



Werner Lienhart

Entwicklungsstand und Vision Moderner Tragwerksbeurteilung

AR Digitaler Zwilling

ML Machine Learning

BD Big Data

BI KI IOT

UAV

Tragwerksbeurteilung

Zielsetzung

- Permanente Kenntnis des aktuellen Zustandes

Erfordernis

- Monitoring mit hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung
- Automatisierte Auswertung, Interpretation und Prognose



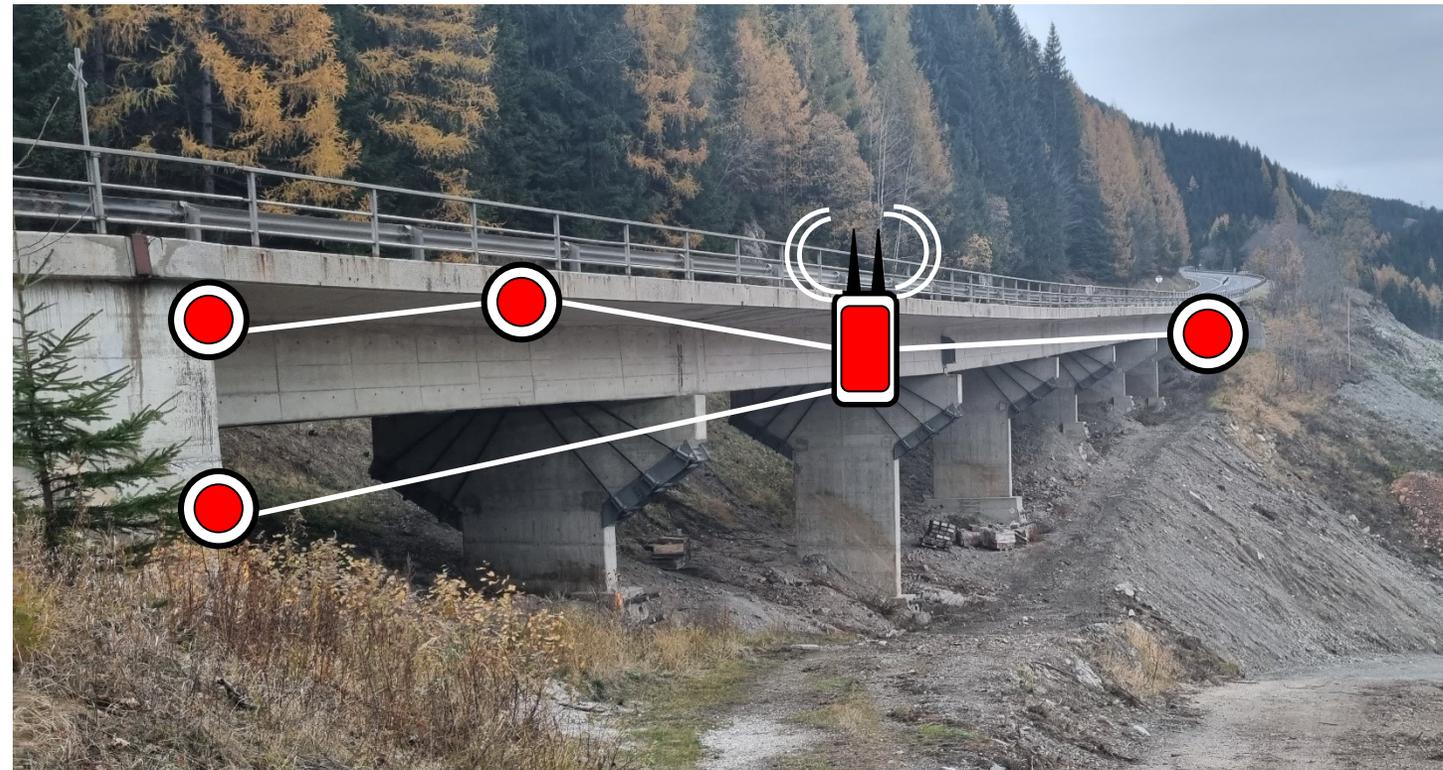
IoT Sensors

Mesh Konfiguration

- Sensing Nodes sind drahtlos miteinander und mit einem Gateway verbunden
- Gateway stellt Verbindung mit dem Internet her

Autonom und autark

- Sensoren mit niedrigem Stromverbrauch
- Zusätzliche Photovoltaikzellen falls erforderlich



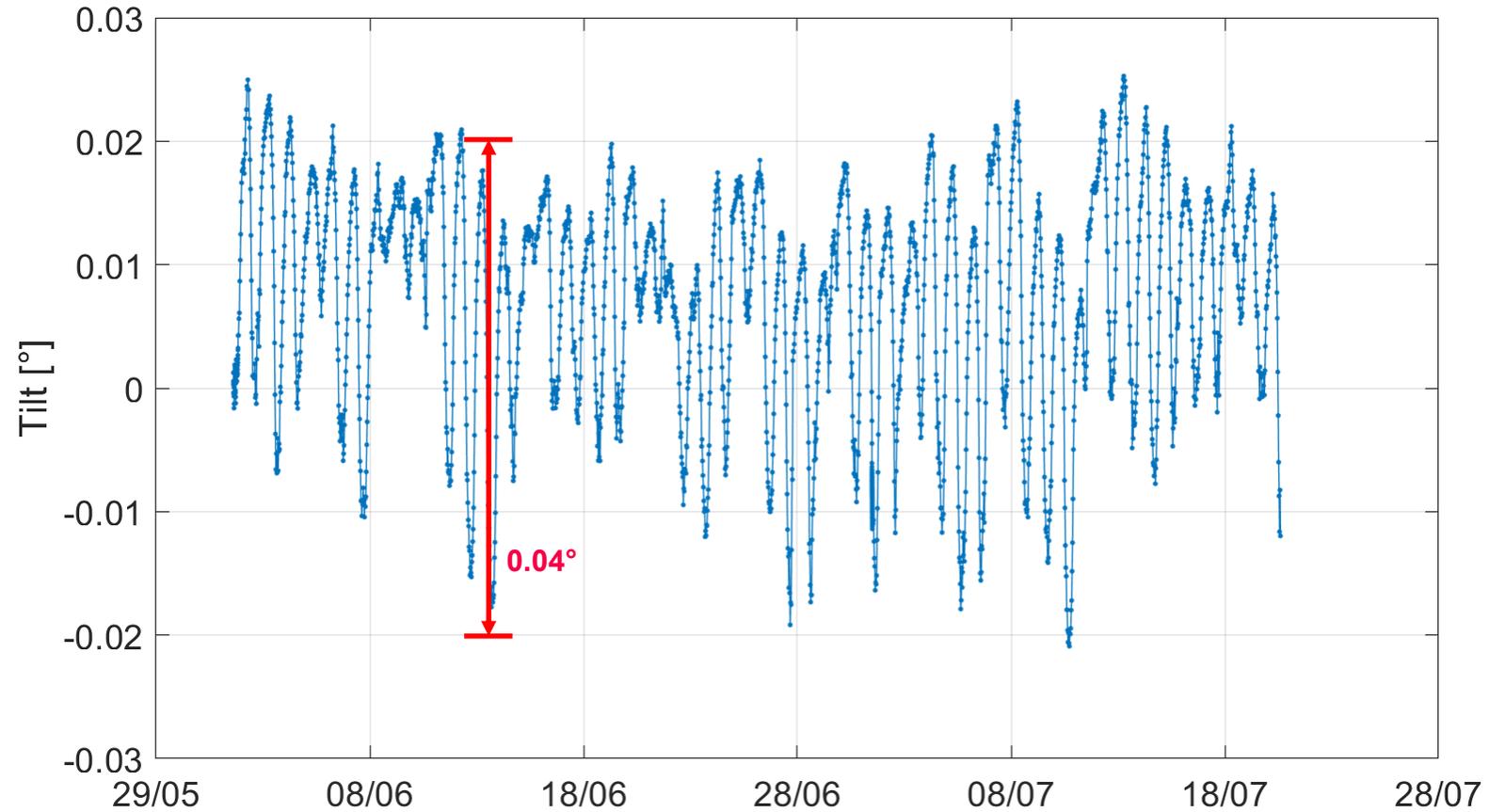
Beispiel IoT Neigungssensoren



Performance laut Datenblatt

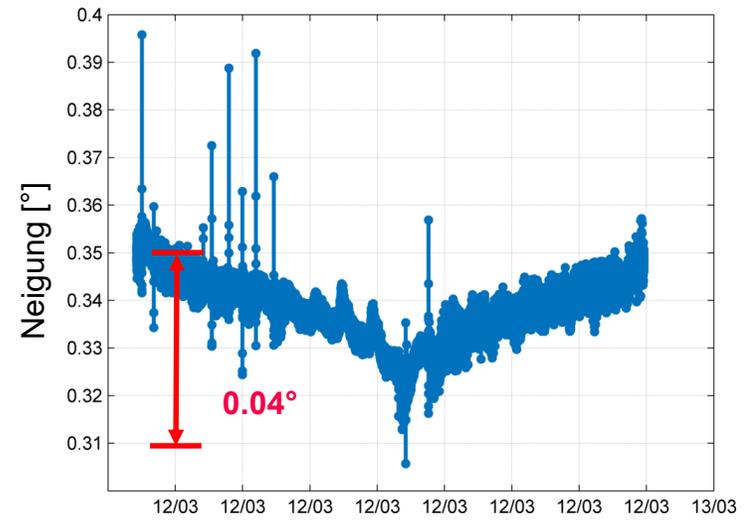
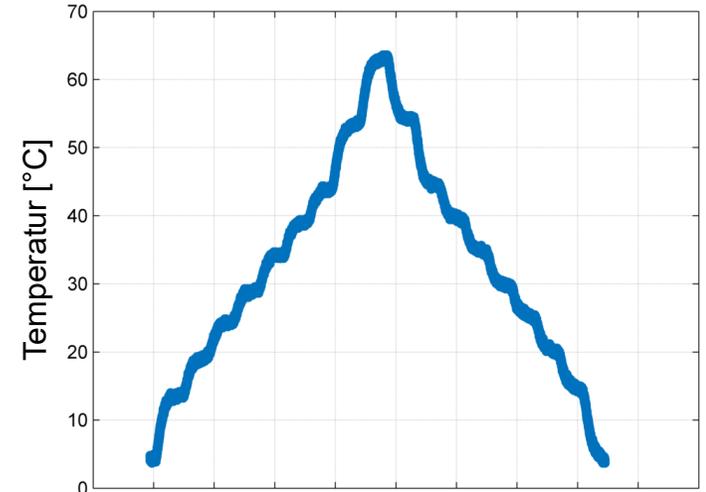
- Auflösung 0.0001°
- Wiederholbarkeit $\pm 0.0005^\circ$

Messdaten

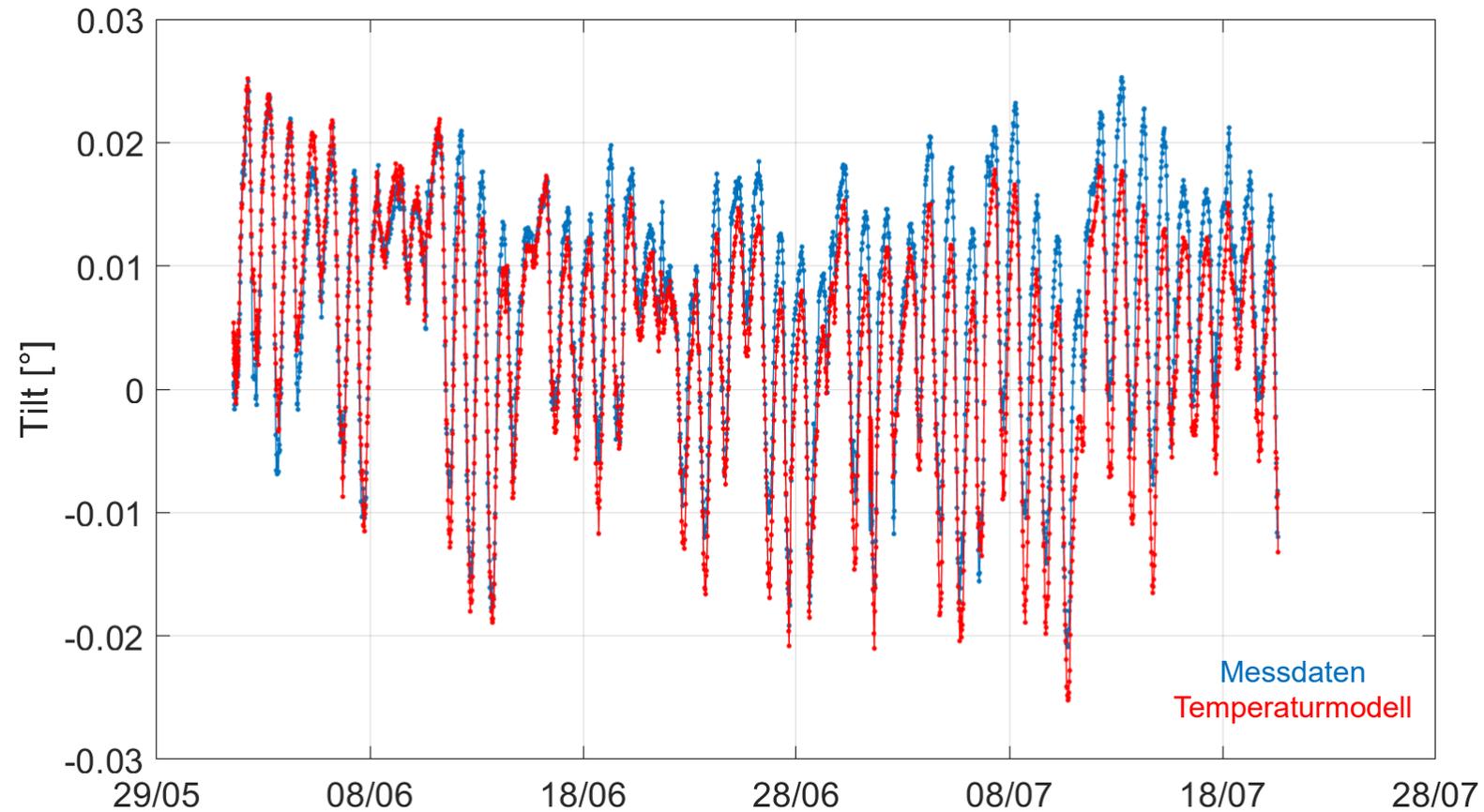


Echte Bewegung der Struktur?

