

3D-Rekonstruktion von Kanalschächten aus Videosequenzen

Dipl. Inf. Sandro Esquivel
Prof. Dr.-Ing. Reinhard Koch

Arbeitsgruppe Multimediale Informationsverarbeitung
Christian-Albrechts-Universität Kiel

Heino Rehse

IBAK Helmut Hunger GmbH & Co. KG, Kiel

Gliederung

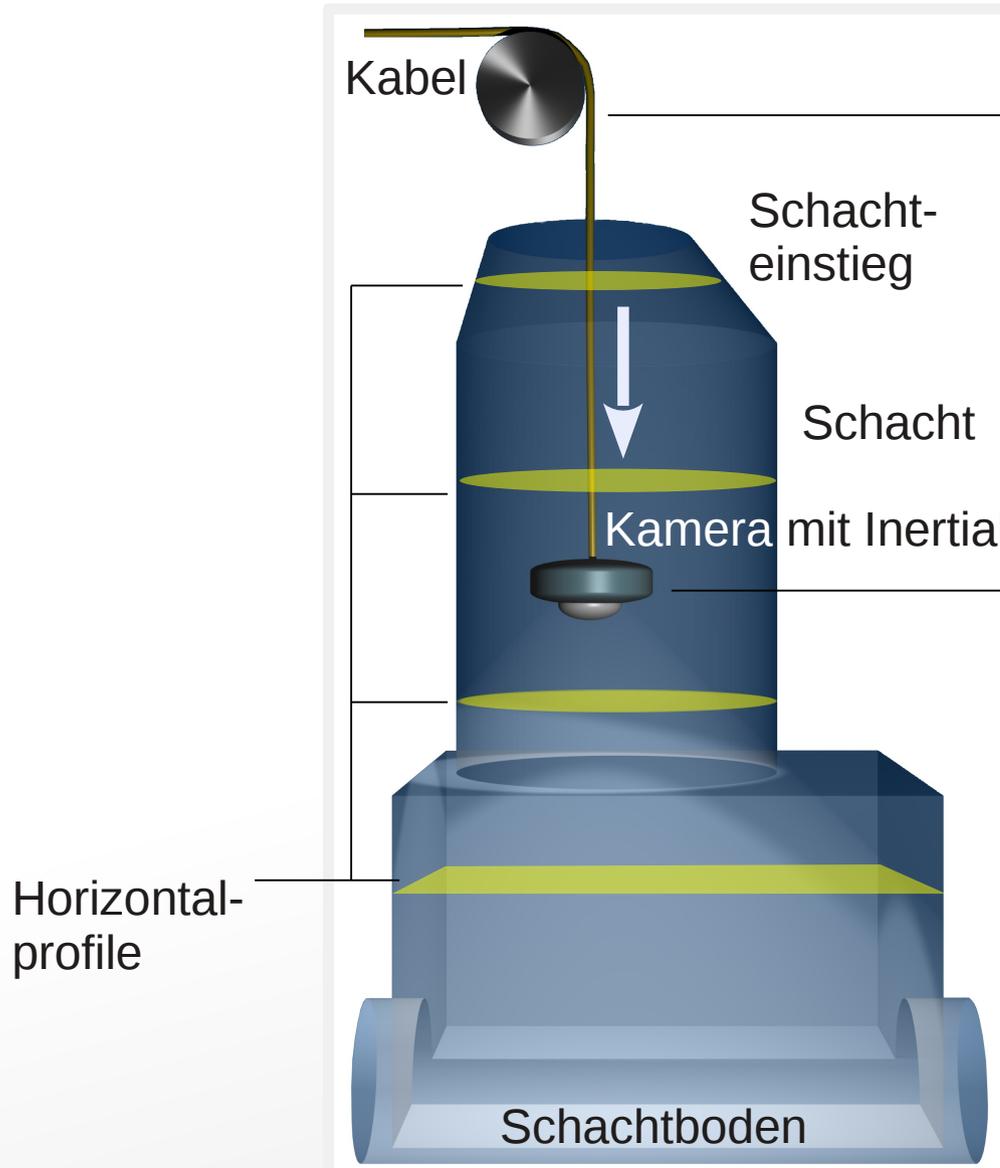
- Einleitung und Problemstellung
- Verfahren zur Schachtrekonstruktion
 - Modifiziertes *Structure from Motion*
 - Globale Korrektur der Rekonstruktion
 - Schachtprofilvermessung und Modellerzeugung
- Tests und Auswertungen
- Zusammenfassung

Schachtinspektion IBAK Panorama SI

- Schachtinspektion mit Kamerasystem *IBAK Panorama SI*
- Manuelle Auswertung der Bildsequenzen durch Experten



Aufnahme der Bildsequenzen



Herablassen der
Fisheye-Kamera
am Kabel (35 cm / sec)

Aufnahme mit Blitzlicht
alle 5 cm Kabelführungslänge



Fisheye-Kamerabildsequenz

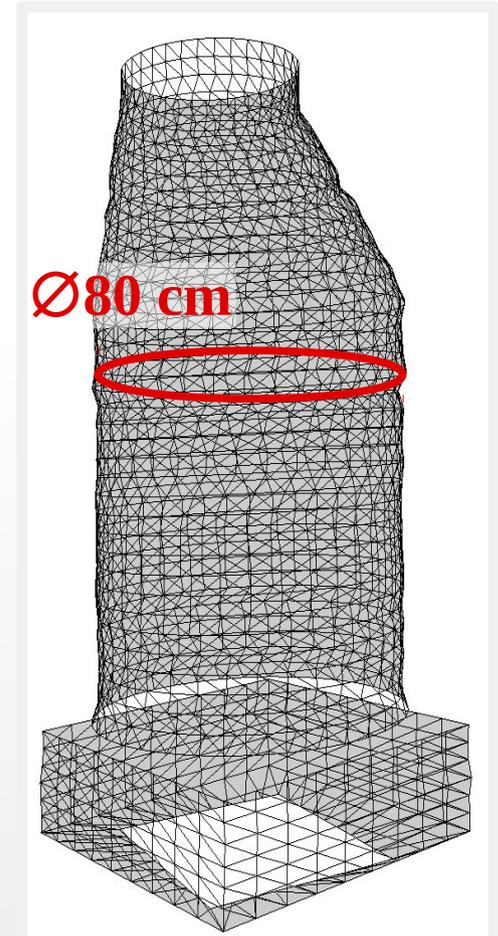
Automatische Schachtrekonstruktion

Unsere Ziele:

- Automatische Schachtvermessung
- Bestimmen der Kameraposen

Unser Verfahren:

1. Modifiziertes *Structure from Motion*
2. Globale Korrektur der Rekonstruktion
3. Vermessen der Schachtquerschnitte



Probleme und Anforderungen

- Schlechte Sichtverhältnisse, Reflektionen
- Starke Verzerrung, große Verschiebung, kurze Sichtbarkeit von Punkten
- Echtzeitanforderungen: 35 cm / sec Geschwindigkeit ↗ 7 Hz

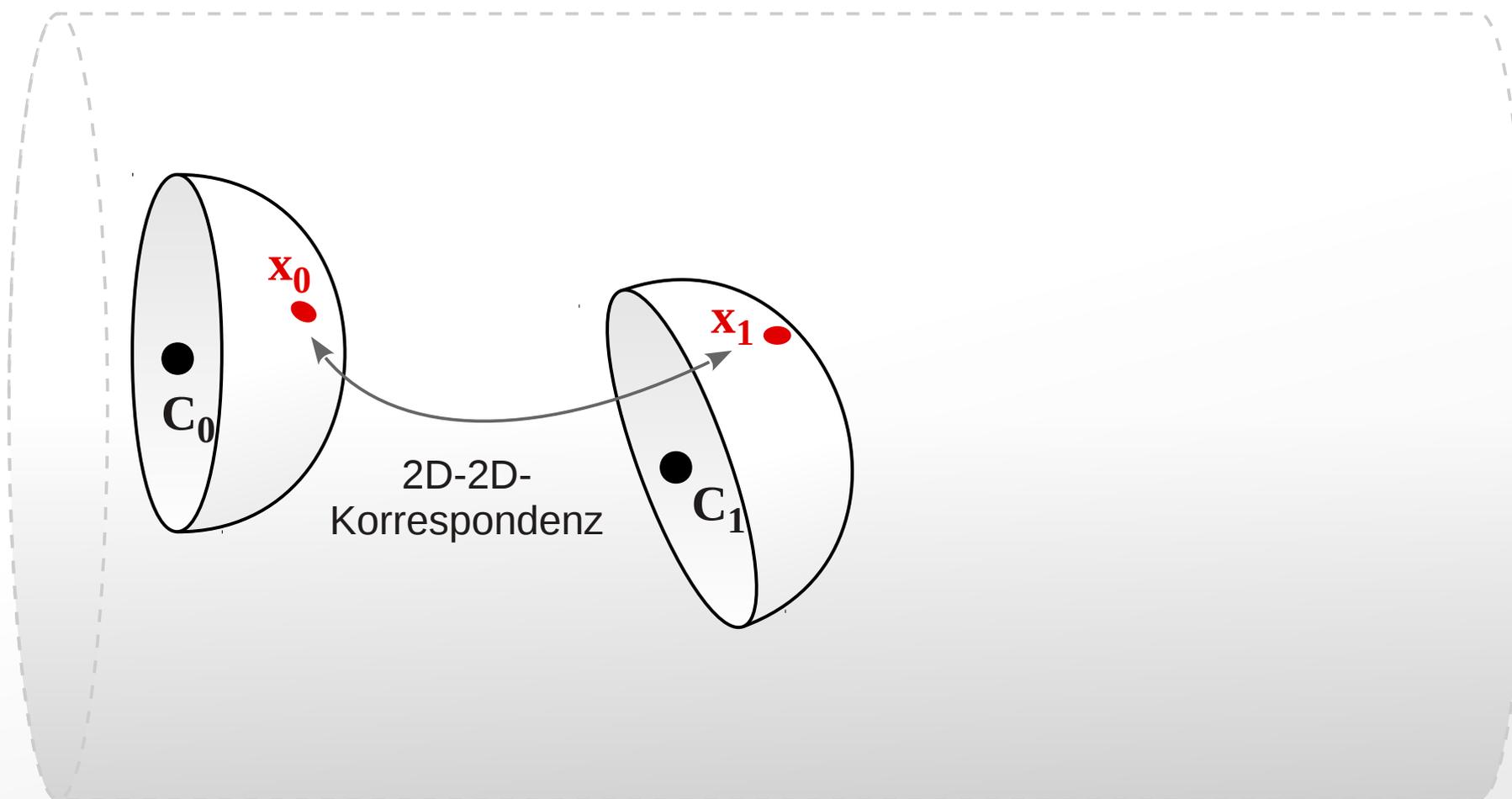


Verfahren zur Schachtrekonstruktion

- Einleitung und Problemstellung
- Verfahren zur Schachtrekonstruktion
 - Modifiziertes *Structure from Motion*
 - Globale Korrektur der Rekonstruktion
 - Schachtprofilvermessung und Modellerzeugung
- Tests und Auswertungen
- Zusammenfassung

