

# 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

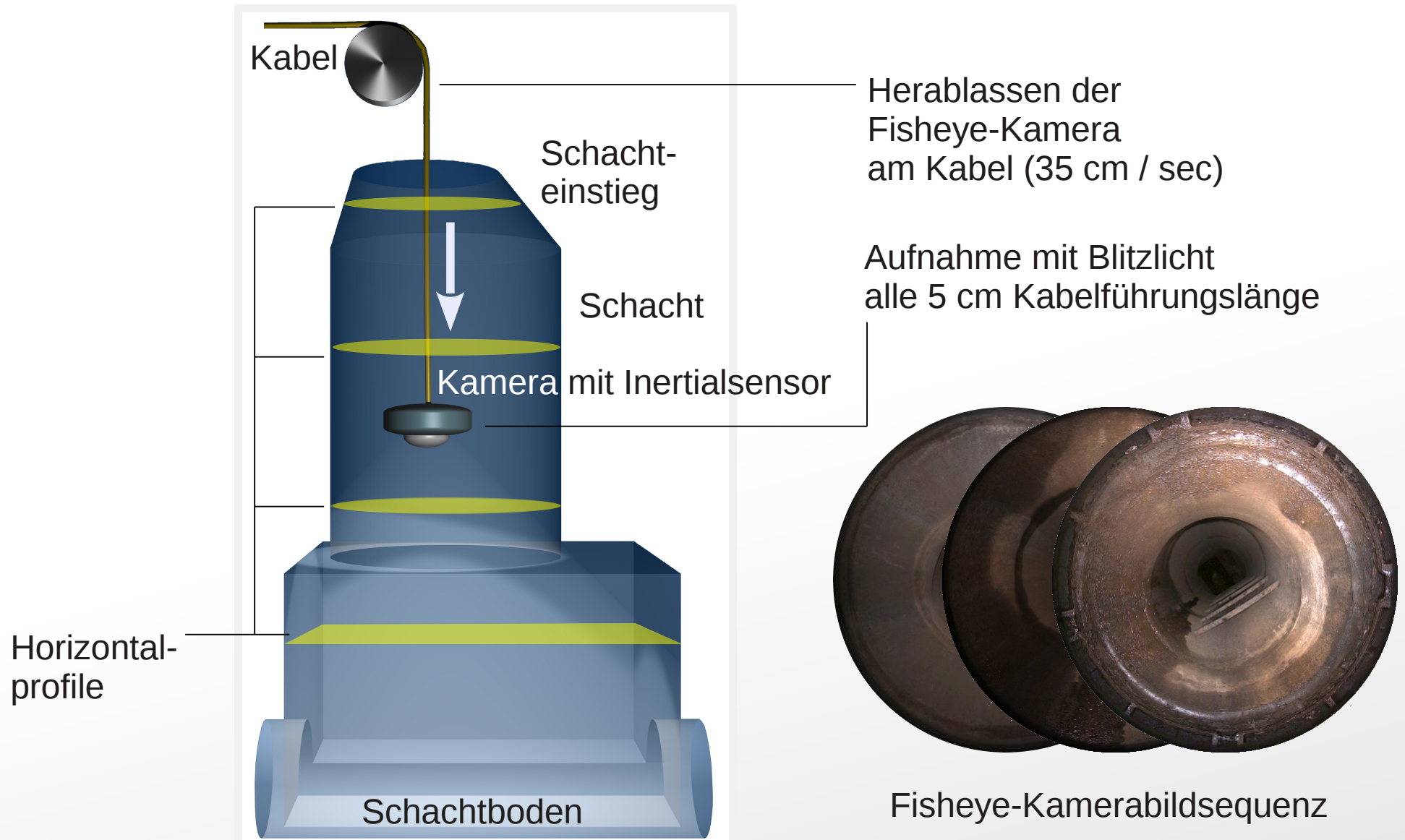
- Einleitung und Problemstellung
- Verfahren zur Schachtrekonstruktion
  - Modifiziertes *Structure from Motion*
  - Globale Korrektur der Rekonstruktion
  - Schachtprofilvermessung und Modellerzeugung
- Tests und Auswertungen
- Zusammenfassung

## Schachtinspektion IBAK Panorama SI

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



## Aufnahme der Bildsequenzen





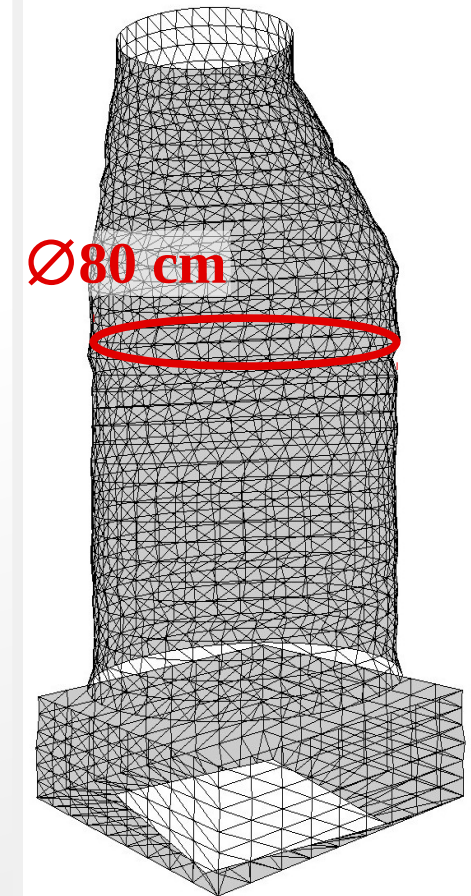
# Automatische Schachtrekonstruktion

## Unsere Ziele:

- Automatische Schachtvermessung
- Bestimmen der Kameraposen

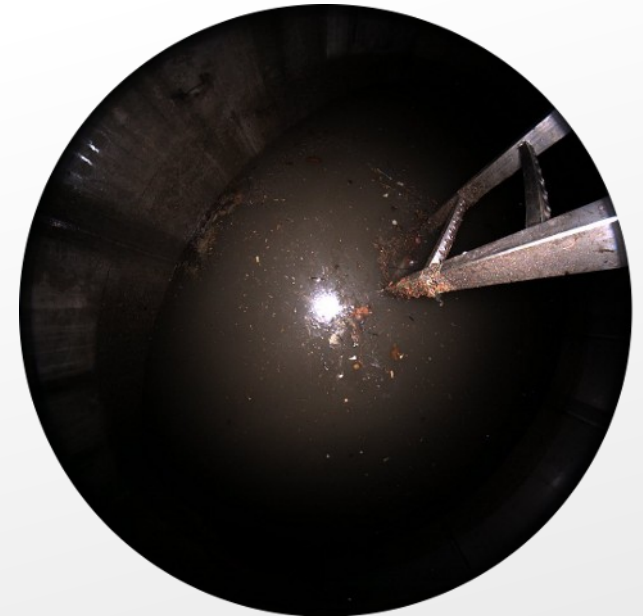
## Unser Verfahren:

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



## Probleme und Anforderungen

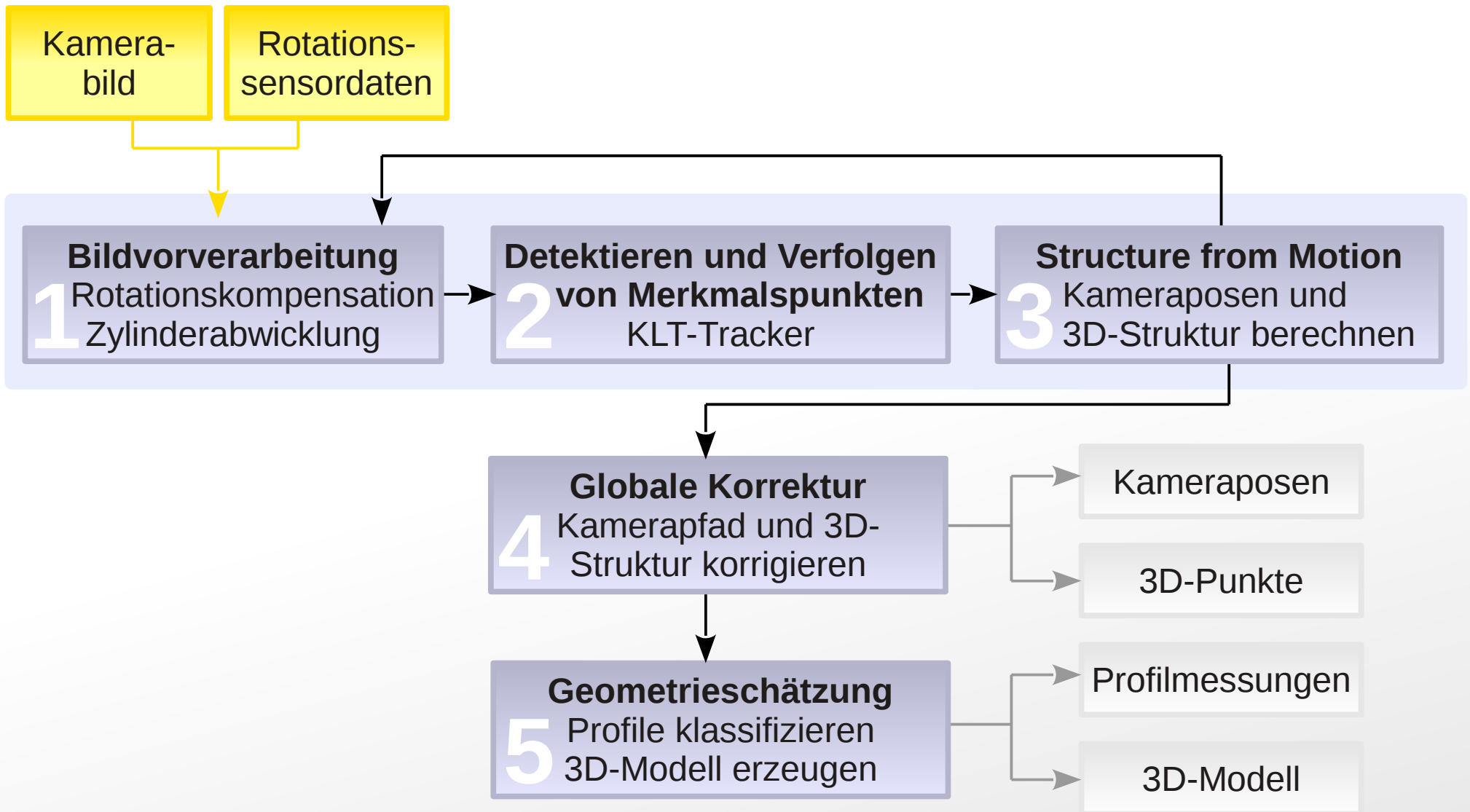
- Schlechte Sichtverhältnisse, Reflektionen
- Starke Verzerrung, große Verschiebung, kurze Sichtbarkeit von Punkten
- Echtzeitanforderungen: 35 cm / sec Geschwindigkeit ➦ 7 Hz