Neigungssensoren & Temperatur

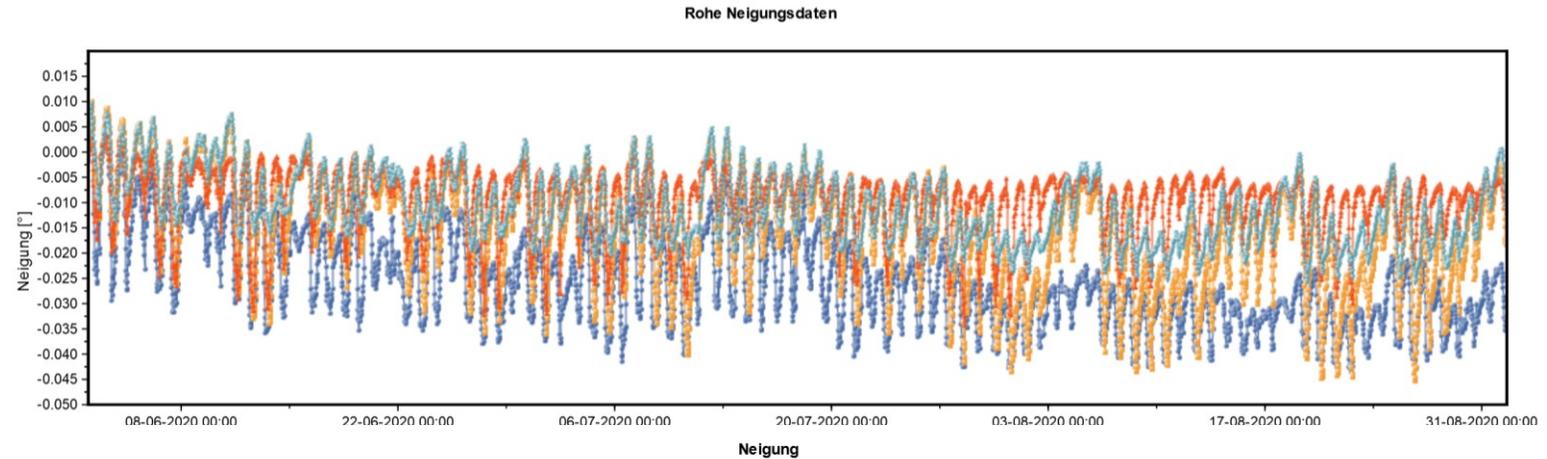


Neigungssensoren & Temperatur

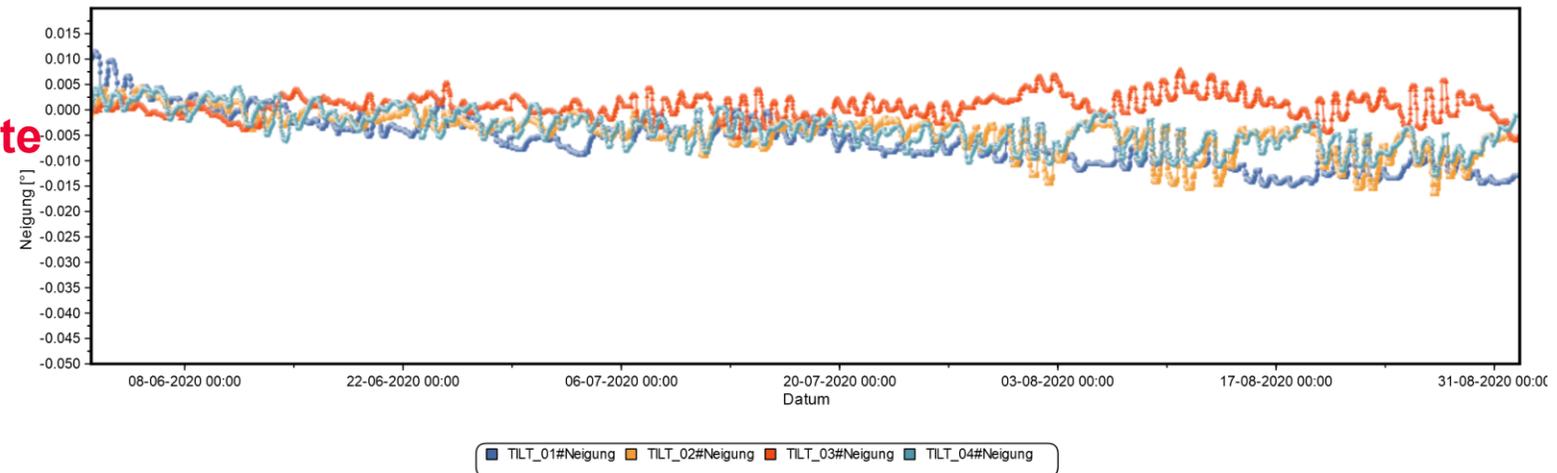


Neigungssensoren & Temperatur

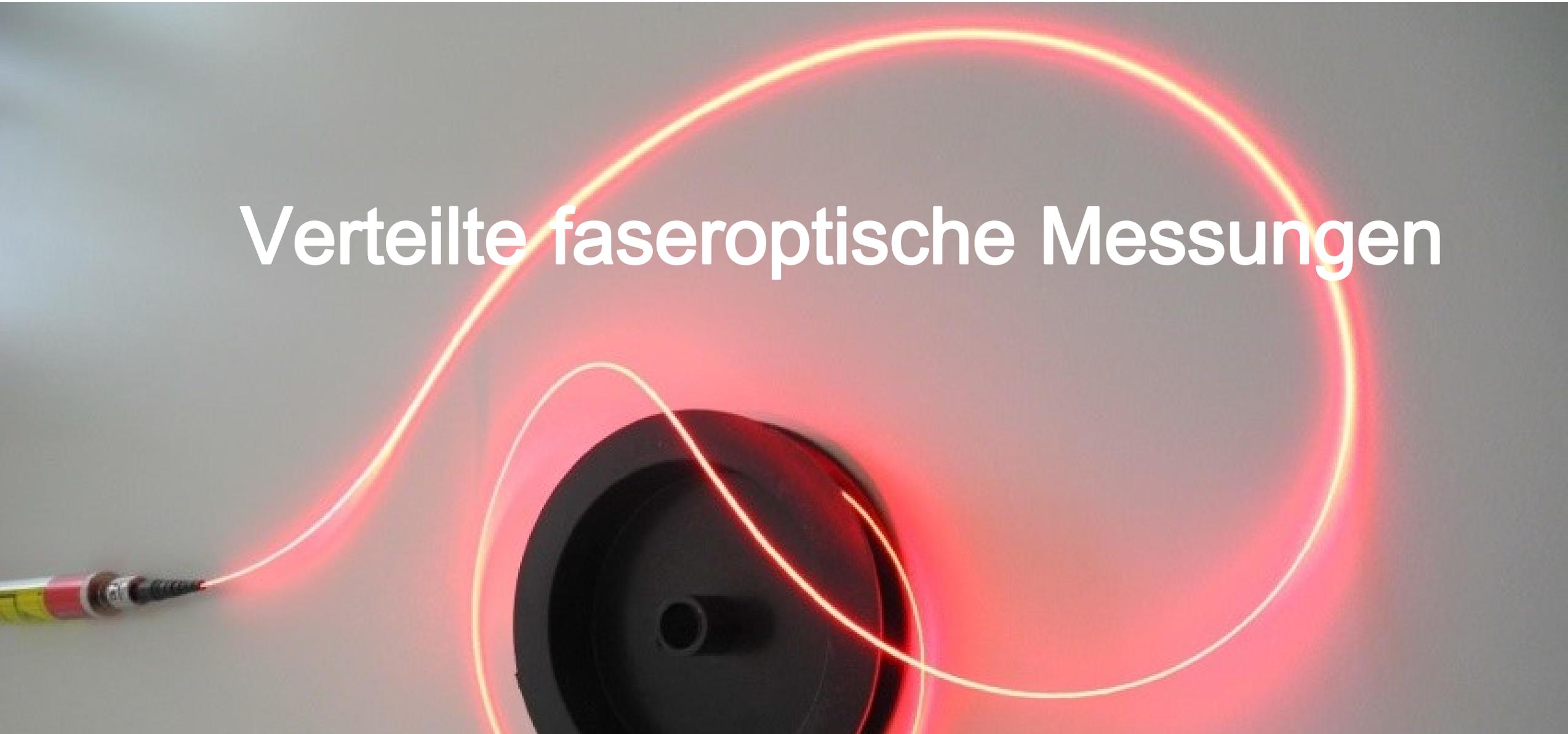
Rohe Neigung



Temp. korrigierte
Neigung



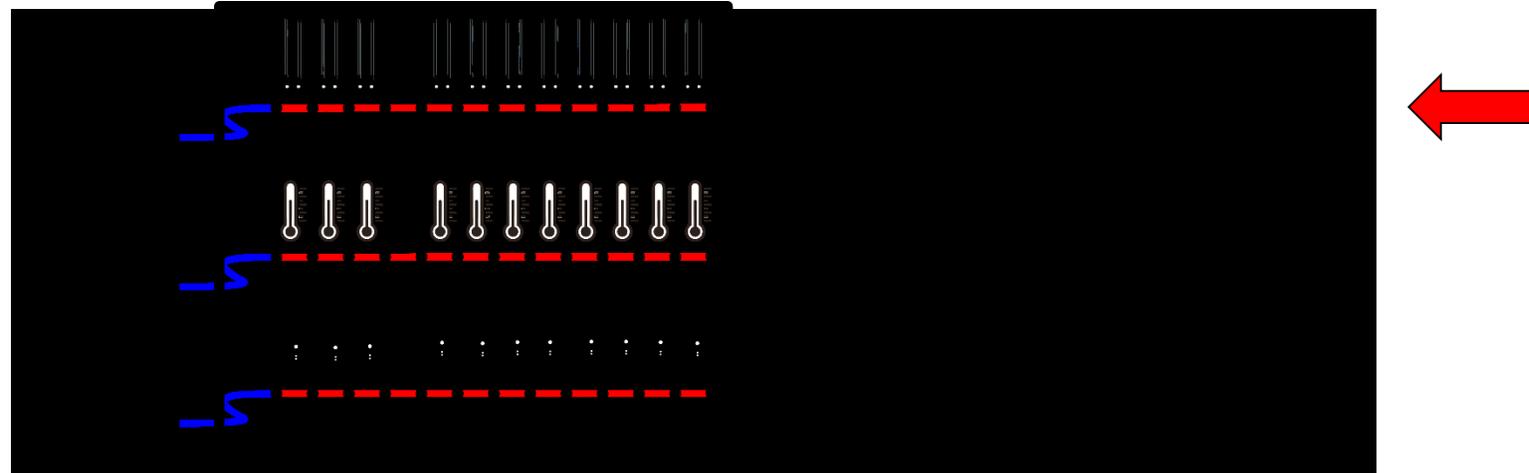
Verteilte faseroptische Messungen



Verteilte faseroptische Messungen

Potential

- 1 Faser => unterschiedliche Möglichkeiten



DSS - Verteilte faseroptische Dehnungsmessung

- Lückenlose Erfassung von Dehnungen über lange Distanzen

Verteilte faseroptische Messungen

Montage

- Direkte Einbettung bei Neubau
- Nachträgliche Oberflächenmontage im Bestand

Zielsetzungen

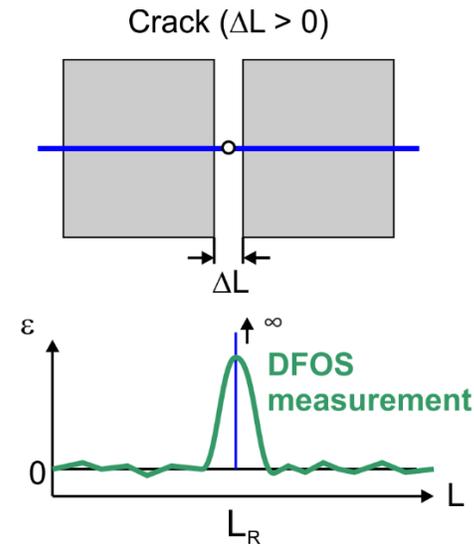
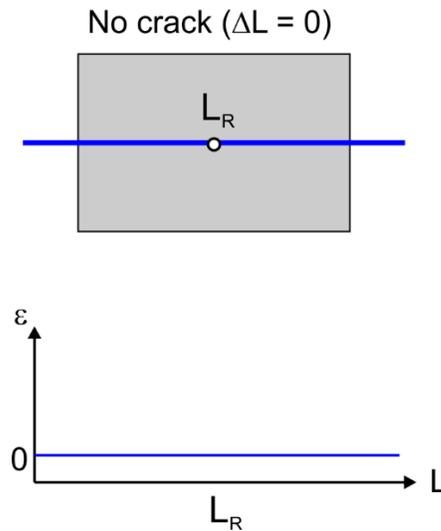
- Bestimmung von Dehnungen, Krümmungen und Biegelinien
- Detektion von lokalen Detektion, Lokalisation und Quantifikation von lokalen Defekten z.B. Rissen



