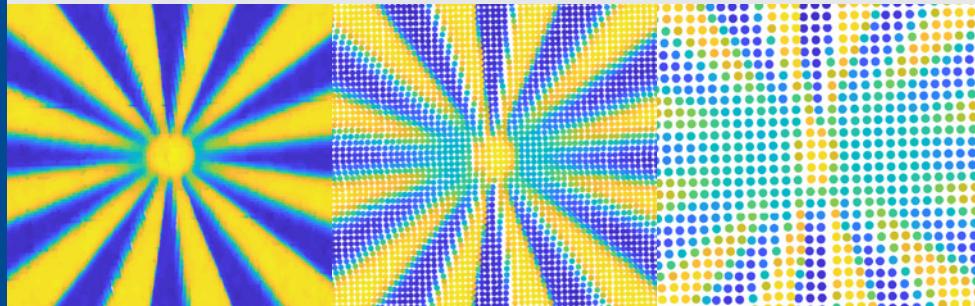


Arbeitskreis 4 „Ingenieurgeodäsie“  
Arbeitskreis 3 „Messmethoden und Systeme“

## Terrestrisches Laserscanning 2020 (TLS 2020)

Beiträge zum 194. DVW-Seminar am  
4. Dezember 2020

Online-  
seminar



Schriftenreihe des DVW  
Band 98/2021

Wissen



Arbeitskreis 4 „Ingenieurgeodäsie“  
Arbeitskreis 3 „Messmethoden und Systeme“

## Terrestrisches Laserscanning 2020 (TLS 2020)

Beiträge zum 194. DVW-Seminar am  
4. Dezember 2020 – Onlineseminar

Redaktion:  
Christoph Holst

Herausgeber:  
DVW e.V. – Gesellschaft für Geodäsie,  
Geoinformation und Landmanagement



Schriftenreihe des DVW  
Band 98  
Wißner-Verlag

Herausgeber:  
DVW e. V. – Gesellschaft für Geodäsie,  
Geoinformation und Landmanagement

[www.dvw.de](http://www.dvw.de)  
INTERGEO®

Schriftenreihe des DVW  
Band 98

**Tipps zur Navigation in der PDF-Datei:**

Die PDF enthält zur Navigation Lesezeichen und Hyperlinks.  
Der Mausklick auf ein Lesezeichen führt zur ersten Seite des angewählten Beitrags.  
Der Mausklick auf einen dunkelblau markierten Abbildungs- oder Tabellenverweis im Text führt zur verknüpften Abbildung oder Tabelle. Zurück zur ursprünglichen Stelle im Text gelangt man mit dem Klick auf den dunkelblau markierten Verweis in der Abbildungsunterschrift oder Tabellenüberschrift.  
Internetadressen und E-Mail-Adressen sind ebenfalls mit Hyperlinks hinterlegt.  
Kostenfreier PDF-Download unter [www.geodesie.info](http://www.geodesie.info).

**Zitierhinweis:**

[Nachname, Vorname]: [Titel des Beitrags]. In: DVW e.V. (Hrsg.):  
Terrestrisches Laserscanning 2020 (TLS 2020). DVW-Schriftenreihe,  
Band 98, Augsburg, 2021, S. x–y.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:  
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der  
Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind  
im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar.

ISBN: 978-3-95786-286-0  
ISSN 0940-4260

© Wißner-Verlag, Augsburg 2021  
[www.geodesie.info](http://www.geodesie.info)

Herstellung: Wißner-Verlag, Augsburg  
Bildnachweis Cover: Berit Schmitz, Universität Bonn

Das Werk und seine Teile sind urheberrechtlich geschützt. Jede  
Verwertung in anderen als den gesetzlich zugelassenen Fällen  
bedarf deshalb der vorherigen schriftlichen Einwilligung des Verlags.

# Inhalt

Vorwort	5
---------	---

## Session 1: Aktuelles

Ulrich Völter	
Laserscanning bei Ingenieurprojekten	9
Kay Weltzien	
Trimble X7 – neue Perspektive vs. neue Herausforderung	35
Berit Schmitz   Daniel Coopmann   Heiner Kuhlmann   Christoph Holst	
Welche Objektdetails „sieht“ mein Laserscanner?	49

## Session 2: Punktwolken: Auswertung und Darstellung

Rico Richter	
3D-Punktwolken in der Praxis – Auswertung durch Künstliche Intelligenz	65
Peter Bauer   Werner Lienhart	
Virtual Reality in der Geodäsie – Ein neuer Blickwinkel auf geodätische	
Messdaten	91
Thomas P. Kersten	
Visualisierung von 3D-Punktwolken als immersives Erlebnis in	
Virtual Reality	113

### **Session 3: Monitoring in der Praxis**

C. Hesse   N. Krause   M. Frenz   I. Neumann   F. Hake   J.-A. Paffenholz	
Monitoring von Brücken (mit Laserscannern)	139
Florian Schill   Andreas Eichhorn	
Monitoring mit Profilscannern	157
Nikolaus Studnicka   Daniel Schröder	
Der permanente Einsatz von Long Range Laser Scannern im Monitoring – Speziallösungen mittels offener Python-Schnittstellen	179

### **Session 4: Mobile Mapping**

Lasse Klingbeil   Isabel Gelfort   Heiner Kuhlmann	
Mobile Mapping: Technologien und Marktübersicht	195
Brigitte Husen	
Zum Einsatz von Punktwolken in der Straßenbauvermessung	215
Gunnar Gräfe	
Prüfverfahren für die Qualität von Mobile Mapping Scannerdaten	229

## Vorwort

Das terrestrische Laserscanning (TLS) ist inzwischen ein voll etabliertes Messverfahren. Es besitzt ein enormes Leistungsspektrum und eröffnet vielfältige Anwendungsmöglichkeiten sowohl innerhalb der klassischen Berufsfelder der Geodäsie als auch in angrenzenden Bereichen. Nach den großen Erfolgen der vergangenen Jahre bietet der DVW auch in 2020 eine Weiterbildungsveranstaltung zum Thema „Terrestrisches Laserscanning“ an.

Wie in den Vorjahren ist die Veranstaltung in aktuelle Themenfelder unterteilt. Die Sessionen sind gegliedert in Aktuelles, Punktwolkenauswertung und -darstellung, Monitoring in der Praxis und Mobile Mapping.

Es ist auch dieses Jahr wieder gelungen, aktuelle Trends aufzunehmen sowie kompetente Vortragende für die einzelnen Themen zu gewinnen.

Zielgruppe sind Kolleginnen und Kollegen in der Praxis, Forschung oder Ausbildung aus den Bereichen der Geodäsie, der Geoinformation und aus Nachbardisziplinen, die sich über dieses hochaktuelle Teilgebiet der elektrooptischen Messtechnik umfassend und unabhängig von Anbietern informieren wollen.

Die DVW-Arbeitskreise 4 „Ingenieurgeodäsie“ und 3 „Messmethoden und Systeme“ freuen sich darauf, mit Ihnen Anregungen und Gedanken zu diesem weiterhin zukunftsorientierten, innovativen Thema auszutauschen.

Christoph Holst und Heiner Kuhlmann,  
Universität Bonn

### Nachtrag:

Aufgrund der COVID-19-Pandemie konnte das Seminar im Dezember 2020 nicht als Präsenzveranstaltung durchgeführt werden, sondern hat vollständig online stattgefunden. Es setzte sich zusammen aus vorab aufgezeichneten Videos der einzelnen Vorträge sowie Interaktionsmöglichkeiten mit den Vortragenden und Live-Diskussionen am Veranstaltungstag.

Somit gibt auch dieser Band nicht wie gewohnt die einzelnen Vorträge in Textform wieder, sondern bildet lediglich die digitalen Vortragsunterlagen ab.



## Session 1: Aktuelles



# Laserscanning bei Ingenieurprojekten

Ulrich Völter



194. DVW-Seminar  
Terrestrisches Laserscanning 2020  
Online / Freitag 04.12.2020

## Laserscanning bei Ingenieurprojekten

Ulrich Völter  
intermetric GmbH

Ulrich Völter - intermetric GmbH

### DAS BAUWERK – DIE REZENSION

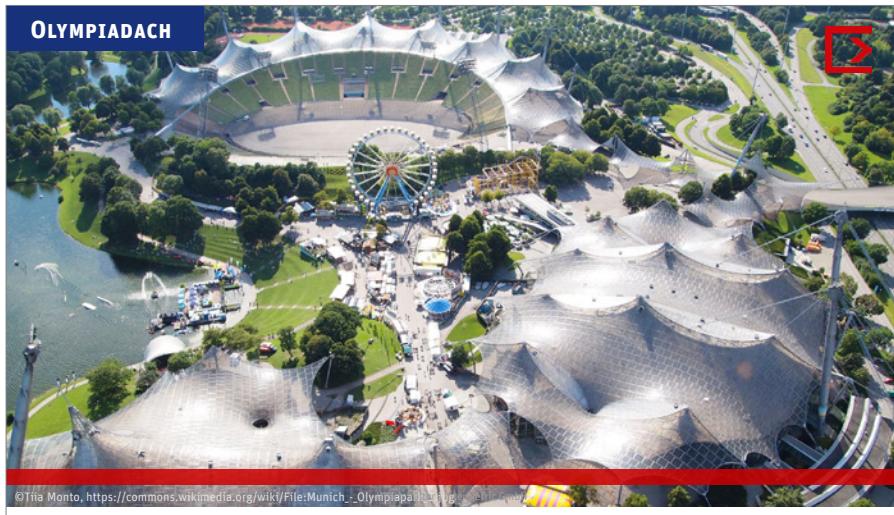


*Es gehört zu dem Besten, was Architekten je geschaffen haben*  
Alfred Dürr, Süddeutsche Zeitung, 2013

*Anmutige Vertiefungen, kühne Kurven und die aufregendsten Perspektiven*  
David Binder, New York Times, 1972

*Der wichtigste Beitrag Deutschlands zur Weltbaukultur des 20. Jahrhunderts*  
Gottfried Knapp, Süddeutsche Zeitung

Ulrich Völter - intermetric GmbH



GEOPÄSTE SPART ZEIT UND GELD



nung. Das IAGB übernahm das Plotten der Rechenergebnisse und mit uns die Zuschnittsbearbeitung (Abschnitt 3.3.3). So kam es, daß die Sporthalle als kompliziertestes Dach (vgl. Abschnitt 3.1.2) im Terminkranz vorne lag.

Später wurde von Prof. K. Linkwitz und H. J. Schek ein mathematisches Verfahren entwickelt [8], das die Modelldaten unmittelbar ausgleicht und die dem Modell benachbarte Gleichgewichtsfigur berechnet. Es wurde auf die Netzf lächen des Stadi ons und auf



## KLAUS LINKWITZ

2018

Stadtwerke München



Hält das Dach noch?

Wie lange?



Ulrich Völter - Intermetric GmbH

PROJEKT

- Stadtwerke München
- Planungsgesellschaft Olympiazeltdach München aus Schlaich Bergermann und Partner & Dr. Feix Ingenieure

**swm**

**sbp | FEIX ING.**  
Planungsgesellschaft Olympiazeltdach München

### Eingehende Bestandsuntersuchung und Erstellung eines 3D-Rechenmodells der Zeltdächer

- intermetric GmbH  
**Räumliche Vermessung der Tragkonstruktion sowie der Plexiglasscheiben**
- Ingenieurbüro Wolf  
**UAV-Vermessungen**

**intermetric**  
Das richtige Maß

Geoinformation  
3D-Dokumentation  
Workshops  
Ingenieurbüro  
Wolf

Ulrich Völter - intermetric GmbH

**AUFGABE**

- **Vermessen der Zeltdächer**
- **3D-Modell erstellen für die statische Berechnung**
  - die Netze
  - die Girlandenseile
  - die Randseile
  - die Litzenbündel
  - die Abspannpunkte
  - die Masten
  - die Plexiglasplatten



Ulrich Völter - intermetric GmbH

**MESSUNGEN – RAUMBEZUG**

- **34 Festpunkte**

Geodätisches Datum  
ETRS89 (EPSG 6258)

Koordinatensystem  
UTM32 (EPSG 4647)

Höhensystem  
DHHN2016 (NHN, EPSG 7837)



Ulrich Völter - intermetric GmbH

## MESSUNGEN – RAUMBEZUG

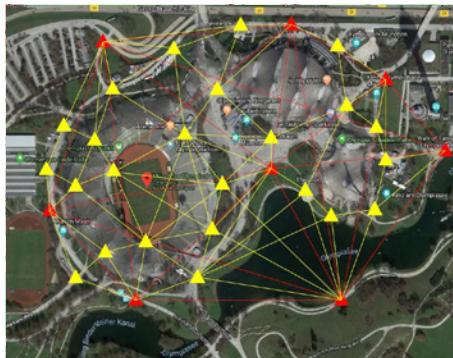


- **34 Festpunkte**

Geodätisches Datum  
ETRS89 (EPSG 6258)

Koordinatensystem  
UTM32 (EPSG 4647)

Höhensystem  
DHNN2016 (NHN, EPSG 7837)

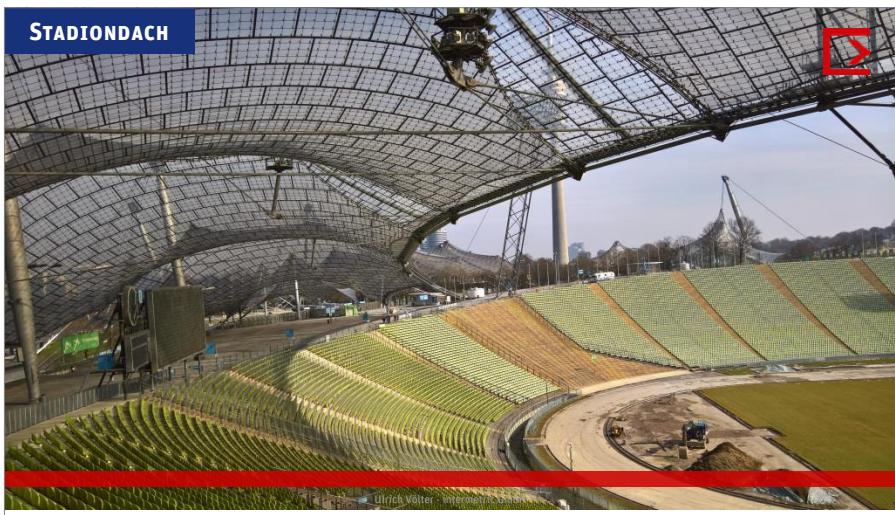
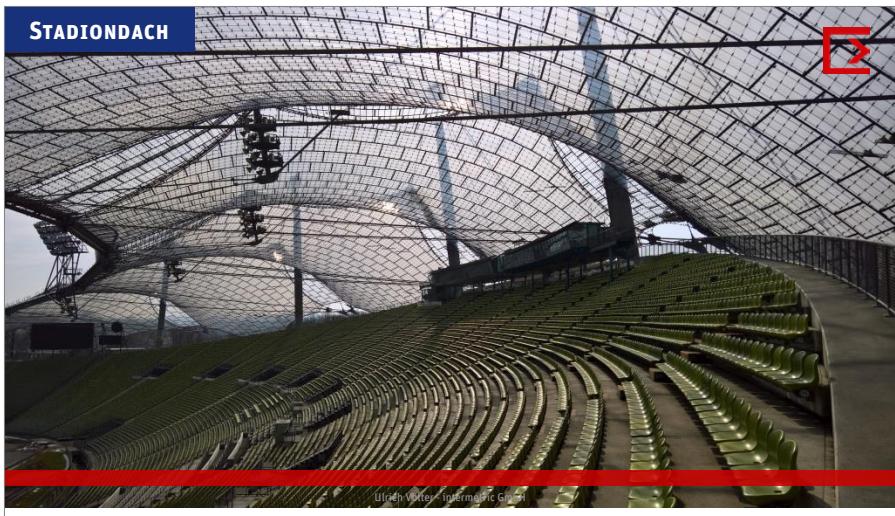


Ulrich Völter - Intermetric GmbH

## MESSUNGEN – ERFASSEN DER SEILNETZE



Ulrich Völter - Intermetric GmbH

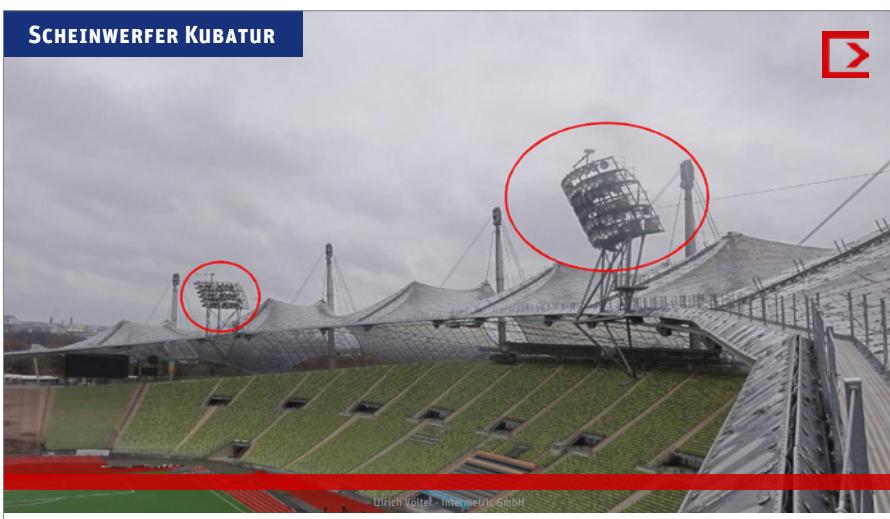


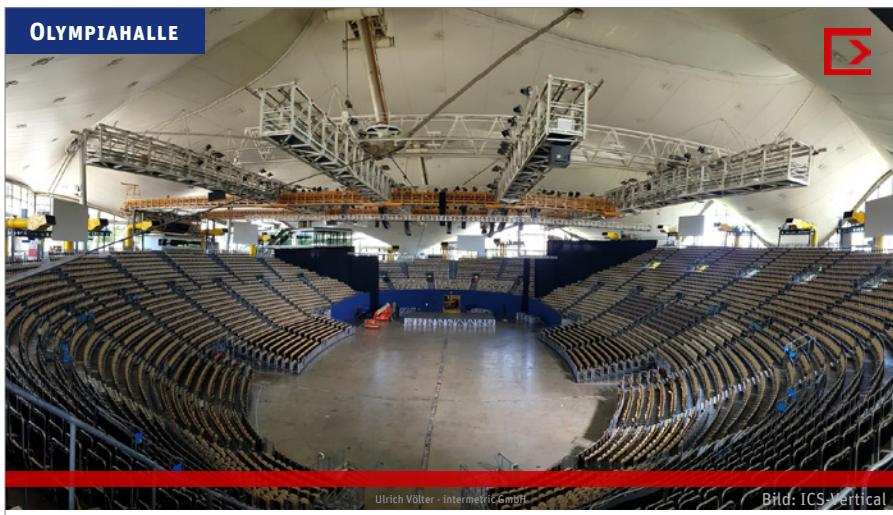


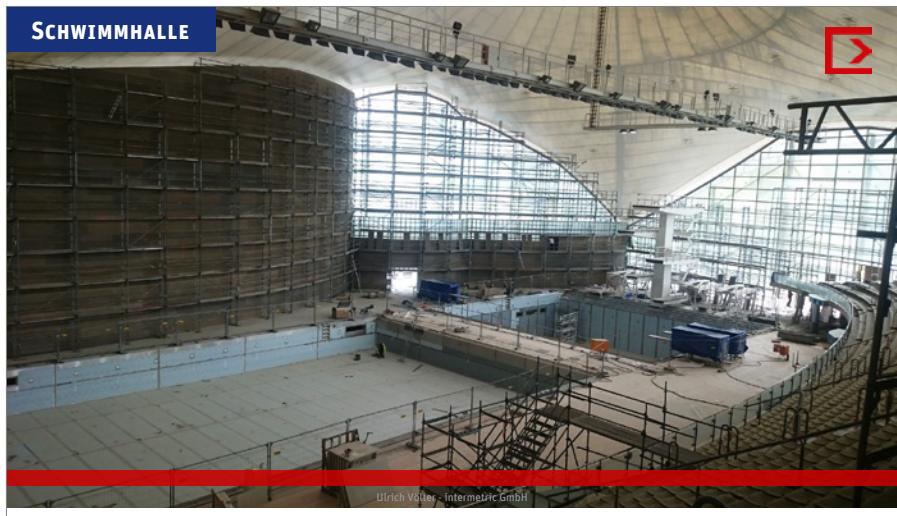
**NUR DIE ACHSEN DER MASTEN**



**SCHEINWERFER KUBATUR**

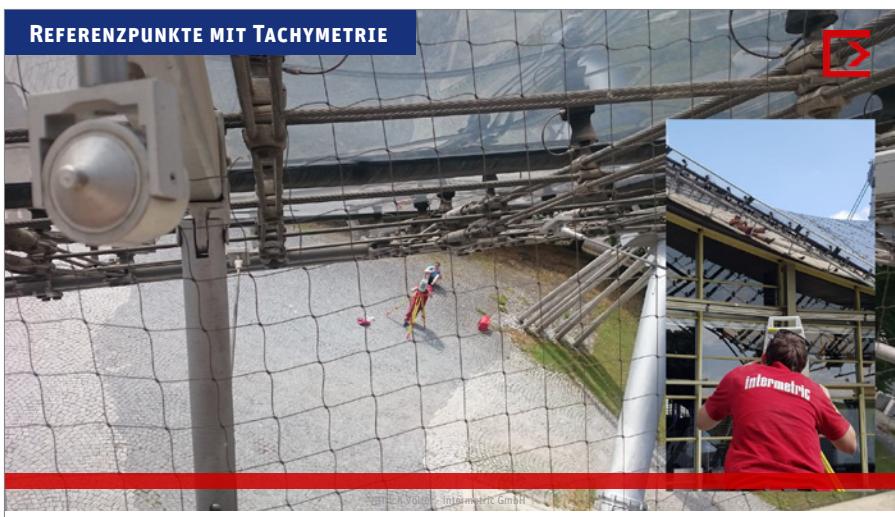








## REFERENZPUNKTE MIT TACHYMETRIE

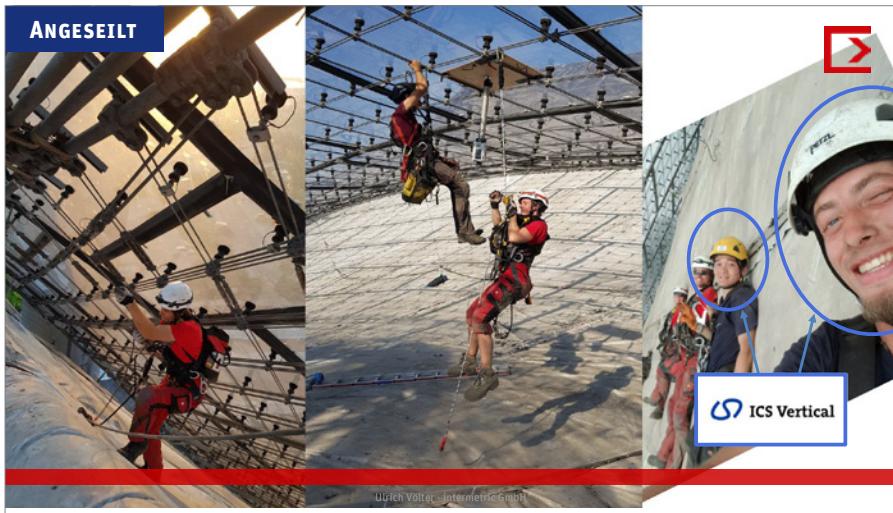


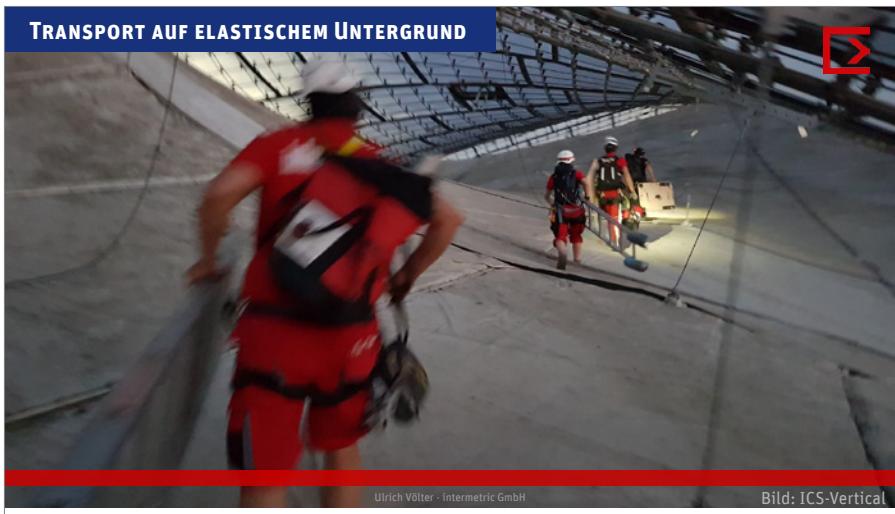
Ulrich Völter - Intermetrie GmbH

## SCANNING



Ulrich Völter - Intermetrie GmbH





### SCANNERAUFBAU



### AUSLÖSEN

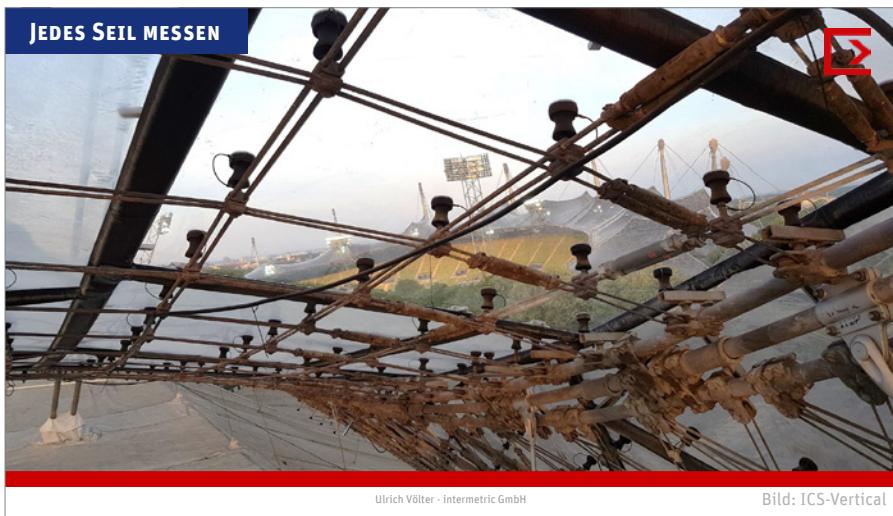


**RUHE BEWAHREN**



**JEDES SEIL MESSEN**

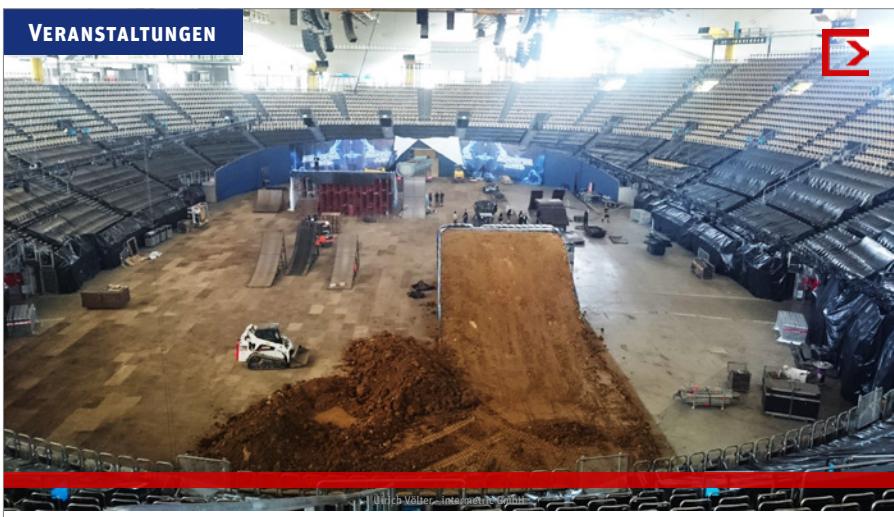


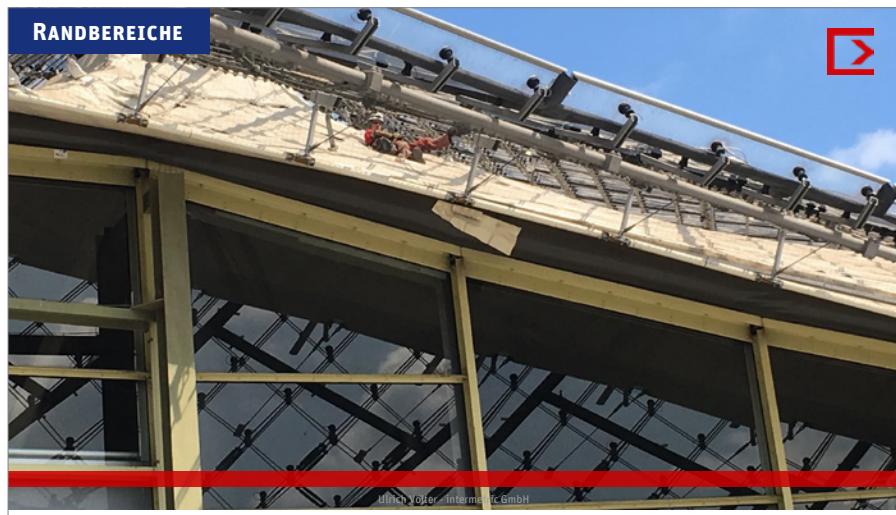


**MESSUNGEN – SCANNING**



**VERANSTALTUNGEN**





## INDIREKTE BESTIMMUNG DER KNOTENPUNKTE



## MESSUNGEN - UAV



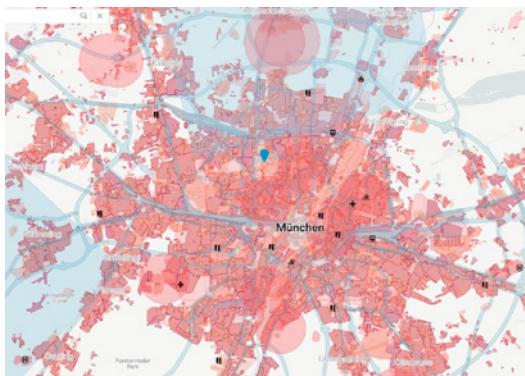
Geoinformation  
3D-Digitalisierung  
Workshops  
Ingenieurbüro  
**Wolf**



Bild: IB Wolf



## UAV – KOMPLIZIERTE GENEHMIGUNGSLAGE

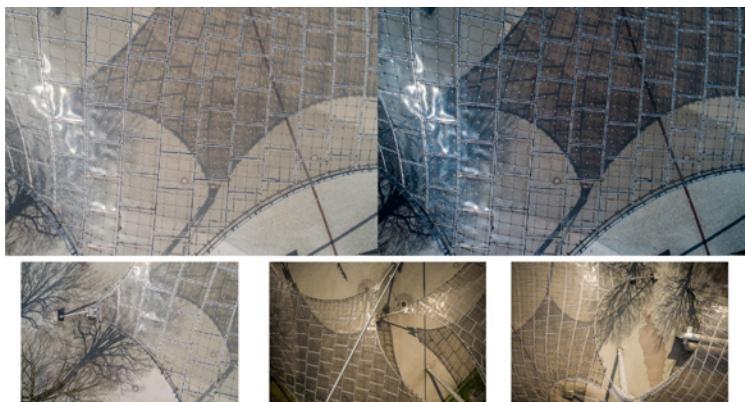


Ulrich Völter - Intermetric GmbH

Bilder: IB Wolf

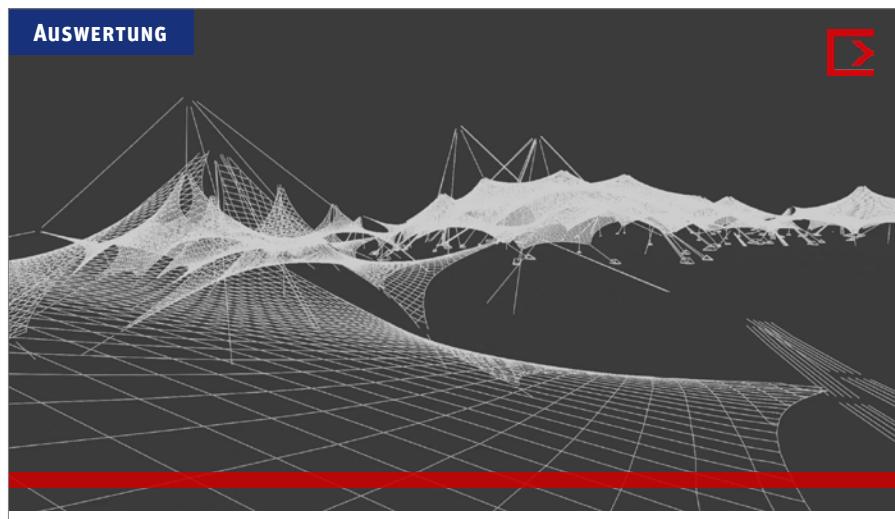
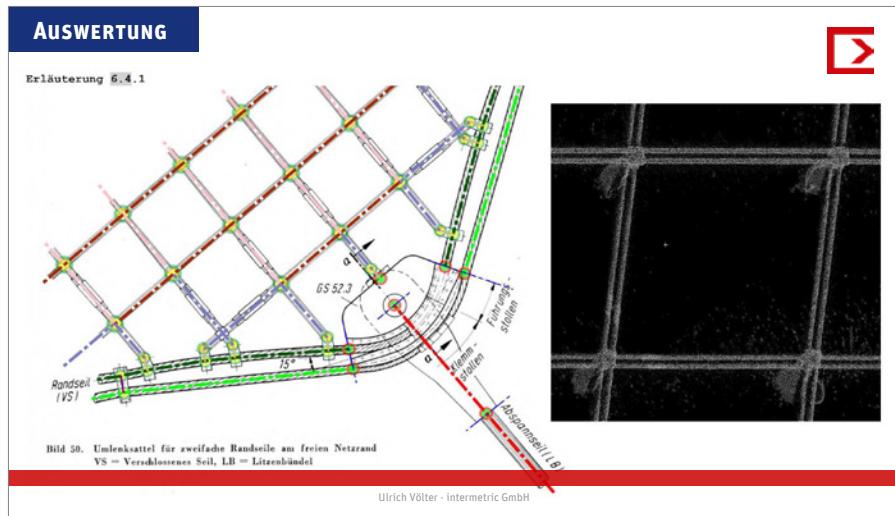


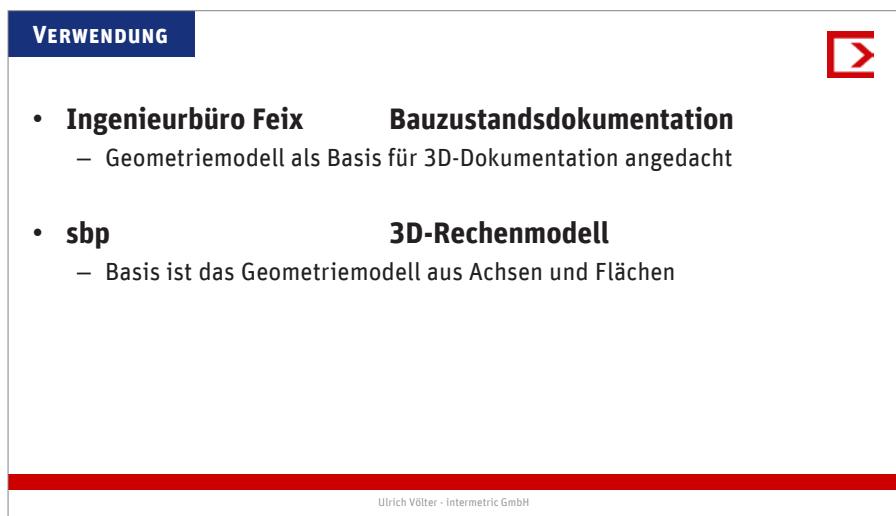
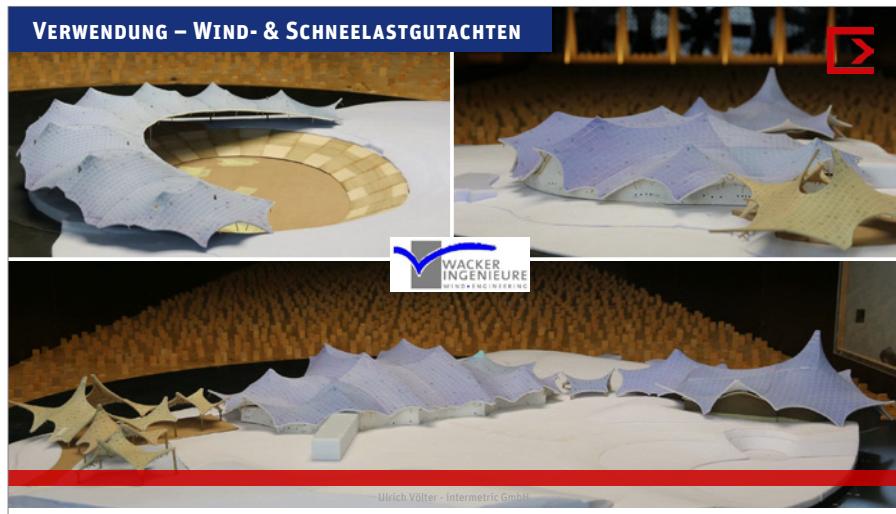
## UAV – SCHWIERIGE LICHTVERHÄLTNISSE



Ulrich Völter - Intermetric GmbH

Bilder: IB Wolf





FAZIT

# Es hält. Auch 2020!



Ulrich Völter · intermetric GmbH

Bild: IB Wolf





# Trimble X7 – neue Perspektive vs. neue Herausforderung

Kay Weltzien

## Trimble X7 3D Laserscanner



Neue Perspektive vs. Neue Herausforderung  
Kay Weltzien – Fa. Allterra

TRANSFORMING THE WAY THE WORLD WORKS



## Agenda

- Anspruch zukünftiger Entwicklung
- Techn. Eigenschaften – X7 + Perspective
- Trimble X-Drive – Selbstkalibrierung
- Automatische Horizontierung
- Georeferenzierung
- Investierungsrückgabe
- Zusammenfassung



TRANSFORMING THE WAY THE WORLD WORKS



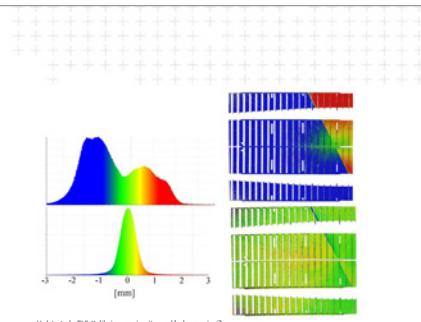
## Anspruch zukünftiger Entwicklung

- Erfahrungsberichte zeigen folgende Schwerpunkte im Scanningbereich
  - immer größer werdende Datenmengen
  - zeitintensive Nachbereitung im Innendienst
  - Hohe Kosten in der Wartung / Kalibrierung
  - Zusätzlicher Sensor für die Georeferenzierung notwendig

TRANSFORMING THE WAY THE WORLD WORKS

Trimble

## Rückblick - TLS 2019



### ■ Fragen:

- Reicht eine Kalibrierung pro Jahr beim Hersteller?
- Wie oft sollte eine Selbstprüfung stattfinden?
- ...

TRANSFORMING THE WAY THE WORLD WORKS

Trimble

## Techn. Eigenschaften – X7 + Perspective

<b>Merkmale</b>	<b>Geschwindigkeit, Abstand, Dauer, Punkte</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Automatische Kalibrierung</li> <li>Trimble Registration Assist</li> <li>Automatische Niveaukompensation in Vermessungsgenauigkeit 3"</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>360° x 282° FOV</li> <li>Scan Dauer           <ul style="list-style-type: none"> <li>1:34 - 14:57 Min:Sek</li> </ul> </li> <li>Punktabstand           <ul style="list-style-type: none"> <li>3.5 - 11.4 mm @ 10m</li> </ul> </li> <li>Anzahl Punkte/Scan           <ul style="list-style-type: none"> <li>12 - 125 Millionen</li> </ul> </li> <li>500 kHz und 166 kHz</li> </ul>
<b>Messbereich</b>	<b>Umgebung</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>0.6 m - 80 m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>IP55</li> <li>Betriebstemperatur           <ul style="list-style-type: none"> <li>-20°C bis +50°C (-4°F bis 122°F)</li> </ul> </li> <li>5.8 kg (inklusive Batterie)</li> <li>2-Jahre Garantie</li> </ul>
<b>Genauigkeit</b>	<b>VISION</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>3D Punktgenauigkeit           <ul style="list-style-type: none"> <li>3.5 mm @ 20m</li> </ul> </li> <li>Entfernungsräuschen           <ul style="list-style-type: none"> <li>&lt;2.5 mm @ 60m</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>3 integrierte Kameras</li> <li>Geschwindigkeit: Schnell 1 min           <ul style="list-style-type: none"> <li>- Qualität 2 min</li> </ul> </li> <li>Auflösung: Schnell 158 MP           <ul style="list-style-type: none"> <li>- Qualität 316 MP</li> </ul> </li> </ul>
<b>Kommunikation</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Dual Band WiFi</li> <li>USB Kabel</li> </ul>	

TRANSFORMING THE WAY THE WORLD WORKS



## Techn. Eigenschaften – Update

<b>HDR Bildaufnahmen</b>	<b>Laserpointer</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Aufnahme von mehr Detailtiefe in helleren und dunkleren Umgebungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>erfasst 21 Punkte um die Distanz zu bestimmen</li> <li>Roter Laserpointer (aktiviert/deaktiviert)</li> <li>Laserklasse 2</li> </ul>
<b>Instrument LED Beleuchtung - Horizontierung</b>	<b>Präzisionspunkt</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Farbliche Hilfestellung für die Ausrichtung des Laserscanners</li> <li>Schiefstellung bis zu ± 10°</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Erzeugung und Benutzung als Einzelpunkt für die Georeferenzierung</li> </ul>
<b>Instrument LED Beleuchtung</b>	<b>Georeferenzierung</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>alle LED's können deaktiviert werden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lokales Scanprojekt direkt im Feld georeferenzieren (M=1)</li> </ul>
<b>Diagnosebericht</b>	<b>Ausgleichungsbericht</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Dokumentation über alle Komponenten des X7 nach einem Test</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ergebnisse der Georeferenzierung</li> <li>Ergebnisse zwischen den jeweiligen Stationen</li> </ul>
<b>Feldkalibrierungsbericht</b>	<b>Projektverwaltung</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Dokumentation der Kalibrierung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Zusammenführen von Projekten</li> <li>Löschen von Einzelscans</li> <li>Koordinatensystem (X,Y,Z oder N,E,Ei)</li> </ul>

TRANSFORMING THE WAY THE WORLD WORKS



## Trimble X-Drive

Weltweit erstes „dual vertikales Umlenksystem“ !!!



