



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Digitales
und Verkehr

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Landmark-Based Localization for Automated Vehicles

29.03.2022

Robin Leblebici, M.Sc.



Agenda



S. 03

Das Forschungsfahrzeug

People Mover L4, Sensorik

S. 16

Demo Video

Sensoraufzeichnung, Verarbeitung in Echtzeit

S. 05

Landmarken

Typen, Anforderungen, Erkennung, Generierung und Kartenerstellung

S. 18

Ergebnisse

Validierung gegen Referenzsensorik

S. 10

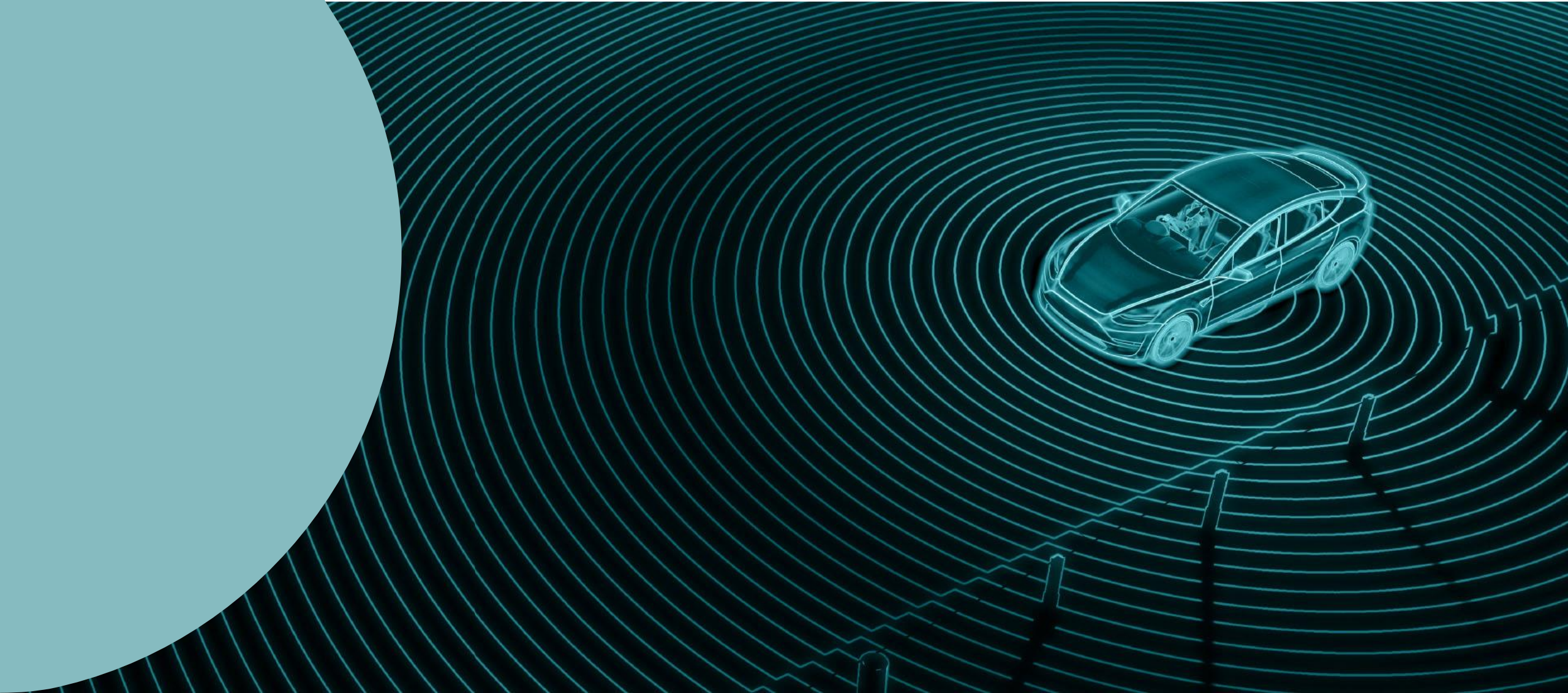
Sensordaten Verarbeitung

Feature Erkennung, ROS, Positionsschätzungs-Filter, Lokalisierung

S. 21

Ausblick & Fazit

Das Forschungsfahrzeug



Das Forschungsfahrzeug – People Mover



GPS

Wheel Speed Sensors

VLP-32C LIDAR
(Front & Back)

