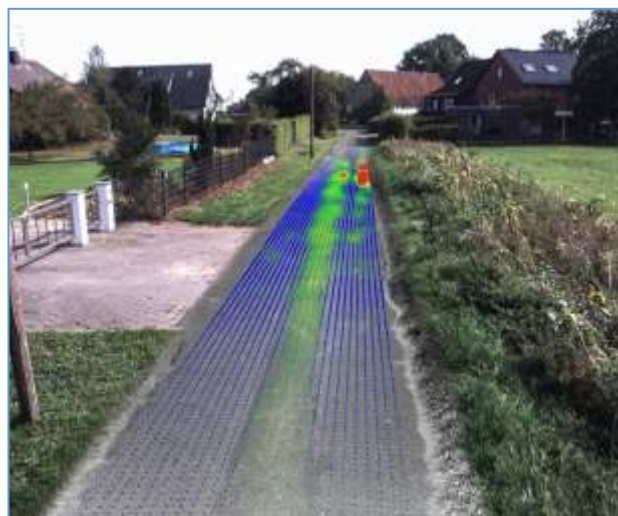
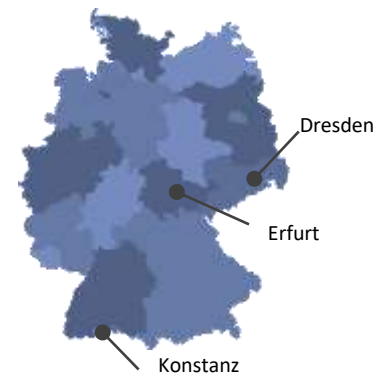


KI-unterstützte Prozesse beschleunigen den Weg in eine digitale Verwaltung und gewährleisten eine sichere und belastbare Entscheidungsgrundlage

Fachliche Expertise: Maximilian Sesselmann, Thorsten Naber, Steffen Scheller,
Nadine Stelling, Andreas Großmann

liefern mit fremdüberwachten BAST-zertifizierten Messsystemen u.a. LiDAR-basierte präzise messtechnische Zustandsdaten für:

- ✓ den Digitalen Zwilling von Ihrer Straßeninfrastruktur
- ✓ Operative und strategische Erhaltungsprogramme
- ✓ Doppische Erstbewertungen und Inventuren
- ✓ Bau- und Gewährleistungsabnahmen



über 32 Jahre Expertise +++ 65 MA in Deutschland +++ 1.800 MA weltweit in GINGER-Gruppe
+++ 340 Städte, Kommunen +++ 150 Landkreise +++ 250 Doppik-Projekte

Motivation

Messsystem

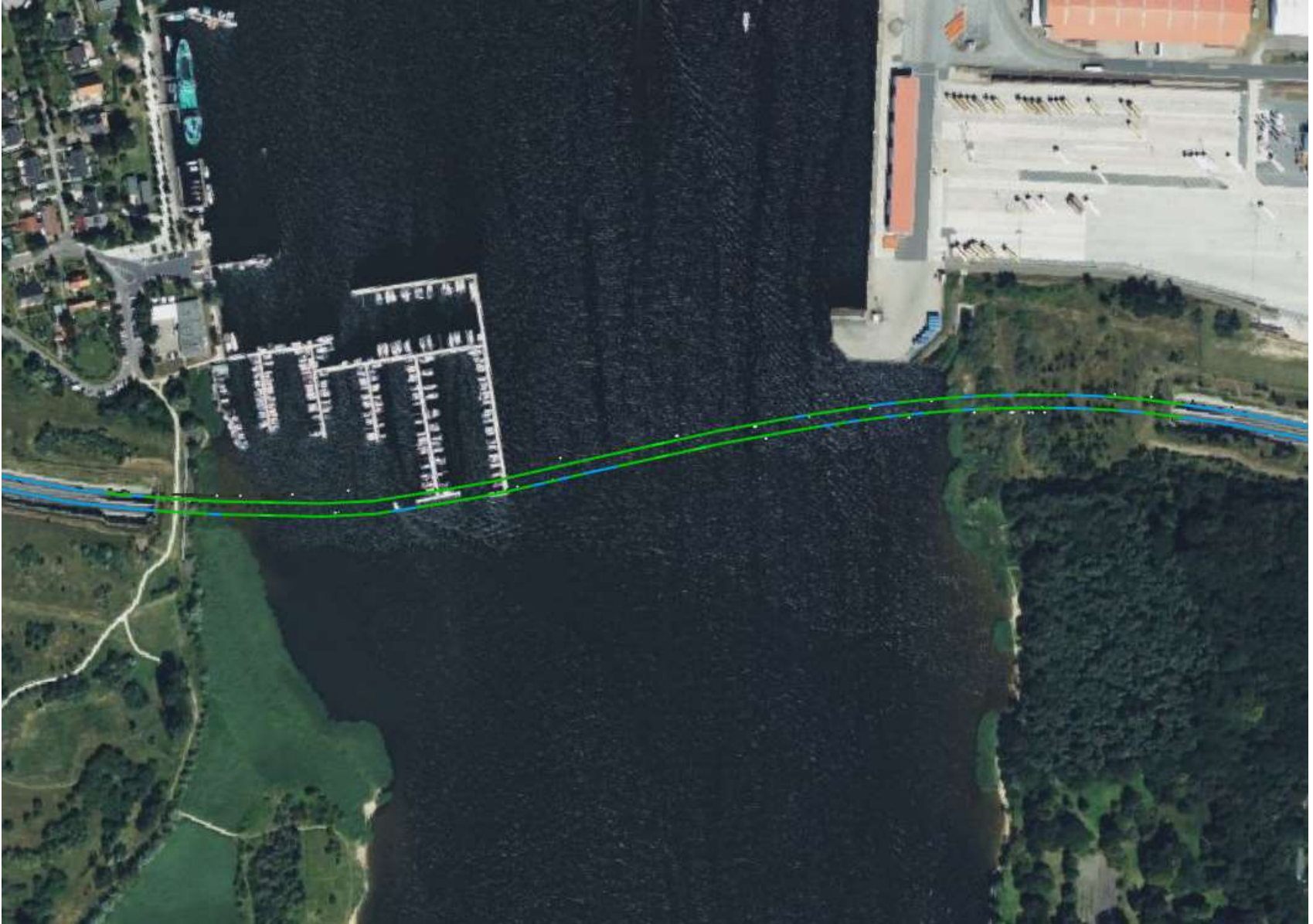
Daten und Methoden

Ergebnisse

Bilderrätsel: Was ist hier dargestellt?