### Vorteile:

- Autokalibrierung
- Neigungsmessung
- Laserpointer

TRANSFORMING THE WAY THE WORLD WORKS



## Trimble X-Drive

- Umlenkantrieb entwickelt aus der Festplattenmotortechnologie
  - geringe Reibung, Vibration und Stromverbrauch
  - so leise, dass Sie den Scanner nicht hören
  - lange Lebensdauer, reduziert die Wartungskosten
- 2 Jahre Standardgarantie !!!

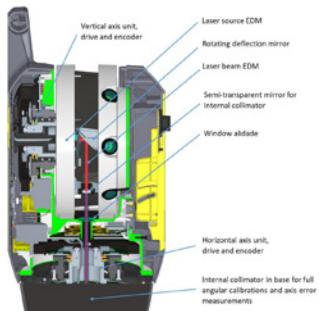
TRANSFORMING THE WAY THE WORLD WORKS



## Trimble X-Drive

### Vollautomatische Kalibrierung

- Erstmals in einem optischen Gerät
- Keine Ziele oder Benutzerinteraktionen erforderlich
- Encoder-System von Totalstation übernommen
  - Genauigkeit < 3" (Horizontierung)
- Sicherheit
  - Scannerkopf an jeder einzelnen Encoderposition für horizontale und vertikale Kollimationenfehler ordnungsgemäß kalibriert



TRANSFORMING THE WAY THE WORLD WORKS

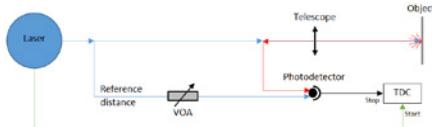
 Trimble

## Trimble X-Drive

### Vollautomatische Kalibrierung durch einen internen miniaturisierten Kollimator

Folgende Aufgaben:

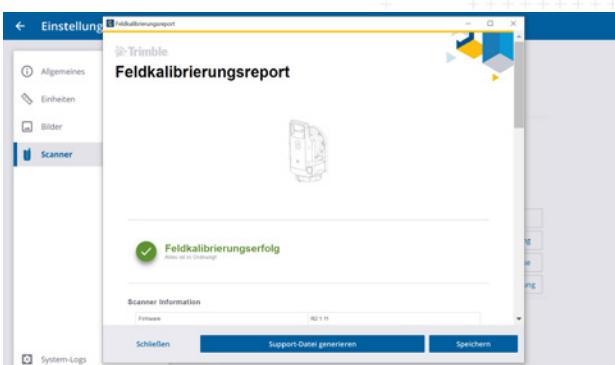
- Winkelkalibrierung
- Streckenkalibrierung
- Äußere Einflüsse



TRANSFORMING THE WAY THE WORLD WORKS

 Trimble

## Trimble X-Drive



TRANSFORMING THE WAY THE WORLD WORKS

Trimble

## Trimble X-Drive



TRANSFORMING THE WAY THE WORLD WORKS

Trimble

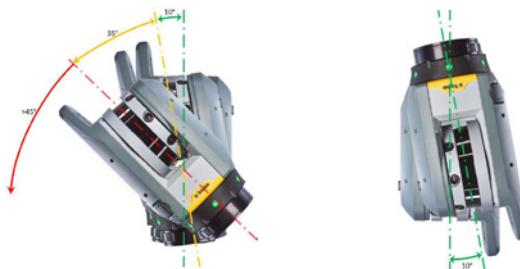
## Automatische Horizontierung



TRANSFORMING THE WAY THE WORLD WORKS

Trimble

## Automatische Horizontierung

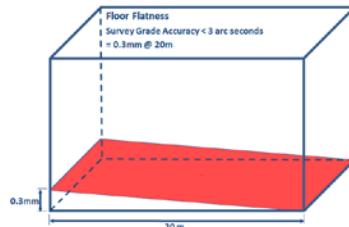
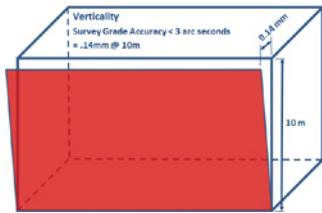


- Genauigkeit  $< 3''$  (0,3 mm bei 20 m) innerhalb von  $\pm 10^\circ$
- Genauigkeit  $10^\circ - 45^\circ$  normale Genauigkeit (> 5 mm bei 20 m)

TRANSFORMING THE WAY THE WORLD WORKS

Trimble

## Automatische Horizontierung

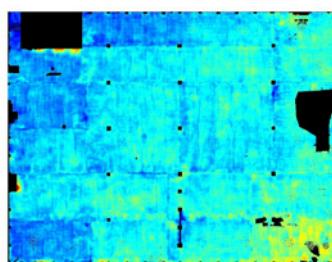


- Ideal für Ebenheitsanalysen, Beweissicherungen, Überwachungen ...

TRANSFORMING THE WAY THE WORLD WORKS

Trimble

## Automatische Horizontierung

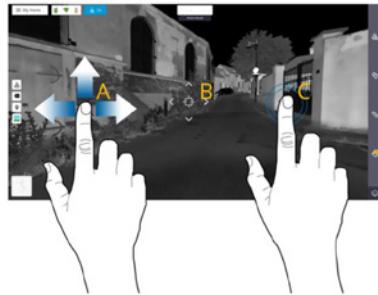


TRANSFORMING THE WAY THE WORLD WORKS

Trimble

## Georeferenzierung

- Zielmarken / Objektpunkte direkt in der Örtlichkeit für die Registrierung messen
- Hilfe bei der Anzielung durch
  - Laserpointer
  - Live-Kamerabild
  - Feintrieb für exakte Anzielung
- Messungen können im laufenden an verschiedenen Positionen durchgeführt werden

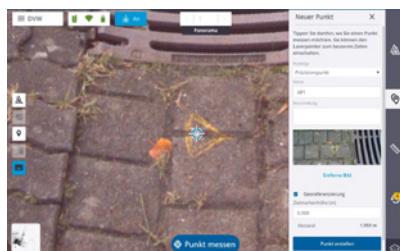


TRANSFORMING THE WAY THE WORLD WORKS

Trimble

## Georeferenzierung

- Einzelpunktbestimmung über 21 Messungen
- Spezifikation
  - <1 mm @ 30 m bei 80% Reflektivität
  - Messzeit 5 sek.
- Laserpointer
  - Winkelgenauigkeit 7"
  - Laserspotgröße bei 80 m = 14 mm

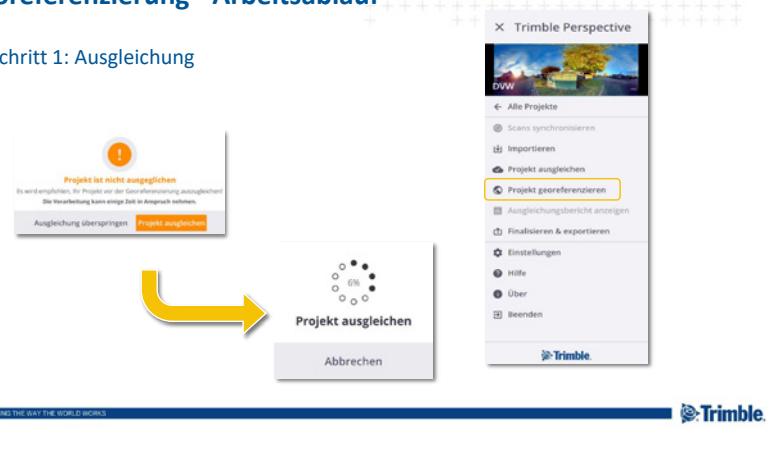


TRANSFORMING THE WAY THE WORLD WORKS

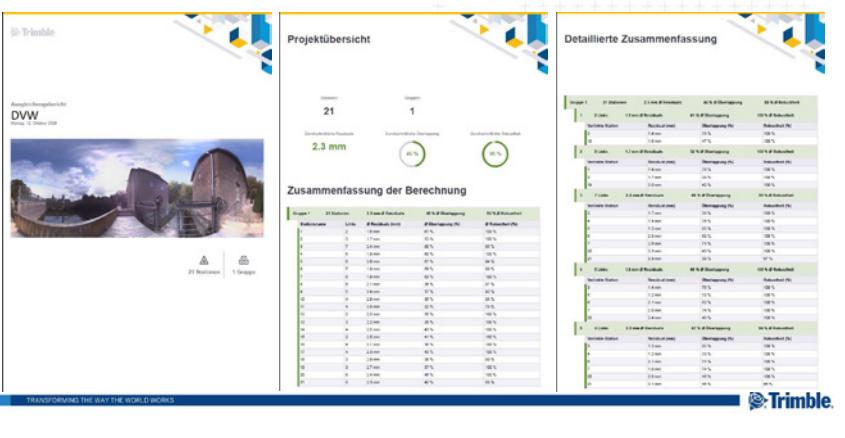
Trimble

## Georeferenzierung - Arbeitsablauf

## ■ Schritt 1: Ausgleichung



## Georeferenzierung - Arbeitsablauf



## Georeferenzierung - Arbeitsablauf

- Schritt 2: Referenzkoordinaten

Kontrollpunkte importieren

Konfigurieren Sie Ihre Daten so, dass die Kontrollpunkte entsprechend importiert werden!

Name	Nummer	Ost	Nord	Winkel	Zeilen auswählen	Spalten auswählen
AP1	529554.951	5917290.842	28.173			
AP2	529555.200	5917299.367	27.347			
AP3	529485.311	5917330.087	26.470			
AP4	529487.518	5917395.199	25.477			

Verwerfen Importieren

Alle Projekte Scans synchronisieren Importieren Projekt ausgleichen Projekt georeferenzieren Ausgleichsbericht anzeigen Finalisieren & exportieren Einstellungen Hilfe Über Beenden

Trimble

TRANSFORMING THE WAY THE WORLD WORKS

X Schließen

Kontrollpunkt

Gesamtresimal: 0.008 m

+ Erstellen Importieren

4 Kontrollpunkte

AP1 (AP1) Residual: 0.006 m

AP2 (AP2) Residual: 0.006 m

AP3 (AP3) Residual: 0.010 m

AP4 (AP4) Residual: 0.010 m

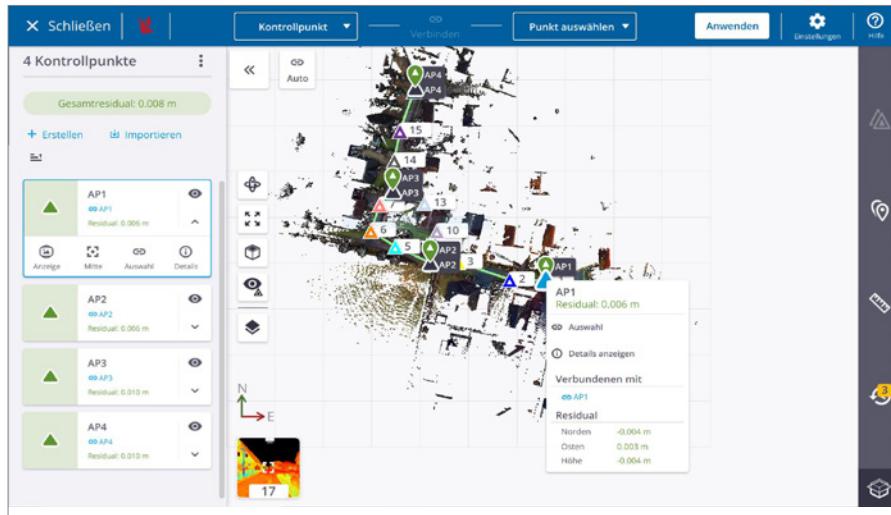
Anwenden

Bestellungen

Hilfe

17

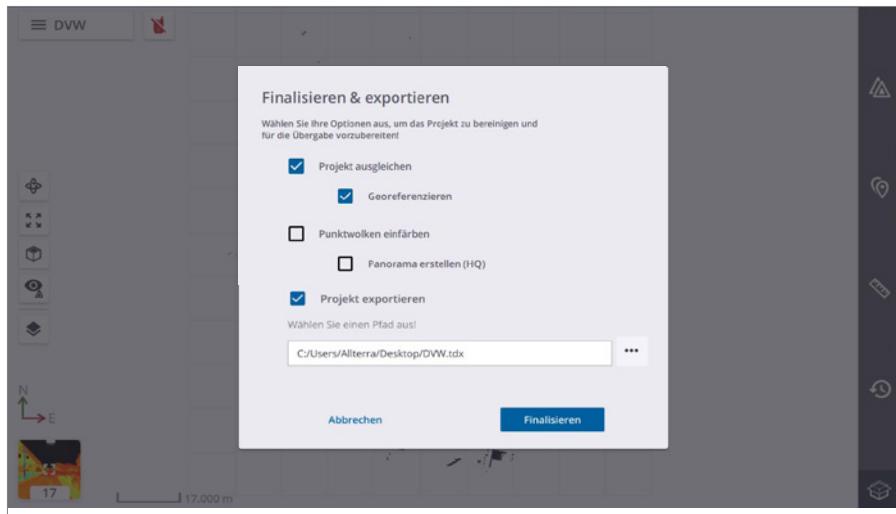
Trimble



## Projektabschluss

- Projekt ausgleichen
  - Georeferenzierung
- Einfärbung
  - Hochauflösende Panoramen
- Projektexport
  - TDX | TZF | E57 Gridded | PTX | RCP
  - LAS Non-Gridded | POD Non-Gridded

The Trimble Perspective interface is shown on the right. It includes a 3D preview of the project, a sidebar with options like 'Alle Projekte', 'Scans synchronisieren', 'Importieren', 'Projekt ausgleichen' (which is selected), 'Projekt georeferenzieren', 'Ausgleichsbericht anzeigen', and a highlighted 'Finalisieren & exportieren' button. At the bottom are 'Einstellungen', 'Hilfe', 'Über', and 'Beenden' buttons, along with the Trimble logo.



## Investierungsrückgabe

- Laufende Kosten für Scanner
  - Kalibrierkosten 3-5k € / Jahr
  - Garantieverlängerung/Wartung 3-4k € / Jahr
  - *Beispiel: 5 Jahre ((4 Jahre x 4k €) + (4 Jahre x 3k €)) = 28k €*
- X7 = 2 Jahre Garantie
  - *Beispiel: 5 Jahre ((4 Jahre x 0 €) + (3 Jahre x 3k €)) = 9k €*
- Kosten für Ausfallzeiten (1-2 Wochen) bei Kalibrierung ...

ROI (Return of Invest)

TRANSFORMING THE WAY THE WORLD WORKS

Trimble

## Zusammenfassung



### ■ ***Einfach***

- Intuitive Perspective Software zum Betrieb, Verwalten, Anzeigen und Validieren von Scandaten
- Von der Aufnahme bis zur finalen Punktfolge

### ■ ***Smart***

- Automatisches Horizontieren des Laserscanners
- Kein weiterer Sensor notwendig für die Georeferenzierung

### ■ ***Professionell***

- Interner Kollimator für zuverlässige Ergebnisse, zu jeder Zeit
- Detaillierte Berichte für das QM + AG

TRANSFORMING THE WAY THE WORLD WORKS



# Vielen Dank

TRANSFORMING THE WAY THE WORLD WORKS



# Welche Objektdetails „sieht“ mein Laserscanner?

Berit Schmitz | Daniel Coopmann | Heiner Kuhlmann | Christoph Holst



194. DVW-Seminar  
Terrestrisches Laserscanning 2020  
04.12.2020

## Welche Objektdetails “sieht” mein Laserscanner?

Berit Schmitz,  
Daniel Coopmann, Heiner Kuhlmann, Christoph Holst



### Fragestellung



Welche verschiedenen Werkzeuge nutzten die Römer?



**Ausgrabungsstätte:** Forumstempel Paestum, Italien

### Welche verschiedenen Werkzeuge nutzten die Römer?



Wie und mit welchem Scanner müssen wir scannen, damit wir die Werkzeugspuren analysieren können?



Risse detektieren

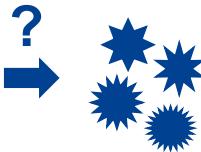


Fugen der Talsperre segmentieren



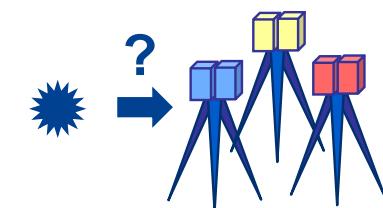
Pflanzen modellieren

...



Welche Objekte kann ich mit  
meinem Scanner erkennen?

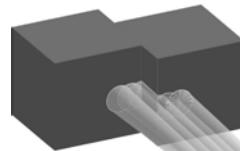
Mit welchem Scanner kann ich  
ein Objekt erkennen?



Wirtschaftlichkeit?

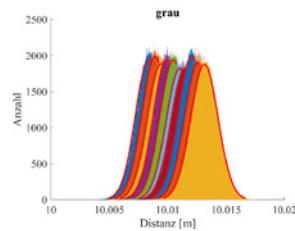
Auflösungsvermögen in Querrichtung:

*Fähigkeit des Systems, zwei  
Objekte in adjazenten  
Strahlrichtungen zu unterscheiden*

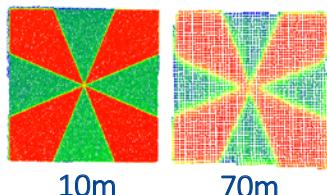


Auflösungsvermögen in Längsrichtung:

*Fähigkeit eines Systems, zwei  
Objekte in derselben  
Strahlrichtung zu unterscheiden*

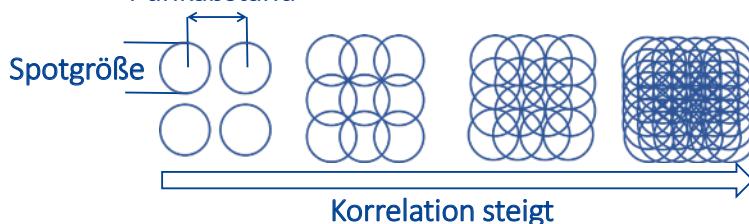


### Zielzeichen Scan

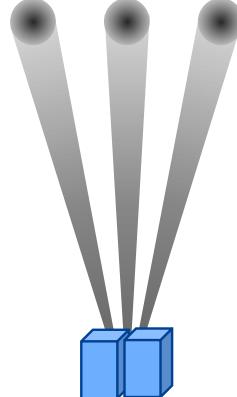


Auflösung  
≠  
Auflösungsvermögen

### Punktabstand



Punkt-  
abstand  
↔  
Spot-  
größe  
↔



niedrige Auflösung

hohe Korrelation



→ Hohe Auflösung

→ Kleiner Spot



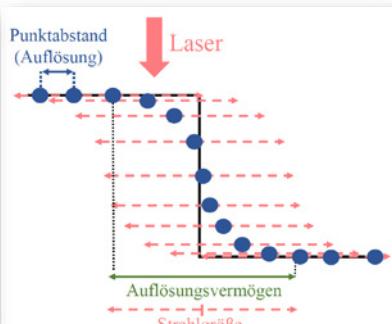
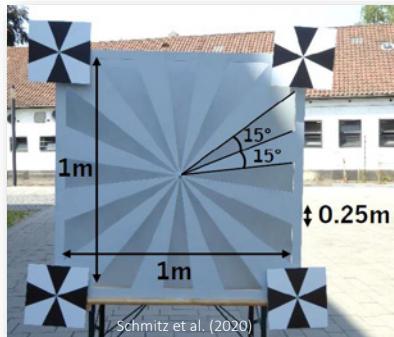
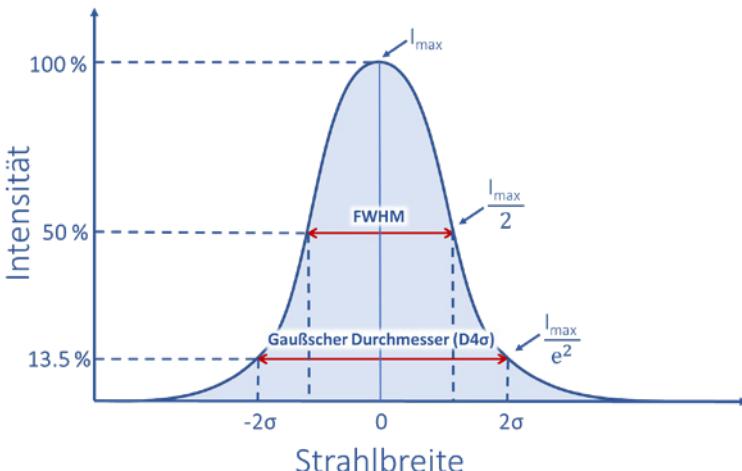


**Oben:** Leica ScanStation P40 | Leica RTC360 | Leica Nova MS60 | Faro Focus 3D X130 | Leica BLK360

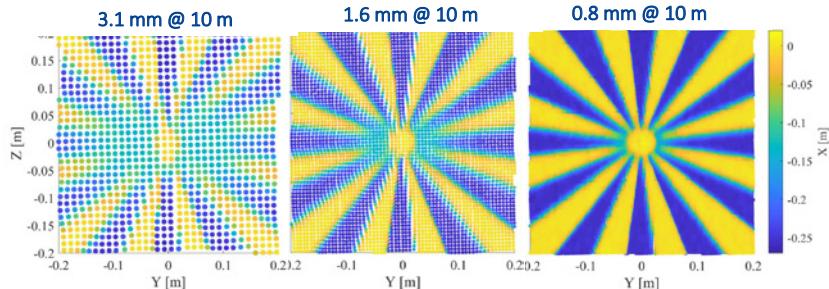
**Unten:** Leica HDS6100 (Z+F Imager 5006i) | Leica ScanStation P20 | Leica ScanStation P50 | Zoller+Fröhlich Imager 5016

4 Distanzen (10 m – 40 m), 2 Scaneinstellungen (beste, gleiche)

Scanner	Spotgröße beim Austritt [mm]	Divergenz [mrad]	Höchste Auflösung [mm @ 10 m]
P20	2.8	0.2	0.8
P40	3.5 (FWHM)	0.23 (voll)	0.8
P50	3.5 (FWHM)	0.23 (voll)	0.8
RTC360	6 (1/e <sup>2</sup> )	0.5 (voll)	3.0
BLK360	2.25 (FWHM)	0.4 (voll)	5.0
HDS6100	3	0.22	1.6
MS60	7 x 10 @ 30 m	-	1.0
Focus X130	2.25 (1/e <sup>2</sup> )	0.19 (halb)	1.6
Imager 5016	3.5 (1/e <sup>2</sup> )	0.3 (halb)	0.6

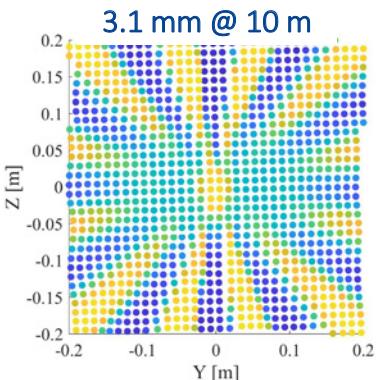


## Leica ScanStation P20 auf 40 m

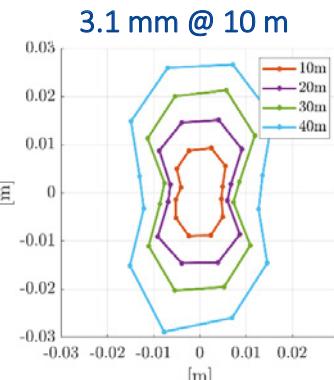


Schmitz et al. (2020)

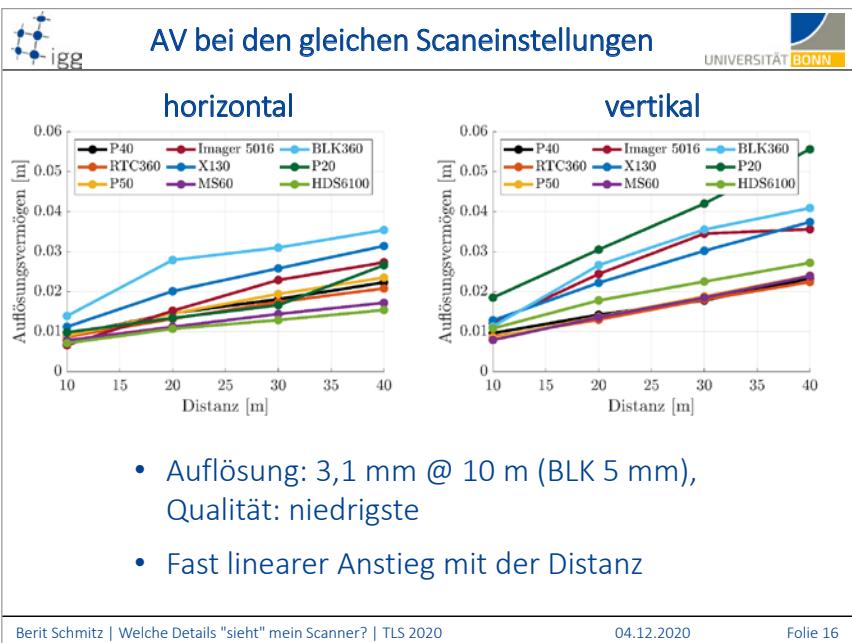
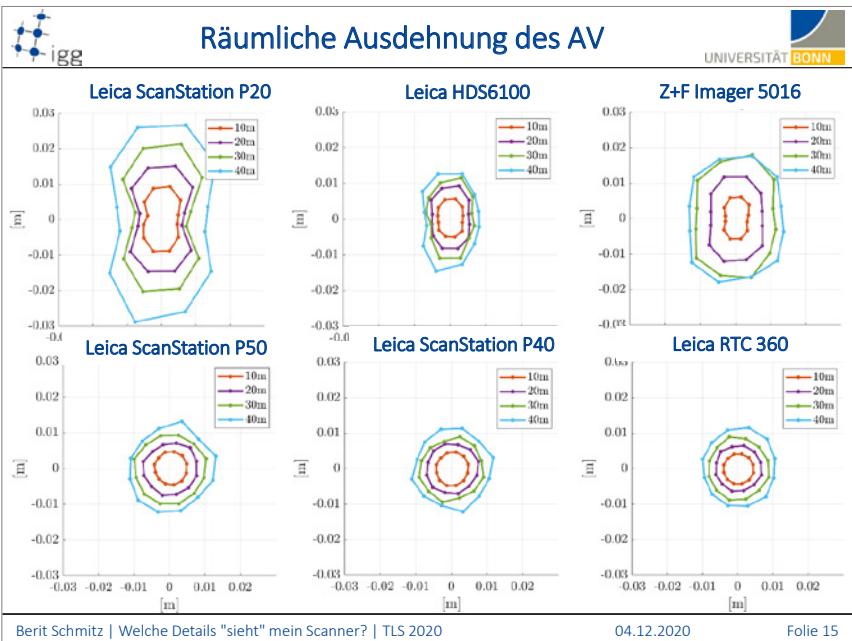
## Leica ScanStation P20



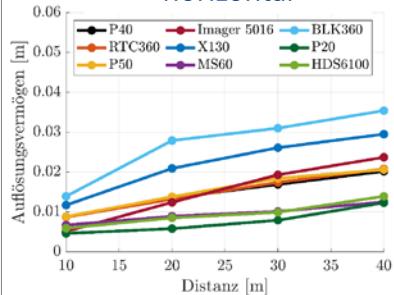
## Leica ScanStation P20



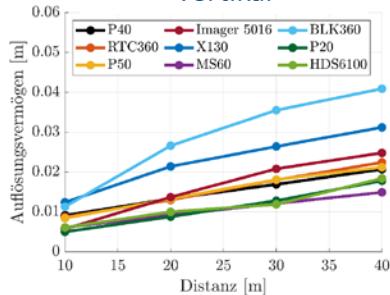
Schmitz et al. (2020)



## horizontal

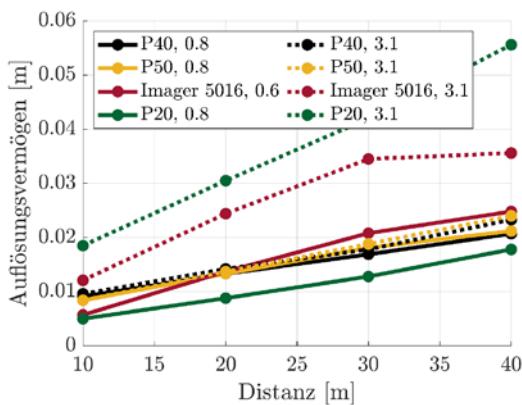


## vertikal



- Auflösung: höchste, Qualität: höchste
- P20, HDS6100 stark durch Rotationsgeschwindigkeit beeinflusst
- P50, P40, RTC360 erzielen dieselben Ergebnisse

## Vertikales AV bei beiden Einstellungen



## Vergleich zwischen Zeitaufwand und Auflösungsvermögen bei einer Distanz von 30 m

Scanner	AV gleiche Einstellung [cm]	Rundumscan gleiche Einstellung [min]	AV beste Einstellung [cm]	Rundumscan beste Einstellung [min]
P20	4.20	03:30	1.28	108:13
P40	1.78	03:30	1.69	216:21
P50	1.88	03:30	1.81	216:21
Imager 5016	3.45	03:03	2.08	122:22

**Gleiche:** Auflösung: 3.1 mm @ 10 m | Qualität: geringste

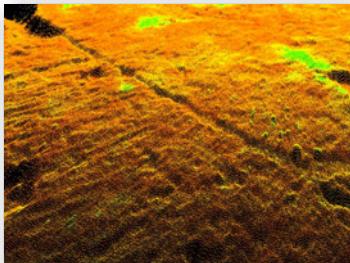
**Beste:** Auflösung: <= 0.8 mm @ 10 m | Qualität: höchste

- Größenordnung und Form des Auflösungsvermögens variieren zwischen den Scannern
- Hohe Auflösung  $\neq$  hohes Auflösungsvermögen
- Für neue Leica Scanner: mit niedrigerer Auflösung scannen ist wirtschaftlicher
- Herstellerangaben reflektieren nicht unbedingt die Realität

Genügt unser Z+F Imager 5016 den Anforderungen von <1 cm?



Genügt unser Z+F Imager 5016 den Anforderungen von <1 cm?

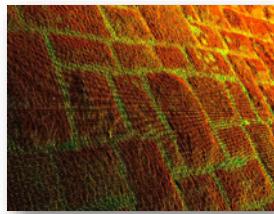


JA, bei einer Distanz <10 m und der zweithöchsten Auflösungsstufe

## Fazit für Talsperre

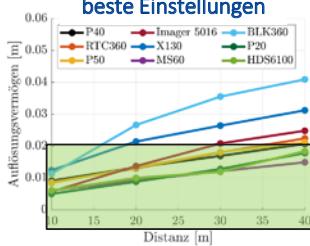


< 2 cm auf 25 m



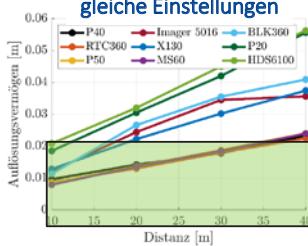
→

**beste Einstellungen**



Distanz [m]	P40	RTTC360	Imager 5016	X130	BLK360	P20	MS60	HDS6100
10	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
20	0.015	0.015	0.015	0.015	0.020	0.010	0.010	0.010
30	0.025	0.025	0.025	0.025	0.035	0.015	0.015	0.015
40	0.025	0.025	0.025	0.030	0.040	0.015	0.015	0.015

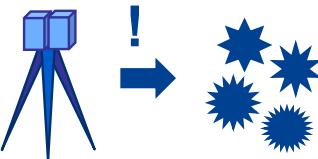
**gleiche Einstellungen**



Distanz [m]	P40	RTTC360	Imager 5016	X130	BLK360	P20	MS60	HDS6100
10	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
20	0.010	0.010	0.010	0.010	0.015	0.010	0.010	0.010
30	0.015	0.015	0.015	0.015	0.025	0.015	0.015	0.015
40	0.020	0.020	0.020	0.020	0.035	0.020	0.020	0.020

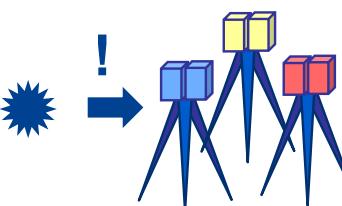
Berit Schmitz | Welche Details „sieht“ mein Scanner? | TLS 2020 04.12.2020 Folie 23

## Fazit



! →

Diese Objekte kann ich mit meinem Scanner erkennen!



Mit diesem Scanner kann ich das Objekt erkennen!



! →

So scanne ich am wirtschaftlichsten!

Berit Schmitz | Welche Details „sieht“ mein Scanner? | TLS 2020 04.12.2020 Folie 24

# Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

Berit Schmitz

Nussallee 17, 53115 Bonn, Germany

[schmitz@igg.uni-bonn.de](mailto:schmitz@igg.uni-bonn.de)

## Referenzen

- Schmitz, B., Kuhlmann, H., Holst, C. (2020) Investigating the resolution capability of terrestrial laser scanners and its impact on the effective number of measurements, *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* (159), 41-52, <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.11.002>
- Schmitz B., Coopmann D., Kuhlmann H., Holst C. (2021) Using the Resolution Capability and the Effective Number of Measurements to Select the “Right” Terrestrial Laser Scanner. In: Kopáčik A., Kyrinovič P., Erdélyi J., Paar R., Marendić A. (eds) Contributions to International Conferences on Engineering Surveying. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Springer, Cham.



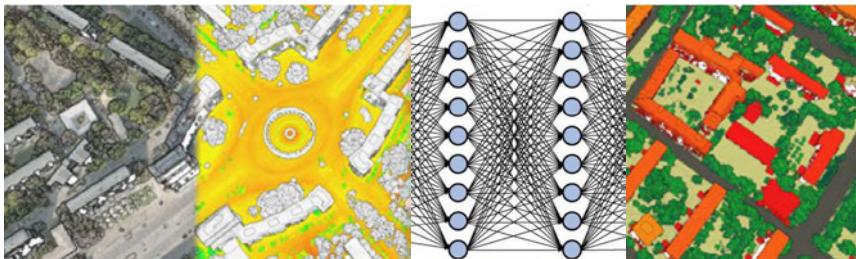
## **Session 2: Punktwolken: Auswertung und Darstellung**



# 3D-Punktwolken in der Praxis – Auswertung durch Künstliche Intelligenz

Rico Richter

## 3D-Punktwolken in der Praxis – Auswertung durch Künstliche Intelligenz



**Dr. Rico Richter**

4. Dezember 2020 – 194. DVW- Seminar Terrestrisches Laserscanning 2020



## Agenda



- 3D-Punktwolken
- Machine Learning & Künstliche Intelligenz
- Anwendungen
- Visualisierung und Bereitstellung
- IT-Infrastruktur
- Zusammenfassung



## Objekte und Infrastrukturen weltweit



1.7 milliarden<sup>1</sup>



64 Millionen Kilometer<sup>4</sup>



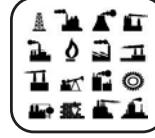
1 Millionen Kilometer<sup>3</sup>



400 milliarden<sup>2</sup>



100 Millionen Kilometer<sup>5</sup>



....und viele mehr

Sources:  
1: Sample  
2: NASA  
3: The World Bank  
4: Siemens survey

3

04.12.2020

3D-Punktwolken in der Praxis – Auswertung durch KI

Copyright © 2020 Rico Richter / Point Cloud Technology GmbH. All rights reserved.

## 3D-Punktwolken – Datenerfassung

### LiDAR

Aerial



### Image-based

Mobile



Terrestrial



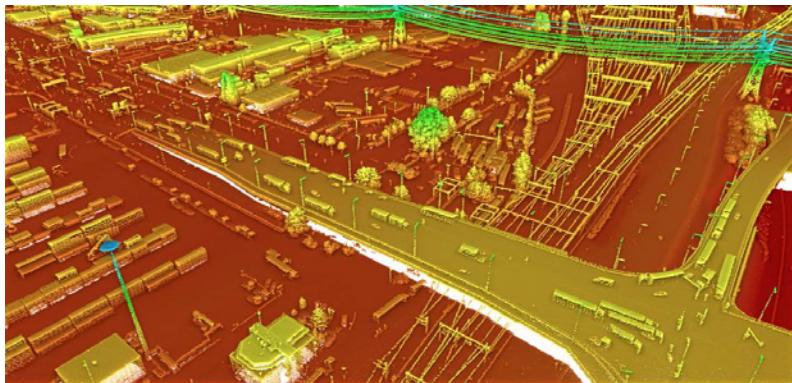
04.12.2020

3D-Punktwolken in der Praxis – Auswertung durch KI

Copyright © 2020 Rico Richter / Point Cloud Technology GmbH. All rights reserved.

4

## 3D-Punktwolken – Flugzeuggestütztes Scanning



04.12.2020 3D-Punktwolken in der Praxis – Auswertung durch KI Copyright © 2020 Rico Richter / Point Cloud Technology GmbH. All rights reserved.

5

## 3D-Punktwolken – Dense Image Matching



04.12.2020 3D-Punktwolken in der Praxis – Auswertung durch KI Copyright © 2020 Rico Richter / Point Cloud Technology GmbH. All rights reserved.

6

## Aerial Photogrammetry (3D) – Frankfurt



04.12.2020

3D-Punktwolken in der Praxis – Auswertung durch KI

Copyright © 2020 Rico Richter / Point Cloud Technology GmbH. All rights reserved.

7



## 3D-Punktwolken – UAV Scan (Bildbasiert)



04.12.2020

3D-Punktwolken in der Praxis – Auswertung durch KI

Copyright © 2020 Rico Richter / Point Cloud Technology GmbH. All rights reserved.

8



## UAV – Castle Neuschwanstein



04.12.2020 3D-Punktwolken in der Praxis – Auswertung durch KI Copyright © 2020 Rico Richter / Point Cloud Technology GmbH. All rights reserved.

9 

## 3D-Punktwolken – Terrestrisches Scanning



04.12.2020 3D-Punktwolken in der Praxis – Auswertung durch KI Copyright © 2020 Rico Richter / Point Cloud Technology GmbH. All rights reserved.

10 

## 3D-Punktwolken – Terrestrisches Scanning



04.12.2020

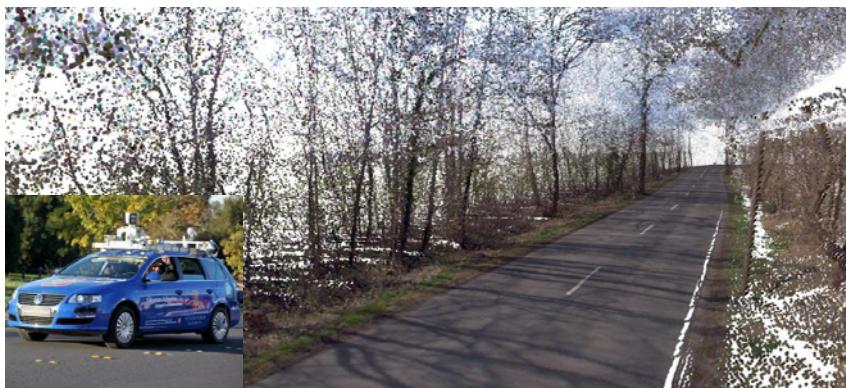
3D-Punktwolken in der Praxis – Auswertung durch KI

Copyright © 2020 Rico Richter / Point Cloud Technology GmbH. All rights reserved.

11



## 3D-Punktwolken – Mobile Mapping (LiDAR)



04.12.2020

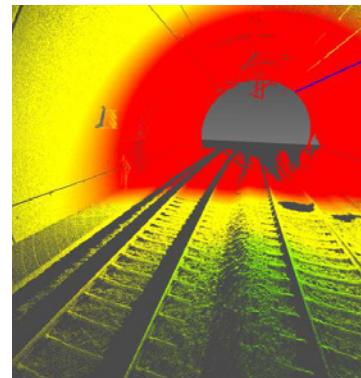
3D-Punktwolken in der Praxis – Auswertung durch KI

Copyright © 2020 Rico Richter / Point Cloud Technology GmbH. All rights reserved.

