

Mobile Mapping und KI-basierte Objektdetektion mit Low-cost RGB-D-Kameras am Beispiel des Parkplatzmonitorings



S. Nebiker, Jonas Meyer, S. Blaser, M. Ammann & S. Rhyner, Institut Geomatik FHNW

SGPF GEOVision #4: 3D Reality Capture, 25.11.2021

Ausgangslage und Motivation

Veränderung von Mobilitätsverhalten und -bedürfnissen insb. im städtischen Raum

- Zunahme Veloverkehr, Car Sharing, Ride Sharing / (erwartete) Abnahme privater PW

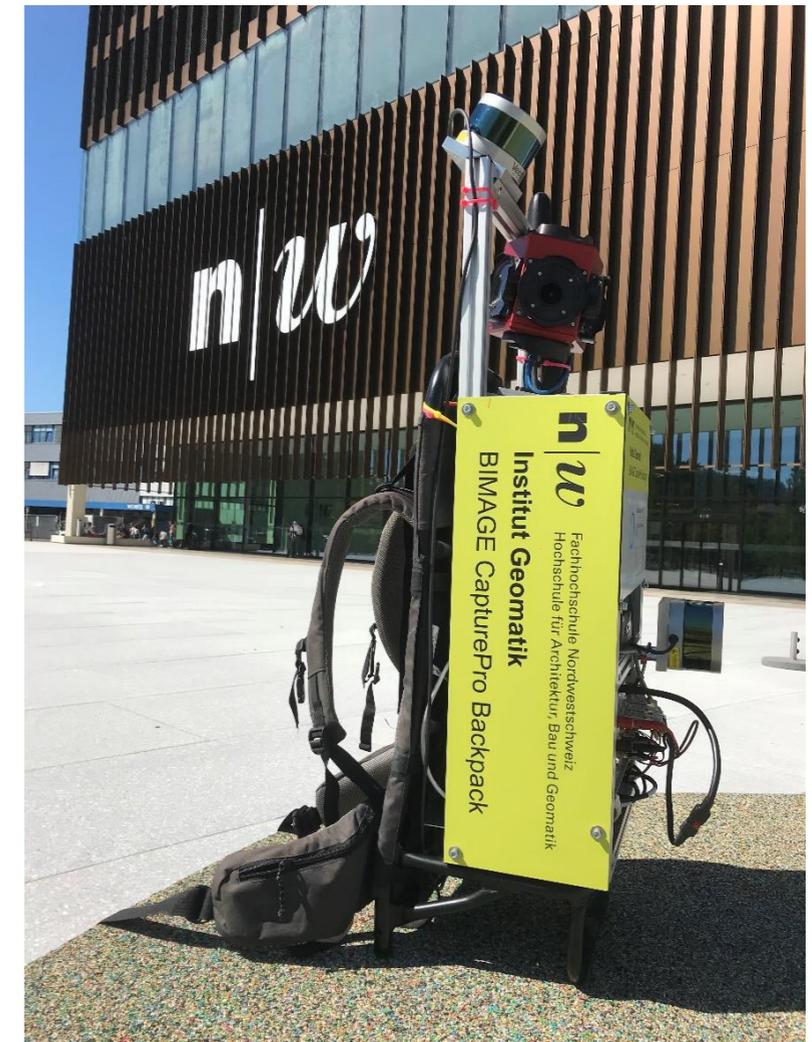
Bedarf an Statistiken zur Parkplatzbelegung im öffentlichen Raum

- räumliche und zeitliche Parkraumnutzung über ganze Quartiere oder Städte
- bisherige Lösung: mobile Videoaufnahmen mit anschl. manueller Auswertung

Forschungsprojekt BiPaMo (Bildbasiertes Parkplatz-Monitoring)

- Projektpartner: Amt für Mobilität des Kantons Basel-Stadt
- Ziel: automatisierte Erfassung und Auswertung der Parkplatzbelegung (Stufe Einzelparkplatz)
- Vision: low-cost-System für zukünftigen Einsatz auf Flottenfahrzeugen (Kuriere, Taxis etc.)

Ausgangslage: High-end Mobile Mapping Forschungsplattformen des Instituts Geomatik

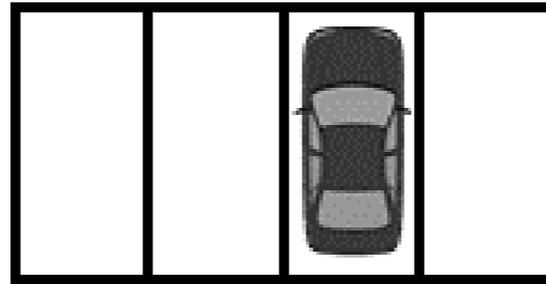


Agenda

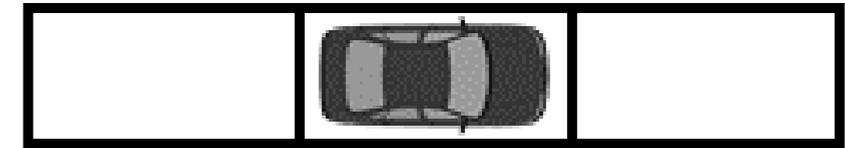
- Projektanforderungen & State-of-the-Art
- Begleit-Untersuchungen (Bachelor- und Masterarbeiten)
- BiPaMo Erfassungssystem und Auswerteworkflow
- Untersuchungen und Ergebnisse
- Fazit und Ausblick

Herausforderung: Erfassung der Belegung aller Parkplatztypen

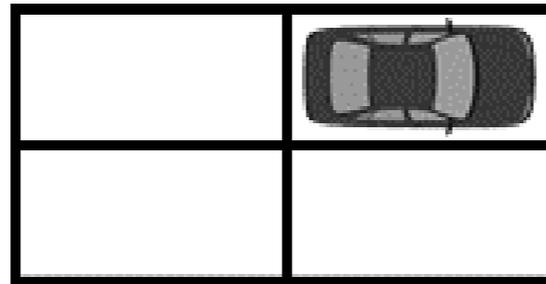
- a) Senkrechtparkierung
- b) Parallelparkierung
- c) 2x2 Parkfelder
- d) Schrägparkierung



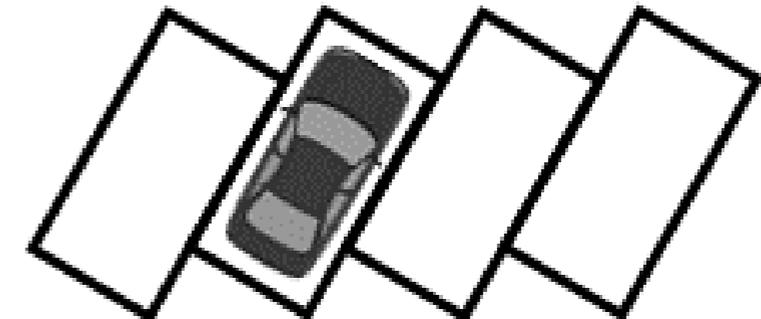
a) Perpendicular parking



b) Parallel parking



c) 2x2 parking slots



d) Angled parking

Belegungsdetektion auf Stufe 'Einzelparkplatz'