Fahrbahnzustand des Warnowtunnels



Motivation

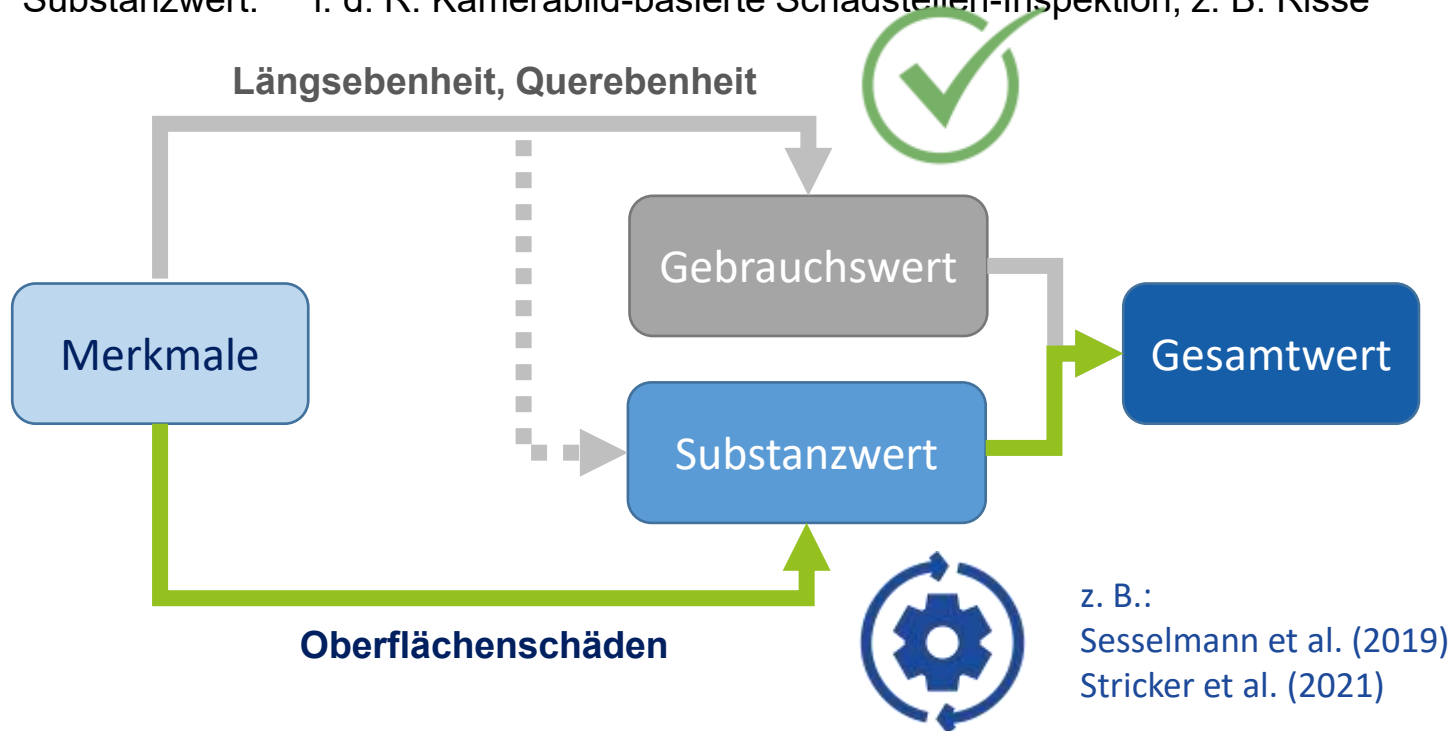


- Straßeninfrastrukturvermögen macht den überwiegenden Anteil am kommunalen Vermögens aus
- Werteverzehr stoppen - Erhaltung / Schutz der Vermögenswerte durch die **richtigen Maßnahmenentscheidungen (örtlich, zeitlich, technisch)**
- Nachhaltige Maßnahmenentscheidungen erfordern präzise Zustandsdaten, die zeitnah verfügbar sind
- Messtechnische Zustandsdaten ermöglichen ein Monitoring – Wirksamkeit der eingesetzten Mittel

	2013	2018	Delta
Teilzielwert Substanz (TWSUB)	2,72	2,91	-0,19
Teilzielwert Gebrauch (TWGEB)	2,45	2,39	+0,06
Gesamtwert (GSW)	2,65	2,85	-0,20

Straßenzustandserfassung im kommunalen Straßennetz

- Messtechnische Zustandserfassung für innerörtliche Verkehrsflächen gemäß **FGSV-Arbeitspapier K 2.1** (2015):
 - Gebrauchswert: i. d. R. Laser-basierte Messung von Ebenheitsindikatoren, z. B. Spurrinnen
 - Substanzwert: i. d. R. Kamerabild-basierte Schadstellen-Inspektion, z. B. Risse



- Vision: Erfassung von **Ebenheit und Oberflächenschäden** mit **einem LiDAR Sensor**
 - **automatisierte Inspektion von Oberflächenschäden** aus MLS Daten

Messsystem

Mobile Mapping System I.R.I.S

Fraunhofer Pavement Profile Scanner



Mobile Mapping System I.R.I.S

- System zur bildhaften und dreidimensionalen Erfassung des Straßenraumes
- Flächen- und Nutzungskartierungen
- Datenerfassung für 3D Analysen und Modellierungen (HD maps, digital twins, OpenCRG)
- **messtechnische Straßenzustandserfassung**

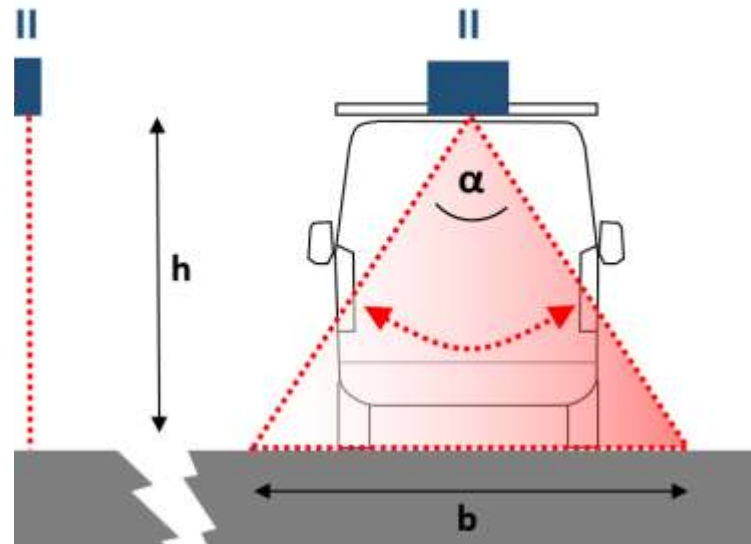


- **Inertiales Positionierungssystem
Applanix POS LV 420**
- 8 Einzelbildkameras (Photogrammetrie)
- Fraunhofer IPM Clearance Profile Scanner
(Fokus: Straßenraum)
- **Fraunhofer IPM Pavement Profile Scanner**
(Fokus: Fahrbahnoberfläche)