12



## 3D-Punktwolken – Mobile Mapping (LiDAR)



04.12.2020

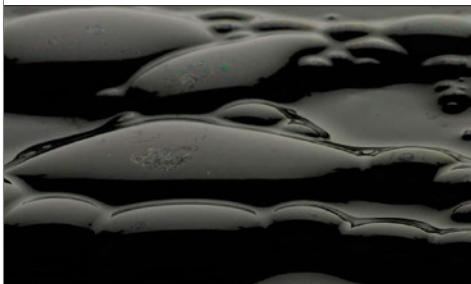
3D-Punktwolken in der Praxis – Auswertung durch KI

Copyright © 2020 Rico Richter / Point Cloud Technology GmbH. All rights reserved.

13



## 3D-Punktwolken als BIG DATA



**“Data is the new oil. Data is just like crude. It’s valuable, but if unrefined it cannot really be used.” Clive Humby**

04.12.2020

3D-Punktwolken in der Praxis – Auswertung durch KI

Copyright © 2020 Rico Richter / Point Cloud Technology GmbH. All rights reserved.

14

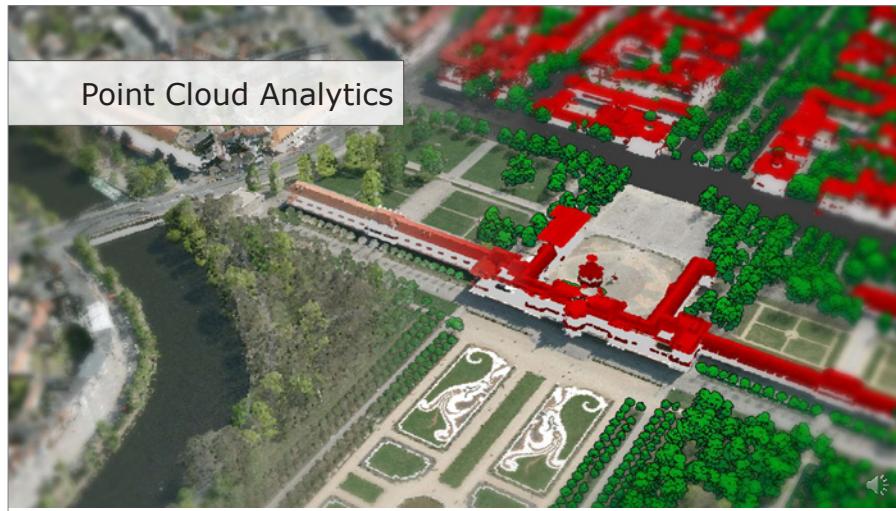


## 3D-Punktwolken – Herausforderungen

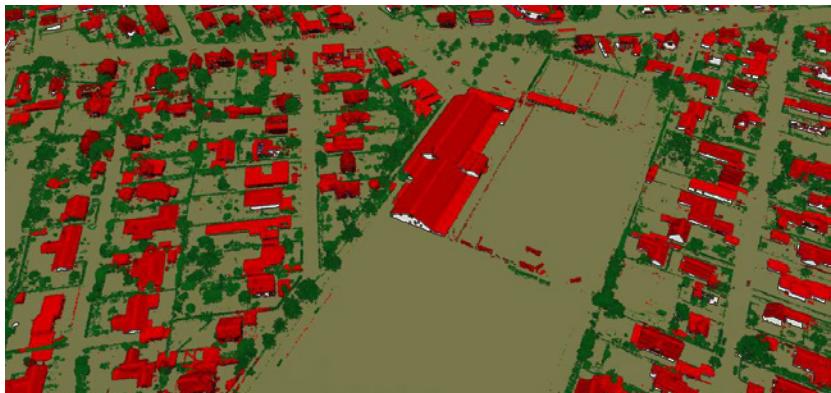
1. Bereitstellung, Verfügbarkeit und Visualisierung
  - Direkte Bereitstellung ohne 3D-Modelle abzuleiten
  - Interaktive Visualisierung, Exploration und Inspektion für viele Nutzer (z.B. Mobilgeräte, Desktop, Web)
2. Effiziente Verarbeitung und Analyse von 3D-Punktwolken
  - Ableitung von Objekten und Oberflächenkategorien
  - Veränderungsanalyse, Fortführung und Updates
  - KI-Verfahren für Automatisierung
3. Skalierbare und leistungsfähige Systeme für die Speicherung und das Management
  - Heterogene Eingangsdaten
  - Homogenes Datenmodell

04.12.2020 3D-Punktwolken in der Praxis – Auswertung durch KI Copyright © 2020 Rico Richter / Point Cloud Technology GmbH. All rights reserved.

15



## Klassische Klassifikation von 3D-Punktwolken

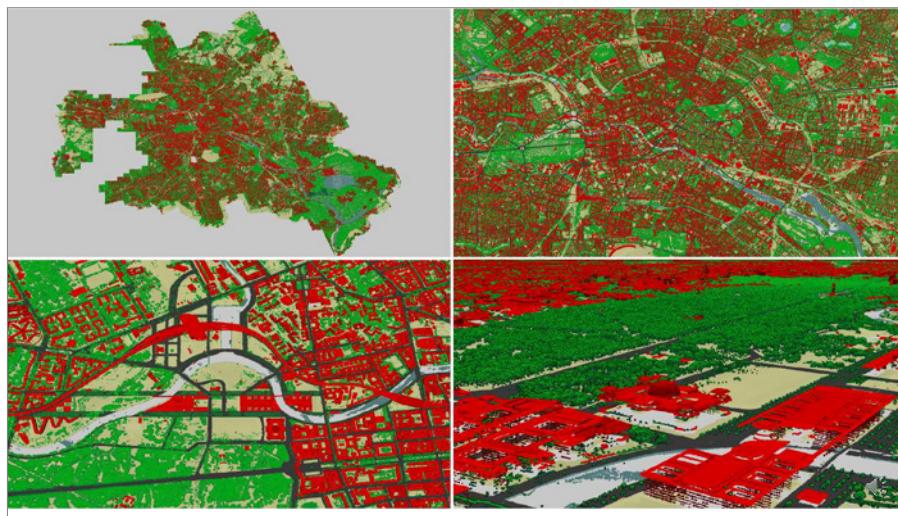


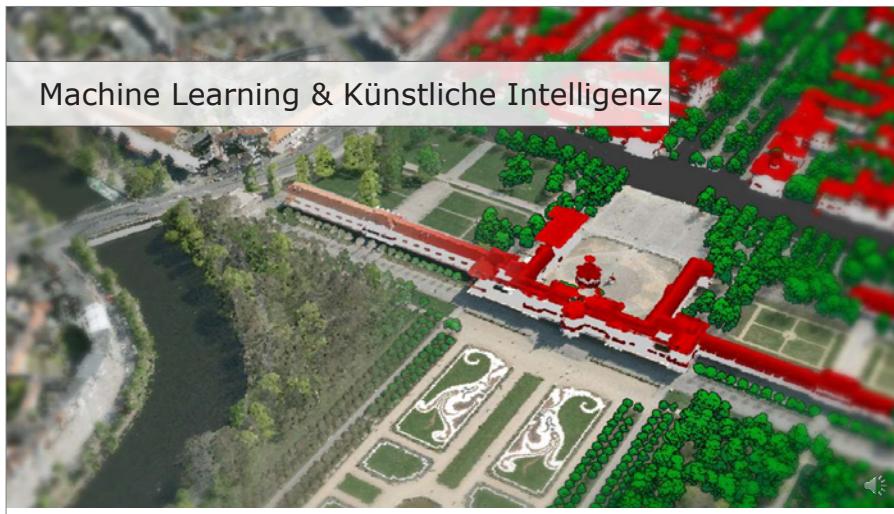
04.12.2020

3D-Punktwolken in der Praxis – Auswertung durch KI

Copyright © 2020 Rico Richter / Point Cloud Technology GmbH. All rights reserved.

17

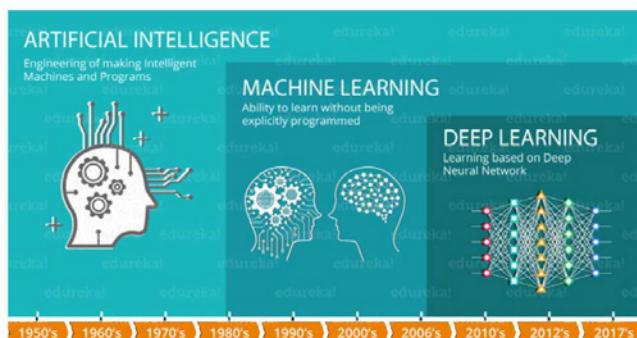




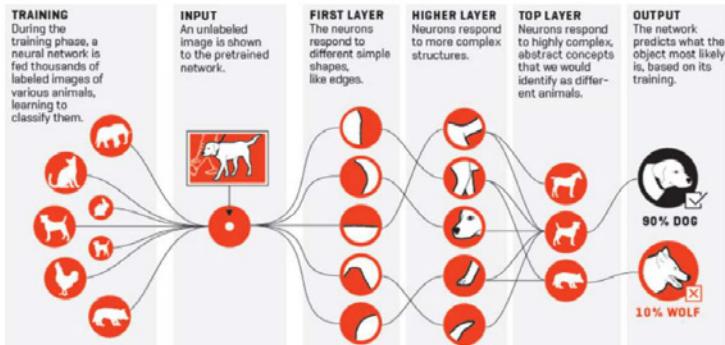
## Grundlagen Machine Learning & Künstliche Intelligenz



### Künstliche Intelligenz, Machine Learning und Deep Learning



## Klassifizierung mit Machine Learning



Example: How neural networks recognize a dog in a photo.

<http://fortune.com/ai-artificial-intelligence-deep-machine-learning/>

04.12.2020

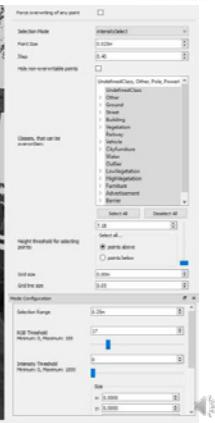
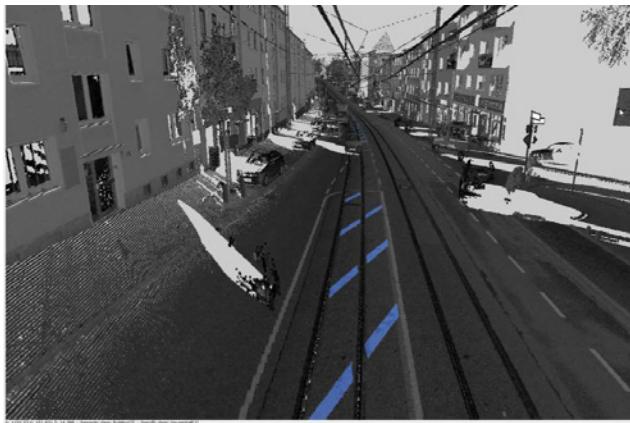
3D-Punktwolken in der Praxis – Auswertung durch KI

Copyright © 2020 Rico Richter / Point Cloud Technology GmbH. All rights reserved.

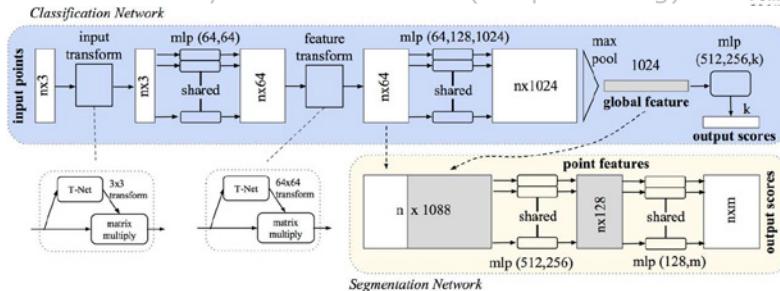
21



## Erstellen von Trainingsdaten



## Point Cloud Analytics: Klassifikation (Deep Learning)

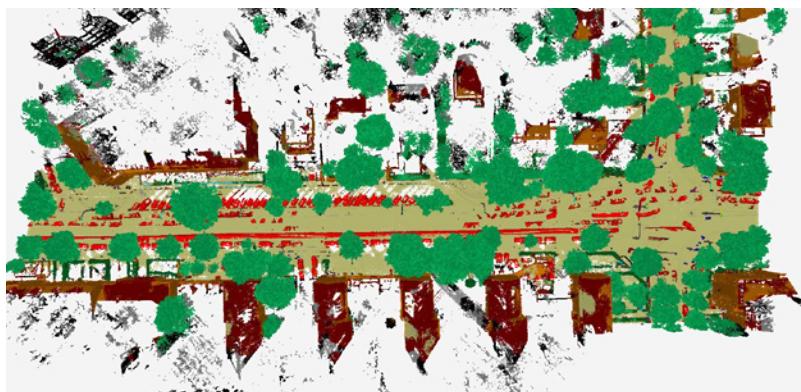


- Deep Learning auf Grundlage der 3D-Punktwolke selbst...
- Typischer Ablauf: Training – Sampling – **Klassifikation (Predicting)**
- **Beispiel PointNet(++):** Identifikation kritischer Punkte, invariant gegenüber affinen Transformationen und Eingabe-Permutationen

04.12.2020 3D-Punktwolken in der Praxis – Auswertung durch KI Copyright © 2020 Rico Richter / Point Cloud Technology GmbH. All rights reserved.

23

## Classification Results – Hamburg, Germany

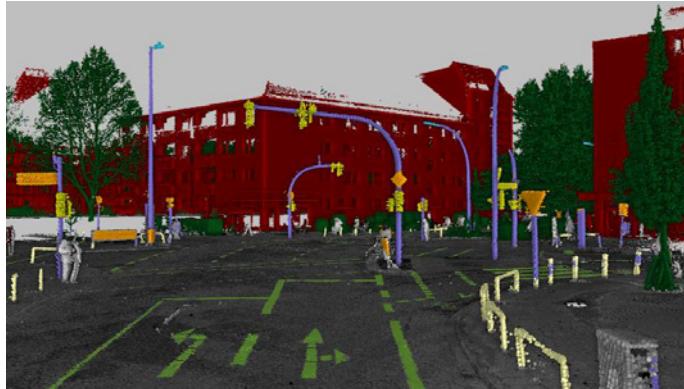


04.12.2020 3D-Punktwolken in der Praxis – Auswertung durch KI Copyright © 2020 Rico Richter / Point Cloud Technology GmbH. All rights reserved.

24



## Mobile Mapping Hamburg – Klassifikation



04.12.2020

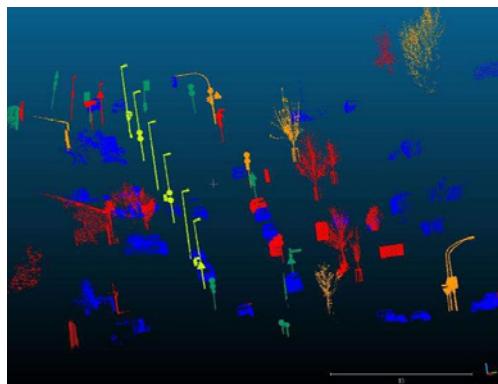
3D-Punktwolken in der Praxis – Auswertung durch KI

Copyright © 2020 Rico Richter / Point Cloud Technology GmbH. All rights reserved.

25



## Mobile Mapping Hamburg – Klassifikation



04.12.2020

3D-Punktwolken in der Praxis – Auswertung durch KI

Copyright © 2020 Rico Richter / Point Cloud Technology GmbH. All rights reserved.

26

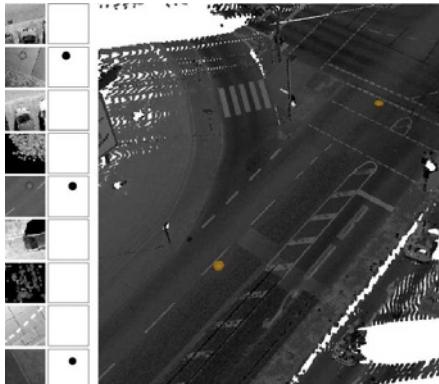


## Point Cloud Analytics: Klassifikation (Deep Learning)



Deep Learning angewendet auf Screenshots von Teilen der Punktwolke...

- Sinnvoll bei Objekten von primär zweidimensionaler Natur, z.B.:
  - Fahrbahnmarkierungen
  - Schachtdeckel
  - Schäden
- Neuronale Netze für Bilddaten etabliert und technisch ausgereift
- Re-Mapping der Ergebnisse auf die Punktwolke erforderlich



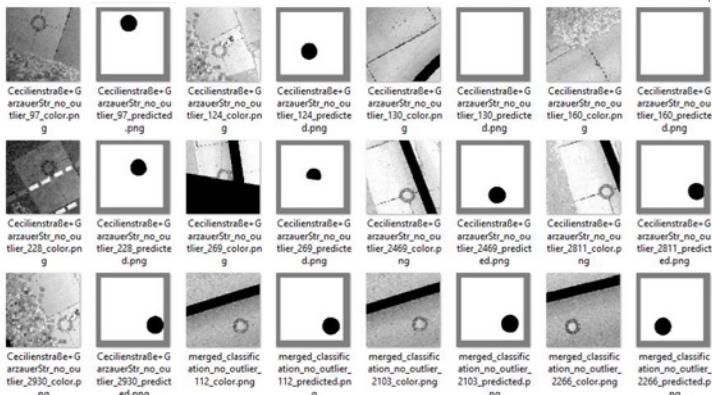
04.12.2020

3D-Punktwolken in der Praxis – Auswertung durch KI

Copyright © 2020 Rico Richter / Point Cloud Technology GmbH. All rights reserved.

27

## Klassifizierung mit Machine Learning



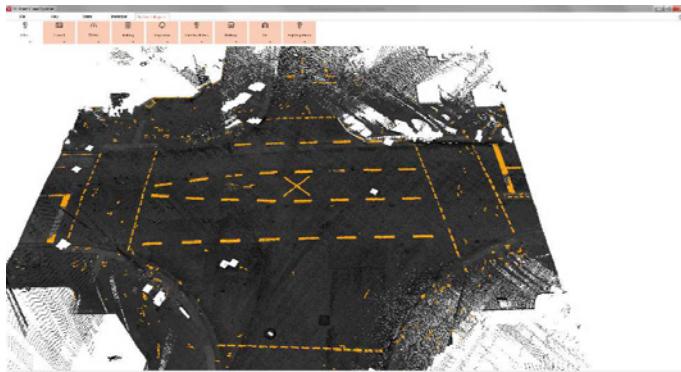
04.12.2020

3D-Punktwolken in der Praxis – Auswertung durch KI

Copyright © 2020 Rico Richter / Point Cloud Technology GmbH. All rights reserved.

28

## Mobile Mapping Hamburg – Klassifikation

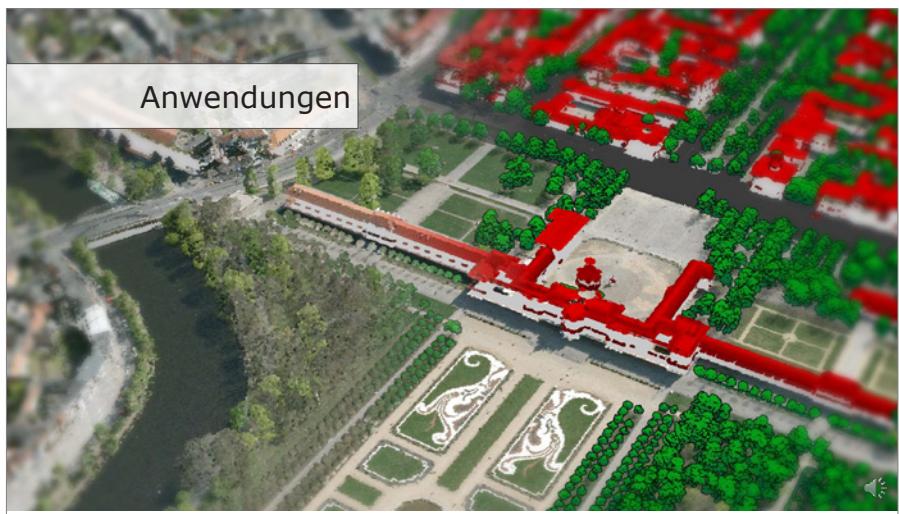


04.12.2020

3D-Punktwolken in der Praxis – Auswertung durch KI

Copyright © 2020 Rico Richter / Point Cloud Technology GmbH. All rights reserved.

29



## Veränderungsanalyse



04.12.2020

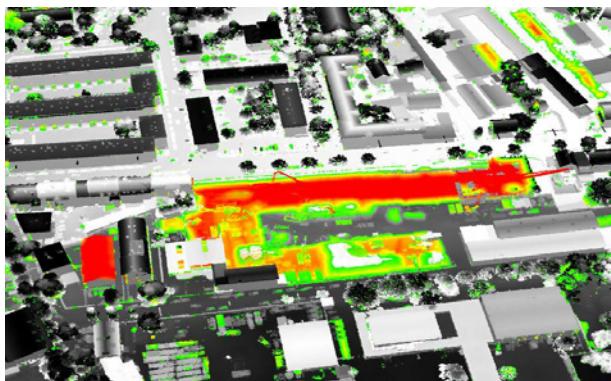
3D-Punktwolken in der Praxis – Auswertung durch KI

Copyright © 2020 Rico Richter / Point Cloud Technology GmbH. All rights reserved.

31



## Veränderungsanalyse



04.12.2020

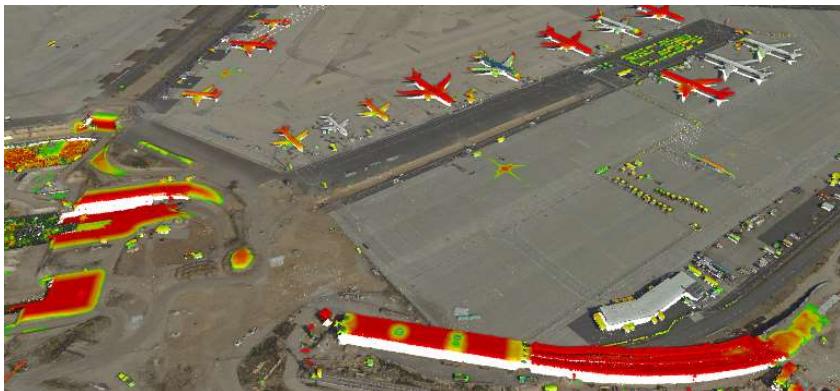
3D-Punktwolken in der Praxis – Auswertung durch KI

Copyright © 2020 Rico Richter / Point Cloud Technology GmbH. All rights reserved.

32



## Veränderungsanalyse 2017 zu 2018



04.12.2020 3D-Punktwolken in der Praxis – Auswertung durch KI Copyright © 2020 Rico Richter / Point Cloud Technology GmbH. All rights reserved.

33

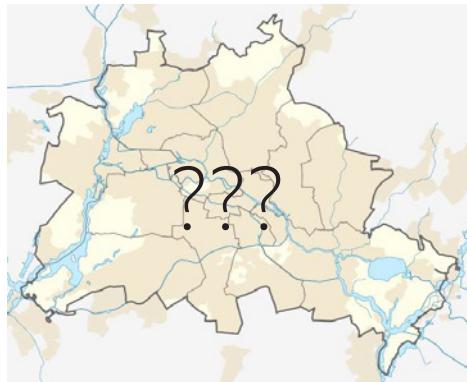
## Beispiel Vegetationsanalyse Berlin



04.12.2020 3D-Punktwolken in der Praxis – Auswertung durch KI Copyright © 2020 Rico Richter / Point Cloud Technology GmbH. All rights reserved.

34

## Beispiel Vegetationsanalyse Berlin



04.12.2020

3D-Punktwolken in der Praxis – Auswertung durch KI

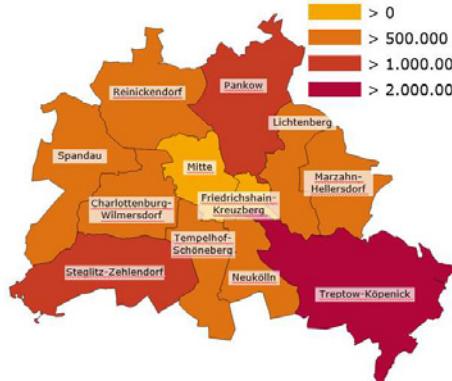
Copyright © 2020 Rico Richter / Point Cloud Technology GmbH. All rights reserved.

35

## Beispiel Vegetationsanalyse Berlin



Bezirk	#Bäume
CW	696.268
FK	148.720
L	540.297
<b>M</b>	<b>250.959</b>
MH	987.706
N	623.435
P	1.167.105
R	935.695
S	852.723
SZ	1.182.741
TK	2.056.971
TS	653.024
<b>Berlin</b>	<b>10.095.644</b>



04.12.2020

3D-Punktwolken in der Praxis – Auswertung durch KI

Copyright © 2020 Rico Richter / Point Cloud Technology GmbH. All rights reserved.

36

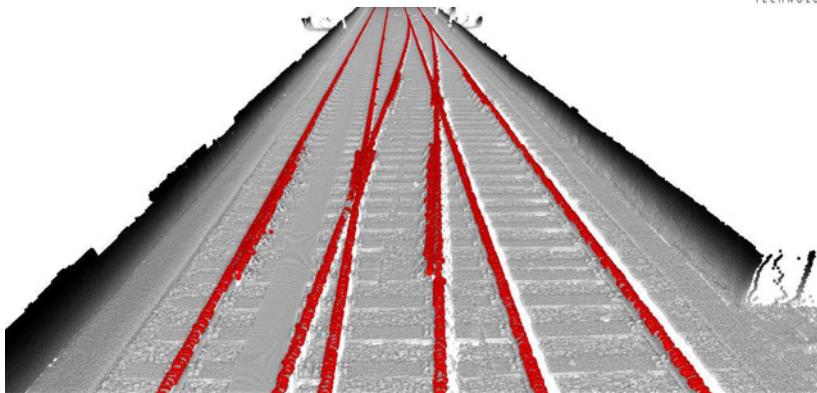
## Mobile Mapping Bahninfrastruktur



04.12.2020 3D-Punktwolken in der Praxis – Auswertung durch KI Copyright © 2020 Rico Richter / Point Cloud Technology GmbH. All rights reserved.

37

## Mobile Mapping Bahninfrastruktur

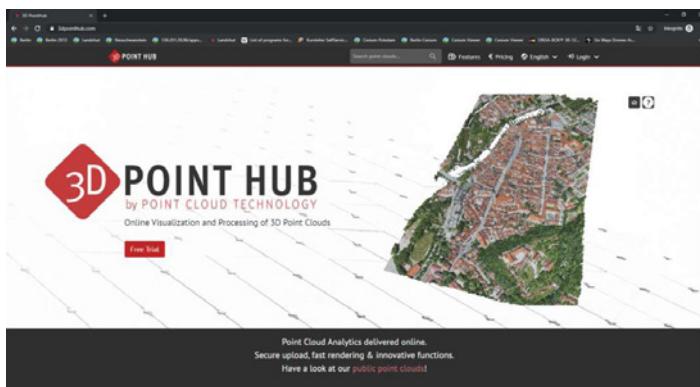


04.12.2020 3D-Punktwolken in der Praxis – Auswertung durch KI Copyright © 2020 Rico Richter / Point Cloud Technology GmbH. All rights reserved.

38



## Visualisierung von 3D-Punktwolken



## Visualisierung von 3D-Punktwolken



04.12.2020

3D-Punktwolken in der Praxis – Auswertung durch KI

Copyright © 2020 Rico Richter / Point Cloud Technology GmbH. All rights reserved.

41



## 3D-Punktwolken in Virtual Reality



04.12.2020

3D-Punktwolken in der Praxis – Auswertung durch KI

Copyright © 2020 Rico Richter / Point Cloud Technology GmbH. All rights reserved.

43



## 3D-Punktwolken in Virtual Reality



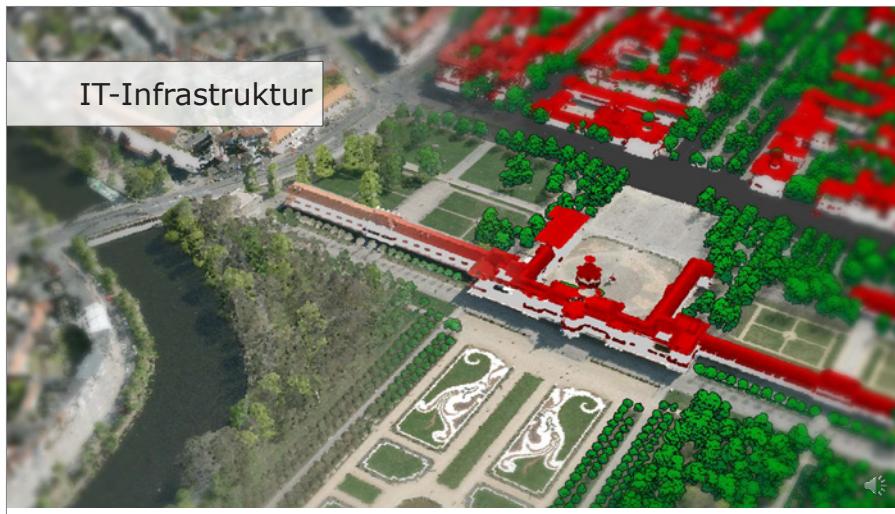
04.12.2020

3D-Punktwolken in der Praxis – Auswertung durch KI

Copyright © 2020 Rico Richter / Point Cloud Technology GmbH. All rights reserved.

44





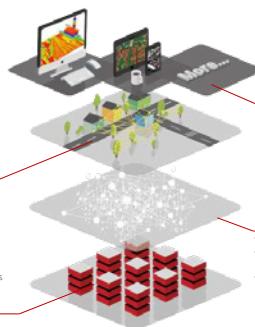
## Aufbau



### Information Cartography

Access point clouds and analytics results

- Explore and present terabytes of point clouds
- Photorealistic and semantic-based illustration
- Real-time and device-independent access



### Business Applications

Seamless Integration into Workflows and Platforms

- Documentation, monitoring, and reporting
- Up-to-date models for spatial areas, sites, infrastructures, ...
- Seamless integration into workflows, systems & applications

### Point Cloud Analytics

Derive and extract information and added values

- Efficient storage and high-performance processing
- Clustering, classification, feature derivation by Machine Learning & Deep Learning
- Predictive spatial analytics

## Modulare Systeminfrastruktur



04.12.2020 3D-Punktwolken in der Praxis – Auswertung durch KI Copyright © 2020 Rico Richter / Point Cloud Technology GmbH. All rights reserved.

47

## Fazit



## Aktuelle Situation

- Flächendeckende Verfügbarkeit von 3D-Punktwolken (z.B. über Landesvermessungsämter)
- Kostengünstige Hardware und regelmäßige Befliegungen (z.B. alle 2-3 Jahre)
- Mobile Mapping und UAV Daten mit hoher Datendichte und Datenqualität

IT-Systeme und Anwendungen werden mit Daten einer **ubiquitären Erfassung** konfrontiert, die ein **kontinuierliches, redundantes** und **flächendeckendes** Abbild der Realität darstellen.

## Nutzen "intelligenter" Punktwolken für wirtschaftliche Anwendungen:

- **Point Cloud Analytics** ist wichtig für domainspezifische Anwendungen
- **4D-Punktwolken** ermöglichen Updates und erzeugen Einsichten
- **Skalierbare Infrastrukturen, GPU-basierte Algorithmen** und **Out-of-core Verarbeitung** sind erforderlich um massive, dichte und großflächige Punktwolken zu verarbeiten
- **On-demand Verarbeitung** und **Analyse** sind durch Cloud-Lösungen möglich
- Enormes Potential für **Automatisierung** von zeitaufwendigen und kostenintensiven Prozessen durch **KI**

04.12.2020 3D-Punktwolken in der Praxis – Auswertung durch KI Copyright © 2020 Rico Richter / Point Cloud Technology GmbH. All rights reserved.

48



**POINT CLOUD  
TECHNOLOGY**

Kontakt:

rico.richter@pointcloudtechnology.com

Demos:

[www.pointcloudtechnology.com/demos](http://www.pointcloudtechnology.com/demos)

[www.3dpointhub.com](http://www.3dpointhub.com)

Hasso Plattner Institute:

[www.hpi3d.de](http://www.hpi3d.de)

Daten (u.a.) bereitgestellt von:



**SHH** STADT  
ESSEN

**ALLTERRA**  
AllTerra Deutschland GmbH

**AEROWEST**  
Geodata On Demand

Fachhochschule Kiel  
University of Applied Sciences

49



04.12.2020

3D-Punktwolken in der Praxis – Auswertung durch KI

Copyright © 2020 Rico Richter / Point Cloud Technology GmbH. All rights reserved.



# Virtual Reality in der Geodäsie – Ein neuer Blickwinkel auf geodätische Messdaten

Peter Bauer | Werner Lienhart



## Virtual Reality in der Geodäsie Ein neuer Blickwinkel auf geodätische Messdaten



Peter Bauer



Werner Lienhart

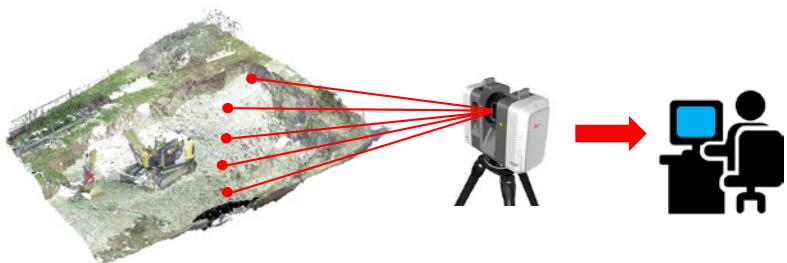


## Standardaufgabe



### Szenario: Baugrube

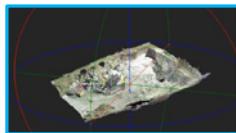
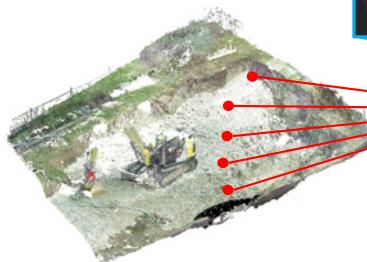
- Terrestrisches Laserscanning zur Vermessung



## Standardaufgabe

### Szenario: Baugrube

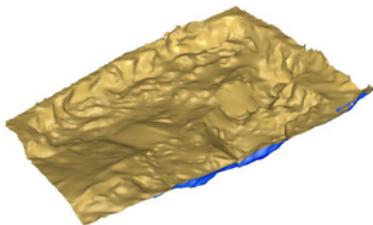
- Punktfolge kann am Bildschirm rotiert/ verschoben/ skaliert werden



## Einsatz von Standard-Software

### Szenario: Baugrube

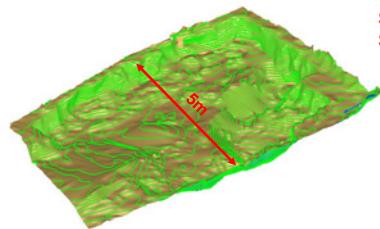
- Punktfolge wird vermascht



## Einsatz von Standard-Software

### Szenario: Baugrube

- Punktfolie wird vermascht => Kubatur bzw. Höhenlinien



Standard-Workflow liefert in einfachen Szenarien zufriedenstellendes Ergebnis



## Komplexe 3D Datensätze

### Szenario: Gebäude

- Überlappende Strukturen und Fokus auf Innenraum

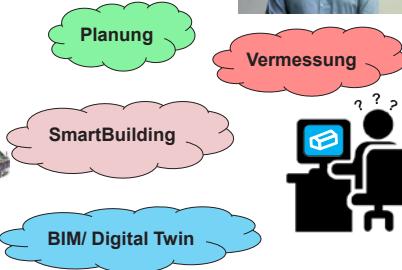
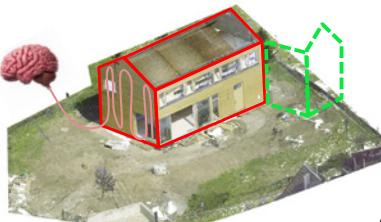


Institut für Ingenieurgeodäsie und Messsysteme (IGMS) 

## Komplexe 3D Datensätze

**Szenario: Gebäude**

- Überlappende Strukturen und Fokus auf Innenraum



Technische Universität Graz 04.12.2020 Terrestrisches Laserscanning 2020 7

Institut für Ingenieurgeodäsie und Messsysteme (IGMS) 

## Komplexe 3D Datensätze

**Szenario: Gebäude**

- Handling komplexer 3D Daten über Schnitte



Technische Universität Graz 04.12.2020 Terrestrisches Laserscanning 2020 8

## Komplexe 3D Datensätze



### Szenario: Gebäude

- Schnitte erlauben nur Blickrichtung orthogonal zur Ebene



## Einsatz von Standard Software



### Szenario: Gebäude

- Eingeschränkte Repräsentation des 3D Datensatzes durch Schnitte

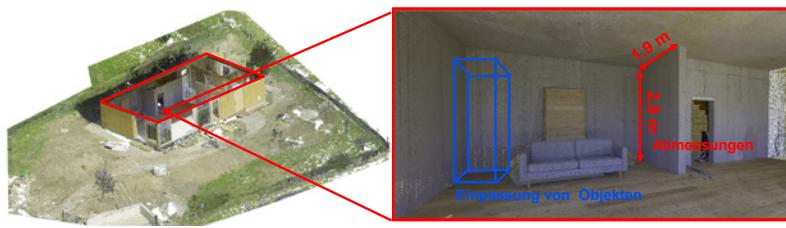


3D Ansicht aus der Ego Perspektive

## Einsatz von Standard Software

### Szenario: Gebäude

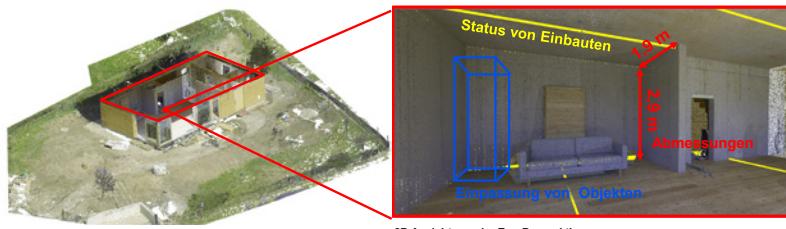
- Durchführung der Aufgaben direkt in den 3D Daten



## Einsatz von Standard Software

### Szenario: Gebäude

- Durchführung der Aufgaben direkt in den 3D Daten



## Virtual Reality

### Prinzip

- 2D Monitor wird ersetzt durch Head Mounted Display (HMD)

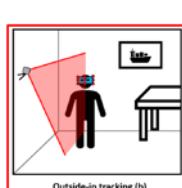


Quelle: www.vive.com

## Virtual Reality

### Prinzip

- Die Position und Orientierung aller Komponenten wird von einem Positionierungssystem bestimmt

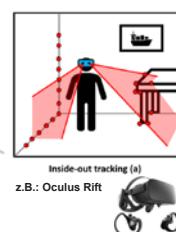


z.B.: HTC Vive Pro

Genauigkeitsuntersuchungen (Bauer et al., 2020)



Quelle: www.vive.com

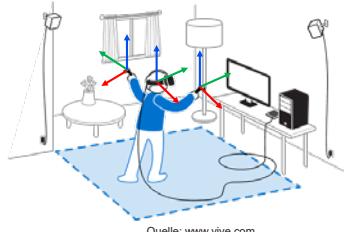


z.B.: Oculus Rift

## Virtual Reality

### Prinzip

- Die Position und Orientierung aller Komponenten wird von einem Positionierungssystem bestimmt

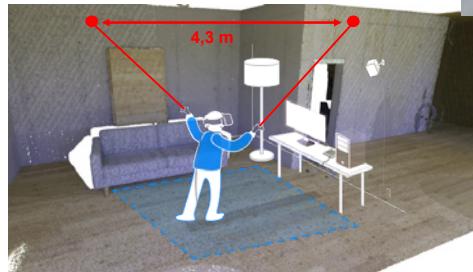


Quelle: www.vive.com

## Virtual Reality

### Verwendung

- Handhabung von 3D Inhalten aus der Ego Perspektive



Institut für Ingenieurgeodäsie und Messsysteme (IGMS)

**Virtual Reality**



**TU** Graz

IGMS

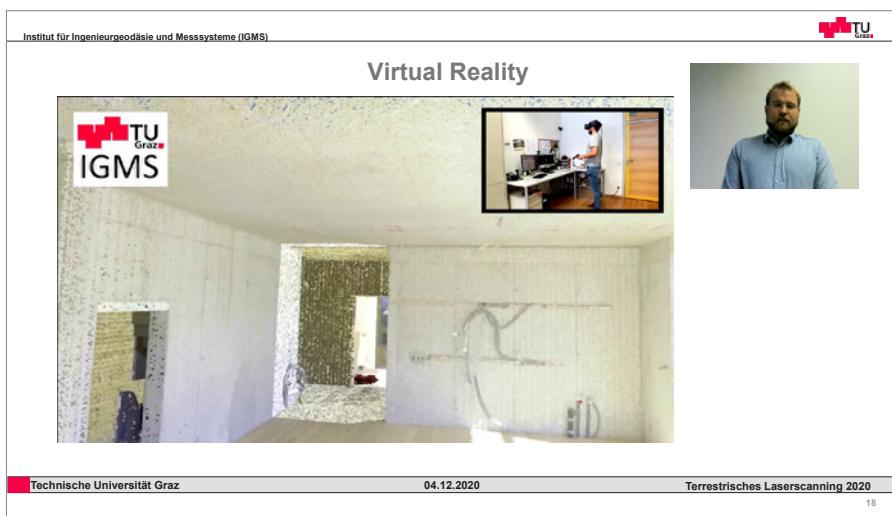
04.12.2020

Terrestrisches Laserscanning 2020

17

Institut für Ingenieurgeodäsie und Messsysteme (IGMS)

