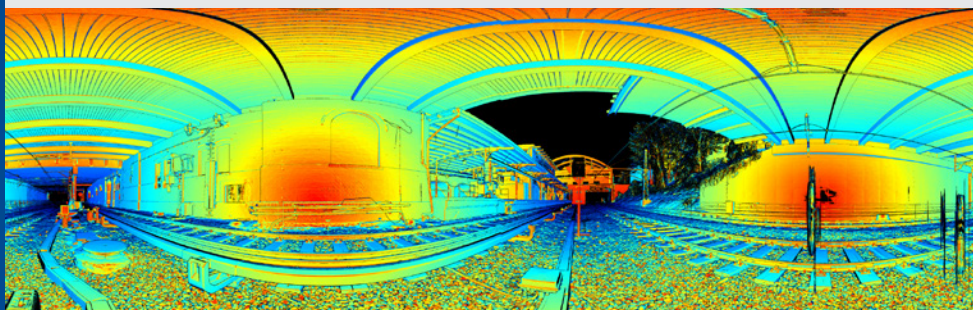


**Online-
seminar**

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

Terrestrisches Laserscanning 2021 (TLS 2021)

Beiträge zum 203. DVW-Seminar am
29. und 30. November 2021



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

Terrestrisches Laserscanning 2021 (TLS 2021)

Beiträge zum 203. DVW-Seminar am
29. und 30. November 2021 – Onlineseminar

Redaktion:
Sören Vogel und Ingo Neumann

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



Schriftenreihe des DVW
Band 99
Wißner-Verlag

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

www.dvw.de
INTERGEO®

Schriftenreihe des DVW
Band 99

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.geodaesie.info.

Zitierhinweis:

[Nachname, Vorname]: [Titel des Beitrags]. In: DVW e.V. (Hrsg.):
Terrestrisches Laserscanning 2021 (TLS 2021). DVW-Schriftenreihe,
Band 99, Augsburg, 2022, 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: 978-3-95786-309-6
ISSN 0940-4260

© Wißner-Verlag, Augsburg 2022
www.geodaesie.info

Herstellung: Wißner-Verlag, Augsburg
Bildnachweis Cover: Jan Hartmann, Geodätisches Institut der
Leibniz Universität Hannover

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: Aktuelle Entwicklungen und Trends

Veit Streicher Zum Einsatz geodätischer Messdaten bei Prozessierung und Georeferenzierung im Mobilten Laserscanning	9
Ingo Neumann TLS – auf dem Weg zum autonomen Scannen?	25

Session 2: Qualitätssicherung und Registrierung

Peter Wintjens Ralf Lichtenberger Laserscanning in der Industrievermessung	39
Jan Hartmann Jens Hartmann Qualitätsmodellierung beim statischen und kinematischen Laserscanning	47
Daniel Wujanz Bianca Gordon Susanne Lipkowski Nikolaus Studnicka Das DVW-Merkblatt für die TLS-Punktwolkenregistrierung: Qualitätsmaße bei der Registrierung	59

Session 3: Multi-Daten Fusion für die Automatisierung

Andreas Nüchter Terrestrisches und mobiles Laserscanning in lebensfeindlichen Umgebungen	77
Jörg Benndorf Thomas Martienßen Laserscanning in untertägigen Anwendungen – auf dem Weg zu autonom messenden Multi-Sensor-Systemen	95

Session 4: Aktuelle Projekte und Anwendungsfelder

Nikolaus Studnicka

Automatisches schienengebundenes Laserscanning System VMR _____ 107

Frederic Hake | Hamza Alkhatib

Automatische Schadenserkenennung bei Infrastrukturprojekten mittels
Deep-Learning _____ 125

Enrico Romanschek | Christian Clemen | Wolfgang Huhnt

Leere modellieren – eine Topologie für 2D-Schnitte durch strukturierte
TLS-Punktwolken _____ 137

Vorwort

Das terrestrische Laserscanning (TLS) ist seit vielen Jahren 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 hat der DVW auch in 2021 eine Weiterbildungsveranstaltung zum Thema „Terrestrisches Laserscanning“ angeboten. Zielgruppe sind Kolleginnen und Kollegen in der Praxis, Forschung oder Ausbildung aus den Bereichen der Geodäsie, der Geoinformation und aus Nachbardisziplinen, die sich über hochaktuelle Themenfelder umfassend und unabhängig von Anbietern informieren wollen. Wie in den Vorjahren ist die Veranstaltung in aktuelle Themenfelder unterteilt.

Wir als DVW-Arbeitskreise 3 „Messmethoden und Systeme“ sowie 4 „Ingenieurgeodäsie“ haben in diesem Jahr insbesondere die Fragestellungen und Schwerpunkte aufgegriffen, die die Automatisierung der Aufnahme und Verarbeitung von TLS-Daten betreffen:

- Welche aktuellen Entwicklungen und Trends gibt es?
- Wie registriere ich meine Laserscans unter Beachtung der Qualitätssicherung?
- Multi-Daten Fusion für die Automatisierung
- Aktuelle Projekte und Anwendungsfelder

Ein Mix von Vortragenden aus Ingenieurbüros, der Industrie, Instrumentenherstellern, Verwaltung und Wissenschaft hat auch dieses Jahr wieder ein abwechslungsreiches Seminarprogramm ermöglicht. Wir hoffen, dass die Inhalte des Seminars Ihre aktuellen Arbeiten bereichern und die inhaltlichen Diskussionen für sie hilfreich waren.

Da das diesmalige Seminar aus bekannten Gründen leider wieder vollständig Online stattfinden musste, gibt auch dieser Band nicht wie gewohnt die einzelnen Vorträge in Textform wieder, sondern bildet lediglich die digitalen Vortragunterlagen ab.

Sören Vogel und Ingo Neumann, Leibniz Universität Hannover

Session 1:

Aktuelle Entwicklungen und Trends

Zum Einsatz geodätischer Messdaten bei Prozessierung und Georeferenzierung im Mobilen Laserscanning

Veit Streicher

NAVVIS



Zum Einsatz geodätischer Messdaten bei Prozessierung und Georeferenzierung im Mobilen Laserscanning



Veit Streicher
Technical Account Manager
veit.streicher@navvis.com

NAVVIS AT A GLANCE

2013
FOUNDED

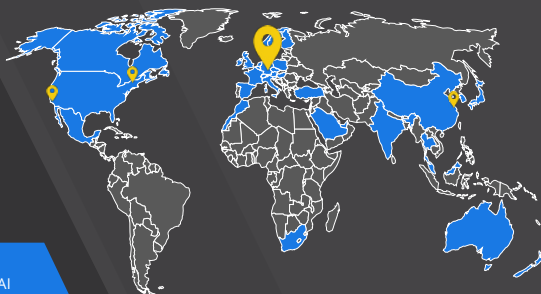
250
EMPLOYEES

€60M
FUNDING

400
PAYING
CUSTOMERS

4

OFFICES:
MUNICH-HQ, LA, NYC, SHANGHAI



NAVVIS

TOWARDS THE AGE OF MOBILE MAPPING



TOWARDS THE AGE OF MOBILE MAPPING



END-TO-END INDOOR MOBILE MAPPING SOLUTION

A powerful hardware and software product suite

NavVis M6

Indoor Mobile Mapping



NavVis VLX

Wearable Mobile Mapping



NavVis IVION

Advanced processing,
visualization & collaboration



SENSOR ALLIANCE

Combine NavVis VLX with the equipment you use already today:

Total Stations



GNSS/GPS
Rovers



Drones



Terrestrial Laser
Scanners





FRAGEN AUS DEM CHAT

NavVis

Wie ist die Genauigkeit des Systems definiert?

Wie verhält es sich mit der Aufnahmegenauigkeit des VLX-Systems?

A: 6 mm in einer dedizierten Testumgebung von 500 m² bei 1 Sigma. Weitere Details über die spezielle Testumgebung und die Genauigkeitsmetrik finden Sie in unserem Whitepaper (navvis.com/accuracy)

Wie genau müssen die Punkte aufgemessen werden?

Wie viele Passpunkte braucht die Navvis?

A: Pro Datensatz (entspricht einem Lauf zwischen Start und Ende der Datenerfassung von max. einer Stunde) empfehlen wir mindestens 3 Passpunkte mit einem Abstand von ca. 25 bis 50 Meter. Um bestmögliche Ergebnisse zu erzielen, sollte die Bestimmung der Passpunkte den gängigen vermessungstechnischen Verfahren entsprechen (s.a. Fehlerfortpflanzung).

Funktioniert die Registrierung der einzelnen Wege automatisch über die Kontrollpunkte? Bzw wie gehe ich vor, wenn ich ohne Kontrollpunkte arbeite?

A: Bei Verwendung von Kontrollpunkten ist die Registrierung automatisch. Ohne Kontrollpunkte kann ich in IVION die Daten grob- sowie zusätzlich mit Cloud2Cloud Algorithmen feinausrichten.

Eignet sich das mobile Mapping auch für die Bestandsaufnahme für technische Anlagen? TGA?

A: Grundsätzlich kann mit dem mobilen Mapping-System VLX auch technische Gebäudeausrüstung erfasst werden. Auf den nachfolgenden Folien sind hierzu einige Beispiele dargestellt. Demo-Daten sind über unsere Navvis-Webseite ebenfalls verfügbar. Kleine Rohrdurchmesser im Bereich weniger Zentimeter sind in der Punktwolke nicht immer durchgängig abgebildet, können bei der Modellierung durch geometrische Triviale nachgebildet werden. Wanddurchbrüche werden sehr gut erfasst.

NavVis

Wie lange dauert die Datenaufnahme und wie lange die Prozessierung?

A: Das ist Abhängig von der Komplexität des Aufnahmeobjektes (also wie gut und schnell können sie sich im Objekt bewegen) sowie der Erfahrung des Bedieners. Pro Stunde können sie dabei zwischen 1000m2 bis zu mehrere tausend m2 erfassen. Die Prozessierung ist abhängig von den Parametern wie Punktdichte, Anzahl der Fotos und Umgebungseinstellungen. Da die Prozessierung der Datensätze in der Cloud parallelisiert ist, kann man grundsätzlich von der Verarbeitung über Nacht ausgehen, unabhängig wieviele Datensätze aufgenommen wurden.

Kann man die Scans intern speichern oder nur auf der Cloud?

Welche Daten werden dem Kunden verfügbar gemacht?

Ist ein Zugriff auf Trajektoriedaten und Timestamps möglich bzw. künftig vorgesehen?

A: Die aufgenommenen Rohdaten können direkt von der SSD kopiert und separat gesichert werden. Nach dem Cloud-Processing können die Punktwolken (z.B. in e57), Datensatzarchive für die Webdarstellung, gezippte Panorama-Ordner wie auch log-Dateien z.B. mit den Restfehlern bei Verwendung von Kontrollpunkten heruntergeladen und anderweitig gespeichert werden. Daten wie Trajektorie oder Zeitstempel, welche intern verarbeitet werden, sind nicht für den direkten Zugriff vorgesehen.

Gibt es aus Datenschutzgründen auch eine Desktopanwendung?

A: Datenverarbeitung in der Cloud unterliegt den deutschen sowie europäischen Datenschutzrichtlinien. Die Server befinden sich in Rechenzentren in Frankfurt a.M. Eine Anwendung als Arbeitsplatzversion ist allgemein nicht vorgesehen.

Was bedeuten die ersten Zahlen in der log- datei?

A: Dabei handelt es sich lediglich um die Linux Systemzeit in Sekunden seit 01.01.1970.

NavVis

ANHANG

NavVis



DYNAMIC SCANNING

Benefit from versatility and take on a wider range of projects. NavVis VLX is optimized for use indoors and outdoors.



Stable and robust SLAM



IP42 rating for protection against moisture and dust



Capture high quality point clouds and panoramas in a variety of environments



NavVis

GEO-REGISTRATION

Align point clouds with control points on the wall and the ground for quality assurance.



Compatible with ground and wall control points



Supports large national and global coordinates



Simply touch the target and trigger



Control data quality, align datasets, and eliminate drift on long scans



NavVis

LIVE MAPPING FEEDBACK

Monitor real-time progress and quality while mapping with the built-in interface.



Always in view



High resolution OLED display



Dataset management



Real-time quality map



Covers multi-story scans



NavVis

A SMART PACKAGE FOR SMART WORK

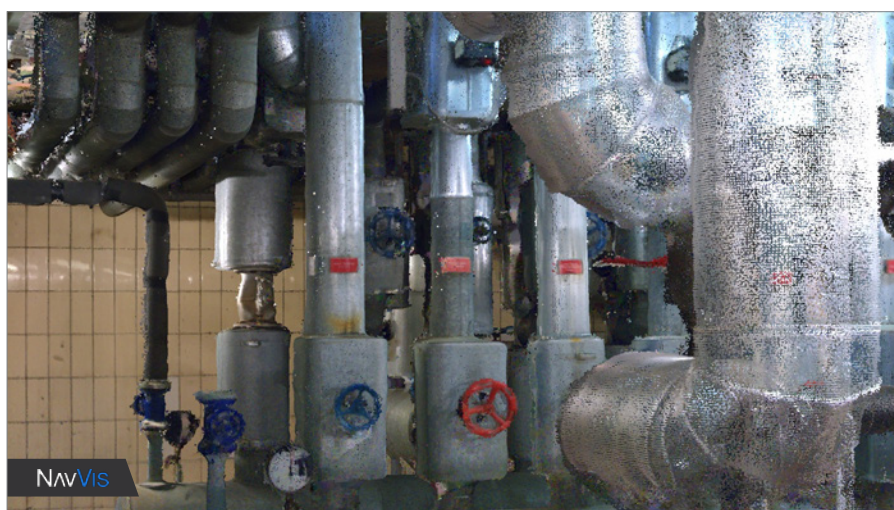
NavVis VLX folds to fit into one case for easy transport. When you're ready, simply unfold and start scanning.



NavVis

SURVEY-GRADE POINT CLOUDS

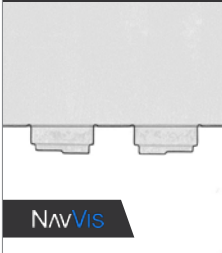
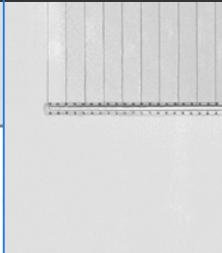

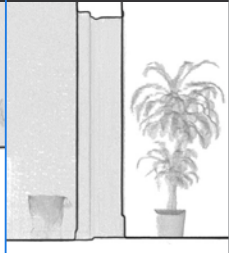
NavVis





QUALITY IS IN THE DETAILS

Capture point clouds with clear and unprecedented detail

Elevator doors	Stairs and handrail	Doors and doorframes	Vertical section through door
			

SUPERB ACCURACY – INDOORS ...

For accuracy that exceeds industry standards, NavVis VLX is powered by precision SLAM technology that's entirely in a class of its own.

NavVis VLX accuracy case study

Accuracy:

results from one case study have been

- 5.1 mm at sigma one (68%)
- 12.9 mm at sigma two (95%)

NavVis



Environment: a mid-size office of 500 sqm

... AND OUTDOORS

For accuracy that exceeds industry standards, NavVis VLX is powered by precision SLAM technology that's entirely in a class of its own.

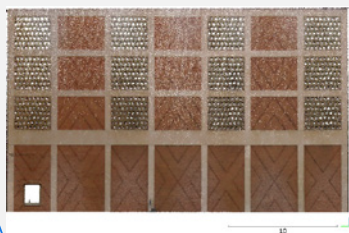
NavVis VLX accuracy case study

Accuracy:

results from one case study have been


- 5.6 mm at sigma one (68%)
- 12.2 mm at sigma two (95%)

NavVis




Environment: a 20m high facade

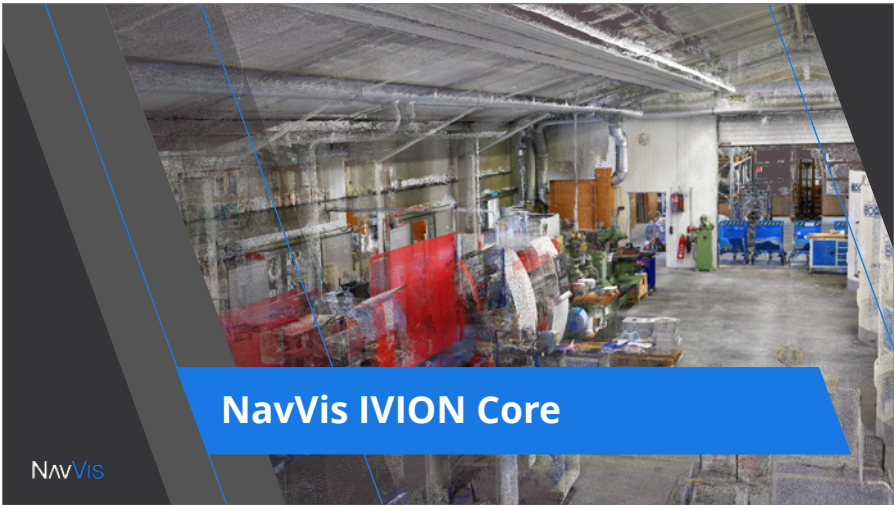
POINT CLOUD QUALITY OVERVIEW



Dynamic object removal



Fringe point removal



NavVis IVION Core

NavVis

NAVVIS IVION Core – WHAT IS NEW

Site coordinate system

- Advanced functions let you enter the latitude and longitude or a custom spatial reference system, allowing for survey-grade geo-registration of data.
- Selecting your own site coordinate system also ensures that your data is aligned to the exact location of your site, making it easier and faster to upload and download data.

Multiple sites

- Access all of your projects in one account. Easily switch between and search for sites from a central dashboard.
- Each site has a unique website address and user permissions giving you complete control over site usage.

Updated user management

- Manage users and permissions individually per site.

NavVis



NavVis

[Video-Link](#)



CLOUD PROCESSING ADD-ON FOR NAVVIS IVION CORE



PROCESS WHEREVER AND WHENEVER

Start, monitor and finish processing tasks on your own terms and reduce the time from mapping to usable data.



EFFICIENCY WHERE IT MATTERS

Process multiple datasets in parallel and save valuable time and effort for the tasks that require individual attention.