Dehnungsmessungen und Risse

Strain

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$$



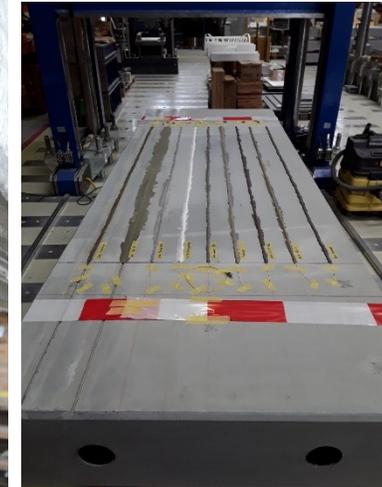
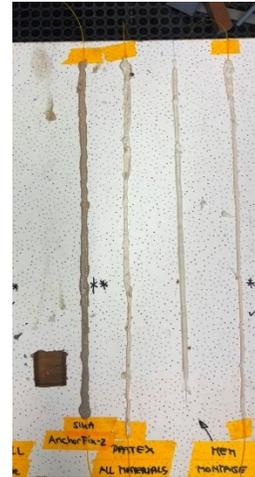
Dehnungsspitze ist abhängig von

- Rissbreite
- Räumlicher Auflösung des Instrumentes
- Eingesetztem Kabel
- Verwendeten Verbindungsmittel

Laboruntersuchungen mit Oberflächenapplikation

Montage und Belastungstests

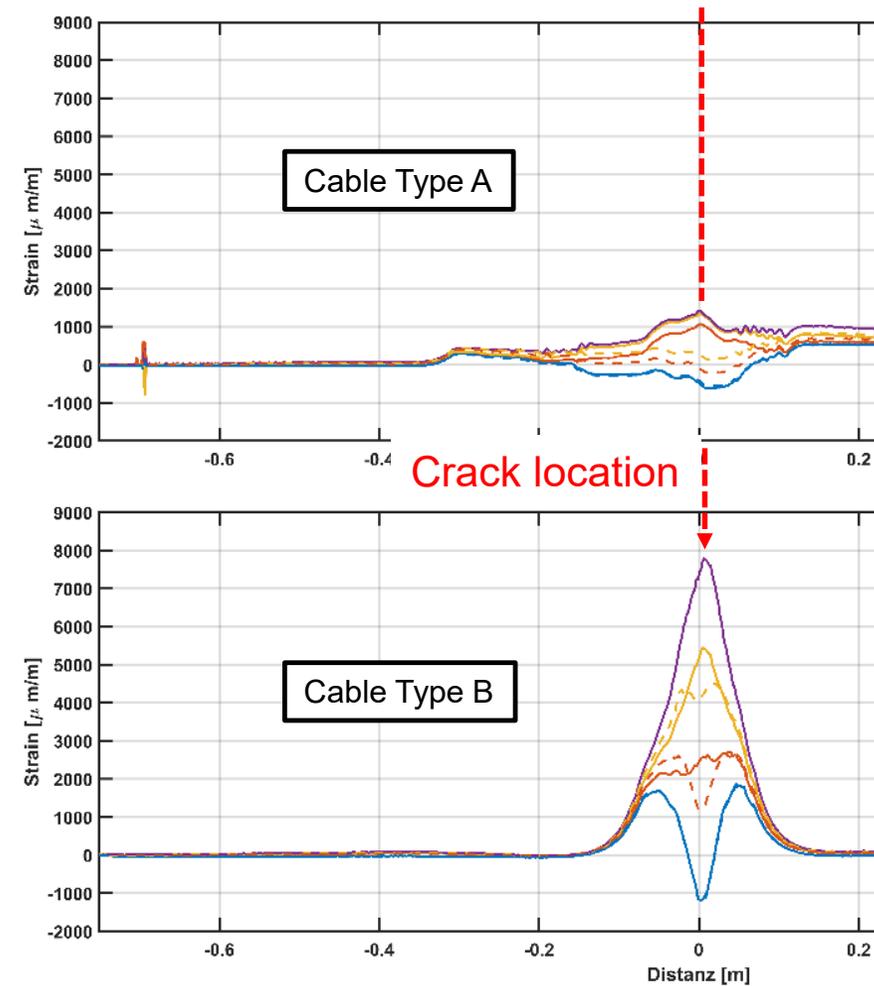
- Verschiedene Kabel
- Verschiedene Kleber
- Unterschiedliche Oberflächenvorbereitung
- Unterschiedliche Umgebungsbedingungen



Beispiel von Ergebnissen

Testbalken

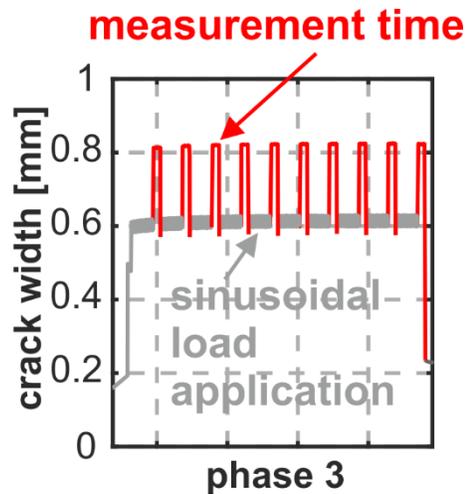
- 2.5 m x 0.9 m x 0.2 m
- Verschiedene Kabel



Laboruntersuchungen

Beschleunigter Alterungstest

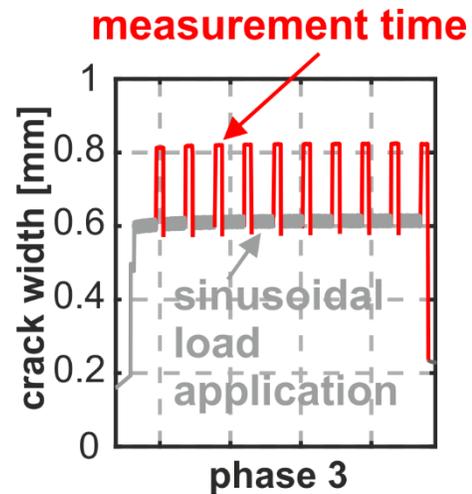
- 1000 Zyklen für 1 h
- Messungen
- Weitere 1000 Zyklen
- ...



Laboratory Investigations

Beschleunigter Alterungstest

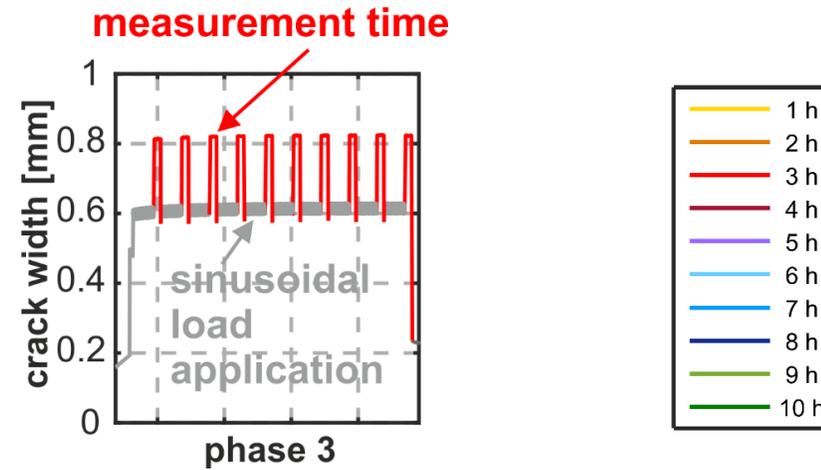
- 1000 Zyklen für 1 h
- Messungen
- Weitere 1000 Zyklen
- ...



Laboruntersuchungen

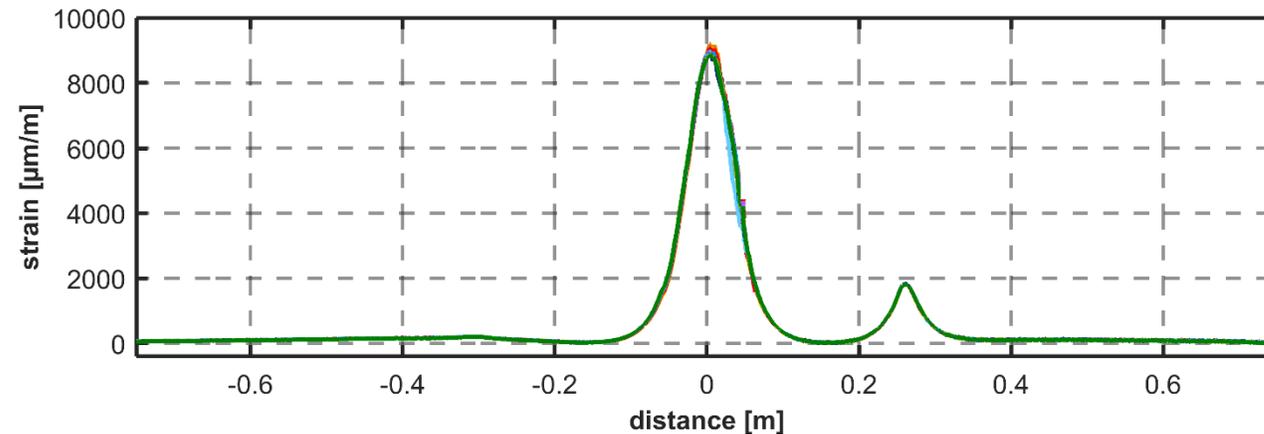
Beschleunigter Alterungstest

- 1000 Zyklen für 1 h
- Messungen
- Weitere 1000 Zyklen
- ...



