

# DAIMLER

---

## Tracking und Bewegungsvorhersage von Fahrzeugen in komplexen Innenstadtszenarien

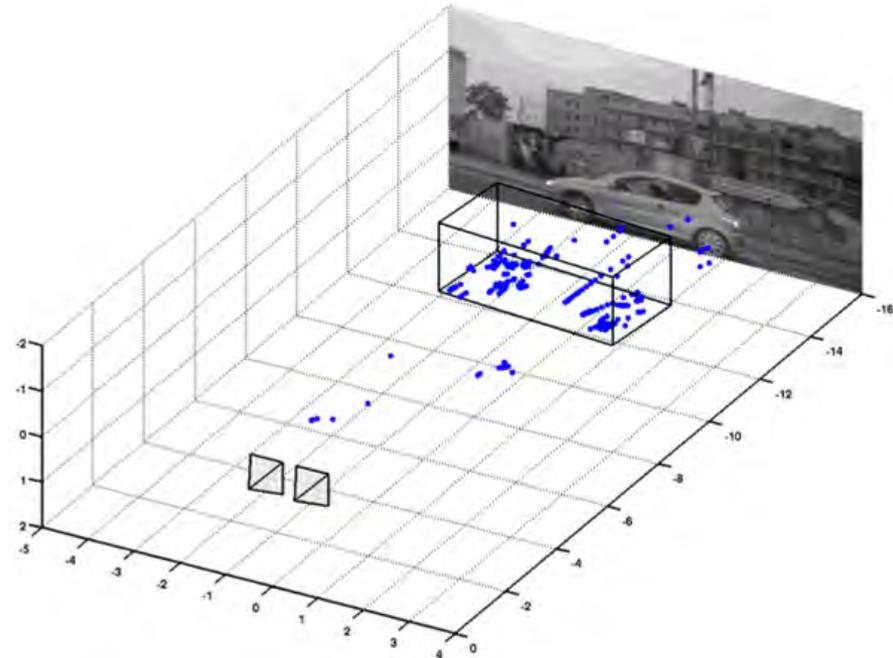
C. Hermes<sup>2</sup>, J. Einhaus<sup>1,2</sup>, M. Hahn<sup>1</sup>, C. Wöhler<sup>1</sup>, F. Kummert<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Daimler AG, Group Research & Advanced Engineering

<sup>2</sup>Universität Bielefeld, AG Angewandte Informatik

# Überblick

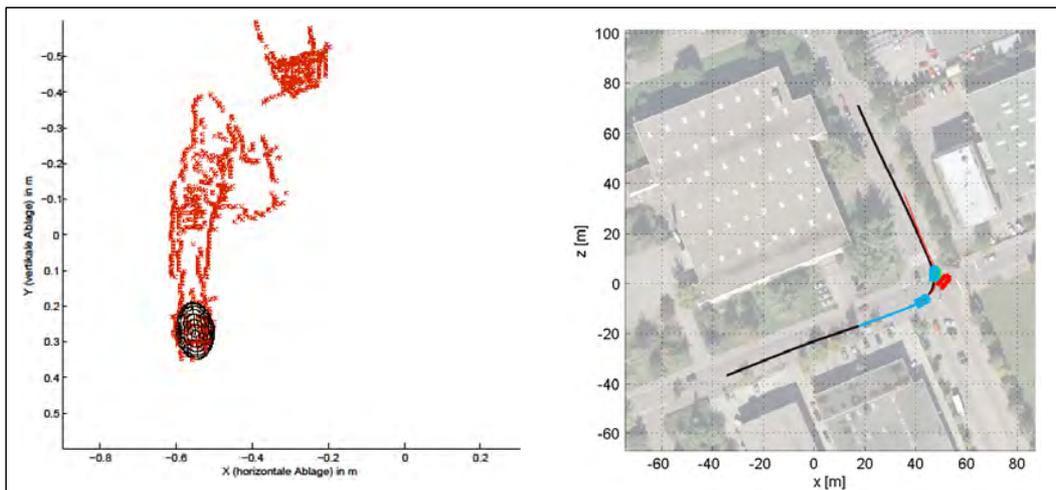
- **Einleitung / Motivation**
- **Verwendete Methoden**
  - Objektinitialisierung: Clustering
  - Objektlokalisierung: Mean-Shift
  - Bewegungsprädiktion
- **Ergebnis**
- **Zusammenfassung**