EASY TO SET UP AND USE

An uncomplicated workflow and user-friendly interface eliminate the need for extensive onboarding and additional training.



INTUITIVE AND RELIABLE


Set up processing tasks to be successful and to deliver reliable results the first time. A win-win for you and for your customer.

NavVis


CLOUD PROCESSING ADD-ON

FOR NAVVIS IVION CORE


DRAG AND DROP DATASETS




LIVE PROGRESS BAR




PROCESS IN PARALLEL



GET NOTIFIED



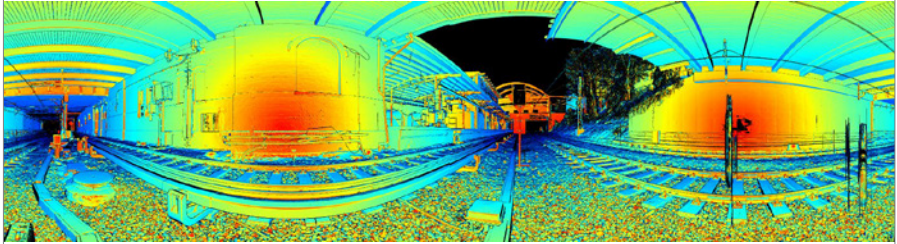


TLS – auf dem Weg zum autonomen Scannen?

Ingo Neumann



TLS – auf dem Weg zum autonomen Scannen?



© Jan Hartmann, Geodätisches Institut

TLS Seminar 2021 (online) am 29. + 30.11.2021

Ingo Neumann et al.



Motivation

Mess- und Auswerteprozess

Vernetzt bzw. prozessorientiert:

- zwischen den Sensoren (z.B. Zeitsynchronisation und Kalibrierung für Multi-Sensor-Systeme)
- mit den Produktions- bzw. Dokumentationsprozessen
- Interdisziplinarität

Effizient und qualitativ hochwertig:

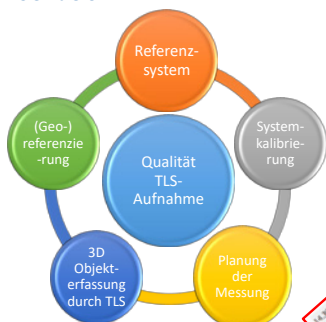
- schnell
- günstig
- sehr gut
(für Kunden und zum Selbstzweck)

Automatisiert:

- wenig Nutzerinteraktion
- automatische Auswertung (von Massendaten)

QUALITÄTS-Prozess

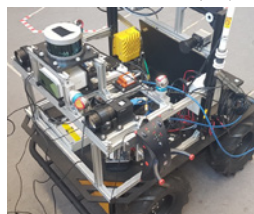
Motivation



Prozess komplett automatisierbar?



(Diener, 2019)



(Ernst, 2021)

DVW-Preis 2021
Moderation: Ingrid Pöhlert, Ingrid Pöhlert Group
Vollständige autonome Messung von TLS mit anschließender geodätischer Nachbearbeitung

Technische Lösungen (Auswahl)



LEICA BLK ARC
<https://blk2021.com/blk-arc/>



FARO® Trek 3D Laser Scanning Integration
<https://www.faro.com/de-DE/Products/Hardware/Trek-3D-Laser-Scanning-Integration>



Autodesk® iRCML
<https://www.constructiondive.com/news/robot-shaves-time-from-windover-constructions-laser-scanning-process/570875/>



FARO® Focus Swift
<https://www.faro.com/de-DE/Resource-Library/Tech-Sheet/techsheet-faro-focus-swift>

Dienstag, 30. November 2021

9:00 **Session 3 – Multi-Daten Fusion für die Automatisierung**
Moderation: Jens André Parfenholz, TU Clausthal
Terrestrisches und mobiles Laserscanning in lebensfeindlichen Umgebungen (Keynote)
Andreas Nüchter, Universität Würzburg
Laserscanning in untertägigen Anwendungen – auf dem Weg zu autonom messenden Multi-Sensor-Systemen
Jörg Benndorf und Thomas Marsenken, TU Freiberg

10:30

Session 4 – Aktuelle Projekte und Anwendungsfelder
Moderation: Heiner Kuhlmann, Universität Bonn

Automatisches schienengebundenes Laserscanning System VMR
Nikolaus Studnicka, REGI Laser Measurement Systems GmbH, Horn, Österreich

Kein Anspruch auf Vollständigkeit

Technische Lösungen (Plattform)



Allgemein	
Laufzeit (ohne Beladung)	90 min
Betriebstemperatur	-20 bis 45°C
Max. Geschwindigkeit	1.6 m/s
Max. Steigung	± 30°
Max. Stufenhöhe	300 mm
Mit z.B. Velodyne VLP-16	
Max. Distanz	100 m
Entfernungsgenauigkeit	< 3cm
Sichtfeld vertikal	-15 bis 15 °
Winkelaufösung vertikal	2.0°
Sichtfeld horizontal	360°
Winkelaufösung horizontal	0.1° bis 0.4°
Rotationsrate	5 Hz bis 20 Hz

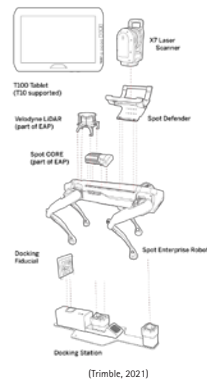
Technische Lösungen (terr. Auswahl)

Trimble Autonomous Robotic Scanning Solution

- Verfügbar seit Oktober 2021
- System besteht aus 3 Komponenten
 1. Boston Spot Enterprise Robot
 - Navigation über Velodyne LiDAR (vgl. Folie 5) + Kameras
 - Kollisionsvermeidung
 2. X7 Laserscanner
 - 3D Punktwolken + Bilderfassung
 3. Trimble Field Link
 - Registrierung vor Ort
 - Echtzeitanalysen

Auswahl an Videos

- <https://www.youtube.com/watch?v=Zl23jF0lZnM>
- <https://blk2021.com/> und <https://blk2021.com/blk2fly/>



Wo liegen die größten Herausforderungen?



Prozess komplett automatisierbar?

1. Planung der Messung (Standpunkt- / Trajektorienplanung)
 - Grundlegendes CAD Modell
 - Exploration in der Robotik
2. Georeferenzierung / Registrierung der Daten
(inkl. Qualitätsmodellierung)
3. Vollständige Qualitätsmodellierung des Mess- und Auswerteprozesses (möglichst inkl. Georeferenzierung)

Das DVW-Merkblatt für die TLS-Punktwolkenregistrierung:
Ein Arbeitsstand
Daniel Wujanz et al., technet GmbH, Berlin

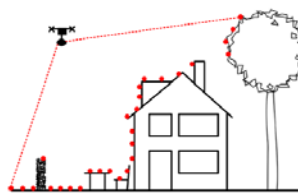
Qualitätsmodellierung beim statischen und kinematischen
Laserscanning
Jan Hartmann und Jens Hartmann, Leibniz Universität Hannover

Messung und Georeferenzierung eines UAV

- Nutzung von Gebäudemodellen (LoD 2) sowie Kamera und Laserscannerdaten



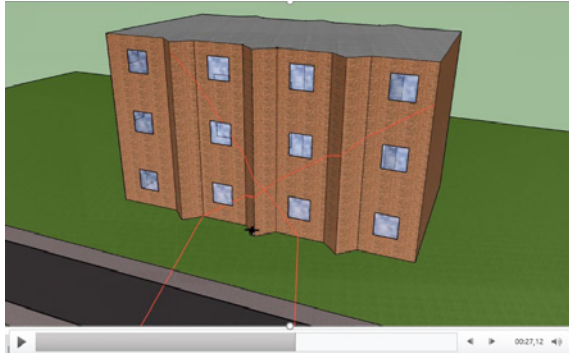
(Diener, 2019)



(Bureick et al., 2019a/b)

9

Messung und Georeferenzierung eines UAV



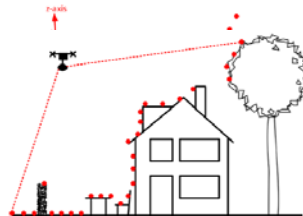
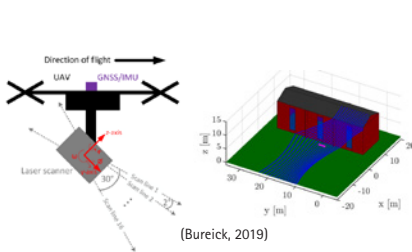
(Bureick, 2019)

Ingo Neumann et al. | DW TLS-Seminar 2021

Seite 9

Messung und Georeferenzierung eines UAV

Nutzung von Gebäudemodellen (LoD 2) sowie Kamera und Laserscannerdaten



(Vogel, 2020)

$$\text{Beobachtungen: } \mathbf{l}_k = [\mathbf{l}_{Scan,k}^{loc}, \mathbf{l}_{Pose,k}^{glo}, \mathbf{l}_{V,0}^{glo}]^T$$

$$\text{Zustände: } \mathbf{x}_k = [\mathbf{x}_{State,k}, \mathbf{x}_{Plane,k}, \mathbf{x}_{V,k}]^T$$

Ingo Neumann et al. | DW TLS-Seminar 2021

Seite 10

Messung und Georeferenzierung eines UAV: Der Filteransatz

Prädiktion $\mathbf{x}_k = \mathbf{f}(\mathbf{x}_{k-1}, \mathbf{u}_{k-1}, \mathbf{w}_{k-1}), \quad \mathbf{w}_{k-1} \sim N(\mathbf{0}, \Sigma_{ww})$

Filter-Update

Explicit $\mathbf{l}_k + \mathbf{v}_k - \mathbf{h}(\mathbf{x}_k) = \mathbf{0}, \quad \mathbf{v}_k \sim N(\mathbf{0}, \Sigma_{vv})$

Implicit $\mathbf{h}(\mathbf{l}_k + \mathbf{v}_k, \mathbf{x}_k) = \mathbf{0}, \quad \mathbf{v}_k \sim N(\mathbf{0}, \Sigma_{vv})$

Bedingungen

harte

$$D \cdot \hat{\mathbf{x}}_k^+ = d$$

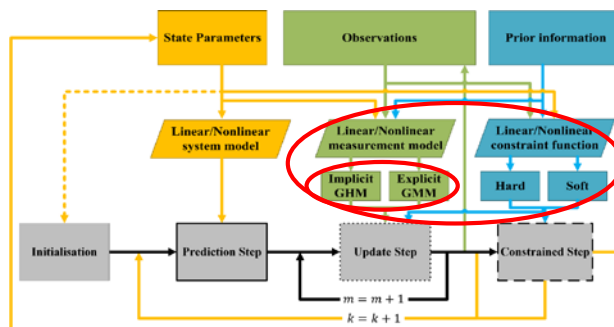
$$D \cdot \hat{\mathbf{x}}_k^+ \leq d, \quad d_{\text{lower}} \leq D \cdot \hat{\mathbf{x}}_k^+ \leq d_{\text{upper}}$$

$$D \cdot \hat{\mathbf{x}}_k^+ \approx d$$

weiche

(Vogel, 2020)

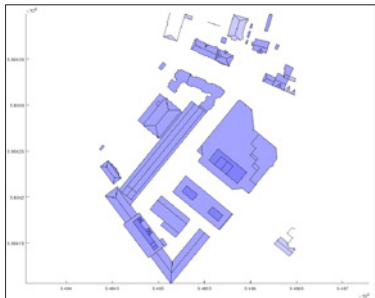
Messung und Georeferenzierung eines UAV: Der Filteransatz



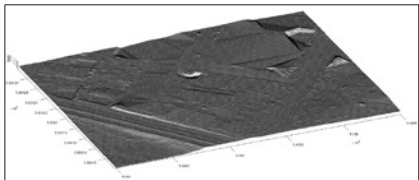
(Vogel, 2020)

Messung und Georeferenzierung eines UAV: Datengrundlage

Gebäudemodell (LoD2)



Digitales Geländemodell (1x1m)



(Bureick et al., 2019b)

Messung und Georeferenzierung eines UAV: Beispiel Trajektorie



(Bureick et al., 2019b)

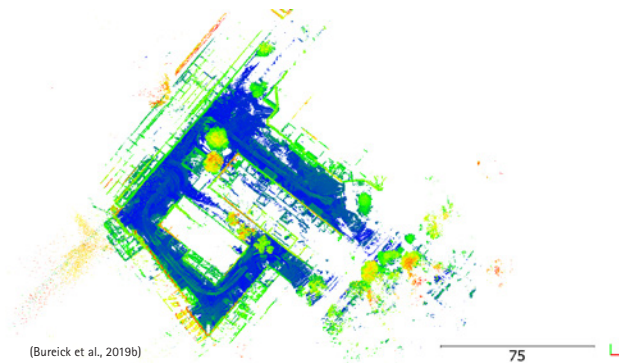
Messung und Georeferenzierung eines UAV: Beispiel Trajektorie



Ingo Neumann et al. | DVW TLS-Seminar 2021

Seite 15

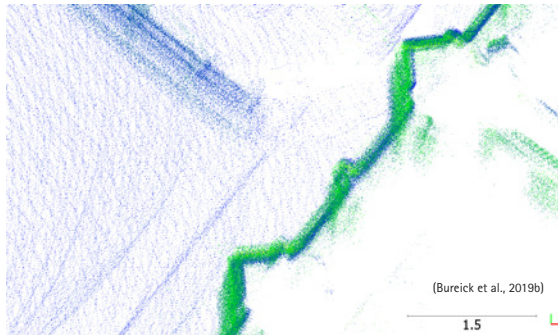
Messung und Georeferenzierung eines UAV: Ergebnisse Laserscanning



Ingo Neumann et al. | DVW TLS-Seminar 2021

Seite 16

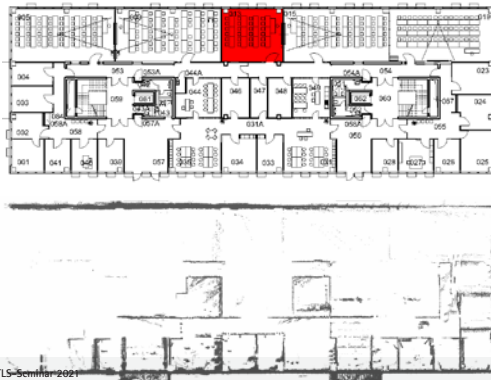
Messung und Georeferenzierung eines UAV: Ergebnisse Laserscanning



Ingo Neumann et al. | DWL-TLS-Seminar 2021

Seite 17

Messung und Georeferenzierung eines UAV: Ergebnisse Laserscanning



Ingo Neumann et al. | DWL-TLS-Seminar 2021

Seite 18

Messung und Georeferenzierung eines UAV: Ergebnisse Laserscanning



(Bureick et al., 2019b)

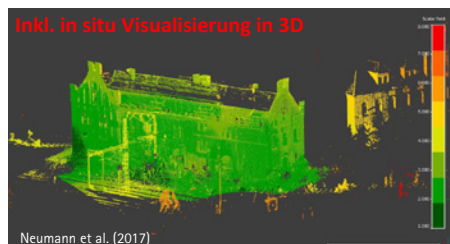
Zusammenfassung & Ausblick

Gewinn durch Automatisierung

- Reduzierung der Personalkosten (Erhöhung der Produktivität)
- Arbeiten in gefährlichen Umgebungen
- Basis für die Echtzeit(qualitäts)analyse

Herausforderungen

- Planung des Messablaufes
- Vollständige prozessorientierte Qualitätssicherung
- Echtzeitqualitätsanalyse



Neumann et al. (2017)

**GEODÄSIE
AKADEMIE**
WIRTSCHAFTS-UNIVERSITÄT
WIEN VIENNA

Zusammenfassung & Ausblick

Kollaboration der Sensoren

- Verbesserung der Georeferenzierung
- Online Datenaustausch
- Virtuelle Umgebung zur Qualitätssicherung vor Ort

(Genz und Krause, 2015 und 2017)

Ingo Neumann et al. | DW TLS-Seminar 2021 Seite 21

**GEODÄSIE
AKADEMIE**
WIRTSCHAFTS-UNIVERSITÄT
WIEN VIENNA

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Prof. Dr.-Ing. Jens-André Paffenholz; Dr.-Ing. Ilka von Gösseln; Dr.-Ing. Johannes Bureick; Dmitri Diener, M.Sc.; Dominik Ernst, M.Sc. Frederic Hake, M.Sc.; Jan Hartmann, M.Sc.; Johannes Link, B.Eng., PD Dr.-Ing. Hamza Alkhatib; Dr.-Ing. Sören Voigt; Dipl.-Ing. Jens Hartmann; Arman Khani, M.Sc.

Geodätisches Institut, Leibniz Universität Hannover
neumann@gih.uni-hannover.de | www.gih.uni-hannover.de

Ingo Neumann et al. | DW TLS-Seminar 2021 Seite 22

Quellen

- Boston Dynamics (2021a). Spezifikationen Spot , https://shop.bostondynamics.com/spot?cccl=en_US&pid=aDl6g00000XdpacAC (letzter Zugriff: 26.11.21; 8:11)
- Boston Dynamics (2021b). Spezifikationen Spot EAP, https://shop.bostondynamics.com/spot-EAP?cccl=en_US (letzter Zugriff: 26.11.21; 8:13)
- Bureick, J.; Vogel, S.; Neumann, I.; Unger, J. Alkhatib, H. (2019a): Georeferencing of an unmanned aerial system by means of an iterated extended Kalman filter using a 3D City Model, *Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science (PF6)* 10.1007/s41064-019-00084-x
- Bureick, J., Vogel, S., Neumann, I., Diener, D., & Alkhatib, H. (2019b). Geo-Referenzierung von Unmanned Aerial Systems über Laserscannermessungen und 3D-Gebäudemodelle. in *Terrestrisches Laserscanning 2019* (Band 96, S. 63–74). (DVW-Schriftenreihe). Wissner Verlag.
- Leica (2021). Spezifikationen der autonomen Messlösungen, <https://blk2021.com/> und <https://blk2021.com/blk2fly/> (letzter Zugriff: 27.11.21; 13:00)
- Neumann, I., Stenz, U. D., Timmen, A., Krause, U., Genz, T., Haala, N., & Cefalu, A. (2017). Kollaborative Erfassung und Qualitätsbeurteilung von TLS- und UAV-Daten, *Terrestrisches Laserscanning 2017*, DVW-Schriftenreihe, Band 88/2017, S. 23–28. Wissner Verlag.
- Trimble (2020). Datenblatt Trimble X7 System, <https://geospatial.trimble.com/x7-scanner> (letzter Zugriff: 26.11.21; 8:15)
- Trimble (2021). Trimble's Turnkey Robotic Scanning Solution, <https://fieldtech.trimble.com/de/product/spot> (letzter Zugriff: 26.11.21; 8:17)
- Vogel, S.; Alkhatib, H.; Bureick, J.; Moftizadeh, R.; Neumann, I. (2019): Georeferencing of laser scanner-based kinematic multi-sensor systems in the context of iterated extended Kalman filters using geometrical constraints. *Sensors* (Basel, Switzerland). <https://doi.org/10.3390/s19102280>
- Vogel, S. (2020). *Kalman Filtering with State Constraints Applied to Multi-sensor Systems and Georeferencing*. Verlag der Bayerischen Akademie der Wissenschaften. Reihe C, Nr. 856.