Oberflächen Laserscan des Fraunhofer Pavement Profile Scanners

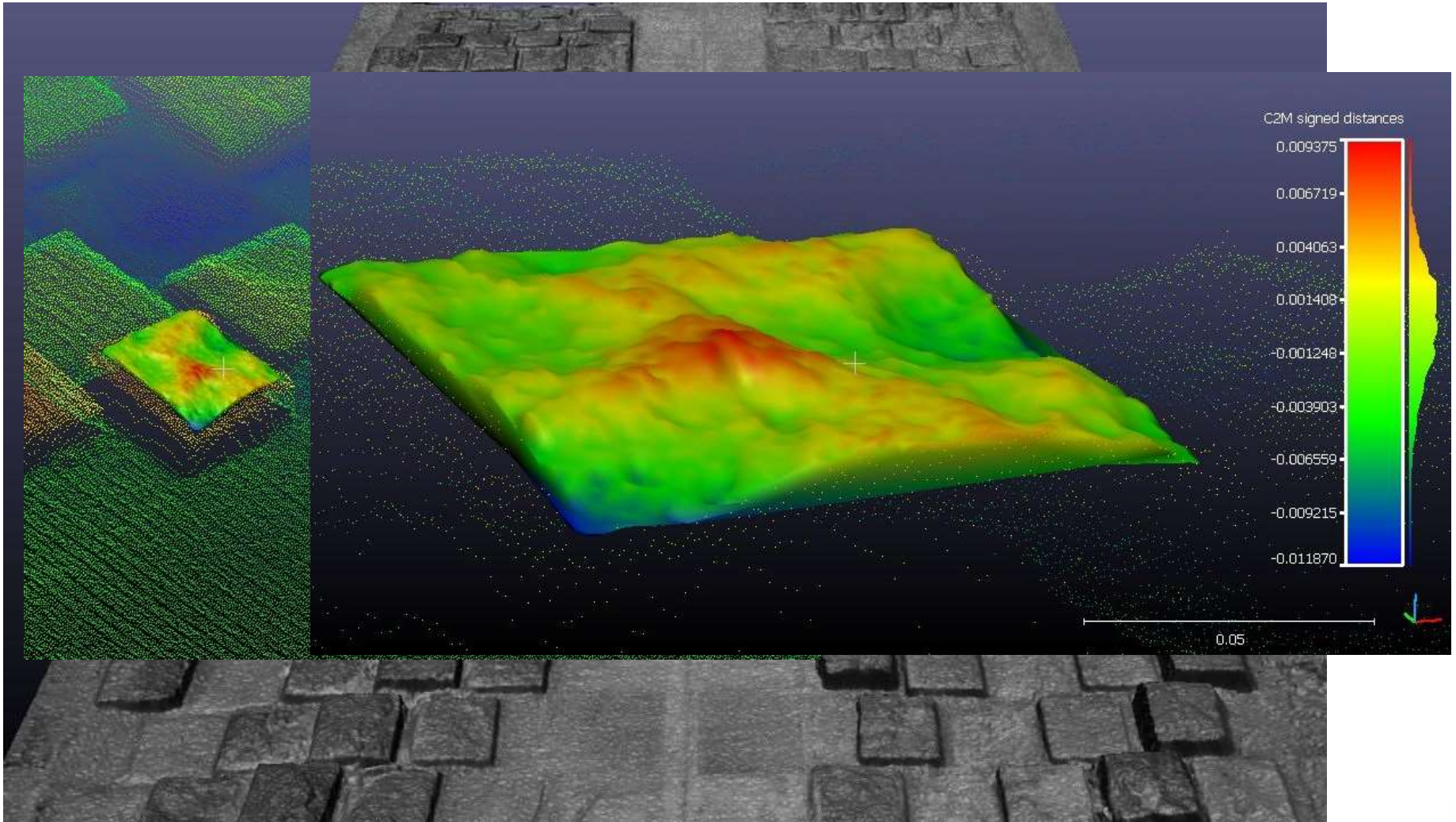
- Wellenlänge: 1550 nm
- Auflösung der Entfernungsmess.: < 1mm
- Öffnungswinkel: 70°
- Scanbreite: ≈ 4.2 m
- 1 Mio. Punkte / Sekunde mit ≈ 920 Punkten / Profil
- Punktabstand auf Profil: ≈ 4.5 mm
- Profilabstand bei 20 – 50 km/h: 8 – 18 mm

- Keine negativen Einflüsse durch vorherrschende Lichtverhältnisse (**keine Unter-/Überbelichtung**)
- **radiometrische und geometrische** Information für die Schadenserkenkung
- **direkt georeferenzierte Ergebnisse:** Straßenschäden als einzelne Geoobjekte für weitere räumliche Analysen im GIS