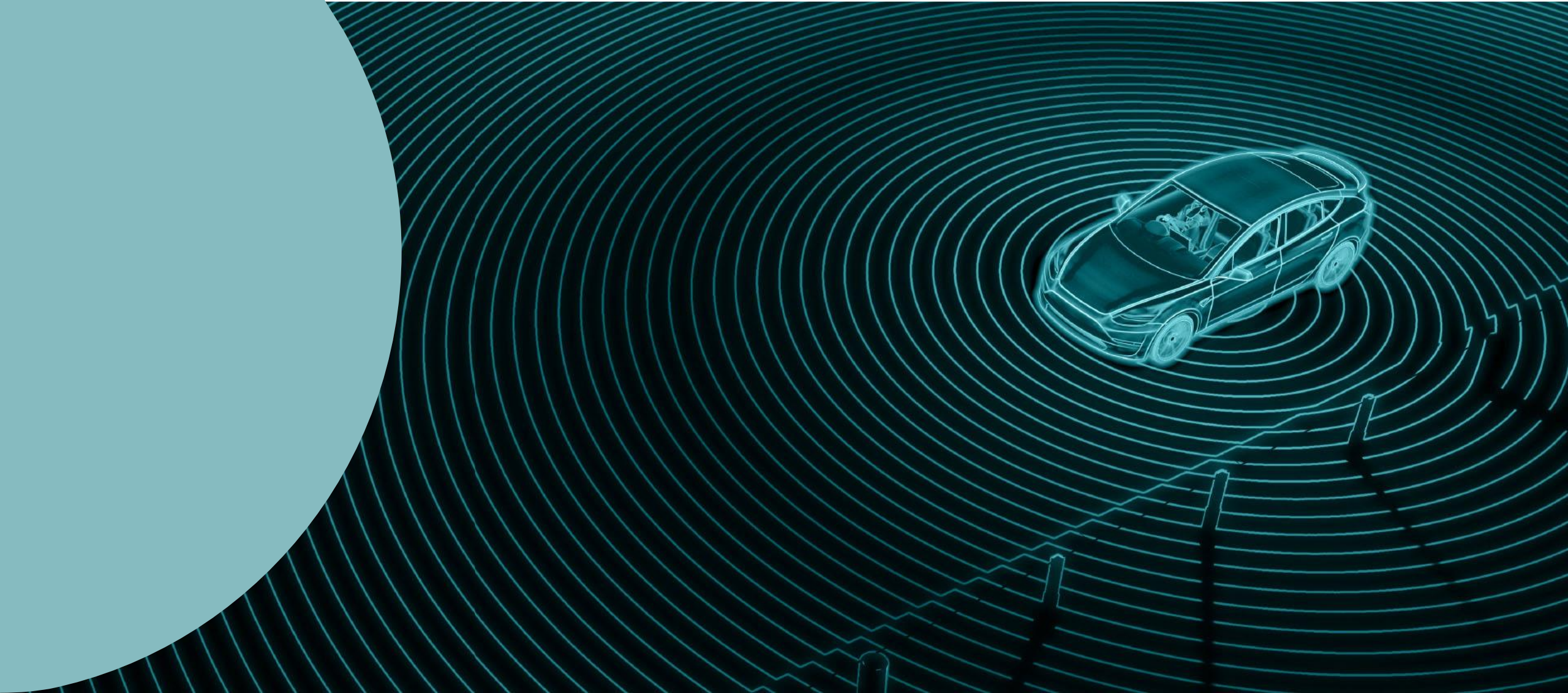


3DM-GX5-45 IMU

OxTS RT3000 RTK (reference)



Landmarken



Vertikale Landmarken

- **Anforderung:**

- Stationär
- Unbeweglich
- Ortsfest
- Zeitlich stabil

- **Geeignet:**

- Straßenlaternen
- Straßenschilder
- Ampeln
- Bushaltestellen
- Poller/Pfosten
- Natürliche Merkmale: Bäume



Exemplarische Darstellung geeigneter vertikaler Landmarken

Testfeld Campus Melaten



- Anzahl Landmarken in Testumgebung: 1207
- Strecke: 2,5 km
- Erstellung:
 - **Manuell:** Georeferenzierte digitale Orthophotos (TIM-online)
 - **Automatisiert:** Referenzfahrt mit LIDAR und präziser RTK



Landmarken in Testfeld



Testfeld Campus Melaten

Landmarken Kartenerstellung



- Manuelle Erstellung:
 - Georeferenzierte digitale Orthophotos (Geobasis NRW, TIM-online)
„...hochauflösende, verzerrungsfreie, maßstabsgetreue, photographische Abbildungen der Erdoberfläche“
 - Bodenauflösung:
10cm pro Pixel (GSD)
 - Genauigkeit der Landmarken: $\pm 20\text{cm}$