## Verfahren zur Schachtrekonstruktion

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

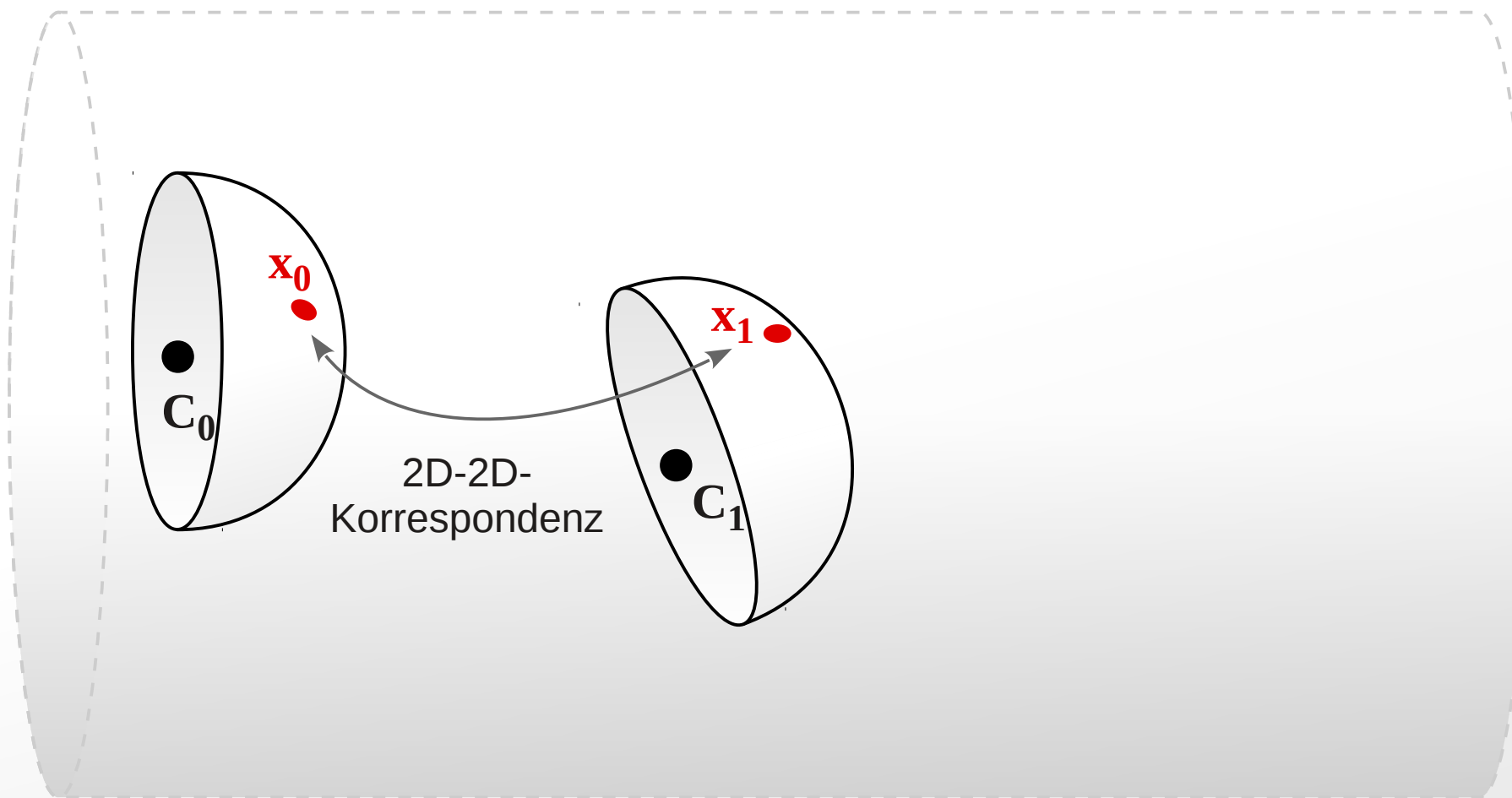
# Ablauf des Verfahrens





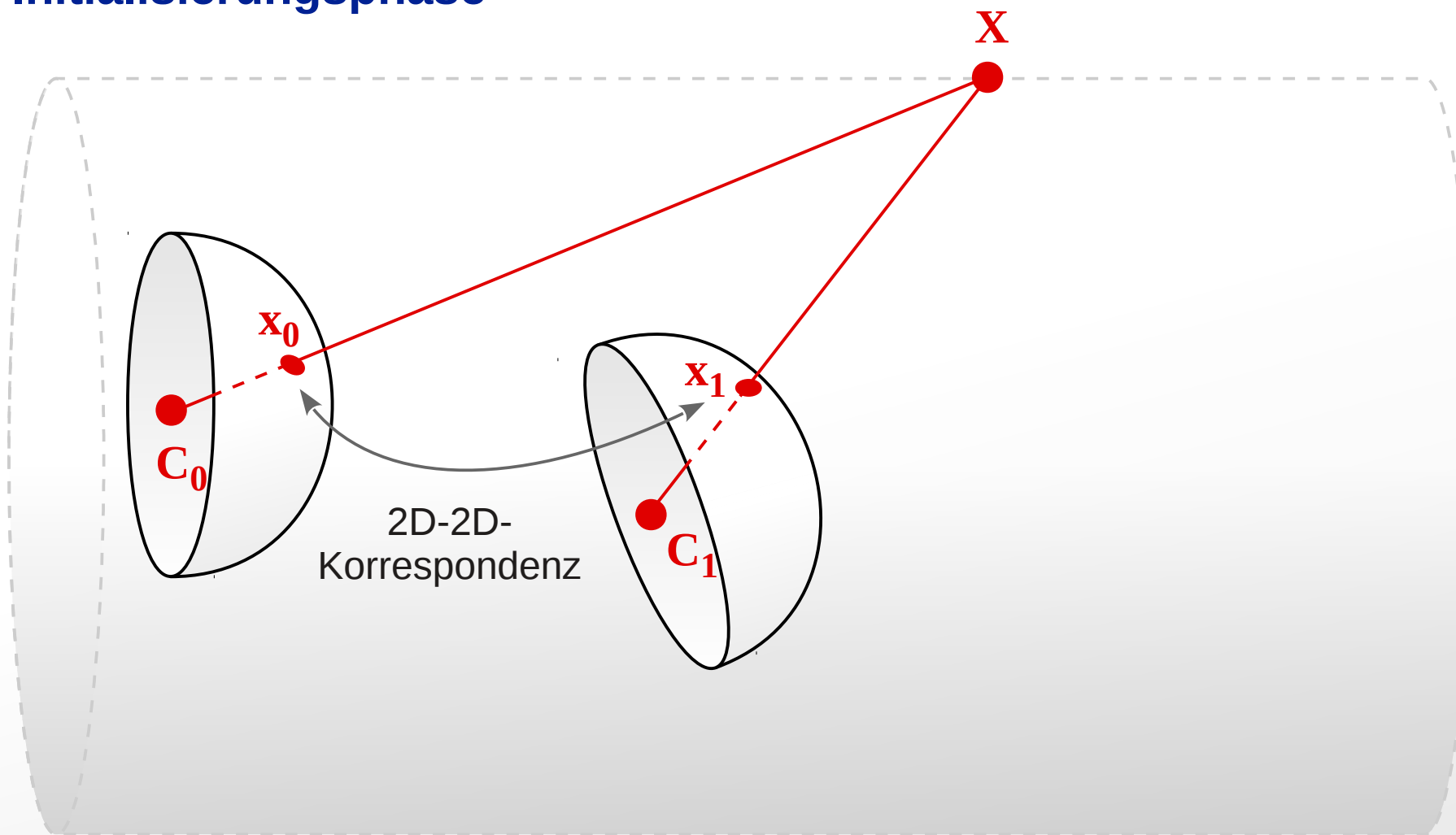
### 3. Structure from Motion

#### Initialisierungsphase



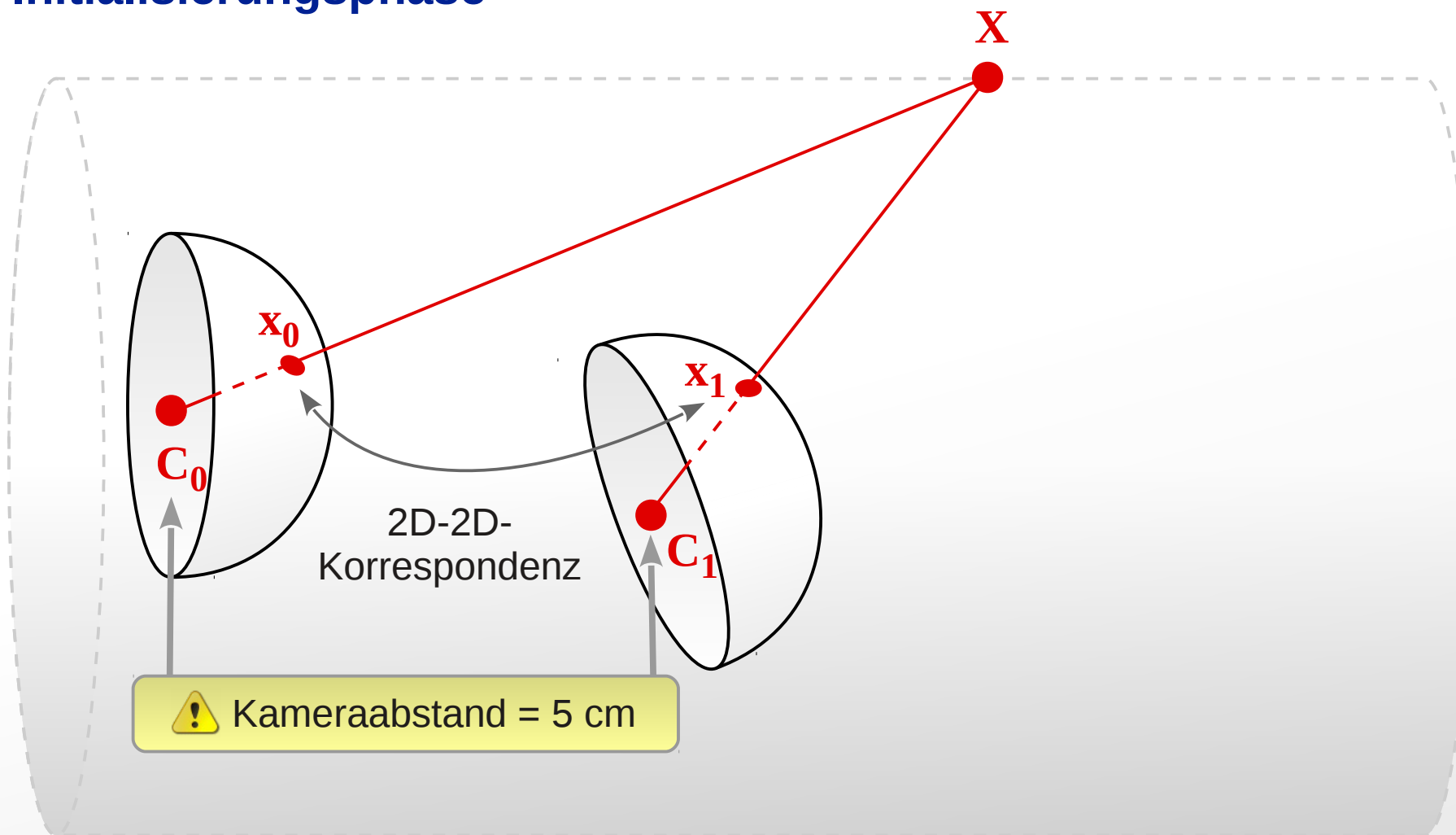