# Einleitung

## Motivation

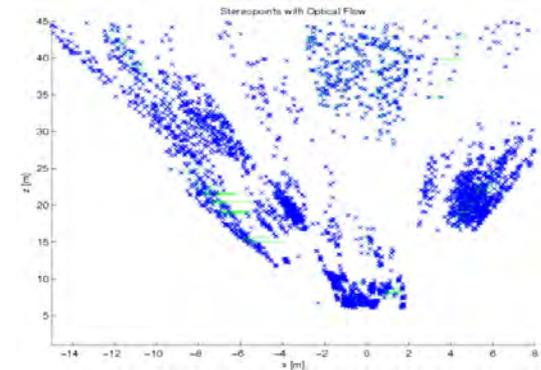
- Kalmanfilter häufig problematisch beim Tracking dynamisch bewegter Objekte
- **Ziel:** Vorhersage von Fahrzeugposen im Straßenverkehr 1 – 2 s im voraus, geeignet für Warnung des Fahrers
- Spezielle Untersuchung: Kreisverkehr
- Tracking und Bewegungsprädiktion gleichzeitig
- **Idee:** Verknüpfung von 3D-Mean-Shift-Tracking und 2D-Trajektorienprädiktion



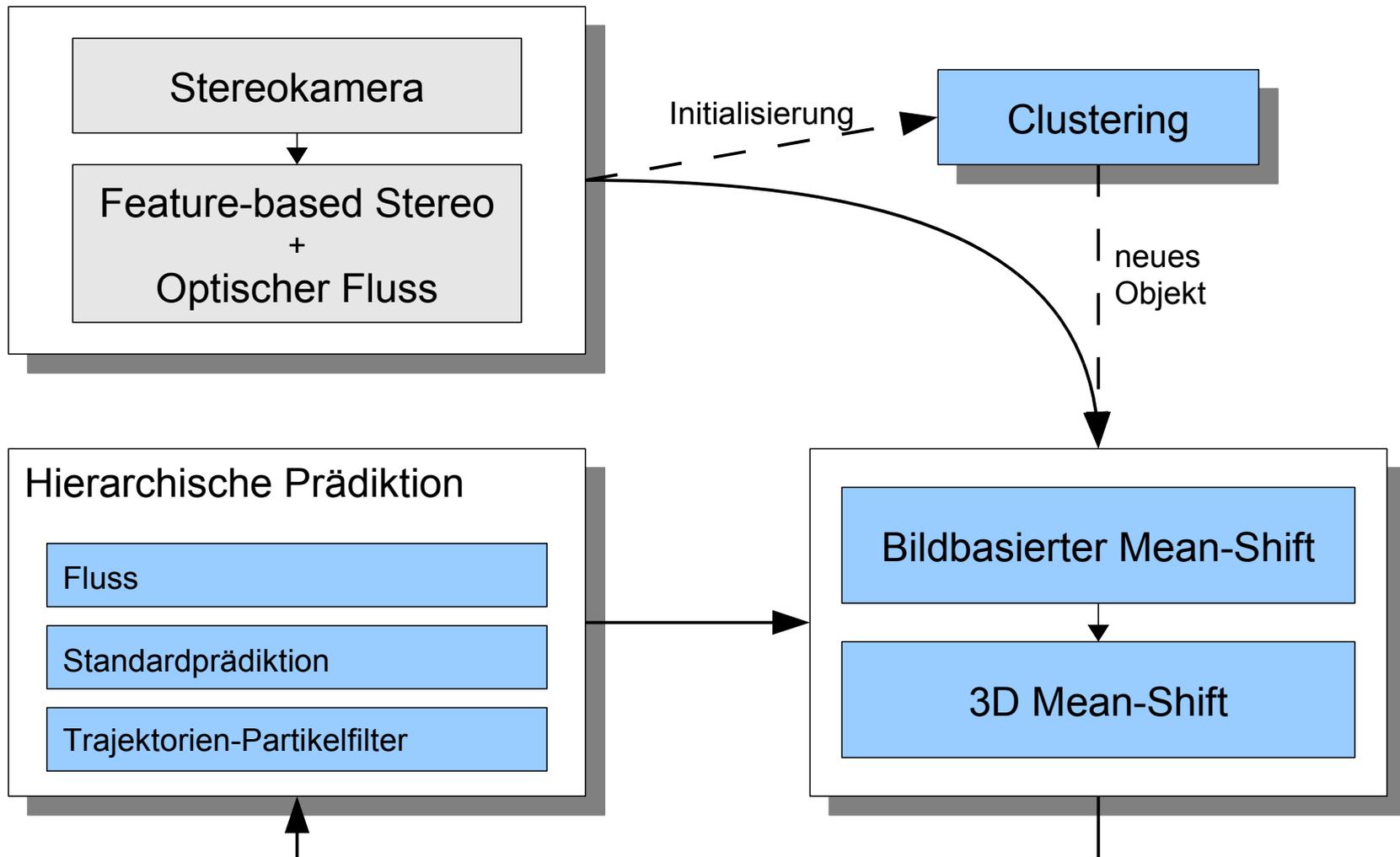
# Einleitung

## Herausforderungen

- Verrauschte 4D-Daten (3D Position + 1D Geschw.)  