Session 2:

Qualitätssicherung und Registrierung

Laserscanning in der Industrievermessung

Peter Wintjens | Ralf Lichtenberger



203. DVW Seminar
Terrestrische Laserscanning 2021
29. und 30. November 2021

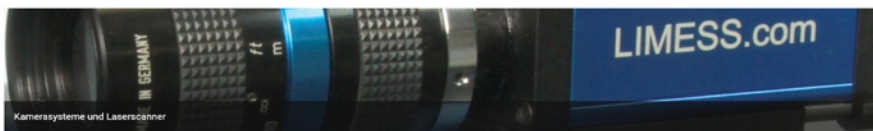
Laserscanning in der Industrievermessung

LIMESS Messtechnik & Software GmbH, Krefeld
Peter Wintjens, Ralf Lichtenberger



Über uns

LIMESS
Messtechnik & Software GmbH



RTSS VIDEOEXTENSOMETER

Dehnungsmessgerät für die Materialprüfung
und Ermüdungsprüfung

Q400 DIC BILDKORRELATION

Flächenhafte Formationsmessung
Statisch - Dynamisch - Modal

SURPHASER 3D SCANNER

Hochpräzisions 3D Scanner für komplexe Geometrien
und für große Abmessungen

Modul

STROBECAM SCHWINGUNGSANALYSE

Visualisierung und Aufzeichnung von Schwingungen
Vibrationsanalyse






LIMCRACK RISSMESSUNG



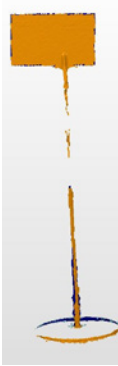


Exakter Rissmessung bei Ermüdungsversuchen
an Kanten

LIMTRACK BEWEGUNGSANALYSE

Tracking Software für Faser- und Rollgeräten mit
hochauflösenden Kameras und Highspeedkameras

TLS2021 - 2/13

Surphaser-Laserscanner				LIMESS Messtechnik & Software GmbH
Modell		Messbereich	Genauigkeit	Messrauschen
400 / 410		1m ...140m 1m ... 250m	<0,7mm@15m <0,9mm@15m	0,07mm@15m 0,10mm@15m
10 / Artec Ray		1m ...50m 1m ... 110m	<0,7mm@15m <0,9mm@15m	0,12mm@15m 0,25mm@15m
100HSX-SR		1m ...7m	<0,3mm@3m	0,024mm@4m
75 / 80USR		0,25m ...3m	<0,15mm@1,5m	0,025mm
				 TLS2021 - 3/13

Messrauschen 1					LIMESS Messtechnik & Software GmbH
					
Messobjekt: Visitenkarte	vorne	hinten	Seite	Zoom	TLS2021 - 4/13

Messrauschen 2

LIMESS
Messtechnik & Software GmbH



Messobjekt: Aluminiumplatte mit 0,5mm tiefer Gravur, weiß lackiert

TLS2021 - 5/13

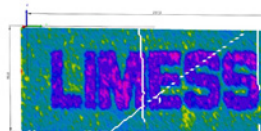
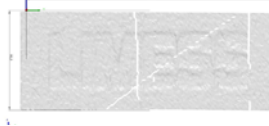
Messrauschen

LIMESS
Messtechnik & Software GmbH

ScanTech, KSCAN



konventioneller TLS
Aufl. ~ 10.000Linien/360Grad



Surphaser100HSX-SR
Aufl. ~10.000Linien/360Grad

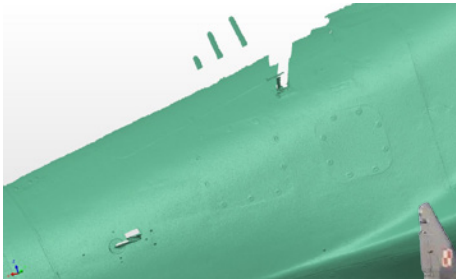


Oben: Punktwolke (Darstellung in POLYWORKS)
Unten: Abweichung von Ebene

TLS2021 - 6/13

Anwendung: Luft – und Raumfahrt

LIMESS
Messtechnik & Software GmbH



Ausschnitt eines Scans – Hoher Detaillierungsgrad

Gesamt: 70 Standpunkte, geforderte Auflösung 1mm

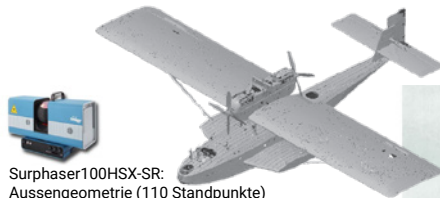


www.allflightmods.com

TLS2021 - 7/13

Anwendung: Luft – und Raumfahrt

LIMESS
Messtechnik & Software GmbH



Surphaser100HSX-SR:
Aussengeometrie (110 Standpunkte)



Artec RAY: Detailscans & Textur



www.flugrevue.de

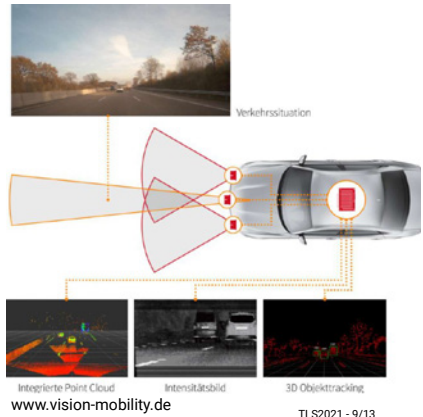
TLS2021 - 8/13

Anwendung: Automotive – autonomes Fahren

LIMESS
Messtechnik & Software GmbH

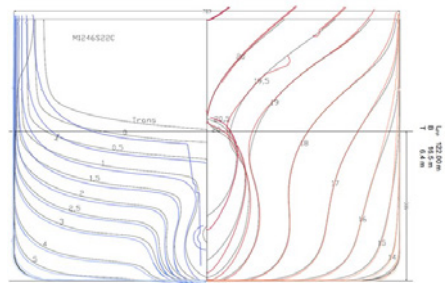
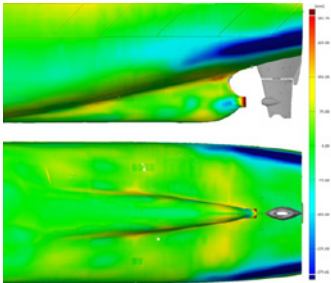


- Erfassung der Fahrzeuggeometrie
- Positionierung der Sensoren
- Grobausrichtung der Sensoren
(Feinjustage mit Lasertracker)



Anwendung: Schifffahrt – Optimierung

LIMESS
Messtechnik & Software GmbH



Vergleich Ist-Geometrie zu Konstruktionsdaten / Linienrisse
Abweichung bis zu 250mm

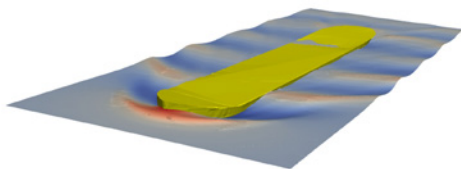
promarin

TLS2021 - 10/13

Anwendung: Schifffahrt – Optimierung

LIMESS
Messtechnik & Software GmbH

promarin



Strömungssimulation mit Schiffsrumpf

- 20Mio Zellen
- Simulation von Geschwindigkeit und Druck



Aufarbeitung der Propeller-Geometrie



Simulation der Strömungsverhältnisse
am Propeller (3Mio Zellen)

11/2021 - 11/13

Fragen aus der Diskussionsrunde:

LIMESS
Messtechnik & Software GmbH

Wie lange dauert in etwa ein Standpunkt?

Ein Standpunkt mit Auflösung 10.000Linien/360Grad dauert 3min

Müssen hochreflektive Oberflächen vorher speziell behandelt werden, oder gibt es hier keinen negativen Einfluss auf das Messrauschen?

Ja, wie bei allen TLS müssen auch beim SURPHASER stark reflektierende bzw. absorbierende Oberflächen mit Scanning-Spray behandelt werden. Aufgrund höherer Laserleistung und geringerem Messfleckdurchmesser bekommt man mit dem SURPHASER oft ein Signal, wo andere TLS nicht mehr messen können, aber grundsätzlich t die gleiche Physik.

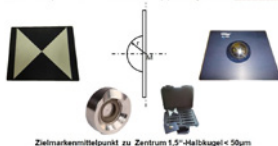
Soweit mir bekannt gibt es keinen Profilmodus beim Surphaser, ist das geplant?

Ist mir nicht bekannt. Da müsste man bei dem Hersteller nachfragen.

was für Referenzpunkte werden bei der Registrierung verwendet?

Wie wird die Genauigkeit im Submillimeter bei der Georeferenzierung der Einzelscans zueinander realisiert / gewährleistet? Registrierung über Zielmarken und Flächen (Scantra) möglich. Die Georeferenzierung und Einbindung in Festpunktnetze (z.B. Lasertracker) erfolgt mit hochgenau gefertigten Zielmarken mit SMR-Halbkugel auf der Rückseite

Zielmarken kompatibel mit Laser Tracker SMR (Spherically Mounted Retroreflectors)



Zielmarkenmittelpunkt zu Zentrum 1,5"-Halbkugel < 50mm



LIMESS
Messtechnik & Software GmbH

...bleiben Sie gesund!



13/13

Qualitätsmodellierung beim statischen und kinematischen Laserscanning

Jan Hartmann | Jens Hartmann



Leibniz
Universität
Hannover

Qualitätsmodellierung beim statischen und kinematischen Laserscanning

203. DVW-Seminar "Terrestrisches Laserscanning 2021 (TLS 2021)"

Jan und Jens Hartmann

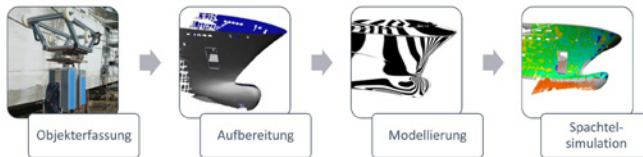
Geodätisches Institut Hannover



Agenda

- Qualitätssicherung beim TLS – Motivation
- Statisches terrestrisches Laserscanning (s-TLS)
- Kinematisches Terrestrische Laserscanning (k-TLS)
- Zusammenfassung und Ausblick

- Industrielle Produktion, z. B. Schiffbau
 - Komplexer Gesamtprozess mit vielen Einzelprozessen,
 - Qualitätssicherung – Überprüfung der 3D-Geometrie möglichst in Echtzeit

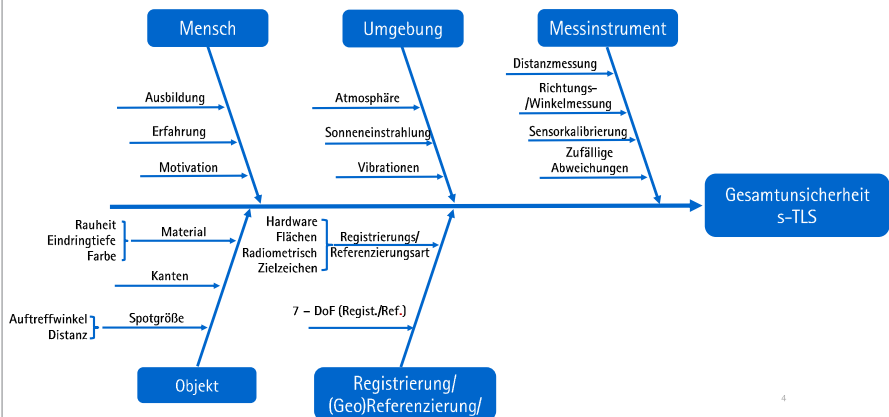


[Hartmann et al. 2021]

Hartmann und Hartmann (11-2021)

Qualitätsmodellierung beim statischen und kinematischen Laserscanning – 203. DVW-Seminar TLS 2021

3



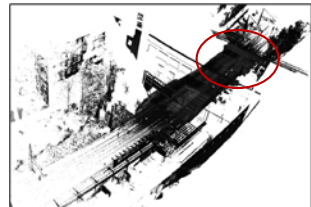
4

- C++ Programm zur Berechnung von Qualitätsparametern
 - Verarbeitung von großen Punktwolken (getestet 100 Mio Punkte)
 - Darstellung der Punktwolke als Bild
 - Speichern als Bild und Punktwolke möglich

**Z-F Imager 5016 Spezifikationen**

Spotgröße	~3.5 mm @ 1 m
Strahldivergenz	0.3 mrad
Genauigkeit vertikal / horizontal	0.004° rms
Scaneinstellungen	
Auflösung	High (44. Mio Punkte)
Scanqualität	Quality +
Registrierung	Scantra (Ebenen + Targets)

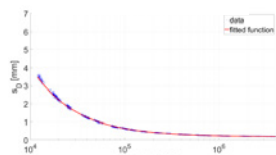
[Zoller + Fröhlich 2016]



Daten: IVB Krause + Partner

- Intensität abhängig von:
 - Objekt, Distanz, Auftreffwinkel, ...
- Funktionaler Zusammenhang Intensität $\rightarrow s_D$

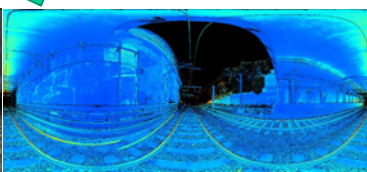
$$s_D = a \cdot \text{Intensität}^b + c \quad [\text{Wujanz 2017}]$$



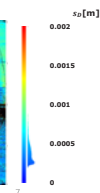
[Jensen 2021]



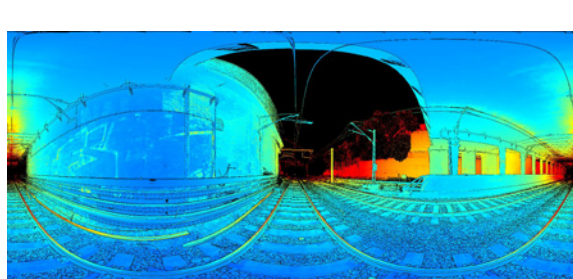
Hartmann und Hartmann (11-2021)



Qualitätsmodellierung beim statischen und kinematischen Laserscanning – 203. DVW-Seminar TLS 2021

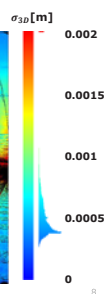


- Varianzfortpflanzung (VF): $\Sigma_{X,Y,Z} = F \Sigma_{D,H,V} F^T \rightarrow \sigma_{3D} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2} \quad \Sigma_{D,H,V} = \begin{bmatrix} \sigma_D^2 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_H^2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_V^2 \end{bmatrix}$



Hartmann und Hartmann (11-2021)

Qualitätsmodellierung beim statischen und kinematischen Laserscanning – 203. DVW-Seminar TLS 2021

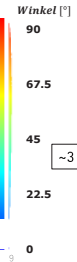
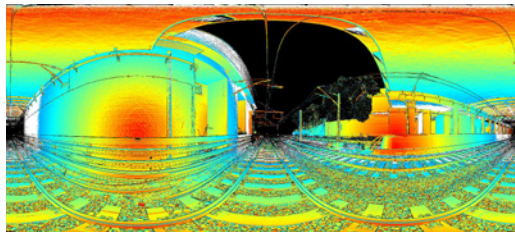


~30 sec

Auftreffswinkel:

- Winkel zwischen Punktnormalen und Line of sight-Vector (Lof)

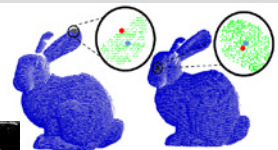
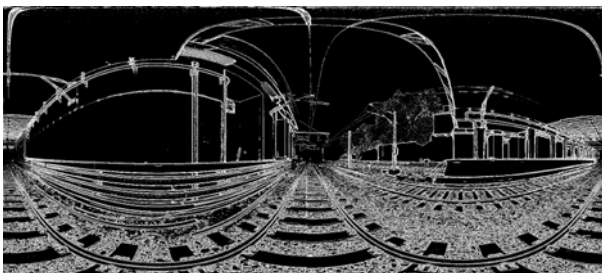
$$\alpha = \cos^{-1} \left(\frac{N}{Lof} \right)$$



Hartmann und Hartmann (11-2021)

Qualitätsmodellierung beim statischen und kinematischen Laserscanning - 203. DVW-Seminar TLS 2021

- Identifizierung über Punktnachbarschaft [Amed et. Al 2018]



Verschiebung des Schwerpunkts (blau) für die Punktnachbarschaft vom aktuellen Punkt (rot) [Amed et. Al 2018]

~1 min

Hartmann und Hartmann (11-2021)

Qualitätsmodellierung beim statischen und kinematischen Laserscanning - 203. DVW-Seminar TLS 2021

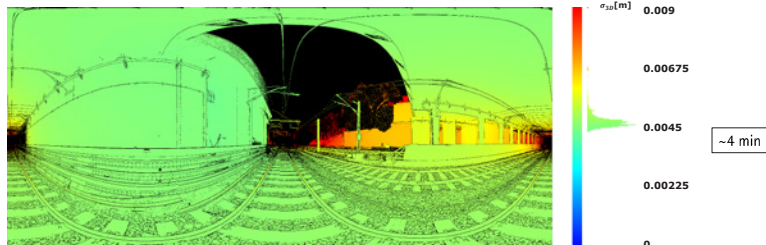
10

- Scantra Registrierung über Ebenen + Targets:

- $\Sigma_{\text{Registrierung}}$ bekannt

- $\Sigma_{X,Y,Z}$ bekannt (Folie 7)

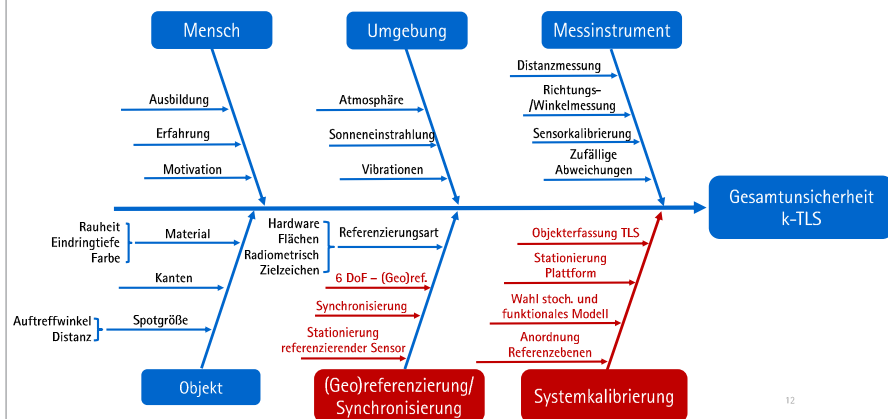
- Varianzfortpflanzung: $\Sigma_{X_G,Y_G,Z_G} = F \begin{bmatrix} \Sigma_{\text{Registrierung}} & 0 \\ 0 & \Sigma_{X,Y,Z} \end{bmatrix} \cdot F^T \rightarrow \sigma_{3D \text{ Global}} = \sqrt{\sigma_{X_G}^2 + \sigma_{Y_G}^2 + \sigma_{Z_G}^2}$



Hartmann und Hartmann (11-2021)

Qualitätsmodellierung beim statischen und kinematischen Laserscanning – 203. DVW-Seminar TLS 2021

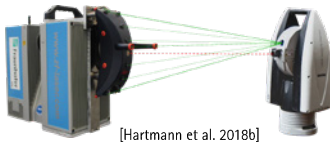
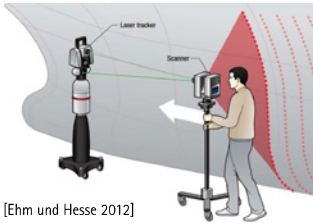
11



12



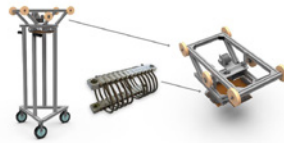
k-TLS – Prinzip 3D-Objektaufnahme



Hartmann und Hartmann (11-2021)

Qualitätsmodellierung beim statischen und kinematischen Laserscanning - 203. DVW-Seminar TLS 2021

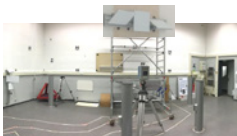
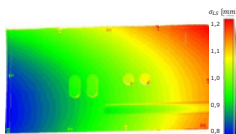
- Beispiel: k-TLS mit Genauigkeitsanforderung $\sigma_{3D} \leq 2 \text{ mm}$
 - Aufnahme im 2D-Modus, Profillinie als Helix
 - Bewegung Plattform mit TLS \rightarrow (Geo)referenzierung
 - 6 DoF (Geo)referenzierung mit Lasertracker
 - Anforderungen Plattform (Stabilität, Vielseitigkeit und Dämpfung)



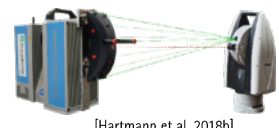
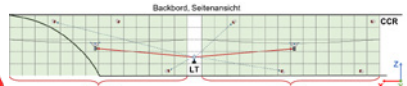
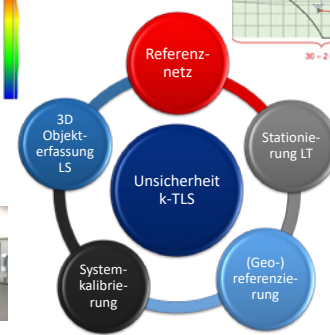
13



k-TLS – Quantifizierung 3D-Unsicherheitsbudget



Hartmann und Hartmann (11-2021)



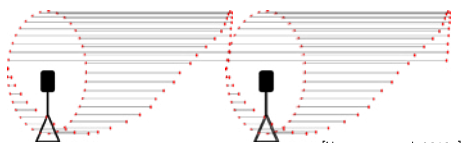
[Hartmann et al. 2018b]

Qualitätsmodellierung beim statischen und kinematischen Laserscanning - 203. DVW-Seminar TLS 2021

14



k-TLS – Prinzip Georeferenzierung punktwise

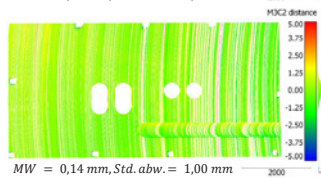
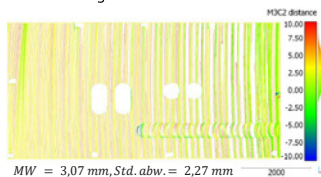


[Hartmann et al. 2018a]

Hartmann und Hartmann (11-2021)

Qualitätsmodellierung beim statischen und kinematischen Laserscanning – 203. DVW-Seminar TLS 2021

Vergleich s-TLS mit k-TLS

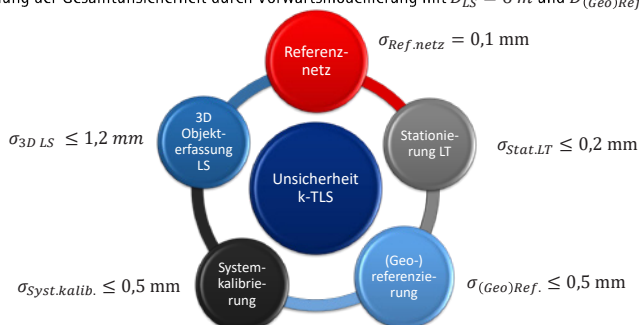


15



k-TLS – Quantifizierung 3D-Unsicherheitsbudget

- Ermittlung der Gesamtunsicherheit durch Vorwärtsmodellierung mit $D_{LS} = 6\text{ m}$ und $D_{(Geo)Ref.} = 10\text{ m}$



Hartmann und Hartmann (11-2021)

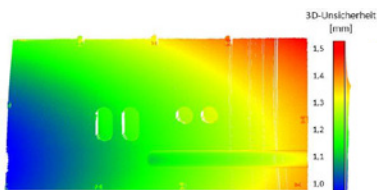
Qualitätsmodellierung beim statischen und kinematischen Laserscanning – 203. DVW-Seminar TLS 2021

16

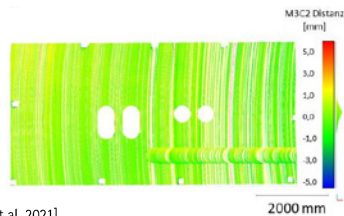
- Unsicherheitsmodellierung via Monte-Carlo-Simulation (MCS) mit 5000 Stichproben
- k-TLS basierte Messung mit Z+F IMAGER 5010:
 - ca. 1000 Profile mit 50 rps
 - 20000 Punkte/Profil → Dauer ca. 20 sec.
- Einzelunsicherheiten nach GUM (Guide to the expression of Uncertainty in Measurement)

Teilschritt	Einordnung nach GUM	Angenommene Verteilung
3D-Objekterfassung LS	Typ B	Normalvert.
Systemkalibrierung	Typ A	Normalvert.
(Geo-)referenzierung	Typ A + B	Normalvert.

- Vorwärtsmodellierung
 - Gesamtunsicherheit k-TLS
 - $80\% \leq 1,3 \text{ mm}$
- Rückwärtsmodellierung
 - Abweichungen zwischen k-TLS und s-TLS
 - $MW = 0,14 \text{ mm}, \text{Std. abw.} = 1,00 \text{ mm}$



[Hartmann et al. 2021]



- Unsicherheitsmodellierung (s- und k-TLS mit Beispielen)
 - Spezifizierung
 - Systematische Effekte (Kanten, Auftreffwinkel)
 - Fortpflanzung Unsicherheiten (VF, MCS)
 - Validierung der Ergebnisse (Vorwärts- und Rückwärtsmodellierung)
- Geplante Arbeiten
 - Systematiken spezifizieren (Verteilungen)
 - Aspekte der Unsicherheitsmodellierung (Bayessche Inferenz, Bootstrapping Ansatz)
 - Implementierung und Umsetzung (Automatisierung, C++ mit PCL)

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Qualitätsmodellierung beim statischen und kinematischen Laserscanning



Jan und Jens Hartmann

Geodätisches Institut, Leibniz Universität Hannover
{jan.hartmann;jhartmann}@gih.uni-hannover.de | www.gih.uni-hannover.de

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



- Zoller + Fröhlich (2016) Z+F IMAGER 5016 Datenblatt, https://scandic.de/wp-content/uploads/ZF-IMAGER-5016_Datenblatt_D_tompr.pdf (letzter Zugriff: 23.11.21; 10:32)
- Wujanz, D.; Burger, M.; Mettenleiter, M.; Neitzel, F. (2017) An intensity-based stochastic model for terrestrial laser scanners. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 2017, 125, 146–155.
- Jensen, A. (2021) Ableitung der Qualität der Distanzmessung von Laserscannern aus Intensitätswerten, Masterarbeit (unveröffentlicht), Leibniz Universität Hannover, 2021
- Sheng, Yongwei (2008) Quantifying the Size of a Lidar Footprint: A Set of Generalized Equations. In: *IEEE Geosci. Remote Sensing Lett.* 5 (3), S. 419–422. DOI: 10.1109/LGRS.2008.916978.
- Ahmed, Syeda Mariam; Tan, Yan Zhi; Chew, Chee Meng; Mamun, Abdullah Al; Wong, Fook Seng (2018) Edge and Corner Detection for Unorganized 3D Point Clouds with Application to Robotic Welding. Online verfügbar unter <https://arxiv.org/pdf/1809.10495>.
- Ehm, M. und Hesse, C (2012) Entwicklung eines kinematischen Laserscansystems für Anwendungen im Schiffbau, in *Go-3D 2012 Computergraphik für die Praxis*, Rostock, 31–36.
- Hartmann, J., Trusheim, P., Alkhatib, H., Paffenholz, J. A., Diener, D., & Neumann, I. (2018a) High Accurate Pointwise (GEO-)Referencing Of A K-TLS Based Multi-Sensor-System. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 4(4), 81–88. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-IV-4-81-2018>
- Hartmann, J., Neumann, I., Geist, M., Gierschner, F., Kenneweg, R. J., Dittrich, M.-A., Böß, V., & Hesse, C. (2018b) Optimierung des Materialauftrags an Megayachten. *ZfV- Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement*, 384–389. <https://doi.org/10.1007/s00034-018-0754-4>
- Stenz, U., Hartmann, J., Paffenholz, J. A., & Neumann, I. (2020) High-Precision 3D Object Capturing with Static and Kinematic Terrestrial Laser Scanning in Industrial Applications: Approaches of Quality Assessment. *Remotesensing*, 12(2), [290]. <https://doi.org/10.3390/rs12020290>
- Hartmann, J., Bachmann, A., Urban, B., Hesse, C., Gierschner, F. & Neumann, I. (2021) Hochgenaues kinematisches Laserscanning als Beitrag für die Qualitätssicherung in der industriellen Produktion. *AVN Allgemeine Vermessungs-Nachrichten*, 128(4), 182–190.

Das DVW-Merkblatt für die TLS-Punktwolkenregistrierung: Qualitätsmaße bei der Registrierung

Daniel Wujanz | Bianca Gordon | Susanne Lipkowski | Nikolaus Studnicka



Das DVW-Merkblatt für die TLS-Punktwolkenregistrierung: Qualitätsmaße bei der Registrierung

Bianca GORDON, Leica Geosystems

Susanne LIPKOWSKI, Hochschule Bochum

Nikolaus STUDNICKA, RIEGL Laser Measurement Systems GmbH

Daniel WUJANZ, technet GmbH

203. DVW-Seminar | Terrestrisches Laserscanning 2021 | 29. November 2021

Neulich bei der Akquise im Laserscanning



Dicke Fische fängt man mit dicken Ködern!

→ Im Laserscanning sind das kleine Zahlen



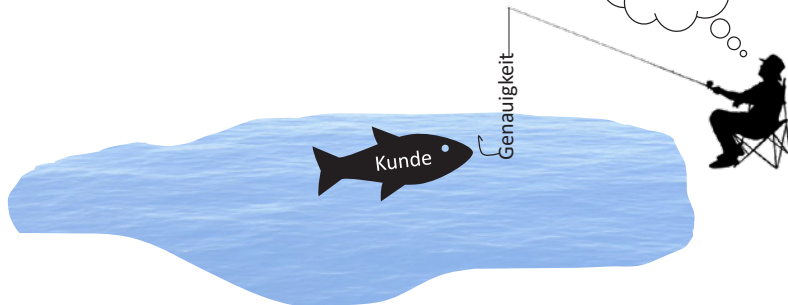
Gordon, Lipkowski, Studnicka, Wujanz | 203. DVW-Seminar | Terrestrisches Laserscanning 2021 | 29. November 2021

Bild "Angler" basierend auf Wandspruch.de 2

Neulich bei der Akquise im Laserscanning

Dicke Fische fängt man mit dicken Ködern!

→ Im Laserscanning sind das kleine Zahlen



Gordon, Lipkowski, Studnicka, Wujanz | 203. DVW-Seminar | Terrestrisches Laserscanning 2021 | 29. November 2021

Bild "Angler" basierend auf Wandspruch.de 3

Neulich bei der Akquise im Laserscanning

Woher stammen Zahlen im statischen Laserscanning?

1. Typischerweise aus Datenblättern, deren Gültigkeit
 1. für eine sehr bestimmte Aufnahmekonfiguration gilt
 2. und für genau einen Standpunkt
2. Sobald mehr als ein Standpunkt nötig ist
 1. Überführung der einzelnen Standpunkte in einen zusammenhängenden Datensatz (Registrierung)
 2. Erweiterung des Fehlerbudgets um deren Einfluss
→ Einfluss weit aus größer als reine Messgenauigkeit!

Veranstaltungshinweis:
Oldenburger 3D-Tage 2.-3.2.2022
Not quite capturing reality –
Über Datenblätter und
Qualitätssicherung im statischen
und kinematischen
Laserscanning

In diesem Vortrag...

- Welche Qualitätsmaße gibt es für die Registrierung?
- Was sagen diese mir bzw. meinem Kunden?



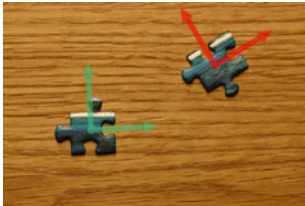
Gordon, Lipkowski, Studnicka, Wujanz | 203. DVW-Seminar | Terrestrisches Laserscanning 2021 | 29. November 2021

4

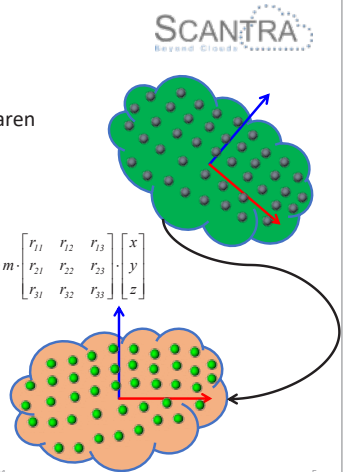
Paarweise Registrierung

Aufgabe

- Stückweises Zusammenfügen von "Einzelteilen" zu Paaren
- Transformation eines lokalen Koordinatensystems in das Datum eines Anderen
→ Einfluss wirkt nur auf zwei Koordinatensysteme



$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_M \\ Y_M \\ Z_M \end{bmatrix} + m \cdot \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$



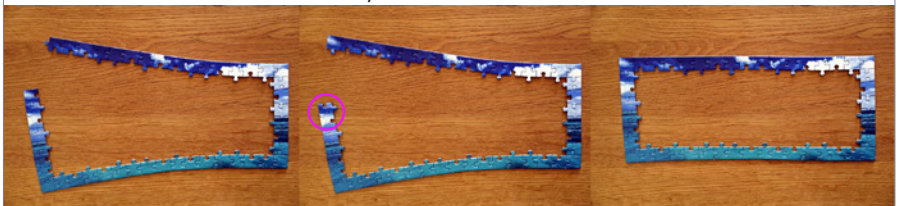
Gordon, Lipkowski, Studnicka, Wujanz | 203. DVW-Seminar | Terrestrisches Laserscanning 2021 | 29. November 2021

5

Blockausgleichung

Aufgabe

- Paarweise Registrierung führt zu einem zusammenhängenden Datensatz
→ Dieser enthält (bei vorliegender Redundanz) unweigerlich Widersprüche
- Blockausgleichung minimiert Widersprüche und berücksichtigt dabei alle Beobachtungstypen: Tachymeterpunkte, lokale Zielmarken, paarweise Registrierungen, Inklinometer, ...
→ Einfluss auf ALLE Koordinatensysteme



Gordon, Lipkowski, Studnicka, Wujanz | 203. DVW-Seminar | Terrestrisches Laserscanning 2021 | 29. November 2021

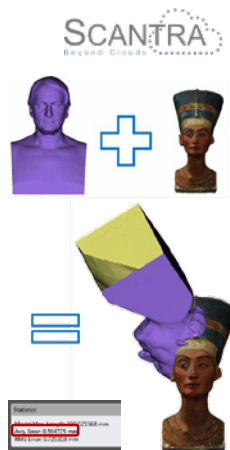
6

Berechnung von Qualitätsmaßen

Residuen, Residuen und Residuen

- Synonym für „Qualität“ = Residuen
- „Qualität“ variiert je nach
 - Berechnungsart
 - berücksichtigten Beobachtungen