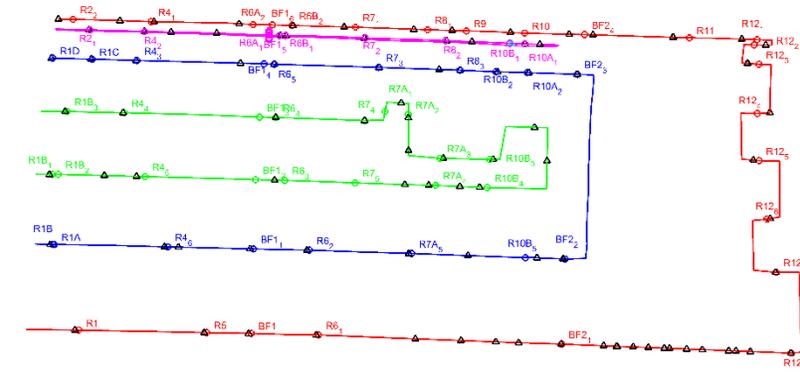
Ergebnis

- Gute Reproduzierbarkeit
- Keine Hysterese

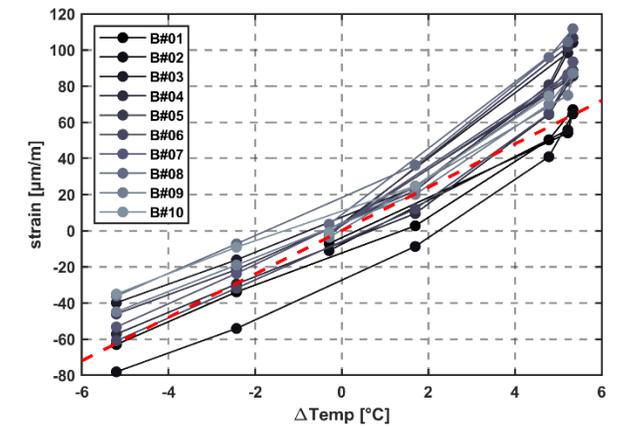
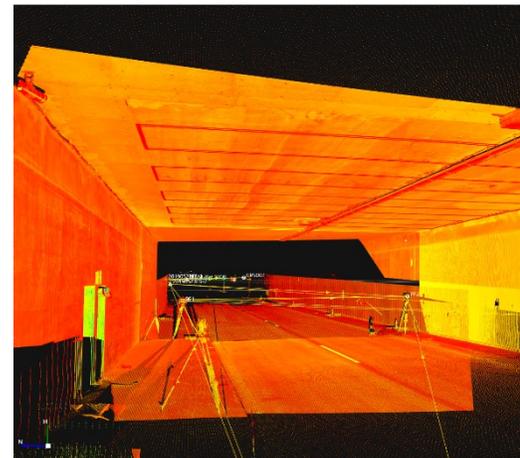


Anwendungen

Tauerntunnel



Plabutschunnel



Mobile Mapping



MMS - Mobiles Mapping System



- Geodätische GNSS Antenne und Empfänger
- Inertialmesseinheit (IMU)
- Odometer
- 6 Kamers
- 2 Laser Scanner: Messrate pro Scanner: 1 Mio. Punkte/Sekunde

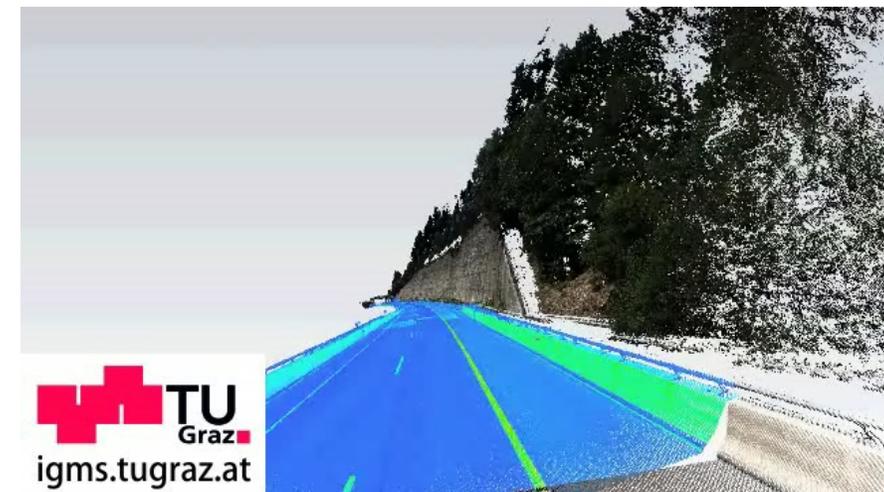
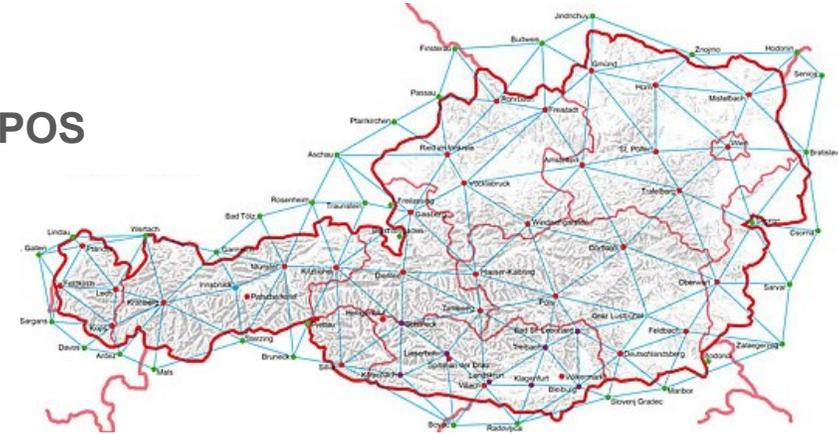
Auswerteprozess

Position und Orientierung des Fahrzeugs

- GNSS Daten des Autos + Stationsdaten von APOS
- Odometer und IMU

Georeferenzierte Punktwolke

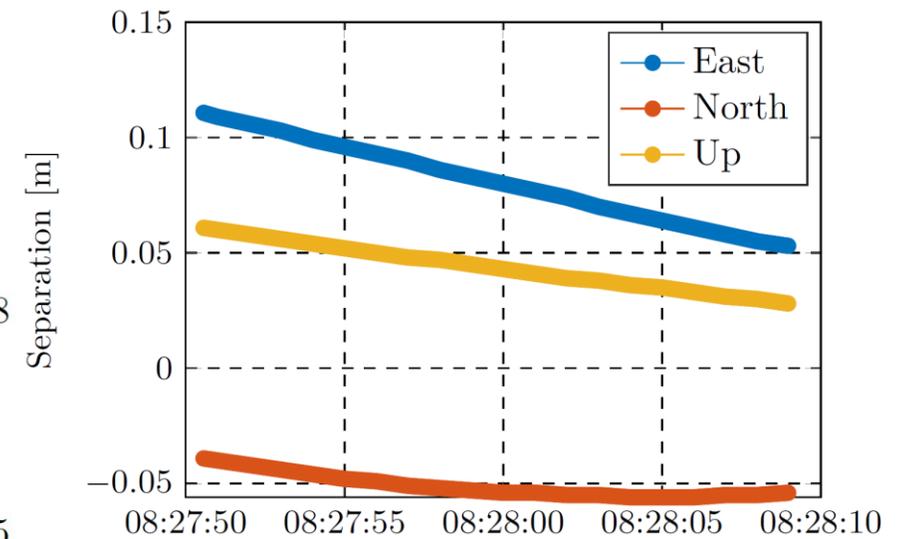
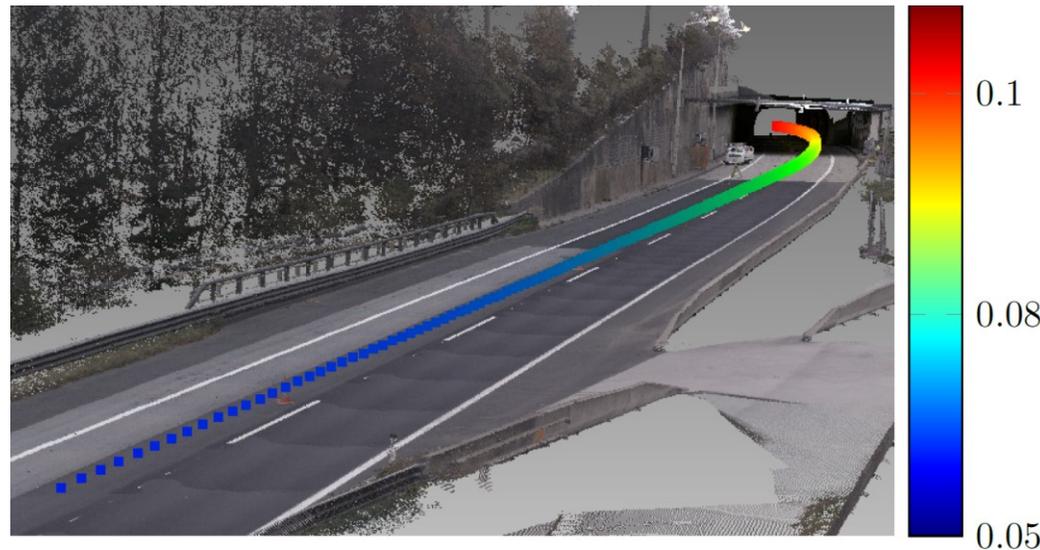
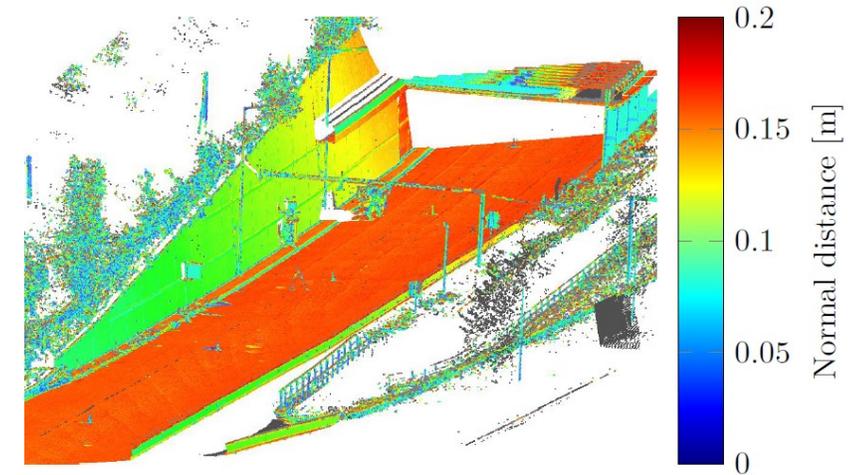
- Fahrzeugtrajektorie + Laserscandaten



Georeferenzierung

Beurteilung der Qualität

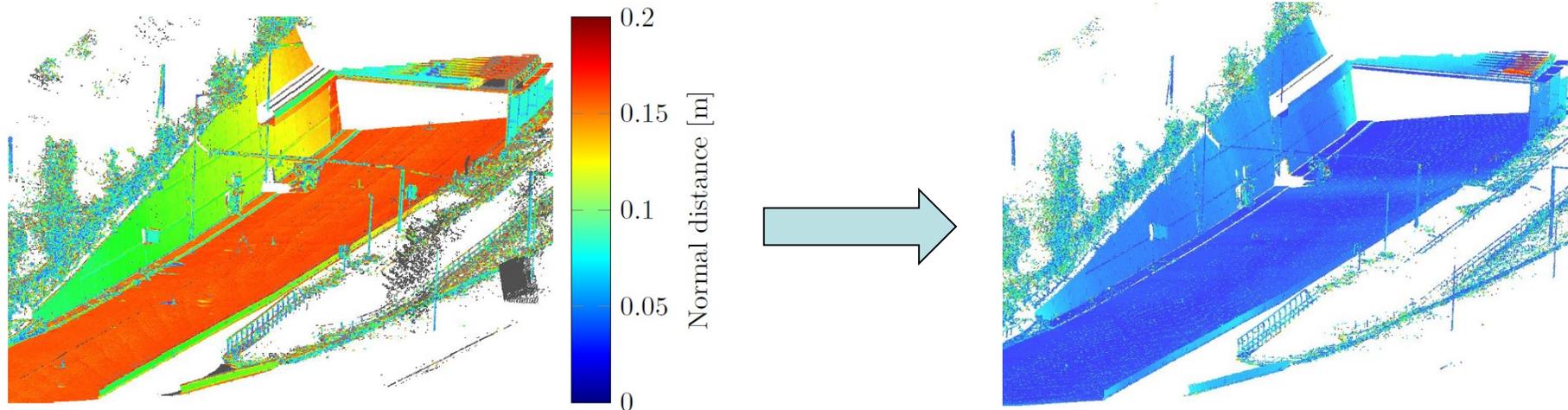
- Differenz zwischen Vorwärts- und Rückwärtsprozessierung
- Passpunkte
- Punktwolkendifferenzen zwischen zwei Fahrten



Georeferenzierung

Minimierung der Differenzen

- Idee: Streifenausgleichung in Airborne-Laserscanning
- Extraktion von Profilen
- Schätzung von Transformationsparametern