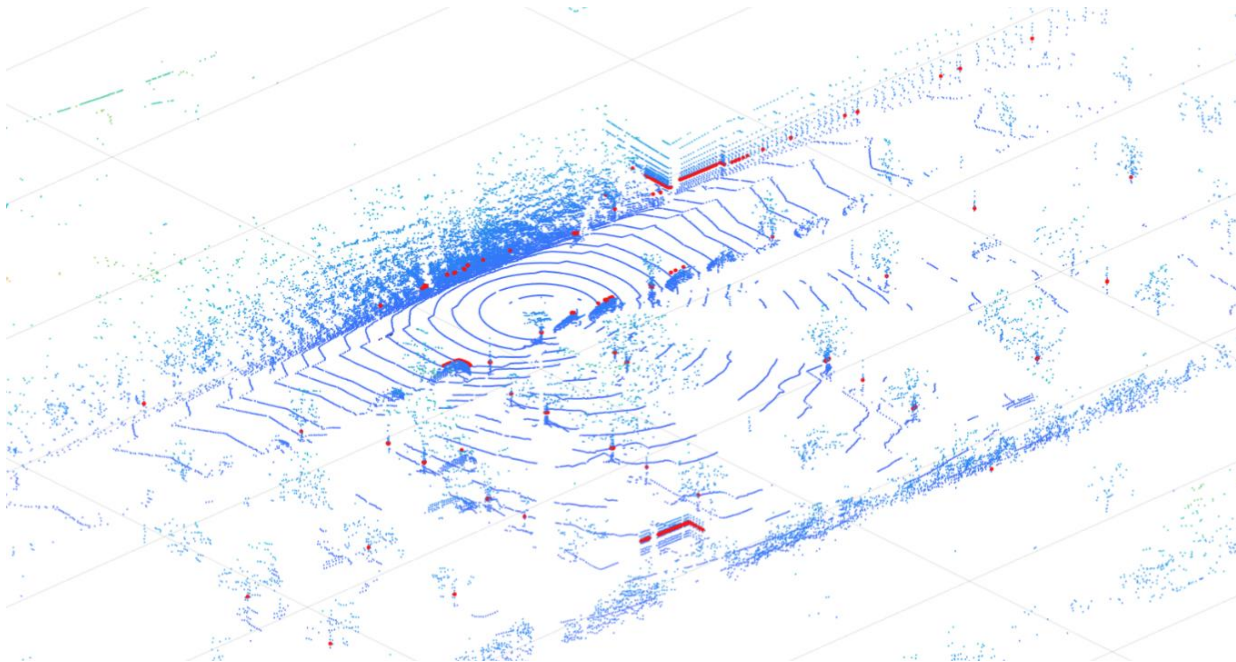


Bearbeitung von digitalen Orthophoto (DOP) aus Geobasis NRW (TIM) in QGIS

Landmarken Kartenerstellung



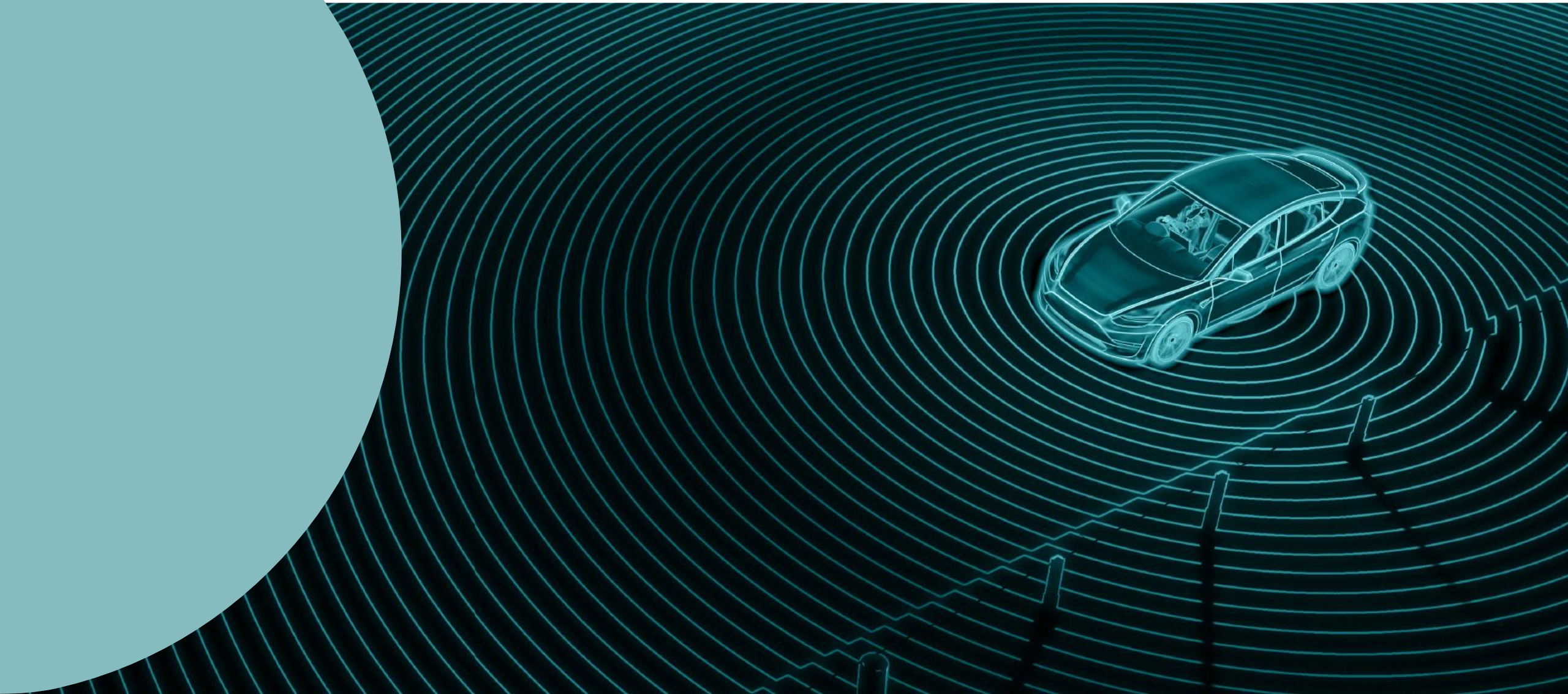
- **Automatisiert: Referenzfahrt mit LIDAR und präziser RTK**
 - Generierung der Punktwolke
 - Extrahierung geostatischer Landmarken aus Punktwolke



Darstellung Punktwolke aus Referenzfahrt



Extrahierung vertikaler Landmarken

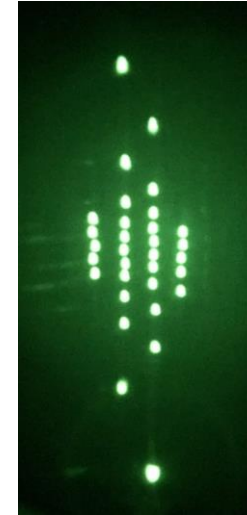


Feature & Landmarken Erkennung

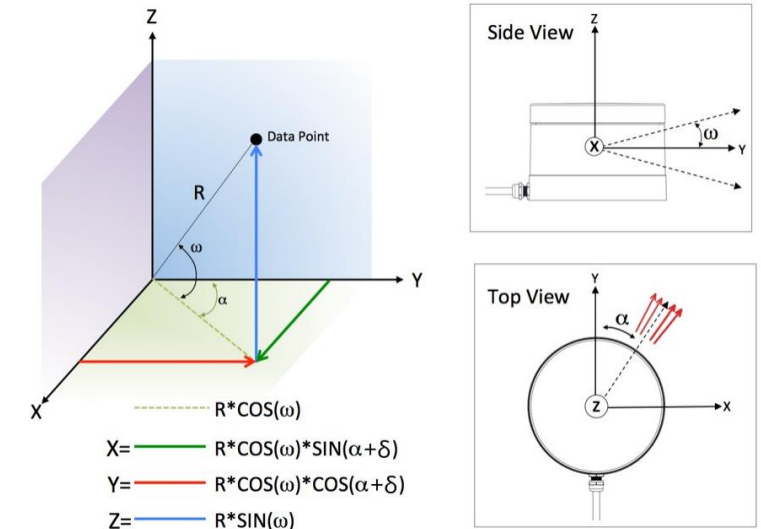


- **Vertikale Feature Erkennung**

- In Echtzeit auf Basis der 3D LIDAR Rohdaten
 - LIDAR Datenpakete: 10 Hz
- Algorithmus basierend auf Azimut & Elevation Winkel