	Paarweise Registrierung	Blockausgleichung
Widersprüche zwischen Punktwolken	✓	✓
Widerspruch zwischen Transformationsparametern	✗	✓
Widerspruch zu Anschlusspunkten	✓	✓



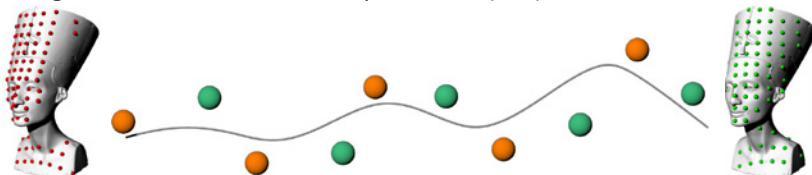
Gordon, Lipkowski, Studnicka, Wujanz | 203. DVW-Seminar | Terrestrisches Laserscanning 2021 | 29. November 2021

Fulda 2018

7

Widersprüche zwischen Punktwolken

Strategie 1 – Punkt-zu-Punkt-Korrespondenzen (P2P)



Berechnung:

1. Residuum = Länge des Vektors zwischen korrespondierenden Punkten
2. Meist arithmetisches Mittel der Residuen

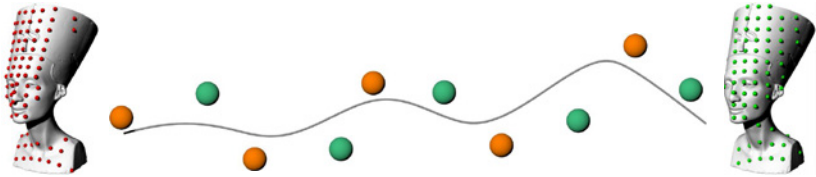
Gordon, Lipkowski, Studnicka, Wujanz | 203. DVW-Seminar | Terrestrisches Laserscanning 2021 | 29. November 2021

8

Widersprüche zwischen Punktwolken



Strategie 1 – Punkt-zu-Punkt-Korrespondenzen (P2P)



Vorteil: Schnell berechenbar
Nachteil: Sensitiv für Unterschiede der lokalen Auflösung

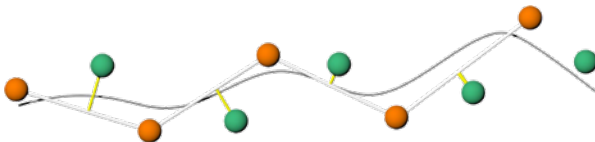
Gordon, Lipkowski, Studnicka, Wujanz | 203. DVW-Seminar | Terrestrisches Laserscanning 2021 | 29. November 2021

9

Widersprüche zwischen Punktwolken



Strategie 2 – Punkt-zu-Dreieck-Korrespondenzen (P2T)



Berechnung

1. Triangulation des Referenzscans
2. Projektion eines Punktes aus zweitem Scans auf Referenz (wenn möglich)
3. Residuum = Länge des Vektors zwischen korrespondierenden Punkt und Lotfußpunkt
4. Meist arithmetisches Mittel der Residuen

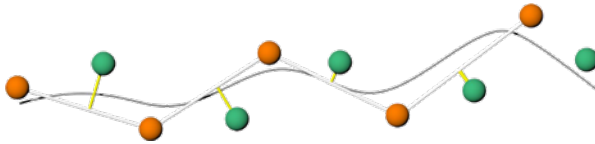
Gordon, Lipkowski, Studnicka, Wujanz | 203. DVW-Seminar | Terrestrisches Laserscanning 2021 | 29. November 2021

10

Widersprüche zwischen Punktwolken



Strategie 2 – Punkt-zu-Dreieck-Korrespondenzen (P2T)



Vorteil: Kompensation von Auflösungsunterschieden
Nachteil: Mehrdeutigkeiten
→ Zu welchem Dreieck gehört der Punkt?

Gordon, Lipkowski, Studnicka, Wujanz | 203. DVW-Seminar | Terrestrisches Laserscanning 2021 | 29. November 2021

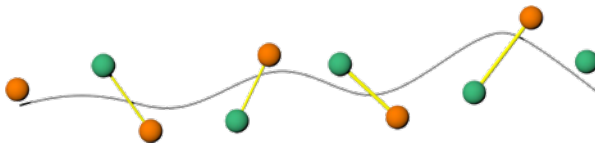
11

Widersprüche zwischen Punktwolken

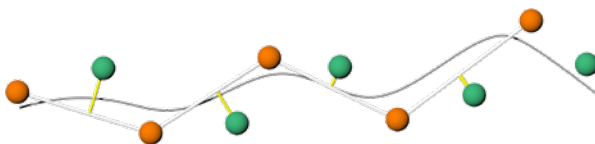


Ein Vergleich: Punkt-zu-Punkt vs. Punkt-zu-Dreieck

- Beispiel 1: Mittelwert = 7,8 mm (7,8 mm; 7,0 mm; 7,4 mm; 9,0 mm)



- Beispiel 2: Mittelwert = 3,4 mm (5 mm; 3,5 mm; 2,6 mm; 2,5 mm)



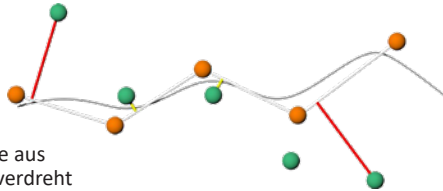
Gordon, Lipkowski, Studnicka, Wujanz | 203. DVW-Seminar | Terrestrisches Laserscanning 2021 | 29. November 2021

12

Widersprüche zwischen Punktwolken



Strategie 3 – Begrenzung des Suchradius



- Grüne Punktwolke aus vorherigem Bsp. verdreht
- Nutzung eines einstellbaren Schwellenwertes
 - Maximum search distance
 - Correspondence threshold
 - Tolerance
- Beispiel 3 - P2P (3 mm): Mittelwert = 2,75 mm (12,0 mm; 2,6 mm; 2,9 mm; 12,7 mm)
- Beispiel 4 - P2T (3 mm): Mittelwert = 2,55 mm (5 mm; 3,5 mm; 2,6 mm; 2,5 mm)

Gordon, Lipkowski, Studnicka, Wujanz | 203. DVW-Seminar | Terrestrisches Laserscanning 2021 | 29. November 2021

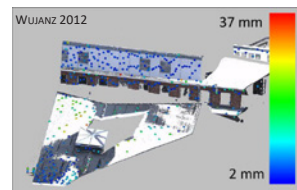
13

Widersprüche zwischen Punktwolken



Schlussfolgerung

- **Aussage:** „Ausgewählte Punkte im Überlappungsbereich von Punktwolken weichen um x Millimeter von einander ab.“
- **Nicht aussagekräftig:**
 - Blockausgleichung oder paarweise Registrierung?
 - Welche Punkte wurden benutzt?
 - Welche Metrik wurde benutzt: P2P, P2T?
 - Wurden die Residuen durch Korrespondenzschwellenwerte „geschönt“?
 - Wie wurde das Qualitätsmaß berechnet: Median, Mittelwert, die besten 18,37266% der Residuen?
- **Voraussetzung:** Überlappung der Scans
- Dennoch Standard-„Qualitätsmaß“ in Praxis und Wissenschaft
→ **Widerspruch!**



Gordon, Lipkowski, Studnicka, Wujanz | 203. DVW-Seminar | Terrestrisches Laserscanning 2021 | 29. November 2021

14

Widersprüche zwischen Transformationsparametern



Bedingung in einer Nivellements-Schleife

- Voraussetzung:
Start- und Endpunkt sind identisch!
- Annahme:
Summe der Höhenunterschiede = 0
- Normalerweise ist dies nicht der Fall.
 - a) Widerspruch ~ prädiizierte Genauigkeit
→ Alles in Ordnung
 - b) Widerspruch >> prädiizierte Genauigkeit
→ Daten enthalten Fehler



Quelle:
outillage-btp.com
fr.wikipedia.org

Gordon, Lipkowski, Studnicka, Wujanz | 203. DVW-Seminar | Terrestrisches Laserscanning 2021 | 29. November 2021

15

Widersprüche zwischen Transformationsparametern



Bedingung in einer **Scan**-Schleife

- ALLE Registrierverfahren liefern Registrierungsparameter,
→ jedoch mit unterschiedlichen Genauigkeiten
- Das gleiche Konzept, angewendet auf paarweise Registrierungen
→ Verkettung aller Registrierungen = Null-Transformation



Quelle:
fr.wikipedia.org

Gordon, Lipkowski, Studnicka, Wujanz | 203. DVW-Seminar | Terrestrisches Laserscanning 2021 | 29. November 2021

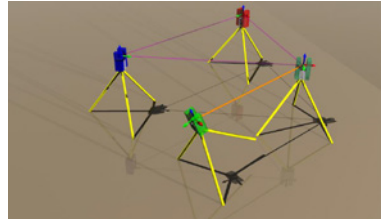
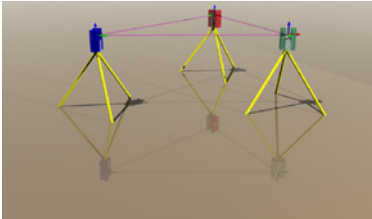
16

Widersprüche zwischen Transformationsparametern



Bedingung in einer Scan-Schleife

- ALLE Registrierverfahren liefern Registrierungsparameter,
→ jedoch mit unterschiedlichen Genauigkeiten
- Das gleiche Konzept, angewendet auf paarweise Registrierungen
→ Verkettung aller Registrierungen = Null-Transformation



Gordon, Lipkowski, Studnicka, Wujanz | 203. DVW-Seminar | Terrestrisches Laserscanning 2021 | 29. November 2021

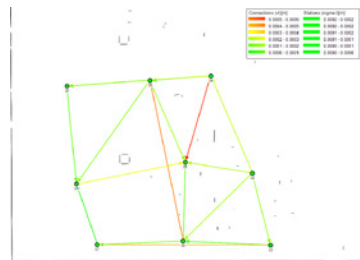
17

Widersprüche zwischen Transformationsparametern



Schlussfolgerung

- **Aussage:** „Die Transformationsparameter zwischen Scans weichen um x mm und y° ab“
- **Nicht aussagekräftig:** wenn registrierte Punktwolken perfekte Symmetrie aufweisen
- **Voraussetzung:** Redundante Registrierungen
- Ansatz erlaubt die Überprüfung jedes einzelnen Freiheitsgrades
- Qualitätsbeurteilung von Scan-Netzwerken ist unabhängig vom verwendeten Registrierverfahren
→ C2C, Punkte, Ebenen, Zylinder, kinematische Messkonzepte



Gordon, Lipkowski, Studnicka, Wujanz | 203. DVW-Seminar | Terrestrisches Laserscanning 2021 | 29. November 2021

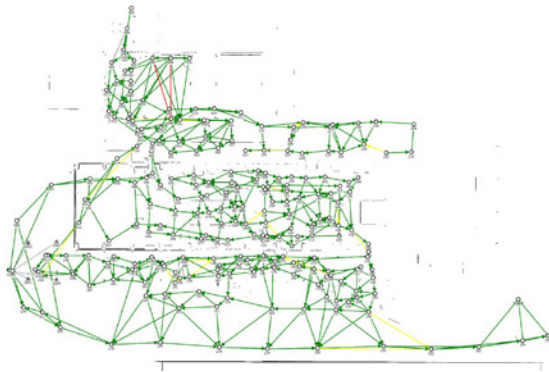
18

Widersprüche zu tachymetrischen...



Anschlusspunkten

- Abgleich einer Fertigungsstrecke gegen ein Modell
- Scankonfiguration
 - 283 Stationen
 - 564 Registrierungen
- Residuen der paarweisen Registrierungen
 - Mittelwert: 0,48 mm
 - Median: 0,3 mm
 - Max: 4,3 mm
- Restklaffen zur Tachymetrie
→ 5,6 mm im Mittel



Gordon, Lipkowski, Studnicka, Wujanz | 203. DVW-Seminar | Terrestrisches Laserscanning 2021 | 29. November 2021

19

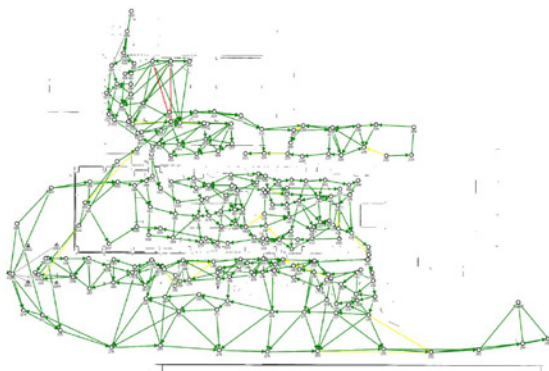
Widersprüche zu tachymetrischen...



Anschlusspunkten

- Abgleich einer Fertigungsstrecke gegen ein Modell
- Scankonfiguration
 - 283 Stationen
 - 564 Registrierungen
- Residuen der paarweisen Registrierungen
 - Mittelwert: 0,48 mm
 - Median: 0,3 mm
 - Max: 4,3 mm

Ergebnis: Fast alle
Maschinen stehen falsch!



Gordon, Lipkowski, Studnicka, Wujanz | 203. DVW-Seminar | Terrestrisches Laserscanning 2021 | 29. November 2021

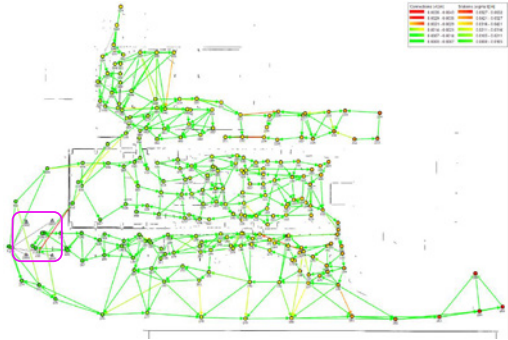
20

Widersprüche zu tachymetrischen...



Anschlusspunkten

- ABER: Residuen sind **datums-unabhängige** Qualitätsmaße
- Auswirkungen auf das Netz unbekannt
- Notwendig sind **datums-abhängige** Genauigkeitsmaße
- Stationierungsgenauigkeit = Wie gut kann die Position eines Scans in Relation zu einem übergeordneten Referenzsystem bestimmt werden?



Gordon, Lipkowski, Studnicka, Wujanz | 203. DVW-Seminar | Terrestrisches Laserscanning 2021 | 29. November 2021

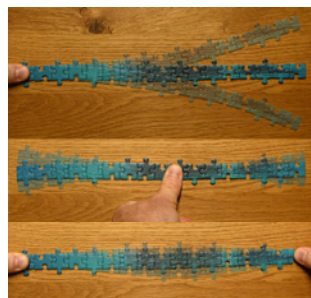
21

Widersprüche zu tachymetrischen...



Schlussfolgerung

- **Aussage:** „Am Anschlusspunkt beträgt die Abweichung zur PW n mm.“
- **Nicht aussagekräftig:** Wenn Lage und Gewichtung der Punkte nicht bekannt ist
- **Voraussetzung:** Ausreichende Anzahl und geeignete Punktverteilung
- Genauigkeit wird überschätzt
 - Tachymetrische Punktbestimmung zwar i.d.R. hochgenau
 - Zielmarkenzentrum wird algorithmisch aus Punktwolke abgeleitet



Gordon, Lipkowski, Studnicka, Wujanz | 203. DVW-Seminar | Terrestrisches Laserscanning 2021 | 29. November 2021

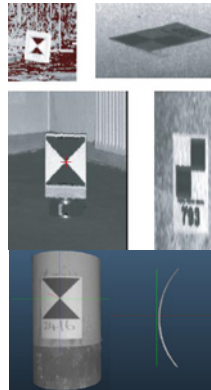
22

Widersprüche zu tachymetrischen...



Schlussfolgerung

- **Aussage:** „Am Anschlusspunkt beträgt die Abweichung zur PW n mm.“
- **Nicht aussagekräftig:** Wenn Lage und Gewichtung der Punkte nicht bekannt ist
- **Voraussetzung:** Ausreichende Anzahl und geeignete Punktverteilung
- Genauigkeit wird überschätzt
 - Tachymetrische Punktbestimmung zwar i.d.R. hochgenau
 - Zielmarkenzentrum wird algorithmisch aus Punktwolke abgeleitet



Gordon, Lipkowski, Studnicka, Wujanz | 203. DVW-Seminar | Terrestrisches Laserscanning 2021 | 29. November 2021

23

Zusammenfassung & Ausblick



Zusammenfassung

- Diskussion von drei Metriken:
 - Widersprüche zwischen Punktwolken
 - Widerspruch zwischen Transformationsparametern
 - Widerspruch zu Anschlusspunkten
- Residuen sind aktuell DAS Qualitätsmaß im Laserscanning
 - Grobe Fehler können aufgedeckt werden
 - Können keine Aussage über die Stationierungsgenauigkeit treffen
- Schauen Sie sich ganz genau an, was Ihre Software einsetzt

Ausblick

- Entstehung des Merkblatts „Registrierung“ als Nachschlagewerk
- Für Einsteiger und fundierte Anwender
 - Nicht nur für Vermesser und Geodäten

Aus dem Inhaltsverzeichnis

- Was ist Registrierung?
- Registrierungsverfahren
- Qualitätssicherung und der Umgang mit Fehlern
- Best Practice

Gordon, Lipkowski, Studnicka, Wujanz | 203. DVW-Seminar | Terrestrisches Laserscanning 2021 | 29. November 2021

24

<https://openpointcloudformats.org>

Petition für einen wirtschaftlichen Austausch von Punktwolken

- Die zweit- und dritt wichtigste Zahl im Laserscanning
 - die Erfassungsgeschwindigkeit!
 - die Rechenleistung!
- Punktwolkenverarbeitung in der Praxis
→ Meisterwerk der Ineffizienz!
- Schaffung von „bösen“ digitalen Zwillingen
 - Identische Punktwolken werden in n Formate konvertiert
 - Austausch von Daten und Archivierung anspruchsvoll
- Ziel: Reibungsloser Austausch von Daten aus unterschiedlichen Quellen in verschiedener Software OHNE Austauschformate



Gordon, Lipkowski, Studnicka, Wujanz | 203. DVW-Seminar | Terrestrisches Laserscanning 2021 | 29. November 2021



25

Frage #1 aus Voxr



Sollten im Nachgang direkte Fragen an die anderen Autorinnen und Autoren gestellt werden wollen, leite ich diese gerne weiter.