**Virtual Reality**



**TU** Graz

IGMS

04.12.2020

Terrestrisches Laserscanning 2020

18

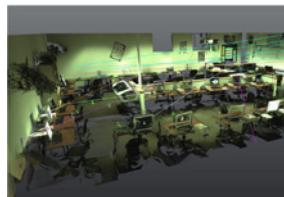
## State of the Art

### Verwendung von VR Technologie in anderen Disziplinen

- Cultural Heritage
- Forensics



[www.cyark.com](http://www.cyark.com)



New Mexico State Police, HxGN live 2019

## State of the Art

### Verwendung in der Geodäsie

- Überwiegender Einsatz auf Messen und Konferenzen
- Kommerzielle Produkte vorhanden

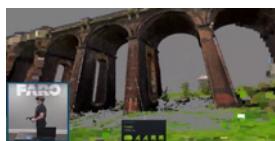


**Leica**  
Geosystems



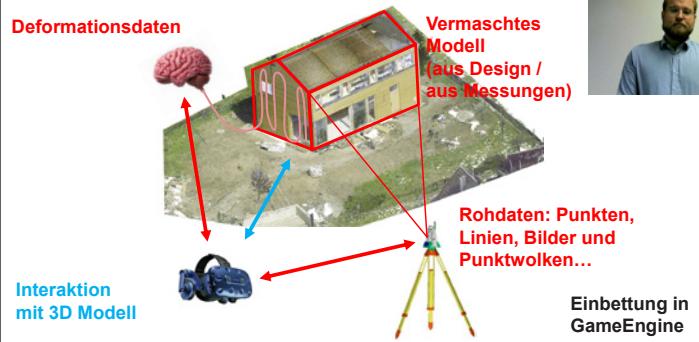
Quelle: <https://leica-geosystems.com>

**FARO**



Quelle: <https://de-knowledge.faro.com>

## Maßgeschneiderte VR Anwendungen

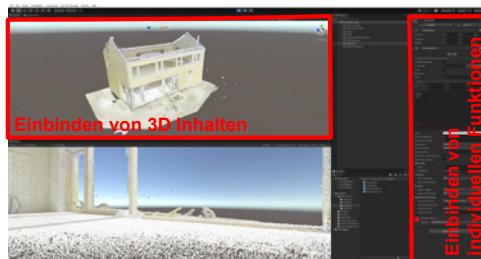


## Verwendung von GameEngines



### GameEngines

- 3D Entwicklungsumgebung aus der Unterhaltungsindustrie
- Einbinden von Scripts, 3D Objekten und VR Technologie



Gängige Vertreter:



UNREAL  
ENGINE



## Verwendung von GameEngines



### Maßgeschneiderte VR Anwendungen mit GameEngines

- Unity als 3D Entwicklungsumgebung
- Adaptierung von frei zugänglichem Source Code der TU Wien (S. Fraiss, 2017)
- Anwendung beliebig erweiterbar



Implementierung  
eigener Routinen  
in C#

Portal für frei  
zugänglichen  
Source code



## Gamification



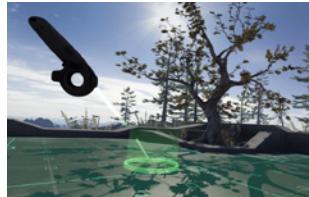
### Use of video gaming elements in a non video gaming context

- Unterhaltungssektor: Jahrzehnte alte Erfahrungswerte mit 3D Inhalten

## Gamification

### Use of video gaming elements in a non video gaming context

- Unterhaltungssektor: Jahrzehnte alte Erfahrungswerte mit 3D Inhalten
- Mit einem technischen Hintergrund können diese Erfahrungswerte auch auf Geodätischen 3D Inhalten angewendet werden
  - Navigation in 3D Daten

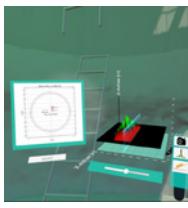


Quelle: SteamVR Home

## Gamification

### Use of video gaming elements in a non video gaming context

- Unterhaltungssektor: Jahrzehnte alte Erfahrungswerte mit 3D Inhalten
- Mit einem technischen Hintergrund können diese Erfahrungswerte auch auf Geodätischen 3D Inhalten angewendet werden
  - Navigation in 3D Daten
  - "In-Game" Menüführung



Tunnelschacht: IGMS, TU Graz

## Gamification

### Use of video gaming elements in a non video gaming context

- Unterhaltungssektor: Jahrzehnte alte Erfahrungswerte mit 3D Inhalten
- Mit einem technischen Hintergrund können diese Erfahrungswerte auch auf Geodätischen 3D Inhalten angewendet werden
  - Navigation in 3D Daten
  - "In-Game" Menüführung
  - Ansprechendes Design durch moderne Renderer



Kirche: IGMS, TU Graz

## Anwendungsbeispiel

### SIBS Projekt (Kalenjuk et al., 2019)

- Monitoring von Stützbauwerken mit Mobile Mapping
- Entwicklung eines Workflows zur automatisierten Auswertung



## Anwendungsbeispiel

### Aufbereitung der Ergebnisse?

- Einbindung der Daten in eine VR Anwendung



## Anwendungsbeispiel

### Rolle der Punktwolke

- Liefert Deformationsdaten
- Dient aber hier in der VR Anwendung als "Spielwelt"



## Anwendungsbeispiel



### Rolle der Punktwolke

- Liefert Deformationsdaten
- Dient aber hier in der VR Anwendung als "Spielwelt"
- Übergang auf ein vermaschtes Modell (leichterer Umgang in Unity)

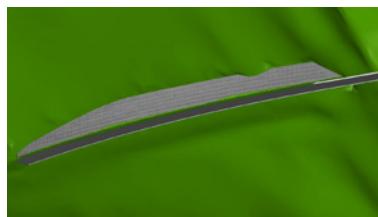


## Anwendungsbeispiel



### Rolle der Punktwolke

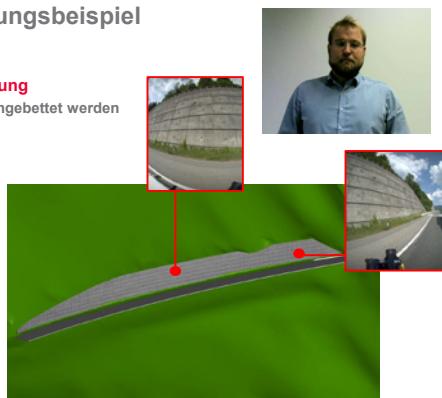
- Liefert Deformationsdaten
- Dient aber hier in der VR Anwendung als "Spielwelt"
- Übergang auf ein vermaschtes Modell (leichterer Umgang in Unity)
- Erweiterung um DGM



## Anwendungsbeispiel

### Einbindung von Daten in die VR Anwendung

- Bilder mit Ortsbezug können ins Modell eingebettet werden



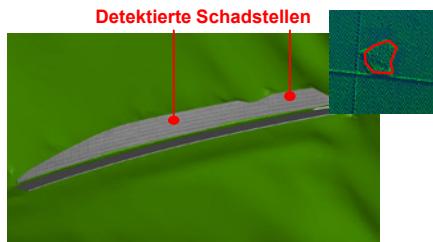
## Anwendungsbeispiel

### Einbindung von Daten in die VR Anwendung

- Detektierte Schadstellen mit Metainformation können eingebunden werden



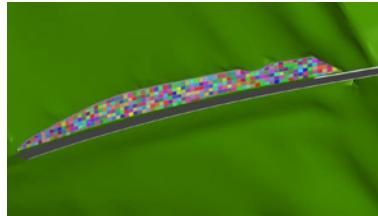
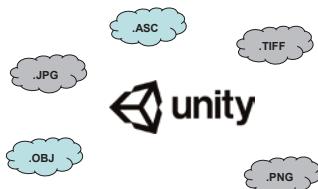
Detektierte Schadstellen



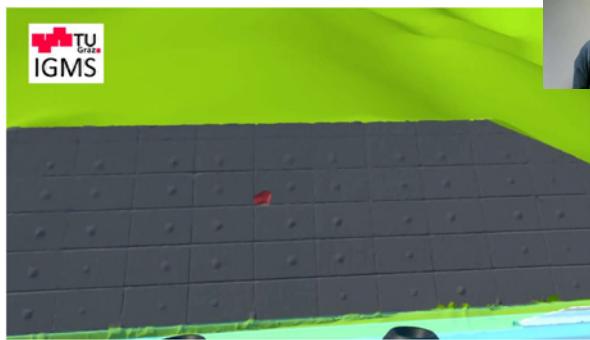
## Anwendungsbeispiel

### Einbindung von Daten in die VR Anwendung

- Segmentierte Bauteile mit Metainformation können eingebunden werden

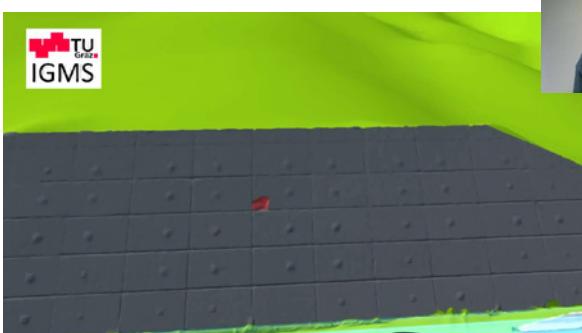


## Aufbereitete Daten als VR Simulation



Institut für Ingenieurgeodäsie und Messsysteme (IGMS)

**Aufbereitete Daten als VR Simulation**



Technische Universität Graz 04.12.2020 Terrestrisches Laserscanning 2020 37

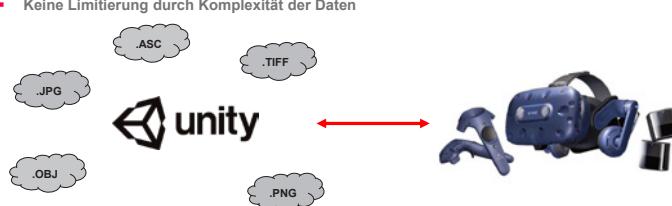
Institut für Ingenieurgeodäsie und Messsysteme (IGMS)

**Erprobung der VR Technologie**



**VR System als Datenschnittstelle**

- Daten können geladen, manipuliert und exportiert werden
- Die Erstellung der VR Anwendung lässt sich in Unity weitgehend automatisieren
- Keine Limitierung durch Komplexität der Daten



Technische Universität Graz 04.12.2020 Terrestrisches Laserscanning 2020 38

## Handhabung von 2.5D Daten



### Konventionelle Software

- Optimiert für 2.5D Daten
- Maus und Keyboard haben sich über Jahrzehnte bewährt
- Großer Komfort (Langzeitnutzung)



Quelle: [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com)



## Handhabung von 3D Daten



### Konventionelle Software

- Limitierungen bei steigender Komplexität



Quelle: [www.dkepro.com](http://www.dkepro.com)



## Handhabung von 3D Daten

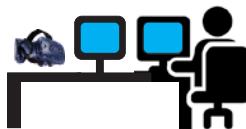
### VR Anwendung

- Platzierung des Users direkt in dem Datensatz



Quelle: <http://www.dkepro.com>

## Fazit und Ausblick



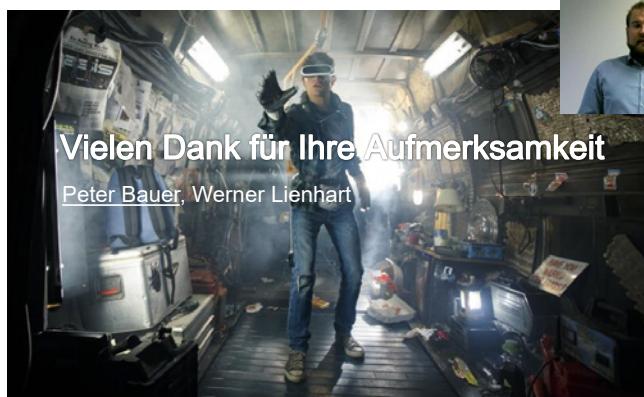
**Aufgrund der Vorteile von VR und der Vorteile von konventioneller Software muss VR im Bereich Geodäsie als sinnvolles Add-on zu bestehender Software verstanden werden und nicht als Ersatz**

## Referenzen



Bauer P, Jost S, Lienhart W, (2020) Beurteilung der Eignung eines VR-Systems als 3D-Koordinatenmesssystem, Beiträge zum 19.internationalen Ingenieurvermessungskurs München, Wichmann Verlag, ISBN 978-3-87907-672-7, S.15-25

Kalenjuk S, Lienhart W, Rebhan MJ, Marte R (2019) Large-scale monitoring of retaining structures: new approaches on the safety assessment of retaining structures using mobile mapping, Proceedings Volume 10970, Sensors and Smart Structures Technologies for Civil, Mechanical, and Aerospace Systems 2019; 109700T



Quelle: Ready Player One, Warner Bros. GmbH

# Visualisierung von 3D-Punktwolken als immersives Erlebnis in Virtual Reality

Thomas P. Kersten



194. DVW-Seminar "Terrestrisches Laserscanning 2020 (TLS 2020)", Digitale Live-Diskussion, 4. Dezember 2020

## Inhalt der Präsentation

- Einführung
- Virtuelle Realität & Immersion
- Visualisierung von Punktwolken
- Workflow
- Game Engine & Virtual Reality System
- Performance einer VR-Applikation
- Punktwolken in Virtual Reality
- Fazit & Ausblick

© www.viertelssechstelhertz.de



hcu HafenCity Universität Hamburg

Labor für Photogrammetrie & Laserscanning



**1. Einführung**

■ Die neue Realität – Virtual Reality (VR) hat das Potenzial, die Art zu verändern, wie wir die Welt wahrnehmen – überall und für jeden

[Labor für Photogrammetrie & Laserscanning](#)



**hcu** HafenCity Universität Hamburg

STADE 1620

■ Zeitreise in die Vergangenheit mit VR!



**1. Einführung**

**■ Sinnestäuschung**





## 1. Einführung

- Virtual Reality – zunehmende Bedeutung in zahlreichen Fachdisziplinen
- VR – starke Verbreitung im Konsumemarkt durch preisgünstige Systeme
- 3D-Welten für Jedermann/-frau
- Aufgaben für Geodäsie, Photogrammetrie und benachbarte Fächer?
- Virtual Reality – neue Visualisierungstechnologie für 3D-Geodaten?
- Was brauchen wir für immersive VR-Erlebnisse?



Labor für Photogrammetrie & Laserscanning



## 2. Virtuelle Realität & Immersion



- Als **virtuelle Realität (VR)** wird die Darstellung und gleichzeitige Wahrnehmung der Wirklichkeit und ihrer physikalischen Eigenschaften in einer in Echtzeit computer-generierten, interaktiven virtuellen Umgebung bezeichnet.
- **Immersion** (fachsprachlich „Eintauchen“) beschreibt den durch eine Umgebung der **Virtuellen Realität (VR)** hervorgerufenen Effekt, der das Bewusstsein des Nutzers, illusorischen Stimuli ausgesetzt zu sein, so weit in den Hintergrund treten lässt, dass die virtuelle Umgebung als real empfunden wird.
- Man spricht von einer **immersiven virtuellen Umgebung** („immersive virtual environment“), wenn es dem Benutzer ermöglicht wird, direkt mit dieser zu **interagieren**.





## 2. Virtuelle Realität & Immersion

- Mixed Reality Continuum
- Paul Milgram (1994): Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays

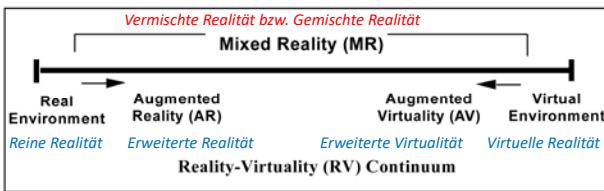
*Vermischte Realität bzw. Gemischte Realität*

**Mixed Reality (MR)**

Real Environment   Augmented Reality (AR)   Augmented Virtuality (AV)   Virtual Environment

Reine Realität   Erweiterte Realität   Erweiterte Virtualität   Virtuelle Realität

**Reality-Virtuality (RV) Continuum**



Labor für Photogrammetrie & Laserscanning

**hcu** HafenCity Universität Hamburg



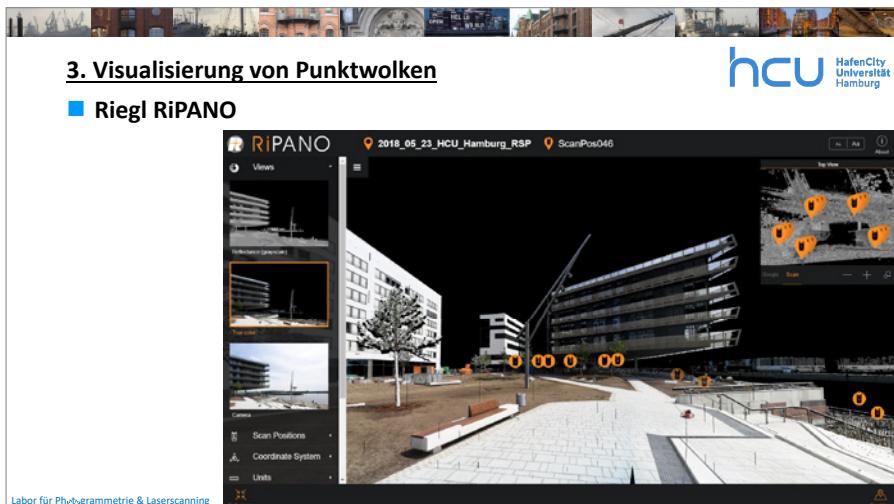
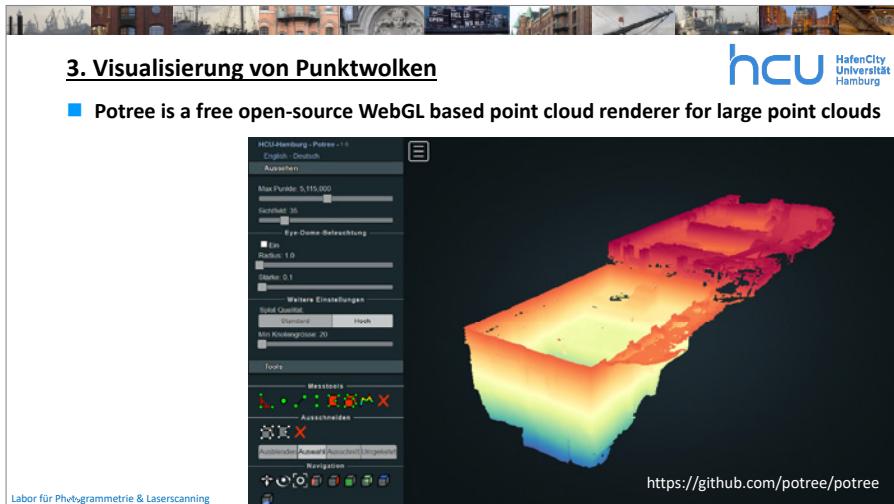
## 3. Visualisierung von Punktwolken

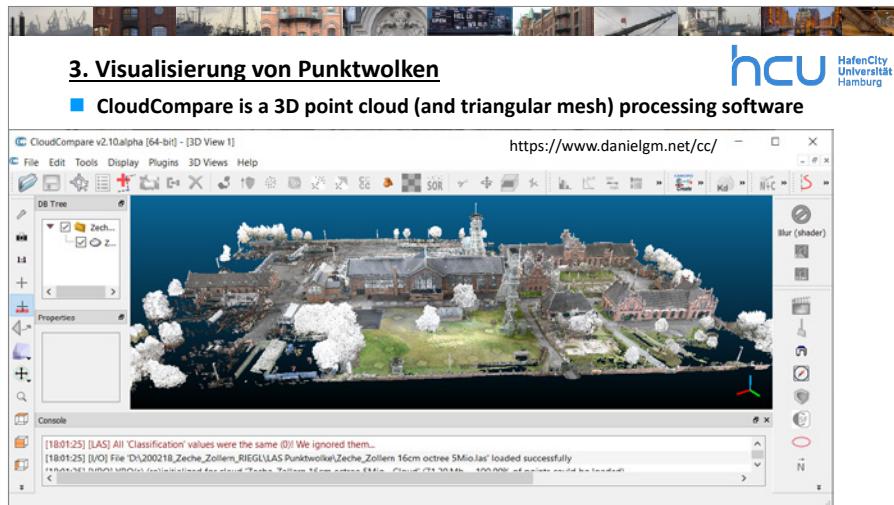
- Leica TruView



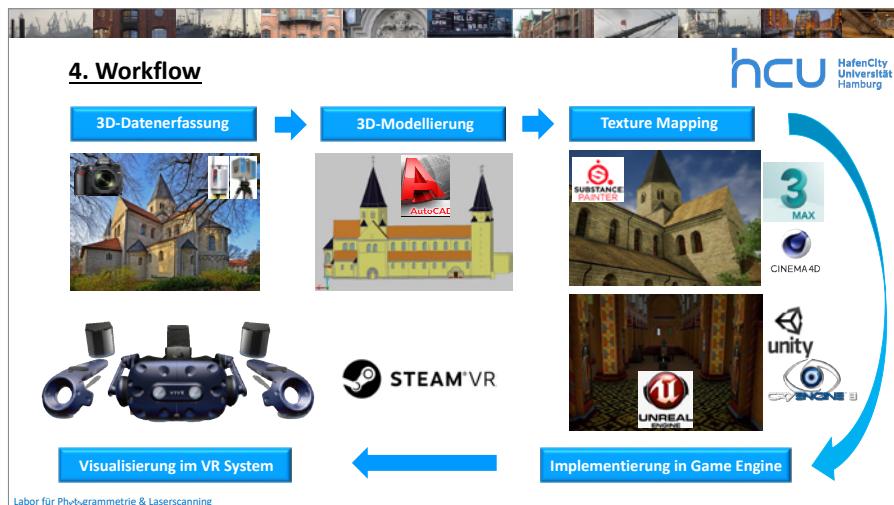
Labor für Photogrammetrie & Laserscanning

**hcu** HafenCity Universität Hamburg

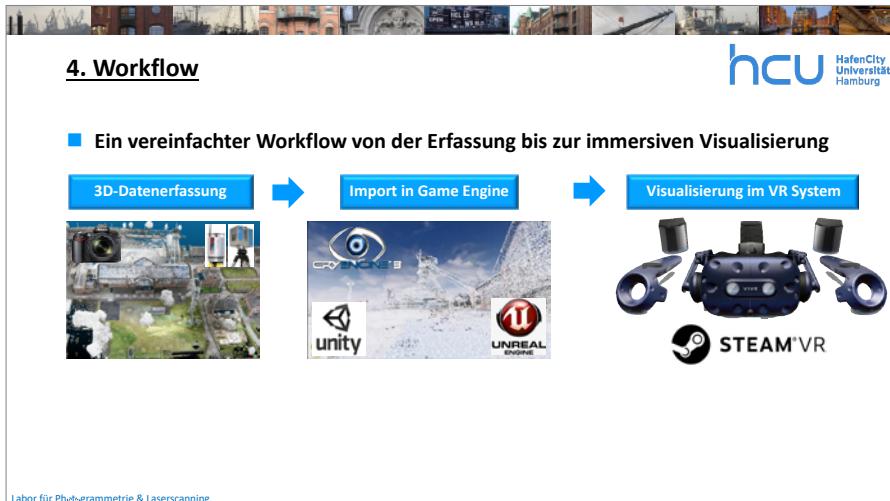




#### 4. Workflow



Labor für Photogrammetrie & Laserscanning





**5. Game Engine & Virtual Reality System**

- HTC Vive = Virtual-Reality-Headset (2016)
- Entwickelt durch HTC und Valve Corporation
- Markteinführung am 5. April 2016

**hcu** HafenCity Universität Hamburg

Diagram labels: Lighthouse-Basisstationen für das Tracking, Tracking-Netzwerk, VR-Brille, Ladekabel, Kabellose Motion Controller, Programmierbare Tasten am Controller.



**5. Game Engine & Virtual Reality System**

- Game Engine – Unreal von Epic Games (visuelle Programmierung mit Blueprints)
- STEAM VR – Schnittstelle zwischen Game Engine & HTC Vive
- VR-System HTC Vive Pro (seit 2018)
- Tracking der Controller & Brille durch IR-Laser der Basisstationen
- Freie Bewegung im definierten Tracking-Raum – max.  $4.6 \times 4.6$  m
- Interaktionen mit VR-Umgebung durch Controller

**hcu** HafenCity Universität Hamburg

Diagram labels: Lighthouse-Basisstationen für das Tracking, Tracking-Netzwerk, VR-Brille, Ladekabel, Kabellose Motion Controller, Programmierbare Tasten am Controller.

Logos: Unreal, Steam VR, htc VIVE.

Labor für Photogrammetrie & Laserscanning

**5. Game Engine & Virtual Reality System**

- Game Engine – Unreal (visuelle Programmierung mit Blueprints)

Segel der Peking

LEVEL BLUEPRINT

hcu HafenCity Universität Hamburg

**6. Performance einer VR-Applikation**

- Ziel – Prozessorleistung für VR-System mit 90 FPS (ideal)
- Vergleich verschiedener Rechner

Performance-Vergleich für das CAD-Modell

Ansicht	Labor	Helava	Heimrechner
Ansicht 1	~145	~140	~140
Ansicht 2	~195	~175	~155
Ansicht 3	~130	~110	~125
Ansicht 4	~185	~175	~165
Ansicht 5	~195	~185	~175

Ansicht 1

Ansicht 2

Ansicht 3

Ansicht 4

Ansicht 5

Fort Al Zubarah, Katar

UNREAL ENGINE

hcu HafenCity Universität Hamburg

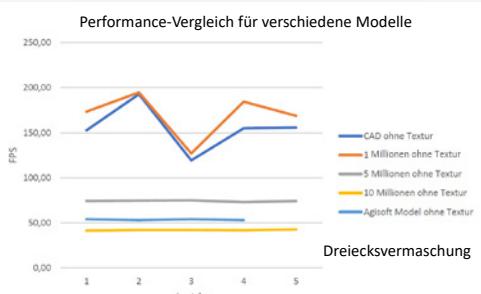
Labor für PhW-Konometrie & Laserscanning



## 6. Performance einer VR-Applikation

- Ziel – Prozessorleistung für VR-System mit 90 FPS (ideal)
- Vergleich verschiedener Modelle

Performance-Vergleich für verschiedene Modelle



Dreiecksvermaschung	CAD ohne Textur	1 Millionen ohne Textur	5 Millionen ohne Textur	10 Millionen ohne Textur	Agisoft Model ohne Textur
1	~150	~170	~80	~80	~80
2	~180	~200	~80	~80	~80
3	~130	~140	~80	~80	~80
4	~160	~190	~80	~80	~80
5	~160	~180	~80	~80	~80

Fort Al Zubarah, Katar

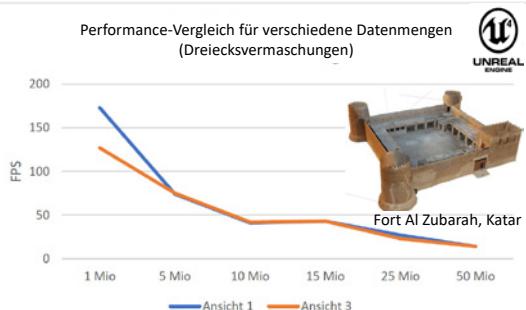
UNREAL Engine




## 6. Performance einer VR-Applikation

- Ziel – Prozessorleistung für VR-System mit 90 FPS (ideal) – Datenmenge?

Performance-Vergleich für verschiedene Datenmengen (Dreiecksvermaschungen)

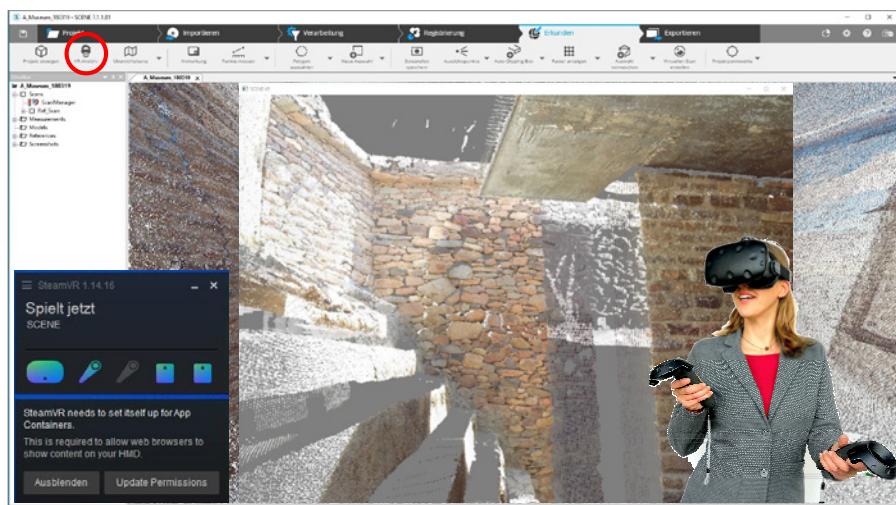
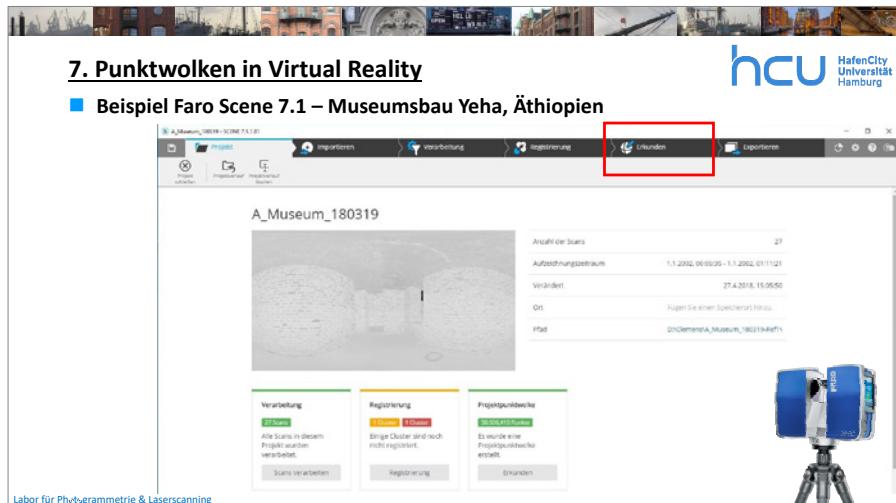


Datenmenge (Dreiecksvermaschungen)	Ansicht 1	Ansicht 3
1 Mio	~180	~130
5 Mio	~80	~60
10 Mio	~50	~45
15 Mio	~45	~40
25 Mio	~35	~30
50 Mio	~25	~20

Fort Al Zubarah, Katar

UNREAL Engine

Labor für Photogrammetrie & Laserscanning





#### 7. Punktwolken in Virtual Reality



**7. Punktwolken in Virtual Reality**

- Beispiel UAV-Punktwolke in der Game Engine Unreal 4.25 – Zeche Zollern Dortmund
- UAV Coptersystems Multicopter, Kamera Phase One IXU1000 (100 MPix) – 295 Fotos
- LAS-Format 2,1 GB – 82,5 Mio. Punkte

Grüne Punkte = definierte Navigationsfläche

Labor für Photogrammetrie & Laserscanning

**hcu** HafenCity Universität Hamburg

**UNREAL ENGINE**

**7. Punktwolken in Virtual Reality**

- Beispiel UAV-Punktwolke in der Game Engine Unreal 4.25 – Zeche Zollern Dortmund

- Navigationsoptionen – Gehen in der Interaktionsfläche, Teleportation und Fliegen
- Variable Pixelgröße in UE4 – 0,0 = Original, 0,4 etwas vergrößert
- Skalierung der gesamten Punktwolke durch Knopf am Controller
- Optionen – Streckenmessungen, Modellierung, Multi-User, ... (z.Z. nicht programmiert)

Multi-User









## 7. Punktwolken in Virtual Reality

- Datenvergleich in der Game Engine Unreal 4.25 – Bürgerhaus Bad Segeberg
- Digitale Spiegelreflexkameras Nikon D70/D90 – 224 Fotos in Agisoft Metashape



Bildbasierte Punktwolke  
7,1 Mio. Punkte  
LAS-Format 203 MB

Dreiecksvermaschung  
1,6 Mio. Dreiecke  
OBJ-Format 139 MB







**7. Punktwolken in Virtual Reality**

■ **Vortrag: 3D Punktwolken – Analyse und Visualisierung massiver 3D Punktwolken**

**Sören Discher**

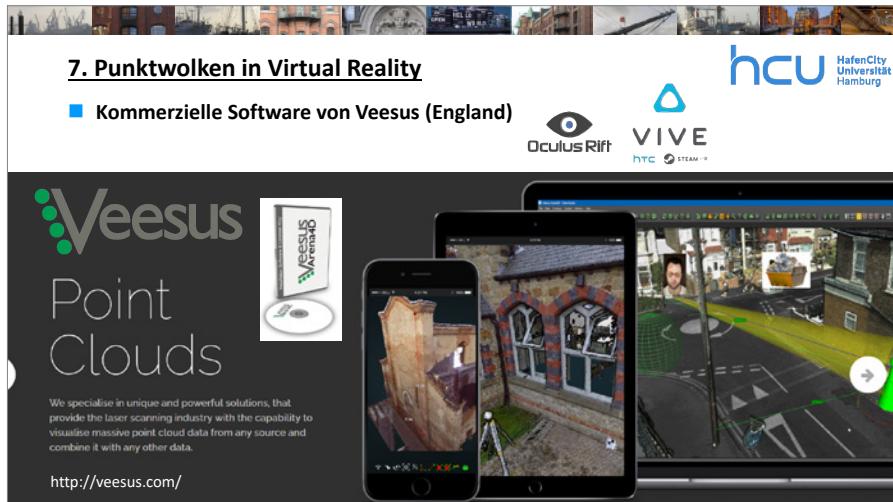
**hcu** HafenCity Universität Hamburg

**HPI** Hasso Plattner Institut

**INTERGEO DIGITAL 2020**  
OCTOBER 13–15

**DGPF**

Labor für Photogrammetrie & Laserscanning



**7. Punktwolken in Virtual Reality**

■ **Kommerzielle Software von Veesus (England)**

**Veeus** Point Clouds

We specialise in unique and powerful solutions, that provide the laser scanning industry with the capability to visualise massive point cloud data from any source and combine it with any other data.

<http://veesus.com/>

**hcu** HafenCity Universität Hamburg

**Oculus Rift**

**VIVE** HTC STEAM



**7. Punktwolken in Virtual Reality**

■ Projekt VirScan3D: Simulator für einen terrestrischen Laserscanner – ein Ausbildungswerkzeug für Studenten der Geomatik und Ingenieurwissenschaften

Laserscanner Leica BLK 360

Chizhova, M., Popovas, D., Gorkovchuk, D., Gorkovchuk, J., Hess, M., & Luhmann, T. (2020). Virtual Terrestrial Laser Scanner Simulator for Digitalisation of Teaching Environment: Concept and First Results. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 43, 91-97.

hcu HafenCity Universität Hamburg

Lab für Photogrammetrie & Laserscanning



**8. Fazit & Ausblick**

■ HCU-Projekte in Virtual Reality

Selimiye Moschee Edime

Duisburg 1566

Stade 1620

Arctic Clyde Inlet Canada

Salomonischer Tempel

Westerturm Buderstadt

Sternwarte Hamburg-Bergedorf

Fort Rumeli Hisarı Istanbul, Türkei

VM Alt-Seeberger Bürgerhaus

Grat Be'al Gebri Yeha

Almaqah-Tempel Yeha

Segeberg 1600

hcu HafenCity Universität Hamburg

Lab für Photogrammetrie & Laserscanning



## 8. Fazit & Ausblick

- **Punktwolken in VR → immersives Erlebnis**
- **Große Datenmenge → kein Performance-Problem (max. 2 Bill. Punkte in UE4)**
- **Anforderung → Gaming Computer mit guter Graphikkarte & viel RAM (> 32 GB)**
- **Verschiedene Game Engines verfügbar (verbreitet → Unity | Unreal)**
- **Punktwolken in VR → kein Ersatz für texturierte 3D-Modelle in VR**
- **Einfacher Workflow → Navigation & Interaktionen programmierbar**
- **Anwendungen → reine immersive Visualisierung, Kollisionsprüfung, ...**
- **Zukunft → Massive Datenmenge, Echtzeit-Dreiecksvermaschung & Texturierung?**
- **Zukunft → Echtzeit-Visualisierung von Punktwolken autonomer Systeme?**





## Session 3: Monitoring in der Praxis



# Monitoring von Brücken (mit Laserscannern)

C. Hesse | N. Krause | M. Frenz | I. Neumann | F. Hake | J.-A. Paffenholz



## Monitoring von Brücken (mit Laserscannern)

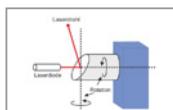
**C. Hesse, N. Krause, M. Frenz, I. Neumann, F. Hake, J.-A. Paffenholz**



**panta:ingenieure**



**TU Clausthal**



## Monitoring von Brücken

Anforderungen an die Messtechnik

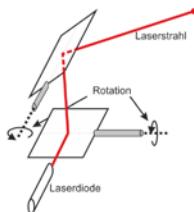
## Monitoring von Brücken

### Anforderungen

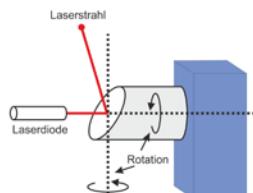
- Messposition häufig schwer zugänglich
- Typische Linienbauwerke
- Große Entfernung
- Schnelle ablaufende Deformationen
- Möglichst ganzheitliche Messung des Bauwerkes

## Akquisitionsprinzip bei Laserscannern

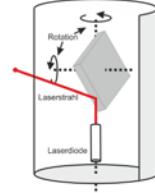
A)



B)



C)



## Erste Versuche 2006

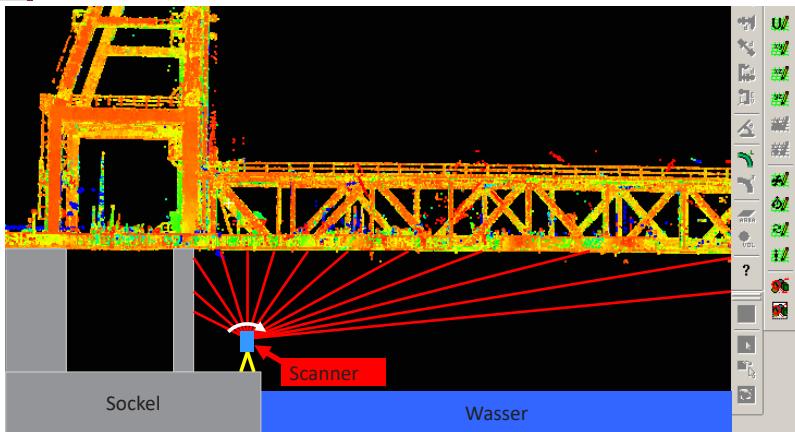


16.11.2020

Monitoring von Brücken

5

## Erste Versuche 2006



16.11.2020

Monitoring von Brücken

6



## Messaufgabe

Deformationsmessung Norderelbbrücke

16.11.2020

Monitoring von Brücken

7

## Die Norderelbbrücke



16.11.2020

Monitoring von Brücken

8

## Die Norderelbbrücke

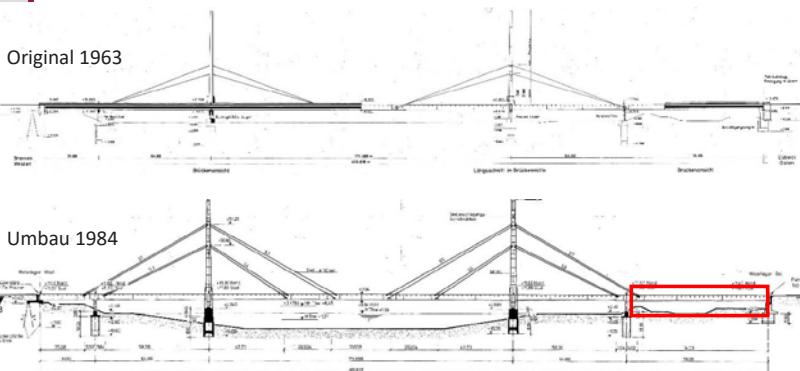
- 5-feldrige Schrägseilbrücke  
| 31 m | 64 m | 172 m | 64 m | 80 m |
- Baujahr 1963
- Eine der beiden zentralen Elbquerungen in Hamburg
- Herausragende Bedeutung für Fernverkehr
- 6 Fahrspuren + 2 Standstreifen
- Nachrechnungen werden durchgeführt  
-> Möglichst präzises Modell unterstützt durch Messungen