Oberflächen-Laserscan des Fraunhofer Pavement Profile Scanners



Daten und Methoden

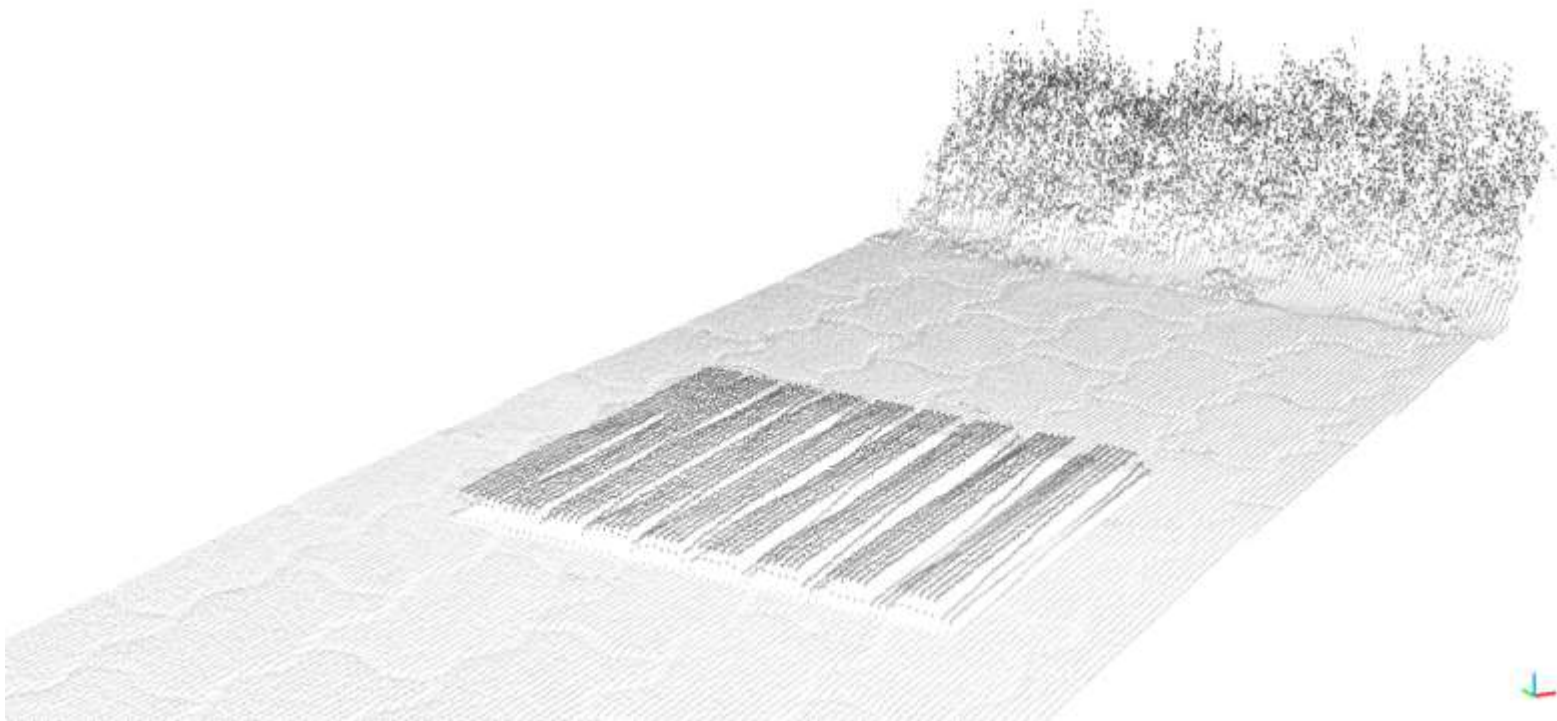
Prüfkörpermessungen

CNN basierte semantische
Segmentierung



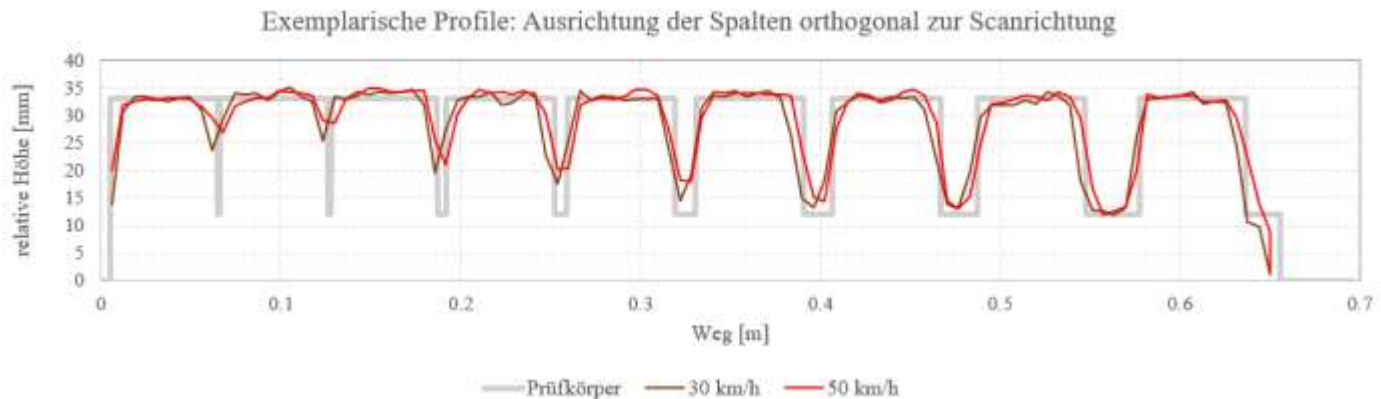
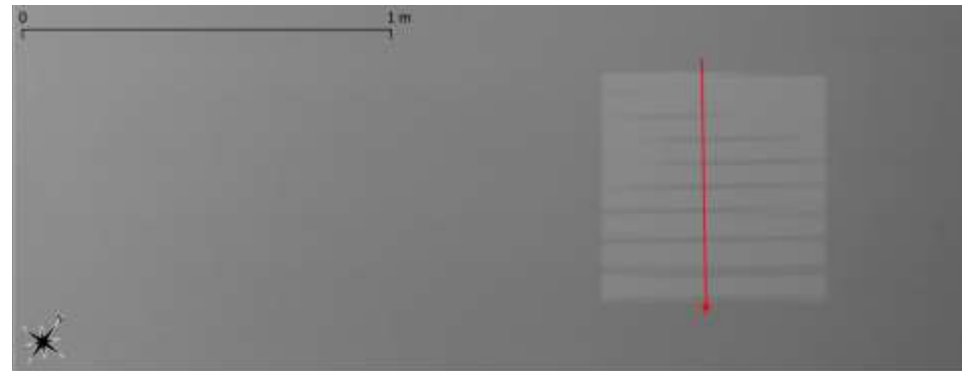
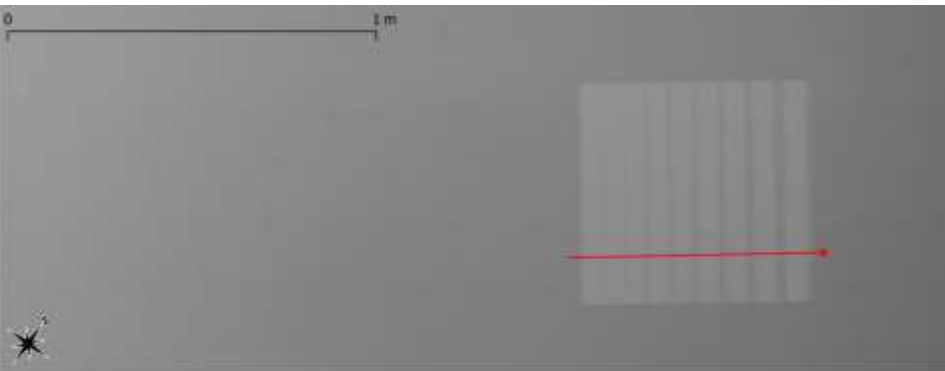
Fragestellung: Grenze der Erkennbarkeit von Oberflächendiskontinuitäten?

- Prüfkörper mit definierten Spaltbreiten (1 mm bis 30 mm)
- 3D Scan bei verschiedenen Geschwindigkeiten (30 und 50 km/h)
- 3D Scan verschiedener Ausrichtungen des Prüfkörpers



Evaluierung: Prüfkörpermessungen

- Interpolation der 3D Punktwolken zu 2.5D Oberflächenmodellen (Raster)
- Visuelle Inspektion der Oberflächenmodelle
- Ermittlung des Anteils erkennbarer Spalten (verschiedene Szenarien)



Evaluierung: Prüfkörpermessungen

- **≥ 7 mm** breite Spalten: sehr sicher / **vollständig** detektierbar
- **5 mm** breite Spalten: sicher / **überwiegend vollständig** detektierbar
- **≤ 2 mm** breite Spalten: abhängig von Ausrichtung/Geschwindigkeit detektierbar

(Vorteil: orthogonale Ausrichtung & reduzierte Geschwindigkeit)

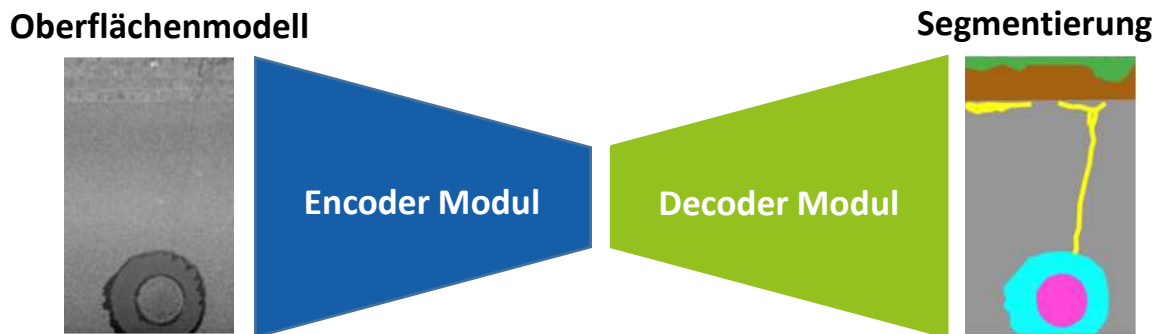
Prozentualer Anteil der erkannten Spaltlänge
(Mittelwert und Standardabweichung über drei Wiederholungsmessungen)