### 3. Structure from Motion

#### Initialisierungsphase



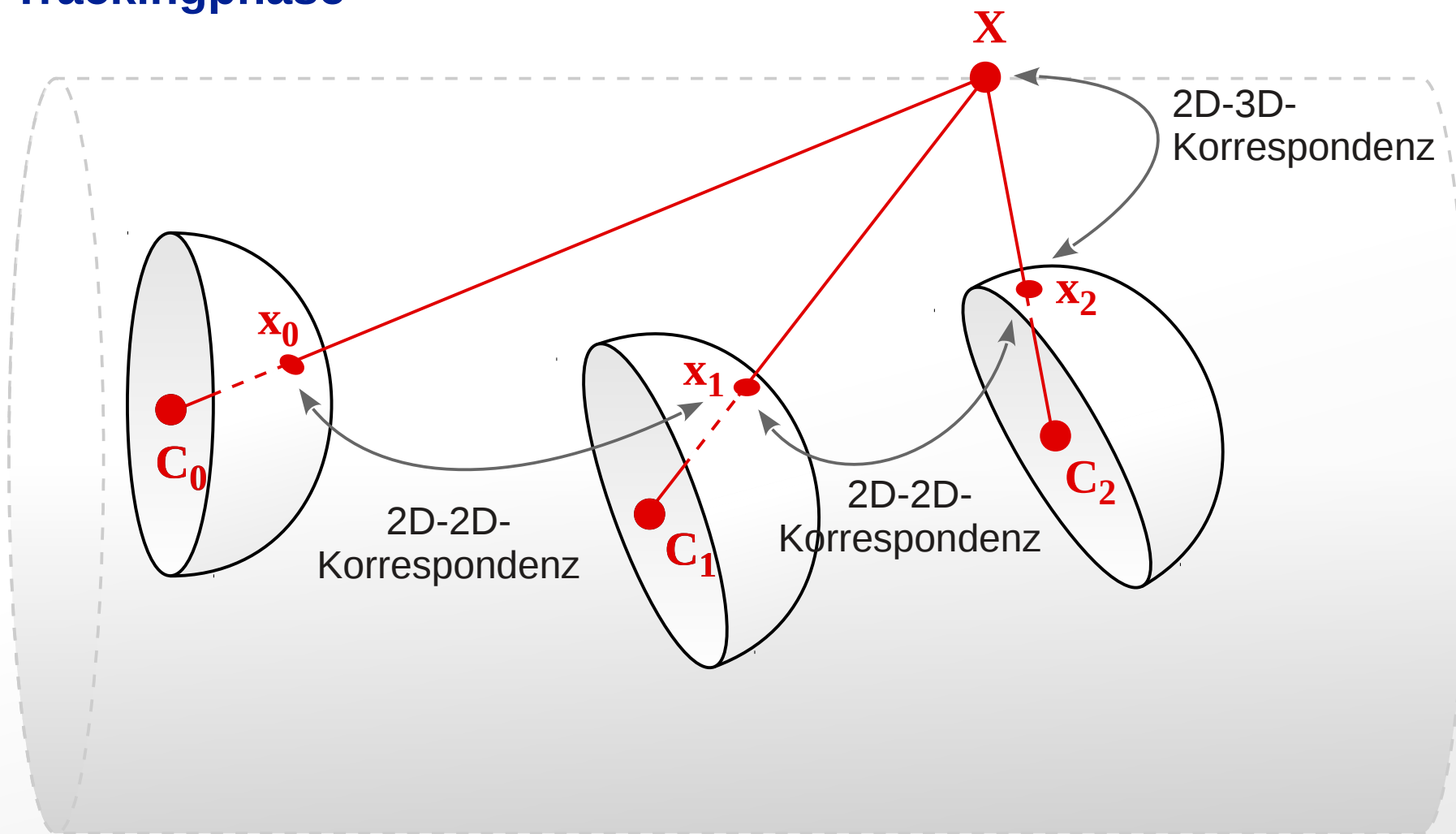
### 3. Structure from Motion

#### Initialisierungsphase

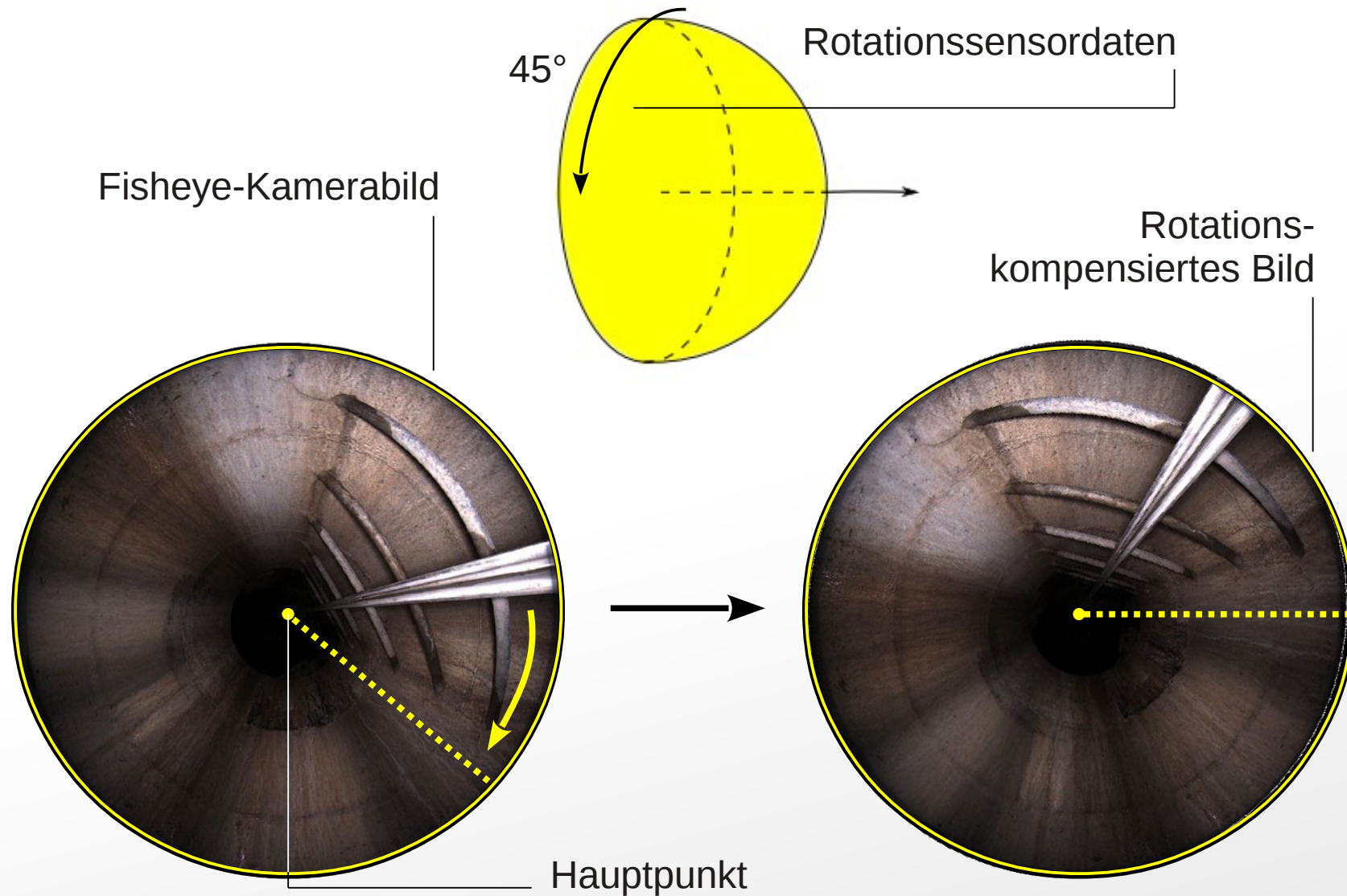


### 3. Structure from Motion

#### Trackingphase

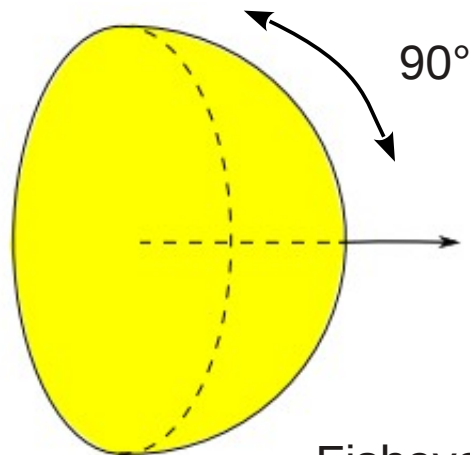


# 1. Vorverarbeitung - Rotationskompensation



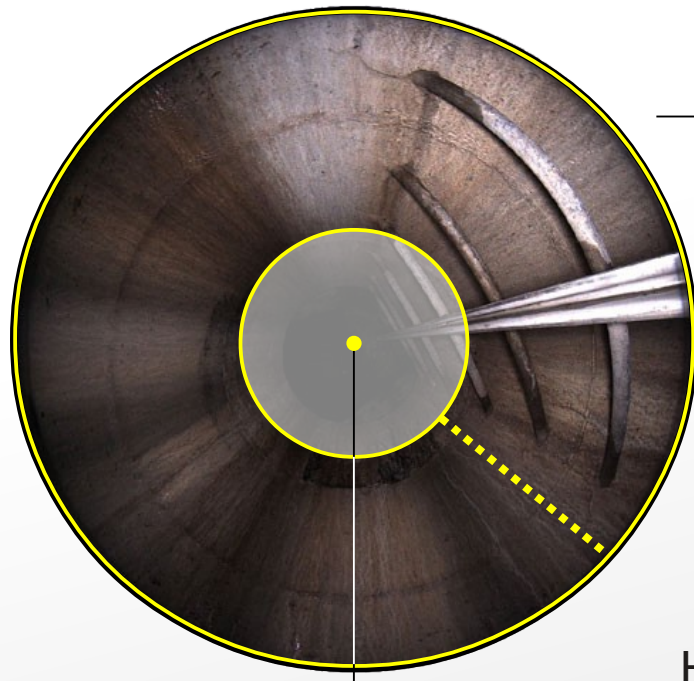