16.11.2020

Monitoring von Brücken

9

## Die Norderelbbrücke



16.11.2020

Monitoring von Brücken

10

## Schwertransport #3



16.11.2020

Monitoring von Brücken

11

## Belastungsversuch durch Schwertransport

- Großraum und Schwertransport (GST)
- Mehrere Lastversuche
  - 28.03.2019: 5 GST
- 117 t Gewicht durch Schiffsschraube / 184 t Gesamtgewicht
- Vollsperrung der Brücke angeordnet durch LSBG
- Transport von Ost (MV) nach West (HH)
- Fahrt in der Mitte der Richtungsfahrbahnen

16.11.2020

Monitoring von Brücken

12

## Schwertransport #5



16.11.2020

Monitoring von Brücken

13



## Messung

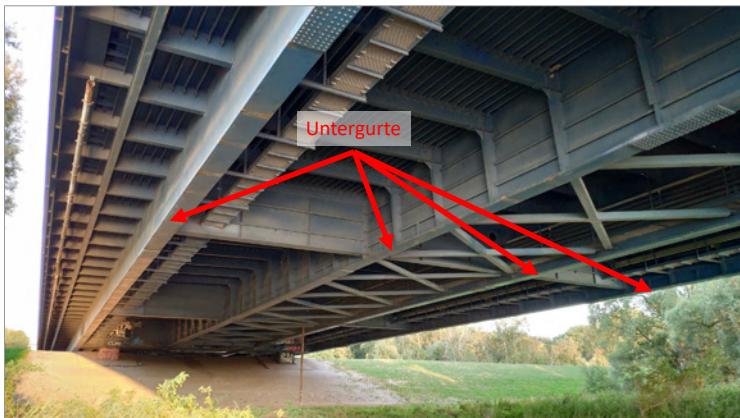
2D Profil-Laserscanning

16.11.2020

Monitoring von Brücken

14

## Brückenunterseite



16.11.2020

Monitoring von Brücken

15

## Messung Vertikaldeformation

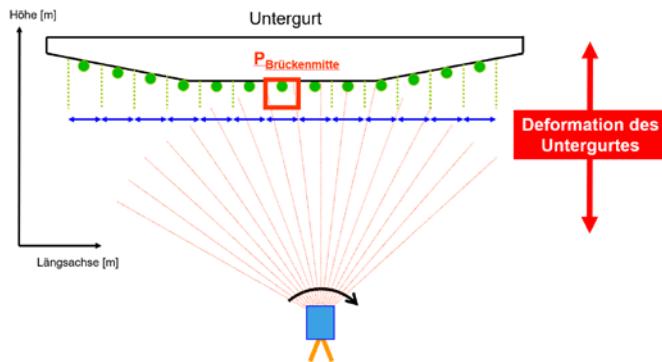


16.11.2020

Monitoring von Brücken

16

## Messanordnung



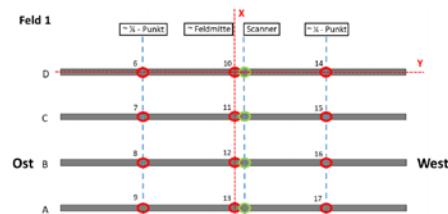
16.11.2020

Monitoring von Brücken

17

## Messkonfiguration

- Schwertransport mit 213 t
- Brückenzentrum ist etwa 78 m lang
- Feld hat
  - 4 Achsen (2 je Richtungsfahrbahn)
  - 3 Querschnitte
- Überfahrt: 45 s

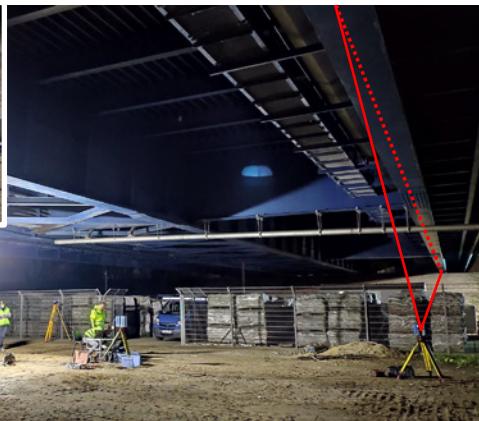


16.11.2020

Monitoring von Brücken

18

## Synchrones 2D Laserscanning



16.11.2020

Monitoring von Brücken

19

## Invar-Draht-Extensometer

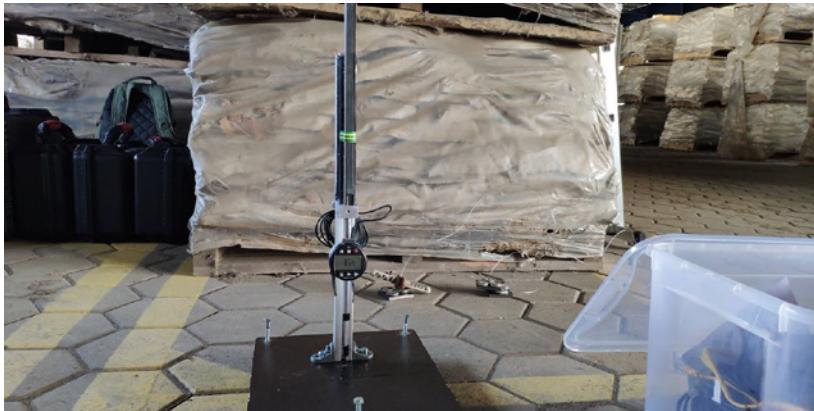


16.11.2020

Monitoring von Brücken

20

## Invar-Draht-Extensometer



16.11.2020

Monitoring von Brücken

21

## Herausforderungen



16.11.2020

Monitoring von Brücken

22

## Herausforderungen

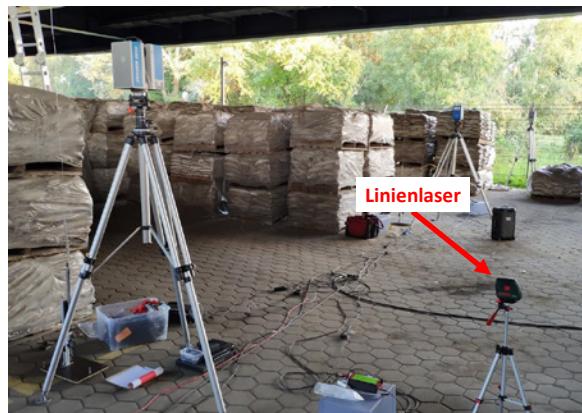


16.11.2020

Monitoring von Brücken

23

## Herausforderung: Ausrichtung



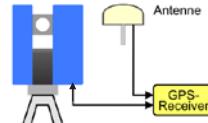
16.11.2020

Monitoring von Brücken

24

## Synchronisierung der Scanner

- 4 Scanner (Z+F)
- 2 GNSS Receiver
  - PPS out
  - Trigger input
- Genauigkeit: 0.01 s
- Datenvolumen 32 GB
  - Binäre Profildaten
  - „Triggerdatei“

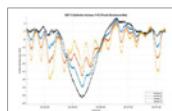


Brücke_EHRI_Skauer01zts	04.09.2018 23:05	295 Date	256,0 KB
Brücke_EHRI_96_part1zts	04.09.2018 23:06	295 Date	254,673 KB
Brücke_EHRI_96_part2zts	04.09.2018 23:08	295 Date	254,642 KB
Brücke_EHRI_96_part3zts	04.09.2018 23:09	295 Date	254,645 KB
Brücke_EHRI_96_part4zts	04.09.2018 23:11	295 Date	254,673 KB
Brücke_EHRI_96_part5zts	04.09.2018 23:12	295 Date	254,687 KB
Brücke_EHRI_96_part6zts	04.09.2018 23:13	295 Date	254,649 KB
Brücke_EHRI_96_part7zts	04.09.2018 23:15	295 Date	254,661 KB
Brücke_EHRI_96_part8zts	04.09.2018 23:17	295 Date	254,671 KB
Brücke_EHRI_96_part9zts	04.09.2018 23:18	295 Date	254,689 KB
Brücke_EHRI_96_part10zts	04.09.2018 23:20	295 Date	254,634 KB
Brücke_EHRI_96_part11zts	04.09.2018 23:21	295 Date	254,653 KB
Brücke_EHRI_96_part12zts	04.09.2018 23:22	295 Date	254,648 KB
Brücke_EHRI_96_part13zts	04.09.2018 23:23	295 Date	254,650 KB
Brücke_EHRI_96_part14zts	04.09.2018 23:24	295 Date	254,648 KB
Brücke_EHRI_96_part15zts	04.09.2018 23:25	295 Date	254,648 KB
Brücke_EHRI_96_part16zts	04.09.2018 23:26	295 Date	254,648 KB
Brücke_EHRI_96_part17zts	04.09.2018 23:27	295 Date	254,688 KB
Brücke_EHRI_96_part18zts	04.09.2018 23:28	295 Date	114,798 KB
Brücke_EHRI_96_zts	04.09.2018 23:28	295 Date	254,685 KB

16.11.2020

Monitoring von Brücken

25



## Auswertung

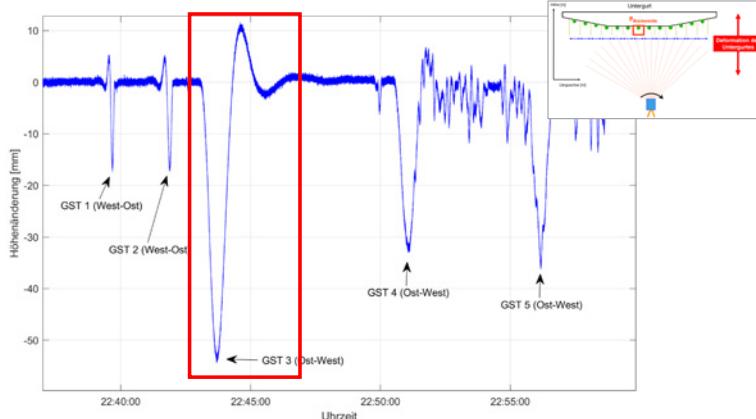
Zeitreihen und statische Nachrechnung

16.11.2020

Monitoring von Brücken

26

## GST3 Achse B - Brückenmitte

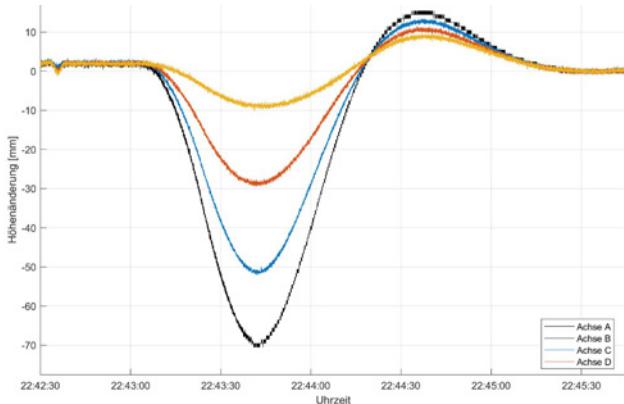


16.11.2020

Monitoring von Brücken

27

## GST3 Brückenmitte – Achsen A bis D

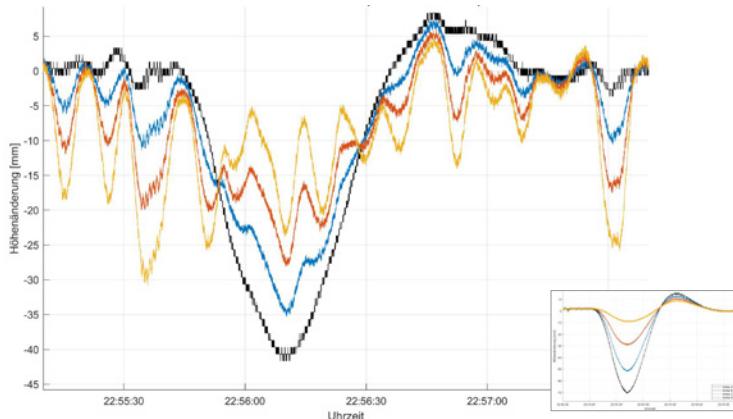


16.11.2020

Monitoring von Brücken

28

## GST5 Brückenmitte – Unter Verkehr

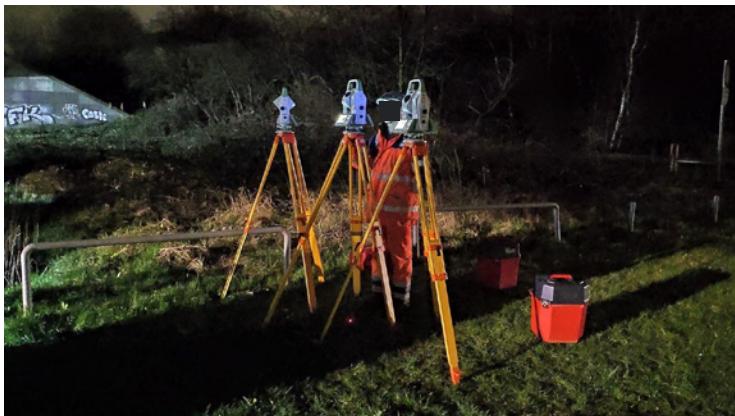


16.11.2020

Monitoring von Brücken

29

## Parallele Messung mit Leica MS60

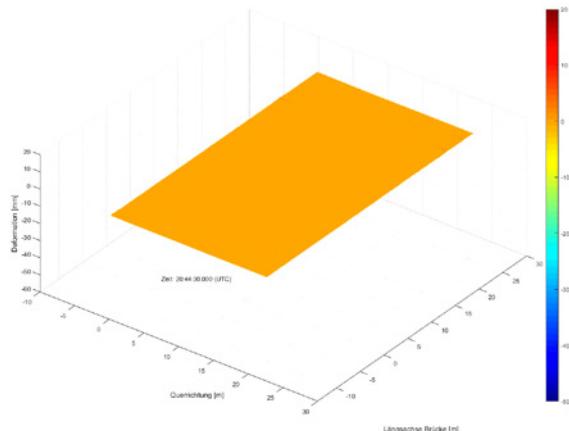


16.11.2020

Monitoring von Brücken

30

## Überfahrt des GST

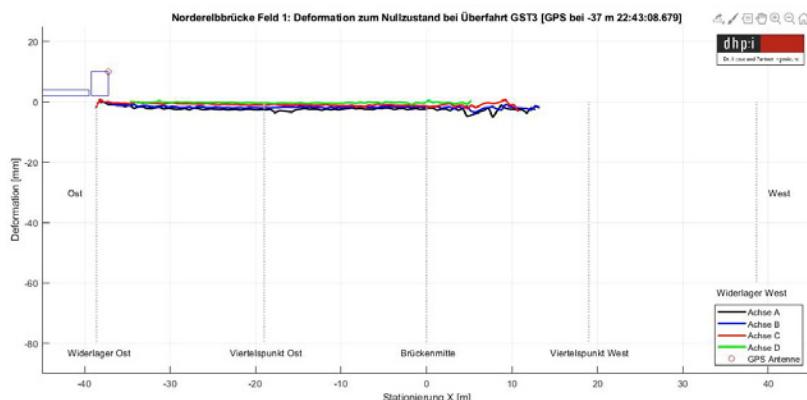


16.11.2020

Monitoring von Brücken

31

## Überfahrt GST3 mit Deformation

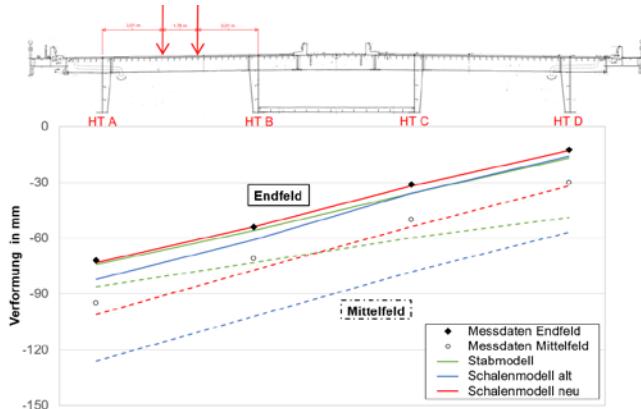


16.11.2020

Monitoring von Brücken

32

## Querschnittsverformung Feldmitte

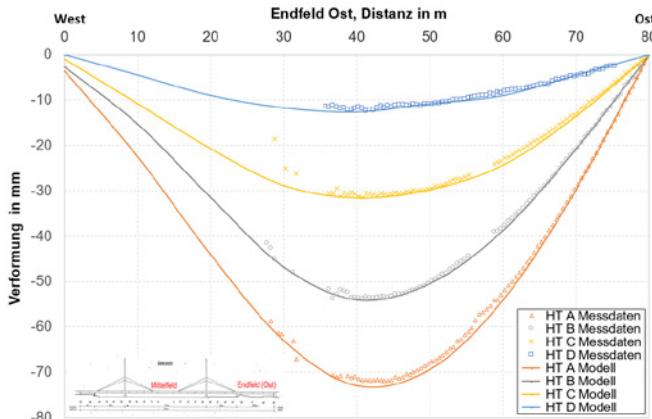


16.11.2020

Monitoring von Brücken

33

## Messung – kalibriertes Schalenmodell



16.11.2020

Monitoring von Brücken

34

# Vielen Dank!

Dr. Hesse und Partner Ingenieure  
Veritaskai 6, 21079 Hamburg  
[ch@dhp.com](mailto:ch@dhp.com)  
Tel: 040 5229919-020  
[www.dhpi.com](http://www.dhpi.com)

16.11.2020

Monitoring von Brücken

35

# Monitoring mit Profilscannern

Florian Schill | Andreas Eichhorn

## Monitoring mit Profilscannern



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT



04.12.2020 | Florian Schill, Andreas Eichhorn | 1

## Gliederung



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT

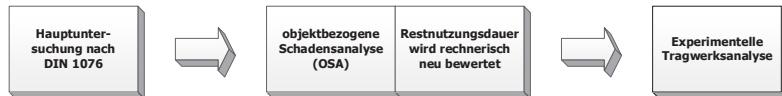
- ▶ Crashkurs: Überwachung von Tragwerken
- ▶ Monitoring mit Profilscannern
  - ▶ Eisenbahnbrücke: Urmitz
  - ▶ Autobahnbrücke: Siegtal
  - ▶ Eisenbahnbrücke: Schmutter
- ▶ Zusammenfassung

04.12.2020 | Florian Schill, Andreas Eichhorn | 2

## Crashkurs: Überwachung von Tragwerken am Beispiel von Brücken



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT



04.12.2020 | Florian Schill, Andreas Eichhorn | 3

## Crashkurs: Überwachung von Tragwerken am Beispiel von Brücken



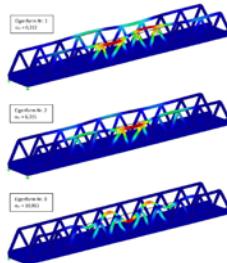
TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT



Hauptuntersuchung nach  
DIN 1076

04.12.2020 | Florian Schill, Andreas Eichhorn | 3

## Crashkurs: Überwachung von Tragwerken am Beispiel von Brücken

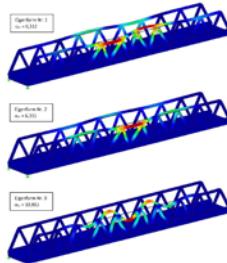


- ▶ Digitaler Zwilling:
  - ▶ Geometrie
  - ▶ Materialparameter
  - ▶ Sicherheitsbeiwerte



04.12.2020 | Florian Schill, Andreas Eichhorn | 3

## Crashkurs: Überwachung von Tragwerken am Beispiel von Brücken



- ▶ Digitaler Zwilling:
  - ▶ Geometrie
  - ▶ Materialparameter
  - ▶ Sicherheitsbeiwerte
- ▶ Komplexe oder unklare Schäden?
- ▶ Unstimmigkeiten bei Restnutzungsdauerberechnung



04.12.2020 | Florian Schill, Andreas Eichhorn | 3

## Crashkurs: Überwachung von Tragwerken

### Sensorinstallation



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT



- ▶ Sperrung/Sicherheit?
- ▶ Sensoranzahl und Position?
- ▶ Beschädigung notwendig?

04.12.2020 | Florian Schill, Andreas Eichhorn | 4

## Crashkurs: Überwachung von Tragwerken

### Verkabelung



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT



04.12.2020 | Florian Schill, Andreas Eichhorn | 4

## Crashkurs: Überwachung von Tragwerken

### Herausforderung: Verschiebungsmessungen (taktil)



04.12.2020 | Florian Schill, Andreas Eichhorn | 4

## Monitoring mit Profilscannern

### Eisenbahnbrücke Urmitz



- ▶ **Lasermessung**
  - ▶ Berührungslos
  - ▶ Zerstörungsfrei
  - ▶ Unabhängig von Umgebungsbedingungen
  - ▶ Augensicher
- ▶ **Messgeschwindigkeit: bis zu 200 Hz**
- ▶ **Messentfernung: bis zu 350 m**
- ▶ **hochgenaue GPS-Zeit**

04.12.2020 | Florian Schill, Andreas Eichhorn | 5

## Monitoring mit Profilscannern Eisenbahnbrücke Urmitz



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT

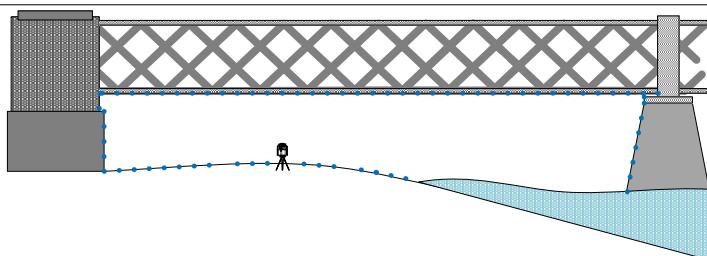


04.12.2020 | Florian Schill, Andreas Eichhorn | 5

## Monitoring mit Profilscannern Eisenbahnbrücke Urmitz: Längsprofil



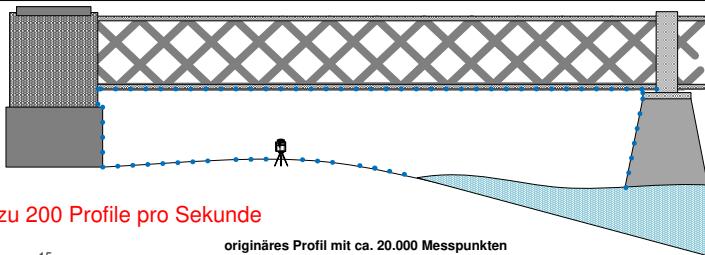
TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT



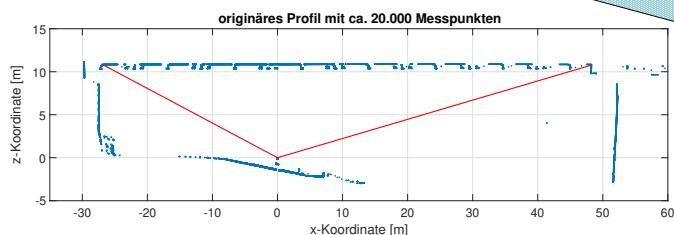
04.12.2020 | Florian Schill, Andreas Eichhorn | 6

## Monitoring mit Profilscannern

### Eisenbahnbrücke Urmitz: Längsprofil



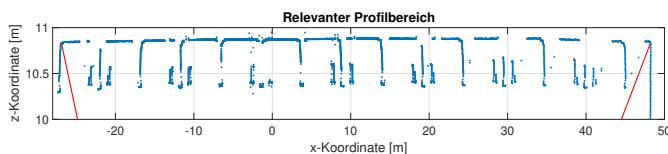
bis zu 200 Profile pro Sekunde



04.12.2020 | Florian Schill, Andreas Eichhorn | 6

## Monitoring mit Profilscannern

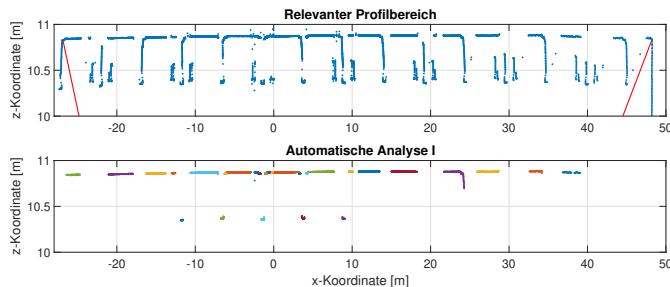
### Eisenbahnbrücke Urmitz: Automatische Analyse



04.12.2020 | Florian Schill, Andreas Eichhorn | 7

## Monitoring mit Profilschannern

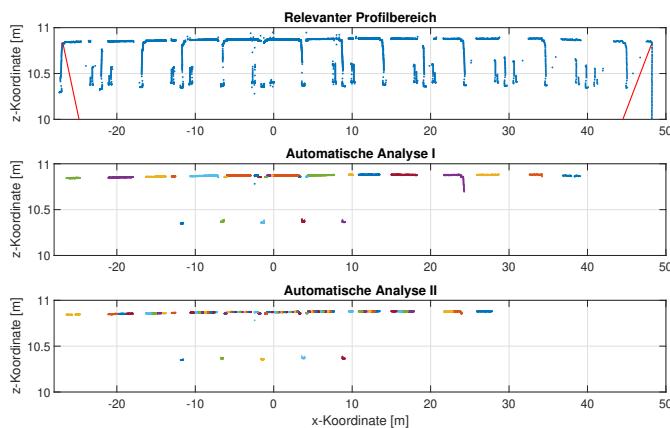
### Eisenbahnbrücke Urmitz: Automatische Analyse



04.12.2020 | Florian Schill, Andreas Eichhorn | 7

## Monitoring mit Profilschannern

### Eisenbahnbrücke Urmitz: Automatische Analyse

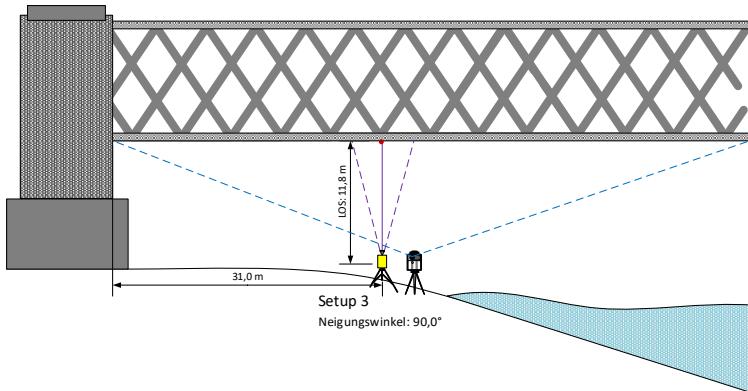


### Automatische Analyse II

04.12.2020 | Florian Schill, Andreas Eichhorn | 7

## Monitoring mit Profilscannern

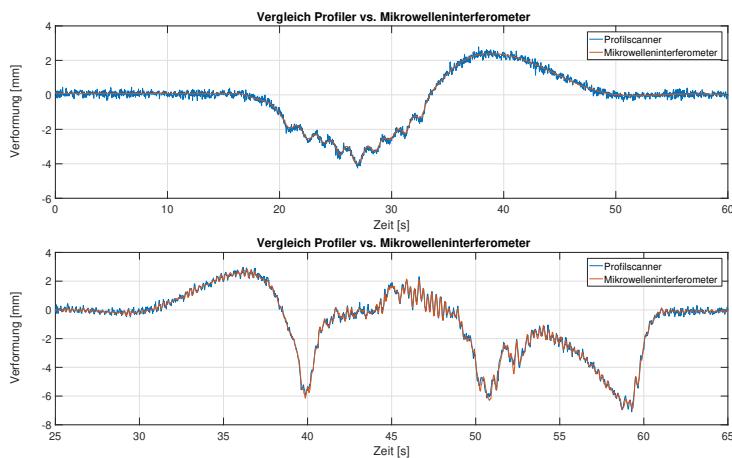
### Eisenbahnbrücke Urmitz: Vergleich mit IBIS-S



04.12.2020 | Florian Schill, Andreas Eichhorn | 8

## Monitoring mit Profilscannern

### Eisenbahnbrücke Urmitz: Vergleich mit IBIS-S



04.12.2020 | Florian Schill, Andreas Eichhorn | 8

## Monitoring mit Profilscannern

### Autobahnbrücke Siegtal



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT



04.12.2020 | Florian Schill, Andreas Eichhorn | 9

## Monitoring mit Profilscannern

### Autobahnbrücke Siegtal



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT



04.12.2020 | Florian Schill, Andreas Eichhorn | 9

## Monitoring mit Profilscannern

### Autobahnbrücke Siegtal



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT



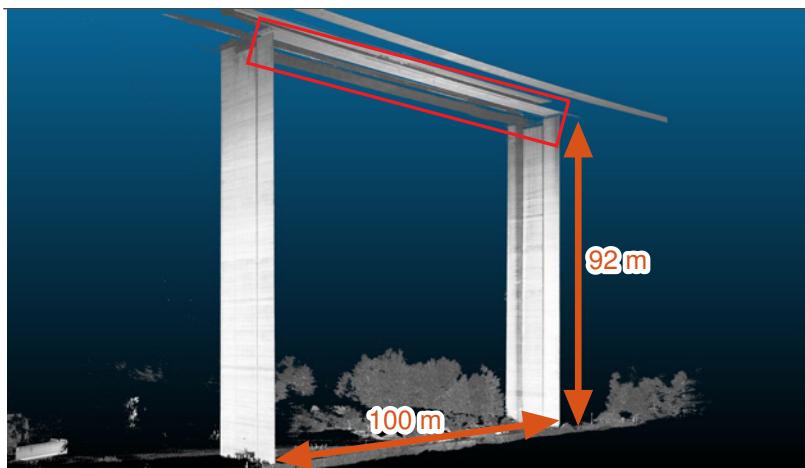
04.12.2020 | Florian Schill, Andreas Eichhorn | 9

## Monitoring mit Profilscannern

### Autobahnbrücke Siegtal



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT



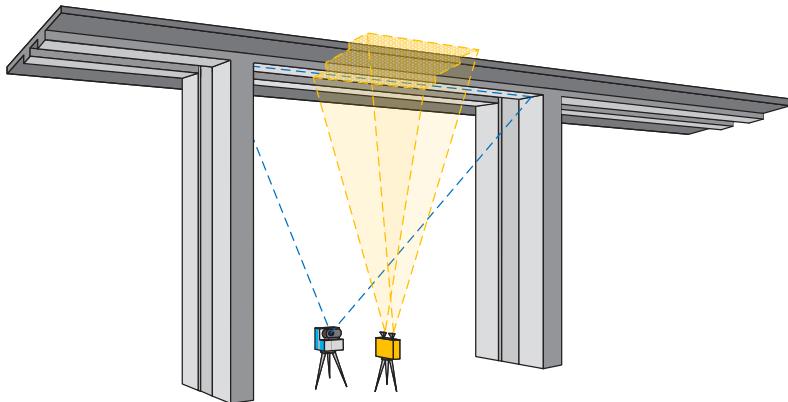
04.12.2020 | Florian Schill, Andreas Eichhorn | 9

## Monitoring mit Profilscannern

Autobahnbrücke Siegtal: Profilscanner vs. IBIS-S



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT



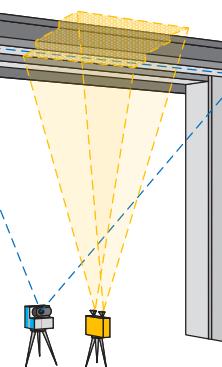
04.12.2020 | Florian Schill, Andreas Eichhorn | 10

## Monitoring mit Profilscannern

Autobahnbrücke Siegtal: Profilscanner vs. IBIS-S



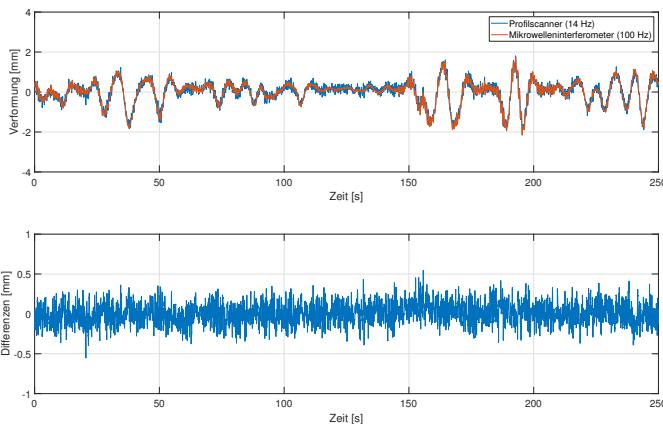
TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT



04.12.2020 | Florian Schill, Andreas Eichhorn | 10

## Monitoring mit Profilscannern

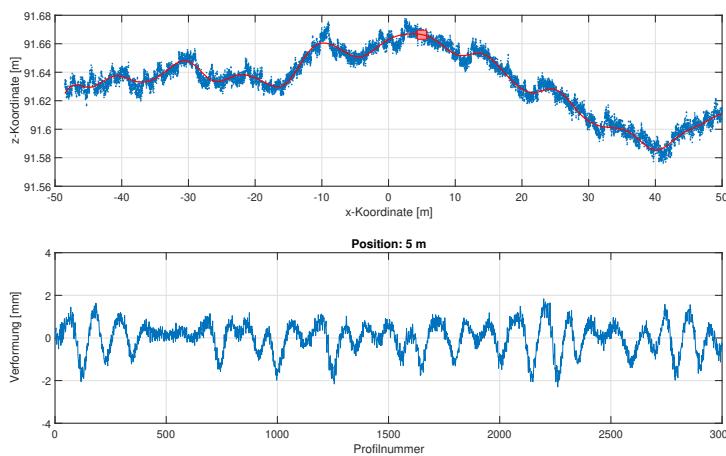
Autobahnbrücke Siegtal: Profilscanner vs. IBIS-S



04.12.2020 | Florian Schill, Andreas Eichhorn | 10

## Monitoring mit Profilscannern

Räumliche Auswertung mittels B-Splines



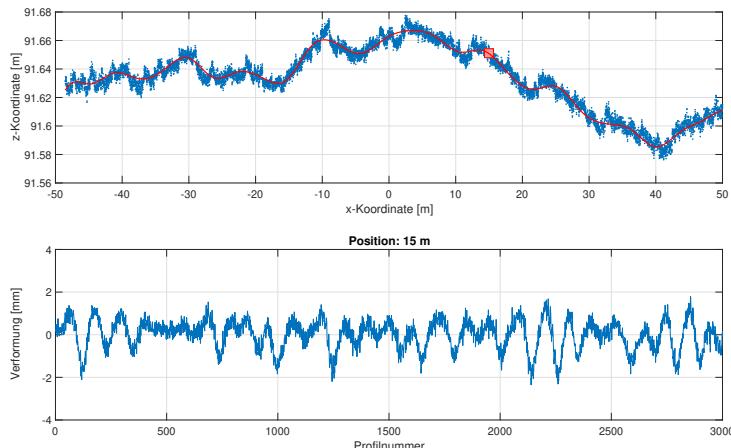
04.12.2020 | Florian Schill, Andreas Eichhorn | 11

## Monitoring mit Profilscannern

### Räumliche Auswertung mittels B-Splines



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT



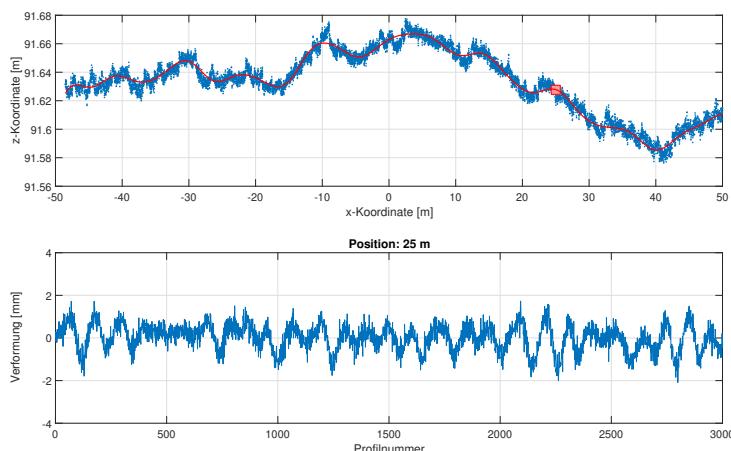
04.12.2020 | Florian Schill, Andreas Eichhorn | 11

## Monitoring mit Profilscannern

### Räumliche Auswertung mittels B-Splines



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT



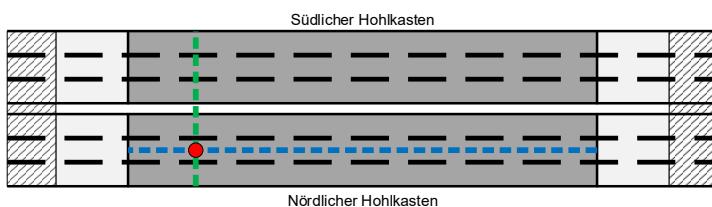
04.12.2020 | Florian Schill, Andreas Eichhorn | 11

## Monitoring mit Profilscannern Eisenbahnbrücke Schmutter



04.12.2020 | Florian Schill, Andreas Eichhorn | 12

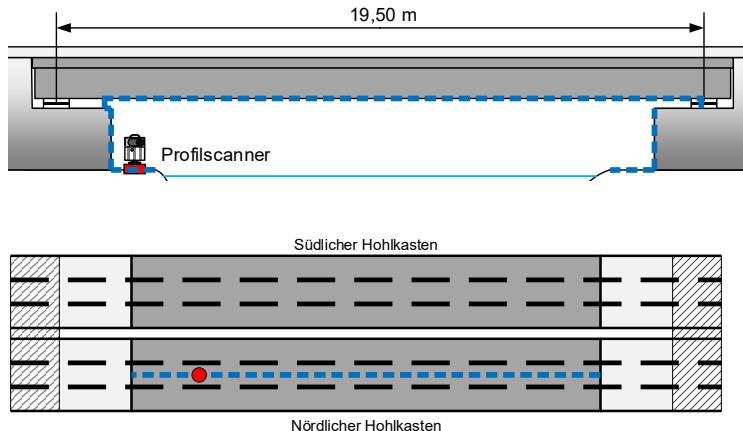
## Monitoring mit Profilscannern Messkonfiguration 1 und Messkonfiguration 2



04.12.2020 | Florian Schill, Andreas Eichhorn | 12

## Monitoring mit Profilscannern

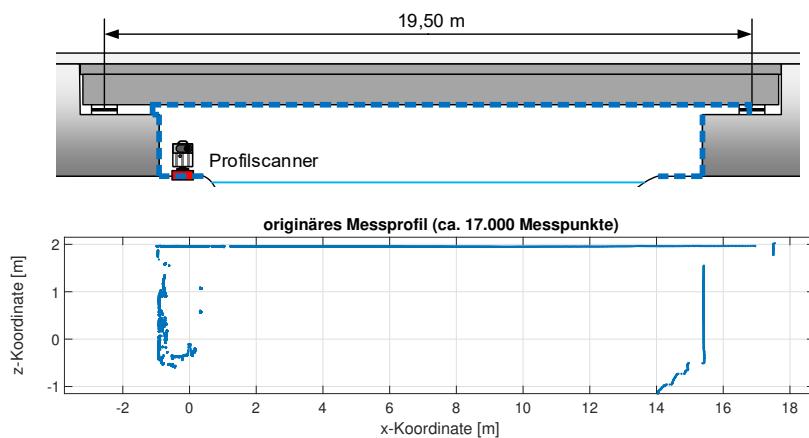
### Originäres Messprofil in Konfiguration 1



04.12.2020 | Florian Schill, Andreas Eichhorn | 12

## Monitoring mit Profilscannern

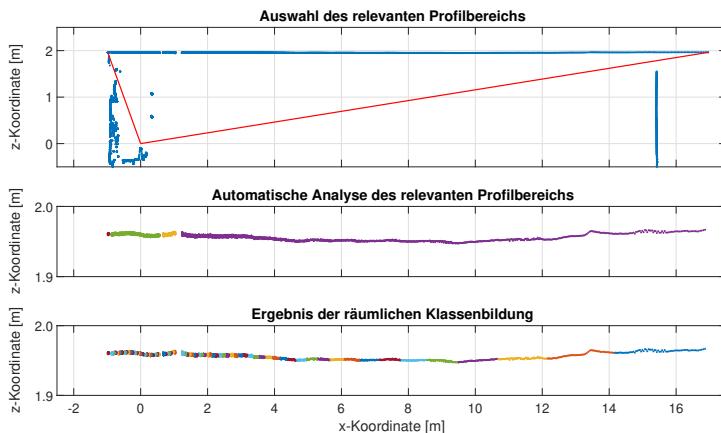
### Originäres Messprofil in Konfiguration 1