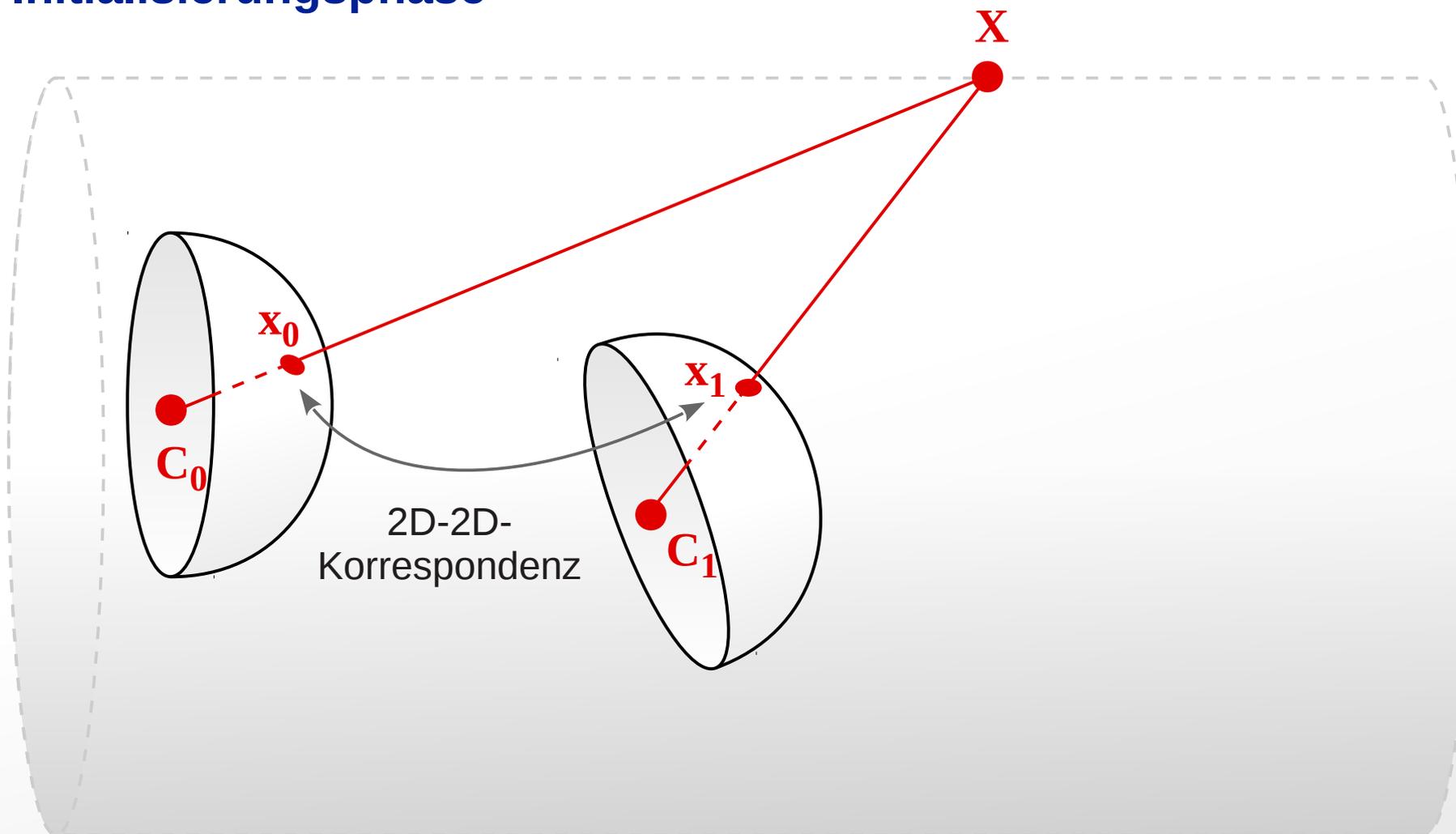
3. Structure from Motion

Initialisierungsphase



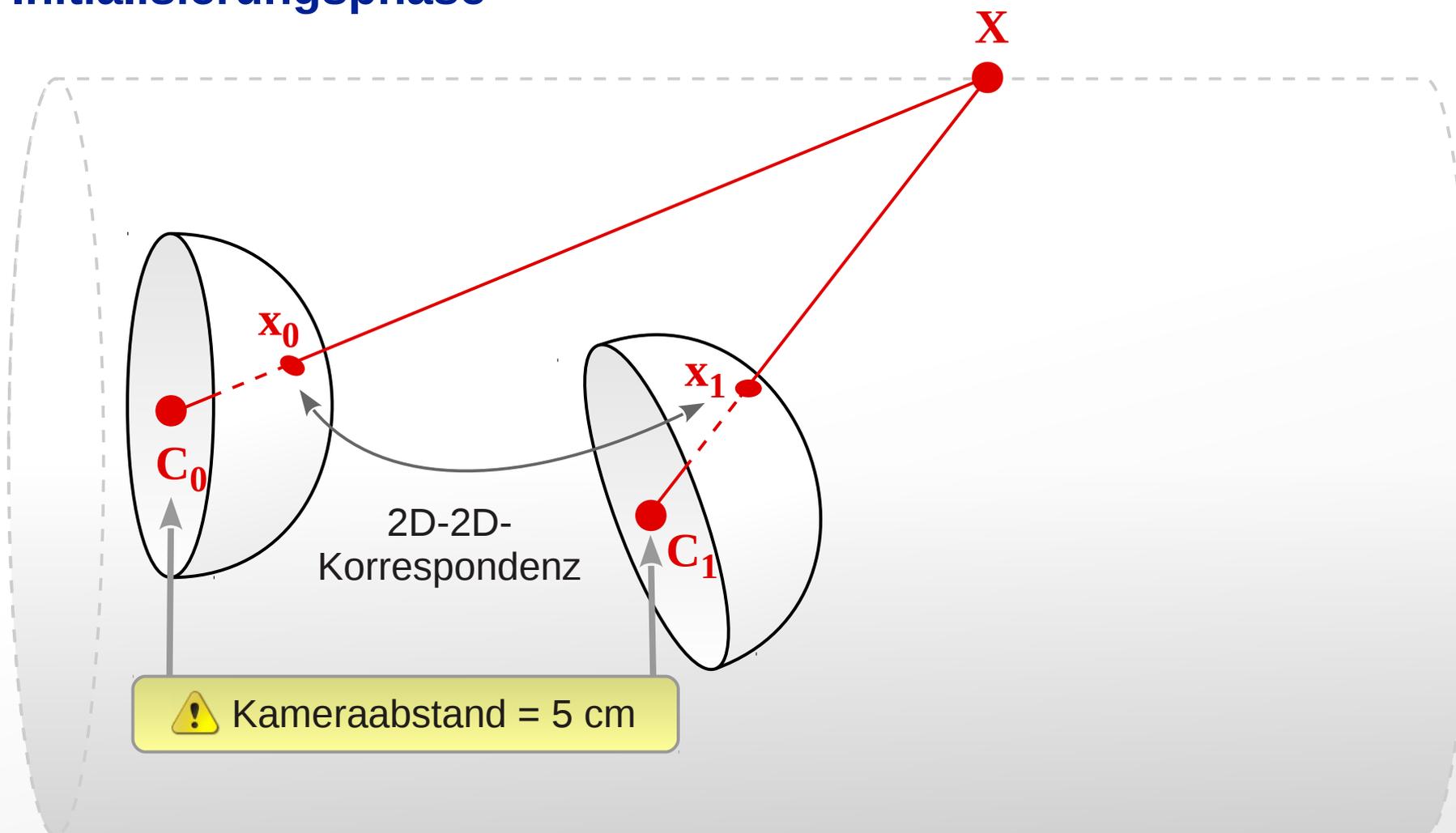
3. Structure from Motion

Initialisierungsphase



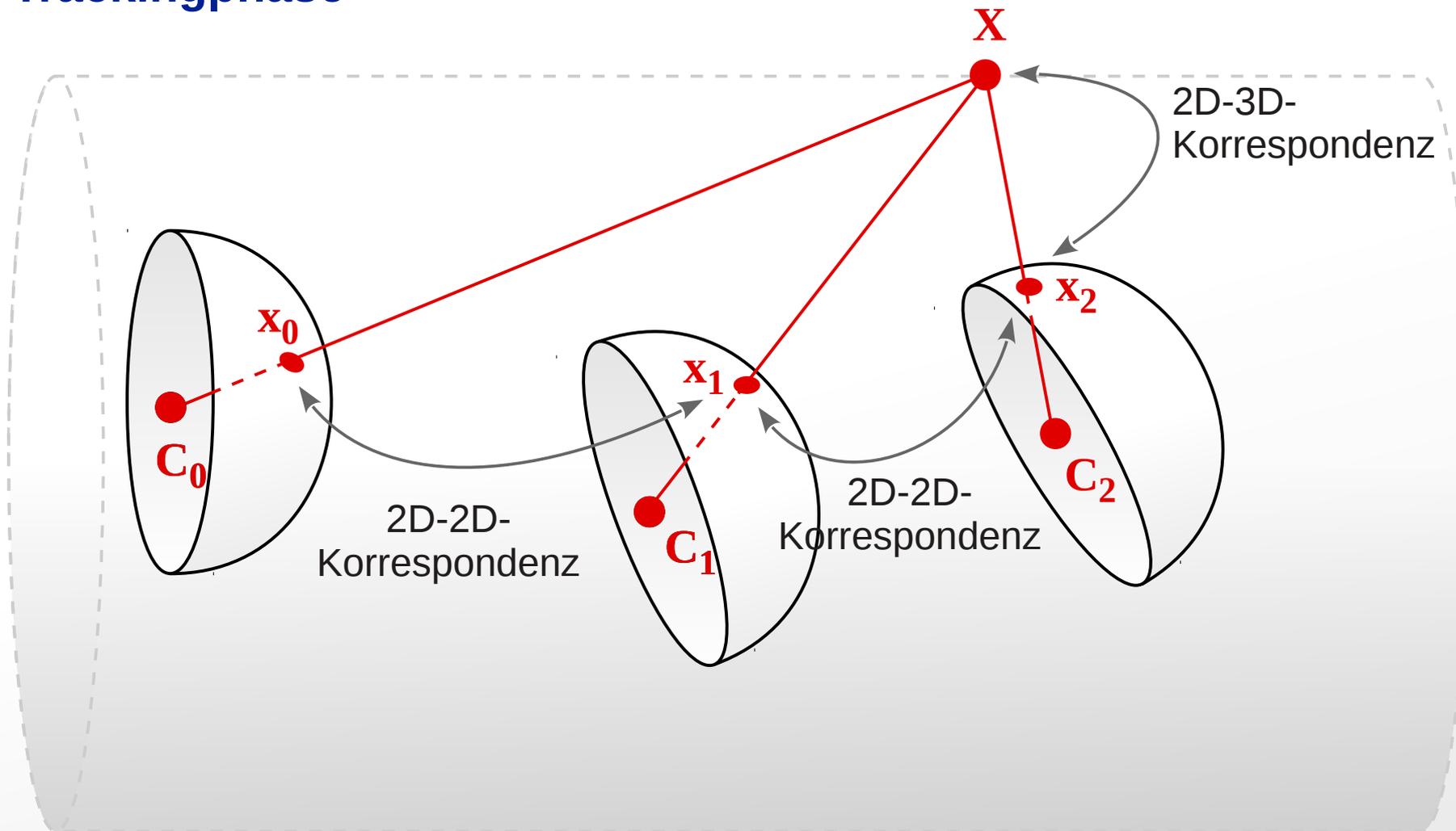
3. Structure from Motion

Initialisierungsphase

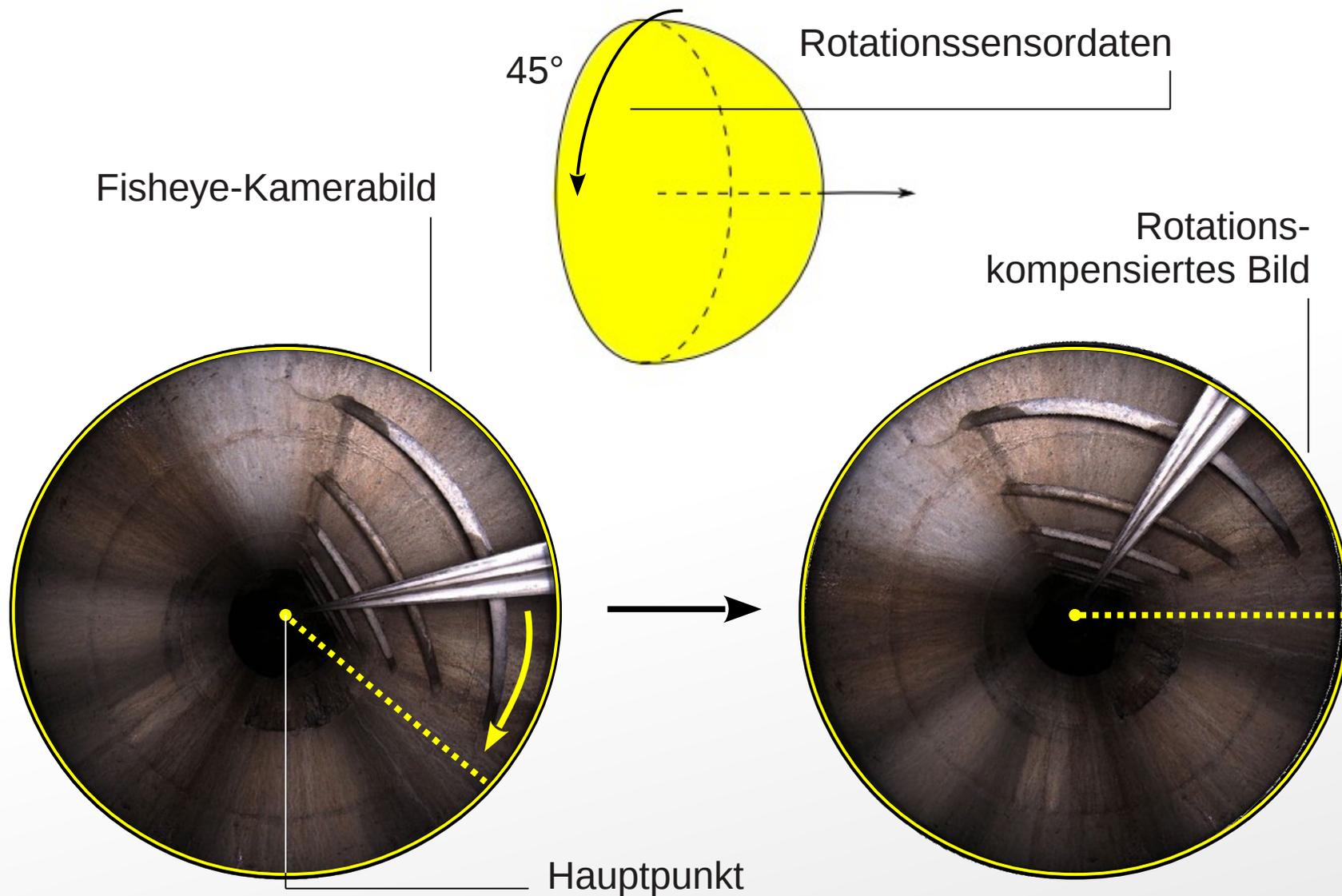


3. Structure from Motion

Trackingphase