VLP32-C User Manual S. 118 Abb. F-3

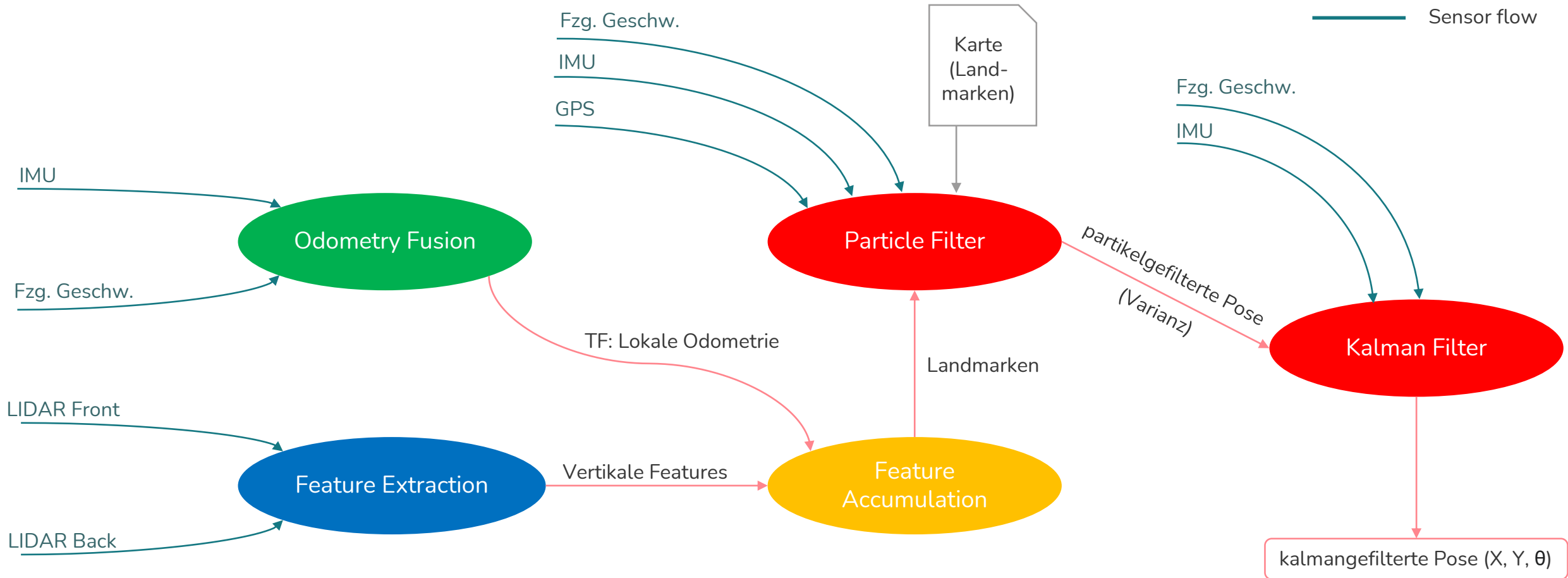


VLP32-C User Manual S. 53 Abb. 9.1

- **Landmarken Erkennung**

- Kriterium: Zeitlich stabil
 - Transformation über die letzten 10 Zeitschritte (1s)
- 60% Sichtbarkeit

Sensordaten Verarbeitung

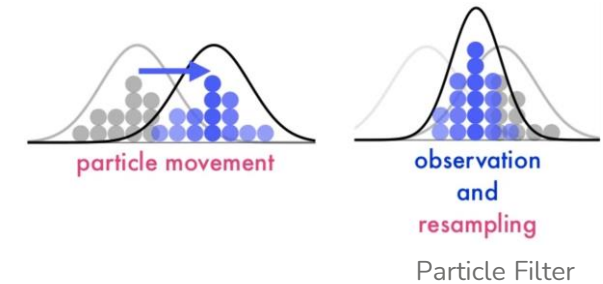


Lokalisierung - Partikel & Kalman Filter



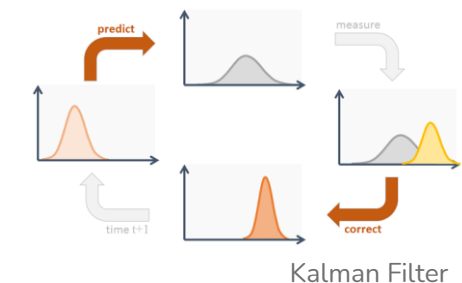
○ Partikel Filter

- Diskrete Schätzungen von Position (2D) und Orientierung (1D)
 - 200 Partikel
 - Scoring anhand Abstand zu erkannten Landmarken
- Optimierer
- Resampling 10%
 - GPS Position (ungenau → Hohe Streuung)
 - Referenz Trajektorie (Streuung entlang Trajektorie)



○ Kalman Filter

- Fusion von Sensormessungen
 - (Partikel-Pose, IMU, Fzg. Geschw.)
- Mess- und Prozessrauschen



Partikel Filter – Exemplarische Darstellung

- **Ausreißer Erkennung:**

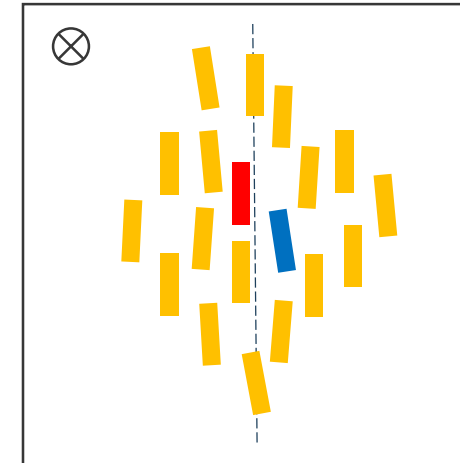
- Streuung der Partikel-Wolke als Varianz
Input für Kalman Filter

- Ungenaue Positionsschätzung aus
Partikel-Filter

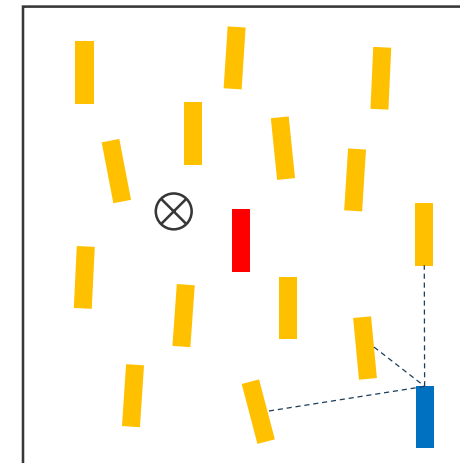
➡ Vertraue anderen Sensormessungen
(IMU & Fzg. Geschw.)