04.12.2020 | Florian Schill, Andreas Eichhorn | 12

## Monitoring mit Profilschannern

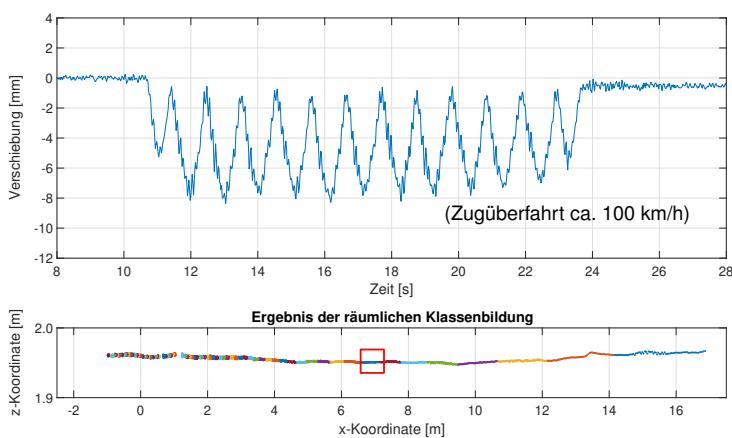
### Räumliche Prozessierung



04.12.2020 | Florian Schill, Andreas Eichhorn | 12

## Monitoring mit Profilschannern

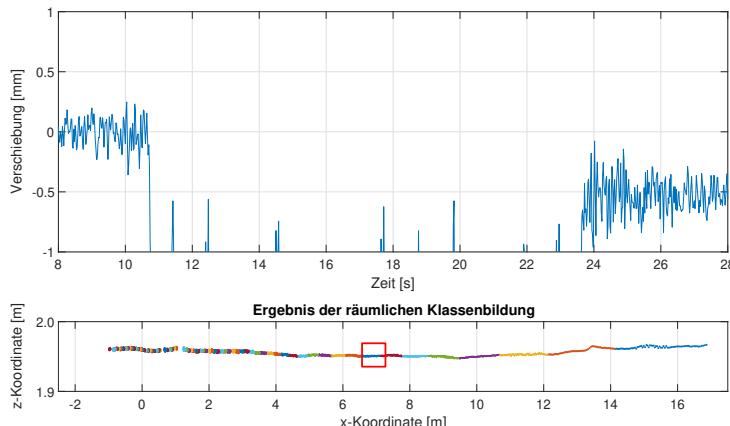
### Dynamische Verschiebung und statische Deformation in Klasse 8



04.12.2020 | Florian Schill, Andreas Eichhorn | 13

## Monitoring mit Profilschannern

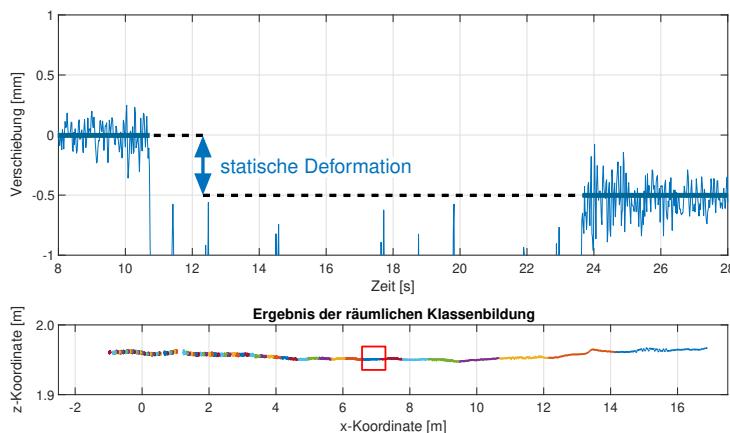
### Statische Deformation in Klasse 8



04.12.2020 | Florian Schill, Andreas Eichhorn | 13

## Monitoring mit Profilschannern

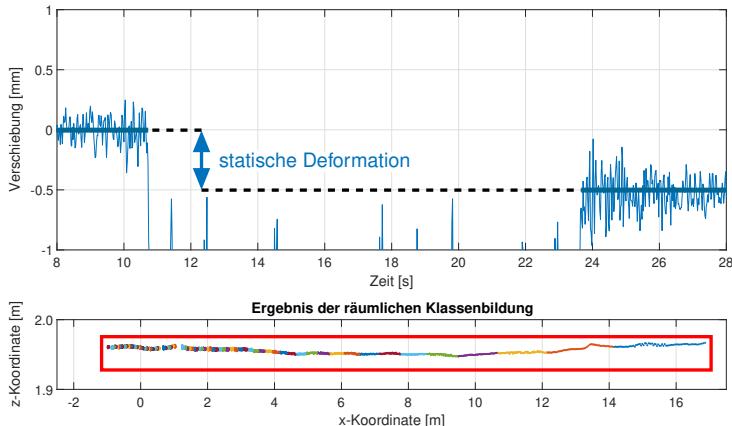
### Statische Deformation in Klasse 8



04.12.2020 | Florian Schill, Andreas Eichhorn | 13

## Monitoring mit Profilschannern

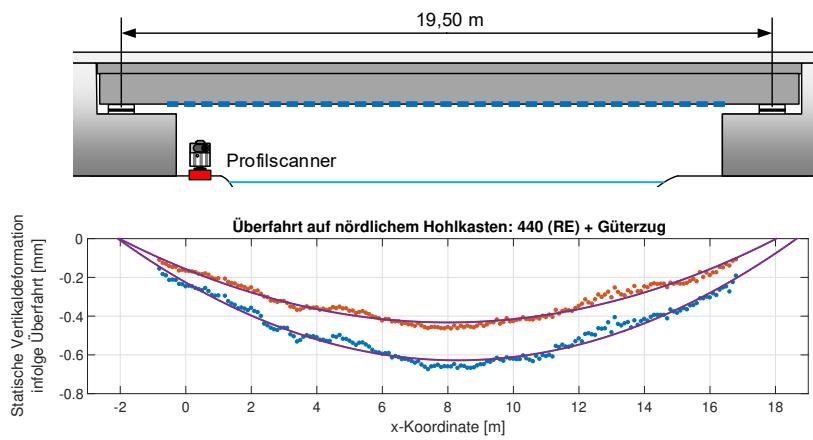
### Statische Deformation infolge einer Zugüberfahrt



04.12.2020 | Florian Schill, Andreas Eichhorn | 13

## Monitoring mit Profilschannern

### Statische Deformation infolge einer Zugüberfahrt



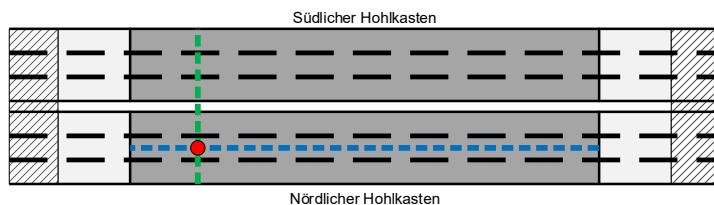
04.12.2020 | Florian Schill, Andreas Eichhorn | 13

## Monitoring mit Profilscannern

### Statische Deformation im Querprofil



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT



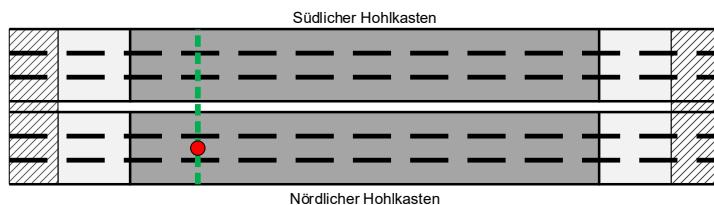
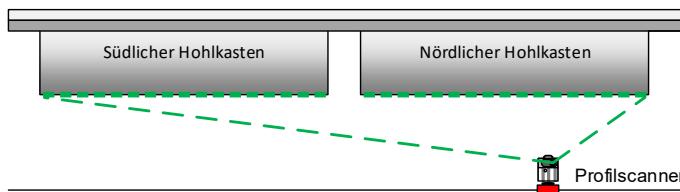
04.12.2020 | Florian Schill, Andreas Eichhorn | 14

## Monitoring mit Profilscannern

### Statische Deformation im Querprofil



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT

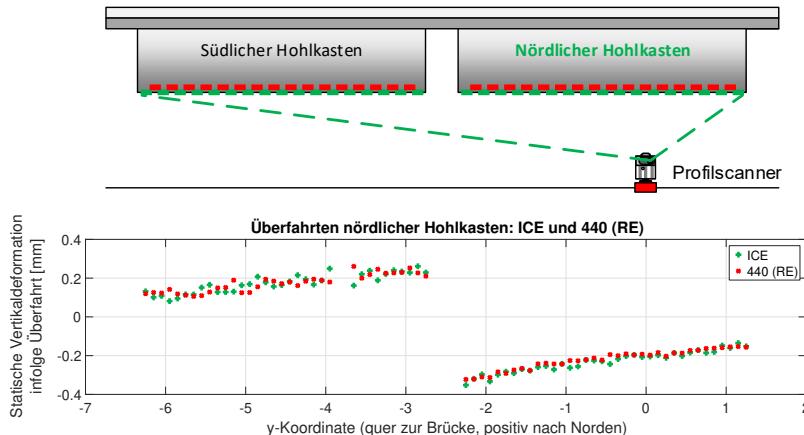


04.12.2020 | Florian Schill, Andreas Eichhorn | 14

## Monitoring mit Profilscannern

Statische Deformation infolge von

2 unabhängigen Zugüberfahrten (nördlicher Hohlkasten)



04.12.2020 | Florian Schill, Andreas Eichhorn | 14

## Zusammenfassung



- ▶ Verringerung der Messdauer
- ▶ Senkung des Mess- und Instrumentierungsaufwands bei der Tragwerksüberwachung
- ▶ Detaillierte Erfassung von Biegelinien am Tragwerk
- ▶ Umfassendere Validierung von Tragwerksmodellierungen

04.12.2020 | Florian Schill, Andreas Eichhorn | 15

## Monitoring mit Profilscannern



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT



Dr.-Ing. Florian Schill  
Prof. Andreas Eichhorn  
**Institut für Geodäsie -**  
**FG Geodätische Messsysteme und Sensorik**  
Technische Universität Darmstadt  
phone: +49 6151 16 21915  
mail: schill@geod.tu-darmstadt.de

04.12.2020 | Florian Schill, Andreas Eichhorn | 16

# Der permanente Einsatz von Long Range Laser Scannern im Monitoring – Speziallösungen mittels offener Python-Schnittstellen

Nikolaus Studnicka | Daniel Schröder



## Der permanente Einsatz von Long Range Laser Scannern im Monitoring

### Speziallösungen mittels offener Python-Schnittstellen

Nikolaus Studnicka (RIEGL) und Daniel Schröder (DMT)

TÜV NORD GROUP

#### Agenda



- 01 DMT: INGENIEURDIENSTLEISTER IM BERGBAU UND INFRASTRUKTURBEREICH
- 02 DEFINITION DES MONITORINGS
- 03 TLS-MONITORING (STATE OF THE ART – CHANCEN – HERAUSFORDERUNGEN)
- 04 DMT SAFEGUARD
- 05 RIEGL: TERRESTRISCHER LASER SCANNER MIT PYTHON PROGRAMMIERSCHNITTSTELLE
- 06 DMT SAFEGUARD TLS-MONITORING UND ANWENDUNGSBEISPIELE
- 07 FAZIT UND AUSBLICK

Engineering. Insight. Values.

01 DMT: INGENIEURDIENSTLEISTER IM BERGBAU UND INFRASTRUKTURBEREICH  
**DMT als Teil der TÜV NORD GROUP**



**TÜV NORD GROUP**

Zentrale in Hannover, Deutschland



Industrieservice,  
Mobilität, Bildung



Engineering und Rohstoffe



Aerospace



Informationstechnik

Engineering. Insight. Values.

01 DMT: INGENIEURDIENSTLEISTER IM BERGBAU UND INFRASTRUKTURBEREICH  
**Historie und Hintergrund**



Die Wurzeln der DMT reichen zurück  
bis in das Jahr **1737**



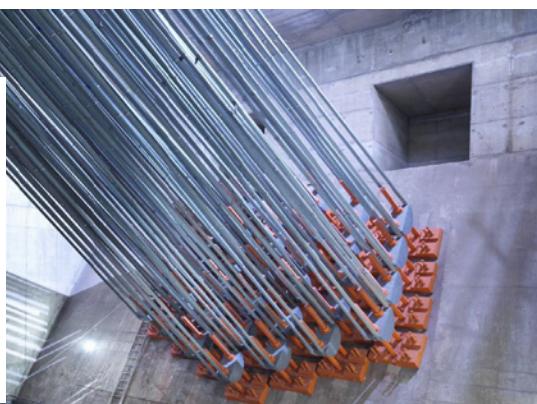
Ca. **1.100 Mitarbeiter**, vorwiegend  
mit akademischem Hintergrund



Die DMT Group umfasst **14**  
**Gesellschaften und mehr als 30**  
**Niederlassungen weltweit**



**Kompetenz, Innovation** und **Sicherheit**  
sind Leitthemen der DMT



Engineering. Insight. Values.

02 DEFINITION DES MONITORINGS

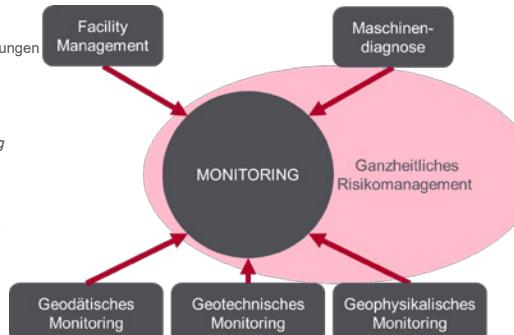
**Was bedeutet Monitoring?**



- Das Erkennen aller systematischen Veränderungen an einem zu beobachtenden Objekt (HEUNECKE, 2003)

- ISO DIN 16484: „...Beobachtung des Ist-Zustandes einer Einheit und Signalisierung einer definierten Abweichung vom Normalzustand...“

- Teil eines ganzheitlichen Risikomanagements
  - Unternehmerische Risiken
  - Infrastrukturelle Risiken
- Risiken gilt es zu minimieren und zu überwachen



Engineering. Insight. Values.

02 DEFINITION DES MONITORINGS

**“Aus Daten werden Informationen”**



Qualitätsmerkmale für Informationen

Zuverlässigkeitserkmale

Verfügbarkeit

Aktualität

Integritätserkmale

Vollständigkeit

Konsistenz

Korrektheit

Genauigkeitserkmale

Metrische Genauigkeit

Semantische Genauigkeit

Quelle: HEUNECKE, O., KUHLMANN, H., WELSCH, W., EICHHORN, A. & NEUNER, H.: Handbuch Ingenieurgeodäsie – Auswertung geodätischer Überwachungsmessungen. Wichmann Verlag, Heidelberg (2013)

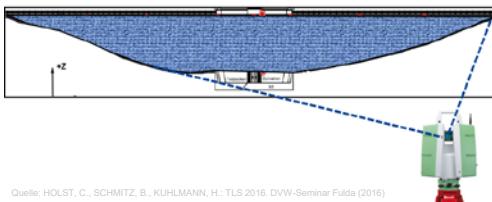
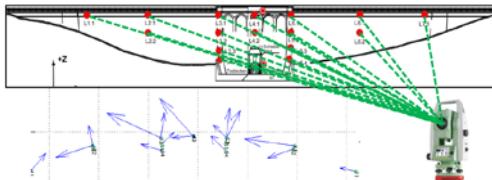
Engineering. Insight. Values.

03 TLS-MONITORING (STATE OF THE ART – CHANCEN – HERAUSFORDERUNGEN)

**State of the Art**



- Aufgaben innerhalb eines geodätischen Monitorings
- Wahl von Aufnahmestandpunkten
- Daten in mindestens 2 Epochen messen
- Georeferenzierung der Sensorik
- Diskretisierung des Objektes durch Zielmarken
  - Zeit- und Kostenaufwändige Installation
  - Vorinformation zum Bewegungsverhalten ist notwendig
  - Qualität der Vorinformation ist essentiell für weitere Entscheidung
- Bewegungen bleiben u.U. unerkannt



Quelle: HOLST, C., SCHMITZ, B., KUHLMANN, H.: TLS 2016, DVW-Seminar Fulda (2016)

**Engineering. Insight. Values.**

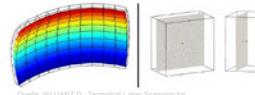
03 TLS-MONITORING (STATE OF THE ART – CHANCEN – HERAUSFORDERUNGEN)  
**Chancen**



- Paradigmenwechsel in der Ingenieurgeodäsie
  - Einsatz von flächenhaft messenden Sensoren nimmt zu
- Räumliche Diskretisierung nicht mehr vorab notwendig  
→ Quasi-Flächenhafte Vermessung
- Reflektorlose Messtechnik
  - Vermarkung und Notwendigkeit von Vorwissen entfällt
- Reichweiten von bis zu wenigen Kilometern
  - Gefährdete Bereiche müssen nicht betreten werden
- **ABER:** Neue Methoden werden nötig um das funktionale Modell einer Deformationsanalyse basierend auf Laser Scannern aufzubauen



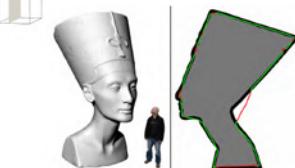
Quelle: WUJANZ.D., Terrestrial Laser Scanning for Geodetic Deformation Monitoring (Diss.), Paffenholz et al. 2010, Paffenholz 2012.



Quelle: WUJANZ.D., Terrestrial Laser Scanning for Geodetic Deformation Monitoring (Diss.), Elsig 2009.

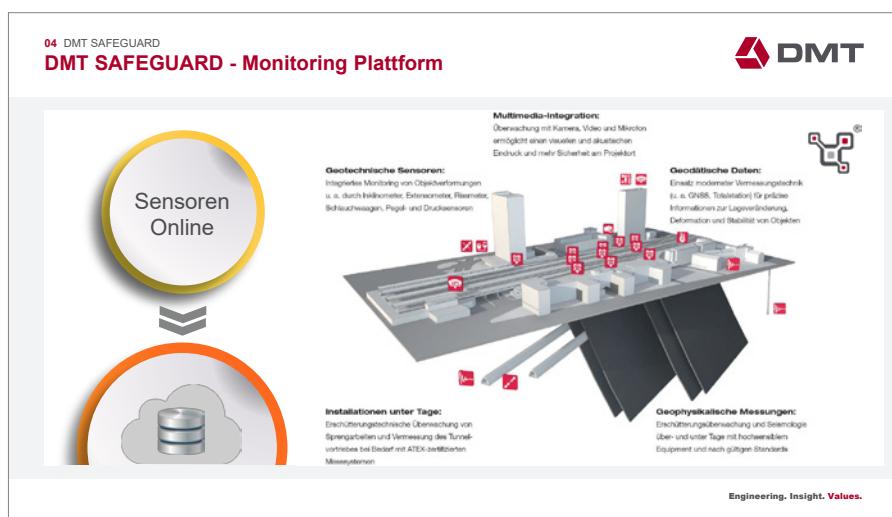
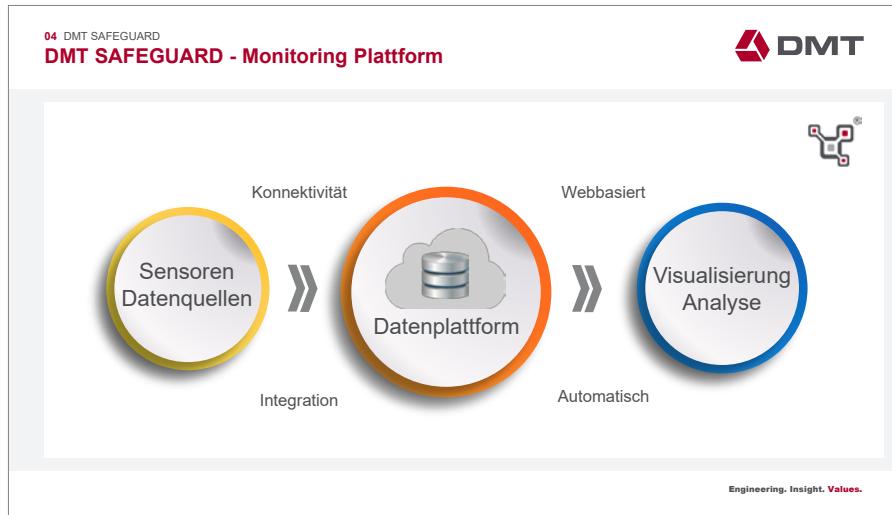


Quelle: HARMENNIN, X., NEUNER, H., Detecting Rigid Body Movements from TLS-Based Areal Deformation Measurements, FIG Working Week 2016



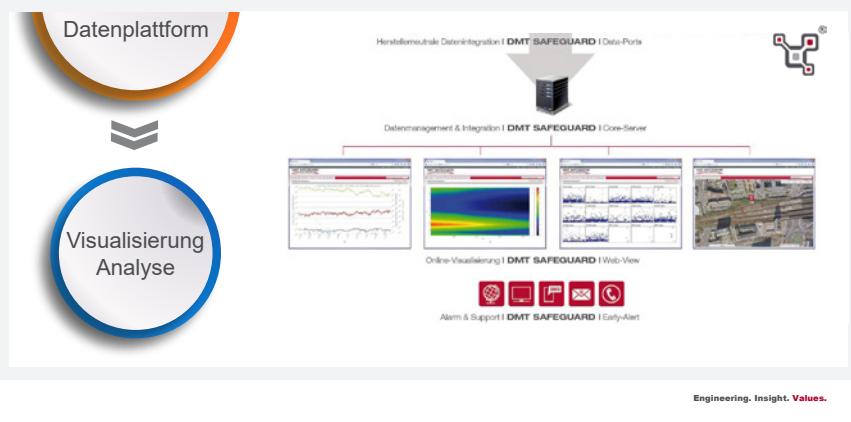
Quelle: WUJANZ.D., Terrestrial Laser Scanning for Geodetic Deformation Monitoring (Diss.)

**Engineering. Insight. Values.**



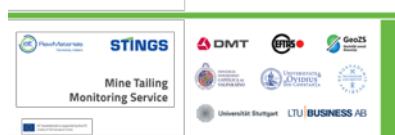
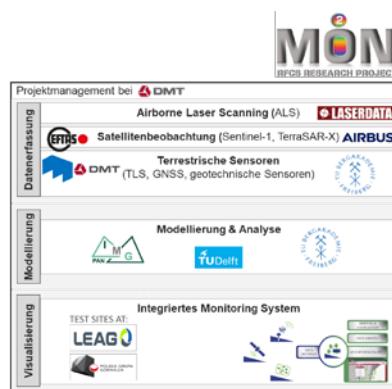
04 DMT SAFEGUARD

## DMT SAFEGUARD - Monitoring Plattform



04 DMT SAFEGUARD

## Forschung und Weiterentwicklung der Monitoring Plattform



Engineering. Insight. Values.

## 05 TERRESTRISCHER LASER SCANNER MIT PYTHON PROGRAMMERSCHNITTSTELLE **3D Terrestrial Laser Scanning System**



	<b>RIEGL VZ-400i</b>	<b>RIEGL VZ-2000i</b>
<b>Reichweite</b>	0.5 bis 800 m	1 bis 2500 m
<b>Präzision</b>	3 mm	3 mm
<b>Genauigkeit</b>	5 mm	5 mm
<b>Strahldivergenz</b>	0.35 mrad	0.27 mrad
<b>Gesichtsfeld</b>	360°x100°	
<b>Standard Scanmuster</b>	„Panorama40“ (40mdeg = 7mm@10m) max. 50 Scanpositionen / h (Scans & Fotos)	kurze Entfernung: „Panorama40“ große Entfernung: hoch aufgelöste Detailscans

Ein RIEGL Laserscanner arbeitet grundsätzlich nach dem Impuls-Laufzeit Verfahren. Er ist mehrzieldfähig, analysiert den Empfangsimpuls und kann so Werte wie Reflectance oder Deviation liefern.



Engineering Institute, Malappuram

## 05 TERRESTRISCHER LASER SCANNER MIT PYTHON PROGRAMMERSCHNITTSTELLE

# Python Apps



## **“Home Screen”:** Standard Apps

weitere "Screens":  
Python Apps  
zum Teil adaptierbar

Eine Beschreibung der Python Programmier-Befehle ist am Scanner hinterlegt.

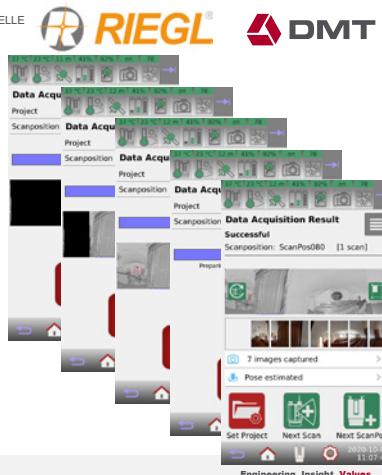
Eine App besteht aus:

- einem Python Skript
- einem Logo
- einer Kurzbeschreibung

 python

Engineering. Insight. **Values.**

05 TERRESTRISCHER LASER SCANNER MIT PYTHON PROGRAMMERSCHNITTSTELLE  
Python App: "Screenshot"

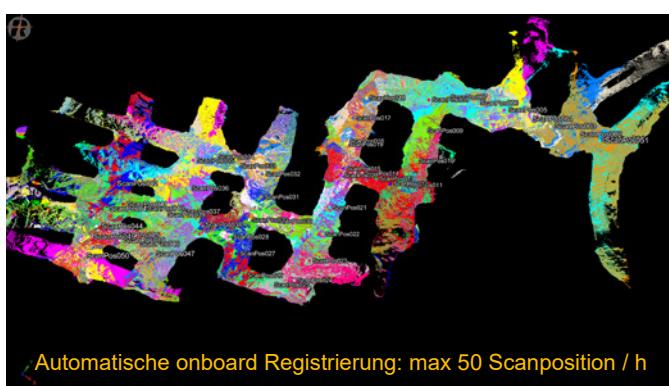


Die Python App „Screenshot“ generiert automatisch (zum Beispiel jede Sekunde) eine Bildschirmkopie des Scanners. Maximal 5 Tage werden diese am Scanner gespeichert.

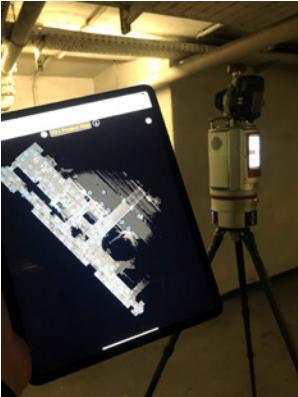
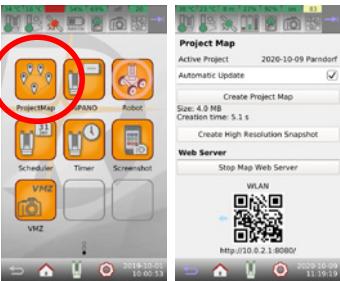


05 TERRESTRISCHER LASER SCANNER MIT PYTHON PROGRAMMERSCHNITTSTELLE  
Python App: "Registration"

 **RIEGL**  **DMT**



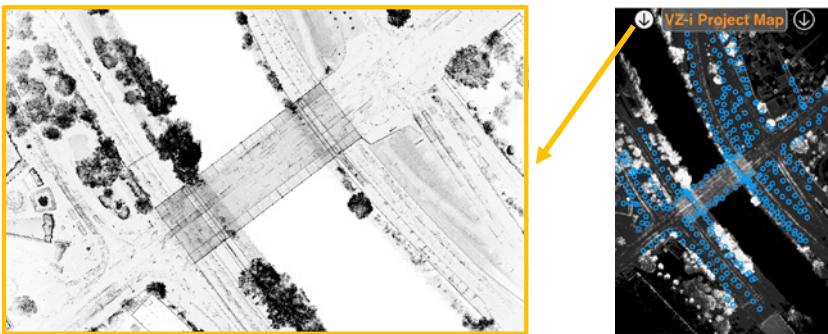
**05 TERRESTRISCHER LASER SCANNER MIT PYTHON PROGRAMMERSCHNITTSTELLE**  
**Python App: "Project Map"**



Die Python App „Project Map“ erzeugt in Echtzeit eine Karte der bereits registrierten Scanpositionen. Die sogenannten „Project Voxel“ werden ebenfalls von oben angezeigt. Die dabei entstehende Karte wird in den Browser eines mobilen Gerätes via WLAN übertragen.

Engineering. Insight. Values.

**05 TERRESTRISCHER LASER SCANNER MIT PYTHON PROGRAMMERSCHNITTSTELLE**  
**Python App: "Project Map"**



Am Ende eines Scanprojektes kann man am Scanner ein hochauflösendes Bild erstellen, auf das mobile Gerät übertragen und bei Bedarf verschicken.

Engineering. Insight. Values.

## 05 TERRESTRISCHER LASER SCANNER MIT PYTHON PROGRAMMERSCHNITTSTELLE **Python App: "Robot"**

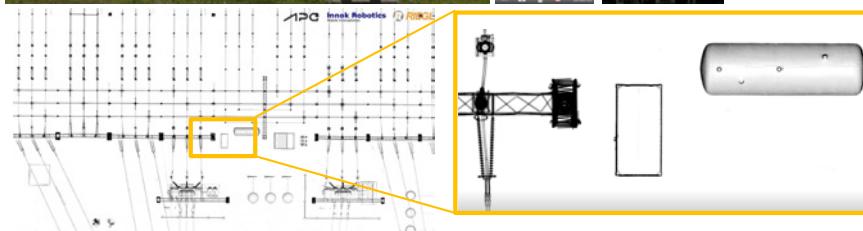


Die Python App „Robo“ ermöglicht den Vermessungsvorgang zu automatisieren. Nach einer registrierten Scanposition wird ein Fahrbefehl an einen Radroboer gesendet (Drehung und Distanz zum nächsten Wegpunkt). Dieser Inno Heros Roboter arbeitet mit einem RIEGL VZ-400i Laserscanner.



Engineering Insight **Values**

## 05 TERRESTRISCHER LASER SCANNER MIT PYTHON PROGRAMMERSCHNITTSTELLE **Python App: "Robot"**



Die erzielbare Genauigkeit liegt unter einem Zentimeter, auch bei Hunderten Scanpositionen.

Engineering Insight **Values**

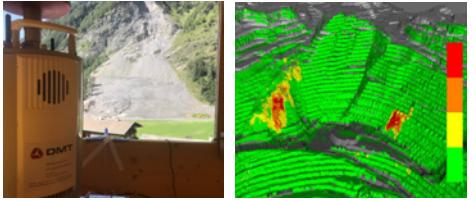
**06 DMT SAFEGUARD TLS-MONITORING UND ANWENDUNGSBEISPIELE**

**DMT SAFEGUARD - One-Stop Service for Monitoring**

**DMT**

**TLS-Monitoring**

- RIEGL liefert Hard- und Softwarearchitektur
- Einrichtung einer permanenten Station
- 3D-Scan eines Gefahrenbereichs in bestimmten Zeitintervallen (z.B. alle 30 Minuten)
- Neigungsberechnungen
- Böschungs- und Hangstabilität
- Berechnung von Volumen



Scannen → Datenübertragung → Visualisieren → 3D Scan → Benachrichtigen → 2D Viewer → 3D Viewer

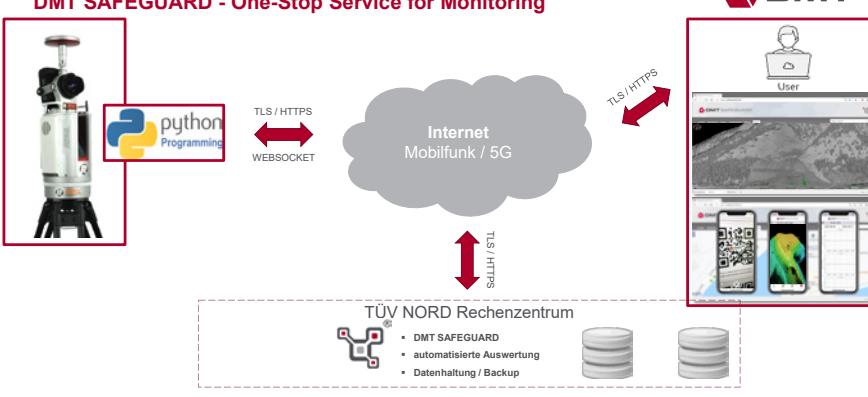
Scannen → Datenübertragung → Visualisieren → 3D Scan → Benachrichtigen → 2D Viewer → 3D Viewer

Engineering. Insight. Values.

**06 DMT SAFEGUARD TLS-MONITORING UND ANWENDUNGSBEISPIELE**

**DMT SAFEGUARD - One-Stop Service for Monitoring**

**DMT**



TÜV NORD Rechenzentrum

- DMT SAFEGUARD
- automatisierte Auswertung
- Datenhaltung / Backup

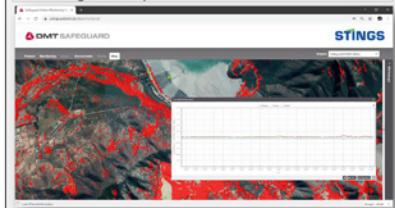
Engineering. Insight. Values.

06 DMT SAFEGUARD TLS-MONITORING UND ANWENDUNGSBEISPIELE  
**Anwendungsbeispiel I+II**



**CHILE – Tailing Monitoring**

- EIT STINGS – Supervision of Tailings
- Satellitenradar + Low Cost GNSS seit Oktober 2019
- Testkampagne 2021: Kontinuierliches Laserscanning + Erschütterungsmesstechnik → Zustandsüberwachung nach Erdbeben
- Damm: 2,5 km Länge und 125 m hoch (80 km nördlich von Santiago de Chile)



**LEAG – Flutung Cottbuser Ostsee**

- Testgebiet innerhalb von i'MON
- Alter Tagebau in der Nähe von Cottbus
- Wird in den nächsten Jahren kontrolliert geflutet
- Rutschung an den Böschungen ist gewollt und wird ständig überwacht
- Kontinuierliche Messstation (RIEGL VZ-2000) ab November 2020



Engineering. Insight. Values.

06 DMT SAFEGUARD TLS-MONITORING UND ANWENDUNGSBEISPIELE  
**Anwendungsbeispiel III**



- RIEGL VZ-2000i
- 7 Meteorologische Sensoren
- 2 Inklinometer
- Router + Smart Steckdose
- 21 Glasprismen

**2 Ziele:**

- Datensatz für Forschungsarbeiten (10.08. bis 08.09.2020) → Scanregistrierung und zeitlich variable Effekte
- Entwicklung der TLS-Monitoring-Anwendung (09.09. bis 23.10.2020)



Engineering. Insight. Values.

07 FAZIT UND AUSBLICK



- Der Paradigmenwechsel innerhalb der Ingenieurgeodäsie und benachbarten Disziplinen geht unaufhörlich weiter
- Messaufgaben werden immer weiter automatisiert und es können große Mengen an Daten in kürzester Zeit erfasst werden
- Die Welt wird sich im Rahmen von IoT-Themen immer weiter vernetzen
- 5G und beispielsweise Starlink unterstützen die Entwicklung und werden Services auf ein neues Level heben
- **Massendaten und Informationen gilt es qualitativ zu bewerten und nicht einfach hinzunehmen!**

Engineering. Insight. Values.



DMT GmbH & Co. KG  
Am TÜV 1  
45307 Essen, Germany

Daniel Schröder M.Sc.  
Head of Engineering Surveying  
[daniel.schroeder@dmr-group.com](mailto:daniel.schroeder@dmr-group.com)  
+49 201 172 1856



RIEGL Laser Measurement Systems GmbH  
Riedenburgstr. 48  
3580 Horn, Austria

DI Nikolaus Studnicka  
Manager, Business Division TLS  
[NStudnicka@riegl.com](mailto:NStudnicka@riegl.com)  
+43 2982 4212



Connect with us on LinkedIn  
DMT CIVIL & MINING ENGINEERING

Engineering. Insight. Values.



## Session 4: Mobile Mapping



# Mobile Mapping: Technologien und Marktübersicht

Lasse Klingbeil | Isabel Gelfort | Heiner Kuhlmann



## Mobile Mapping Technologien und Marktübersicht

Lasse Klingbeil, Isabel Gelfort, Heiner Kuhlmann

Institut für Geodäsie und Geoinformation  
Universität Bonn



## Mobile Mapping Technologien und Marktübersicht

**Was ist Mobile Mapping?**

**Wie ist ein Mobile Mapping System aufgebaut?**

**Wie sind einzelne Systemkomponenten realisiert?**

## Mobile Mapping Technologien und Marktübersicht

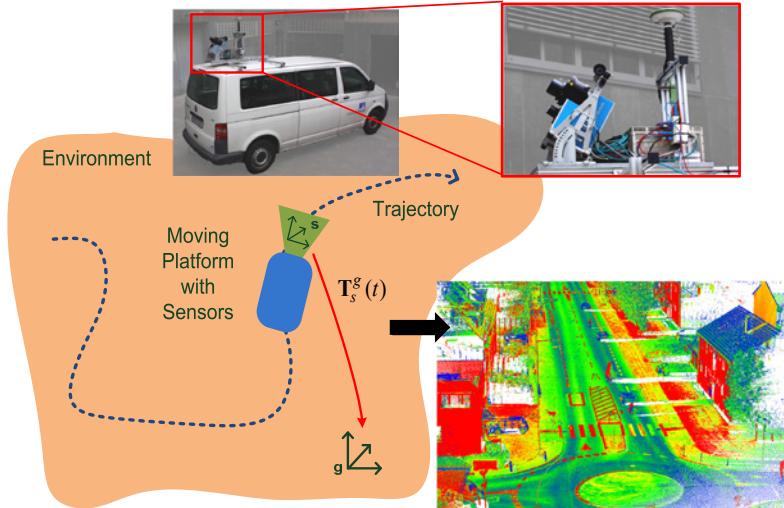
**Welche kommerziellen Systeme gibt es?**

**Wie unterscheiden sie sich?**

**Wofür werden sie eingesetzt?**

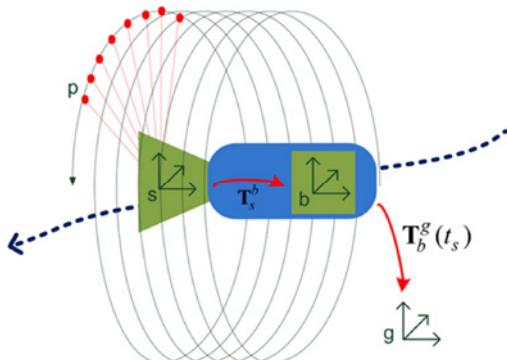
(nicht vollständig, basierend auf Herstellerangaben)

## Mobile Mapping



T: Rotation + Translation

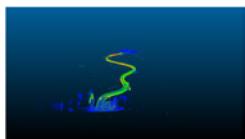
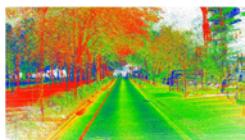
$$\mathbf{p}_{object}^{global}(t_s) = \mathbf{T}_{body}^{global}(t_s) \cdot \mathbf{T}_{sensor}^{body} \cdot \mathbf{p}_{object}^{sensor}(t_s)$$



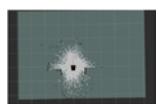
## Sensorsynchronisierung

$$\underbrace{\mathbf{p}_{object}^{global}(t_s)}_{\text{Punktfolke/ Produkt/ Anwendung}} = \underbrace{\mathbf{T}_{body}^{global}(t_s)}_{\text{Trajektorien- bestimmung}} \cdot \underbrace{\mathbf{T}_{sensor}^{body}}_{\text{System- kalibrierung/ Platform}} \cdot \underbrace{\mathbf{p}_{object}^{sensor}(t_s)}_{\text{Objektraum- sensorik}}$$

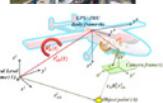
Punktfolke/  
Produkt/  
Anwendung



Trajektorien- bestimmung



System- kalibrierung/  
Platform



Objektraum- sensorik



$$\mathbf{P}_{\text{object}}^{\text{global}}(t_s) = \underbrace{\mathbf{T}_{\text{body}}^{\text{global}}(t_s)}_{\text{Punktwolke/ Produkt/ Anwendung}} \cdot \underbrace{\mathbf{T}_{\text{sensor}}}_{\text{Trajektorien- bestimmung}} \cdot \underbrace{\mathbf{T}_{\text{sensor}}}_{\text{System- kalibrierung/ Plattform}} \cdot \underbrace{\mathbf{P}_{\text{object}}^{\text{sensor}}(t_s)}_{\text{Objektraum- sensorik}}$$

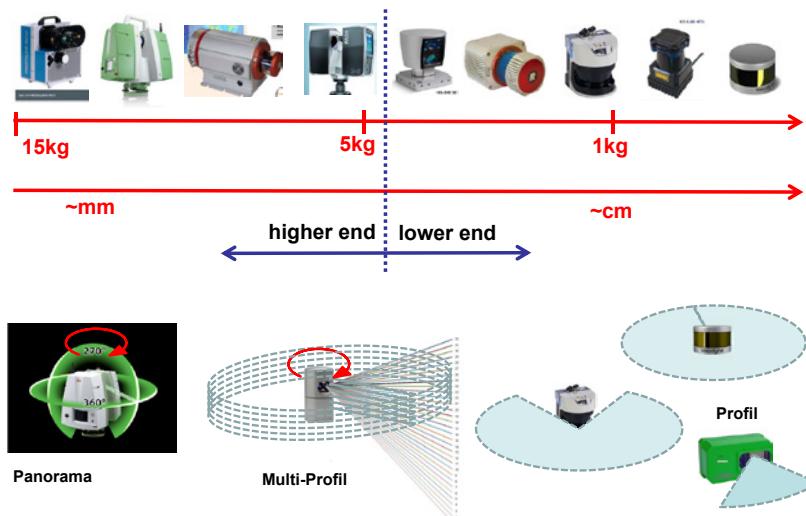
Sensorsynchronisierung





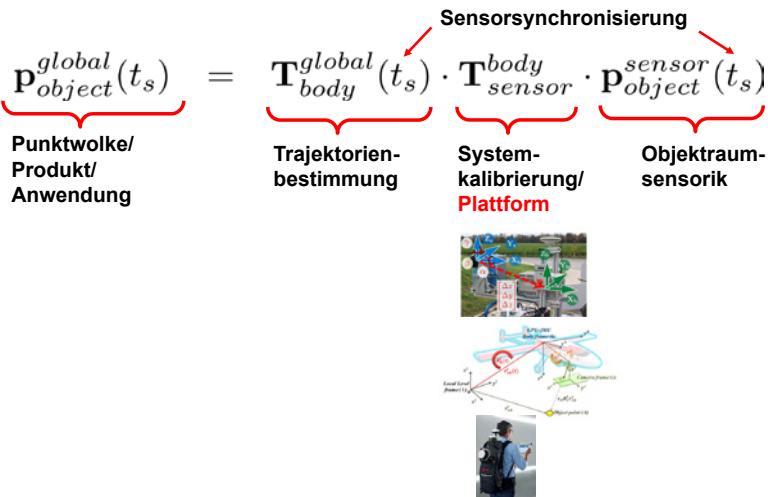
Lasse Klingbeil - Mobile Mapping - TLS2020

slide 7



Lasse Klingbeil - MST2018

slide 8



## Plattformen

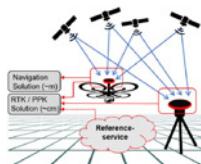
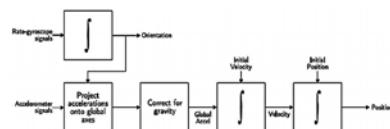


$$\underbrace{\mathbf{p}_{object}^{global}(t_s)}_{\text{Punktwolke/ Produkt/ Anwendung}} = \underbrace{\mathbf{T}_{body}^{global}(t_s)}_{\text{Trajektorien- bestimmung}} \cdot \underbrace{\mathbf{T}_{sensor}^{body}}_{\text{System- kalibrierung/ Plattform}} \cdot \underbrace{\mathbf{p}_{object}^{sensor}(t_s)}_{\text{Objektraum- sensorik}}$$

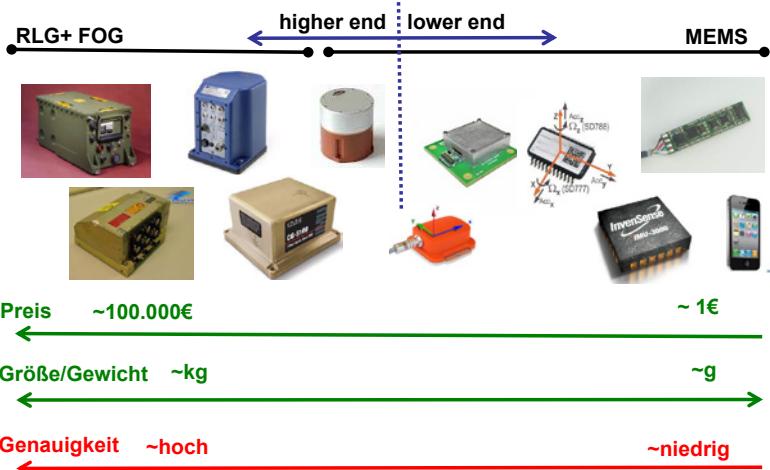

## Trajektorienbestimmung

### GNSS/IMU Kopplung

- Positions- /Rotationsbestimmung mit Inertialsensoren
  - Drehratensensoren
  - Beschleunigungssensoren
  - Strapdownintegration
- GNSS
  - Differentielle Trägerphasen-basierte Prozessierung (~cm)
  - Absolute Code-basierte Prozessierung (~m)
- GNSS/IMU Fusion
  - Kalman Filter /Smoother
- Optionales Postprocessing
  - Passpunkte
  - Mehrfachmessungen



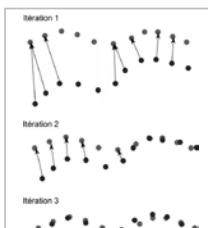
## Inertiale Messeinheiten



Lasse Klingbeil - Mobile Mapping - TLS2020

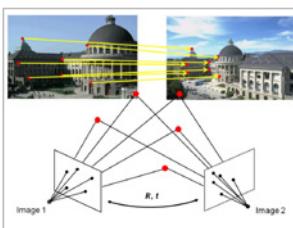
slide 13

## Verwendung der Objektraumsensorik



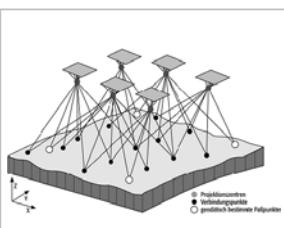
### Scan Matching

Transformation zwischen konsekutiven Scan-Profilen mittels ICP



### Visuelle Odometrie

Transformation zwischen konsekutiven Bildaufnahmen mittels Keypoint-Matching oder Tracking



### Passpunkte, Landmarken

Beobachtung von Objekten/Punkten mit bekannten Koordinaten im Objektraum

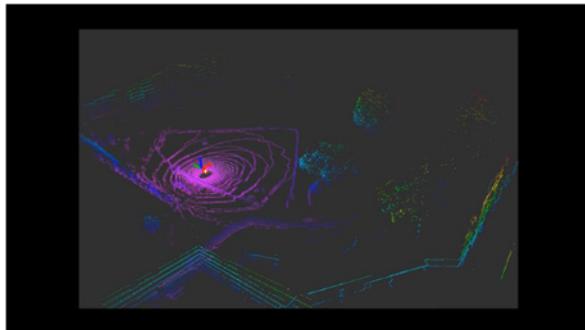
Überlapp nötig!