1. Vorverarbeitung - Rotationskompensation



1

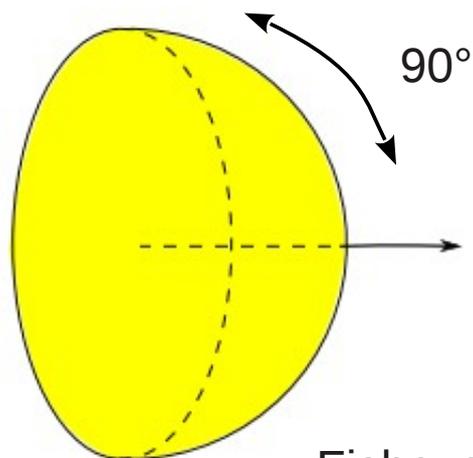
2

3

4

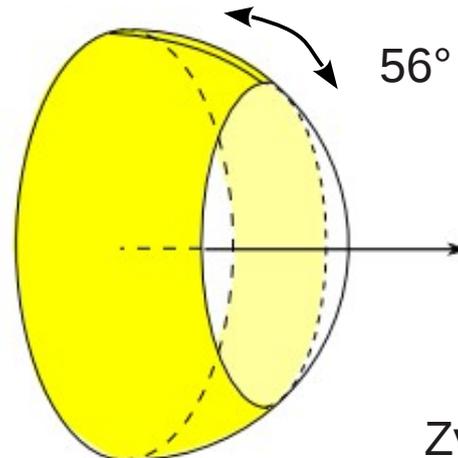
5

1. Vorverarbeitung - Zylinderabwicklung



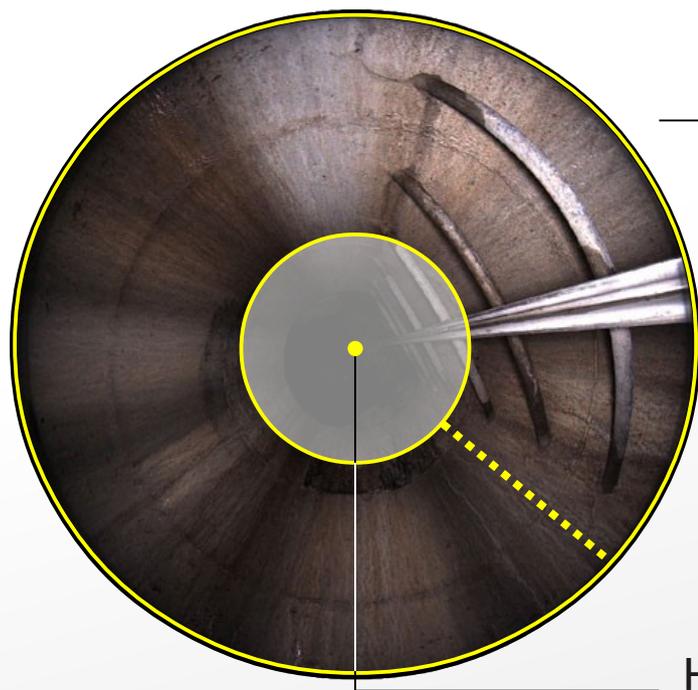
90°

Fisheye-Kamerabild



56°

Zylinderbild,
rotations-
kompensiert



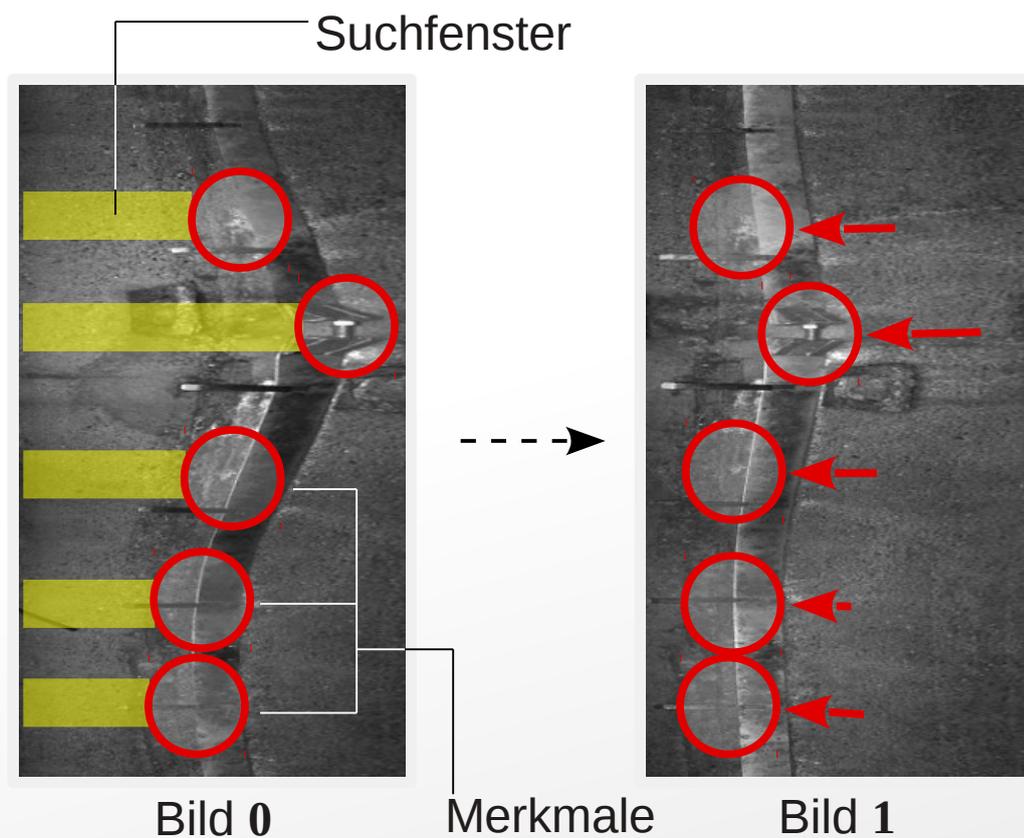
Hauptpunkt



- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

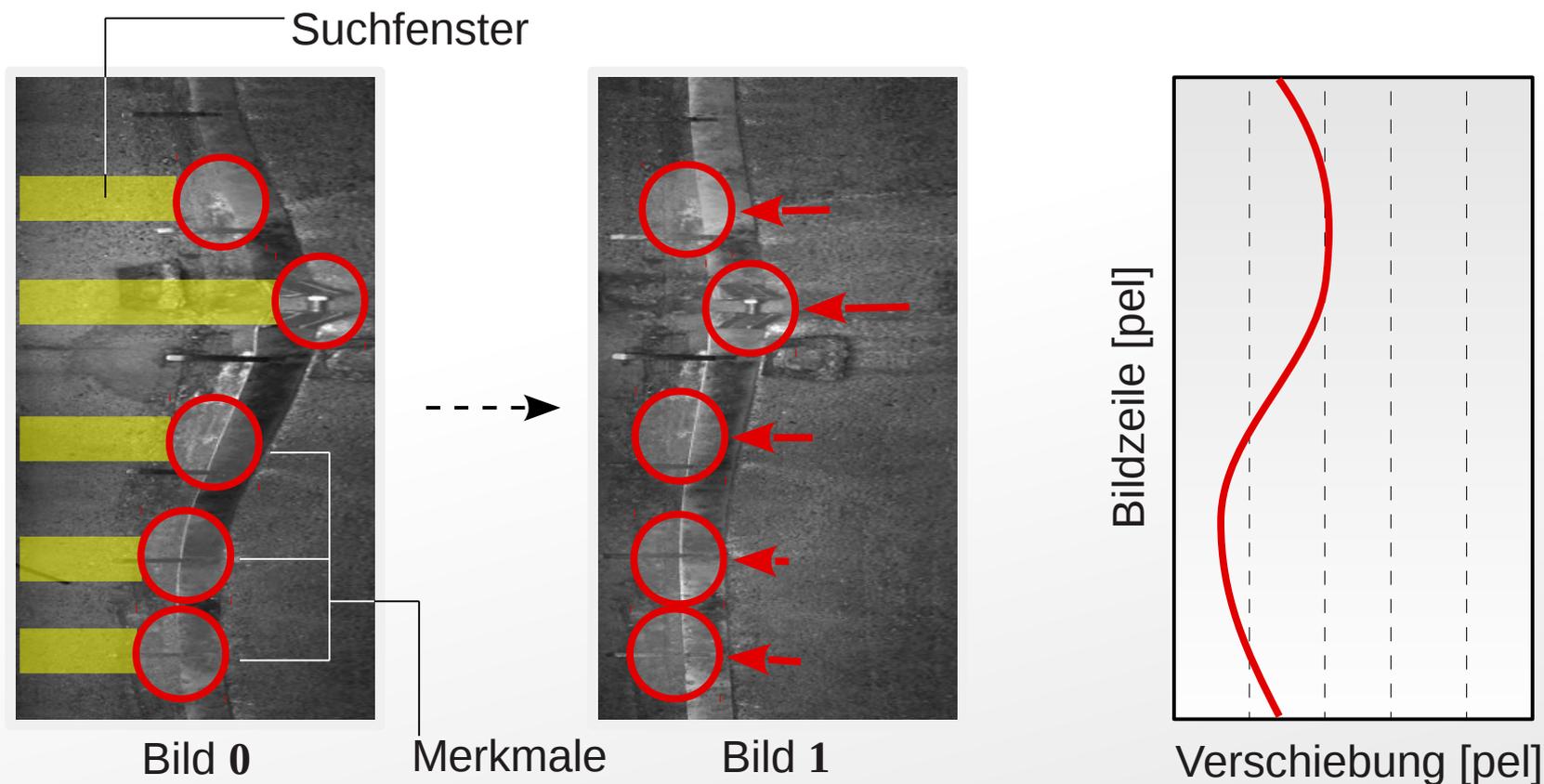
2. Erzeugen von Punktkorrespondenzen

- **Initialisierung:** Detektiere **Merkmalspunkte**
- Korrespondenzsuche entlang gesamter Bildzeile



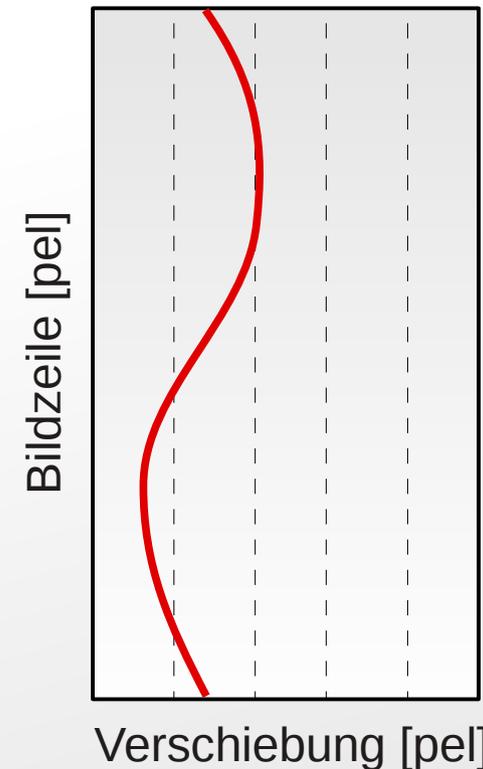
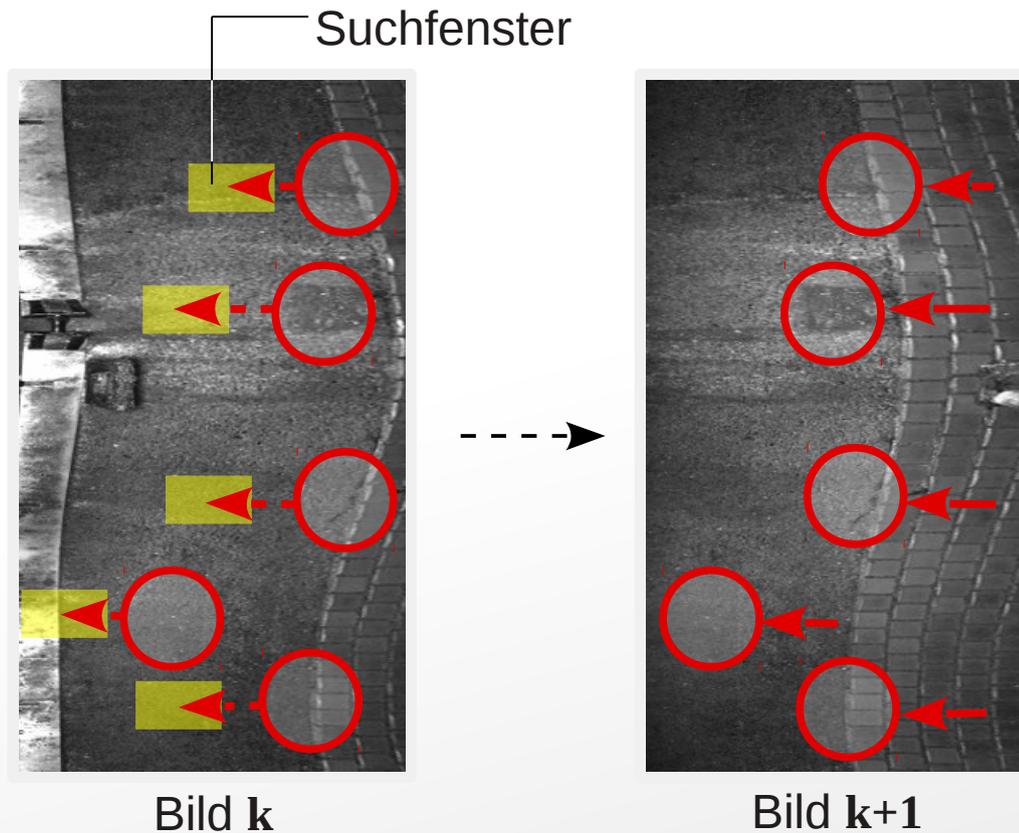
2. Erzeugen von Punktkorrespondenzen