- Erforderliche absolute Positionierungsgenauigkeit: **< 1 m**

State-of-the-Art / Verwandte Arbeiten

	Mathur et al. (2010)	Bock et al. (2015)	Grassi et al. (2017)	Fetscher (2020)
Mapping platform	Probe vehicles (e.g. taxis)	High-end MLS vehicle	Vehicle (dashboard mounted)	Stereovision mobile mapping systems
Mapping sensors / mapping data	ultrasonic range-finder / range profiles	dual LiDAR / 3D points clouds	smartphone camera / monoscopic imagery	3D imagery from high-end stereo cameras
Revisit frequency	++ potentially high	+- on-demand	+ potentially high	- Low
Supported parking types	parallel only	parallel, perpendicular	parallel only	parallel, angle, perpendicular, 2x2 clusters
Detection type	gaps (in range profiles)	1) segmentation 2) classification (random forest)	AI-based	describe the 2 approaches
Sample size (# of slots or vehicles)	57	717	8'176	184
Detection accuracy	~ 90% (of free spaces)	Recall 93.7% Precision 97.4%	~ 90%	97.0-98.3%

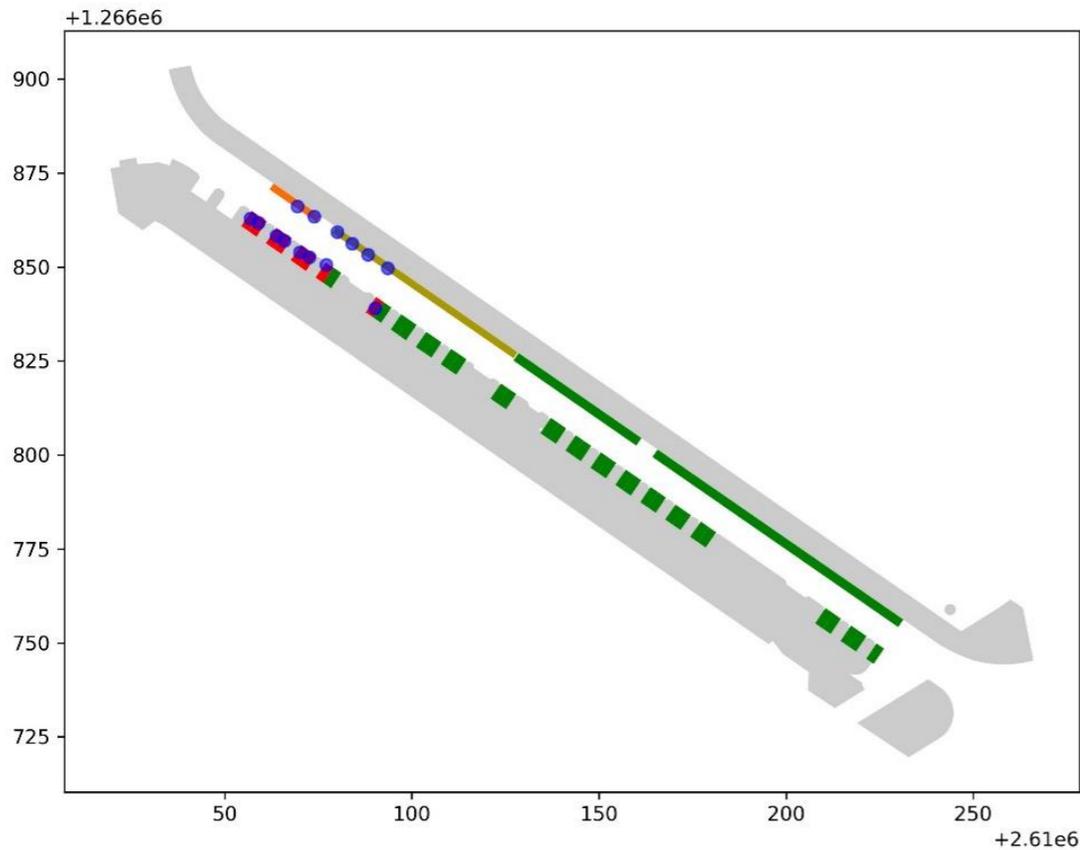
➤ **Entscheid für Projekt BiPaMo: Nutzung von low-cost 3D-Kameras**

Agenda

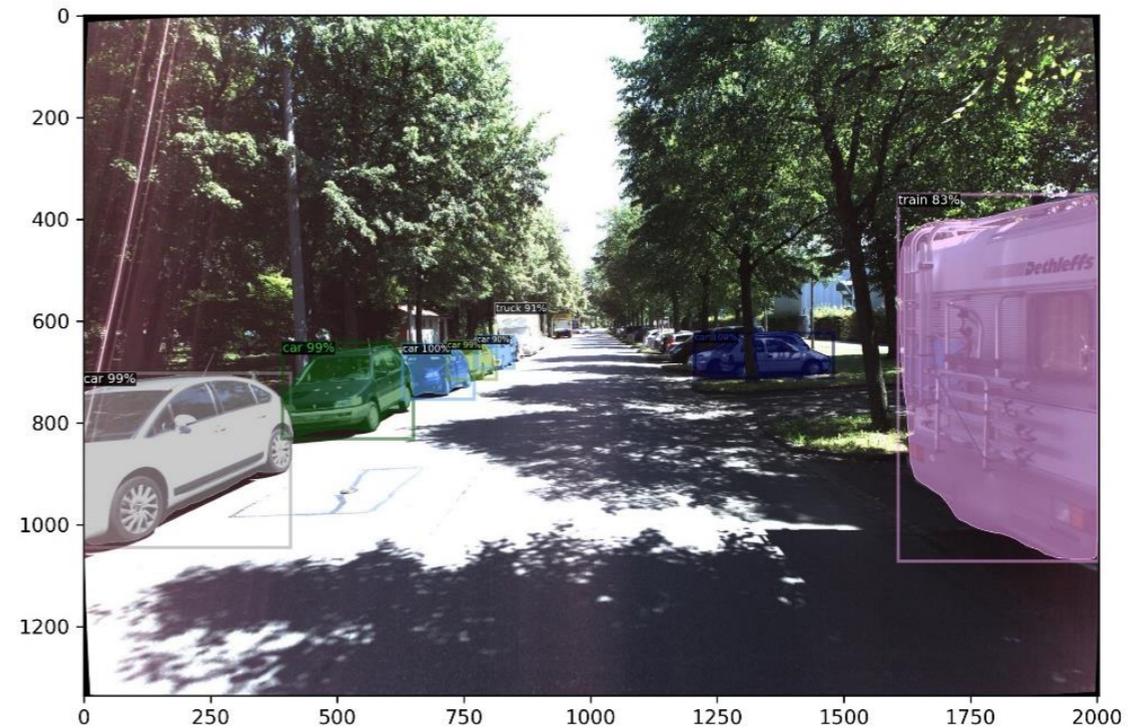
- Projektanforderungen & State-of-the-Art
- **Begleit-Untersuchungen (Bachelor- und Masterarbeiten)**
- BiPaMo Erfassungssystem und Auswerteworkflow
- Untersuchungen und Ergebnisse
- Fazit und Ausblick