# 1. Vorverarbeitung - Zylinderabwicklung

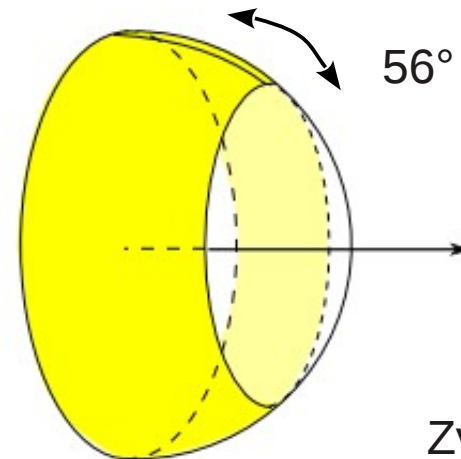


90°

Fisheye-Kamerabild



Hauptpunkt



56°

Zylinderbild,  
rotations-  
kompensiert

1

2

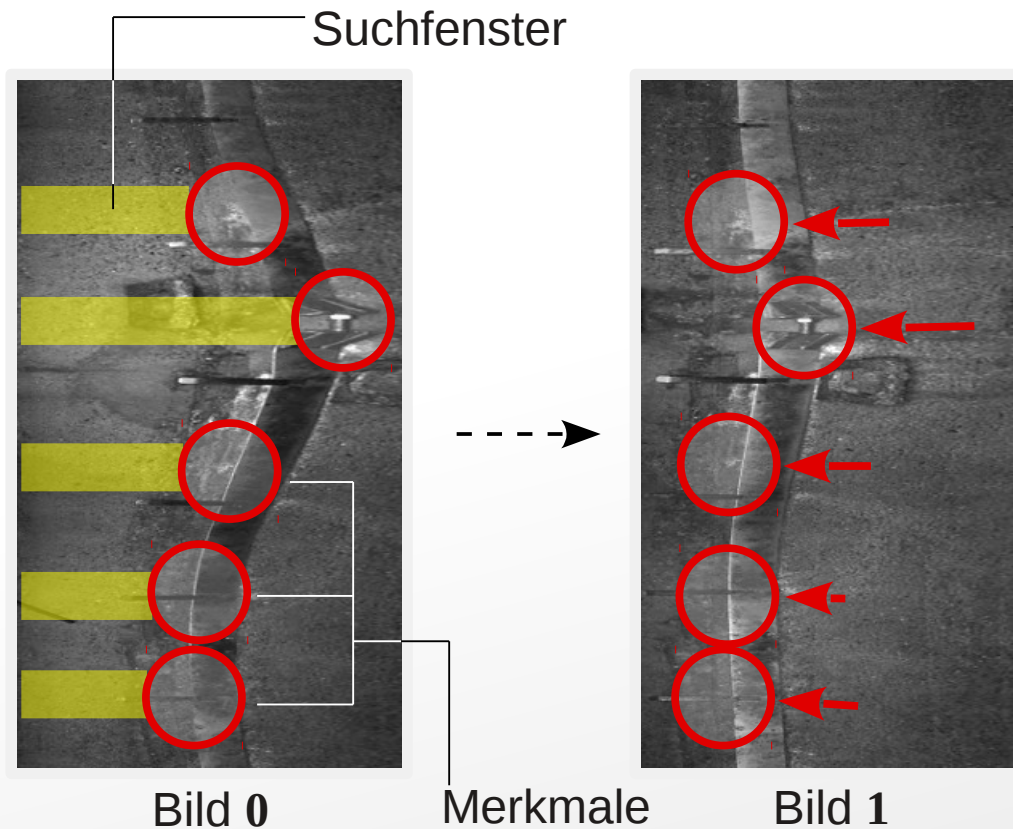
3

4

5

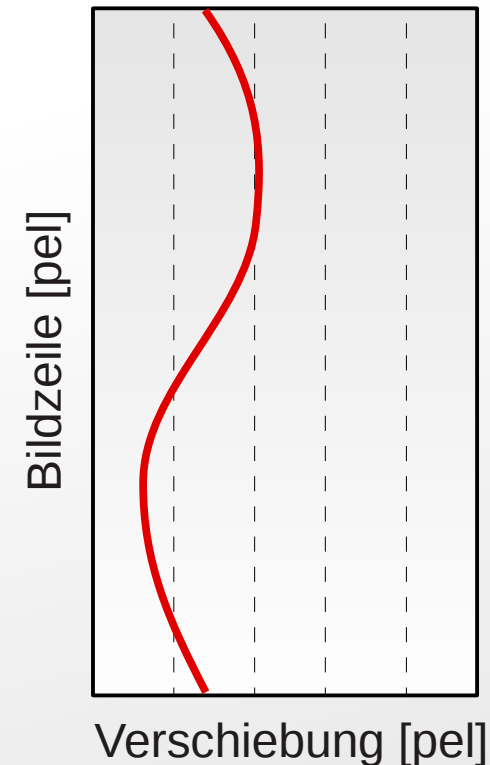
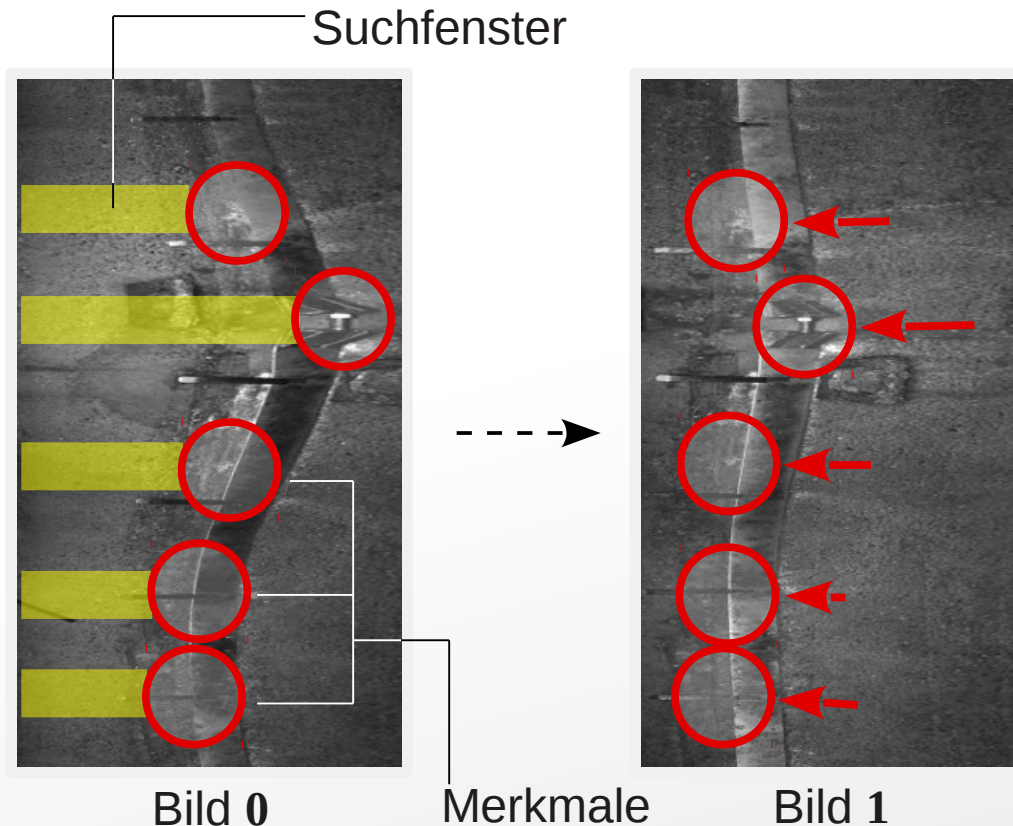
## 2. Erzeugen von Punktkorrespondenzen