Spaltbreite [mm] \ Szenario	Erfassungsgeschwindigkeit: 30 km/h		Erfassungsgeschwindigkeit: 50 km/h	
	Ausrichtung: parallel	Ausrichtung: orthogonal	Ausrichtung: parallel	Ausrichtung: orthogonal
1	46 (6)	80 (17)	26 (18)	38 (20)
2	60 (13)	100 (0)	43 (3)	100 (0)
5	64 (4)	100 (0)	64 (2)	100 (0)
7	99 (1)	99 (1)	98 (2)	98 (1)
10	100 (0)	99 (1)	98 (2)	100 (0)
15	100 (0)	100 (0)	100 (0)	100 (0)
20	100 (0)	100 (0)	100 (0)	100 (0)
30	100 (0)	100 (0)	100 (0)	100 (0)

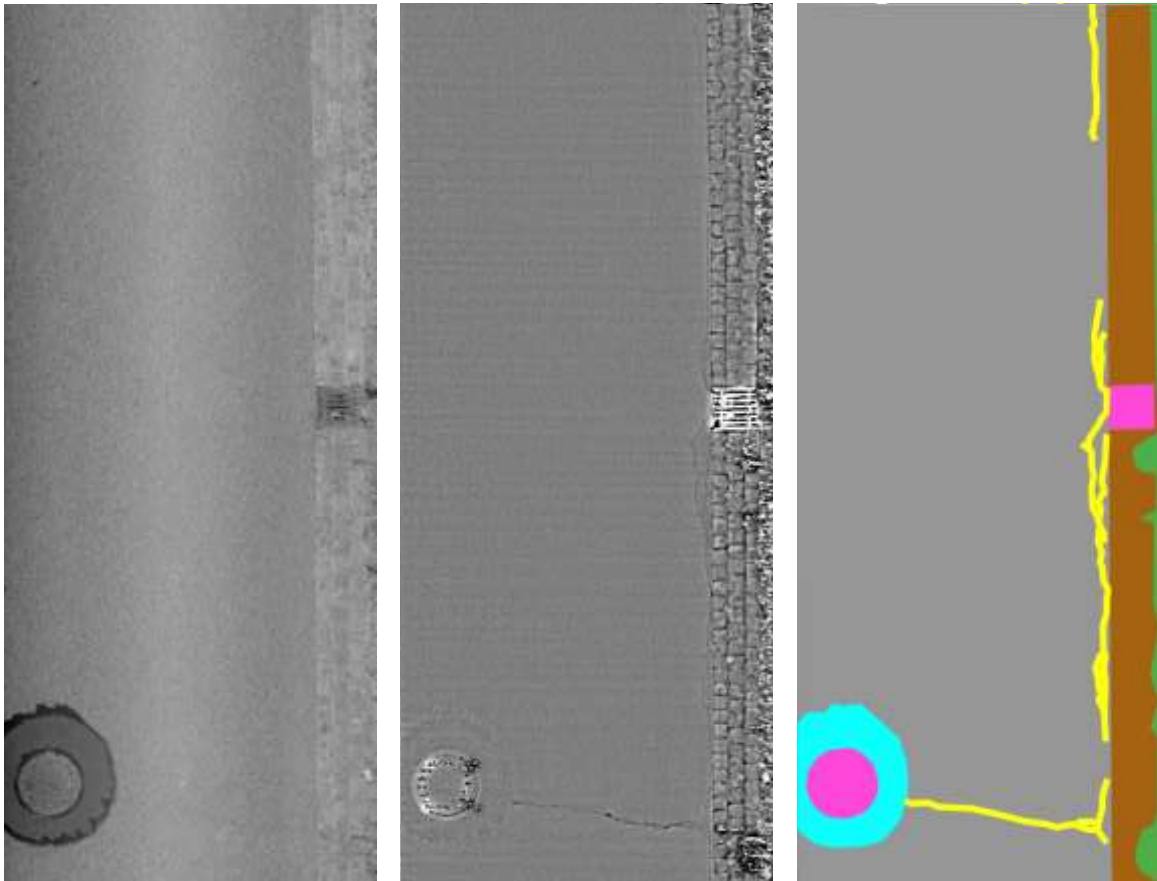
Deep Learning und semantische Bildsegmentierung

- Deep Learning: Teilbereich des maschinellen Lernens
 - datengetriebenes Lernen (kein explizites Merkmals-Design nötig)
 - tiefe künstliche neuronale Netze (für visuelle Aufgaben i.d.R. CNNs)
- Bildsegmentierung: Klassifikation für jeden einzelnen Pixel eines Bildes
 - Encoder-Decoder Architektur (Network Backbone: Xception65)
 - Encoder: Merkmalsextraktion (einhergehend: Reduktion der Auflösung)
 - Decoder: Segmentierung und Wiederherstellung ursprünglicher Bildauflösung

Encoder-Decoder Network



Datensatz zum Training und zur Evaluierung von Deep Learning Modellen



- Oberflächenmodelle auf Basis von 3D Punktwolken
 - Intensitätsbilder (~ Orthophoto)
 - Oberflächenbilder (~ DEM)
- Annotationen (pixelgenaue Masken mit Klasseninformation)

Datensatz zum Training und zur Evaluierung von Deep Learning Modellen

- Datenbasis: PPS Laserscans (I.R.I.S)
 - > 20 Regionen deutschlandweit
 - Umfangreicher Klassenkatalog
 - 8 Schadklassen
 - 4 Deckschichtarten
 - 6 Objektklassen
 - **> 13.500 kontur-scharf gelabelte Schadstellen**
- Training:
 - Tensorflow
 - NVIDIA GeForce RTX 2080 Ti