Automatisches Parkplatzmanagement

Bachelorthesis 2020, Simon Fetscher

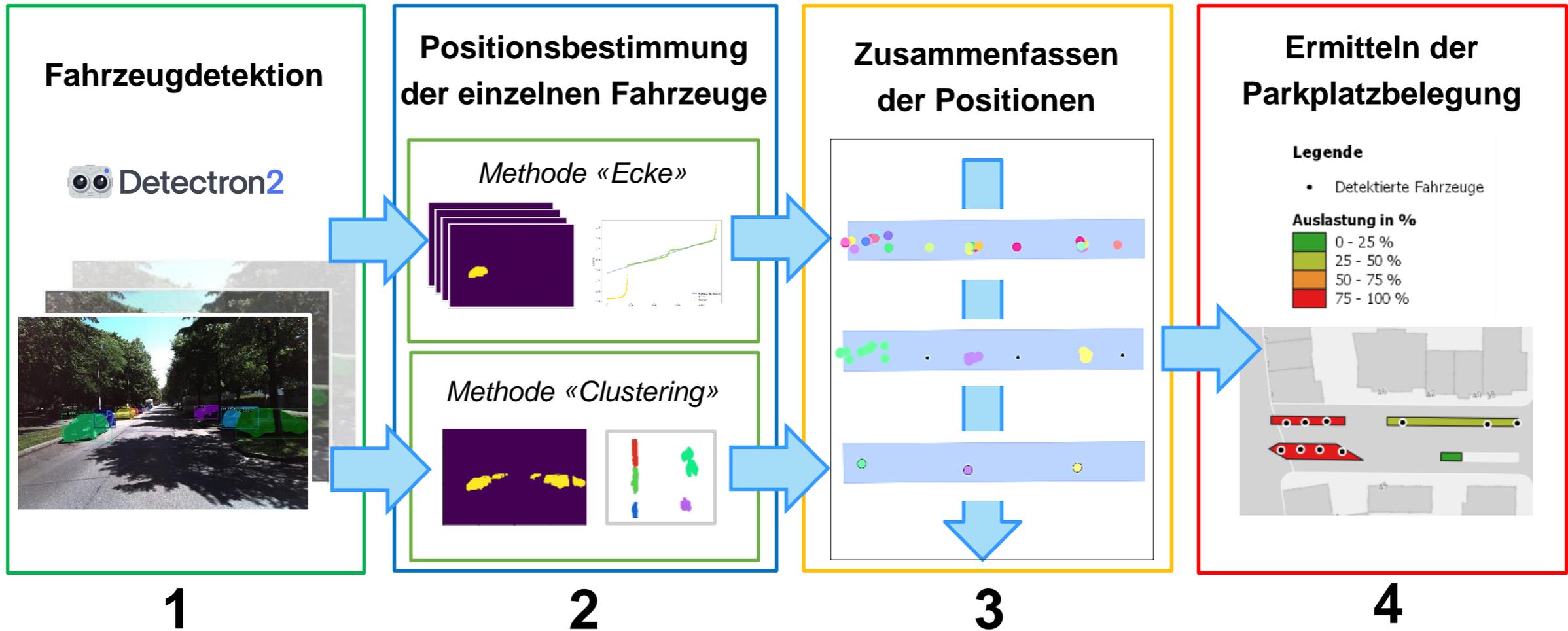


Klassifikation von 750-21



BTh Simon Fetscher: Automatische Analyse von 3D-Streetlevel-Bilddaten für das digitale Parkplatzmanagement

Entwickelter Workflow



Resultate der Detektion besetzter Parkplätze aus infra3D Streetlevel Bilddaten

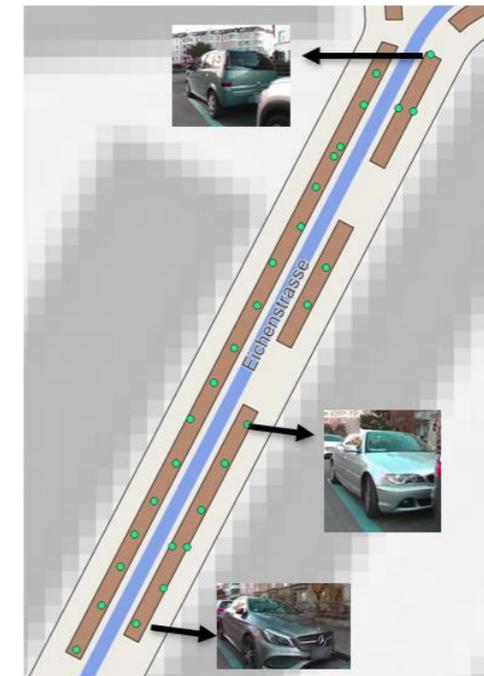
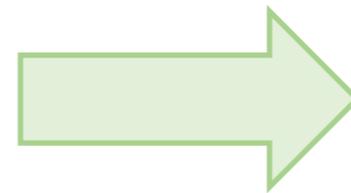
- Testreihe basierend auf 184 Parkmöglichkeiten
- Sehr hohe Genauigkeiten bei beiden Methoden

Methode	Hersteller- genauigkeit	Benutzer- genauigkeit	Klassen- genauigkeit
Clustering	94.0 %	100 %	97.0 %
Ecke	96.7 %	100 %	98.3 %

- ✓ Vollständiger Workflow konzipiert und umgesetzt
- ✓ Machbarkeit mit hochwertigen 3D-Bilddaten (infra3D) demonstriert
- ? Nutzung von low-cost Sensoren?
- ? Nutzung von KI-basierter Fahrzeugdetektion?

Bildbasierte Lösung für das mobile Parkplatzmonitoring

Von der automatisierten Erfassung zur automatisierten Auswertung



Evaluierete 3D-Kameras



Intel L515 (\$349)

Solid-State
LiDAR Camera



Intel D435 (\$179)



Intel D455 (\$239)