Featurebasierter Fluss und Stereo
- Unterschiedliche Bewegungsformen:
  - *Hinterer Kreisverkehr*
    - Großer Abstand zur Kamera (ca. 40 m)
    - Hoher Rauschanteil / viele Verdeckungen
  - *Objekte vor der Kamera entlang*
    - Kurze Sichtbarkeit (~3–4 s)
  - *Kurvenfahrten*
    - Hohe Dynamik,  
muss im Modell berücksichtigt werden



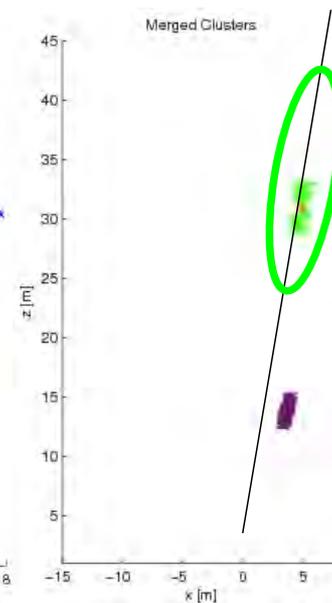
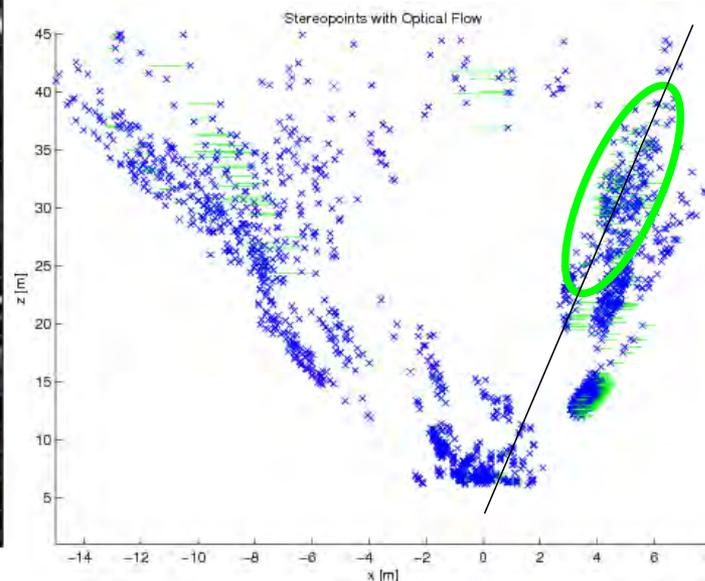
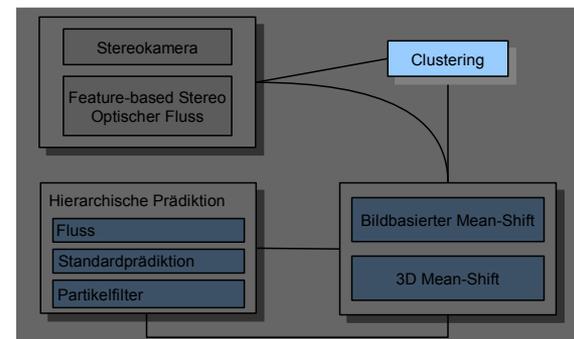
# Verwendete Methoden