„Idee Entwicklung einer kommerziellen Lösung – Quasi „Qualität“ Gesamtergebnis „auf Knopfdruck“ ? “

- Prinzipiell gibt es mit SCANTRA hierfür eine Lösung. ABER: Grundvoraussetzung ist, dass auf die originären Beobachtungen zugegriffen werden kann. Fast alle Hersteller erlauben dies nicht, obwohl viele Kunden genau dies wünschen.
- Aktuell sind folgende Lösungen gangbar:
 - SCANTRA & Z+F LaserControl: Blockausgleichung mit C2C, Inklinometerdaten, Anschlusspunkten (lokal, global)
 - SCANTRA & PointCab: Punktblokausgleichung (lokal, global), Inklinometerdaten
 - SCANTRA & LupoScan: Punktblokausgleichung (lokal, global), Inklinometerdaten

Gordon, Lipkowski, Studnicka, Wujanz | 203. DVW-Seminar | Terrestrisches Laserscanning 2021 | 29. November 2021

26

Frage #2 aus Voxr



„Wenn die Qualität der Registrierung vernünftig bestimmt wurde, wie sieht es dann Deiner Meinung nach mit der Übertragbarkeit auf die Punktwolke selbst aus?“

- Ich nehme an, die Frage zielt auf die Folien 15 bis 19: Die Qualität der Registrierung ist direkt mit der Punktwolke verknüpft, da die Registrierparameter ja auf eben diesen basieren. Bei Unklarheiten einfach gerne mit mir in Kontakt treten:
daniel.wujanz@technet-gmbh.com

Gordon, Lipkowski, Studnicka, Wujanz | 203. DVW-Seminar | Terrestrisches Laserscanning 2021 | 29. November 2021

27

Frage #3 aus Voxr



„Wird die Veröffentlichung des Merkblattes im Newsletter des DVW erwähnt?“

- Ich arbeite als Gast am Merkblatt mit und kann daher keine Aussage zu dieser Frage treffen
- Soweit ich mich erinnere, bejahte dies Prof. Ingo Neumann (LU Hannover) in der damaligen Fragerunde

Gordon, Lipkowski, Studnicka, Wujanz | 203. DVW-Seminar | Terrestrisches Laserscanning 2021 | 29. November 2021

28

Frage #4 aus Voxr



„Inwieweit lässt sich dies auch auf low-cost Laserscanner übertragen oder gilt es da was zu beachten?“

- Alle vorgestellten Strategien sind vom eingesetzten Sensor unabhängig
- ABER: die Frage, ob eine Registrierung fehlerhaft ist, ist je nach Strategie natürlich mit dem Sensorrauschen verknüpft. Stellen Sie sich vor, Sie messen eine Strecke mehrfach. Ein Widerspruch von 1 mm ist mit einem Zollstock tolerabel; Mit einem Lasertracker aber eine Katastrophe.
- Dieses Thema ist sehr entscheidend bei der Qualitätssicherung, hätte aber leider den Rahmen des Vortrages gesprengt. Anders als bei einem Tachymeter ist die Qualität der Registrierparameter bei jeder einzelnen Registrierung anders und hängt hauptsächlich von der Aufnahmekonfiguration (Grad der Überlappung UND (!) geometrische Verteilung innerhalb der Szene – [siehe Abschnitt 2.2](#)) und (je nach gewählter Strategie eher nachgeordnet) dem Scanner ab.

Gordon, Lipkowski, Studnicka, Wujanz | 203. DVW-Seminar | Terrestrisches Laserscanning 2021 | 29. November 2021

29

Frage #5 aus Voxr



„Wann ist geplant, das fertige Merkblatt zu veröffentlichen?“

- Auch hier kann ich als Gast nur bedingt antworten. Von Seiten der Autorinnen und Autoren wollen wir bis März 2022 einen ersten Aufschlag beim DVW einreichen. Wie lange die interne Qualitätssicherung des ausführlichen Dokuments dauern wird, ist schwer hervorzusagen.

Gordon, Lipkowski, Studnicka, Wujanz | 203. DVW-Seminar | Terrestrisches Laserscanning 2021 | 29. November 2021

30



Hochschule Bochum
Bochum University
of Applied Sciences



Das DVW-Merkblatt für die TLS-Punktwolkenregistrierung: Qualitätsmaße bei der Registrierung

Bianca GORDON, Leica Geosystems

Susanne LIPKOWSKI, Hochschule Bochum

Nikolaus STUDNICKA, RIEGL Laser Measurement Systems GmbH

Daniel WUJANZ, technet GmbH: daniel.wujanz@technet-gmbh.com

203. DVW-Seminar | Terrestrisches Laserscanning 2021 | 29. November 2021

31

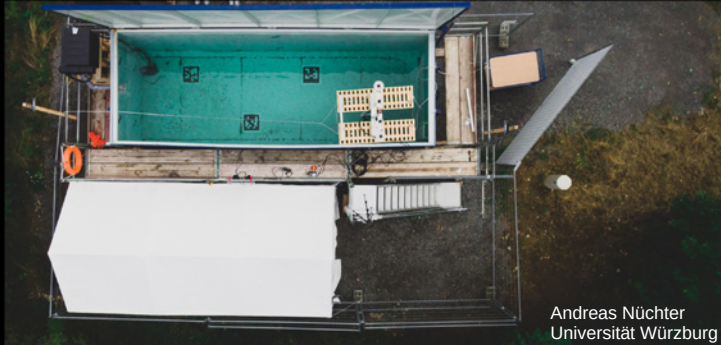
Session 3:

Multi-Daten Fusion für die Automatisierung

Terrestrisches und mobiles Laserscanning in lebensfeindlichen Umgebungen

Andreas Nüchter

Terrestrisches und mobiles Laserscanning in lebensfeindlichen Umgebungen



Roboter und Sensoren



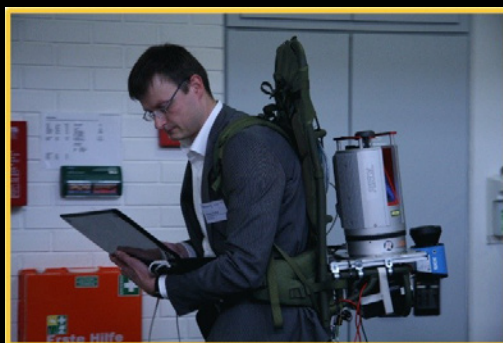
Irma3D mit Riegl VZ400, LMS100, Canon DSLR, iGPS und Radencodern

Roboter und Sensoren

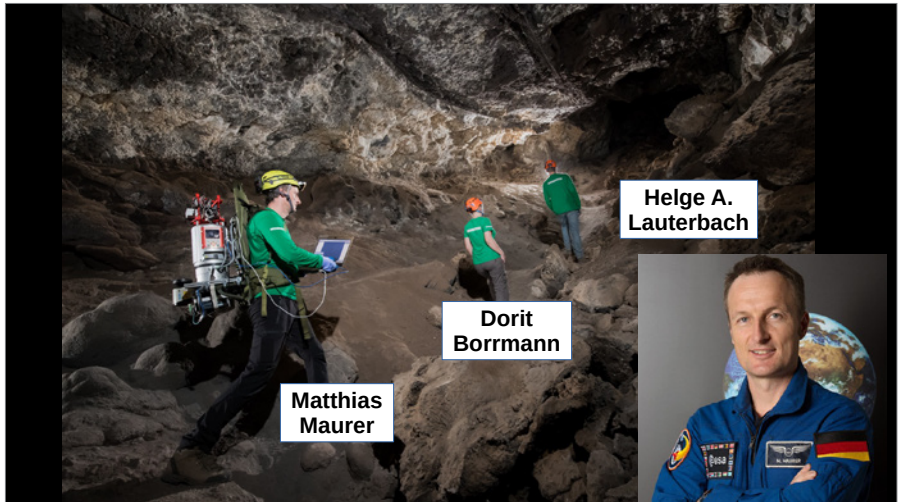


UAV mit Velodyne Lidar, Optris® Thermocam und RGB camera, IMU, GNSS (video)

Roboter und Sensoren



Rucksack mit Riegl VZ400, LMS100 und preiswerter IMU



Helge A.
Lauterbach

Dorit
Bormann

Matthias
Maurer



ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume IV-2/W5, 2019
ISPRS Geospatial Week 2019, 10–14 June 2019, Enschede, The Netherlands

MOBILE MAPPING OF THE LA CORONA LAVATUBE ON LANZAROTE

H. A. Lauterbach^{1,2}, D. Bormann¹, A. Nüchter¹, A.P. Rossi², V. Umnhuth², P. Torrese³, R. Pozzobon⁴

¹ Computer Science VII – Robotics and Telematics, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Germany – {helge.lauterbach, dorit.bormann, andreas.nuechter}@uni-wuerzburg.de,

² Physics and Earth Sciences, Jacobs University Bremen, Germany – {an.rossi, v.umnhuth}@jacobs-university.de,

³ Dipartimento di Scienze della Terra e dell'Ambiente, Università di Pavia, Italy – patrizio.torrese@unipv.it,

⁴ Department of Geosciences, Università degli Studi di Padova, Italy – riccardo.pozzobon@unipd.it

KEY WORDS: Mobile Mapping, Laser Scanning, SLAM, Rough Environment

ABSTRACT:

Planetary surfaces consist of rough terrain and cave-like environments. Future planetary exploration demands for accurate mapping. However, recent backpack mobile mapping systems are mostly tested in structured, indoor environments. This paper evaluates the use of a backpack mobile mapping system in a cave-like environment. The experiments demonstrate the abilities of an continuous-time optimization approach by mapping part of a lavatube of the La Corona volcano system on Lanzarote. We compare two strategies for trajectory estimation relying either on 2D or 3D laser scanners and show that a 3D laser scanner substantially improved the final results.



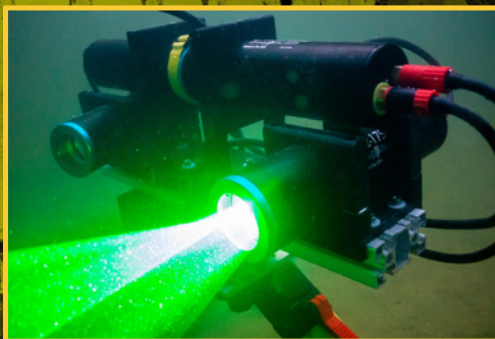
Lidar (light detection and ranging) systems produce 3D models with high spatial accuracy independent of lighting conditions and visible features. For high precise measurements terrestrial laser scanning is the method of choice. However, in unstructured environments like the one at hand, a large amount of scanning positions are required to avoid occlusions. Mobile mapping systems with sensors mounted on can allow for faster measurements from changing viewpoints and are the method of choice for mapping urban environments. Robotic solutions (Nüchter et al., 2013) or solutions with scanners mounted on carts, like the xiametris.iMMS (VLAmetris, 2015; Thomson et al., 2013).

Roboter und Sensoren



BlueRov Roboter (kabelgebunden) mit Kameras, IMU und GPS

Roboter und Sensoren



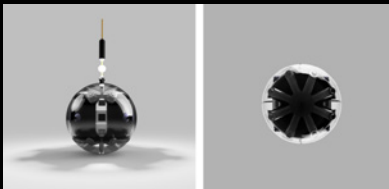
Unterwasserscanner: RGB-Kamera, 2 x Laserlinieprojektor, yaw-Motor

Teil 1 – Exploration von Mond und Mars

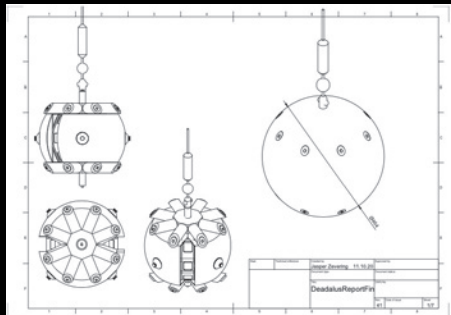


Systemdesign

- Sphärischer Roboter mit Kameras und Laserscanner zur Erforschung der Mondhöhlen

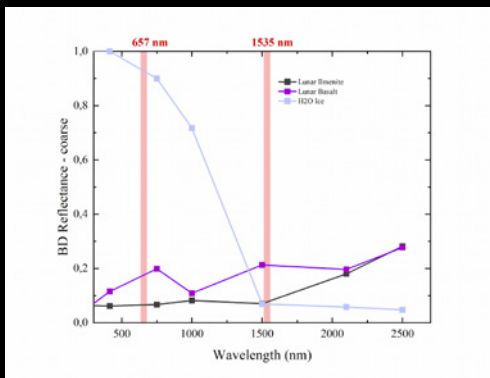


- Panoramakameras
- Laser mit unterschiedlichen Frequenzen



Systemdesign

- Aufgabe: Wasser finden!
- Verhältnis 657 / 1535 nm gibt Auskunft über Wassereis



Systemdesign

DAEDALUS

Descent And Exploration in Deep Autonomy
of Lava Underground Structures

Andreas Nüchter and the Daedalus Team



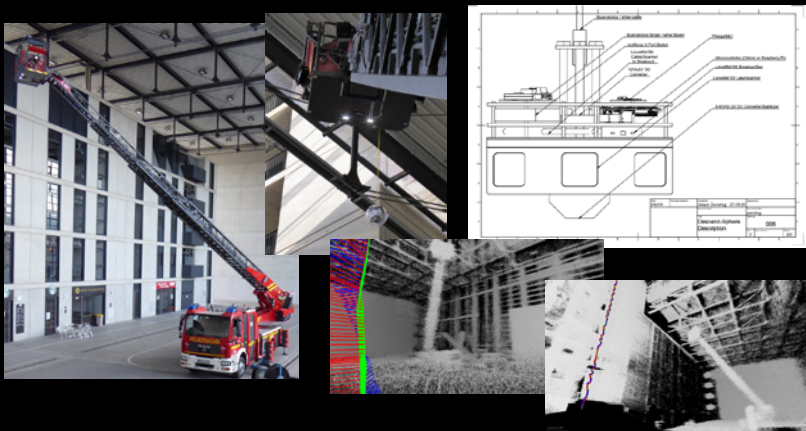
JACOBS
UNIVERSITY



Final presentation 2 - 29th January 2021

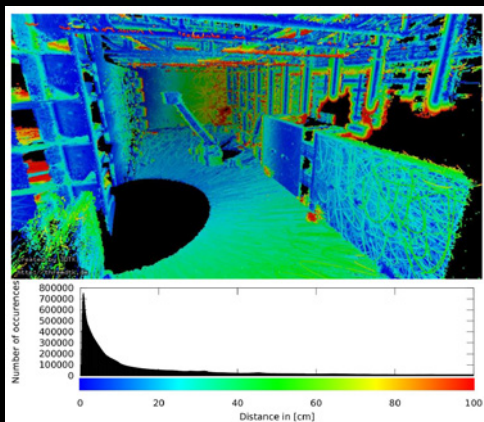
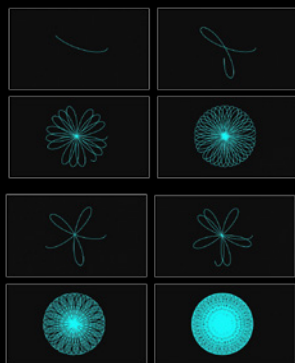
(video)

Erste Ergebnisse



Erste Ergebnisse

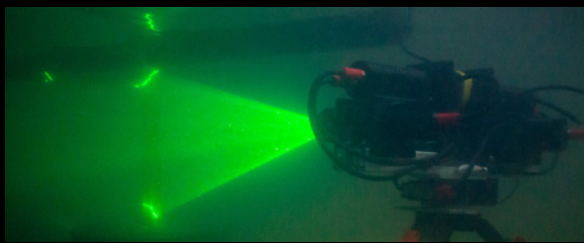
- Livox LiDAR

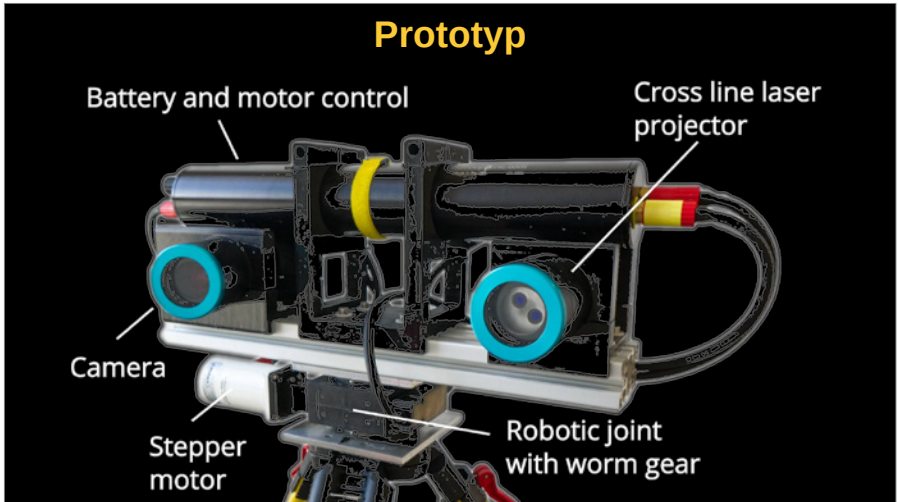


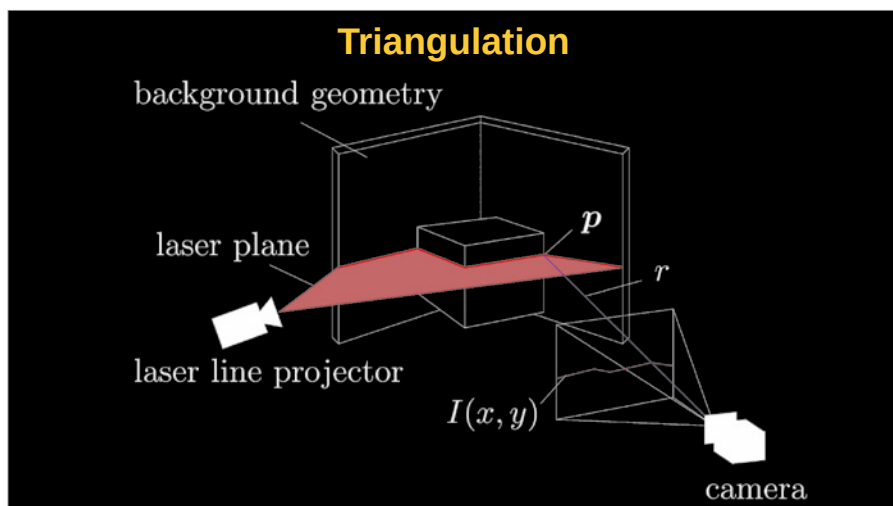
Teil 2 – Exploration unter Wasser

Motivation

- Projekte im Bereich Unterwasserarchäologie sowie Industrieanwendungen
- Durch Anforderungen (hohe Genauigkeiten und Auflösungen) interessieren wir uns für optisches 3D-Laserscanning trotz den Herausforderungen bezüglich Trübheit
- Mobile Mapping für größere Gebiete