Active Stereo Depth Cameras

Ergebnis

Ungeeignet für den Aussenraum
Tiefenmessung limitiert auf **1-2 m**

Messbereich im Aussenraum
zu gering / limitiert auf **2-3 m**

Geeignet für Aussenraum
mit Messbereich **> 5-7 m**

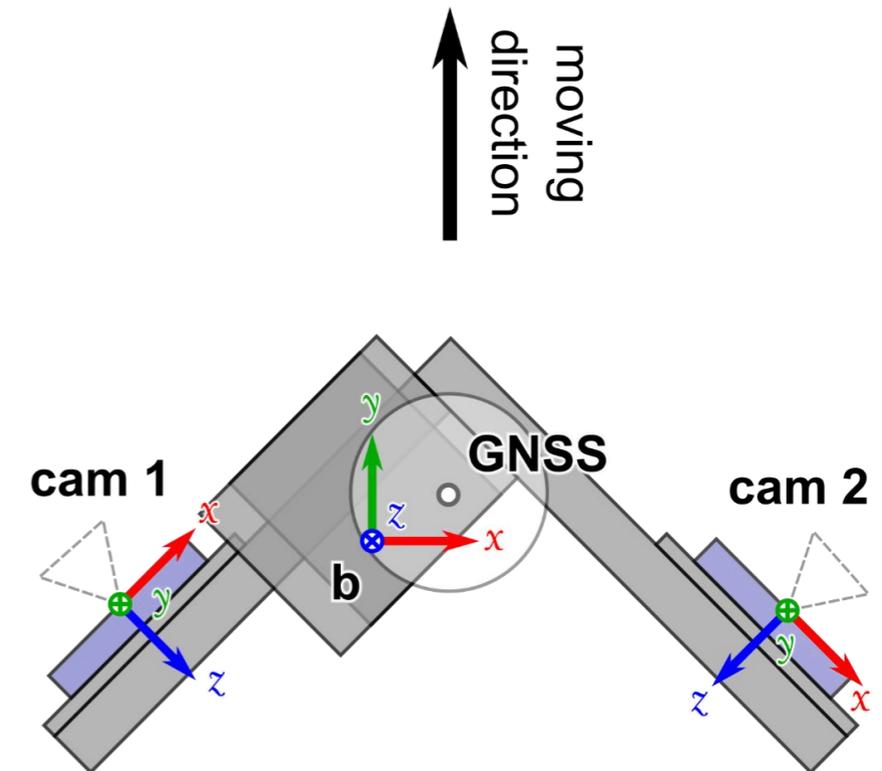
Agenda

- Projektanforderungen & State-of-the-Art
- Begleit-Untersuchungen (Bachelor- und Masterarbeiten)
- **BiPaMo Erfassungssystem und Auswerteworkflow**
- Untersuchungen und Ergebnisse
- Fazit und Ausblick

BiPaMo – Low-cost Erfassungssystem

Komponenten:

- **GNSS/IMU Pos.-Einheit**
SwiftNav Piksi
- **Zwei RGB-D 3D-Kameras**
Intel Realsense D455
 - Tiefenbild 1280x720 Pix
 - Tiefenbereich 0.4-10 m
- **Onboard computer**
nVidia Jetson TX2 mit
nVidia Pascal-family GPU
mit 256 cuda cores





Mobile and portable 3D reality capturing

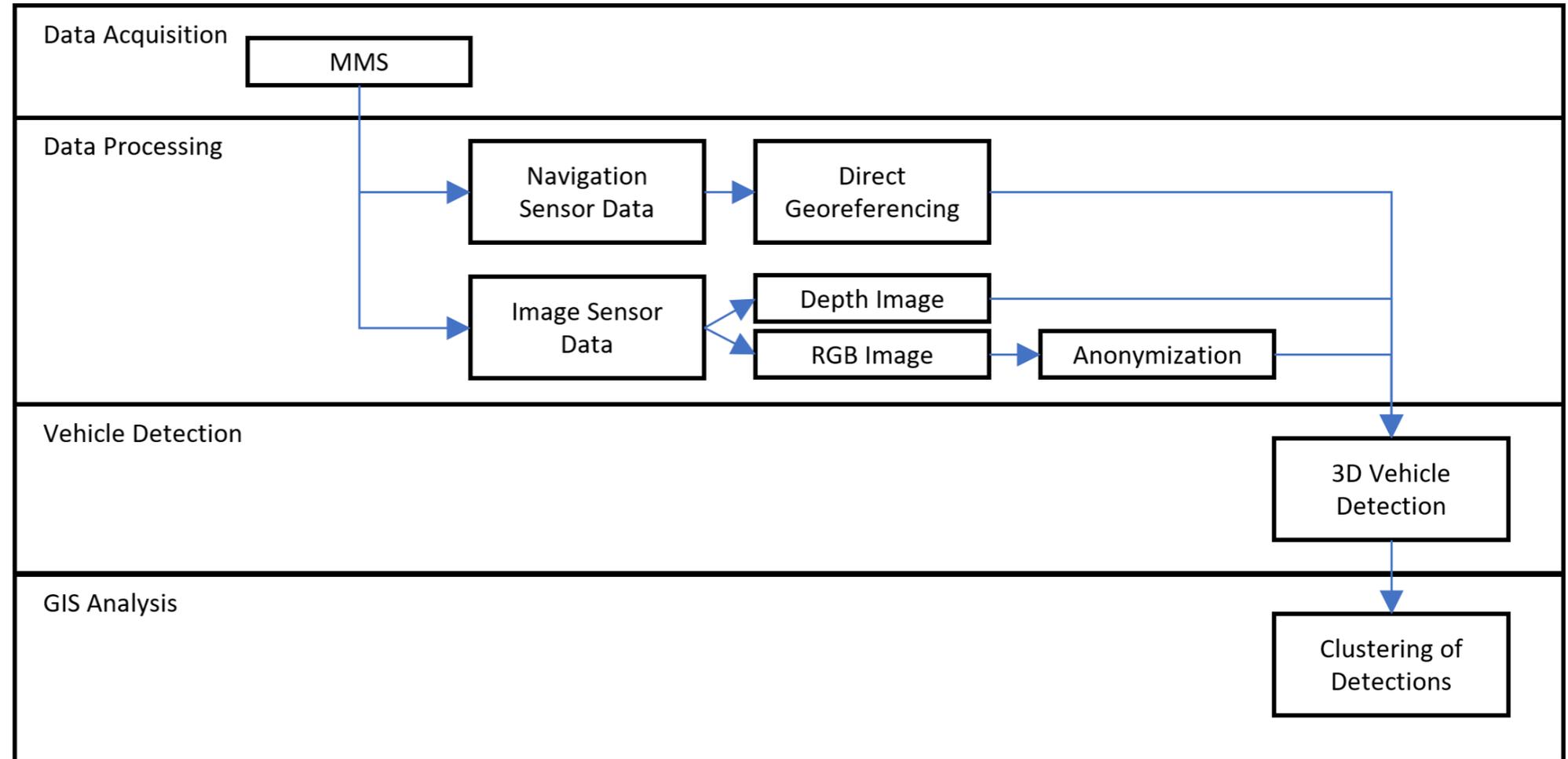
Auswerte-Workflow

Datenerfassung

Georeferenzierung
& Anonymisierung

KI-basierte 3D-
Fahrzeug-Detektion

GIS-Analyse



Agenda

- Projektanforderungen & State-of-the-Art
- Begleit-Untersuchungen (Bachelor- und Masterarbeiten)
- BiPaMo Erfassungssystem und Auswerteworkflow
- **Untersuchungen und Ergebnisse**
- Fazit und Ausblick