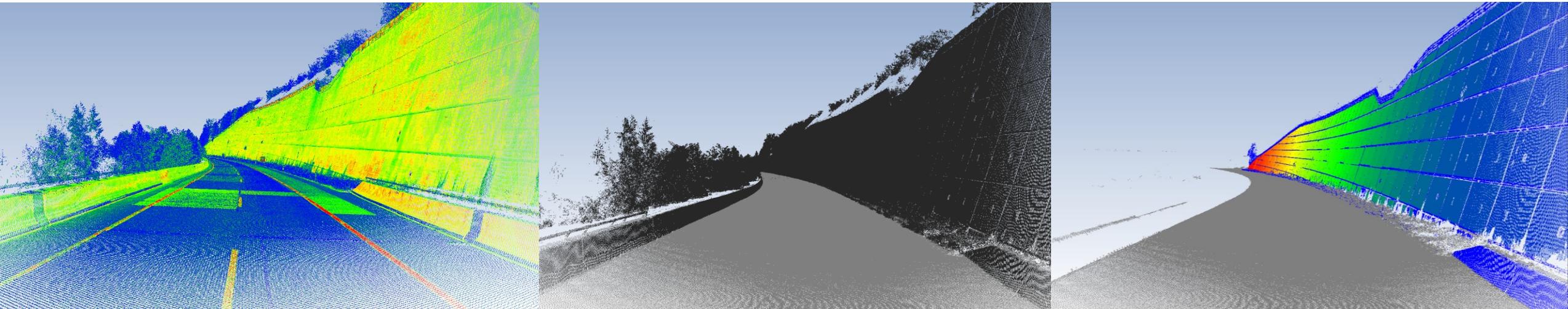


Automatisierbare Punktwolken-Auswertung

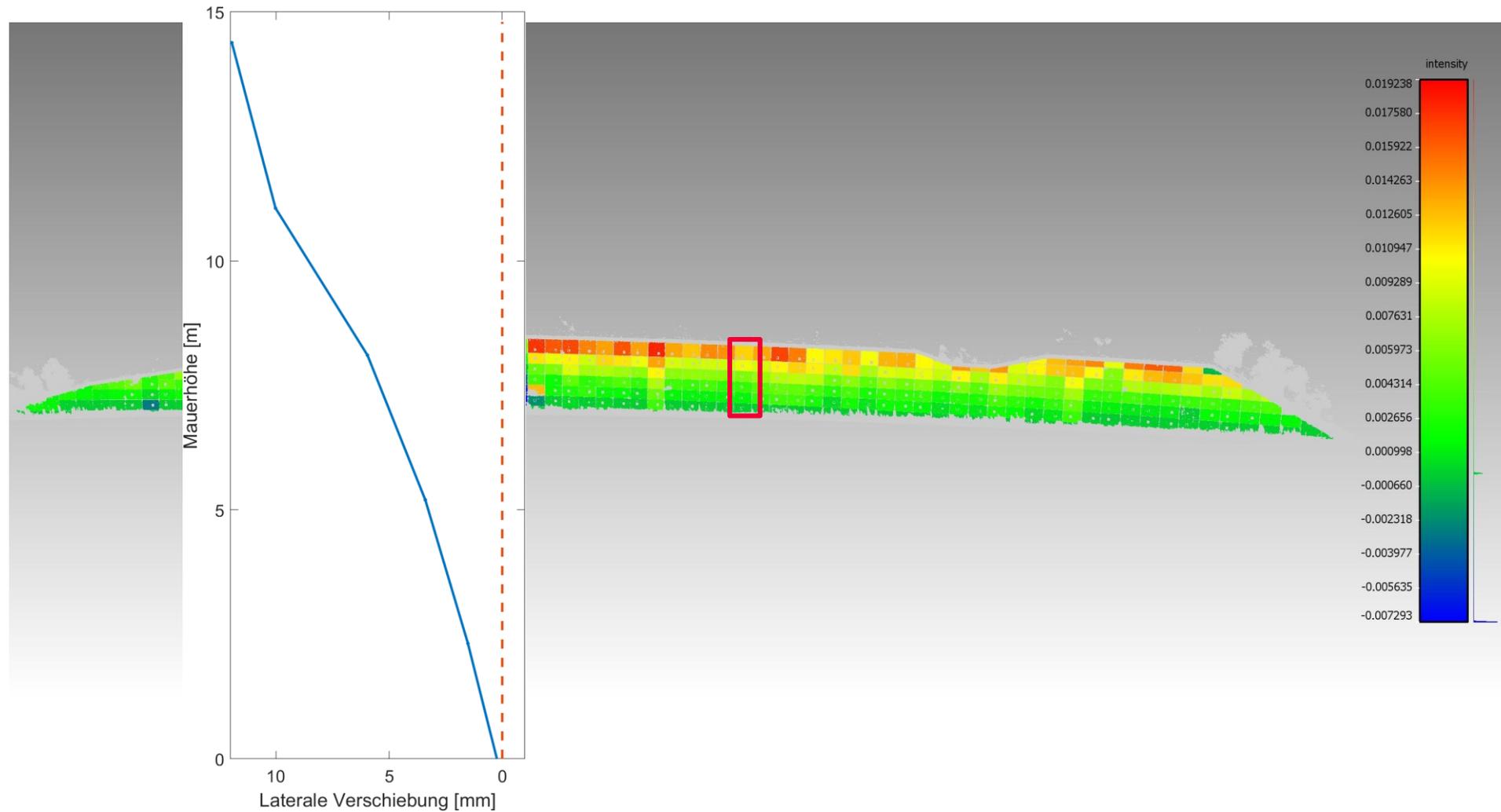
Prozessablauf

- Trennung Bauwerk - Straße
- Entfernung von Bewuchs
- Modellierung von Verformungen

Kalenjuk, S., Lienhart, W., & Rebhan, M. (2021). Processing of mobile laser scanning data for large-scale deformation monitoring of anchored retaining structures along highways. *Computer-aided civil and infrastructure engineering*, 2021(36), 1-17. [Link](#)



Deformationen zwischen den Messkampagnen



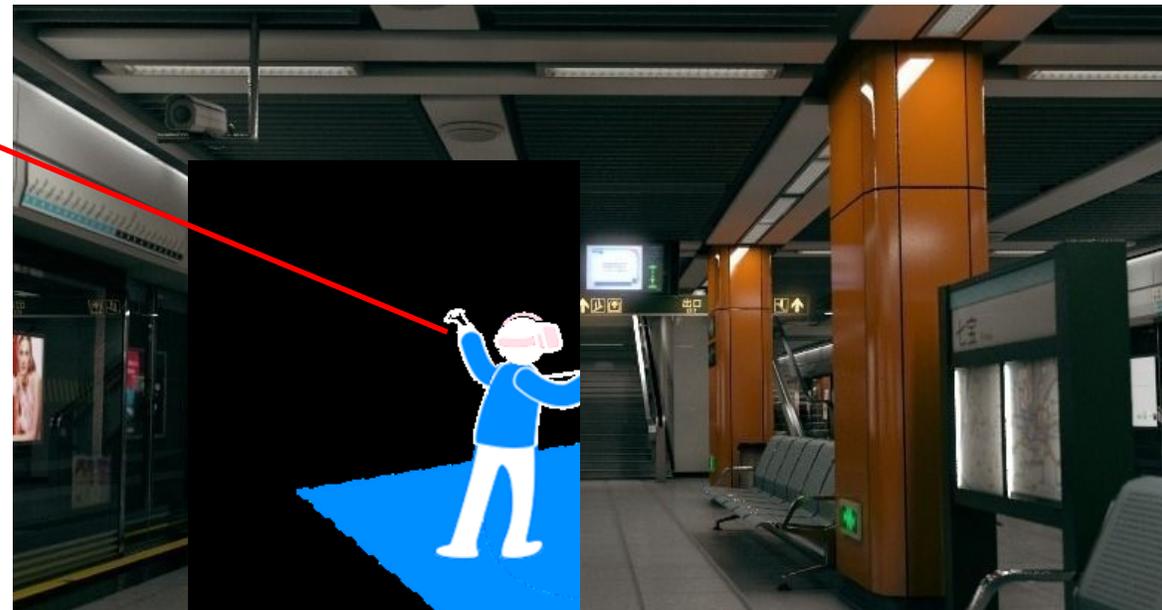
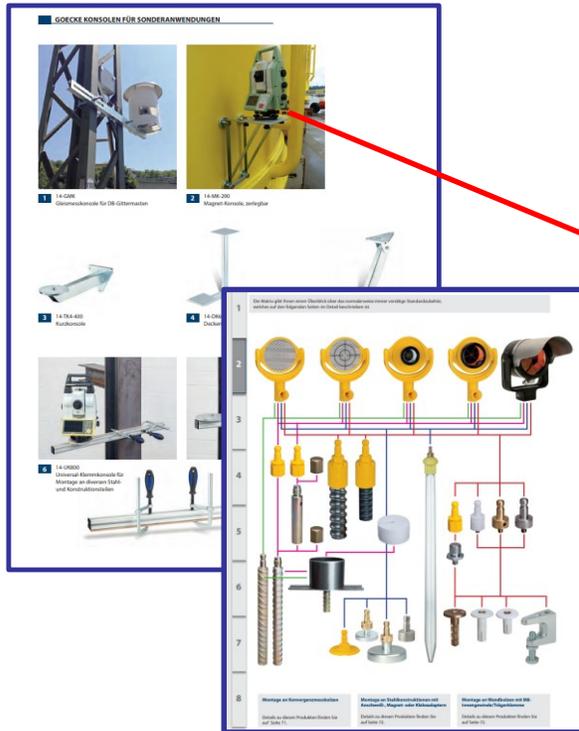
A person wearing a VR headset and holding a controller, standing in a factory setting. The background is blurred, showing industrial equipment and lights.

Digitale Zwillinge & VR

Vision

Messplanung in Virtual Reality (VR)

- Auswahl von Vermessungskomponenten aus Katalog
- Live Platzierung in VR Umgebung

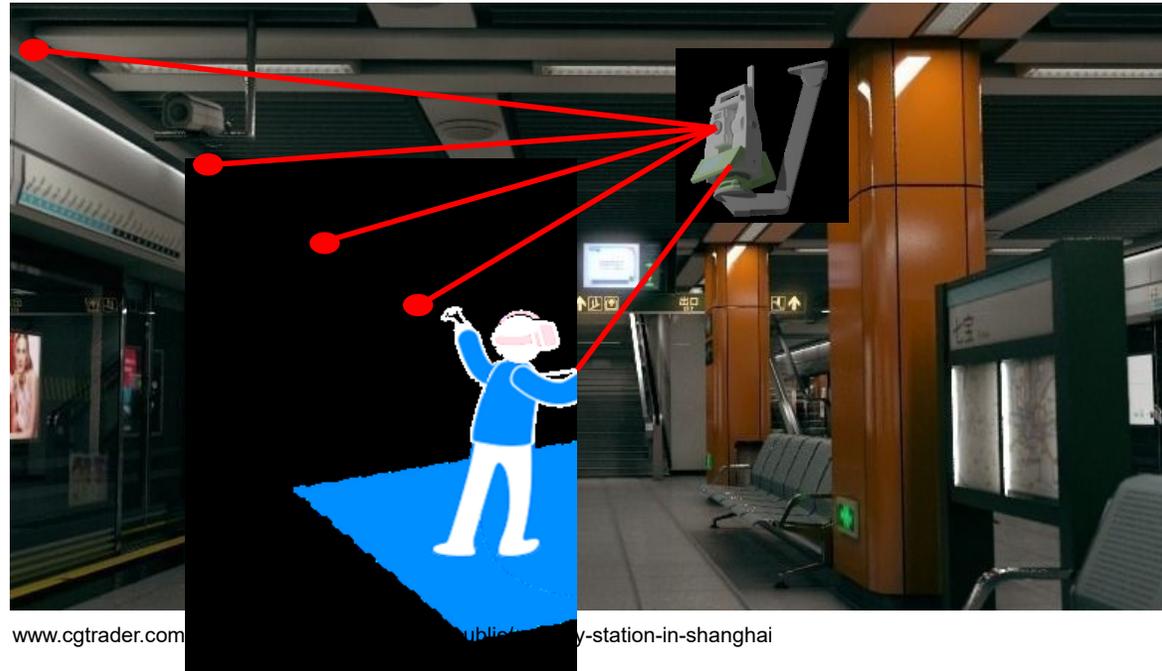


www.cgtrader.com public-domain-3d-models subway-station-in-shanghai

Vision

Messplanung in Virtual Reality (VR)

- Auswahl von Vermessungskomponenten aus Katalog
- Live Platzierung in VR Umgebung



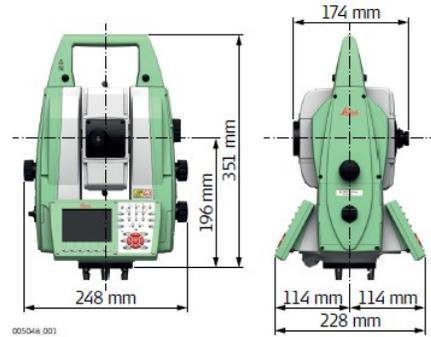
www.cgtrader.com

publicity-station-in-shanghai

Umsetzung in Game Engine

Produktkatalog

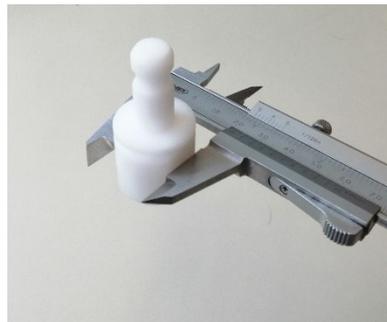
- SketchUp
- Datenblatt
- Abmessen
- ...