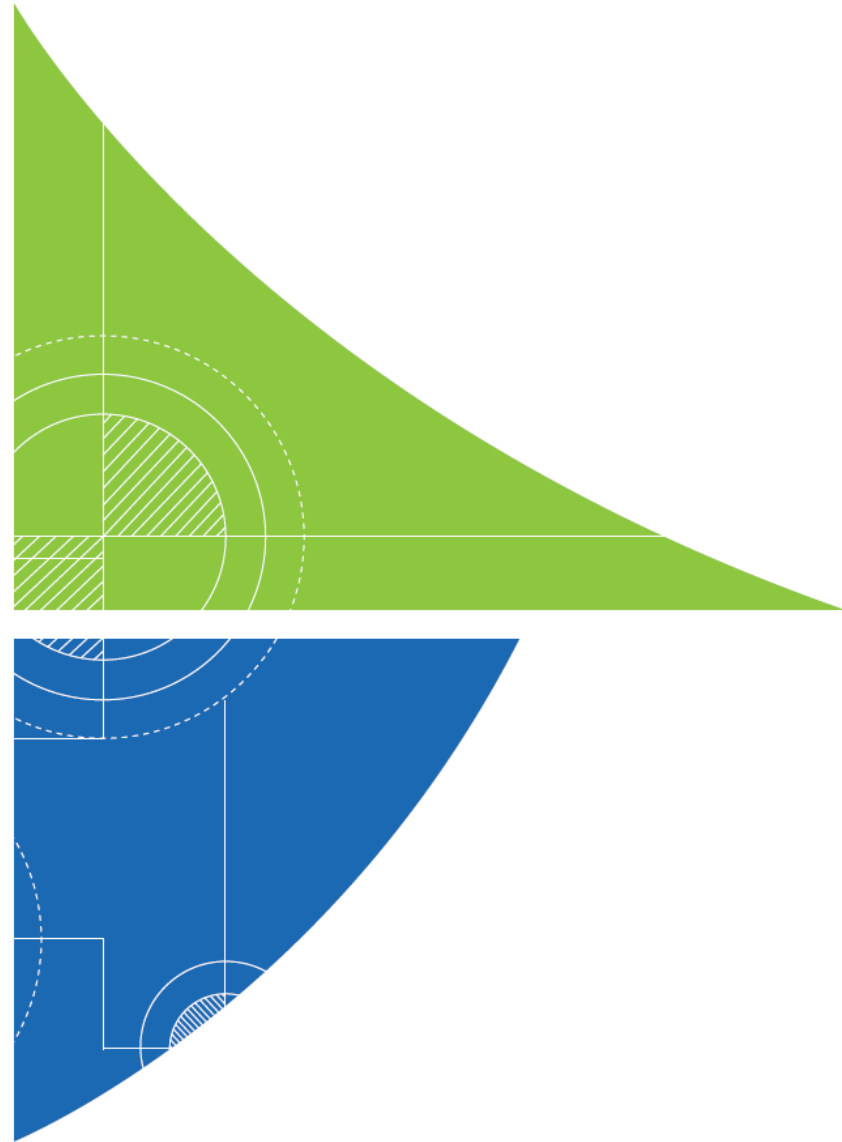
relevantes Merkmal	gelabelte Schadklasse	Objektanzahl	
		TRAIN	TEST
RISS	Riss (offen)	5805	1019
	Riss (saniert)	1333	127
FLI	Flickstelle (eingelegt)	735	99
	Flickstelle (aufgelegt)	498	42
OBS	Nahtriss	263	80
	Ausbruch	2105	292
	Kornausbruch	774	313
	Bindemittelaustritt	139	6

Ergebnisse

Evaluierung der trainierten Modelle

Impressionen

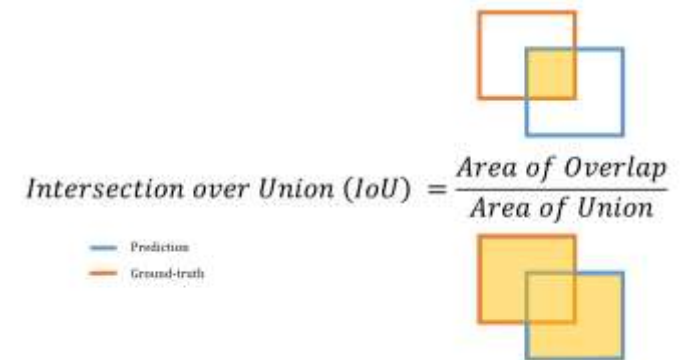
Vergleich von manueller und
automatischer Zustandsbewertung



Evaluierung der trainierten Modelle: Intersection over Union (IoU)

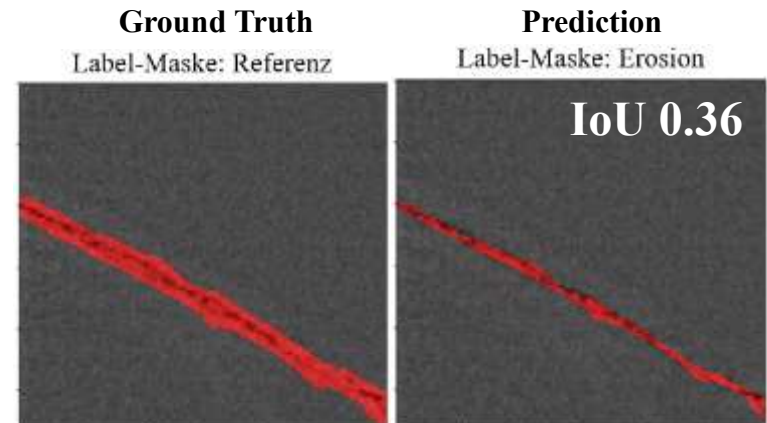
- Globale IoU-Scores: 0.924 (Höhe) und 0.937 (Intensität)
- Klassenweise IoU-Scores:

Klasse	Kategorie	IoU	
		Kanal: Höhe	Kanal: Intensität
Offener Riss	Schaden	0.45	-
Sanierter Riss	Schaden	-	0.44
Nahtriss	Schaden	0.31	-
Ausbruch	Schaden	0.29	-
Kornverlust/Ausmagerung	Schaden	0.39	-
Flickstelle (eingelegt)	Schaden	-	0.77
Flickstelle (aufgelegt)	Schaden	-	0.68
Bindemittelaustritt	Schaden	-	0.57
Asphalt	Material	0.97	-
Pflaster	Material	0.92	-
Beton (Plattenbauweise)	Material	0.91	-
Wassergebunden/Unbefestigt	Material	0.89	-
Metallische Einbauten	Objekt	0.79	0.81
temporäre Objekte	Objekt	0.68	0.68
Fahrbahnmarkierungen	Objekt	-	0.83
Baunaht	Objekt	-	0.35
Bord	Objekt	0.53	0.47
Bankett/Vegetation	Objekt	0.84	0.80



$$\text{Intersection over Union (IoU)} = \frac{\text{Area of Overlap}}{\text{Area of Union}}$$

— Prediction
— Ground-truth



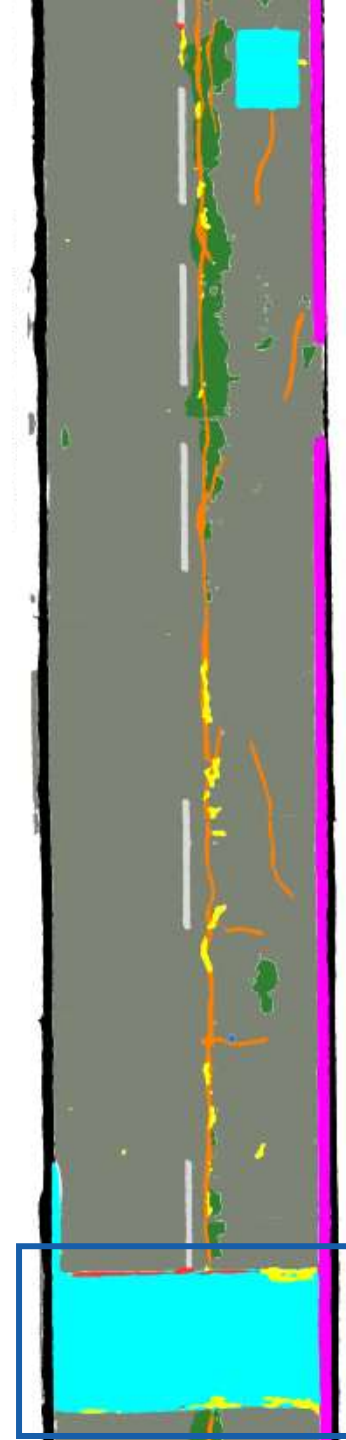
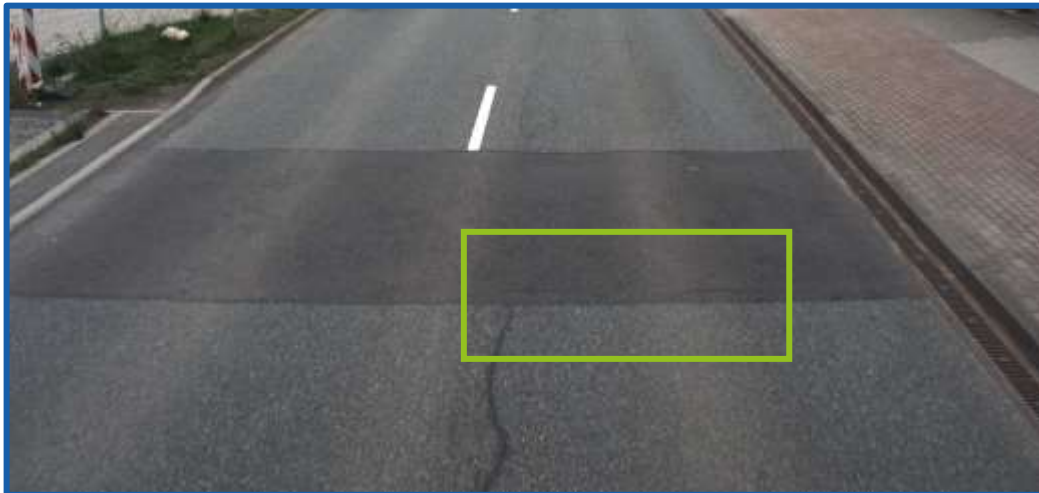
Impressionen