- **Initialisierung:** Detektiere **Merkmalspunkte**
- Korrespondenzsuche entlang gesamter Bildzeile
- Erzeuge zeilenabhängige **Verschiebungsfunktion**



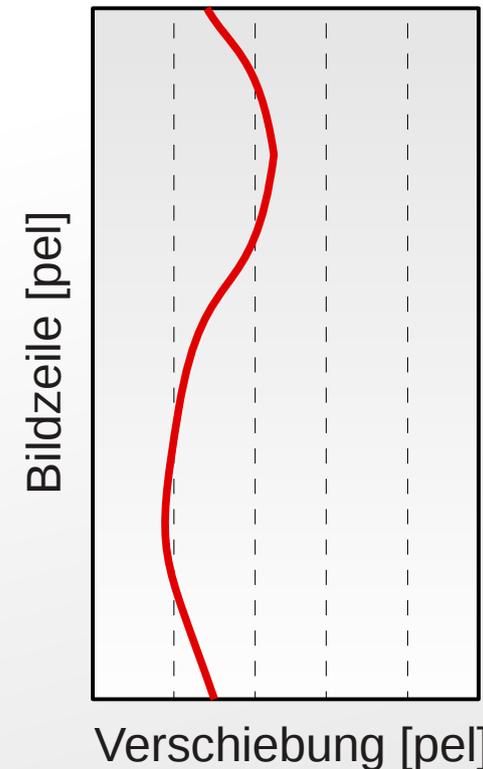
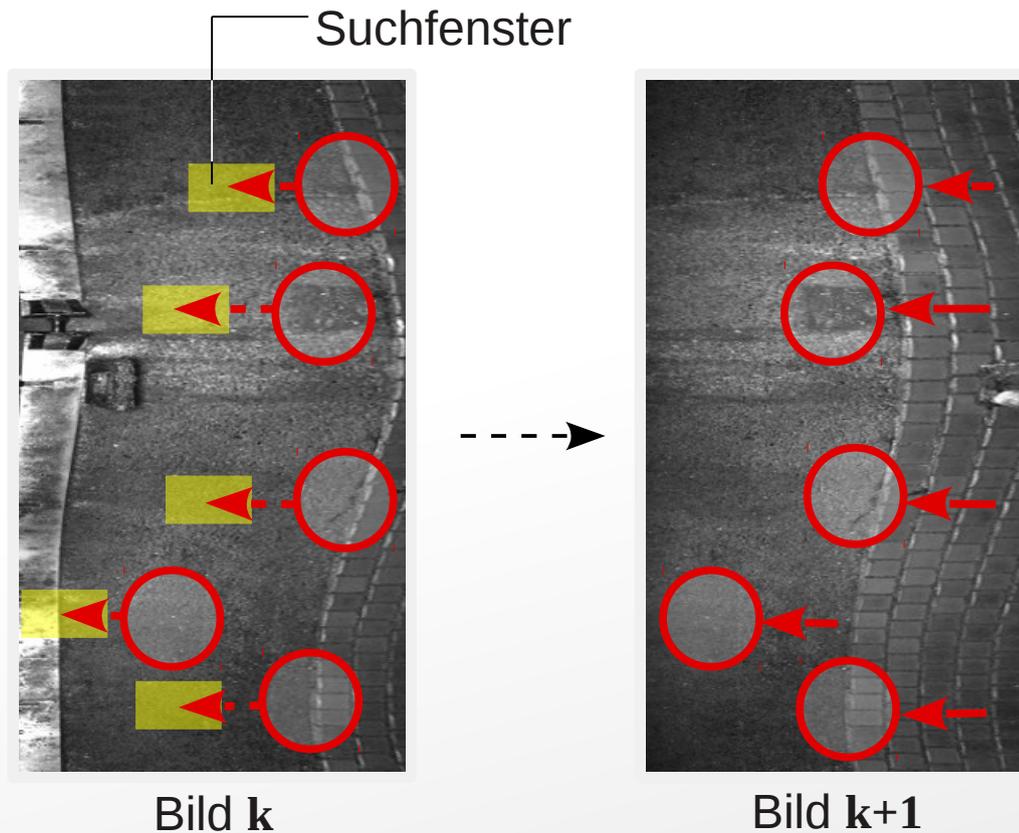
2. Erzeugen von Punktkorrespondenzen

- **Tracking:** Prädiziere neue Position mit **Verschiebungsfunktion**
- Kleineres Suchfenster an Zielposition



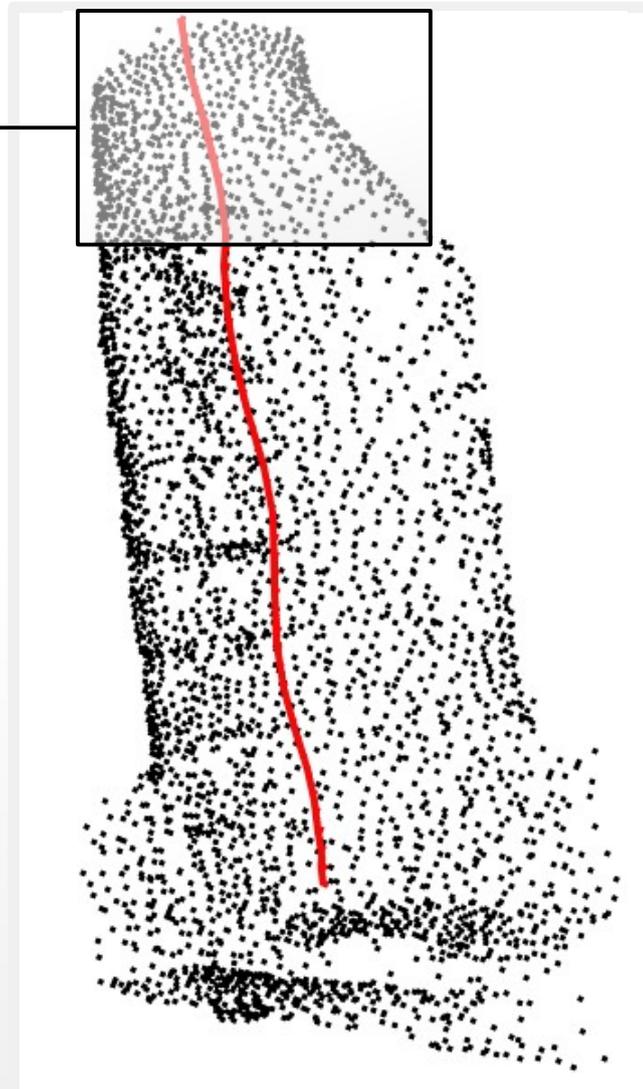
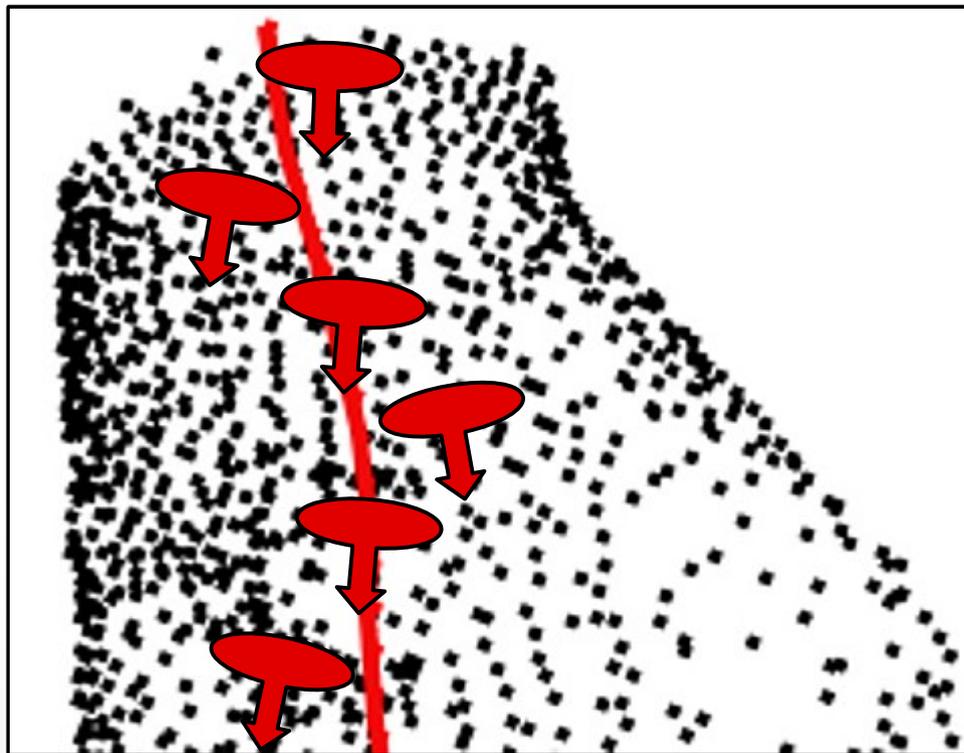
2. Erzeugen von Punktkorrespondenzen

- **Tracking:** Prädiziere neue Position mit **Verschiebungsfunktion**
- Kleineres Suchfenster an Zielposition
- Aktualisiere **Verschiebungsfunktion**