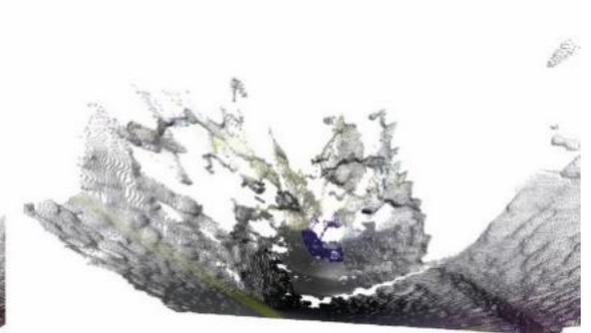
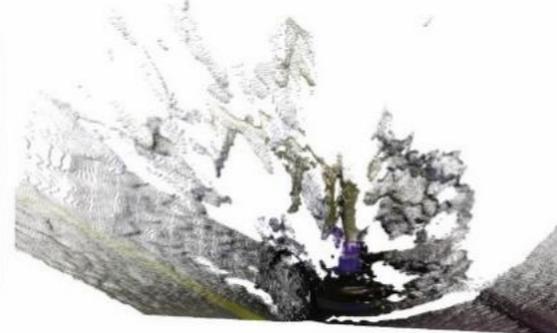
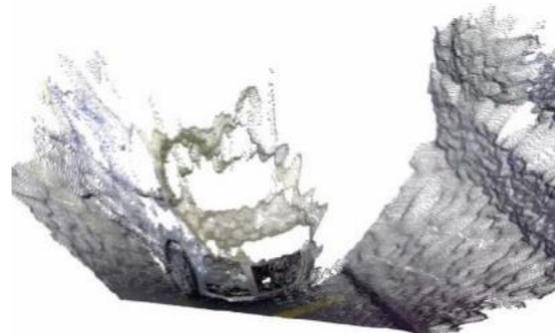
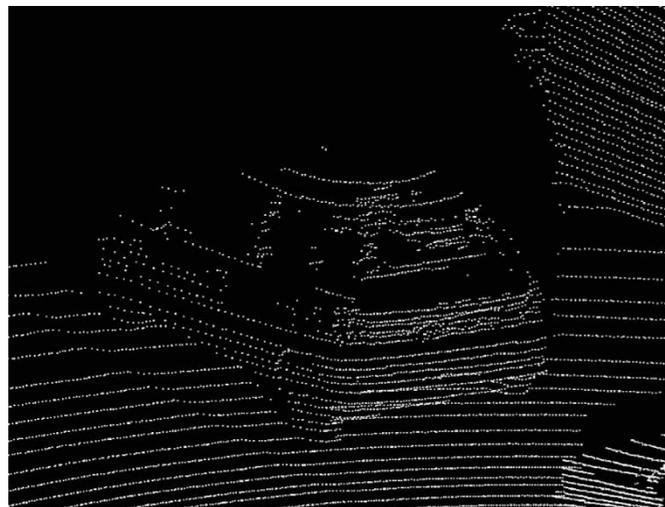
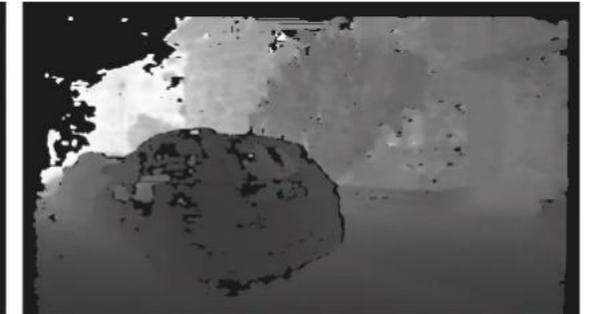
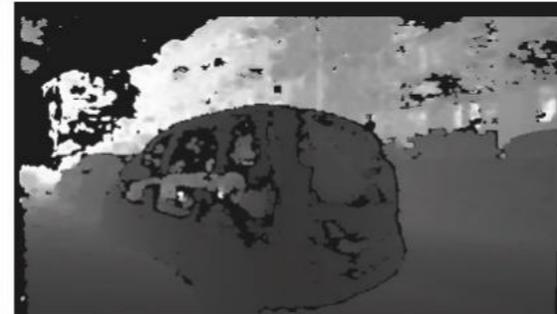
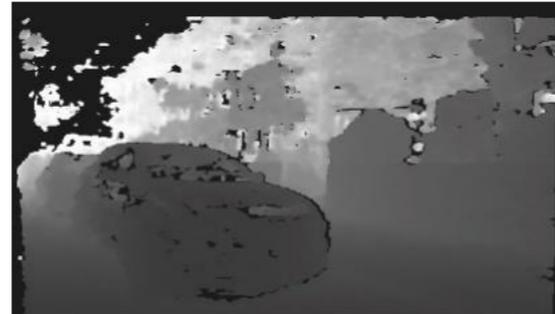
Daten des BiPaMo-Sensorsystems

Bilddaten (obere Zeile)

Tiefenkarten (mittlere Zeile)

3D-Punktwolke (untere Zeile)

Multibeam-Scanner
(unten, als Vergleich)