# Verwendete Methoden

## Clustering

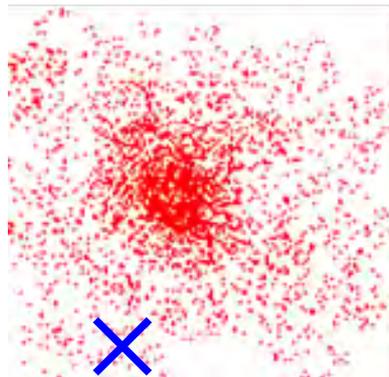
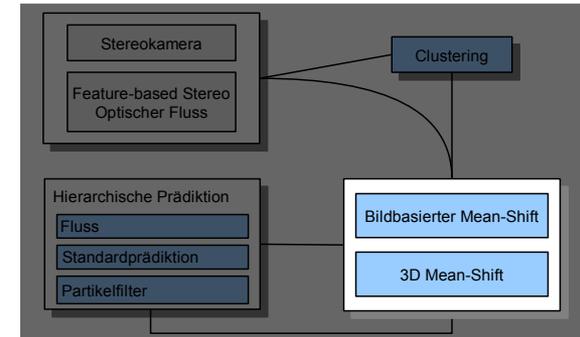
- Initialisierung neuer Objekte für die Tracking-Stufe
- Auswahlkriterium: Flussannotierte Stereopunkte  
→ Keine Forminformation über Objekt notwendig
- Graphenbasiertes Clustering auf 4D-Punkten [Bock, 1974]
- *Beispiel:* Fahrzeug fährt in Szene ein



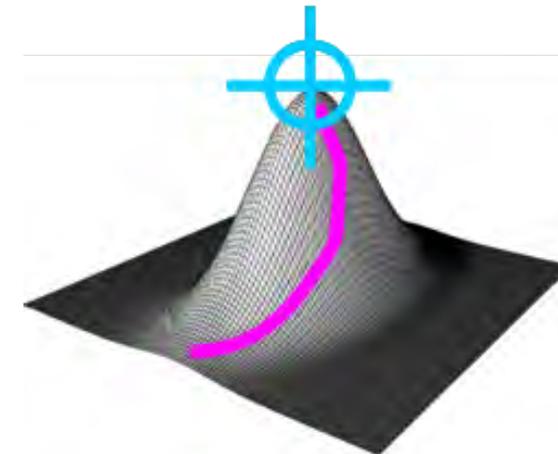
# Verwendete Methoden

## Mean-Shift: Grundlagen

- Iterative Maximumsschätzung für Punkteverteilungen  
[Comaniciu und Meer, 2002]



$$m_{(h, G)}(\mathbf{x}) = \frac{\sum_{i=1}^N \mathbf{x}_i g\left(\left\|\frac{\mathbf{x} - \mathbf{x}_i}{h}\right\|^2\right)}{\sum_{i=1}^N g\left(\left\|\frac{\mathbf{x} - \mathbf{x}_i}{h}\right\|^2\right)} - \mathbf{x}$$



[Bildmaterial: [www.wisdom.weizmann.ac.il/~deniss/vision\\_spring04](http://www.wisdom.weizmann.ac.il/~deniss/vision_spring04)]

# Verwendete Methoden

## Mean-Shift

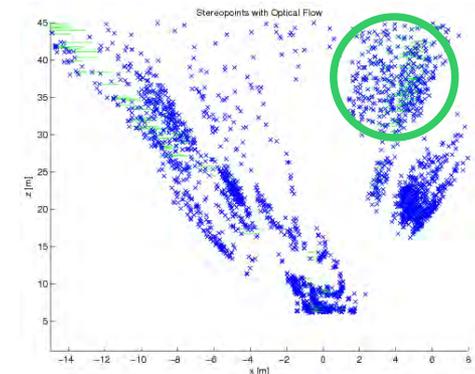
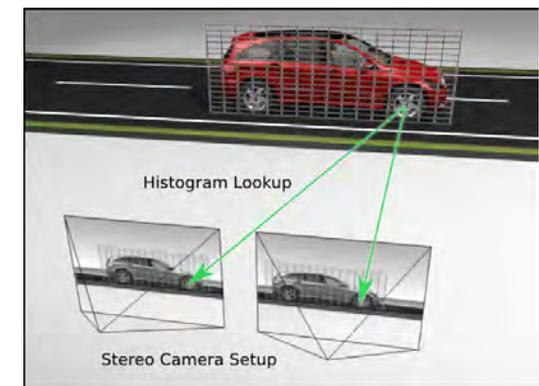
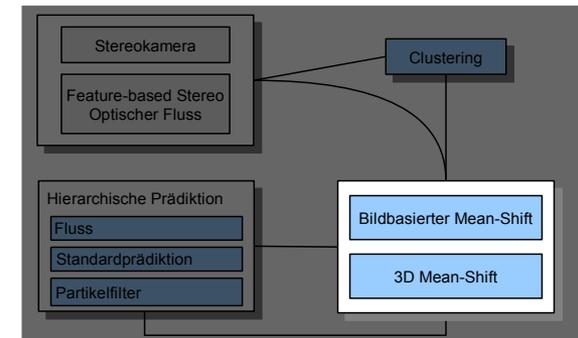
Punktwolke zu „sparse“ für Dichteschätzung  
 → Anwendung für Tracking: Zweistufiger Mean-Shift