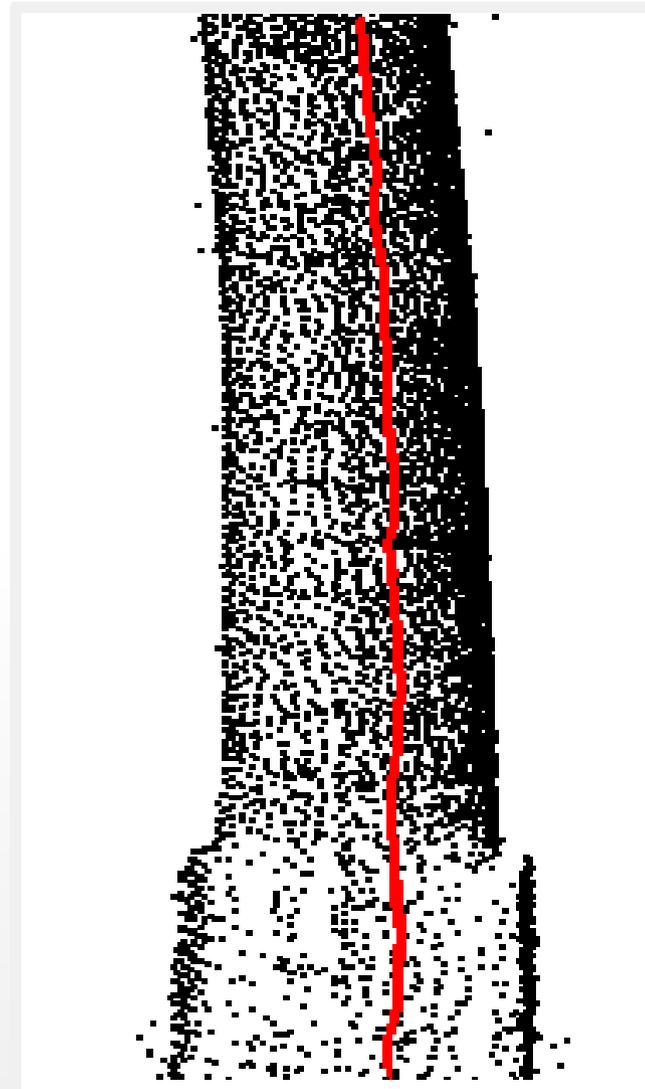
3. Structure from Motion

- Berechne 3D-Punktwolke
- Berechne **Kameraposen** für jedes Bild (Position + Orientierung)



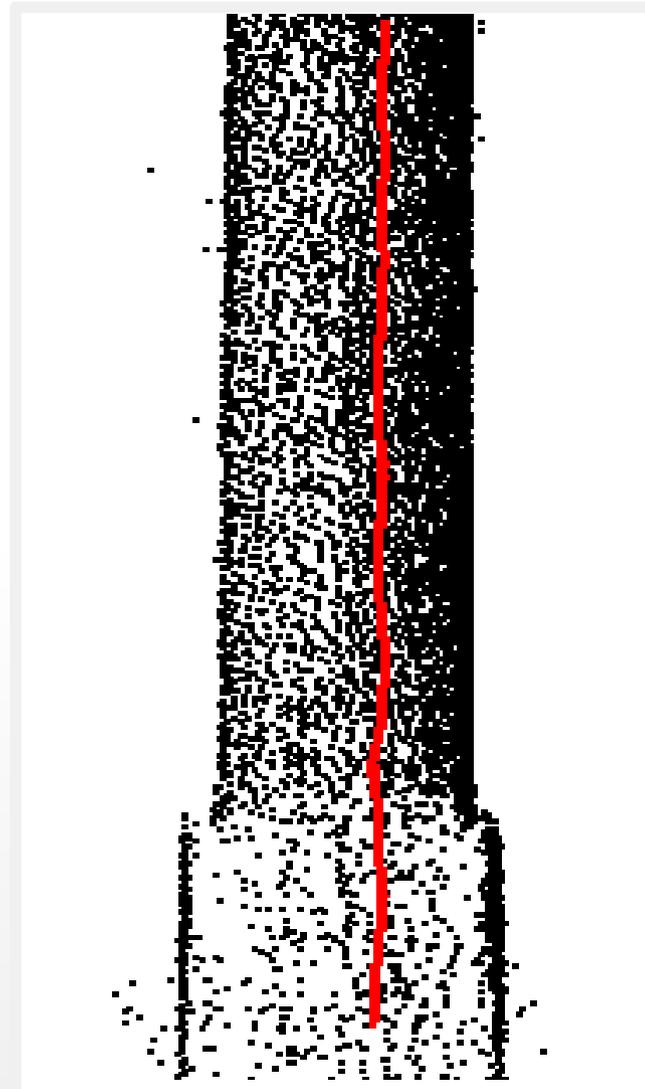
4. Globale Korrektur

- ⚠ Fehlerakkumulation
- ⚠ Ungenaue Kamerakalibrierung
- ➡ verbogene konische Rekonstruktion
 - Globale Optimierung notwendig
 - *Bündelausgleichverfahren* ungeeignet!



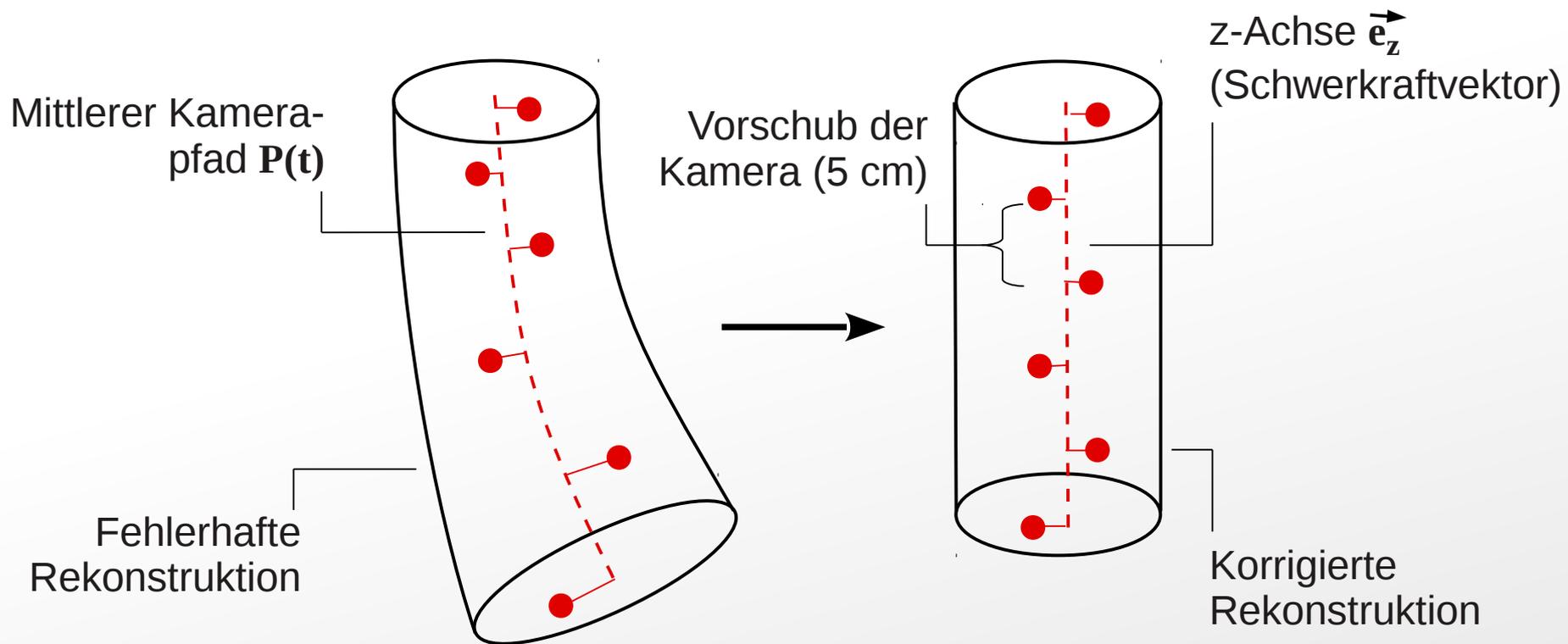
4. Globale Korrektur

- Korrektur der Rekonstruktion mit geometrischem Vorwissen:
 - **Mittlerer Kamerapfad** bekannt (Schwerkraftvektor = z-Achse)
 - Kameravorschub zwischen Frames bekannt (ca. 5 cm)



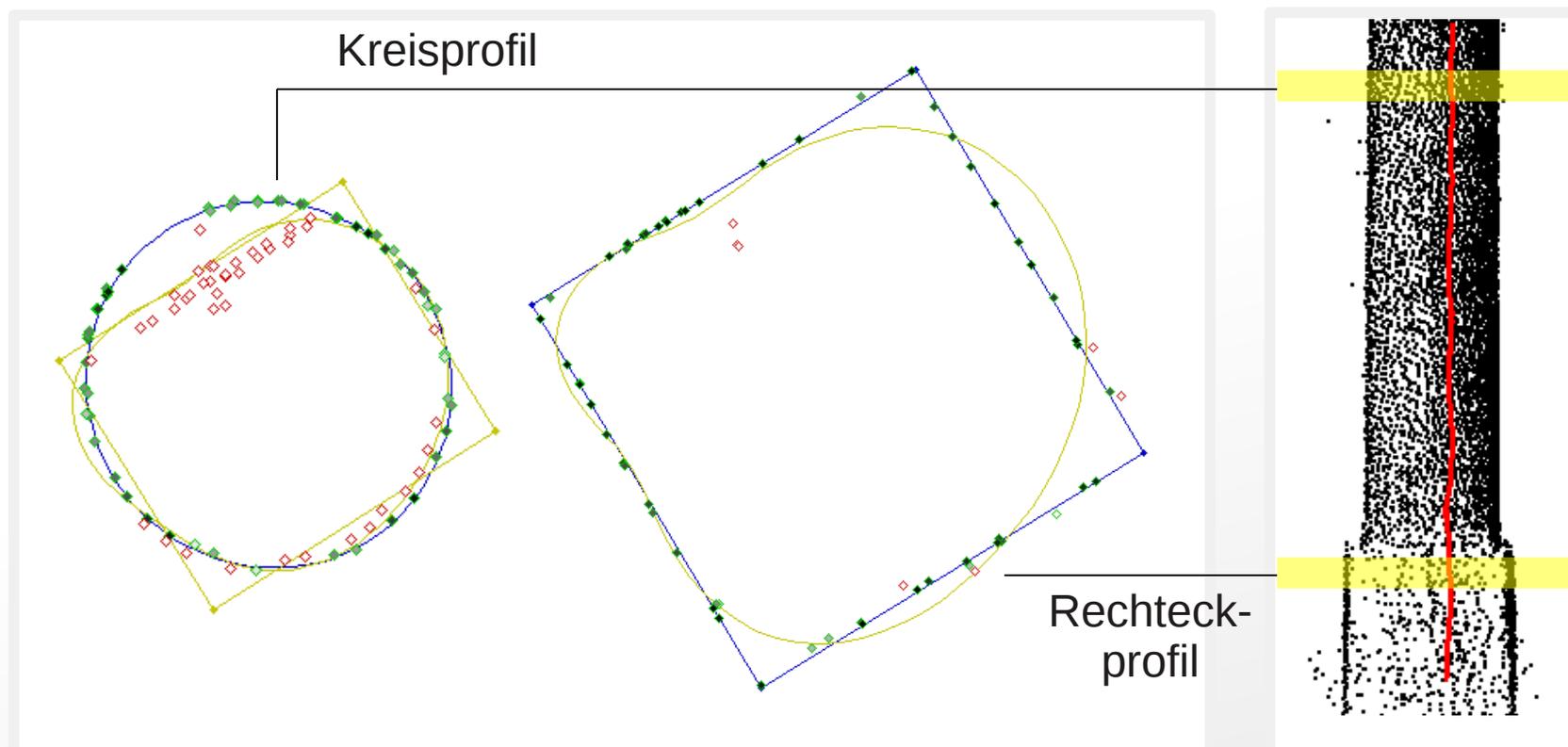
4. Globale Korrektur

- Approximiere **mittleren Kamerapfad** durch Polynom $\mathbf{P}(t)$
- Transformiere 3D-Punkte/**Kameraposen** durch Abbildung von $\mathbf{P}(t)$ auf $\mathbf{P}^*(t) = 5\text{cm} \cdot t \cdot \vec{e}_z$