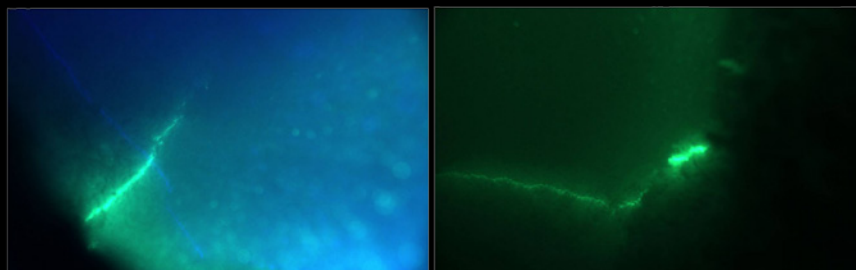




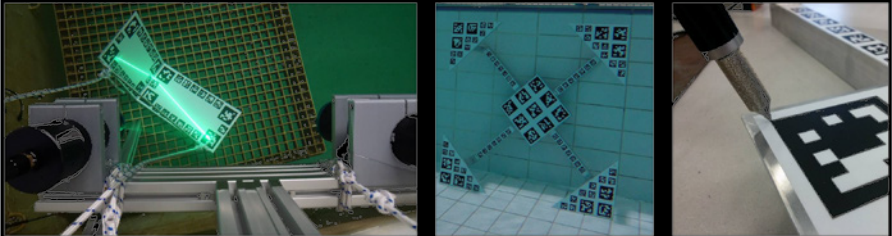


Extraktion der Laserlinie

- Entfernung abhängig von der Sichtbarkeit / Trübung
- In klarem Wasser können >8 Meter erreicht werden



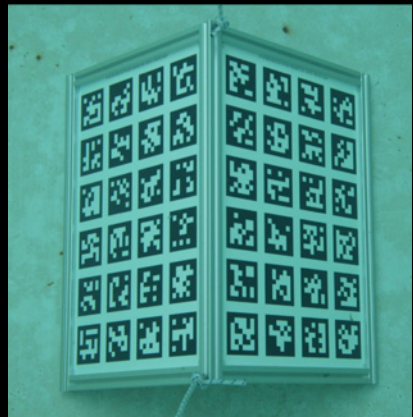
Kalibrierung



- 3D Kalibrierung mit Hilfe von AprilTags
- Berechnung der Kalibrierparameter in Luft + reduzierte Parameter in Wasser

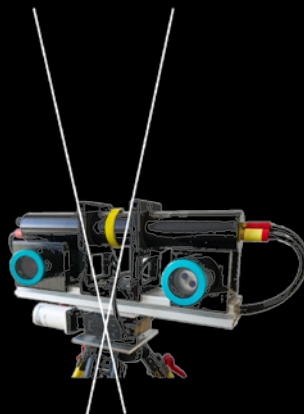
Kalibrierung

- Kalibrierkörper besteht aus zwei Floatglasscheiben im Winkel von 90°
- Gedruckte AprilTags zur Merkmalsextraktion für den automatischen Prozess
- Direkter Druck auf Glas mit mind. 1/10 mm Genauigkeit



Rotationsachse des Drehmotors

- Die Rotationsparameter des zylinderförmigen Gehäuses ist nicht bestimmt
- Berechnung der Rotationsachse aus der Bewegung der Kamera
- Idealerweise benutzt man die Konsistenz der resultierenden 3D-Punktwolke zur Kalibrierung



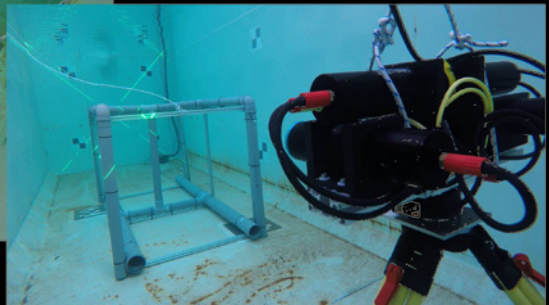
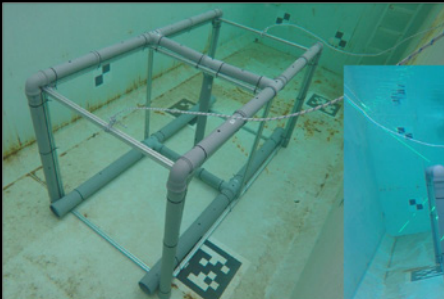
Erste Ergebnisse



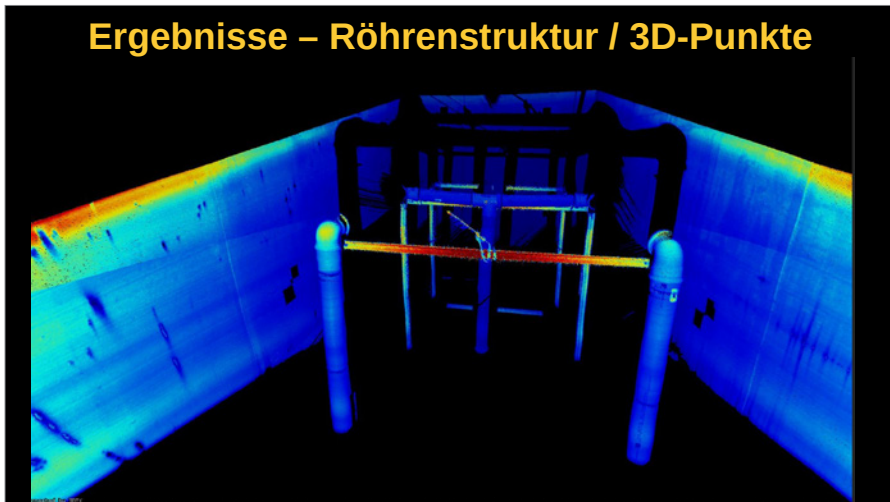
Ergebnisse – Experimente im Tank



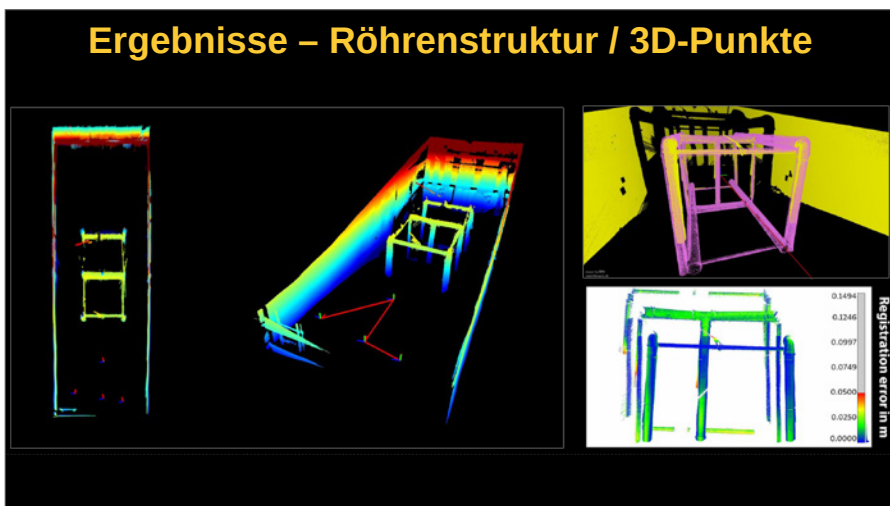
Ergebnisse – Röhrenstruktur



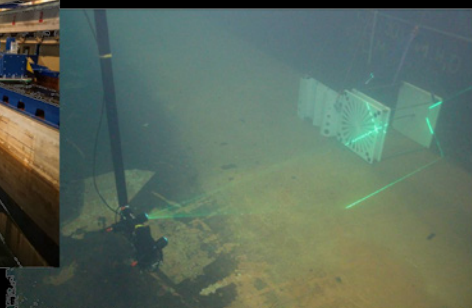
Ergebnisse – Röhrenstruktur / 3D-Punkte



Ergebnisse – Röhrenstruktur / 3D-Punkte

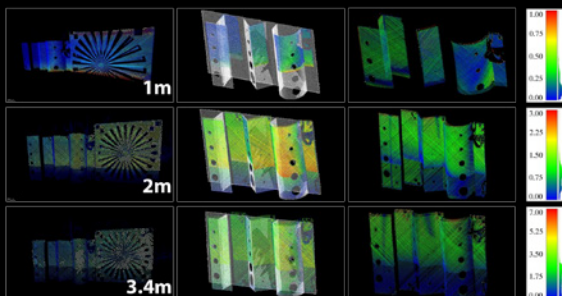
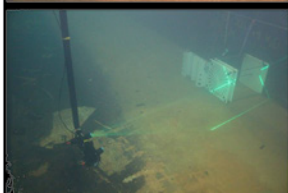


Ergebnisse – Testbecken in Rostock

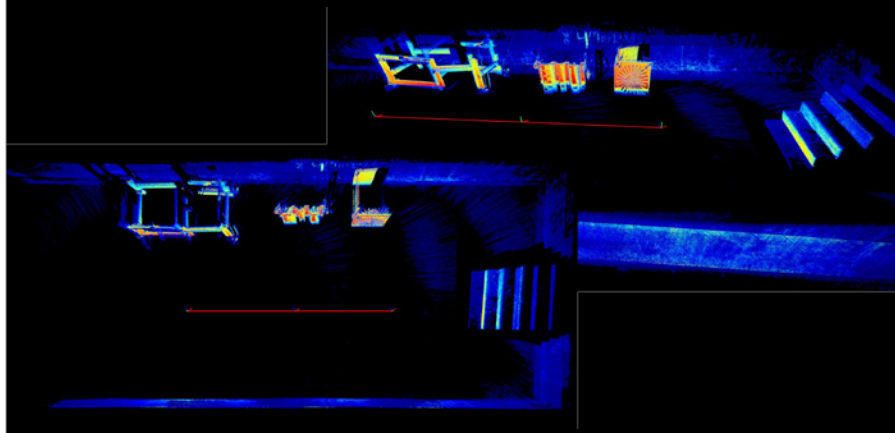


(video)

Ergebnisse – Scannen von Testobjekten



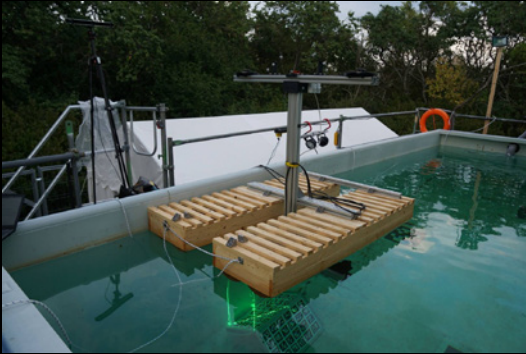
Ergebnisse – Scannen von Testobjekten



Mobiles Scannen im Flachwasser



Mobiles Scannen im Flachwasser



- GNSS-System und Interitalsensoren in Luft
- Scanner „leuchtet“ nach unten im Wasser

Ergebnisse – und jetzt in echt



Ergebnisse – und jetzt in echt



Laserscanning in untertägigen Anwendungen – auf dem Weg zu autonom messenden Multi-Sensor-Systemen

Jörg Benndorf | Thomas Martienßen



TECHNISCHE UNIVERSITÄT
BERGAKADEMIE FREIBERG
Die Ressourcenuniversität. Seit 1765.

Laserscanning in untertägigen Anwendungen – auf dem Weg zu autonom messenden Multi-Sensor-Systemen

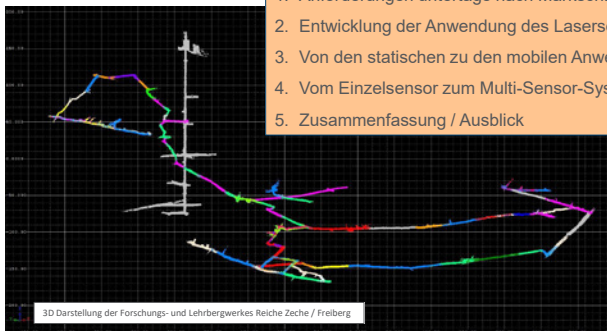


Beitrag zum 203. DVW-Seminar – Terrestrisches Laserscanning 2021 - Online

Prof. Dr. Jörg Benndorf und Dr. Thomas Martienßen - Institut für Markscheidewesen und Geodäsie, TU Bergakademie Freiberg



Gliederung



3D Darstellung der Forschungs- und Lehrbergwerkes Reiche Zeche / Freiberg

1. Anforderungen untertage nach MarkschBergV
2. Entwicklung der Anwendung des Laserscanning im unter Tage
3. Von den statischen zu den mobilen Anwendungen
4. Vom Einzelsensor zum Multi-Sensor-System
5. Zusammenfassung / Ausblick

TU Bergakademie Freiberg | Institut für Markscheidewesen und Geodäsie | Fuchsmühlenweg 9 | 09599 Freiberg

2



1. Anforderungen nach Markscheider-Bergverordnung (MarschBergV)

§2 Grundsätze für die Arbeiten:

(2) Instrumente und Geräte müssen für die zu erledigenden Arbeiten geeignet sein. Sie sind vor dem erstmaligen Gebrauch und **danach in angemessenen Zeitabständen auf ihren gebrauchsfähigen Zustand zu überprüfen.** -> Thema: **Kalibrierung von Multi-Sensorsystemen**

(4) Anerkannte Markscheider ...haben **die Richtigkeit, Genauigkeit und Vollständigkeit** ihrer Arbeiten sicherzustellen.

Dokumentationspflicht: Was sind die Rohdaten im Sinne einer Urmessung?
Wie werden diese Daten als Urmessungen archiviert?
Wie ist die Nachvollziehbarkeit gewährleistet? – Rekonstruktion des Workflow –
Wie kann eine unabhängige Überprüfbarkeit gewährleistet werden?

2008 – Arbeitsgruppe: Laserscanning im Deutschen Markscheiderverein (DMV)
Erarbeitet: „Grundsätze zum Einsatz luftgestützten und terrestrischen Laserscanneraufnahmen im Bergbau.“
https://www.dmv-ev.de/images/stories/uploads/DMV_Laserscanner_Grundsaeitze_2009_11_13.pdf

3

TU Bergakademie Freiberg | Institut für Markscheidewesen und Geodäsie | Fuchsmühlenweg 9 | 09599 Freiberg



Historische Entwicklung der Geräte / Systeme zum TLS am Institut für Markscheidewesen

2004: erste Erfahrungen in Steinbrüchen und Tagebauen über Tage - Callidus

2006: Anschaffung eines Riegl LMS-Z390

Scanner-Überprüfung auf der untertägigen Prüfstrecke
Einsätze über und unter Tage

2016: Anschaffung eines Riegl VZ-400i

Scanner-Überprüfung auf der untertägigen Prüfstrecke
Einsätze über und unter Tage

2018: Anschaffung eines Riegl VZ-2000i

Scanner-Überprüfung auf der untertägigen Prüfstrecke
Einsatz über Tage (Long Range)

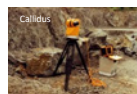
2019: Anschaffung des ZEB-REVO

System - Überprüfung auf der Ringstrecke 1. Sohle
Einsatz im Altbergbau unter Tage und für schwer zugängliche Bereiche

2021: Großgerät / Multisensorsystem

System befindet sich im Aufbau in Bezug auf Kalibrierung und Navigation

2021: scannende Totalstation SX12



Quellen: Dr. Löbel / Institut für Markscheidewesen und Geodäsie

TU Bergakademie Freiberg | Institut für Markscheidewesen und Geodäsie | Fuchsmühlenweg 9 | 09599 Freiberg

4



Statisches Scanning im „STOP and GO“ Betrieb (15 Jahre)



Aufbau des VZ-400i am Nullpunkt auf der Prüfstrecke 1. Sohle Reiche-Zeche



Einsatz eines LMS Z390 der Firma GEODATA am Gotthard-Basistunnel (Exkursion 2011)




Einsatz des VZ-400i bei der Firma MAXIT Baustoffwerke GmbH 2017 (UPKS4Dplus)




Streckenvermessung mit dem Z390 auf der 1. Sohle Reiche-Zeche (2009)


5



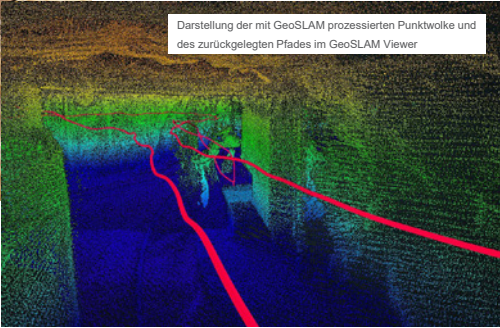
Mobile Scanning (5 Jahre) – Beispiel: Handscanner ZEB-REVO



Einfache Handhabung !