### (1) Bildbasiert:

- Annahme: Objektdistanz ähnlich zum vorherigen Zeitschritt
- Gewichtung der Punkte mit zugehörigem Bildinhalt
- Rel. Häufigkeit für jeden 3D-Rasterpunkt (interpretiert als Wahrscheinlichkeit)

### (2) Tiefenanpassung:

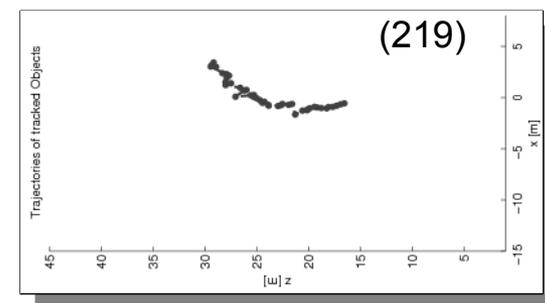
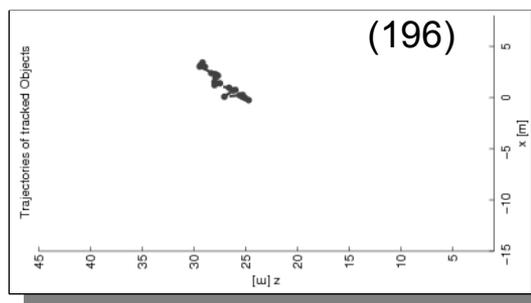
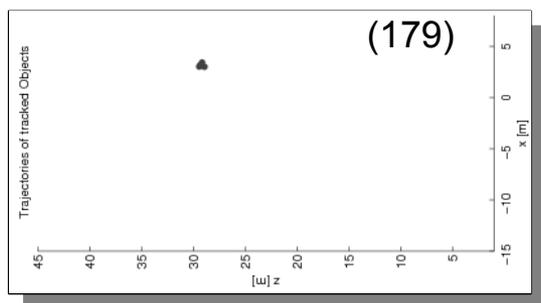
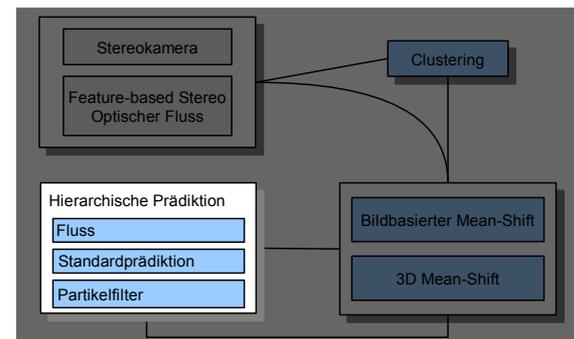
- Initialisiert mit bildbasierten Mean-Shift-Ergebnissen
- Maximum der Punkteverteilung entspricht Objektposition



# Verwendete Methoden

## Bewegungsprädiktion

- Vorhersage für nächsten Zeitschritt notwendig
- Gestaffelt: Je mehr Historie, desto besser Prädiktion



Prädiktionen abhängig von Historienlänge:

### (1) Prädiktion mittels 1D-Fluss ( $p \leq 5$ Zeitschritte $\equiv 0.21$ s )

- Gibt grobe Richtung entlang horizontaler Linie wieder

### (2) Kinematische Prädiktion ( $5 \leq p \leq 30$ Zeitschritte $\rightarrow 0.21 \leq p \leq 1.26$ s )

- konstante Beschleunigung, konstanter Lenkwinkel
- geschätzt mittels Regression aus Historie