- **Berechnung:**

- Gemittelte Distanz zwischen
optimierten Partikel und restlichen
Partikeln



Geringe Streuung, hohe Partikeldichte

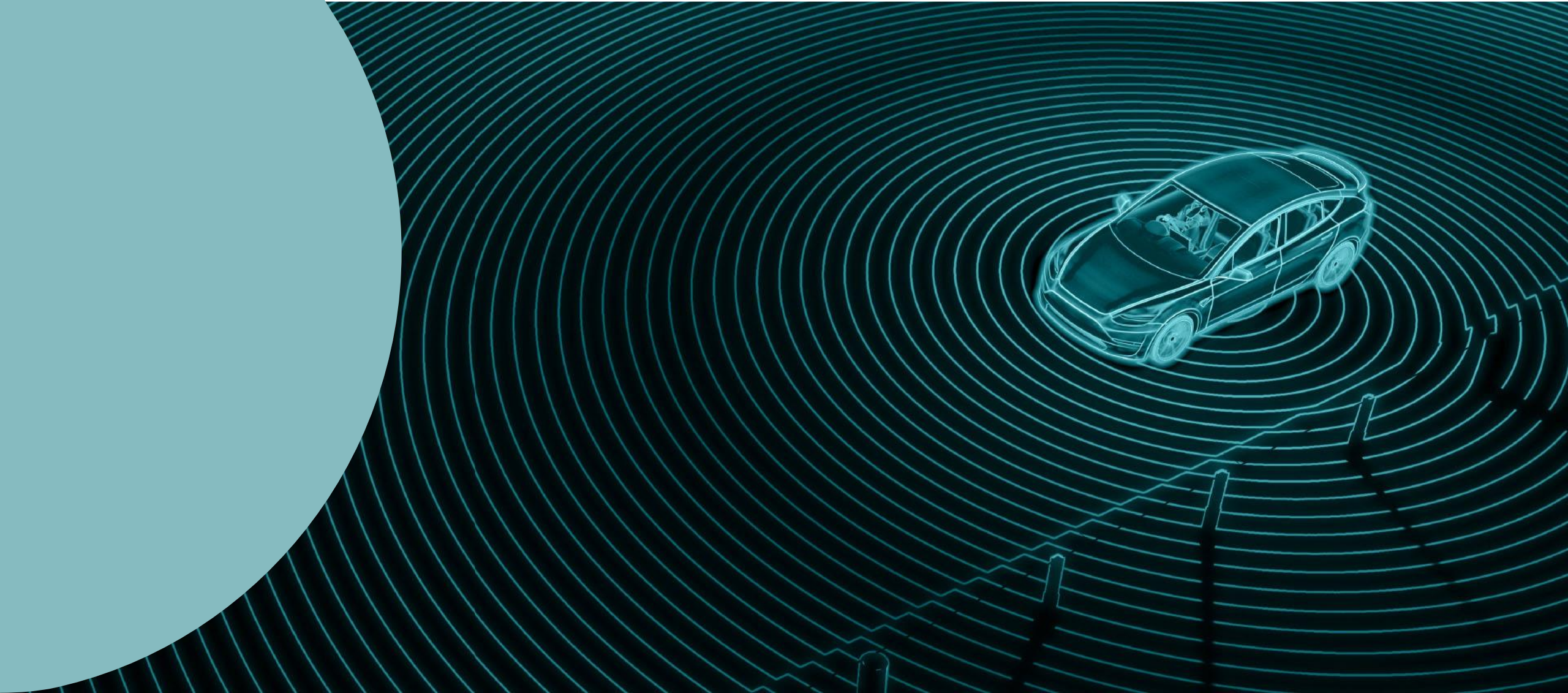


Starke Streuung + Ausreißer

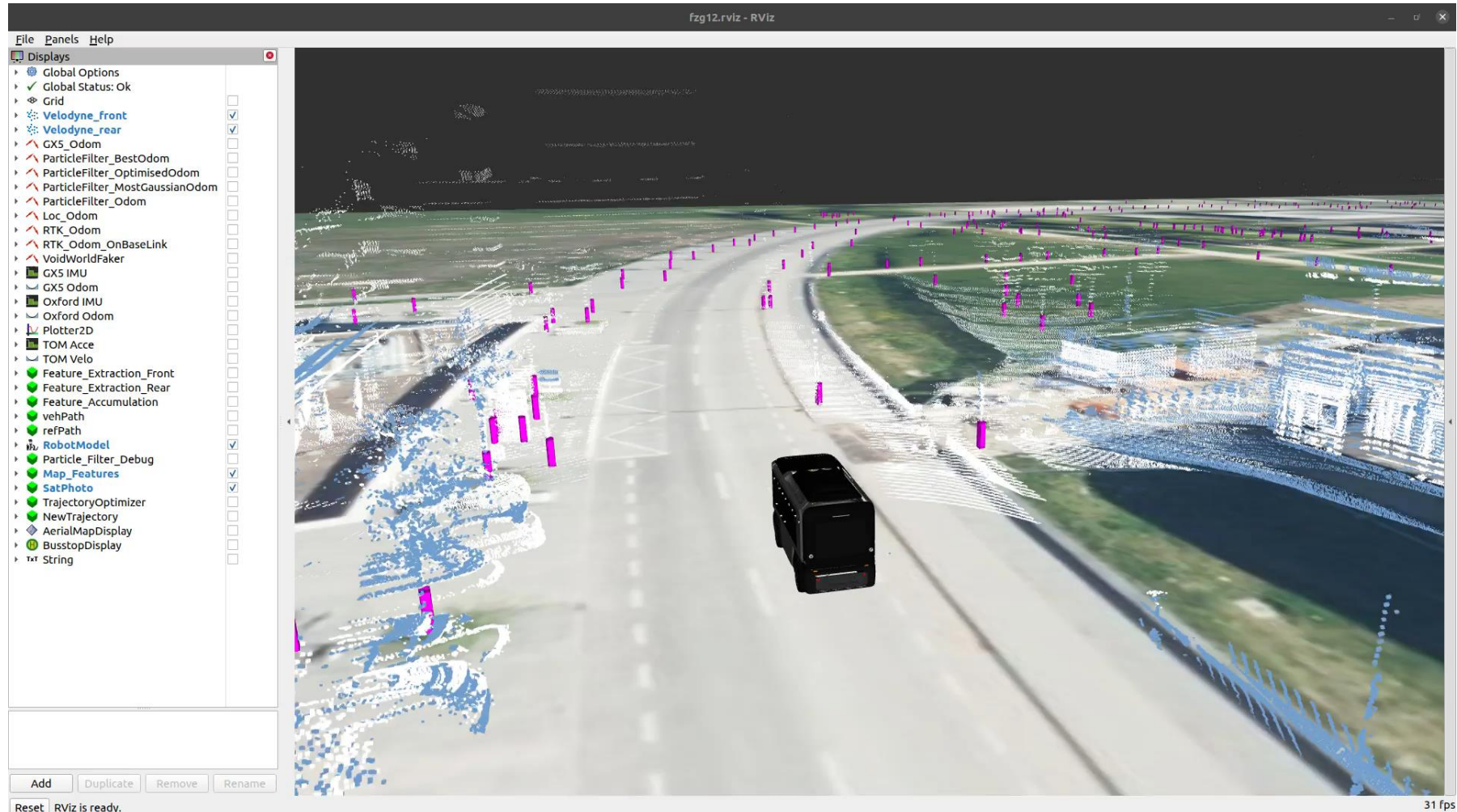
- Partikel
- Bestes Partikel
- Optimiertes Partikel
- ⊗ GPS Position
- Referenz Trajektorie

