der rekonstruierten Rohre zur Referenzgeometrie  
für verschiedene Orientierungsverfahren

# Fazit

- Genauigkeit der Rekonstruktion von der Qualität der Kanten abhängig
- Verbesserungspotenzial bei der Objekterkennung vorhanden
- Für Genauigkeiten  $< 5\text{mm}$ : Orientierung über Passpunkte
- Verzicht auf Verknüpfungspunkte bei der Verwendung von RTK-GNSS?