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



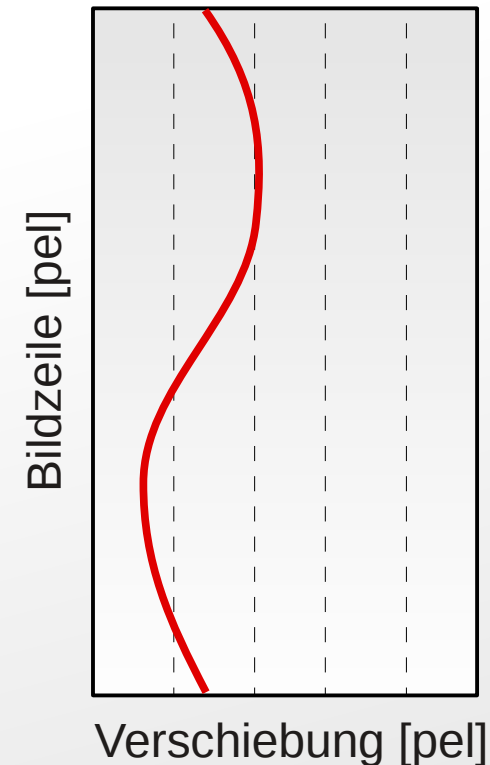
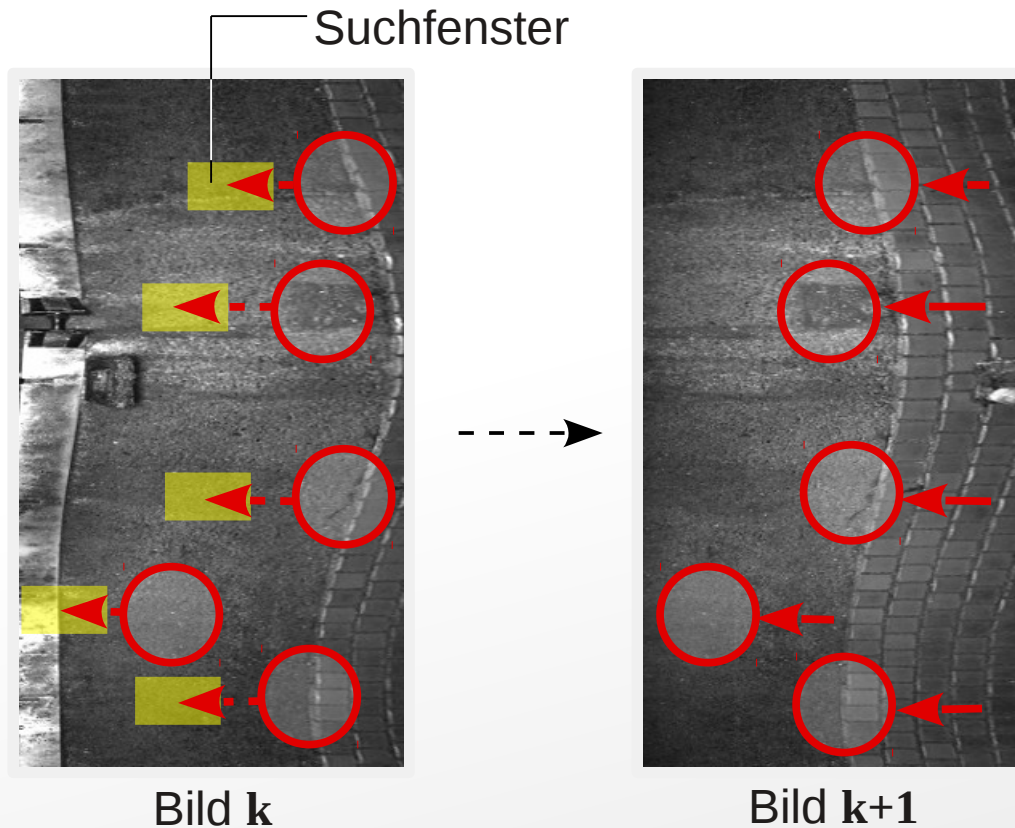
## 2. Erzeugen von Punktkorrespondenzen

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



## 2. Erzeugen von Punktkorrespondenzen

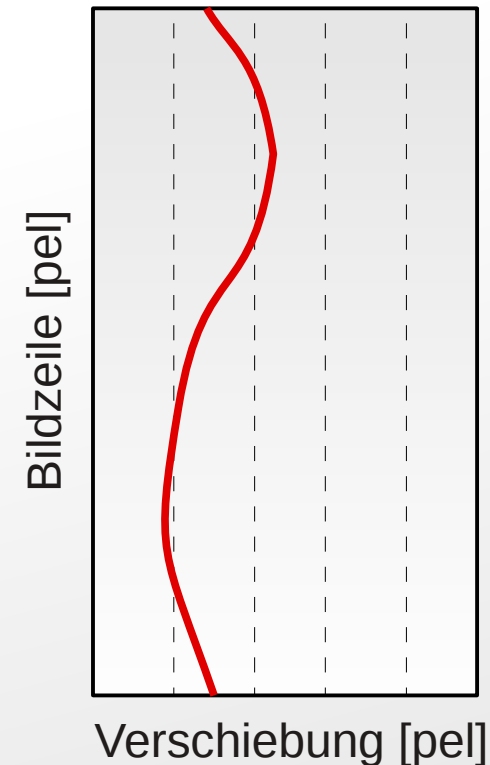
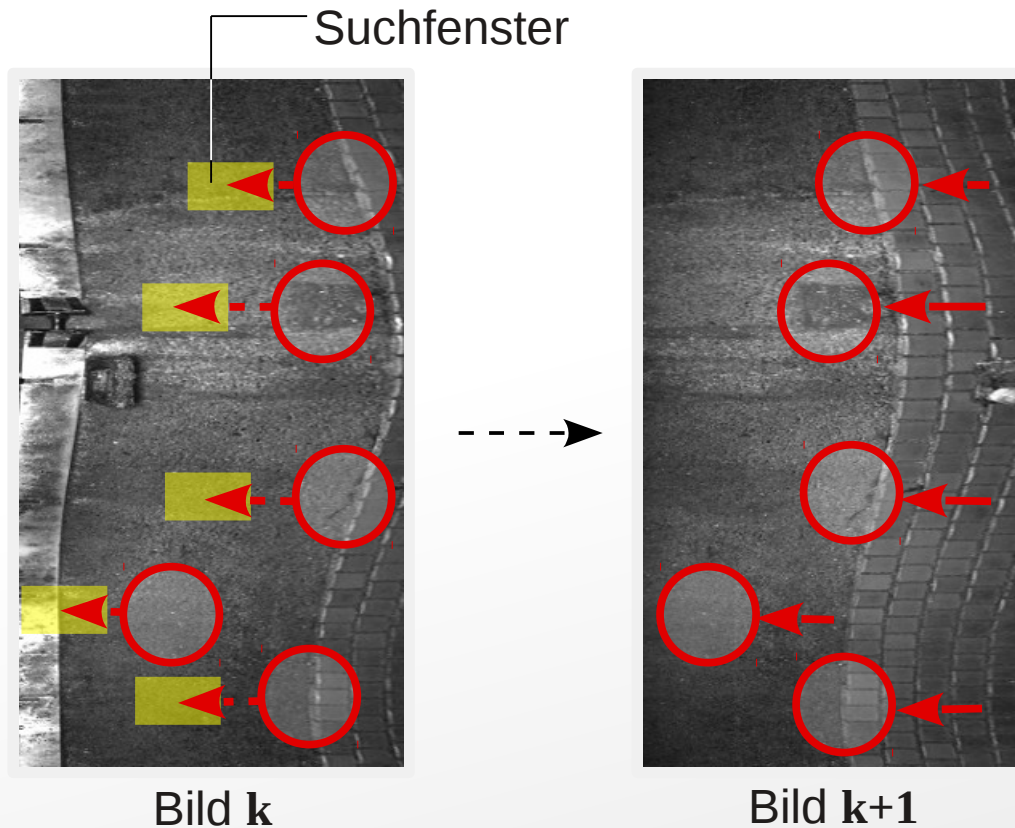
- **Tracking:** Prädiziere neue Position mit **Verschiebungsfunktion**
- Kleineres Suchfenster an Zielposition





## 2. Erzeugen von Punktkorrespondenzen

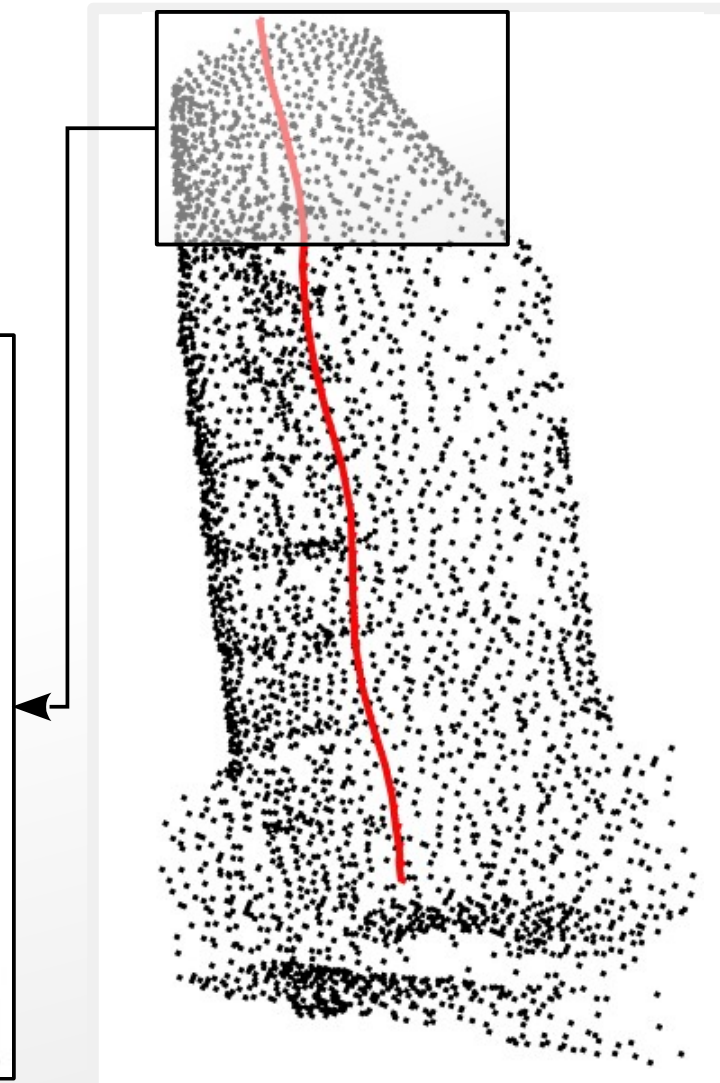
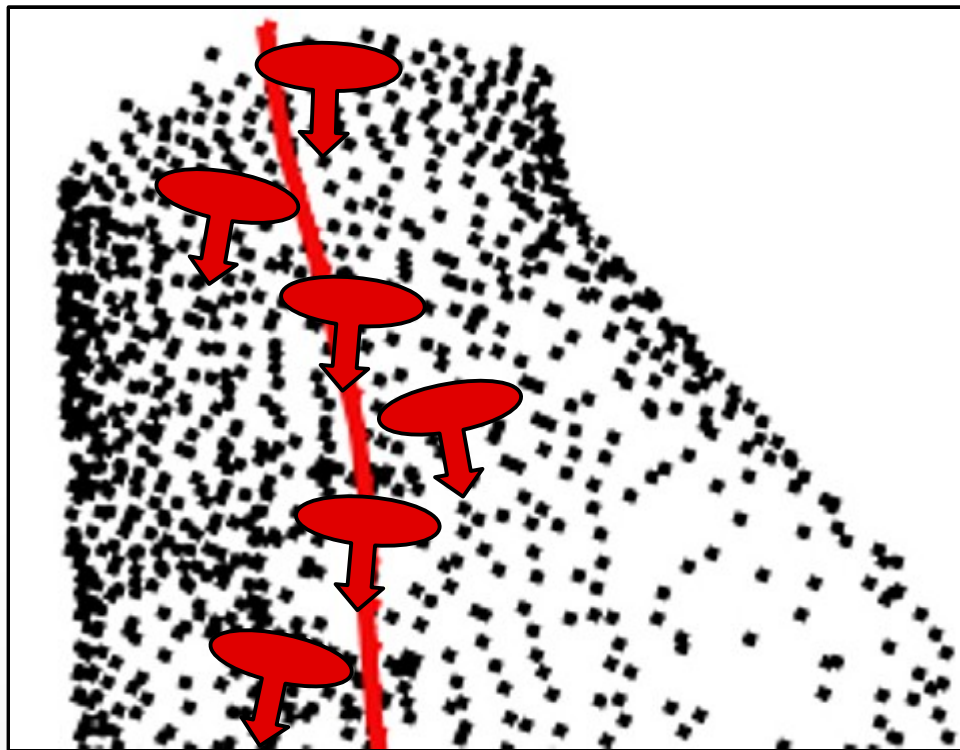
- **Tracking:** Prädiziere neue Position mit **Verschiebungsfunktion**
- Kleineres Suchfenster an Zielposition
- Aktualisiere **Verschiebungsfunktion**