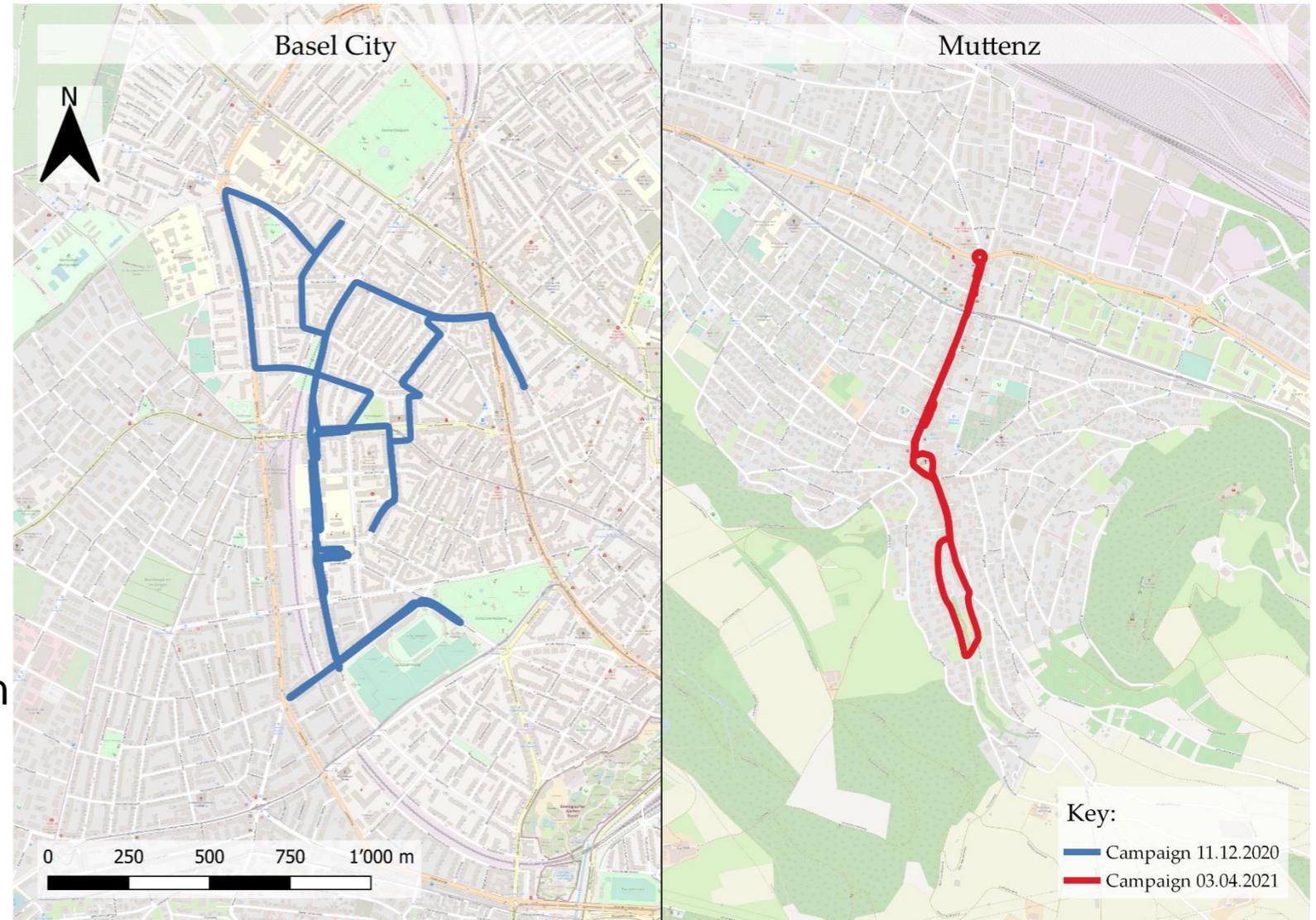
Messkampagnen

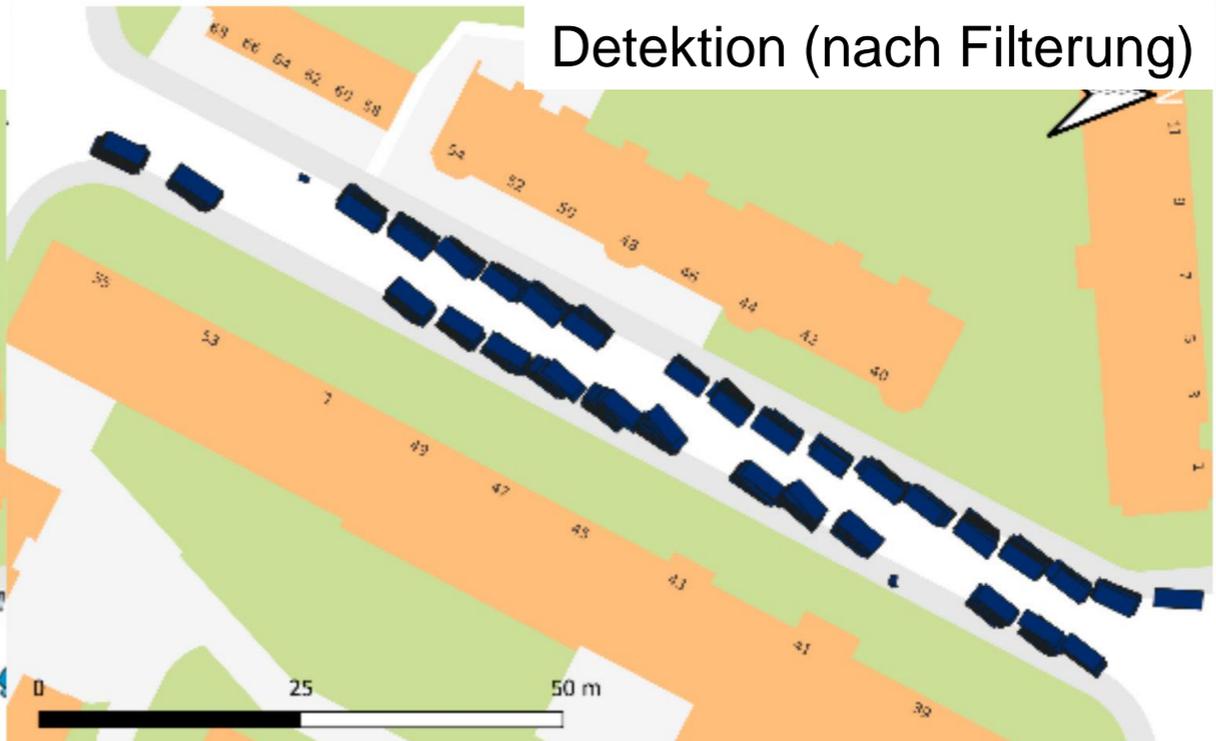
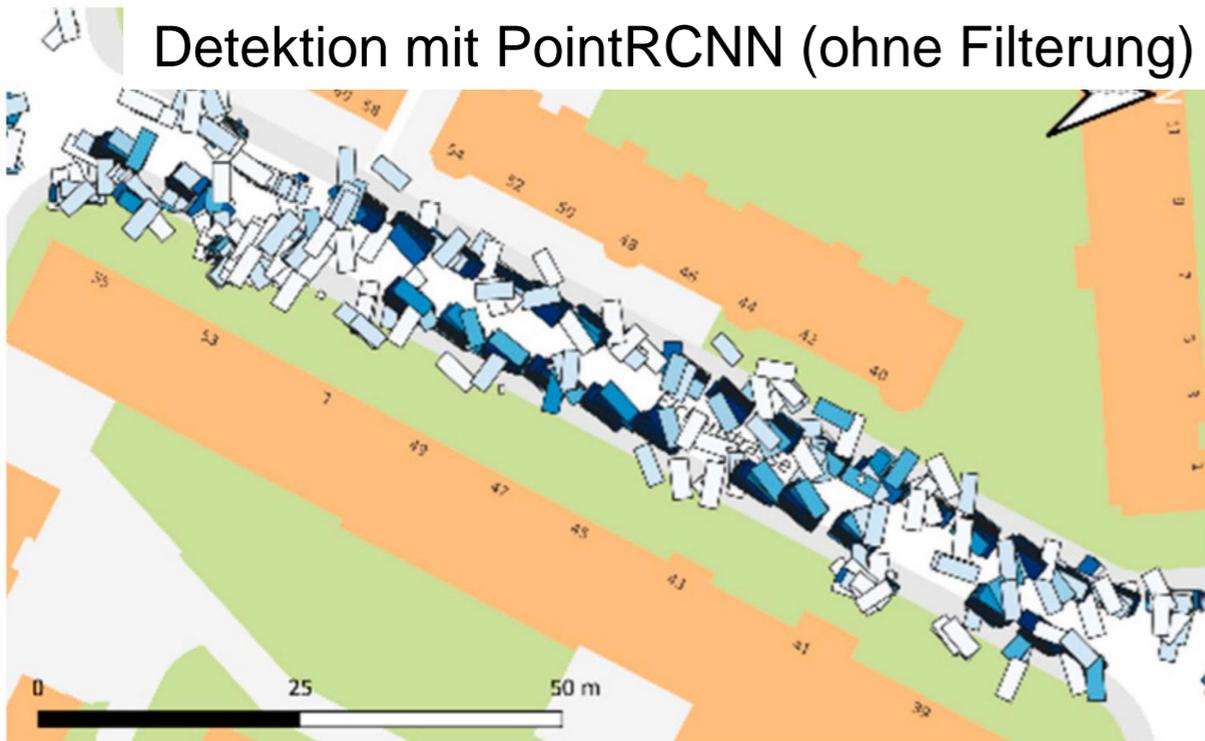
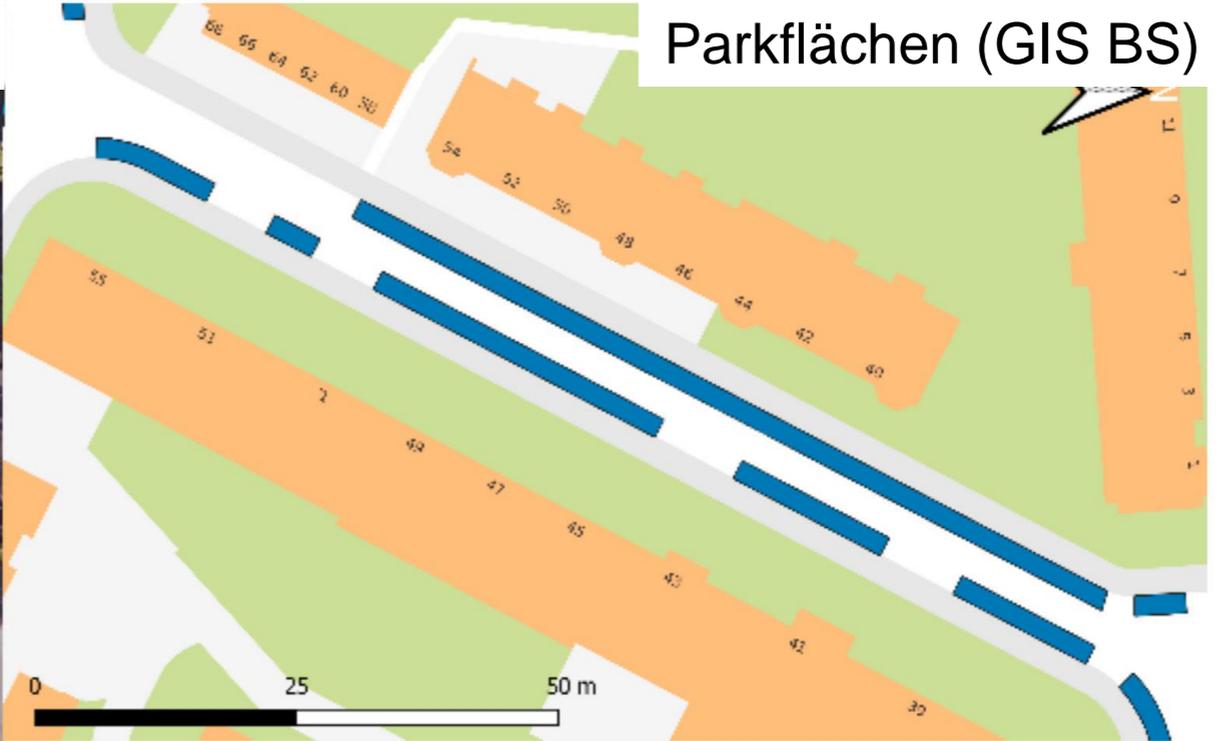
Basel Stadt 11.12.2020