- präzise Kartierung von Schäden, Deckenarten und Objekten
 - Polygon-Geometrien (GeoPackages)
 - absolute Lagegenauigkeit maßgeblich determiniert von Positionierungssystem



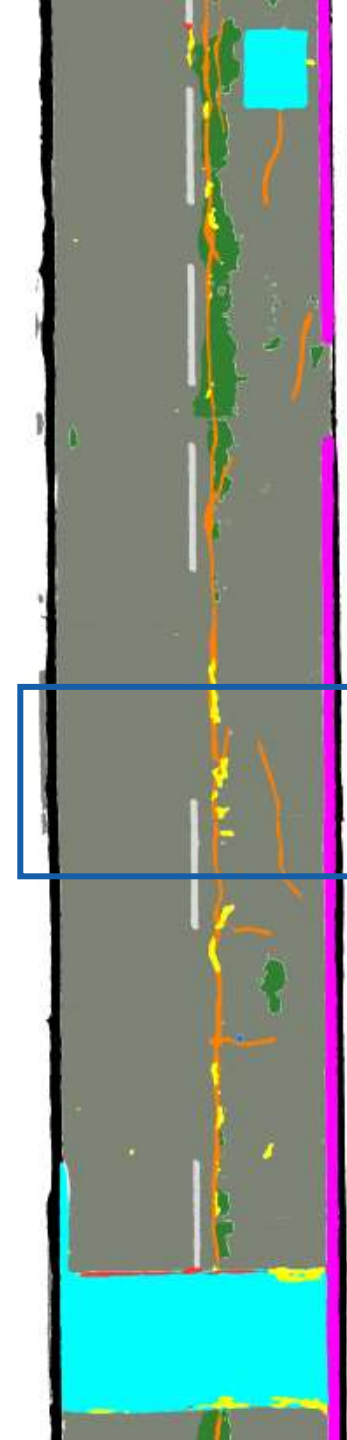
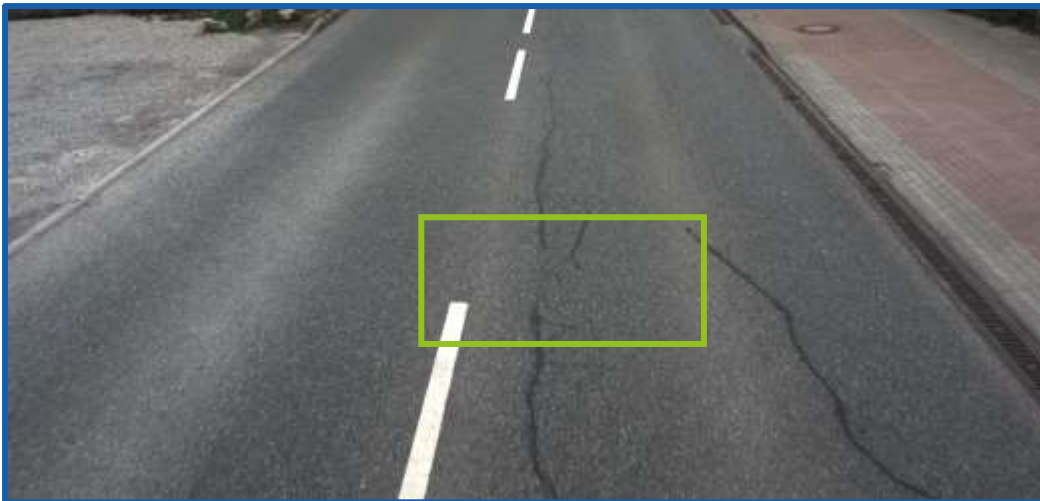
DOP: <https://geodienste.sachsen.de>

Impressionen



- Asphalt
- Pflaster
- Bord
- Inventar
- Markierung
- Riss (offen)
- Riss (saniert)
- offene Naht
- Flickstelle (eingelegt)
- Flickstelle (aufgelegt)
- Ausbruch
- Kornverlust
- Bindemittelanreicherung