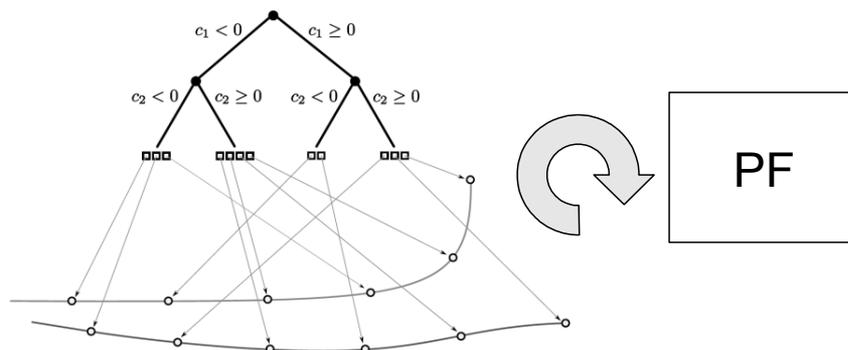
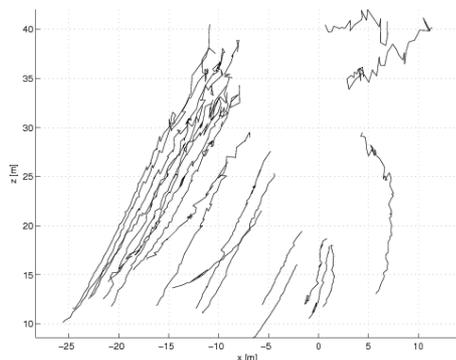
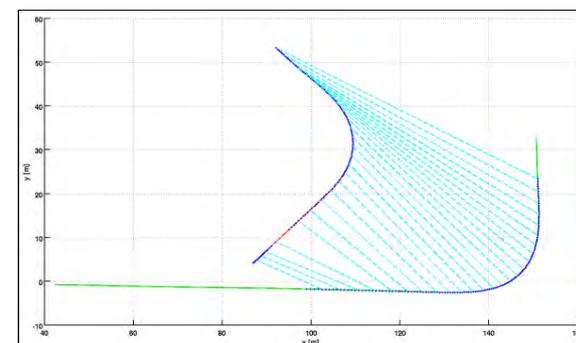
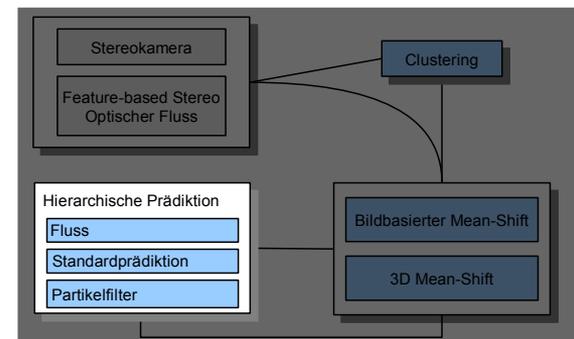
# Verwendete Methoden

## Bewegungsprädiktion

Prädiktionen abhängig von Länge der Historie:

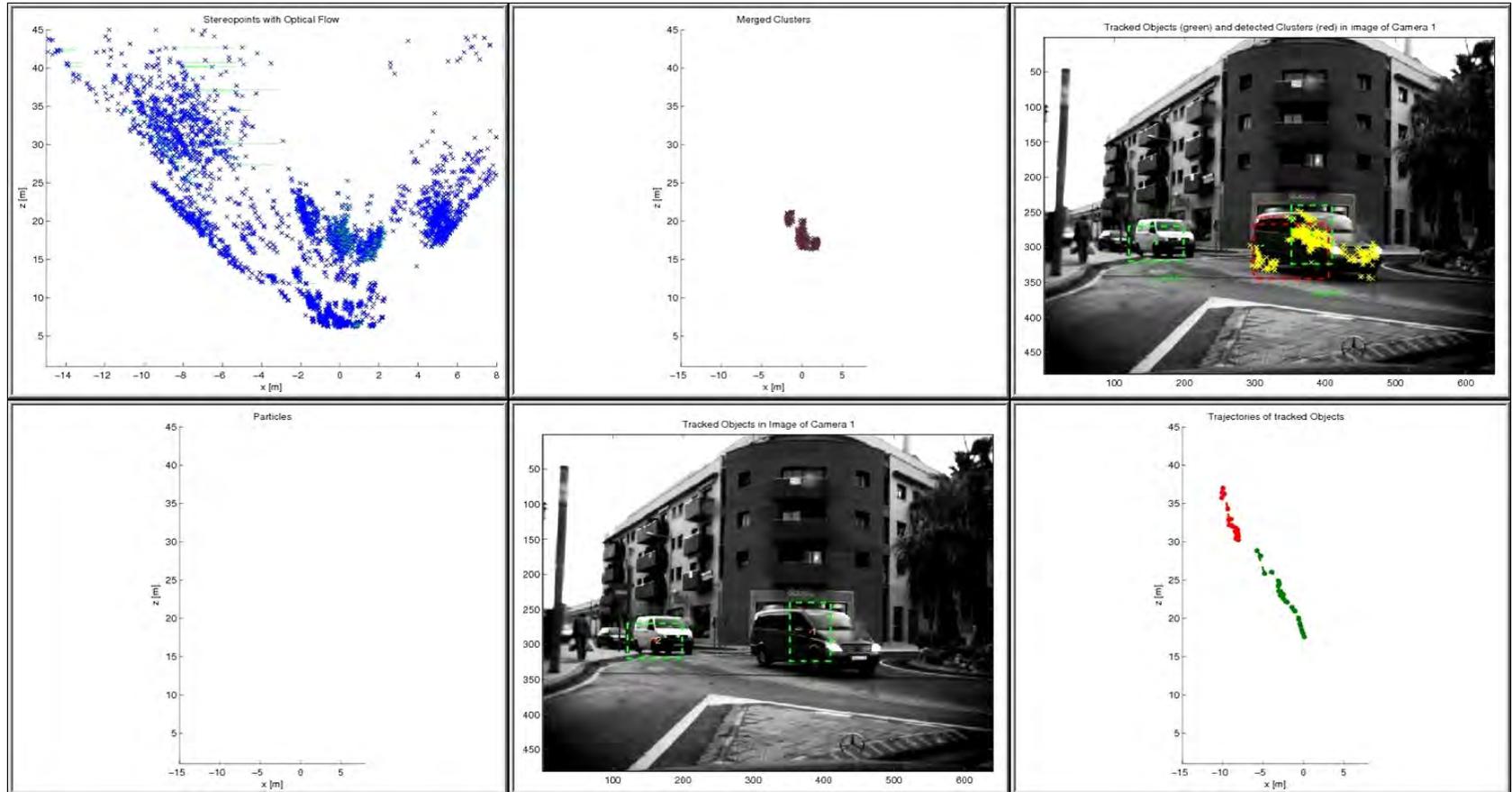
**(3) Partikelfilter** ( $p > 30$  Zeitschritte  $\rightarrow p > 1.26$  s)

- Gespeicherte Bewegungsmuster (Trajektorien) an Historie anpassen  
→ Translations- und rotationsinvariantes Maß
- Prädiktion ist einfacher Lookup in Trajektorie (sowohl nächster Zeitschritt als auch Langzeitprädiktion)
- Probabilistische Suche in Muster-DB mittels Partikelfilter [Hermes et al., 2009]