➡ Hohe Ungenauigkeit
der Positionsschätzung

Demo Video



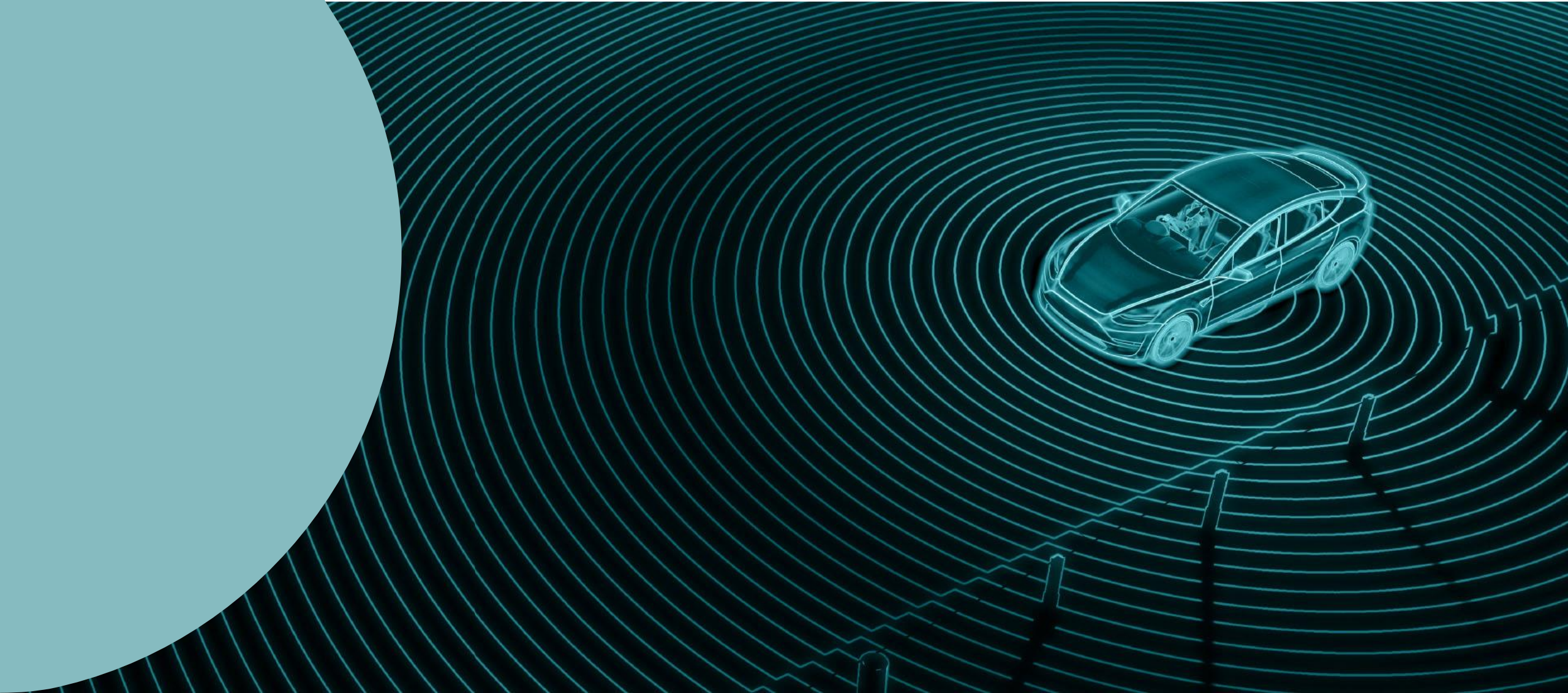
ROS – „Shadowmode“ Aufzeichnung



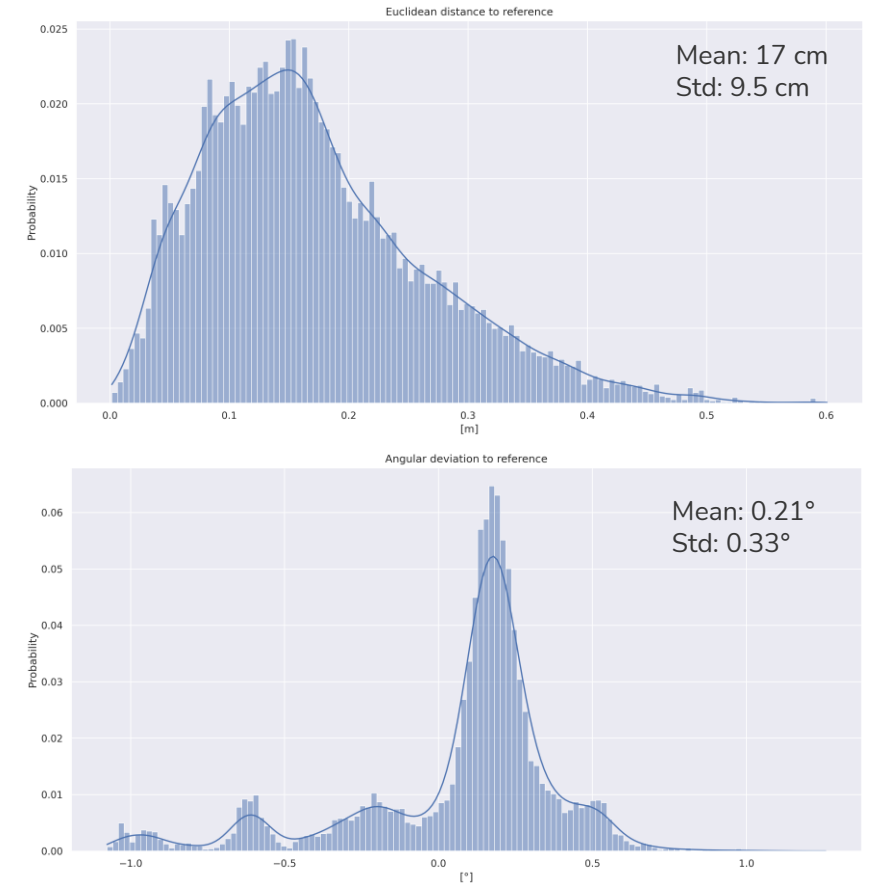
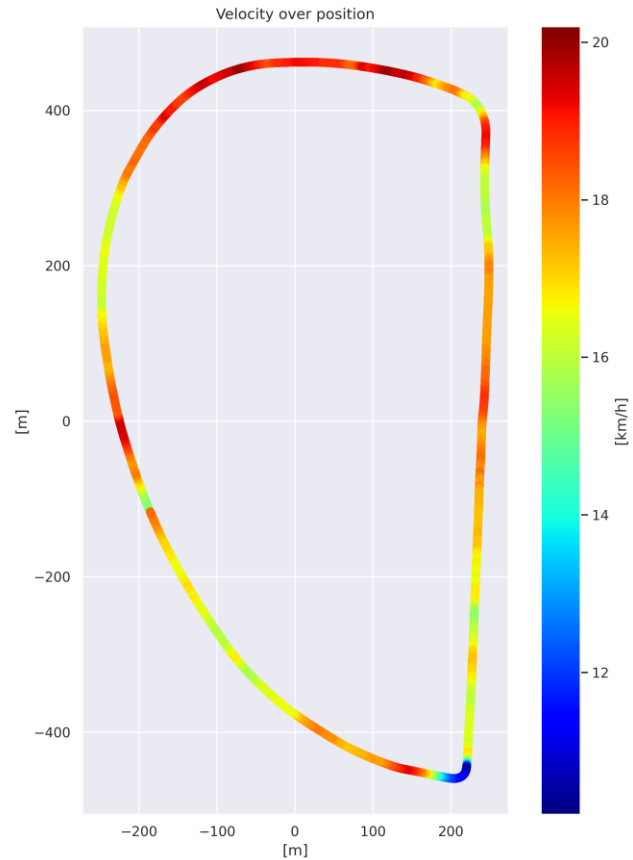
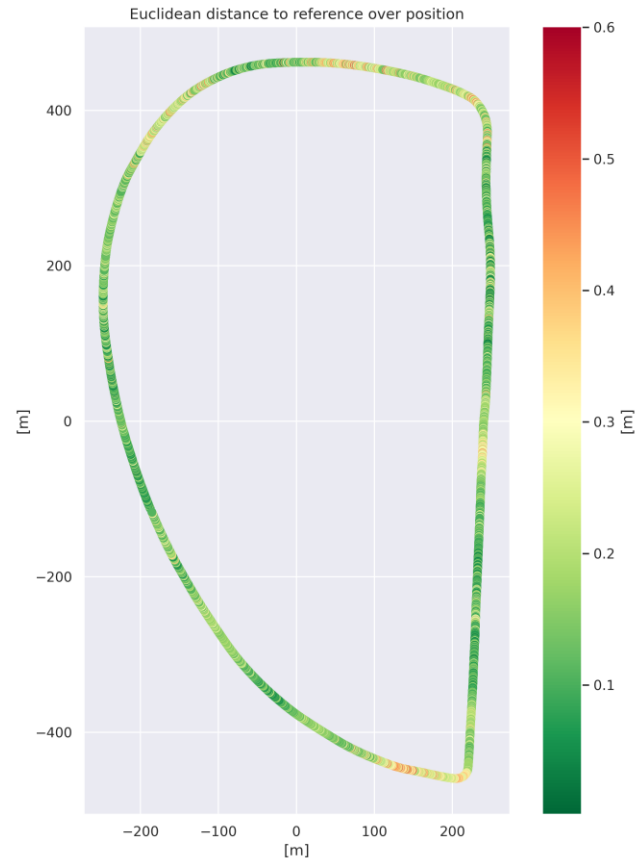
Ergebnisse