- Länge: 9.7 km
- Vorwiegend Quartierstrassen
- Alle Parkplatztypen erfasst

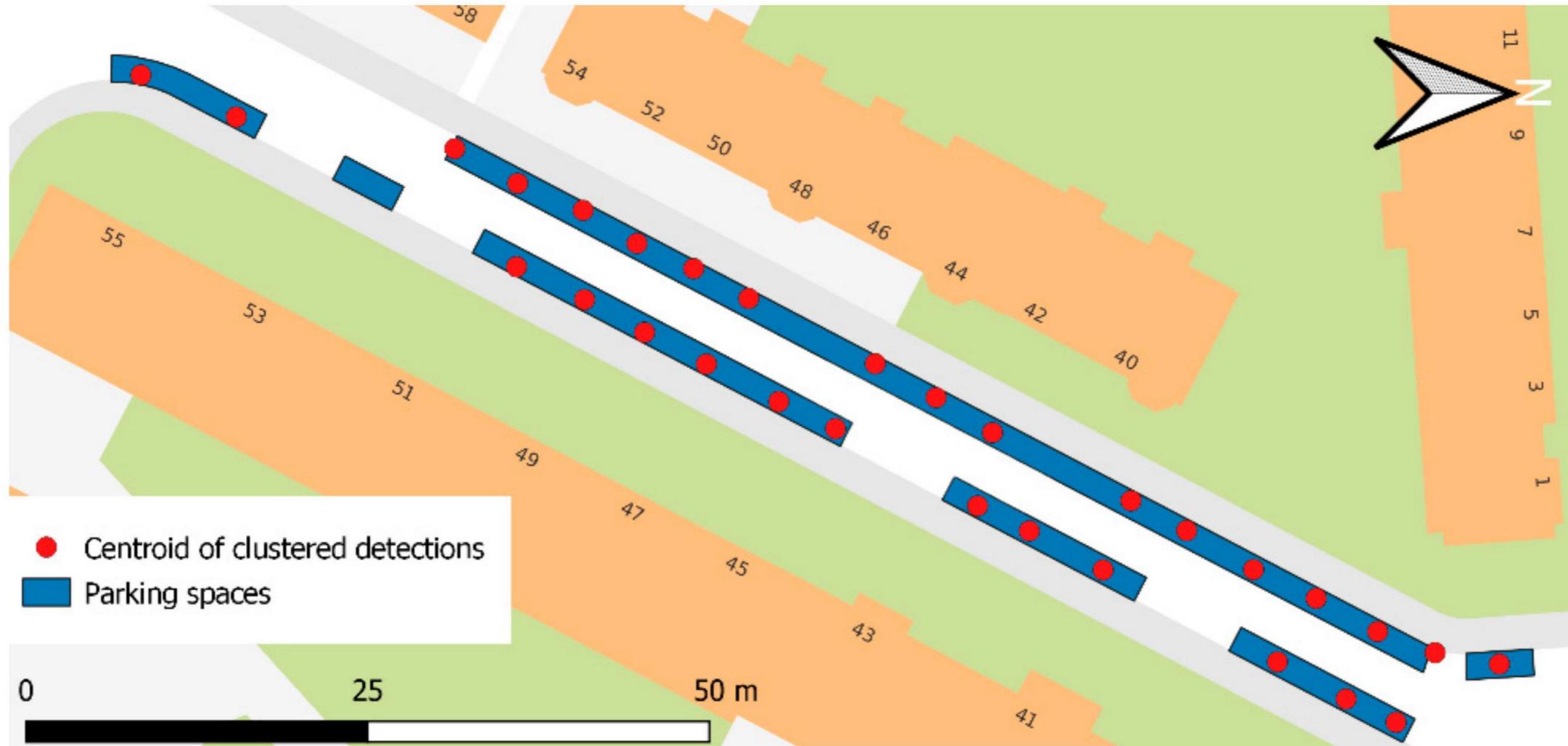
Muttenz 03.04.2021

- Länge 3.4 km
- Hauptstrassen & Quartierstrassen
- Längs- und Schräg-Parkplätze
- plus: Georeferenzierungs-
Untersuchungen