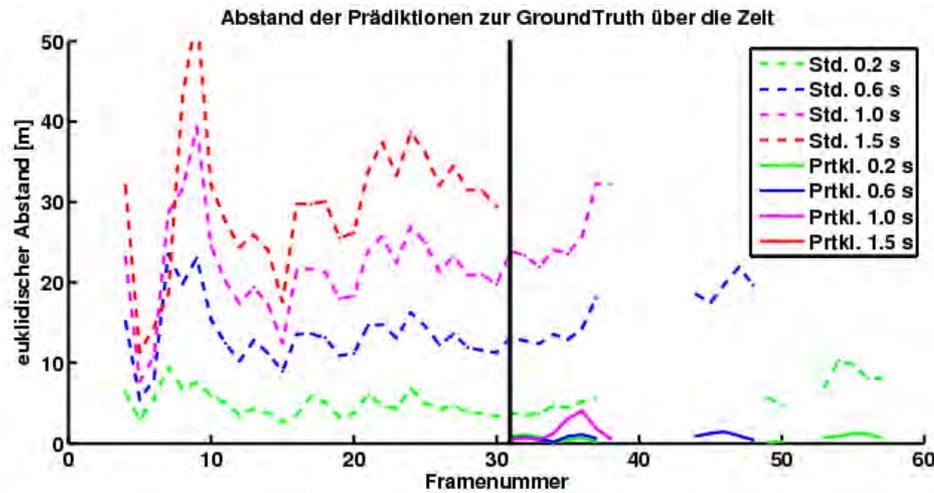
# Ergebnis

## Objektverfolgung

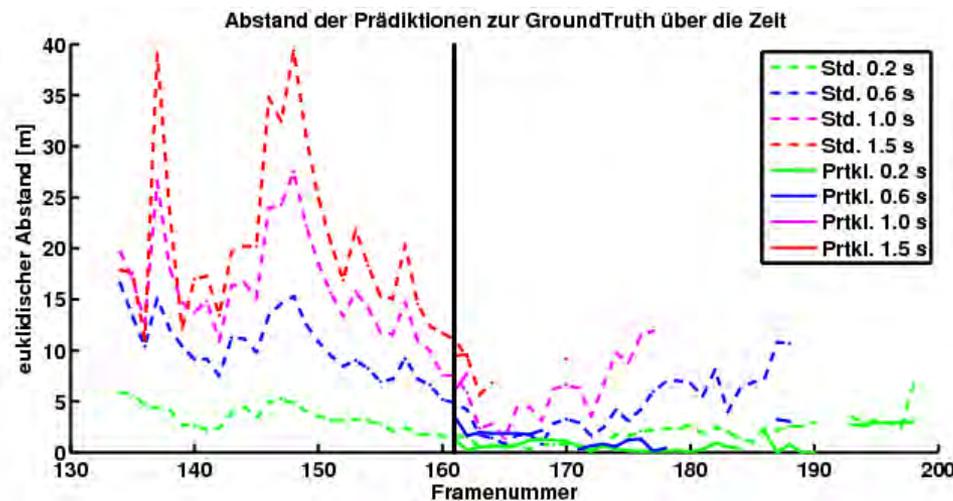


# Ergebnis

## Fehler der Prädiktion

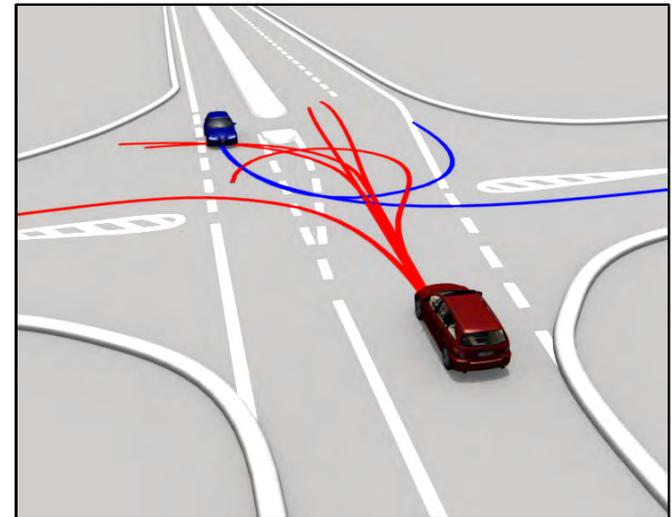


- Prädiktion für 0.2 s – 1.5 s
- Vergleich der prädizierten Position mit „Quasi-Ground-Truth“



# Zusammenfassung

- Tracking und (Langzeit-)Prädiktion  
→ Mean-Shift-Tracking + trajektorienbasierter Partikelfilter
- Verwendung von Bewegungsmustern:
  - neue Bewegungsmuster einfach integrierbar
  - Sensorrauschen wird mitgelernt
  - prinzipiell unabhängig vom Sensortyp
- Ausblick
  - Evaluierung mittels „echter“ Ground-Truth
  - geeignet für Sensorfusion (Partikelgewicht)
  - inkrementelle Erweiterung der Wissensbasis (aktives Lernen)



# DAIMLER

---

## Tracking und Bewegungsvorhersage von Fahrzeugen in komplexen Innenstadtszenarien

C. Hermes<sup>2</sup>, J. Einhaus<sup>1,2</sup>, M. Hahn<sup>1</sup>, C. Wöhler<sup>1</sup>, F. Kummert<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Daimler AG, Group Research & Advanced Engineering

<sup>2</sup>Universität Bielefeld, AG Angewandte Informatik