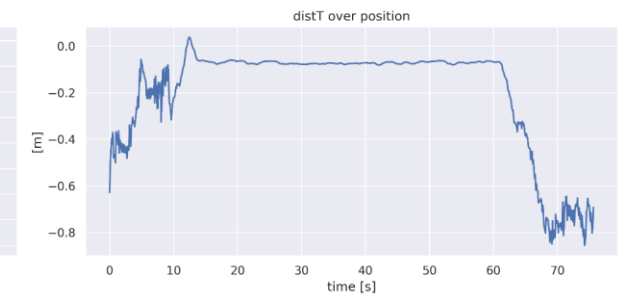
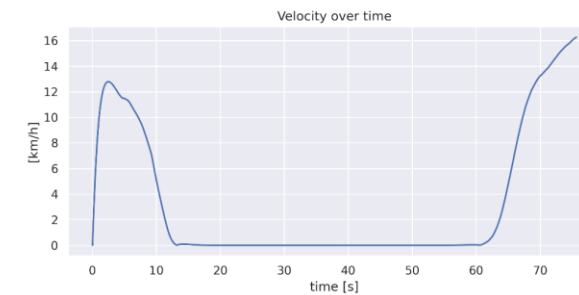
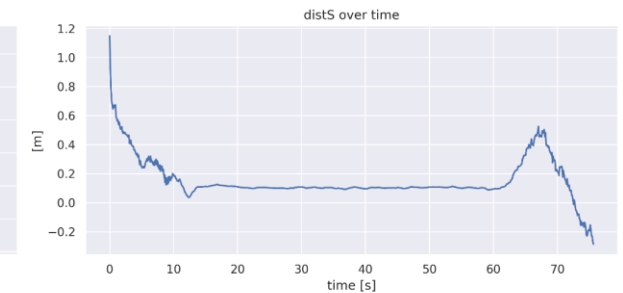
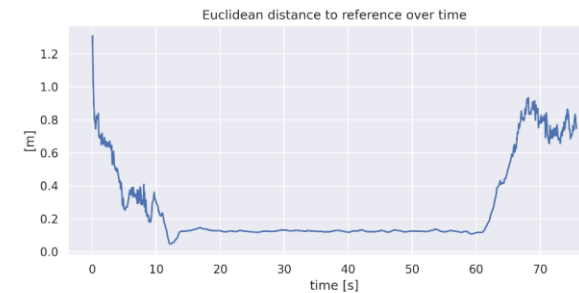
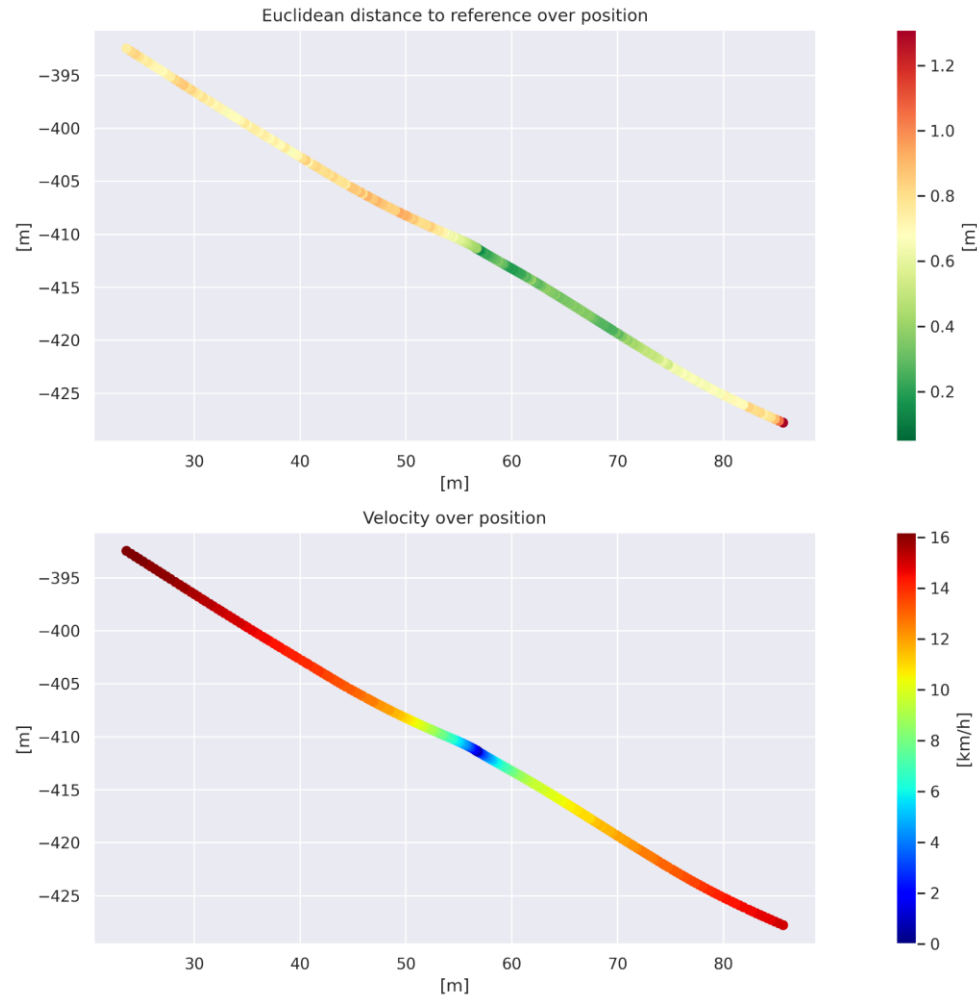
ACCORD