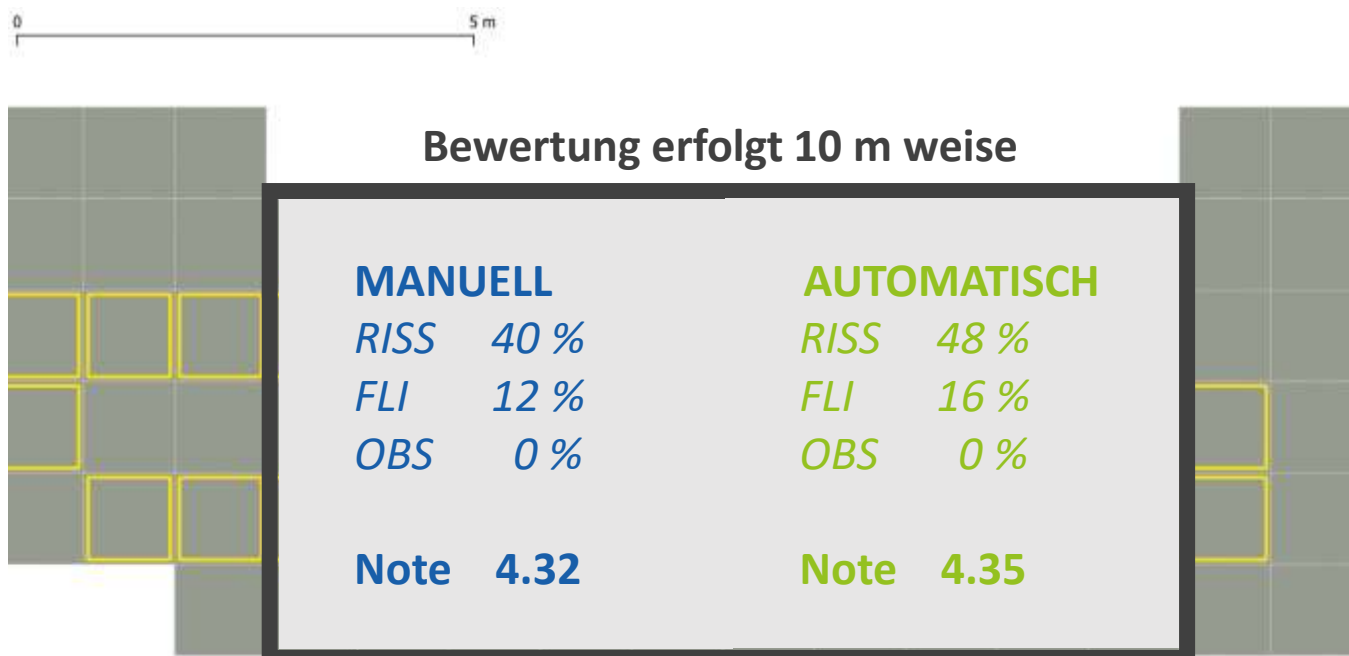
Impressionen



- Asphalt
- Pflaster
- Bord
- Inventar
- Markierung
- Riss (offen)
- Riss (saniert)
- offene Naht
- Flickstelle (eingelegt)
- Flickstelle (aufgelegt)
- Ausbruch
- Kornverlust
- Bindemittelanreicherung

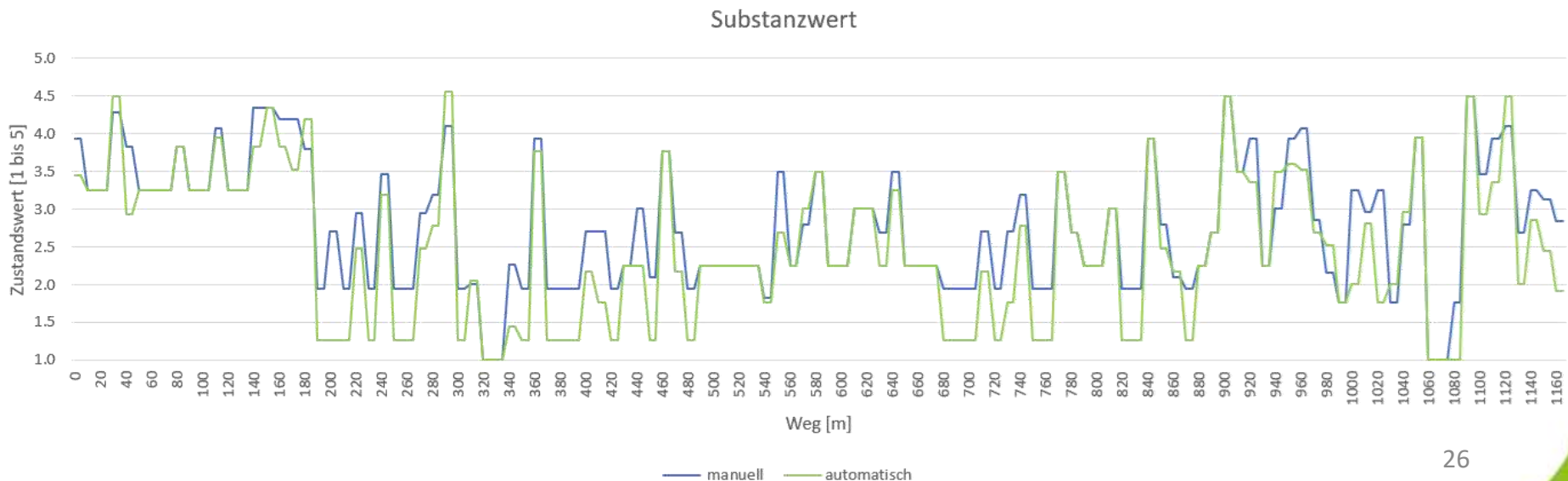
Vergleich: manuelle und automatische Zustandsbewertung

- ca. 1.2 km lange Untersuchungsstrecke
- konventionelle, manuelle Inspektion erfolgt in einem 1m²-Raster
- räumliche Verschneidung von 1m²-Raster und automat. kartierten Schadstellenpolygonen



Vergleich: manuelle und automatische Zustandsbewertung

- Ergebnis für Substanzwert (ohne Ebenheits-Anteil):
 - Hohes Maß an Übereinstimmung (Korrelationskoeffizient: 0.91)
 - **Qualität auf dem Niveau menschlicher Expert*innen:**
Mittelwerte liegen innerhalb der von der FGSV vorgeschriebenen Toleranzen (0.5) für die Wiederholbarkeit manueller Zustandsinspektion auf Autobahnen (RISS: 0.2; FLI: 0.4)
 - mind. **10-mal schnellere Inspektionszeit** (bei Nutzung nur einer GPU)



Literatur

- Applanix. (2019). POS LV. <https://www.applanix.com/downloads/products/specs/POS-LV-Datasheet.pdf>
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen FGSV (2015): *Arbeitspapiere zur Systematik der Straßenerhaltung - Reihe K: Kommunale Straßen* (AP9 K/3.1).
- Fraunhofer Institute for Physical Measurement Techniques IPM (2019). PAVEMENT PROFILE SCANNER PPS / PPS-PLUS. <https://www.ipm.fraunhofer.de/content/dam/ipm/en/PDFs/product-information/OF/MTS/Pavement-Profile-Scanner-PPS.pdf>
- Lundberg, T., Andrén, P., Wahlman, T., Eriksson, O., Sjögren, L., & P., Ekdahl (2018): *New technology for road surface measurement : transverse profile and rut depth*. Retrieved from Statens väg- och transportforskningsinstitut website: <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:vti:diva-12806>
- Reiterer, A., Dambacher, M., Maindorfer, I., Höfler, H., Ebersbach, D., Frey, C., Scheller, S. & D. Klose (2013): *Straßenzustandsüberwachung in Sub-Millimeter*. In: T. Luhmann (Ed.), *Photogrammetrie, Laserscanning, optische 3D-Messtechnik: Beiträge der Oldenburger 3D Tage 2013*, pp. 78-85.
- Sesselmann, M., Stricker, R. & M. Eisenbach (2019): Einsatz von Deep Learning zur automatischen Detektion und Klassifikation von Fahrbahnschäden aus mobilen LiDAR-Daten. *AGIT –Journal für Angewandte Geoinformatik* 5-2019, pp. 100 –114.
- Stricker, R, Aganian, D., Sesselmann, M., Seichter, D., Engelhardt, M., Spielhofer, R., Hahn, M., Hautz, A., Debes, K. & H.-M. Gross (2021): Road Surface Segmentation - Pixel-Perfect Distress and Object Detection for Road Assessment, *IEEE 17th International Conference on Automation Science and Engineering (CASE)*, 2021, pp. 1789-1796.
- Bildquelle “IoU Score”: <https://www.kaggle.com/c/ml2019spring-final-deepq/overview/evaluation>

The background features a light blue grid with several circles of varying sizes. Some circles are solid, while others are dashed. A few circles have a quarter-section shaded with diagonal lines. The central part of the image is a solid blue vertical bar.

Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!

Kontakt:
schulze@lehmann-partner.de

 **GINGER**
LEHMANN+PARTNER