Lasse Klingbeil - MST2018

slide 14

## SLAM – Simultaneous Localization and Mapping

- Globale Optimierung der gesamten Trajektorie mit ALLEN verfügbaren Daten (e.g. Laser/Kameras/GNSS/IMU)
- Integration von GNSS möglich aber nicht nötig

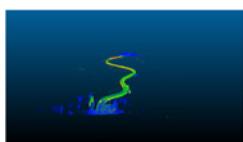


Lasse Klingbeil - Mobile Mapping - TLS2020

slide 15

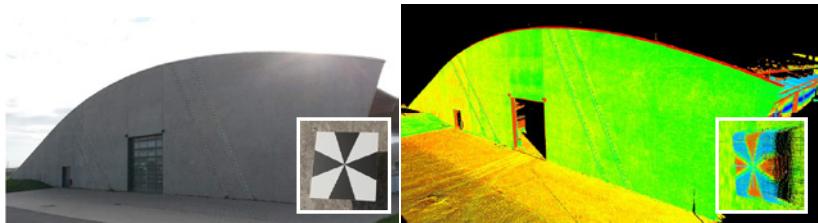
$$p_{\text{object}}^{\text{global}}(t_s) = \underbrace{\mathbf{T}_{\text{body}}^{\text{global}}(t_s)}_{\text{Trajektorien- bestimmung}} \cdot \underbrace{\mathbf{T}_{\text{sensor}}^{\text{body}}}_{\text{System- kalibrierung/ Plattform}} \cdot \underbrace{p_{\text{object}}^{\text{sensor}}(t_s)}_{\text{Objektraum- sensorik}}$$

**Sensorsynchronisierung**



Lasse Klingbeil - Mobile Mapping - TLS2020

slide 16



### • Qualität der Punktwolke

- relative / absolute Genauigkeit ← **Gesamtsystem**
- Punktdichte / Vollständigkeit ← **Laser / Plattform**
- Spektrale Informationen (z.B. Farbe) ← **Laser / Kamera**
- Sonstige Informationen (z.B. reflektierte Intensität, mehrere Echos/Full Waveform) ← **Laser**
- Semantische Informationen (z.B. Ebenen, Vegetation, Fassaden, etc ...) ← **Postprozessierung**

### Genauigkeit der Punktwolke

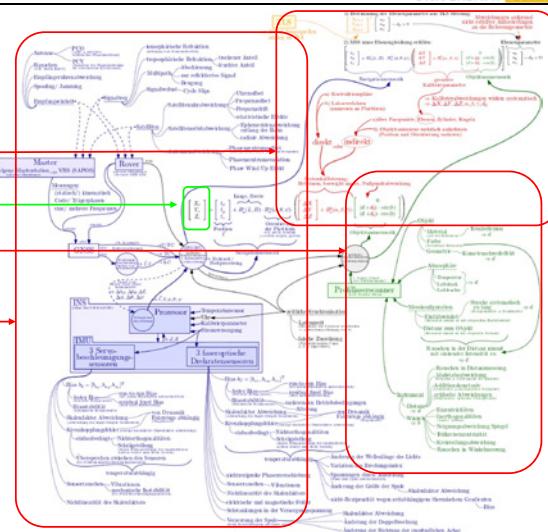
**Systemkalibrierung**

**Punkt**

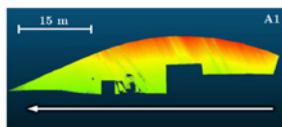
**Scanner**

**Trajektorien-  
bestimmung**

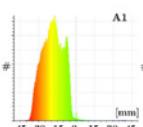
**Viele Effekte hängen  
voneinander ab!**



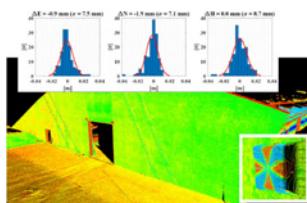
## Bestimmung der Genauigkeit



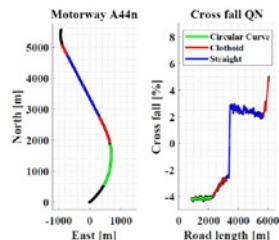
flächenbasierte Verfahren



A1



punktbasierte Verfahren



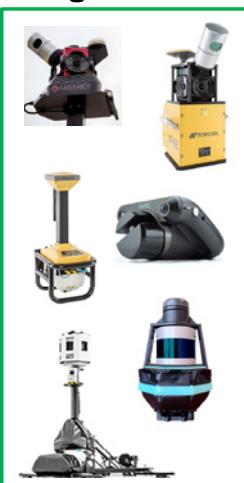
parameterbasierte Verfahren

- Verschiedene Genauigkeiten hängen unter anderem von der Bewegung ab
- Übertragbarkeit auf unterschiedliche Situationen und Anwendungen ist meist nicht gegeben
- **Hersteller gehen da kaum drauf ein**

### Kategorie 1



### Kategorie 2



### Kategorie 3



## Kategorie 1



## „Klassisches“ System

- Higher-end Scanner (evtl. mehrere)
- Hohe Punktdichten (~Mio Pkt/sec)
- ~mm Lasergenauigkeit
- Kameras
- Fahrzeuggebunden
- Higher-end GNSS/IMU
- GNSS/IMU Trajektorie

## Kategorie 2



## „Lower-cost“ System

- Lower-end Scanner (evtl. mehrere)
- Hohe Punktdichten (~Mio Pkt/sec)
- ~cm Lasergenauigkeit
- Kameras
- Fahrzeuggebunden
- Lower-end GNSS/IMU
- GNSS/IMU Trajektorie

## Kategorie 3



## Tragbar und Indoor

- Lower-end Scanner (evtl. mehrere)
- niedrigere Punktdichten (~300k Pkt/sec)
- ~cm Lasergenauigkeit
- häufig Kameras
- Tragbar/Trolley
- Lower-end IMU
- SLAM / GNSS optional

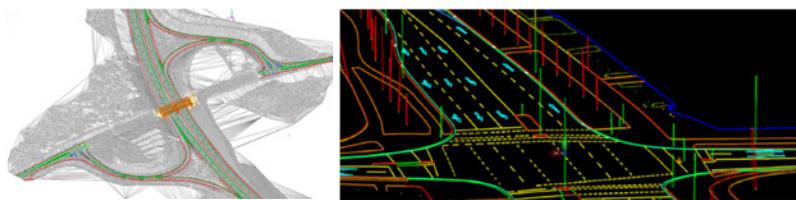
MMS	Scanner	Kameras	Trajektorie	Plattform	Einsätze
Leica Pegasus Reihe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Leica ScanStation P20:</b> 1Mio Pkte./Sek, 3mm@50m</li> <li>• <b>Z+F 9012 Profiler:</b> 1Mio Pkte./Sek, mm-Gen.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4-8 Kameras: Für Fahrbahn, Seite + ggf. Fish-eye-Kameras</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• GNSS- IMU Einheit, hochklassig</li> <li>• 1-2 Antennen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PKW</li> <li>• Zug</li> <li>• Boot</li> <li>• Kettenfahrzeug</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modellierung (Schienen, Straßen, Brücken)</li> <li>• Lichtraumprofil</li> <li>• Profile erstellen</li> <li>• Smart-City-Anwendungen</li> </ul> <p><b>Betriebsdauer: 9-13h</b></p>
Trimble MX-Reihe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1-2 Scanner</li> <li>• <b>RIEGL VUX-1HA:</b> 1Mio Punkte/Sek, 5mm Gen.</li> <li>• <b>Renishaw SLM-250:</b> 36.000 Pkte./Sek, 1cm@50m</li> <li>• <b>VQ-250/VQ-450:</b> bis 1Mio Pkte./Sek 8mm/10mm@50m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0-4 Kameras</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• GNSS- IMU Einheit</li> <li>• 1-2 Trimble AP20/AP40/A P60 Antennen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PKW</li> <li>• Beliebige Fahrzeuge</li> <li>• Zug</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vermessung</li> <li>• Bauwesen</li> <li>• Straßenplanung</li> <li>• Landwirtschaft</li> <li>• Flotten- und Vermögensverwaltung</li> <li>• Kartierung</li> <li>• DTM</li> <li>• Straßeneigenschaften</li> </ul>
RIEGL VM-Reihe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>RIEGL VUX-1HA:</b> 1Mio Pkte./Sek, 5mm Gen.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0-7 RIEGL Kameras</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• GNSS-IMU Einheit: 20-50mm abs. Gen.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PKW</li> <li>• Beliebige Fahrzeuge</li> <li>• Zug</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Straßeninfrastruktur</li> <li>• Straßenoberfläche</li> <li>• Stadtmodelle</li> <li>• Monitoring</li> <li>• Archäologie</li> </ul>
IGI Street Mapper, Rail Mapper	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>RIEGL VUX-1HA:</b> 1Mio Pkte./Sek, 5mm Gen.</li> <li>• <b>Z+F 9012 Profiler:</b> 1Mio Pkte./Sek, mm-Gen.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Panoramakamera</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• GNSS-IMU Einheit, hochklassig, Varianten</li> <li>• FOG/MEMS</li> <li>• 1-2 Antennen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PKW</li> <li>• Beliebige Fahrzeuge</li> <li>• Zug</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Autobahn Mapping</li> <li>• Infrastruktur</li> <li>• 3D Stadtmodelle</li> <li>• Tunnelmodellierung</li> <li>• Vegetation Mapping</li> <li>• Schienen Mapping</li> </ul>

## Anwendungsbeispiele

### Leica Pegasus Reihe



### Trimble MX-Reihe



Lasse Klingbeil - Mobile Mapping - TLS2020

slide 23

## Anwendungsbeispiele

### RIEGL VM-Reihe



### IGI StreetMapper, RailMapper



Lasse Klingbeil - Mobile Mapping - TLS2020

slide 24

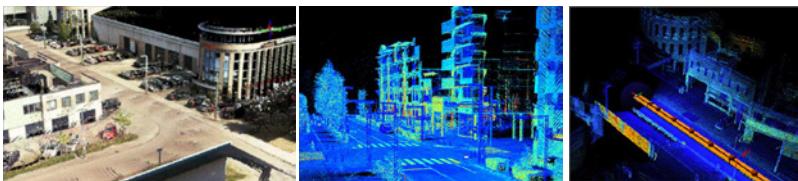
MMS	Scanner	Kameras	Trajektorie	Plattform	Einsätze
Topcon IP-S3 HD1/ RD-M1	<b>Velodyne HDL-32E:</b> 700.000 Pkte/Sek, 2cm Gen. +285.000 Pkte/Sek, 10mm Gen.	•0-4 Kameras	•GNSS+IMU Einheit	•PKW •Fahrzeuge •Baumaschinen	•Kartierung •Straßenoberfläche •Bestandsaufnahme •Versorgungsleitungen •Überwachungsmessung •Risikomanagement •Automatische Fräsen- und Pflastermaschinen führen <b>•Betriebsdauer: 8h</b>
VEXCEL UltraCam Mustang	<b>Velodyne HDL-32E:</b> 700.000 Pkte/Sek, 2cm Gen.	•9 Kameras	•GNSS+INS	•Beliebige Fahrzeuge •Züge •Boote	•Straßenszene •3D Rekonstruktion •Vegetation, Wald
Kaarta Stencil-Reihe	<b>Velodyne HDL-32E:</b> 700.000 Pkte/Sek, 2cm Gen. <b>Velodyne VLP-16:</b> 300.000 Pkte/Sek, 3cm Gen. <b>Velodyne Ultra Puck VLP-32:</b> 600.000 Pkte/Sek, 3cm Gen. +35.000 Pkte/Sek, 3cm Gen.	•0-4 Kameras •Panoramakamera, sphärische Kamera	•GNSS (teilweise optional) <b>•MEMS basierte IMU</b>	•PKW •Beliebige Fahrzeuge •Züge •Roboter (Hand) (UAV)	•Indoor, Outdoor •Tempel, Gebäude •BIM Modellierung •Vegetation, Wald kartieren •Bordsteinbelegungsanalyse •Inventarisierung •Überwachung <b>•Betriebsdauer: 2-3h</b>
Teledyne Optech Maverick	<b>Velodyne HDL-32E:</b> 700.000 Pkte/Sek, 2cm@25m	•6 Kameras	•GNSS optional	•Fahrzeuge •Quads •Segways •Züge •Rucksäcke	•Transportsicherheit •Bau, Asset-Management •Schienen, Bahnanlagen •Versorgungsunternehmen •3D-Modellierung

Lasse Klingbeil - Mobile Mapping - TLS2020

slide 25

## Anwendungsbeispiele

### Topcon IP-S3 HD1/RD-M1



### VEXCEL UltraCam Mustang

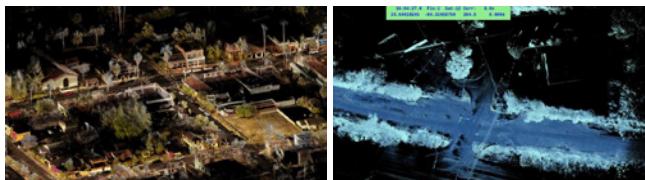


Lasse Klingbeil - Mobile Mapping - TLS2020

slide 26

## Anwendungsbeispiele

## Kaarta Stencil-Reihe



## Teledyne Optech Maverick



Lasse Klingbeil - Mobile Mapping - TLS2020

slide 27

MMS	Scanner	Kameras	Trajektorie	Plattform	Einsätze
Leica Pegasus: Backpack	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Velodyne VLP-16:</b> jew. 300.000 Pkte./Sek, 3cm Gen.</li> </ul>	•5 Kameras	<ul style="list-style-type: none"> <li>•GNSS optional</li> <li>•SLAM + IMU</li> </ul>	•Rucksack	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Indoor, Outdoor</li> <li>•Naturkatastrophengebiet, fundierte Entscheidungen in Notfallsituationen</li> <li>•Betriebszeit: 4h</li> </ul>
Trimble Indoor Mobile Mapping TIMMS	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Scanner variabel:</li> <li>•Trimble TX-5</li> <li>•FARO Focus X-130, X-330, S-70-A, S-150-A, S-350-A</li> </ul>	•Panorama kamera	<ul style="list-style-type: none"> <li>•IMU</li> <li>•Kein GNSS nötig</li> </ul>	•Trolley	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Indoor</li> <li>•Büros</li> <li>•Flughäfen</li> <li>•Museen</li> <li>•Messen</li> <li>•Einkaufs-, Produktions-, Logistikzentren</li> <li>•Konzerthallen, Theater</li> <li>•Betriebszeit: 4h</li> </ul>
NavVis	<ul style="list-style-type: none"> <li>•1-3 Scanner</li> <li>•<b>Velodyne VLP-16:</b> jew. 300.000 Pkte./Sek, 3cm Gen.</li> <li>•<b>Hokuyo UTM-30LX:</b> 43.000 Pkte./Sek, 1-3cm Gen.</li> </ul>	•Bis 6 Kameras	<ul style="list-style-type: none"> <li>•SLAM</li> <li>•IMU</li> <li>•Optional: Bodenpunkte aufmessen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Trolley</li> <li>•Rucksack</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Indoor</li> <li>•Reality capture</li> <li>•BIM</li> <li>•Innenräume</li> <li>•Modellierung</li> </ul>
VEXCEL UltraCam Panther	• <b>Velodyne VLP-16:</b> jew. 300.000 Pkte./Sek, 3cm Gen.	•26 Kameras	<ul style="list-style-type: none"> <li>•IMU Applanix APX-15L</li> <li>•Odometer</li> </ul>	•Rucksack	•Indoor, Outdoor

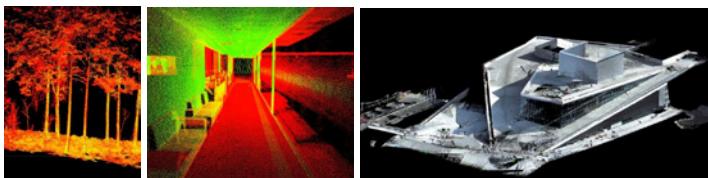
Lasse Klingbeil - Mobile Mapping - TLS2020

slide 28

MMS	Scanner	Kameras	Trajektorie	Plattform	Einsätze
Gexcel Heron-Reihe	<ul style="list-style-type: none"> <li>•1-2 Scanner</li> <li>•<b>Velodyne VLP-16:</b> jew. 300.000 Pkte./Sek, 3cm Gen</li> <li>•<b>Velodyne HDL-32E:</b> 700.000 Pkte./Sek, 2cm Gen..</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Panoramakamera optional</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•SLAM</li> <li>•IMU</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Hand</li> <li>•Rucksack</li> <li>•Auto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Indoor, Outdoor</li> <li>•Betriebszeit: 1,5-3h</li> </ul>
ViAmetris MS-Reihe	<ul style="list-style-type: none"> <li>•1-2 Scanner</li> <li>•<b>Velodyne VLP-16:</b> jew. 300.000 Pkte./Sek, 3cm Gen.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•1-6 Kameras</li> <li>•Panoramakamera, Fisheye-Kamera</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Optional GNSS (1-2 Antennen)</li> <li>•IMU</li> <li>•SLAM)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Hand</li> <li>•Rucksack</li> <li>•Trolley</li> <li>•Auto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Indoor, Outdoor</li> <li>•Bauwerke</li> <li>•Industrie</li> <li>•Einkaufszentren</li> <li>•U-Bahnstationen</li> <li>•Büroräume</li> </ul>
GeoSLAM ZEB-Reihe	<ul style="list-style-type: none"> <li>•<b>Velodyne VLP-16:</b> 300.000 Pkte./Sek, 3cm Gen.</li> <li>•<b>Hokuyo UTM-30LX:</b> 43.000 Pkte./Sek, 1-3cm Gen.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•1 Kamera optional</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•SLAM</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Hand</li> <li>•Rucksack</li> <li>•Fahrzeug</li> <li>•UAV</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Indoor</li> <li>•Wohnungen</li> <li>•Unterirdisch (Tunnel, Mienen)</li> <li>•Volumenbestimmung</li> </ul>
CSIRO Zebedee	•Low-cost Scanner		<ul style="list-style-type: none"> <li>•MEMS IMU</li> <li>•SLAM</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Hand</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Indoor</li> <li>•Räume</li> <li>•Tunnel</li> <li>•Wälder</li> </ul>

## Anwendungsbeispiele

### Leica Pegasus:Backpack



### Trimble Indoor Mobile Mapping TIMMS



## Anwendungsbeispiele

### GeoSLAM ZEB-Reihe



### Gexcel Heron-Reihe



Lasse Klingbeil - Mobile Mapping - TLS2020

slide 31



- Leicht genug für UAVs
- Lower- oder Higher-end Scanner (meist nur einer)
- ~mm/~cm Lasergenauigkeit
- Kameras
- Lower oder Higher -end GNSS/IMU
- GNSS/IMU Trajektorie

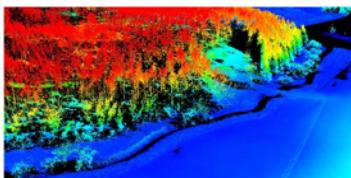
Lasse Klingbeil - Mobile Mapping - TLS2020

slide 32

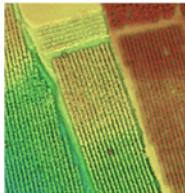
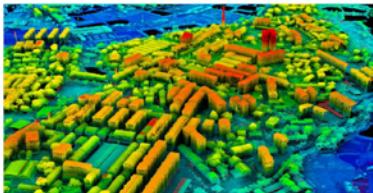
MMS	Scanner	Kameras	Trajektorie	Plattform	Einsätze
RIEGL RiCopter- Reihe	<ul style="list-style-type: none"> <li>•1-2 Scanner</li> <li>•<b>RIEGL VUX-1UAV:</b> 500.000 Pkte/Sek, 1cm Gen.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•0-3 Kameras</li> <li>•optional Wärmebildkameras, Hyper-spektralkameras</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•GNSS-IMU Einheit</li> <li>•Applanix APX-20 External IMU</li> <li>•FOG</li> </ul>	•UAV	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Landwirtschaft</li> <li>•Topographie</li> <li>•Bergregion, Stadtgebiet</li> <li>•Archäologie</li> <li>•Monitoring</li> <li>•Stromleitungen</li> <li>•Eisenbahnschienen</li> <li>•Pipelines/Gaslecker-Kennung</li> </ul>
Micro- drones mLiDAR 3000LR aa5	<ul style="list-style-type: none"> <li>•<b>RIEGL VUX-1UAV:</b> 500.000 Pkte/Sek, 1cm Gen.</li> </ul>			•UAV	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Korridor-Mapping</li> <li>•Voumenberechnung</li> <li>•Bergbau</li> <li>•Monitoring</li> <li>•Forstwirtschaft</li> <li>•Archäologie</li> <li>•Stromleitungen Inspektion</li> </ul>
Stormbee Flight System	<ul style="list-style-type: none"> <li>•<b>Faro Focus Scanner:</b> 967.000 Pkte/Sek, mm-Gen.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>•GNSS-IMU Einheit Trimble APX-20 UAV</li> </ul>	•UAV	•unbegehbarer Orte
Green- Valley LiAir Reihe	<ul style="list-style-type: none"> <li>•<b>Riegl VUX-1LR:</b> 750.000 Pkte/Sek, 1,5cm Gen.</li> <li>•<b>Velodyne VLP-16:</b> 300.000 Pkte/Sek, 3cm Gen.</li> <li>•<b>Livox AVIA</b></li> <li>•<b>RIEGL VUX-1HA:</b> 1Mio Punkte/Sek, 5mm Gen.</li> <li>•<b>Hesai Pandar40P</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•optional Kamera</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•GNSS-IMU Einheit</li> </ul>	•UAV	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Kartierung von Stromleitungen</li> <li>•komplexe Oberflächen</li> <li>•Orte mit geringer Vegetation</li> <li>•Forstwirtschaft, Waldboden</li> <li>•Industrie</li> </ul>

## Anwendungsbeispiele

### Stormbee Flight System



### GreenValley LiAire-Reihe



- Das Angebot kommerzieller Mobile Mapping Systeme ist groß geworden
- Die wesentlichen Qualitätsunterschiede liegen in der GNSS/IMU Einheit und dem Laserscanner. Letzterer bestimmt die Punktdichte und notwendige Messzeit.
- Es gibt immer mehr Systeme, deren Trajektorienbestimmung nicht auf eine gute GNSS/IMU Einheit angewiesen ist, sondern SLAM Verfahren nutzt.
- Letztere Systeme können auch in Innenräumen verwendet werden
- Eine Qualitätsbewertung ist sehr schwierig, da sie von vielen Komponenten der Messung und Prozessierung abhängt.  
Hier ist die Forschung nötig ☺

**Vielen Dank!**

- [https://leica-geosystems.com/de-de/products/mobile-sensor-platforms/capture-platforms/leica-pegasus\\_two](https://leica-geosystems.com/de-de/products/mobile-sensor-platforms/capture-platforms/leica-pegasus_two)
- <https://leica-geosystems.com/de-de/products/mobile-sensor-platforms/capture-platforms/leica-pegasus-backpack>
- [https://leica-geosystems.com/de-de/products/mobile-sensor-platforms/capture-platforms/leica-pegasus\\_two-ultimate](https://leica-geosystems.com/de-de/products/mobile-sensor-platforms/capture-platforms/leica-pegasus_two-ultimate)
- <https://geospatial.trimble.com/products-and-solutions/trimble-mx2>
- <https://geospatial.trimble.com/products-and-solutions/trimble-mx9>
- <https://geospatial.trimble.com/products-and-solutions/trimble-mx7>
- <https://allterra-dno.de/mobile-mapping-mx-8/>
- <http://www.riegl.com/nc/products/mobile-scanning/>
- <https://www.igi-systems.com/streetmapper.html>
- <https://geo-store.net>
- <http://www.teledyneoptech.com>
- <https://www.topconpositioning.com/de/mass-data-and-volume-collection/mobile-mapping/ip-s3>
- <https://www.topconpositioning.com/de/paving-milling-and-compactating/milling/rd-m1-scanner>
- <https://www.kaarta.com/products/stencil-2-for-rapid-long-range-mobile-mapping/>
- <https://www.kaarta.com/products/stencil-pro/>
- <https://www.kaarta.com/products/contour/>
- <https://www.vexcel-imaging.com/ultracam-mustang/>
- <https://www.vexcel-imaging.com/ultracam-panther/>
- <https://www.applanix.com/>

- <https://www.navvis.com/>
- <https://gexcel.it/en/solutions/heron-mobile-mapping>
- <https://www.viametris.com/ims3d>
- <https://www.viametris.com/bms3d4cams>
- <https://www.viametris.com/backpackmobilescannerbms3d>
- <https://www.viametris.com/ims2d>
- <https://www.viametris.com/vms3d>
- <https://geoslam.com/solutions/zeb-go/>
- <https://geoslam.com/solutions/zeb-go/#zebgort>
- <https://geoslam.com/solutions/zeb-horizon/>
- <https://geoslam.com/solutions/zeb-pano/>
- <https://research.csiro.au/robotics/zebedee/>
- <http://www.riegl.com/products/unmanned-scanning/ricopter/>
- <http://www.riegl.com/products/unmanned-scanning/ricopter-m/>
- <http://www.riegl.com/products/unmanned-scanning/ricopter-with-vux-sys/>
- <https://www.microdrones.com/de/integrated-systems/mdlidar/mdlidar3000lr-aas/>
- <https://www.stormbee.com/drone-mapping/>
- <https://greenvalleyintl.com/hardware/liair-series/>
- Datenblätter der Sensoren und Mobilen Multisensorsysteme



# Zum Einsatz von Punktwolken in der Straßenbauvermessung

Brigitte Husen



## Der Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen

Zum Einsatz von Punktwolken in der Straßenbauvermessung

### Punktwolken

- Terrestrisches Laserscanning (TLS) / Mobiles Laserscanning (MLS)
- Luftbildphotogrammetrie / Drohnenvermessung

DVV-Seminar „Terrestrisches Laserscanning 2020“, 03.-04.12.2020

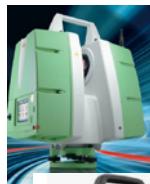
### 1. Laserscanning Zur Verfügung stehende Geräte



MLS:  
Trimble MX8



TLS:  
Leica P20

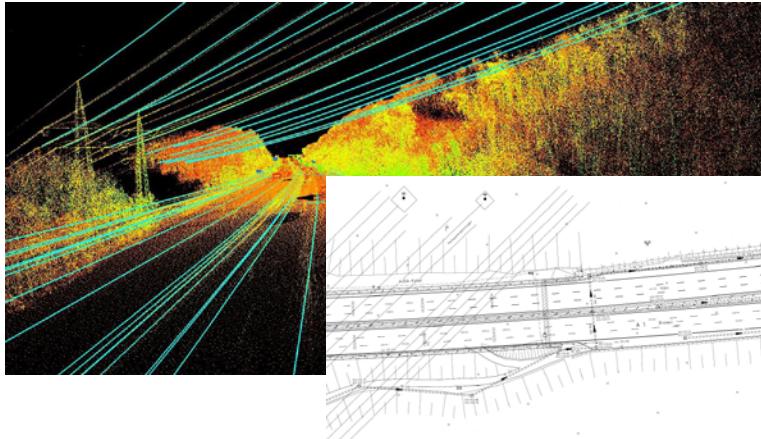


Trimble MX9



DVV-Seminar „Terrestrisches Laserscanning 2020“, 03.-04.12.2020

**Anwendung MLS:  
planungsbegleitende Vermessung A1 Volmarstein**

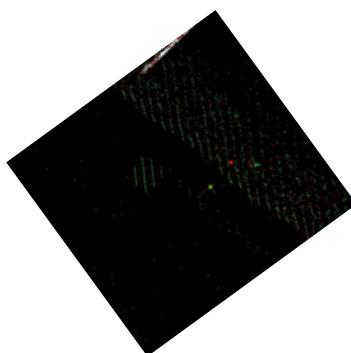


DVW-Seminar „Terrestrisches Laserscanning 2020“, 03.-04.12.2020

**Markierung der Passpunkte zur Genauigkeitssteigerung der  
Georeferenzierung (MLS)**



Markierung mit Fassadenfarbe,  
tzw. mit eingestreuten Glaskugelchen



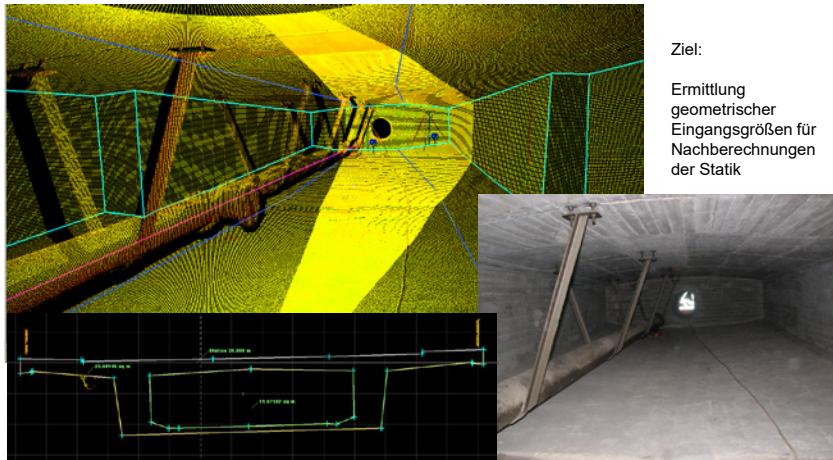
DVW-Seminar „Terrestrisches Laserscanning 2020“, 03.-04.12.2020

**Anwendung TLS:  
Hohlkastenvermessung AK Köln-Ost (Bestand)**



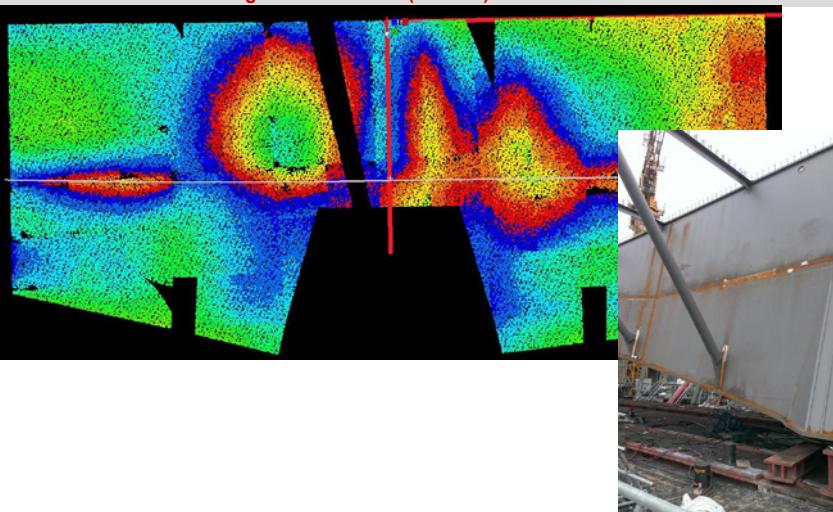
Ziel:

Ermittlung  
geometrischer  
Eingangsgrößen für  
Nachberechnungen  
der Statik



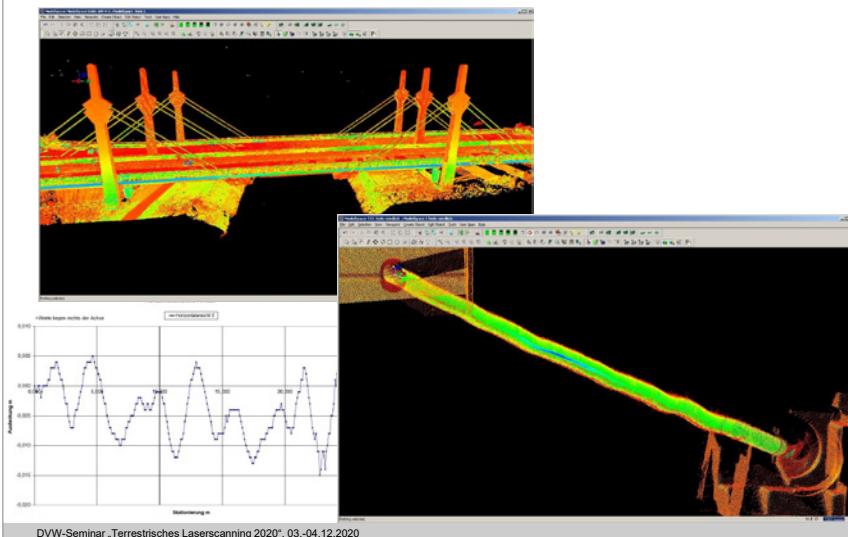
DVV-Seminar „Terrestrisches Laserscanning 2020“, 03.-04.12.2020

**Weitere Anwendung TLS:  
Hohlkastenvermessung Lennetalbrücke (Neubau)**

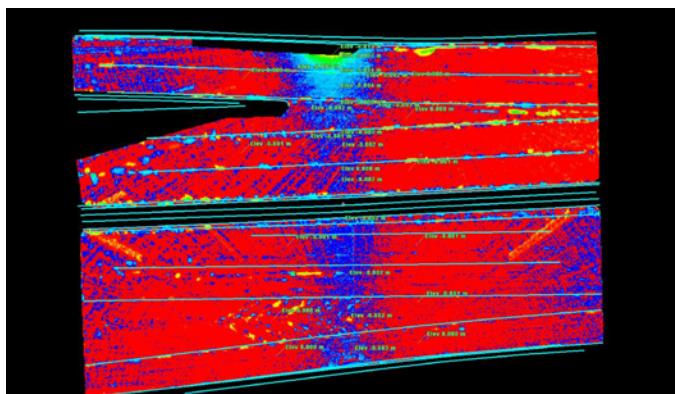


DVV-Seminar „Terrestrisches Laserscanning 2020“, 03.-04.12.2020

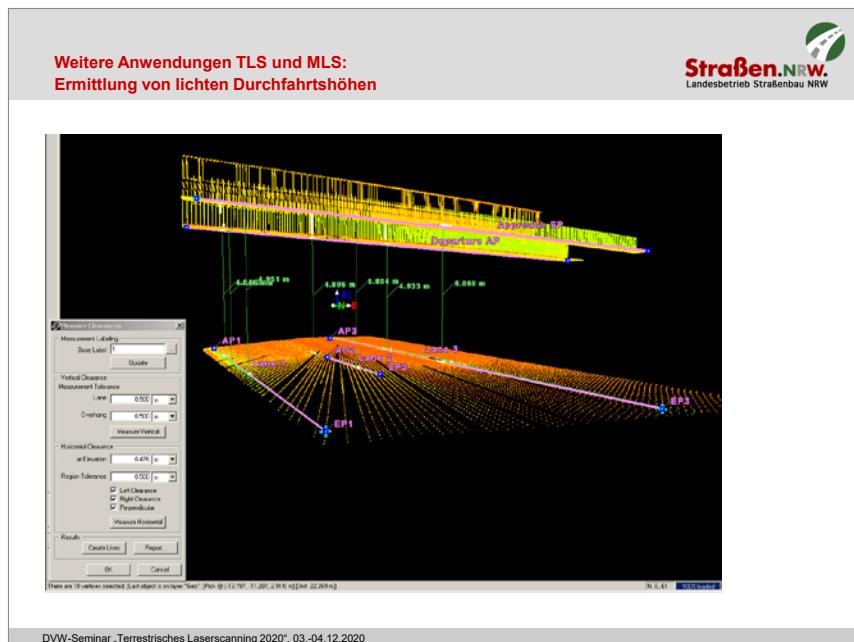
Weitere Anwendung TLS:  
Verformung von Tragseilen