Auswertung – Campusfahrt (interne Referenz RTK)

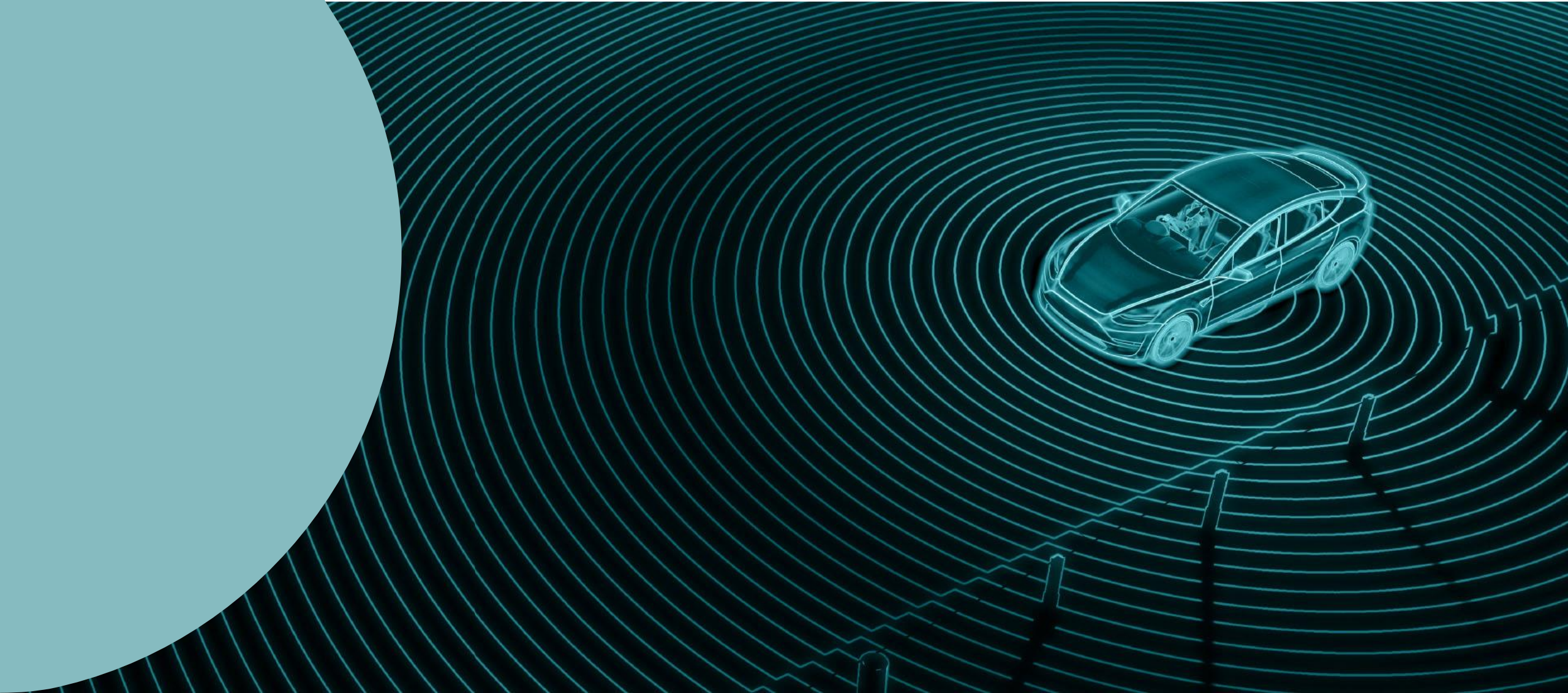


Auswertung – Bushaltestelle (externe Referenz IKA)



Testfahrt: November 2021

Ausblick & Fazit



Ausblick & Fazit



- **Lokalisierungs-Algorithmus**
 - Parameter optimieren
 - Weitere Features (Wände) in Filter einbinden
- **Evaluierung**
 - GPS/RTK im urbanen Raum (Testfeld Stadt) nicht genau genug
 - Störquellen: Gebäude & Vegetation
 - Reflektion, Mehrwegausbreitung, Abschattung
 - Weitere Testfahrten & Daten in Testkorridor sinnvoll und notwendig





ACCORD

move

Adresse Moove GmbH
Campus-Boulevard 30
D – 52074 Aachen

Kontakt Robin Leblebici, M.Sc.
R.Leblebici@themoove.com

www.accord-testfeld.de