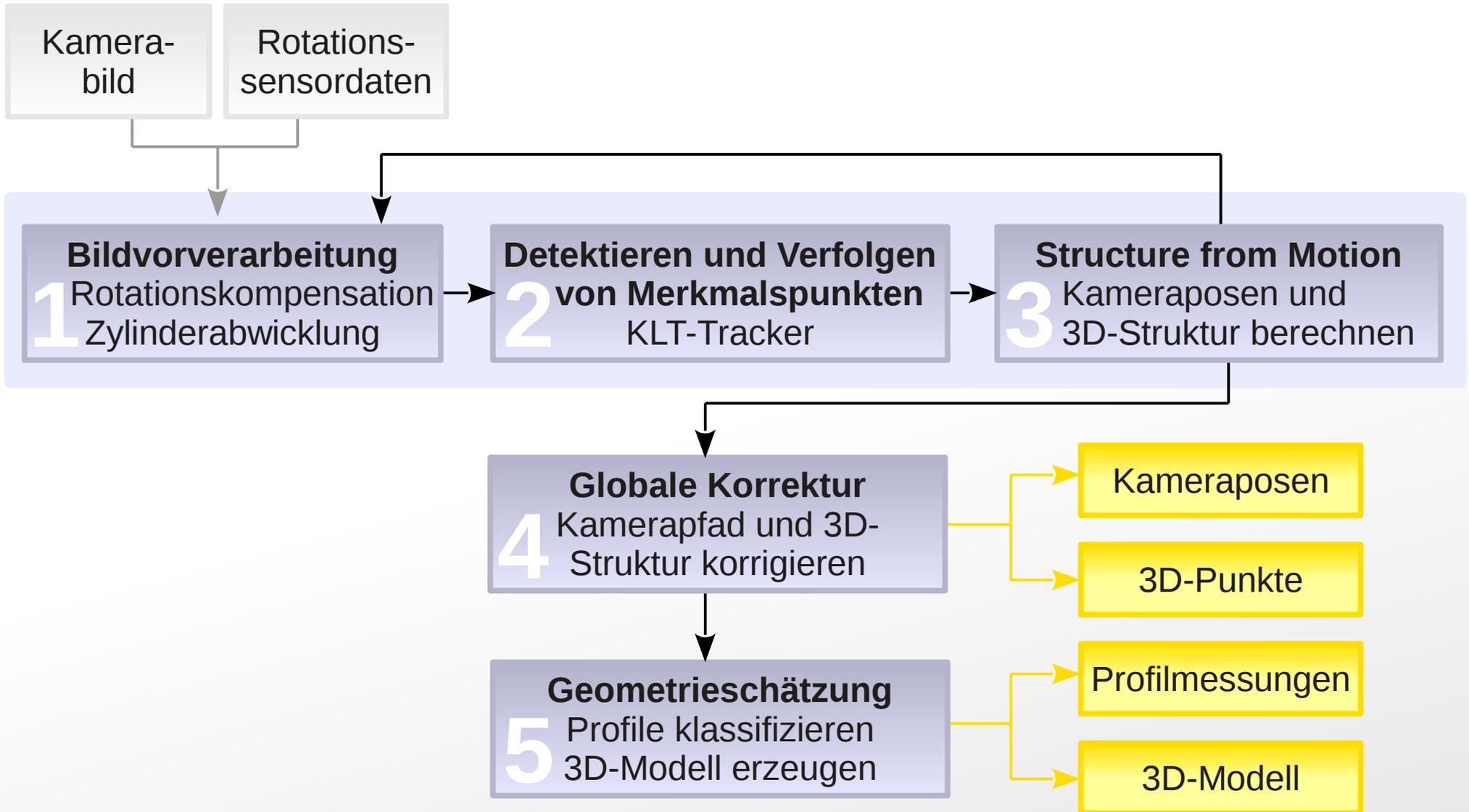


5. Klassifizieren des Schachtprofils

- Klassifizierung der Schachtkontur in Querschnitten
- Robuste 2D-Formschätzung aus 3D-Punkten



Ablauf des Verfahrens

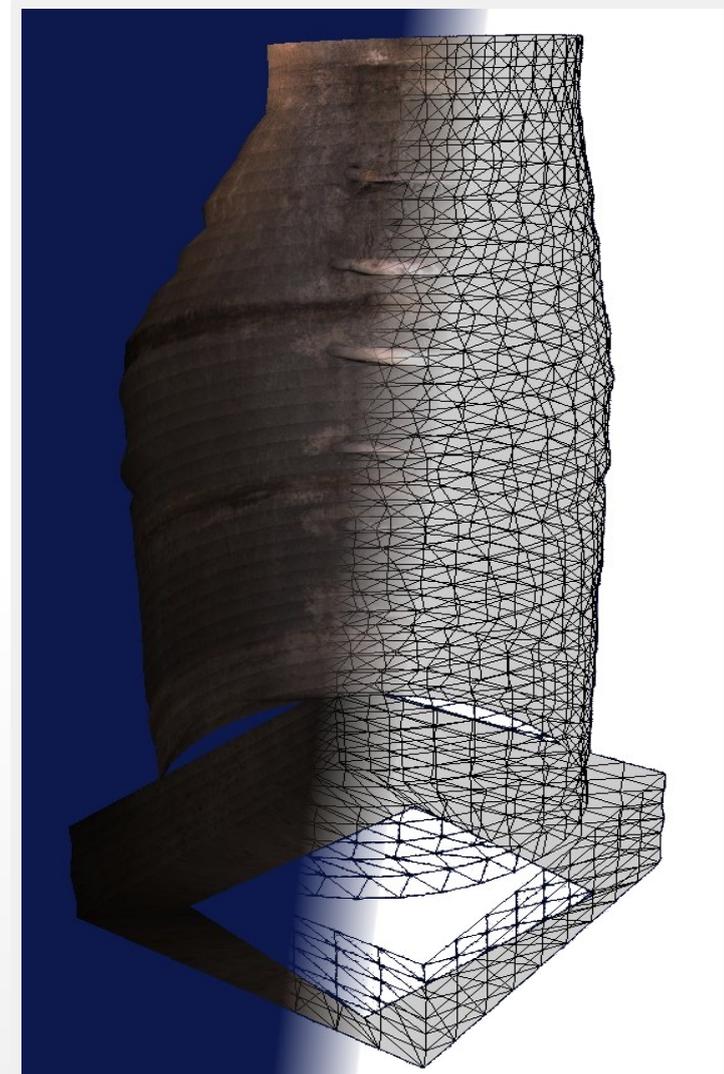


Erzeugen von 3D-Modellen

- Verbinden aufeinanderfolgender Konturen gleicher Geometrie
- optional Fitting von 3D-Formen

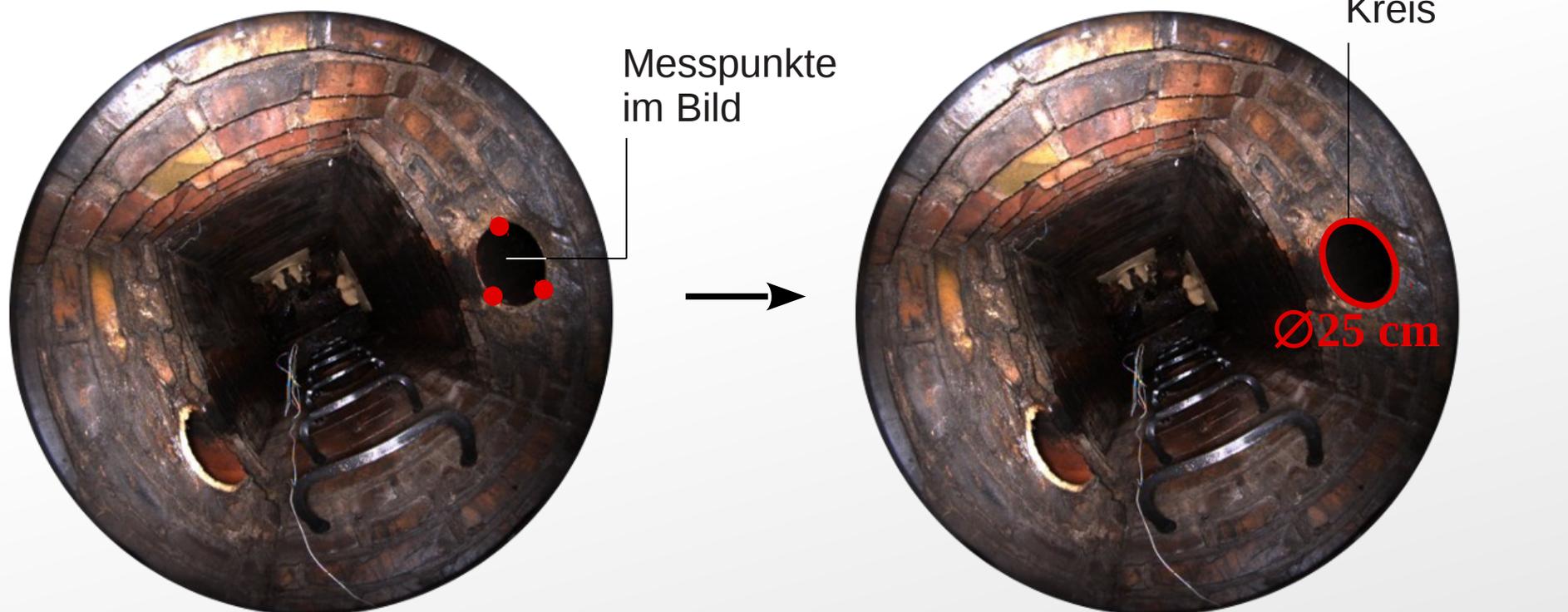
➤ Ausgabe:

- Drahtgittermodell
- Texturiertes Modell



Verwenden der Kameraposen für manuelle Vermessung

- Manuelle Wahl von Messpunkten in einem Kamerabild
- Automatische Korrespondenzsuche im Folgebild
- Triangulieren von 3D-Punkten mit Hilfe der bekannten Kameraposen
- Ausgabe des Messergebnisses im 3D-Raum

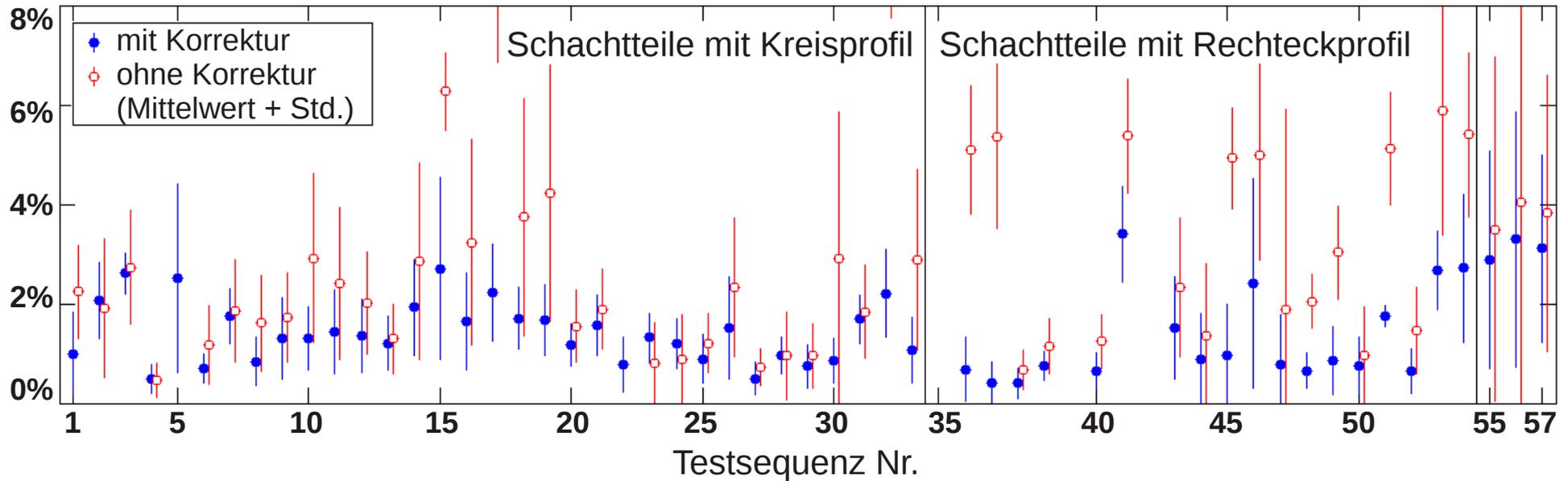


Tests und Auswertungen

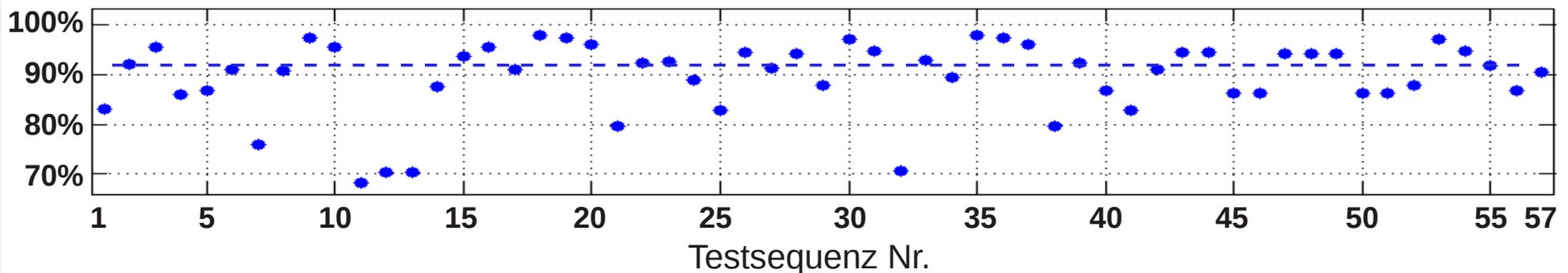
- Einleitung und Problemstellung
- Verfahren zur Schachtrekonstruktion
 - Modifiziertes *Structure from Motion*
 - Globale Korrektur der Rekonstruktion
 - Schachtprofilvermessung und Modellerzeugung
- Tests und Auswertungen
- Zusammenfassung

Auswertung der Profilvermessung

Mittlerer Schätzfehler von 57 Testsequenzen

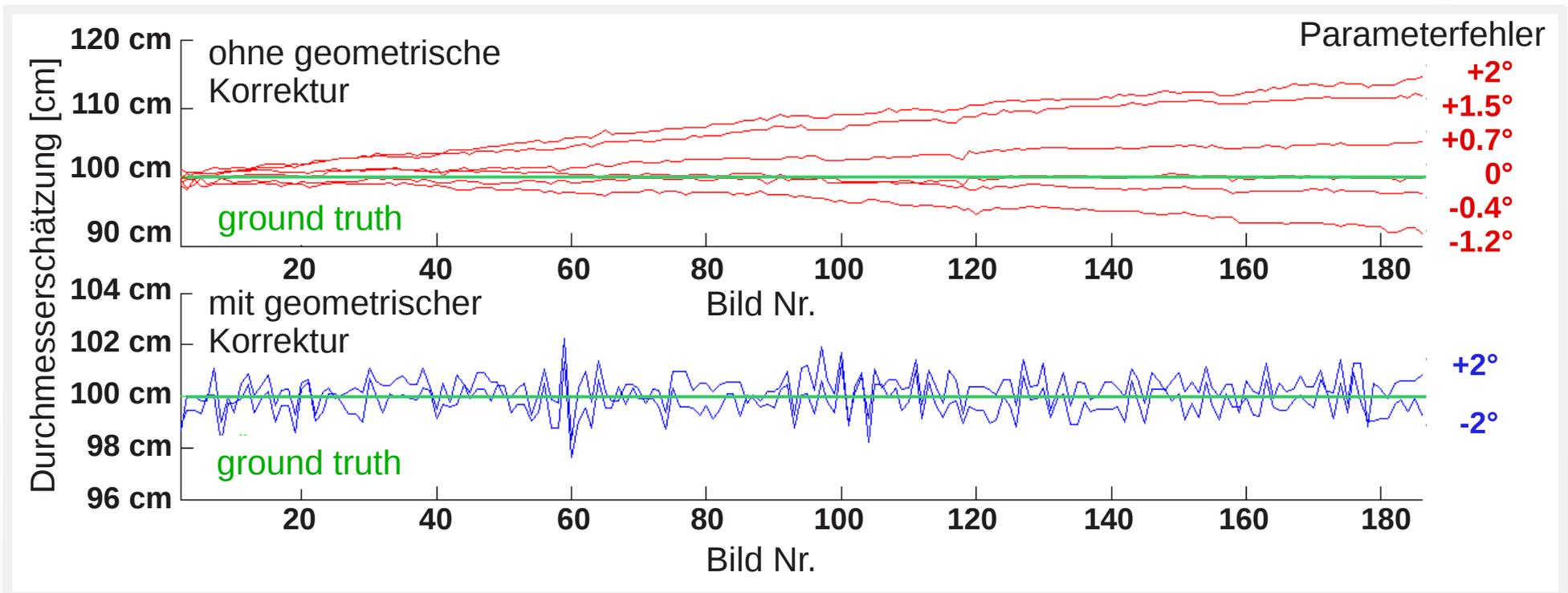


Erfolgsquote der Klassifizierung der Schachtquerschnitte



Auswertung der geometrischen Korrektur

- Variiere intrinsische Kameraparameter (hier: Öffnungswinkel)
- Systematischer Rekonstruktionsfehler (hier: bis zu 15 cm)
- Kompensation durch geometrische Korrektur



Zusammenfassung

- Einleitung und Problemstellung
- Verfahren zur Schachtrekonstruktion
 - Modifiziertes *Structure from Motion*
 - Globale Korrektur der Rekonstruktion
 - Schachtprofilvermessung und Modellerzeugung
- Tests und Auswertungen
- Zusammenfassung

Zusammenfassung

- Robustes automatisches Verfahren zur bildbasierten Vermessung von Kanalschächten mit dem Kamerasystem IBAK Panorama SI
- Einfache geometrische Korrektur ersetzt *Bundle Adjustment*
- Erzeugen von 3D-Modellen der Schachtgeometrie möglich
- Berechnete Kameraposen können zur manuellen Vermessung von Strukturen weiterverwendet werden
- Echtzeitfähigkeit ermöglicht Einsatz vor Ort
- Erfolgreicher Einsatz der Software in der Praxis

Danke für die Aufmerksamkeit!



ZUKUNFTSprogramm
Wirtschaft

Investition in Ihre Zukunft

financed by the European Union,
European Regional Development Fund (ERDF)



**Institut
für Informatik**
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Technische Fakultät