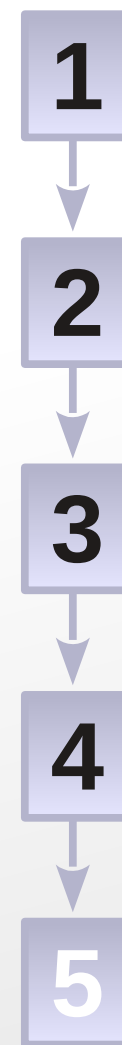
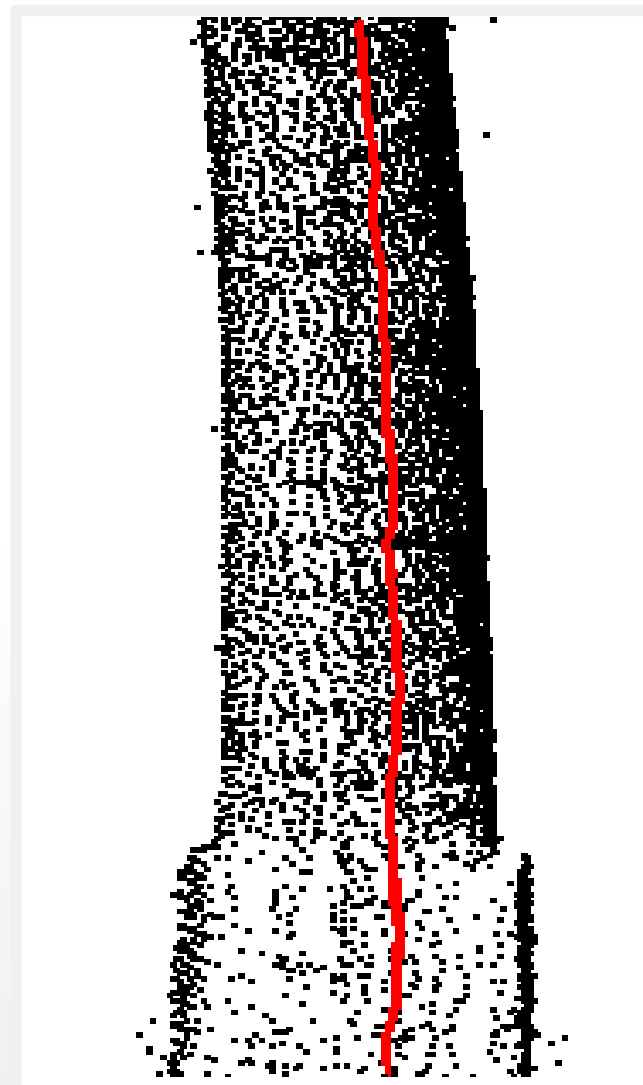
### 3. Structure from Motion