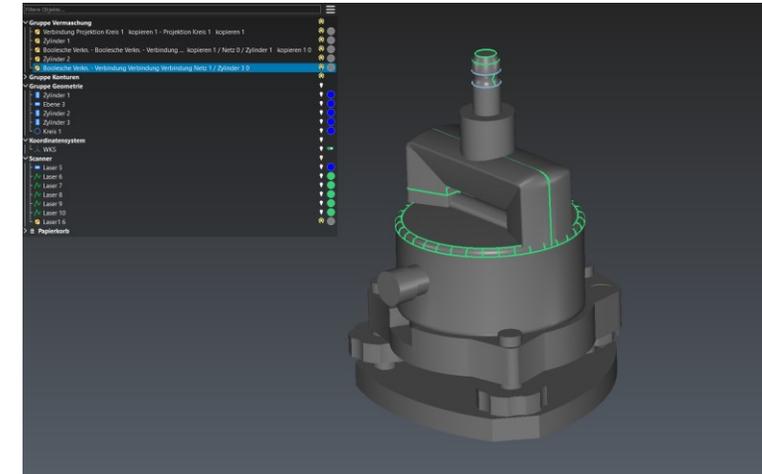
Bemaßungen aus Datenblätter



Modelle von Onlineanbietern (z.B. SketchUp)



Abmessung von realen Objekten

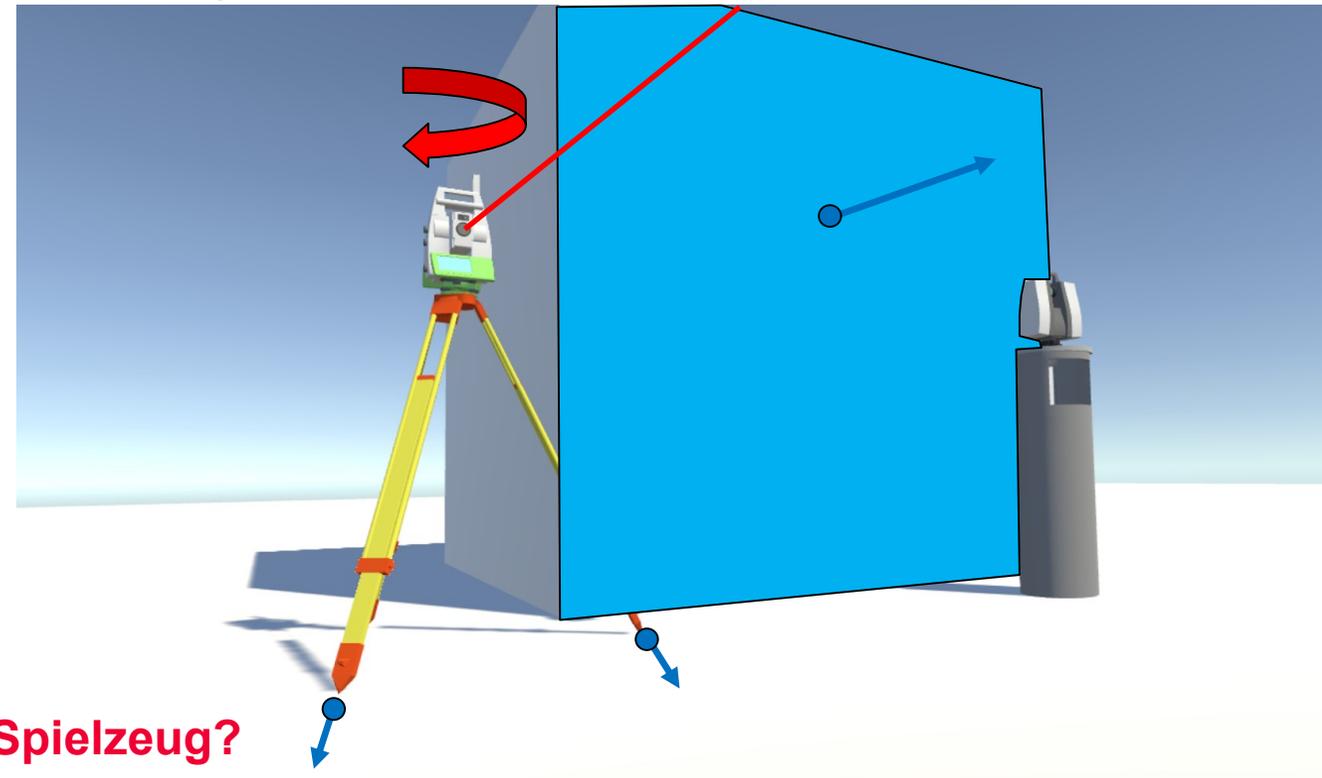
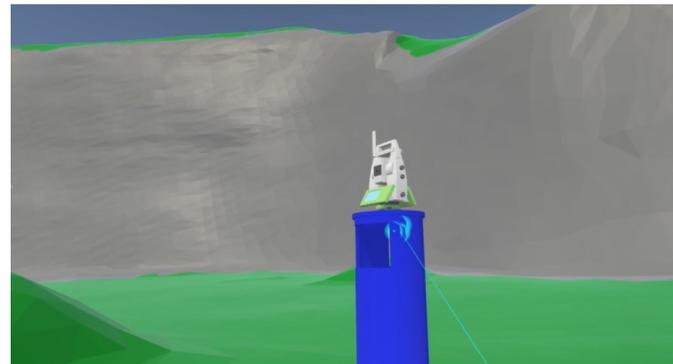
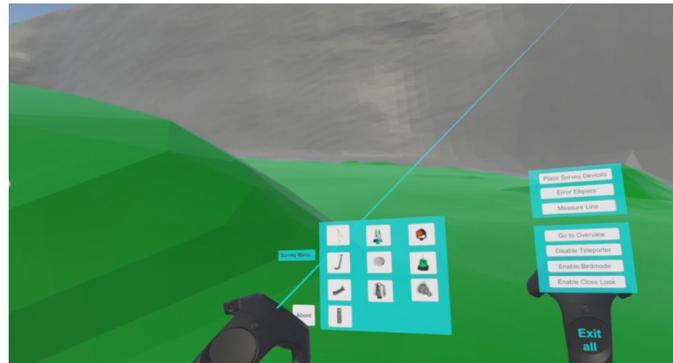


Anpassung/Modellierung in 3D Software

Umsetzung in Game Engine

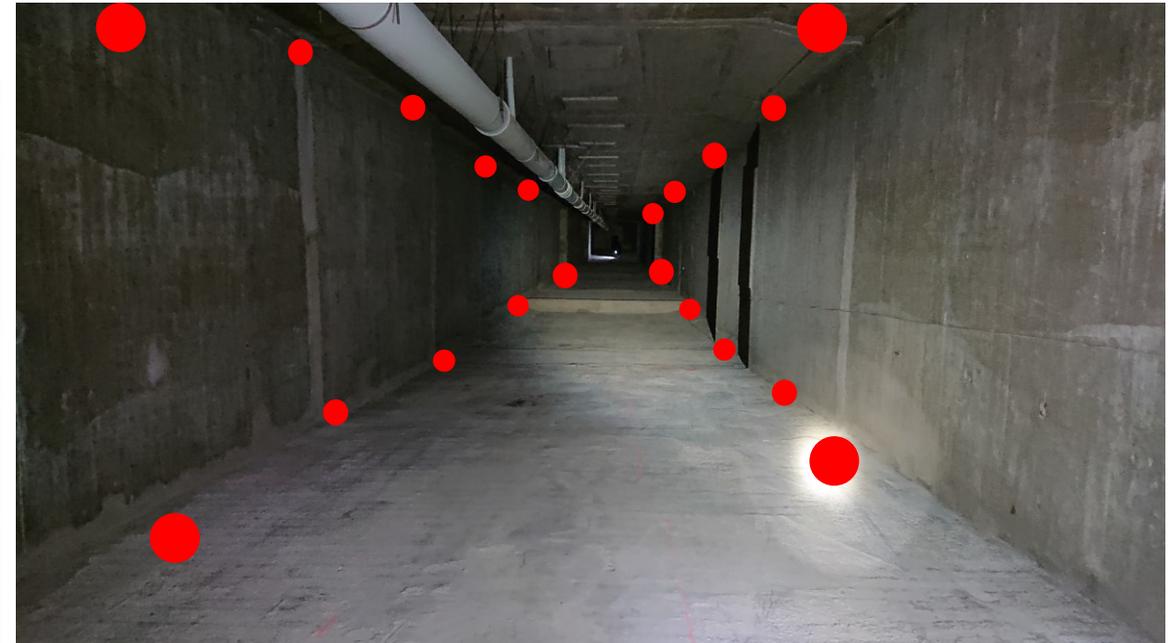
Auswahl und Platzierung von Objekten

- Objektkatalog
- Automatischer Fangmodus und richtige Orientierung



Nur ein Spielzeug?

Automatisierte geodätische Messungen in einem Hohlkasten



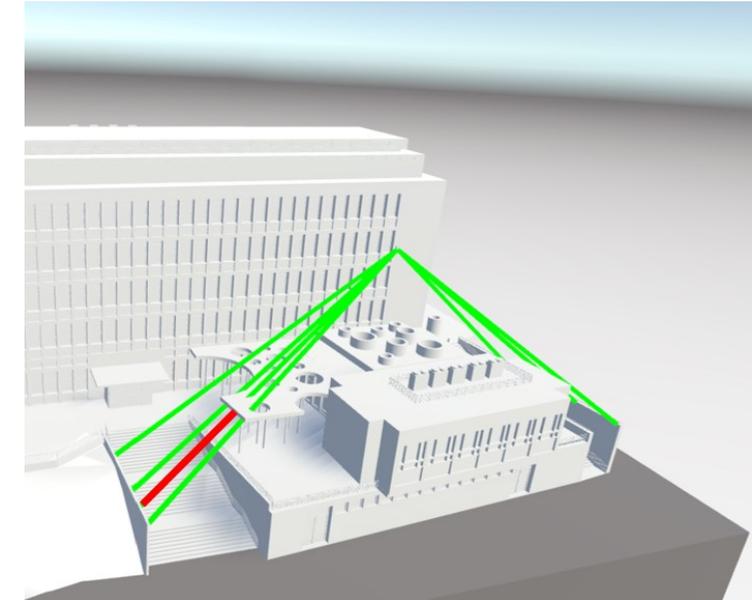
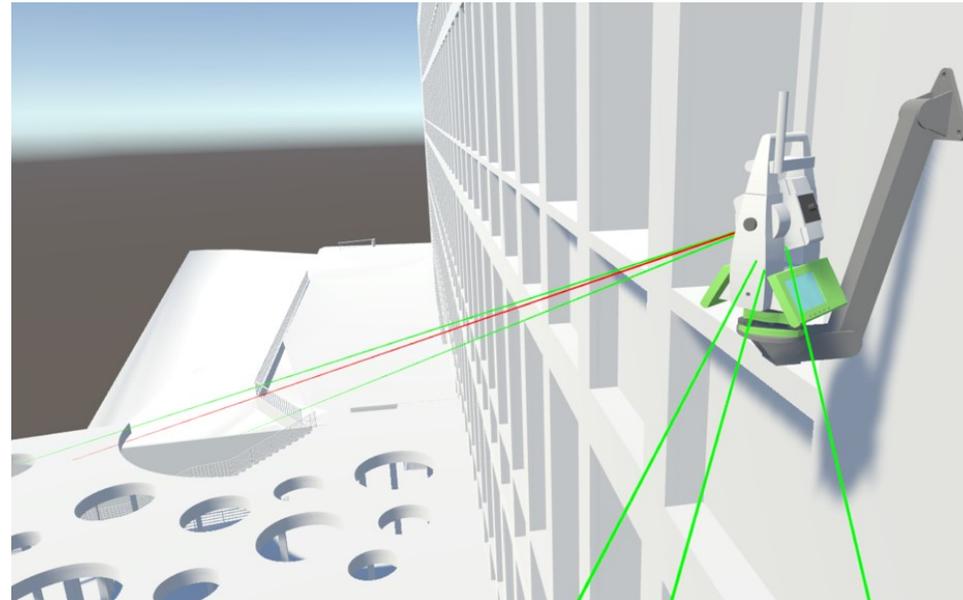
Sind Messungen möglich?

- Kollisionskontrolle der Visuren
- Überlagerung von mehreren Prismen im Blickfeld des Instrumentes

Kontrolle von Sichtverbindungen

Anzeige verdeckter Visuren

- Automatische Kollisionskontrolle



Überprüfung auf Beeinflussung durch mehrere Ziele

Fragestellung

- Wo ist eine Instrumentenaufstellung möglich?
- Was sind geeignete Instrumente?