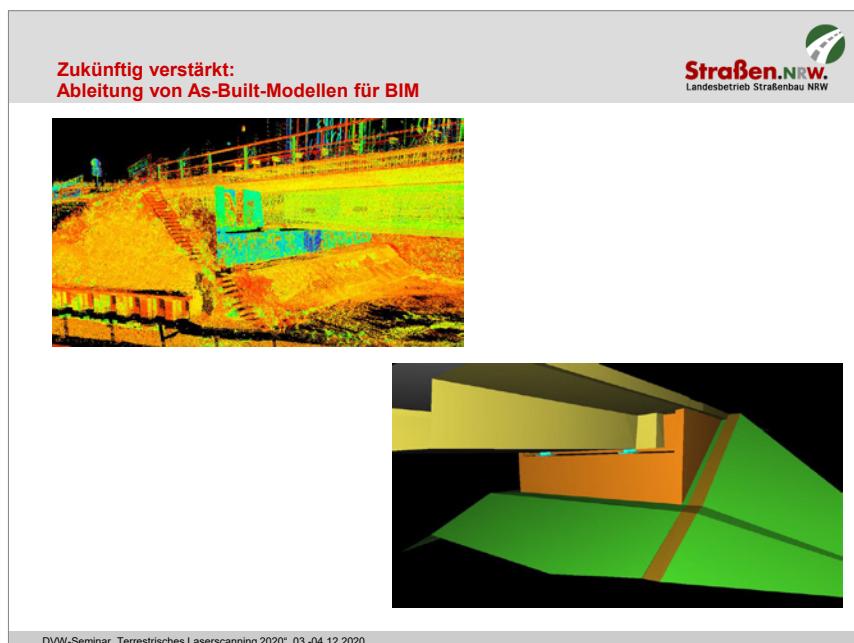
Weitere Anwendungen TLS:  
Beweissicherungsmessungen (Durchpressung)



Differenzmodell aus der Nullmessung und der 1. Kontrollmessung



DVW-Seminar „Terrestrisches Laserscanning 2020“, 03.-04.12.2020



DVW-Seminar „Terrestrisches Laserscanning 2020“, 03.-04.12.2020

## 2. Drohnen

DJI Matrice 210 mit Kameras Zenmuse X4S und Zenmuse X5S



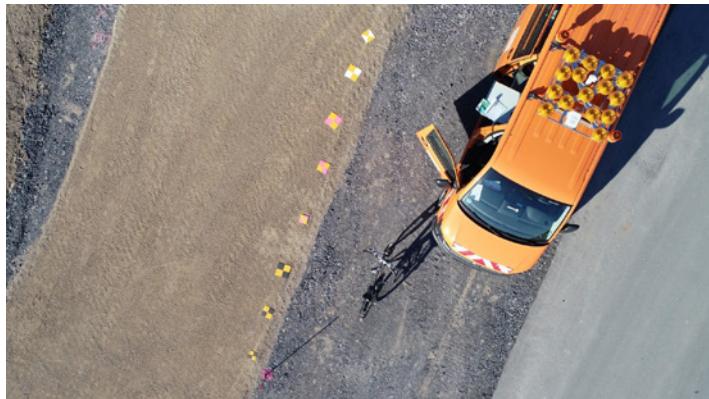
DVW-Seminar „Terrestrisches Laserscanning 2020“, 03.-04.12.2020

### Mögliche Einsatzgebiete der Drohnenvermessung bei Straßen.NRW

- Baufortschrittsdokumentation
- Anfertigung von Fotos für die Öffentlichkeitsarbeit
- Vermessung kleinerer Projekte
- Volumenermittlungen an Baustellen (Erdmassenbewegungen, Mieten etc.)
- Vermessungen im schwer zugänglichen Gelände
- Evtl. Unterstützung der Brückenprüfung an hohen schwer zugänglichen Stellen (Sichtprüfung)

DVW-Seminar „Terrestrisches Laserscanning 2020“, 03.-04.12.2020

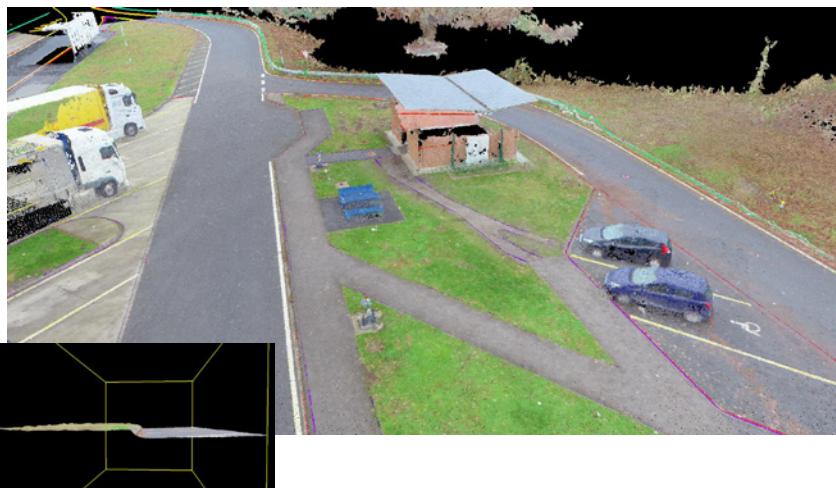
**Signalisierung der Passpunkte**



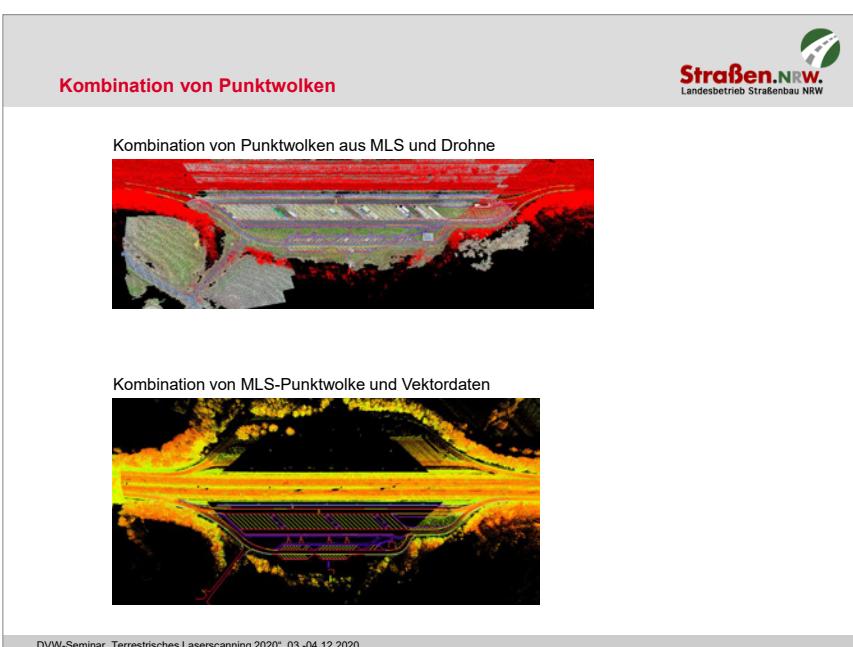
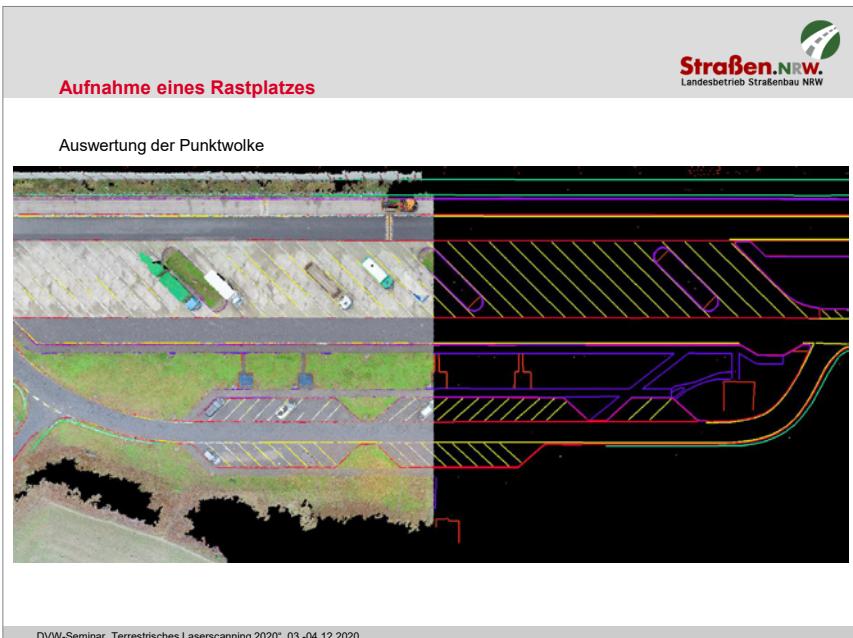
DVW-Seminar „Terrestrisches Laserscanning 2020“, 03.-04.12.2020

**Aufnahme eines Rastplatzes**

Problemstellen



DVW-Seminar „Terrestrisches Laserscanning 2020“, 03.-04.12.2020



**Bestandsdokumentation nach Neubau**

**Straßen.NRW.**  
Landesbetrieb Straßenbau NRW

**Ortsumgehung L183 Sinnerndorf  
Bestandsplan**

DVV-Seminar „Terrestrisches Laserscanning 2020“, 03.-04.12.2020

**Massenberechnungen, Vergleich unterschiedlicher Software**

Testprojekt: Neubau der OU B221 Wassenberg

Erdmieten  
Länge: 200 m  
Höhdifferenz: ca. 4 m

DVV-Seminar „Terrestrisches Laserscanning 2020“, 03.-04.12.2020

**Massenberechnungen: grundsätzliches Vorgehen**

**Strassen.NRW.**  
Landesbetrieb Straßenbau NRW

Haldenoberfläche

Punktwolke

Geländeoberfläche, angenähert durch ein DGM (Vermischung des Umrings), soweit kein Urgelände verfügbar

DVW-Seminar „Terrestrisches Laserscanning 2020“, 03.-04.12.2020

**Massenberechnungen, Vergleich unterschiedlicher Software**

**Strassen.NRW.**  
Landesbetrieb Straßenbau NRW

grün: geneigtes Gelände  
beige: horizontale Fläche

Metashape	Berechnungsmethode Bezugshöhe	Halde					Einheit	Bemerkungen
		1	2	3	4	5		
Best-fit-Ebene	16792,9	2200,8	872,0	188,0	11587,6	m <sup>3</sup>		
	-1025,1	-412,5	-35,9	-1,8	-557,8	Δ m <sup>3</sup>		
	-6,5	-23,1	-4,3	-1,0	-5,1	Δ %	Diff. zu Vestra	
feste Höhe Höhe	16779,6	2183,9	867,2	155,8	11187,9	m <sup>3</sup>		
	101,5	101,8	101,3	100,0	101,1	m		
	-20,8	1,2	-2,4	-1,1	3,8	Δ m <sup>3</sup>		
	-0,1	0,1	-0,3	-0,7	0,0	Δ %	Diff. zu Vestra	
Cyclone	DGM aus Umring	15769,1	1788,3	836,2	186,5	11030,0	m <sup>3</sup>	
		-1,3	0,0	0,0	-0,3	-0,1	Δ m <sup>3</sup>	
		0,0	0,0	0,0	-0,2	0,0	Δ %	
Vestra	DGM aus Umring	15757,8	1788,3	836,2	186,2	11029,8	m <sup>3</sup>	Soll
		101,5	101,8	101,3	100,0	101,1	m	
		16758,8	2185,1	864,7	154,8	11191,7	m <sup>3</sup>	

Metashape:  
Berechnungsvarianten

Fazit: Keine Massenberechnung mit Metashape im geneigten Gelände!

DVW-Seminar „Terrestrisches Laserscanning 2020“, 03.-04.12.2020



19.08.2019



21.10.2019



17.03.2020



08.06.2020

DVV-Seminar „Terrestrisches Laserscanning 2020“, 03.-04.12.2020

### Fotodokumentation

#### Beispiel: A 45 Lennetalbrücke, Öffentlichkeitsarbeit



DVV-Seminar „Terrestrisches Laserscanning 2020“, 03.-04.12.2020

**Fotodokumentation**



**Beispiel: Baufortschrittsdokumentation**



DVW-Seminar „Terrestrisches Laserscanning 2020“, 03.-04.12.2020

**Beispiele: Anwendungen mit Gyrocopter**



Aufnahme der Siegtalbrücke  
aus einem Gyrocopter



Schrägaufnahme

Orthophoto-Ausschnitt



DVW-Seminar „Terrestrisches Laserscanning 2020“, 03.-04.12.2020

### Großformat-Photogrammetrie



Beispiel A3: Korridorbreite 600 m, Genauigkeit 3 cm in Lage und Höhe



DVW-Seminar „Terrestrisches Laserscanning 2020“, 03.-04.12.2020

### Noch Fragen?



### Kontakt

**Dr.-Ing. Brigitte Husen**  
Zentrale Vermessungsleistungen

Landesbetrieb Straßenbau  
Betriebssitz, Referat Technik  
Warendorfer Str. 14  
48145 Münster

[www.strassen.nrw.de](http://www.strassen.nrw.de)  
[brigitte.husen@strassen.nrw.de](mailto:brigitte.husen@strassen.nrw.de)

Telefon 0251-1444-416

DVW-Seminar „Terrestrisches Laserscanning 2020“, 03.-04.12.2020



# Prüfverfahren für die Qualität von Mobile Mapping Scannerdaten

Gunnar Gräfe



## Prüfverfahren für die Qualität von Mobile Mapping Scannerdaten

Dr.-Ing. Gunnar Gräfe



[www.3d-mapping.de](http://www.3d-mapping.de)

2

## 3D Mapping Solutions Einführung



### 3D Mapping Solutions GmbH

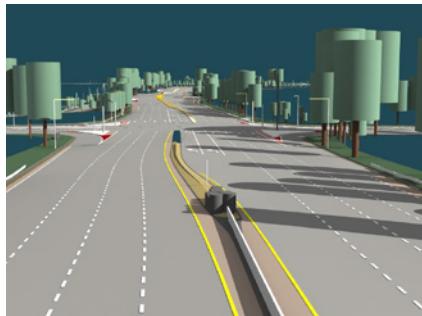
- Sitz: Holzkirchen bei München
- Tochterfirma: 3D Mapping Solutions Inc., Pittsburgh, PA, USA
- Gegründet 2007 von Gunnar Gräfe und Martin Lang, beide mit mehr als 20 Jahren Erfahrung in kinematischer Ingenieurvermessung
- 66 Mitarbeiter
- Weltweite Vermessungsdienstleistungen (Europe, USA, China, Japan), z.B. zur hochgenauen Erfassung und Auswertung von
  - Straßen, bzw. Straßennetzen,
  - Bahnstrecken, Tunneln, U-Bahnen,
  - Flughäfen,
  - automobilen Prüfgeländen sowie
  - Test- und Referenzstrecken für das autonome Fahren.



© Copyright 2020 3D Mapping Solutions GmbH (The information contained herein is subject to change without notice.)

### Prinzip und Anwendungen für die kinematische Vermessung

- Mobile Mapping mit hochauflösenden Messsystemen ist eine geeignete technische Lösung für die Aufnahme langgestreckter Verkehrswege und von Verkehrsnetzen mit hoher Auflösung und Genauigkeit.
- Die Datenaufnahme erfolgt mit Hilfe von Hochleistungs-Laserscannern und digitalen Kameras in Verbindung mit hochgenauer Positions- und Lagewinkelbestimmung zur perfekten Kompensation der Fahrzeugbewegungen.
- Ziel der Vermessung ist allgemein die Erstellung eines exakten digitalen Zwillingen der Realität. Dies können Bestandspläne sein, hochauflösende Fahrbaumodelle, Grundlagen für Simulation, virtuelle Darstellungen oder BIM-Anwendungen.



© Copyright 2020 3D Mapping Solutions GmbH (The information contained herein is subject to change without notice.)

### Aufbau eines mobilen 3D Mapping Multisensor - Messsystems

- **Modul zur kinematischen Positions- und Orientierungsbestimmung**
  - Inertialsystem (IMU)
  - DGPS
  - Wegsensor
- Ziel: dreidimensionale Erfassung aller Bewegungen des Messfahrzeugs als Voraussetzung für die vollständige Kompensation aller Fahrzeugbewegungen bei der Auswertung der Sensordaten.
- **Modul der Aufnahmesensoren**
- Kalibrierte Mess-Kameras in variabler Anzahl und mit variabler Ausrichtung
  - Im weitesten Sinne zählen auch Panoramakameras hierzu, da diese ebenfalls Einzelkamerabilder aufnehmen, die dann zu 360° Bildern zusammengefügt werden.
- Hochleistungs-Laserscanner:
  - Messrate im Bereich 1 Million Punkte / Sekunde und Reichweite bis zu 100 m
  - Messgenauigkeit pro Einzelpunkt im Nahbereich: < 1 mm
- Mindestens 2 Scanner parallel im Einsatz



© Copyright 2020 3D Mapping Solutions GmbH (The information contained herein is subject to change without notice.)

## Beispiele 3D Mapping Multisensor - Messdaten



▪ Hochauflösende Laserscanner



▪ Kalibrierte Farbkameras



▪ Kalibrierte, infrarotempfindliche Grauwertkameras



▪ 360° Panoramakamera



▪ Zusatzsensoren, z.B. Radar als Georadar oder zur zusätzlichen Erfassung der Materialeigenschaften der Objekte

© Copyright 2020 3D Mapping Solutions GmbH (The information contained herein is subject to change without notice.)

## 3D Mapping bildet die Brücke zwischen der Realität und dem perfekten digitalen Zwilling

3D Mapping Solutions digitalisiert Verkehrsanlagen oder Straßennetze weltweit mit Mobile Mapping Systemen.



Die aufgenommenen Laserscanner- und Kameradaten dienen als Grundlage für die Extraktion der Objekte und Attribute.



Ergebnis sind Bestandspläne, intelligente Straßenkarten, BIM Anwendungen oder virtuelle Darstellungen.



© Copyright 2020 3D Mapping Solutions GmbH (The information contained herein is subject to change without notice.)

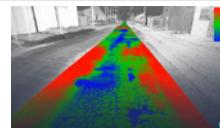
### 3D Prozesskette am Beispiel von Autobahn-Bestandsdaten



© Copyright 2020 3D Mapping Solutions GmbH (The information contained herein is subject to change without notice.)

### Mobile Mapping Qualitätsanforderungen

- Hochgenaue Bestandsdaten
  - Im Post-Processing nach Abschluss der Befahrung kann jede Genauigkeitsklasse erzeugt werden.
  - Häufigste Anforderung der Auftraggeber aus der Ingenieurvermessung, z.B. bei der Bestandsdatenerfassung auf Autobahnen:
    - Stützung auf Passpunkte (3 bis 4 pro km Fahrbahn)
    - Absolute Genauigkeit:
      - Standardabweichung 1-3 cm in der Lage
      - Standardabweichung besser als 0,005 m in der Höhe
    - Relative Genauigkeit der Objekte im Aufnahmekorridor
      - Photogrammetrie (relative Lage) < 0,01 bis 0,03 m
      - Laserscanner (relative Lage) < 0,005 m
- Hochauflösende Oberflächenmodelle im Fahrbahnbereich
  - Relative Genauigkeit im Höhenmodell < 1 mm
- 3D Umgebungsmodell
  - Korrekte Darstellung der Objekte und Attribute



© Copyright 2020 3D Mapping Solutions GmbH (The information contained herein is subject to change without notice.)

## Beschreibung der Datenqualität

- Qualität des Messsystems und der Aufnahmesensoren
- Qualität der Bestandskartendaten
  - Absolute Genauigkeit
  - Relative Genauigkeit
  - Datenintegrität
  - Trajektorienhomogenisierung
  - Genauigkeit der parametrischen Darstellung
- Bestandskarte: Metadaten, Statistiken und formale Integrität
- Bestandskarte: Nutzbarkeit, z.B. in Bezug auf das Datenformat
- Optional: Validierung des Fahrbahnoberflächenmodells
- Optional: Validierung des 3D Umgebungsmodells



© Copyright 2020 3D Mapping Solutions GmbH (The information contained herein is subject to change without notice.)

## Beschreibung der Qualität des Messsystems

- Leistungsfähiges Kalibrierverfahren
  - Kalibriernachweise für die Sensoren
  - Kalibriernachweis für das Messsystem
- Präzise Synchronisation der Sensoren zum Inertialsystem
  - Beispiel: Faktisch bekommt jeder Scanpunkt der Laserscanner durch eine Auflösung der zeitlichen Synchronisation von  $10^{-6}$  Sekunden oder besser seine eigene äußere Orientierung.
  - Der Nachweis erfolgt hier über die Integrität der Messergebnisse (siehe Folien zur Prüfung der Laserscanner-Datenqualität)

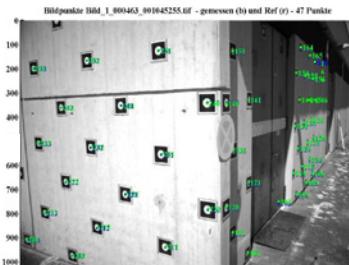


© Copyright 2020 3D Mapping Solutions GmbH (The information contained herein is subject to change without notice.)

## Kalibrierenachweis für das Messsystem – Gemeinsame Kalibrierung aller Sensoren als Basis für die relative Genauigkeit

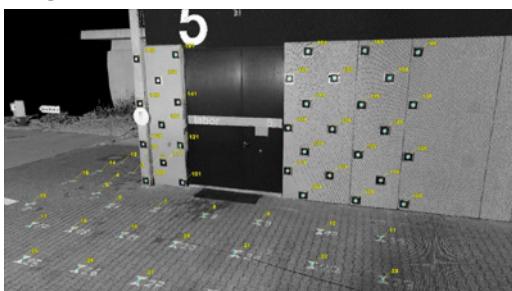


- Multi-Kamera Photogrammetrie
  - Standardabweichung < 1 cm
- Laserscanner Messdaten
  - Koordinatenbestimmung Standardabweichung < 5 mm
  - Standardabweichung für die Höhen des Oberflächenmodells der Fahrbahn < 1 mm



© Copyright 2020 3D Mapping Solutions GmbH (The information contained herein is subject to change without notice.)

## Prüfung des Kalibrierenachweises



- Beispiel für die Kontrolle der Scannerkalibrierung
  - Messung relative Maße von Bodenpunkten zu 45 Kontrollpunkten mit Höhen zwischen 3,44 und 11,25 m über Grund
  - Standardabweichung der Höhendifferenzen im Vergleich mit den Sollmaßen: 0,0015 m

© Copyright 2020 3D Mapping Solutions GmbH (The information contained herein is subject to change without notice.)

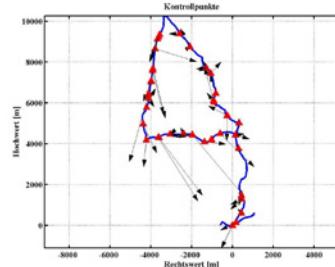
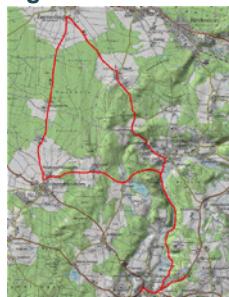
## Beschreibung der Datenqualität

- Qualität des Messsystems und der Aufnahmesensoren
- Qualität der Bestandskartendaten
  - **Absolute Genauigkeit**
    - Prüfung durch Vergleich mit Passpunkten
    - Prüfung durch Vergleich mit Referenzmessungen
  - Relative Genauigkeit
  - Datenintegrität
  - Trajektorienhomogenisierung
  - Genauigkeit der parametrischen Darstellung
- Bestandskarte: Metadaten, Statistiken und formale Integrität
- Bestandskarte: Nutzbarkeit, z.B. in Bezug auf das Datenformat
- Optional: Validierung des Fahrbahnoberflächenmodells
- Optional: Validierung des 3D Umgebungsmodells



© Copyright 2020 3D Mapping Solutions GmbH (The information contained herein is subject to change without notice.)

## Prüfung der absoluten Genauigkeit durch Vergleich mit Passpunkten



- Kontrolle der absoluten Genauigkeit einer Trajektorie mit Hilfe von 90 Passpunkten entlang von Landstraßen
- Resultat: Standardabweichung 0,3 m (Rechtswert, Hochwert) und 0,35 m für die Höhe

© Copyright 2020 3D Mapping Solutions GmbH (The information contained herein is subject to change without notice.)

## Prüfung der absoluten Genauigkeit durch Vergleich mit Referenzmessungen



Soll – Objekte  
Referenzmessung  
von 3D Mapping  
Solutions

Ist – Objekte  
Gemessen von  
einem zu prüfenden  
Mobile Mapping  
Messsystem

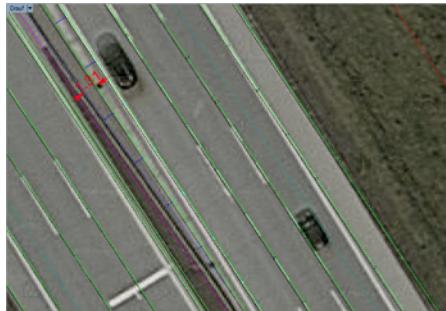
© Copyright 2020 3D Mapping Solutions GmbH (The information contained herein is subject to change without notice.)

## Prüfung der absoluten Genauigkeit durch Vergleich mit Referenzmessungen



© Copyright 2020 3D Mapping Solutions GmbH (The information contained herein is subject to change without notice.)

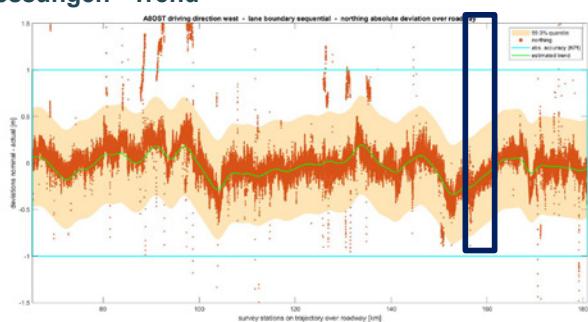
## Prüfung der absoluten Genauigkeit durch Vergleich mit Referenzmessungen



- Der Vergleich der Objekte mit Referenzmessungen liefert einen kontinuierlichen Vergleich der absoluten Lage und Höhe, z.B. über die Fahrbahnmarkierungen.
- Zur Spezifikation der absoluten Lagegenauigkeit wird ein Trend ermittelt.
- Nach Reduktion der Abweichungen um den Trend lässt sich auch die relative Genauigkeit im Vergleich mit den Referenzmessungen analysieren.

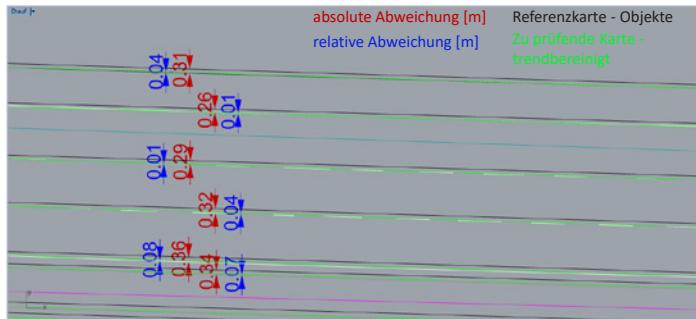
© Copyright 2020 3D Mapping Solutions GmbH (The information contained herein is subject to change without notice.)

## Prüfung der absoluten Genauigkeit durch Vergleich mit Referenzmessungen - Trend



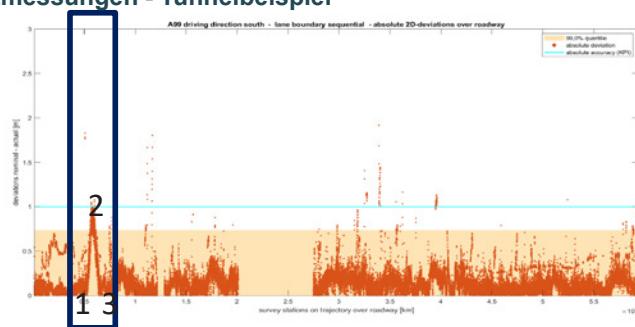
© Copyright 2020 3D Mapping Solutions GmbH (The information contained herein is subject to change without notice.)

### Prüfung der absoluten Genauigkeit durch Vergleich mit Referenzmessungen - Trend



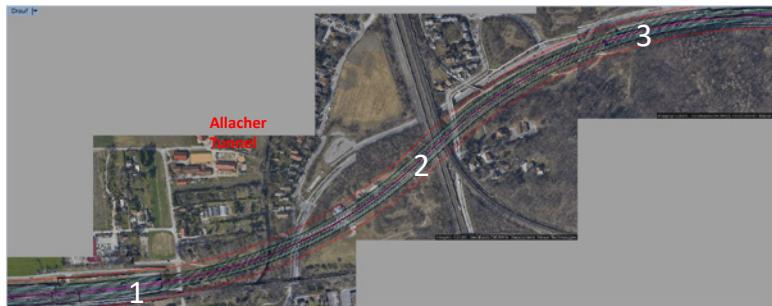
© Copyright 2020 3D Mapping Solutions GmbH (The information contained herein is subject to change without notice.)

### Prüfung der absoluten Genauigkeit durch Vergleich mit Referenzmessungen - Tunnelbeispiel



© Copyright 2020 3D Mapping Solutions GmbH (The information contained herein is subject to change without notice.)

### Prüfung der absoluten Genauigkeit durch Vergleich mit Referenzmessungen - Tunnelbeispiel



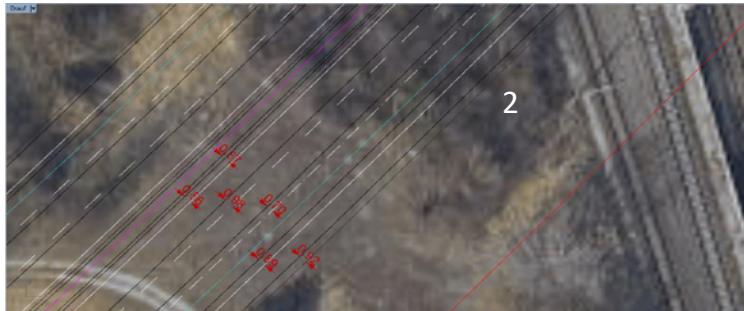
© Copyright 2020 3D Mapping Solutions GmbH (The information contained herein is subject to change without notice.)

### Prüfung der absoluten Genauigkeit durch Vergleich mit Referenzmessungen - Tunnelbeispiel



© Copyright 2020 3D Mapping Solutions GmbH (The information contained herein is subject to change without notice.)

## Prüfung der absoluten Genauigkeit durch Vergleich mit Referenzmessungen - Tunnelbeispiel



© Copyright 2020 3D Mapping Solutions GmbH (The information contained herein is subject to change without notice.)

## Prüfung der absoluten Genauigkeit durch Vergleich mit Referenzmessungen - Tunnelbeispiel



© Copyright 2020 3D Mapping Solutions GmbH (The information contained herein is subject to change without notice.)

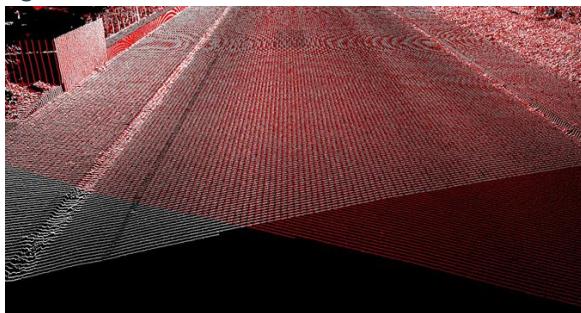
## Beschreibung der Datenqualität

- Qualität des Messsystems und der Aufnahmesensoren
- Qualität der Bestandskartendaten
  - Absolute Genauigkeit
  - Relative Genauigkeit
  - **Datenintegrität**
    - **Prüfung der korrekten Abbildung der Realität**
      - Allgemeingültige Absicherung gegen Systemfehler (Kalibrierfehler, Zeitfehler, Trajektorienfehler)
    - **Prüfung auf Unstetigkeiten und Sprünge**
    - Trajektorienhomogenisierung
    - Genauigkeit der parametrischen Darstellung
  - Bestandskarte: Metadaten, Statistiken und formale Integrität
  - Bestandskarte: Nutzbarkeit, z.B. in Bezug auf das Datenformat
  - Optional: Validierung des Fahrbahnoberflächenmodells
  - Optional: Validierung des 3D Umgebungsmodells



© Copyright 2020 3D Mapping Solutions GmbH (The information contained herein is subject to change without notice.)

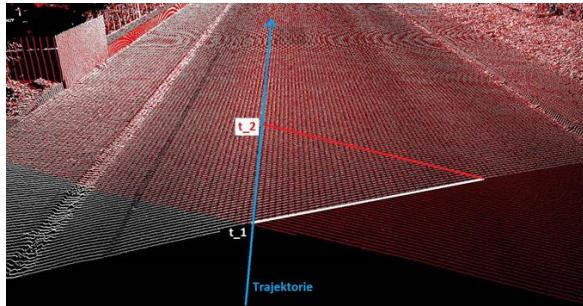
## Prüfung der Datenintegrität über den Vergleich redundant aufgenommener Scannerdaten



- Basis: zwei hochauflösende Laserscanner
- Die Lage der Aufnahmeprofile ist bei beiden Scannern jeweils unterschiedlich gegen die Fahrtrichtung geneigt.

© Copyright 2020 3D Mapping Solutions GmbH (The information contained herein is subject to change without notice.)

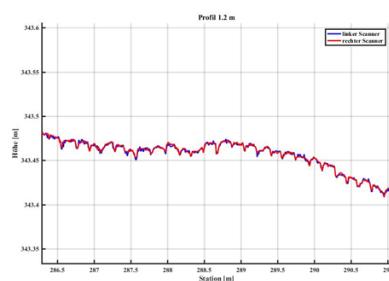
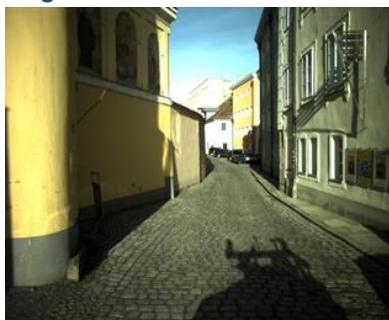
## Prüfung der Datenintegrität über den Vergleich redundant aufgenommener Scannerdaten



- Basis: zwei hochauflösende Laserscanner
- Die Lage der Aufnahmeprofile ist bei beiden Scannern jeweils unterschiedlich gegen die Fahrtrichtung geneigt.

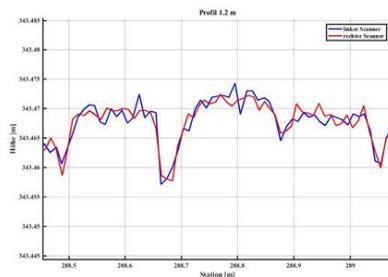
© Copyright 2020 3D Mapping Solutions GmbH (The information contained herein is subject to change without notice.)

## Prüfung der Datenintegrität über den Vergleich redundant aufgenommener Scannerdaten



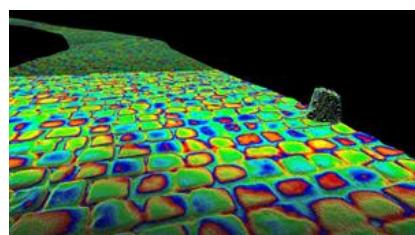
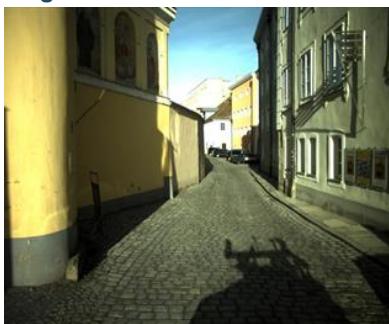
© Copyright 2020 3D Mapping Solutions GmbH (The information contained herein is subject to change without notice.)

### Prüfung der Datenintegrität über den Vergleich redundant aufgenommener Scannerdaten



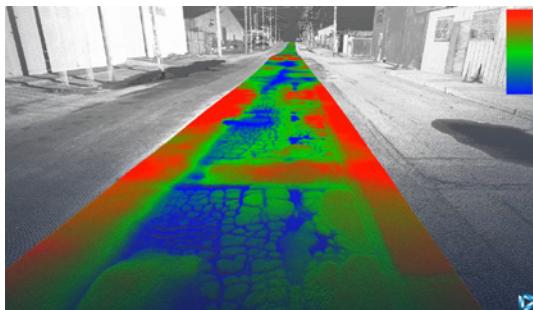
© Copyright 2020 3D Mapping Solutions GmbH (The information contained herein is subject to change without notice.)

### Prüfung der Datenintegrität über den Vergleich redundant aufgenommener Scannerdaten



© Copyright 2020 3D Mapping Solutions GmbH (The information contained herein is subject to change without notice.)

## Prüfung der Datenintegrität über den Vergleich redundant aufgenommener Scannerdaten - Anwendung



- Innenstadtstraße
- Straßenoberflächenmodell mit  $5 \times 5$  mm
- Höhenauflösung 0.1 mm
- Relative Höhengenauigkeit < 1 mm

© Copyright 2020 3D Mapping Solutions GmbH (The information contained herein is subject to change without notice.)

## Beschreibung der Datenqualität

- Qualität des Messsystems und der Aufnahmesensoren
- Qualität der Bestandskartendaten
  - Absolute Genauigkeit
  - Relative Genauigkeit
  - Datenintegrität
  - **Trajektorienhomogenisierung**
  - Genauigkeit der parametrischen Darstellung
- Bestandskarte: Metadaten, Statistiken und formale Integrität
- Bestandskarte: Nutzbarkeit, z.B. in Bezug auf das Datenformat
- Optional: Validierung des Fahrbahnoberflächenmodells
- Optional: Validierung des 3D Umgebungsmodells



© Copyright 2020 3D Mapping Solutions GmbH (The information contained herein is subject to change without notice.)

## Trajektorienhomogenisierung



- Straßen werden häufig mehrfach befahren, z.B. im Hin- und Rückweg, wobei die Trajektorien jeweils unabhängige Messungen darstellen und sich im Rahmen der absoluten Genauigkeit der Trajektorien unterscheiden.
- Die Trajektorien aller Messfahrten in einem Straßennetz müssen aber im Rahmen der Anforderungen an die **relative Genauigkeit** für das Projekt zueinander passen.
- Unter der Voraussetzung, dass die übrigen Anforderungen an das Messsystem eingehalten werden, ist die Homogenität aller Messfahrten die wesentliche Voraussetzung für einen verlässlichen Bestandsplan.
- Die Homogenisierung erfolgt z.B. durch eine Merkmalsextraktion und einen anschließenden Korrekturprozess.

© Copyright 2020 3D Mapping Solutions GmbH (The information contained herein is subject to change without notice.)

## Beschreibung der Datenqualität

- Qualität des Messsystems und der Aufnahmesensoren
- Qualität der Bestandskartendaten
  - Absolute Genauigkeit
  - Relative Genauigkeit
  - Datenintegrität
  - Trajektorienhomogenisierung
  - Genauigkeit der parametrischen Darstellung
- **Bestandskarte: Metadaten, Statistiken und formale Integrität**
- **Bestandskarte: Nutzbarkeit, z.B. in Bezug auf das Datenformat**
- Optional: Validierung des Fahrbahnoberflächenmodells
- Optional: Validierung des 3D Umgebungsmodells



© Copyright 2020 3D Mapping Solutions GmbH (The information contained herein is subject to change without notice.)

## Beispiel: Metadaten, Statistiken und formale Integrität



The 3D Mapping as-built Maps contain the complete vectorized as-built plan and object data.

This example of a complex intersection shows:

- 150 lines with a total length of 7 km
- 33 km lane borders (driving, shoulder, green, curbs, sidewalk, biking)
- 500 Traffic signs
- 240 trees
- 208 traffic light bulbs
- 200 vegetation
- 110 streetlamp
- 87 traffic lights
- 14 road marks

© Copyright 2020 3D Mapping Solutions GmbH (The information contained herein is subject to change without notice.)

## Beispiel für Bestandsdaten



© Copyright 2020 3D Mapping Solutions GmbH (The information contained herein is subject to change without notice.)

## Beispiel für Bestandsdaten



© Copyright 2020 3D Mapping Solutions GmbH (The information contained herein is subject to change without notice.)



## KONTAKT

3D Mapping Solutions GmbH  
Raiffeisenstrasse 16  
83607 Holzkirchen  
Germany  
Tel.: +49 (0)8024 46041-00  
Fax: +49 (0)8024 46041-01  
info@3d-mapping.de



[www.3d-mapping.de](http://www.3d-mapping.de)

Das terrestrische Laserscanning (TLS) als voll etabliertes Messverfahren besitzt ein enormes Leistungsspektrum und eröffnet vielfältige Anwendungsmöglichkeiten sowohl innerhalb der klassischen Berufsfelder der Geodäsie als auch in angrenzenden Bereichen.

Es ist auch in 2020 wieder gelungen, aktuelle Trends aufzunehmen sowie kompetente Vortragende für die einzelnen Themen zu gewinnen. Die Themenfelder sind gegliedert in Aktuelles, Punkt-wolkenauswertung und -darstellung, Monitoring in der Praxis und Mobile Mapping.

Aufgrund der COVID-19-Pandemie konnte das Seminar nicht als Präsenzveranstaltung durchgeführt werden, sondern hat vollständig online stattgefunden. Es setzte sich zusammen aus vorab aufgezeichneten Videos der einzelnen Vorträge sowie Interaktionsmöglichkeiten mit den Vortragenden und Live-Diskussionen am Veranstaltungstag.

Somit gibt auch dieser Band nicht wie gewohnt die einzelnen Vorträge in Textform wieder, sondern bildet lediglich die digitalen Vortragsunterlagen ab.



ISBN: 978-3-95786-286-0



9 783957 862860

Schriftenreihe des DVW  
Band 98/2021  
Printversion: 31,80 Euro  
PDF: kostenfrei  
[www.geodaeie.info](http://www.geodaeie.info)