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



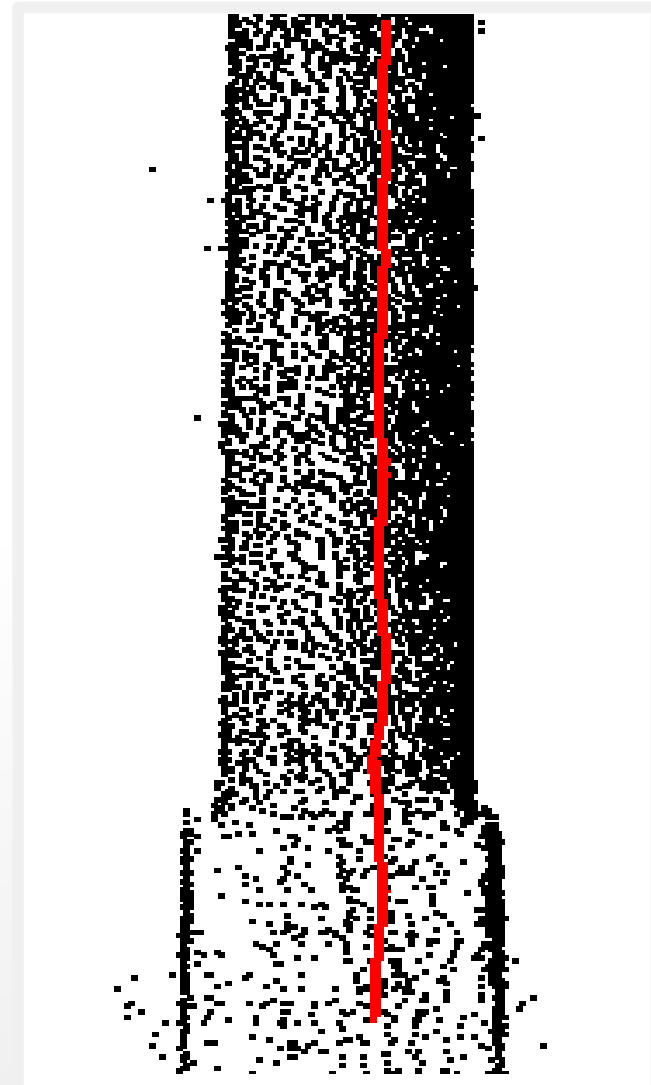
## 4. Globale Korrektur

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



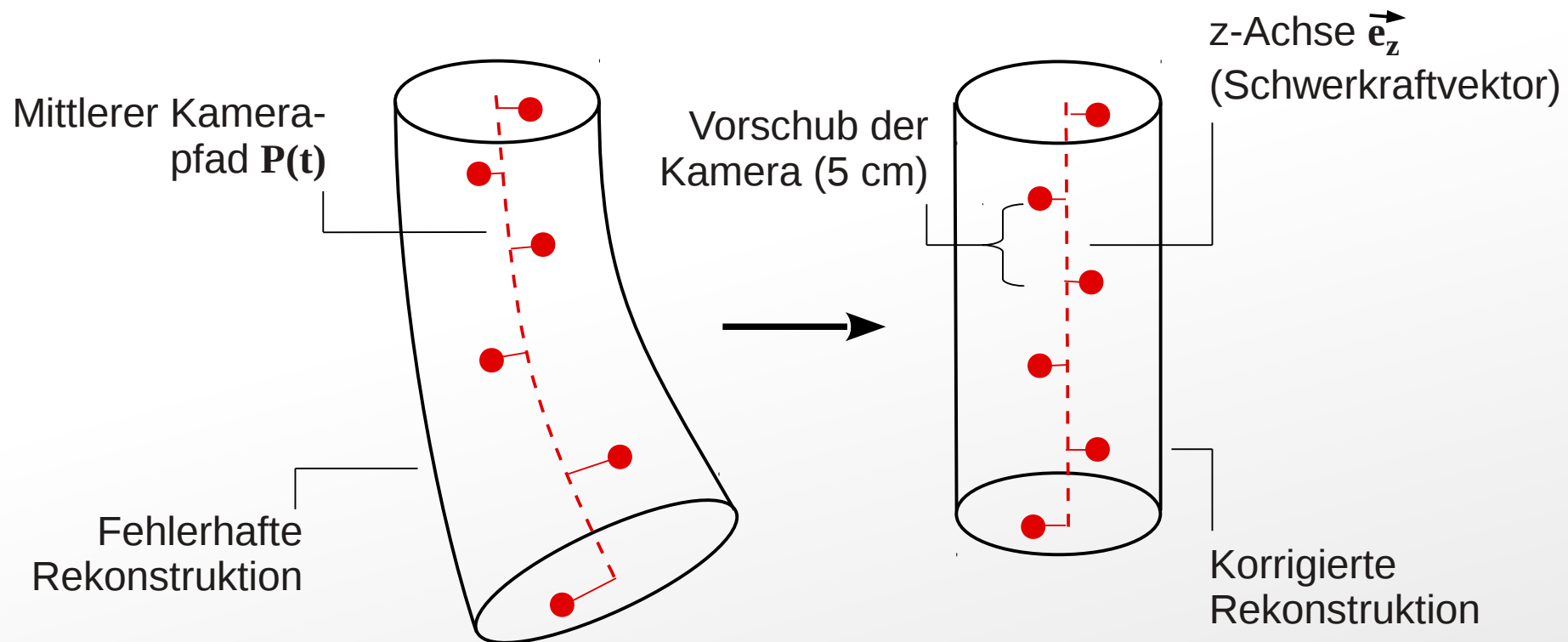
## 4. Globale Korrektur

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



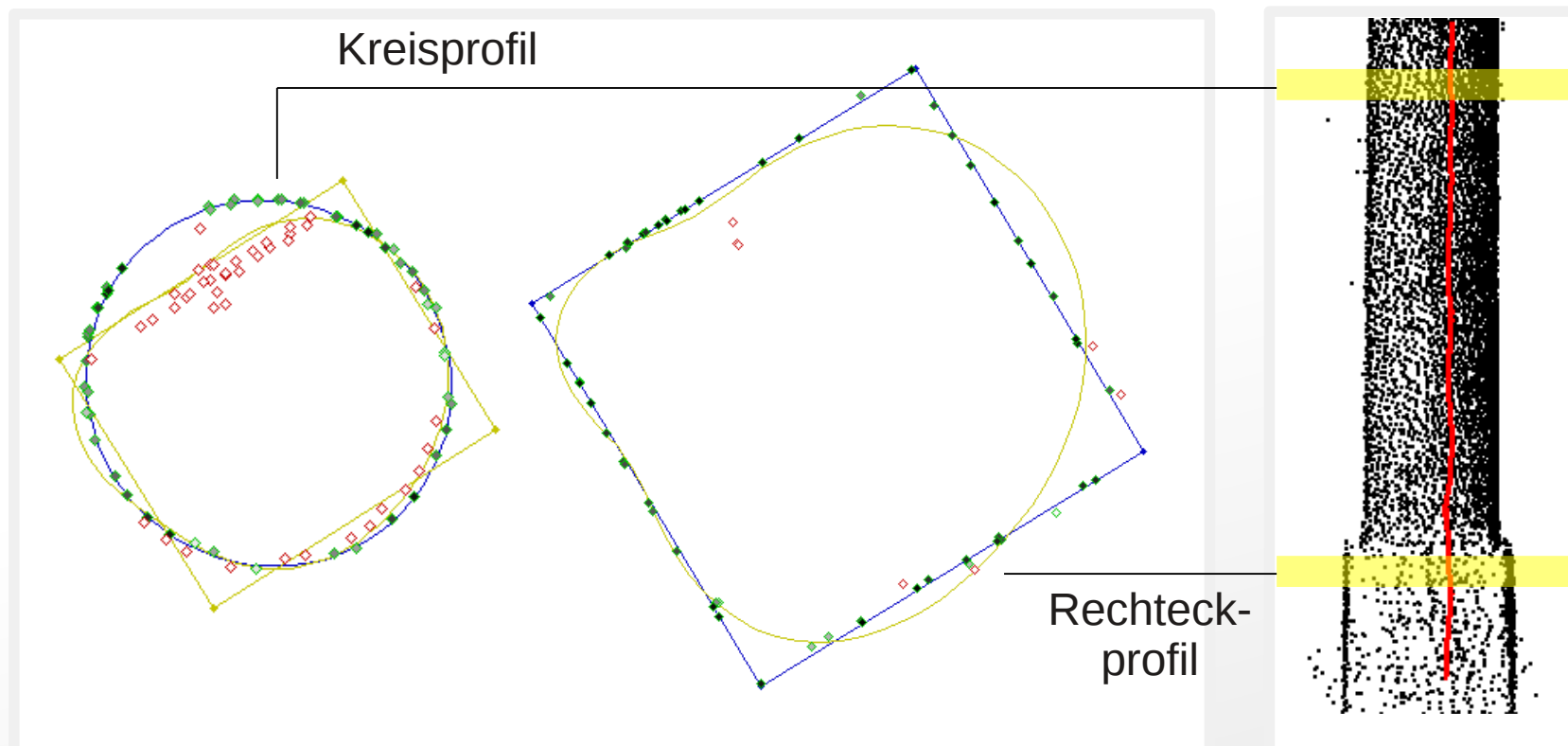
## 4. Globale Korrektur

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



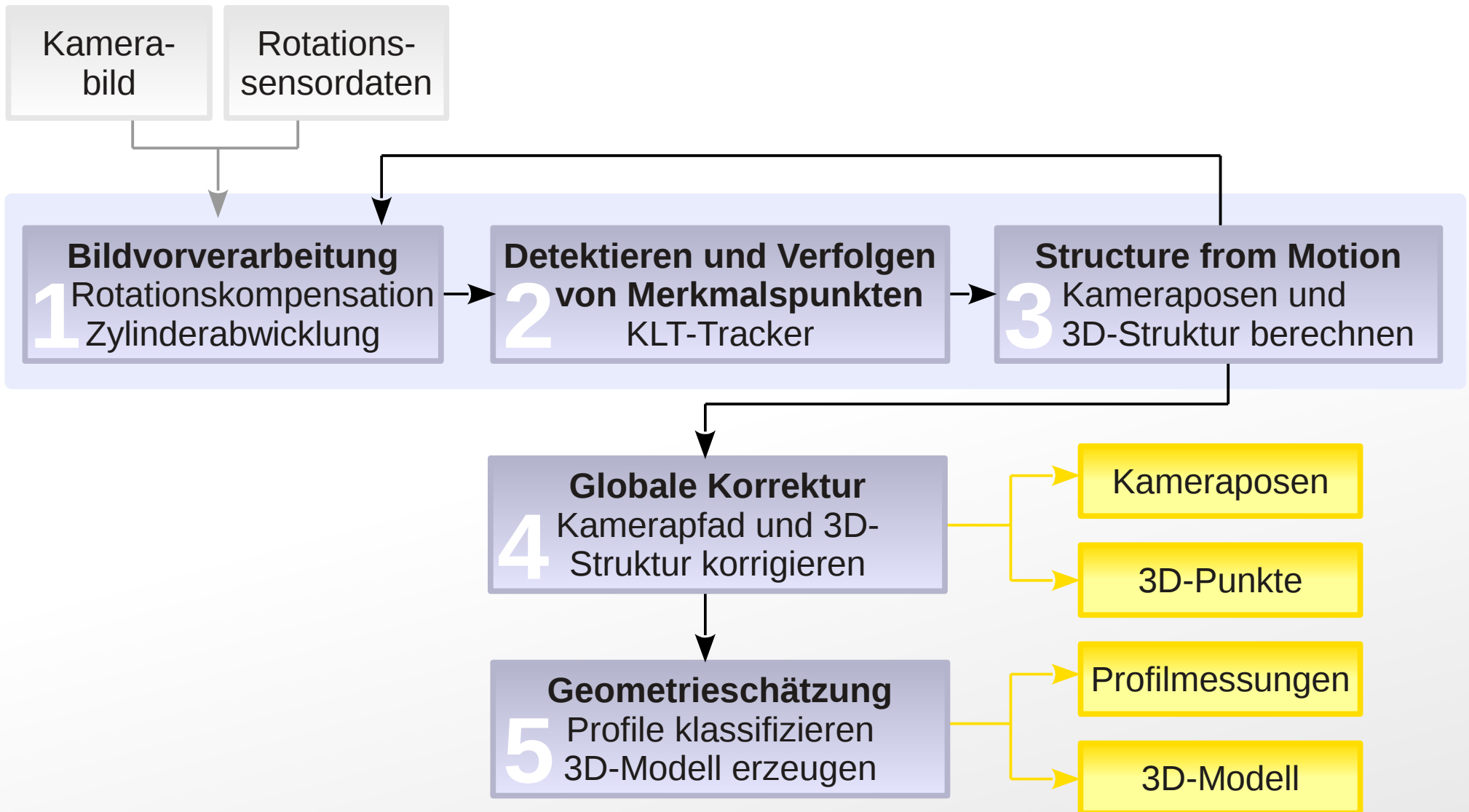
## 5. Klassifizieren des Schachtprofils

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





# Ablauf des Verfahrens

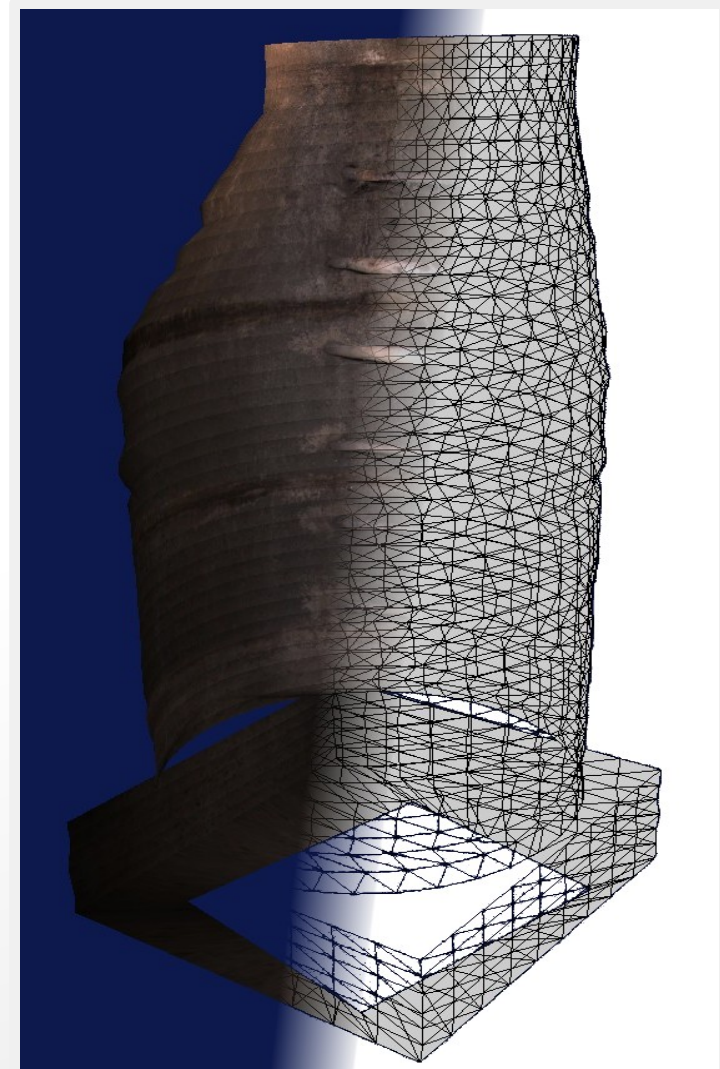


## Erzeugen von 3D-Modellen

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

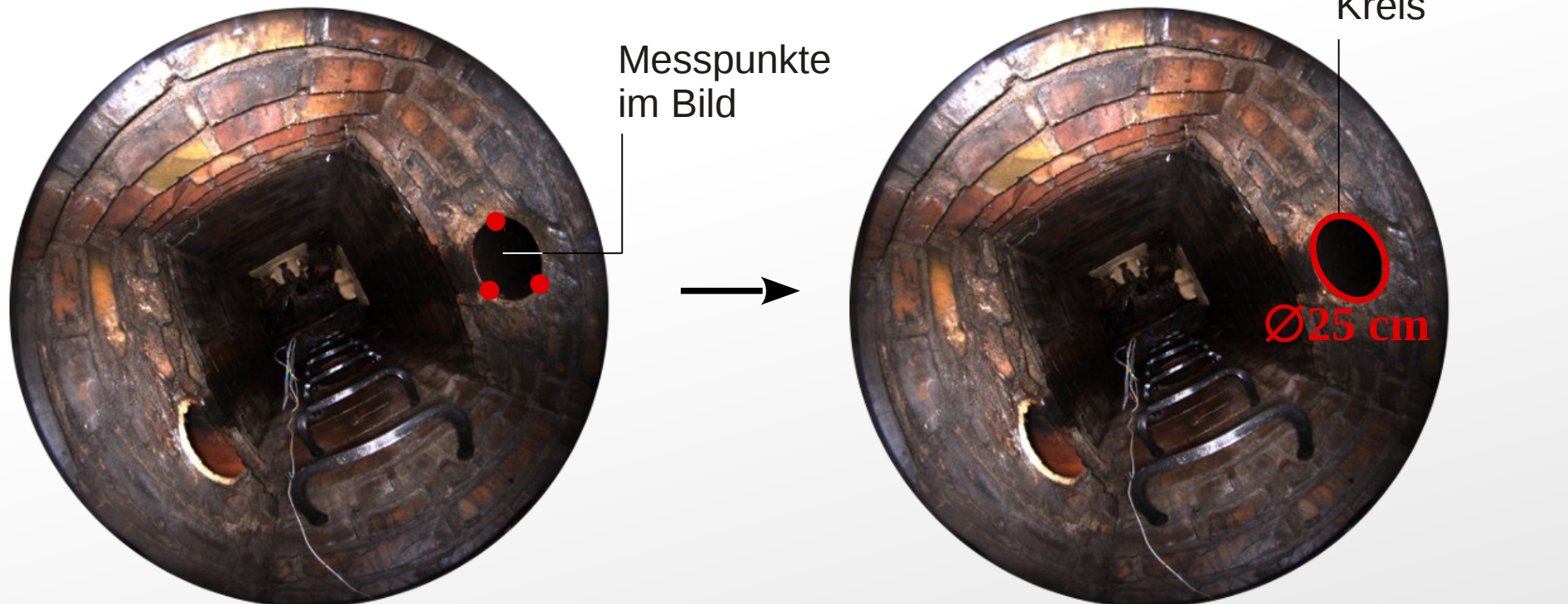