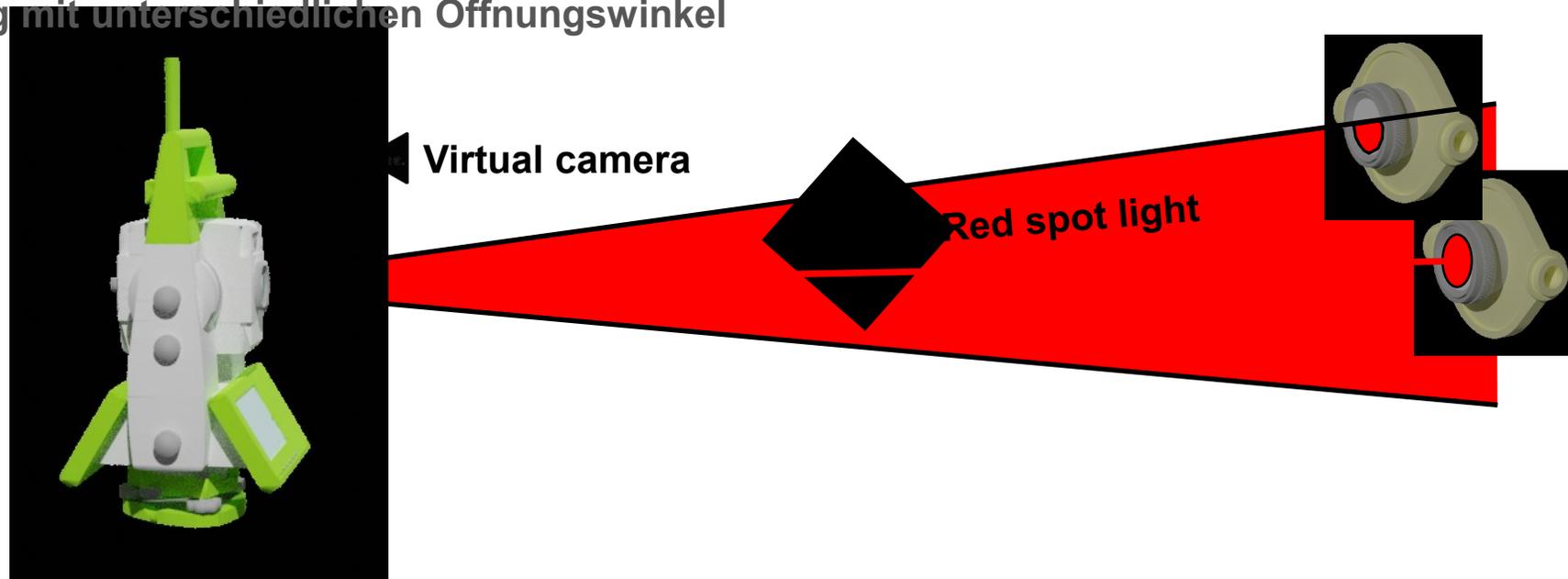


Field of View	Trimble S series	Trimble S series HP	Topcon MS	Leica TS60	Leica TM50
Visuell	1° 30'	1° 30'	1° 30'	1° 30'	1° 30'
Standard Automated Aiming (Autolock, ATR, Auto Aim)	2.1°	2.1°	1° 30'	1° 25'	28'
Automated Narrow Aiming (Finelock)	-	8.4'	-	30'	9'

Überprüfung auf Beeinflussung durch mehrere Ziele

Simulation der automatischen Feinanzielung

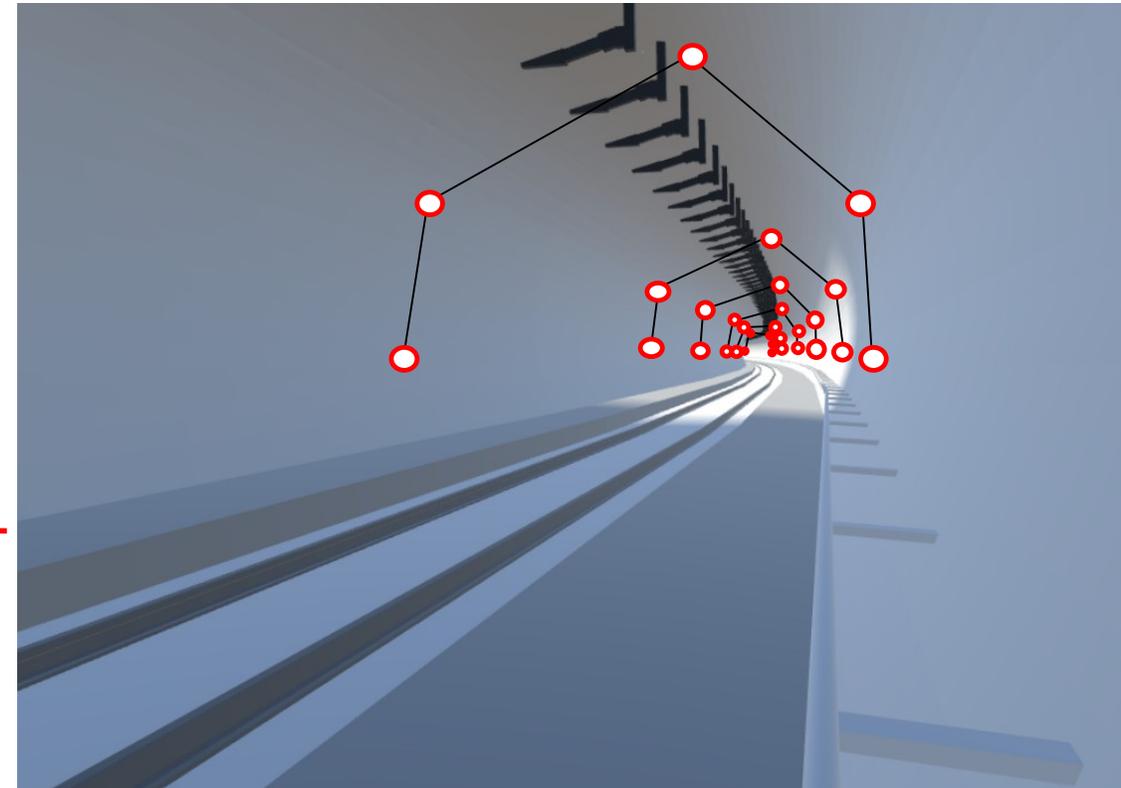
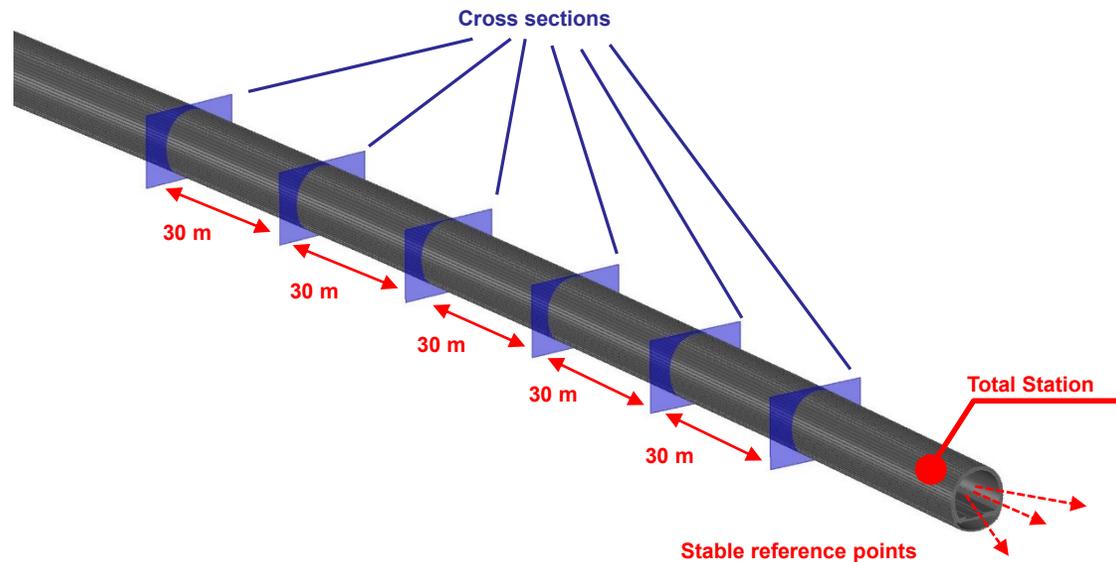
- Nutzung der Light Engine in VR Umgebung
- Umsetzung mit unterschiedlichen Öffnungswinkel



Überprüfung auf Beeinflussung durch mehrere Ziele

Beispiel Eisenbahntunnel

- 6 Messquerschnitte mit jeweils 5 Monitoringzielen



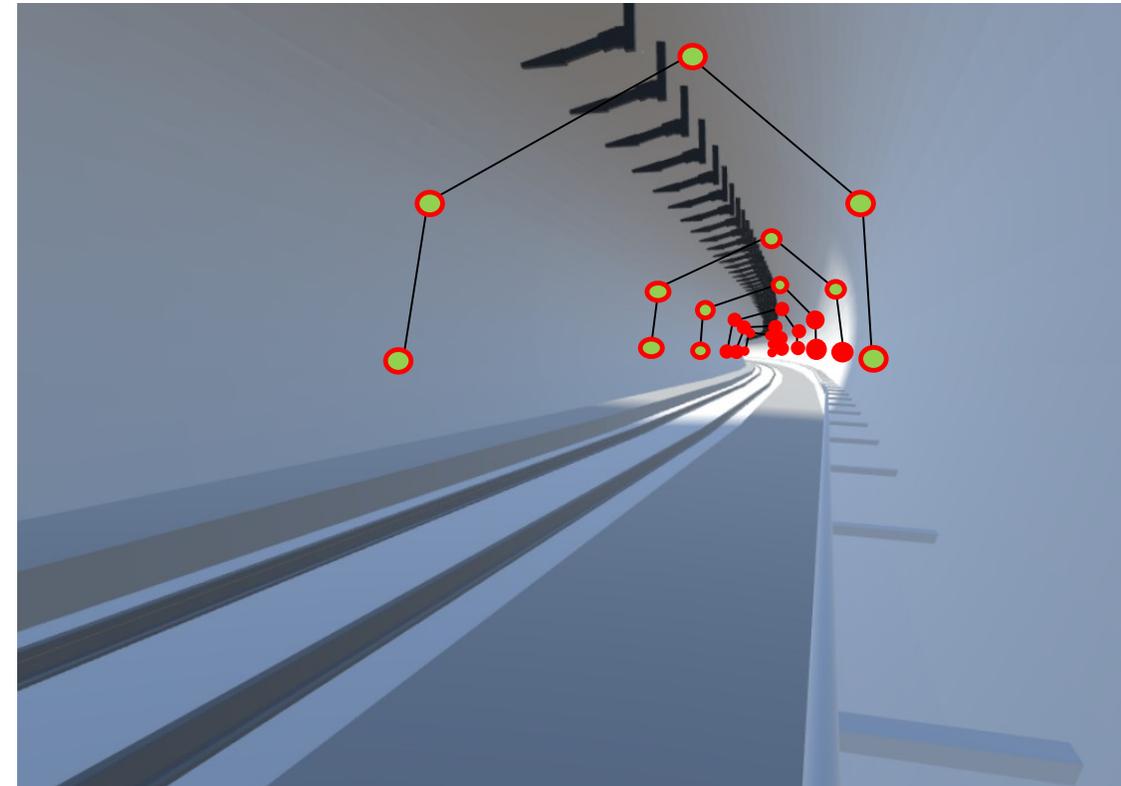
Ansicht von der Position der Totalstation

Überprüfung auf Beeinflussung durch mehrere Ziele

Beispiel Eisenbahntunnel

- Blickfeld 1.5°

Sections at	Prism 1	Prism 2	Prism 3	Prism 4	Prism 5
40 m	1.5°	1.5°	1.5°	1.5°	1.5°
70 m	1.5°	1.5°	1.5°	1.5°	
100 m	1.5°	1.5°	1.5°		
130 m					
160 m					
190 m					

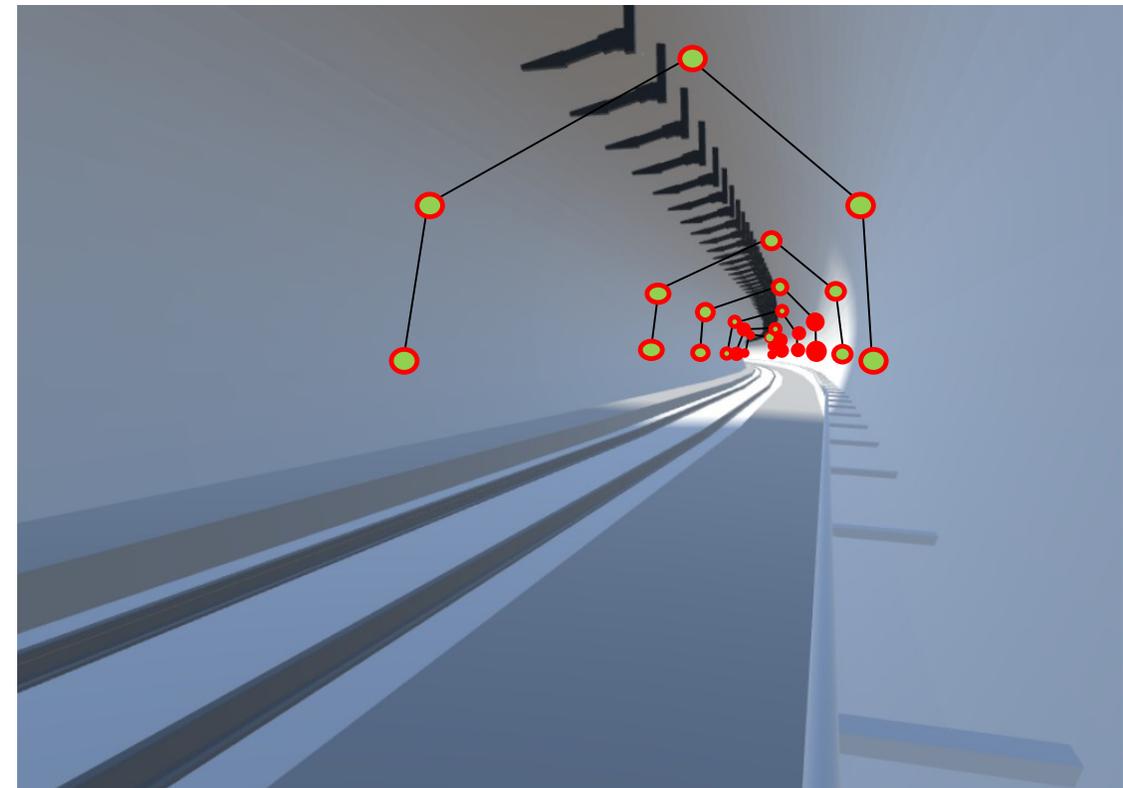


Überprüfung auf Beeinflussung durch mehrere Ziele

Beispiel Eisenbahntunnel

- Blickfeld 28'