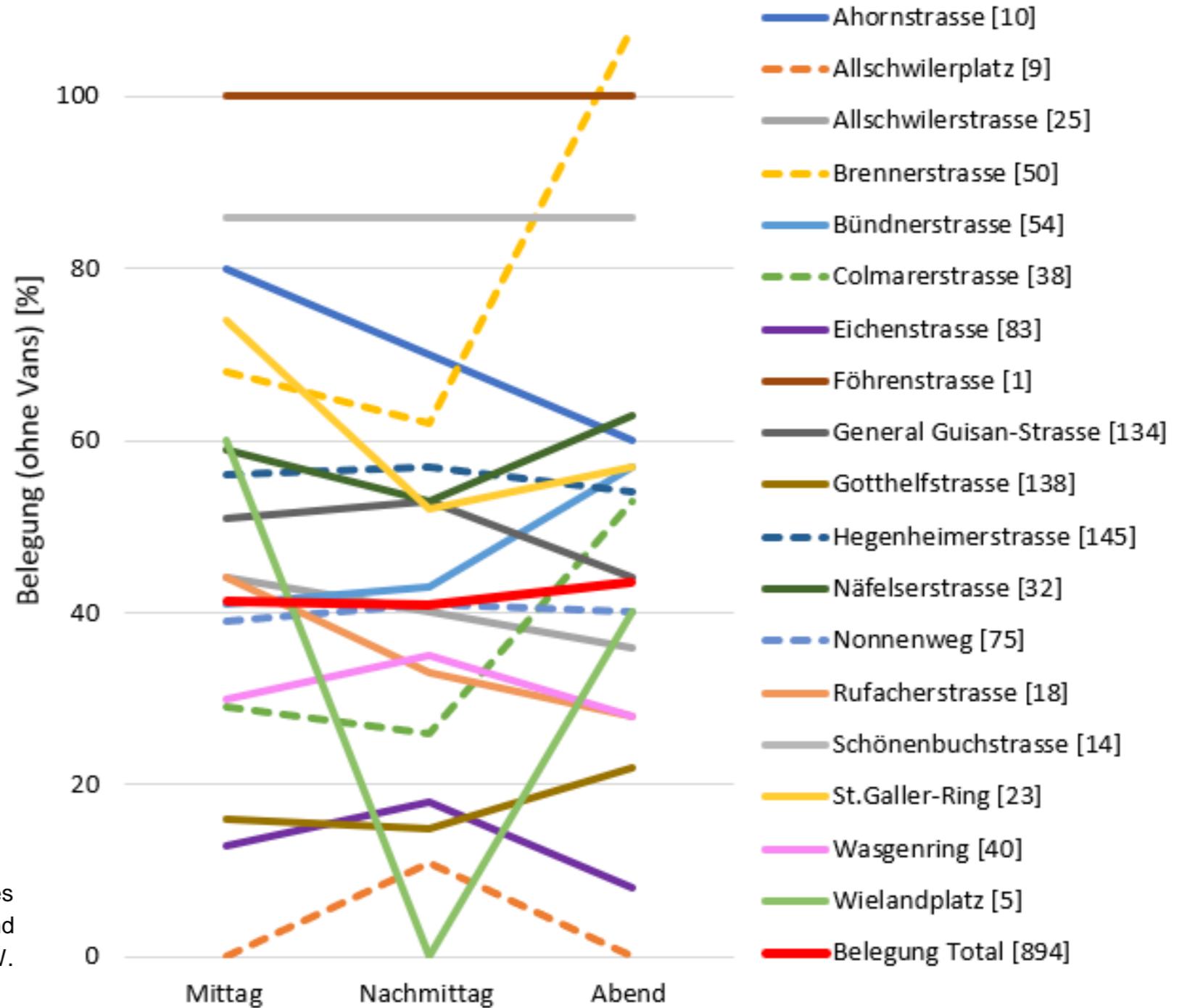


Resultat nach der gefilterten 3D-Detektion und GIS-Analyse



Parkplatzauslastung im Tagesverlauf

Grünenfelder, M. (2021). Mobiles bildbasiertes
Parkplatzmonitoring: Messkampagne und
Auswerteworkflow. Bachelorthesis, FHNW.



Resultate der KI-basierten Belegungsanalyse nach Parkplatztypen (mittels PointRCNN)

	Parallel	Perpendicular	Angle	2x2	Overall
True positive	163	49	24	3	239
True negative	36	26	4	1	67
False positive	0	0	0	0	0
False negative	0	3	1	3	7
Precision	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00 (100%)
Recall	1.00	0.94	0.96	0.50	0.97 (97%)

- Overall Precision: 100% aller als Autos detektierten Objekte sind tatsächlich auch Autos
- Overall Recall: 97% aller Autos und damit der belegten Parkplätze werden korrekt detektiert; 3% werden nicht erkannt und die entsprechenden Parkplätze somit irrtümlich als 'frei' ausgewiesen
- **Aktuelle Limitierung:** das aktuelle PointRCNN Netz ist noch nicht für **grosse Fahrzeuge** (Vans, Camper etc.) trainiert und kann diese Fahrzeugklassen noch nicht detektieren

Agenda

- Projektanforderungen & State-of-the-Art
- Begleit-Untersuchungen (Bachelor- und Masterarbeiten)
- BiPaMo Erfassungssystem und Auswerteworkflow
- Untersuchungen und Ergebnisse
- **Fazit und Ausblick**

Fazit und Ausblick

- ✓ **Umweltsensorik:** 3D-Kartierung von Fahrzeugen mit Low-cost 3D-Kameras
- ✓ **Algorithmik:** Erfolgreiche KI-basierte Fahrzeug-Extraktion aus Punktwolken von RGB-D-Kameras
- × **Positionierungssensorik:** geforderte **Sub-Meter-Genauigkeit** mit aktueller Low-cost GNSS/INS-Sensorik nur im Idealfall erreichbar
- **Detailinfos:** Nebiker, S., Meyer, J., Blaser, S., Ammann, M., & Rhyner, S. (2021). Outdoor Mobile Mapping and AI-Based 3D Object Detection with Low-Cost RGB-D Cameras: The Use Case of On-Street Parking Statistics. *Remote Sensing*, 13(16), 3099. <https://www.mdpi.com/2072-4292/13/16/3099>
- **Ausblick – laufende Masterarbeiten**
 - KI-basierte **on-board Fahrzeugdetektion** mittels Edge Computing (MTh J. Meyer)
 - Neue Map Matching-Ansätze zur **Verbesserung Positionierungsgenauigkeit** (MTh S. Rhyner)

Wichtigste Referenzen

- Bock, F., Eggert, D., & Sester, M. (2015). On-street Parking Statistics Using LiDAR Mobile Mapping. 2015 IEEE 18th International Conference on Intelligent Transportation Systems, 2812–2818. <https://doi.org/10.1109/ITSC.2015.452>
- Fetscher, S. (2020). Automatische Analyse von Streetlevel-Bilddaten für das digitale Parkplatzmanagement. Bachelor Thesis. FHNW University of Applied Sciences and Arts Northwestern Switzerland.
- Frey, J. (2021). Bildbasierte Lösung für das mobile Parkplatzmonitoring. Master Thesis. FHNW University of Applied Sciences and Arts Northwestern Switzerland.
- Grassi, G., Jamieson, K., Bahl, P., & Pau, G. (2017). Parkmaster: An in-vehicle, edge-based video analytics service for detecting open parking spaces in urban environments. Proceedings of the Second ACM/IEEE Symposium on Edge Computing, 1–14. <https://doi.org/10.1145/3132211.3134452>
- Grünenfelder, M. (2021). Mobiles bildbasiertes Parkplatzmonitoring: Messkampagne und Auswerteworkflow. Bachelor Thesis. FHNW University of Applied Sciences and Arts Northwestern Switzerland.
- Mathur, S., Jin, T., Kasturirangan, N., Chandrasekaran, J., Xue, W., Gruteser, M., & Trappe, W. (2010). ParkNet. Proceedings of the 8th International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services - MobiSys '10, 123. <https://doi.org/10.1145/1814433.1814448>
- Nebiker, S., Meyer, J., Blaser, S., Ammann, M., & Rhyner, S. (2021). Outdoor Mobile Mapping and AI-Based 3D Object Detection with Low-Cost RGB-D Cameras: The Use Case of On-Street Parking Statistics. Remote Sensing, 13(16), 3099.