### ➤ Ausgabe:

- 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

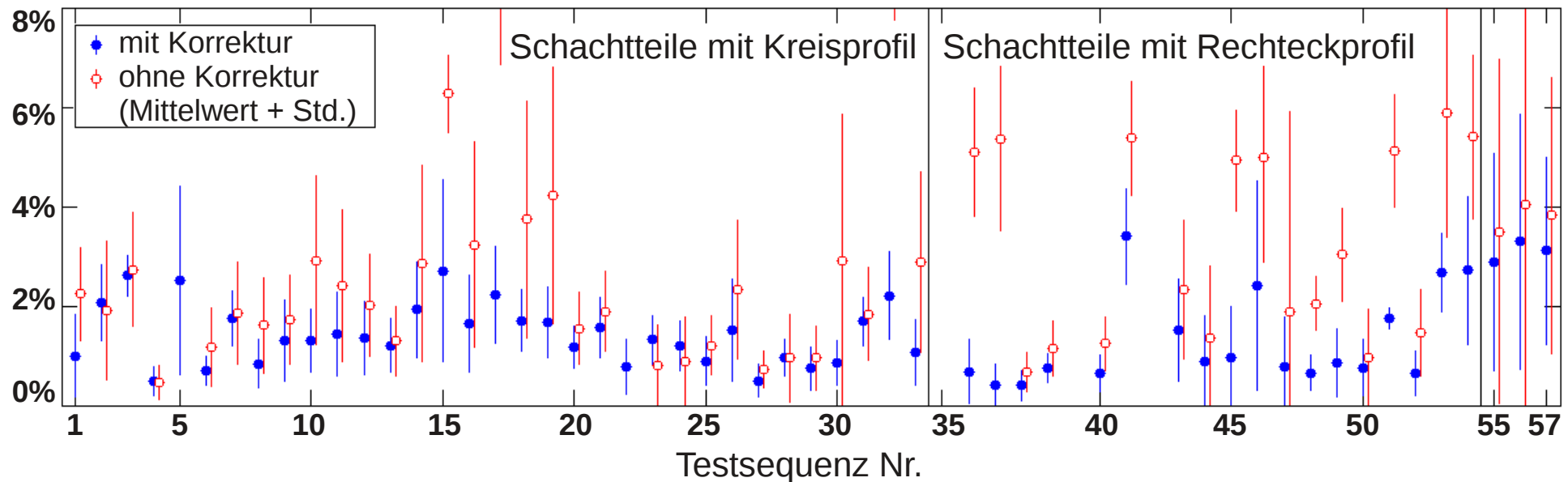


## Tests und Auswertungen

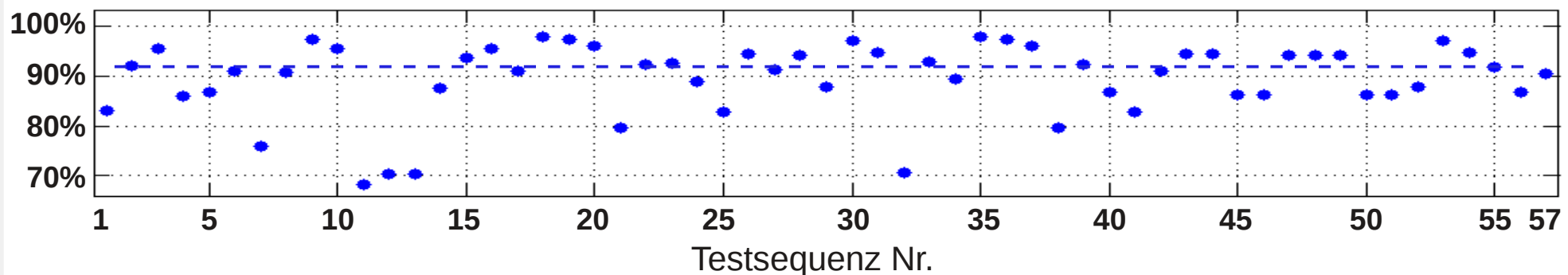
- Einleitung und Problemstellung
- Verfahren zur Schachtrekonstruktion
  - Modifiziertes *Structure from Motion*
  - Globale Korrektur der Rekonstruktion
  - Schachtprofilvermessung und Modellerzeugung
- Tests und Auswertungen
- Zusammenfassung

# Auswertung der Profilvermessung

## Mittlerer Schätzfehler von 57 Testsequenzen



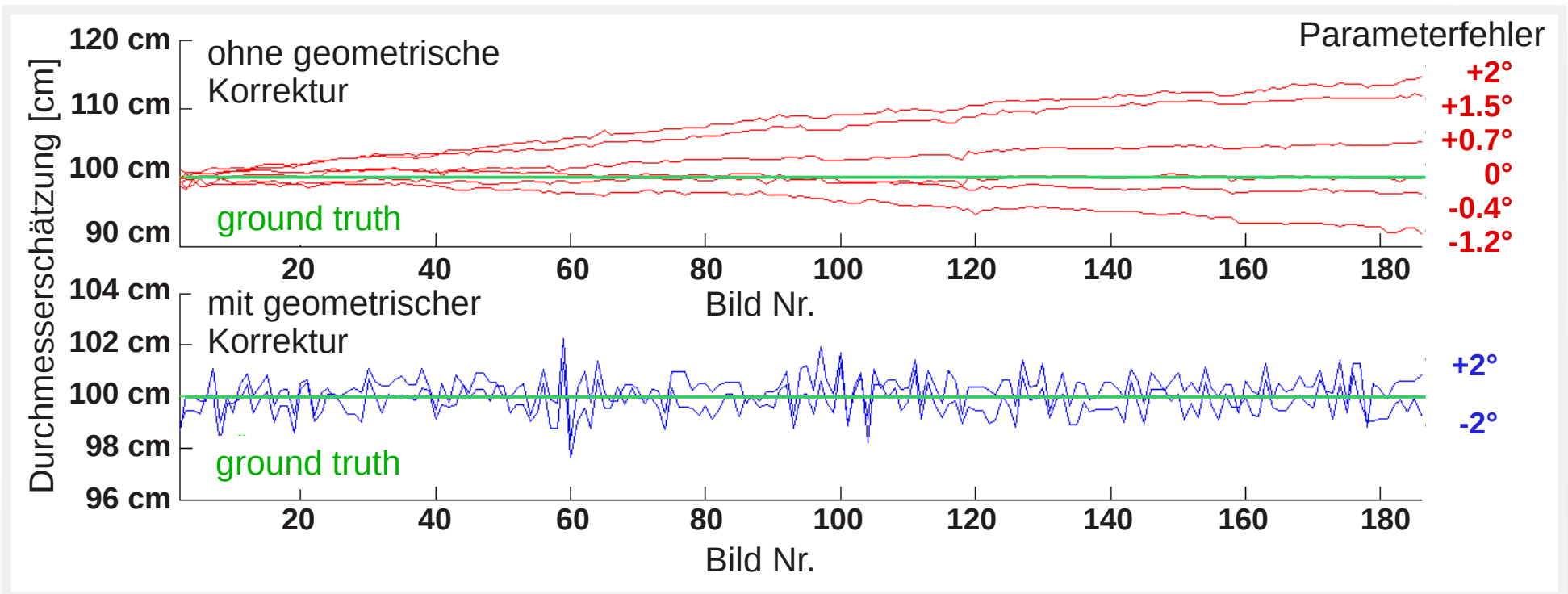
## Erfolgsquote der Klassifizierung der Schachtquerschnitte





## 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!

**ZUKUNFTS**programm

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