Sections at	Prism 1	Prism 2	Prism 3	Prism 4	Prism 5
40 m	28'	28'	28'	28'	28'
70 m	28'	28'	28'	28'	28'
100 m	28'	28'	28'	28'	
130 m	28'	28'	28'	28'	
160 m			28'		
190 m			28'		

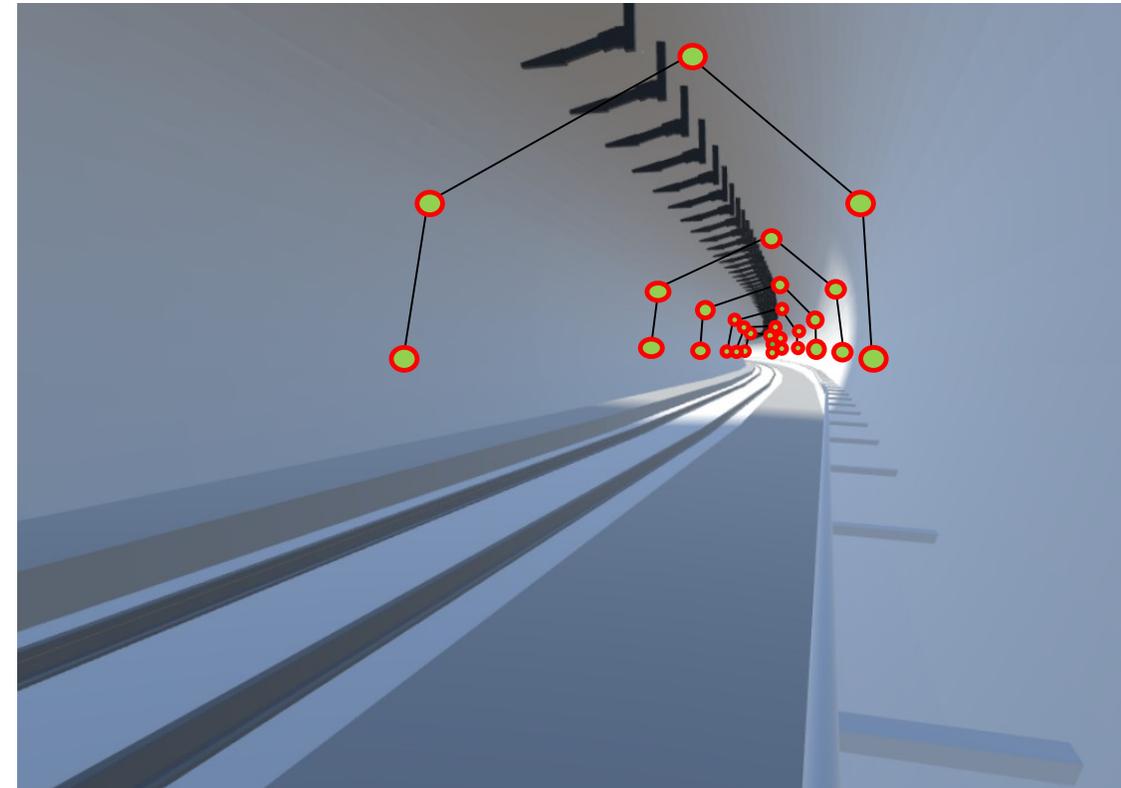


Quality investigation of the measurement setup

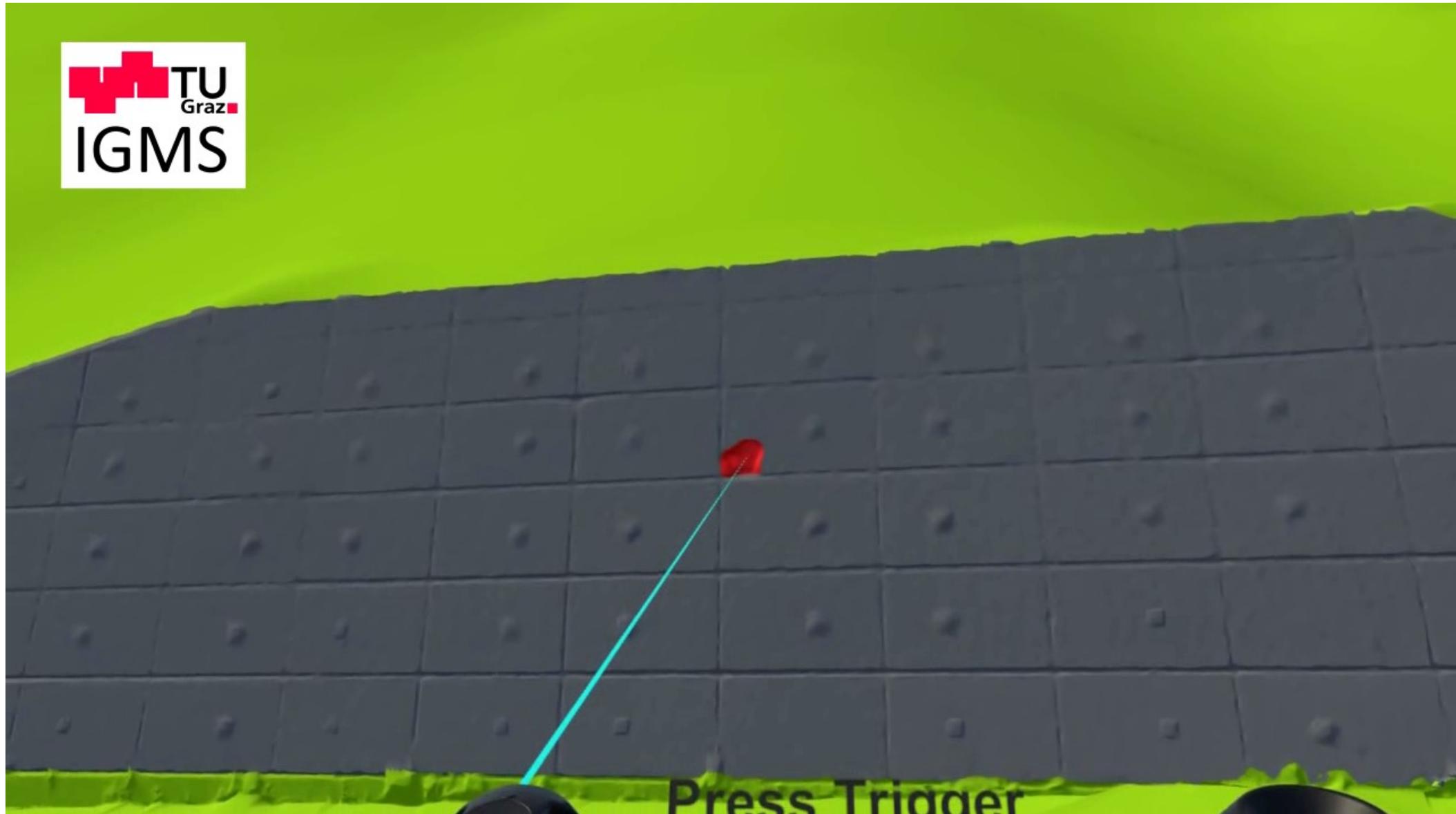
Beispiel Eisenbahntunnel

- Blickfeld 9'

Sections at	Prism 1	Prism 2	Prism 3	Prism 4	Prism 5
40 m	9'	9'	9'	9'	9'
70 m	9'	9'	9'	9'	9'
100 m	9'	9'	9'	9'	9'
130 m	9'	9'	9'	9'	9'
160 m	9'	9'	9'	9'	9'
190 m	9'	9'	9'	9'	9'

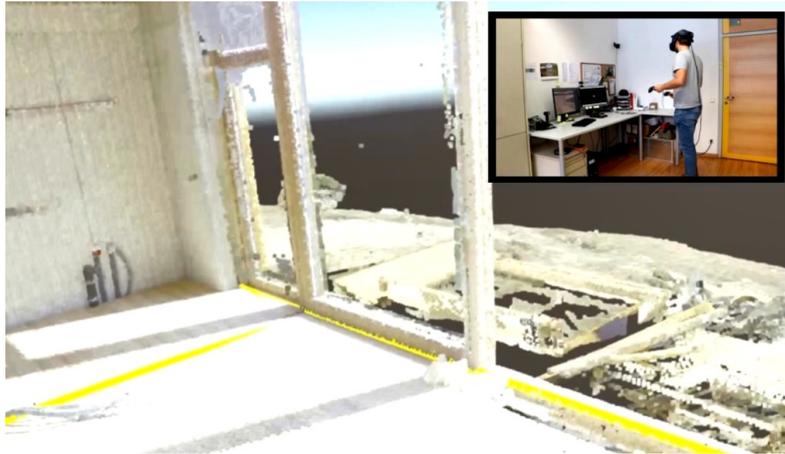


Anzeigen von Fehlstellen und Zusatzinformation



Interaktion in Digitalen Zwillingen

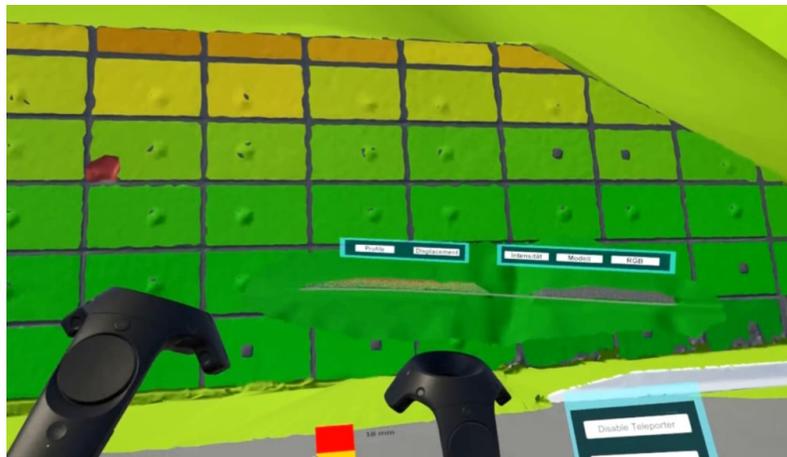
Visualisierung von Sensoren



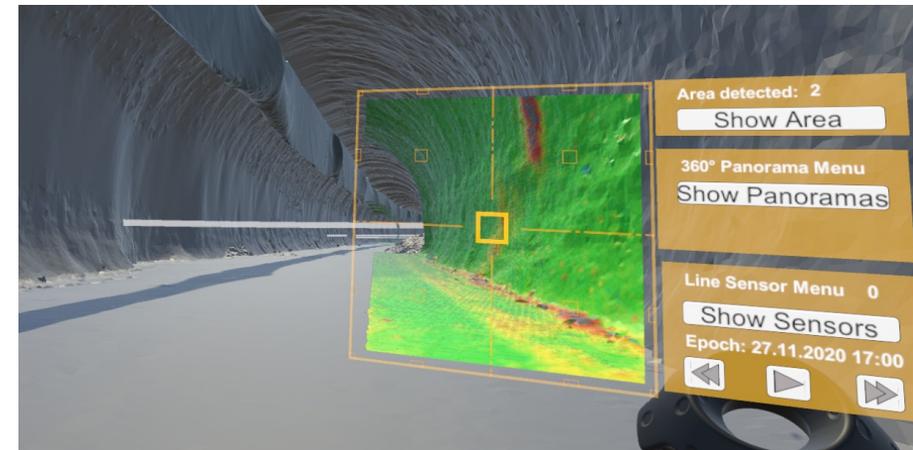
Visualisierung von Zusatzinformation



Flächenhafte Darstellung von Deformationen



Abfrage von Messwerten



Zusammenfassung

Aktuelle Trends

- Können zielgerichtet in der Tragwerksbeurteilung eingesetzt werden

AR & VR

- Unterstützung bei der Inspektion und Interpretation

KI & MI

- Automatisierte Detektion und Klassifikation von Schäden, z.B. Rissen aus Bildern

IoT Sensoren, UAV, MMS

- Ermöglichen die automatisierte und großflächige Datenaufnahme





Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!

werner.lienhart@tugraz.at