Initialisierung (oben) und Erfassung einer Referenzkugel (unten)



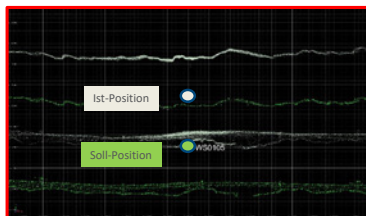
Darstellung der mit GeoSLAM prozessierten Punktwolke und des zurückgelegten Pfades im GeoSLAM Viewer

5

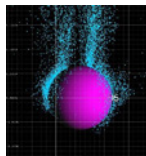
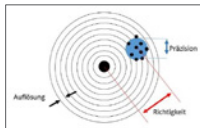


Vergleiche der Punktwolken des ZEB-REVO mit Referenzdaten auf der Ringstrecke 1. Sohle

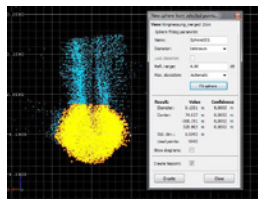
Vergleich der referenzierten Daten des LMS Z390i und der prozessierten und referenzierten Daten des ZEB-REVO
Visualisierung der Daten an horizontalen Schnitten durch die Punktwolke in RiScanPro



Profilpunkte des LMS Z390 Profilpunkte des ZEB-REV



In Bezug auf den Begriff der Genauigkeit fehlt es den Daten an der nötigen „Richtigkeit“!

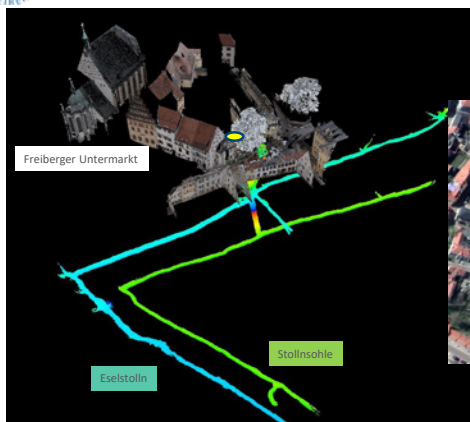


Kontrollpunkte und die Korrektur der Punktwolke mit deren Hilfe!

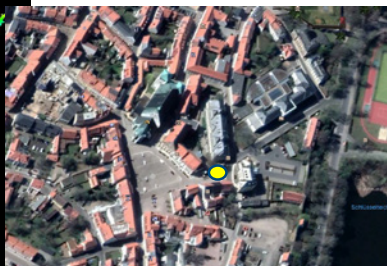
7



Beispiel 1: Anwendung im Altbergbau - Familienschacht



- 2019 – 250. Geburtstag Alexander von Humboldt
- Befahrung des Familienschachtes im Juli 1791



8



Messungen im Familienschacht – Anwendung im Altbergbau



Schachtvermessung



Gangstrecken




Abbaue



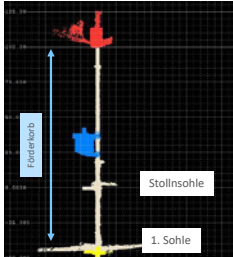
Fahrt mit 0.5 m/s

9



Beispiel 2: Reiche-Zeche-Schacht

Schachtvermessung im „STOP and GO“ Betrieb




Fördermaschinenhaus

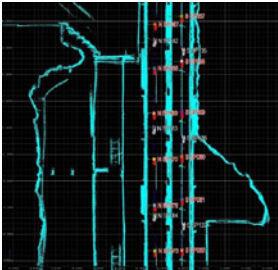
Stollinsohle

1. Sohle

Referenz-Punktwolke des VZ-400i /2020

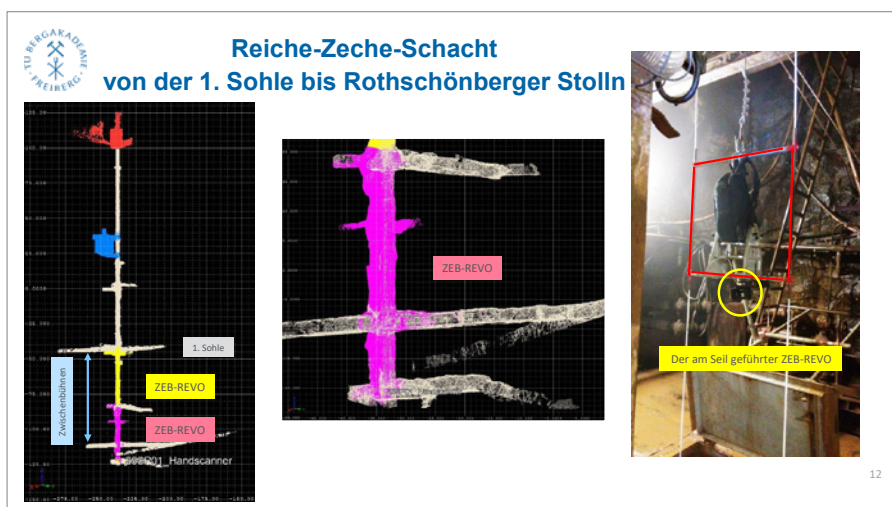
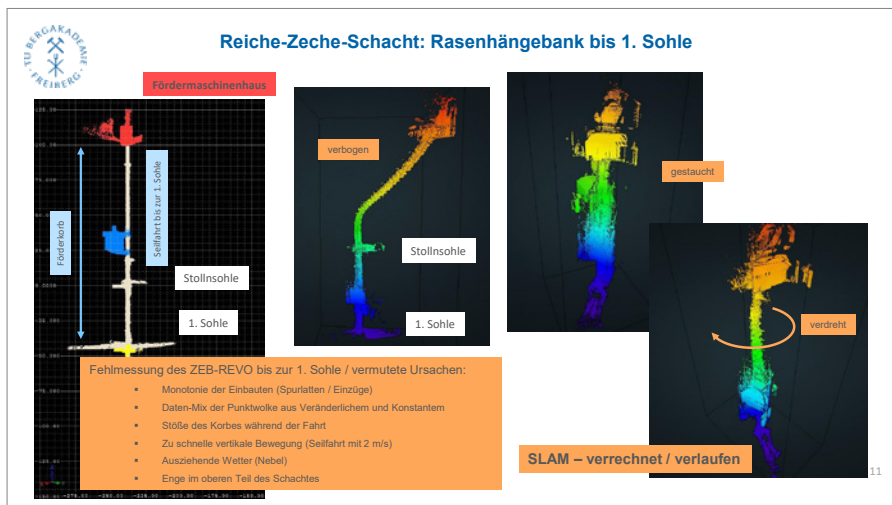


ca. 450 Scannerpositionen



Zeitaufwand : 4 Schichten

10





Autonom messende Multi-Sensor-Systeme



Die Reiche Zeche als Versuchs- und Lehrbergwerk

r4 BMBF Projekt UPNS 4D+

„Untertägliches 4D+ Positionierungs-, Navigations- und Mapping-System zur hochselektiven, effizienten und im höchsten Maße sicheren Gewinnung wirtschafts-strategischer Rohstoffe“

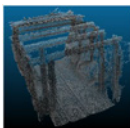
13



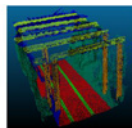
Reiche-Zeche-1. Sohle Semantische Klassifizierung von 3D Punktwolken

Projekt UPNS4d+

DBE – Klassifikation von 3D Punktwolken in Schächten

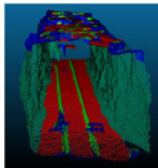
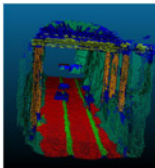
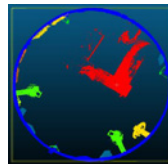


input data

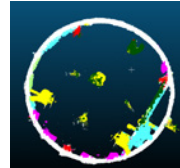


training data

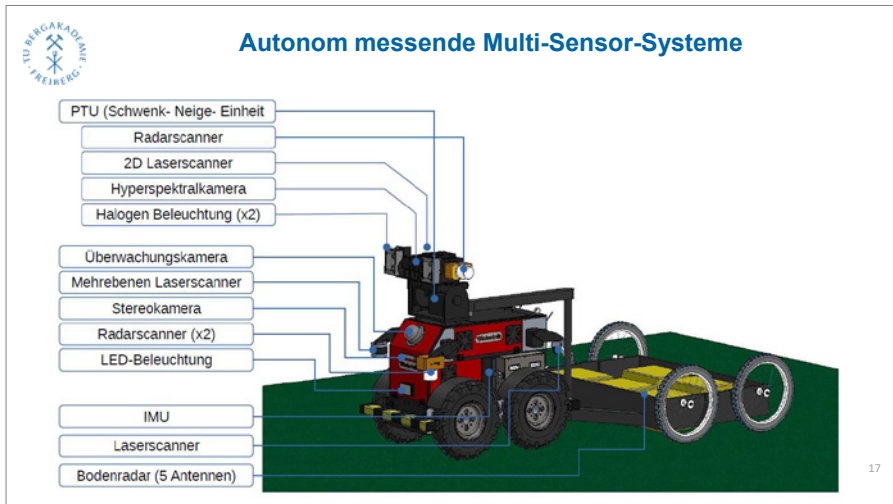
Trainingsdaten



Klassifikationsergebnisse



15





Autonom messende Multi-Sensor-Systeme

Sensorturm



Pan Tilt Unit

HySpex VNIR 3000N



HySpex SWIR 384



Hochauflösendes HS Zeilenkamerasystem für Visuellen bis Kurzwelleninfrarotbereich

19



Autonom messende Multi-Sensor-Systeme



Das Multisensorsystem wurde gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) sowie das Sächsische Ministerium für Wissenschaft und Kunst.

20



Autonom messende Multi-Sensor-Systeme - Herausforderungen

- Systemkalibrierung des Multi-Sensor Systems
- Hochpräzise Positionierung im Kontext untertägigen Monitorings
- Hinderniserkennung und eigenständige Navigation in unbekannter Umgebung
- Radardatenauswertung (Einbindung in Navigation und untertägige Radarinterferometrie)
- Hyperspektraldatenauswertung zur automatisierten Kartierung und Zustandserfassung des Grubengebäudes
- Datenmanagement & Systembetreuung

21



5. Zusammenfassung / Ausblick

Einschätzung:

- Der Einsatz des terrestrischen Laserscanning hat in den letzten 5 Jahren im untertägigen Bergbau deutlich zugenommen
- Grenzen setzen:
 - Verhältnis von Aufwand, Nutzen und Kosten
 - Die bisherigen Möglichkeiten einer automatisierten Auswertung.
 - Die Aspekte der Bergbautauglichkeit (EX-Schutz)
 - Akzeptanz in der Praxis – Umbruch durch den radikalen Methodenwechsel
- Aspekte der Sensorintegration und -kombination werden für ein mobiles und autonomes Scannen stärker in den Fokus rücken
- Nach wie vor aktuelle Fragen beiziehen sich auf:
 - Die Extraktion von Objekt aus Punktwolken
 - Eine intelligente Datenreduktion ohne Informationsverlust
 - Verfahren der System-Kalibrierung (Normung)

Vielen Dank für Ihr Interesse !

22

TU Bergakademie Freiberg | Institut für Markscheidewesen und Geodäsie | Fuchsmühlweg 9 | 09599 Freiberg |

Session 4:

Aktuelle Projekte und Anwendungsfelder

Automatisches schienengebundenes Laserscanning System VMR

Nikolaus Studnicka

Automatisches,
schienengebundenes
Laserscanning System VMR



Nikolaus Studnicka
nstudnicka@riegl.com



Inhalt

- RIEGL VZ-400i Laserscanner
- schnelles automatisches OnBoard Registrieren
- Kombination eines Laserscanners mit einem Roboter
- 1. Ansatz: „Robot App“ (Python App)
- 2. Ansatz: ROS – Robot Operating System
- VMR - Automatisches schienengebundenes Laserscanning System
- kurzer Ausblick



Terrestrischer Laserscanner RIEGL VZ-400i



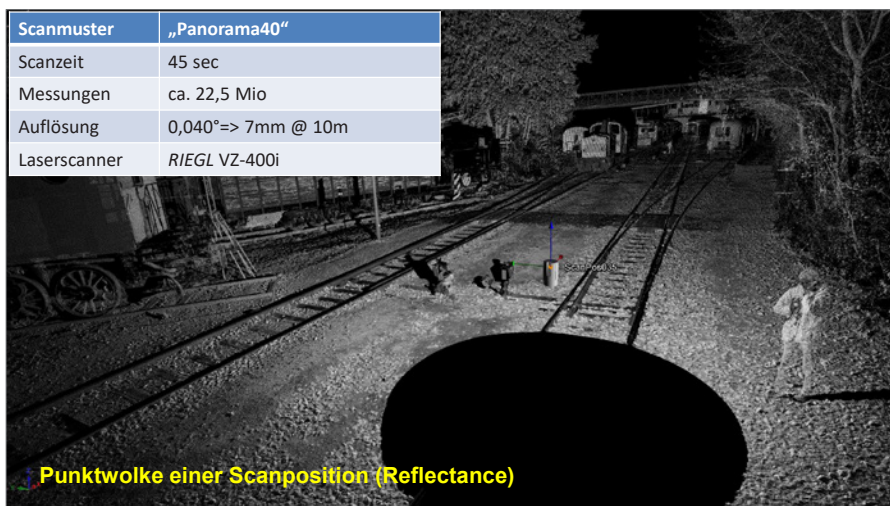
- Reichweite von 0.5m bis 800m
- Präzision / Genauigkeit: 3mm / 5mm
- Standardauflösung = 40mdeg, entspricht 7mm@10m
- 50 Scanpositionen pro Stunde
- Gesichtsfeld: 360°x100°
- automatische Onboard Registrierung der Scanpositionen

www.riegl.com Copyright RIEGL International GmbH © 2021 – All rights reserved

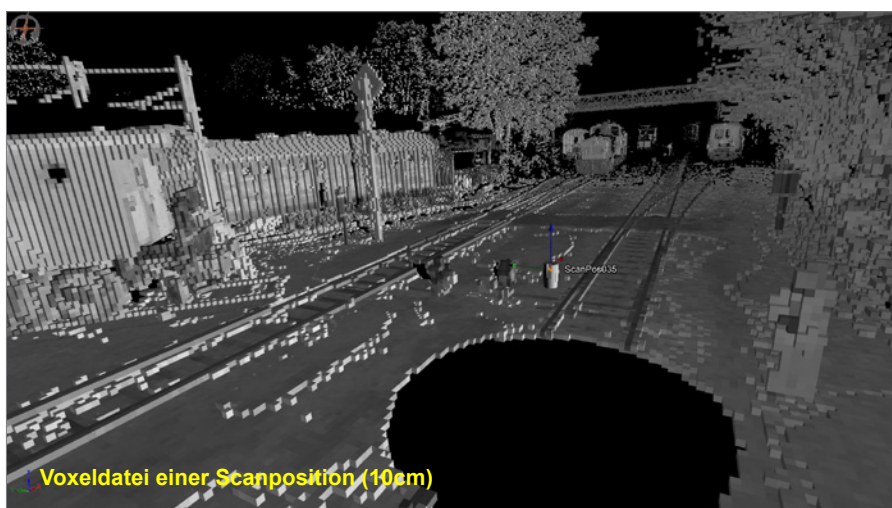
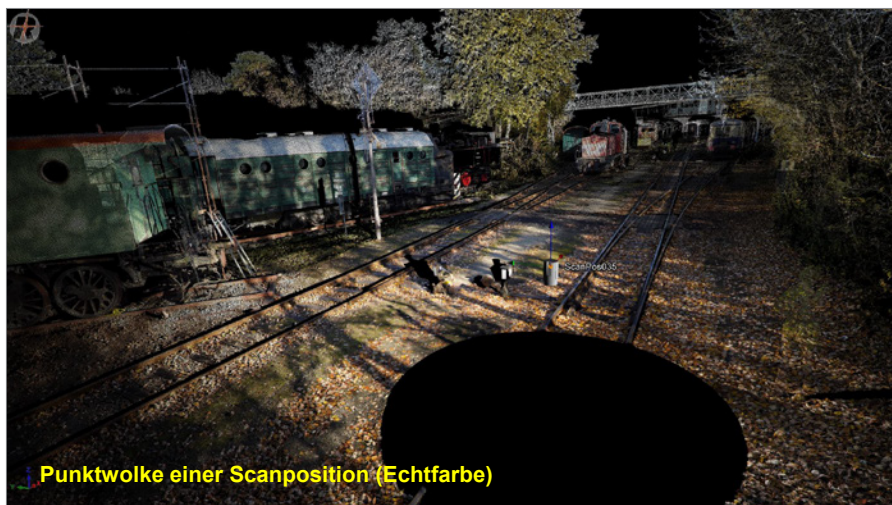
nstudnicka@riegl.com / 203. DVW-Seminar TLS 2021

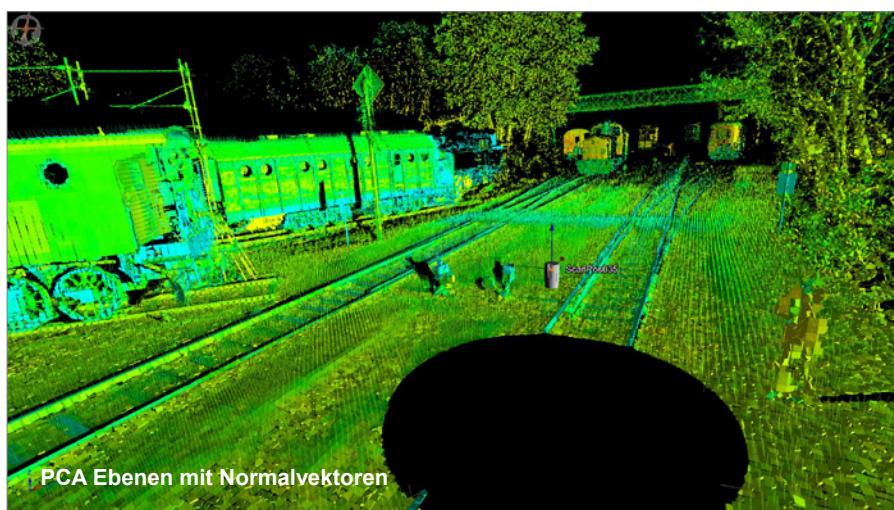
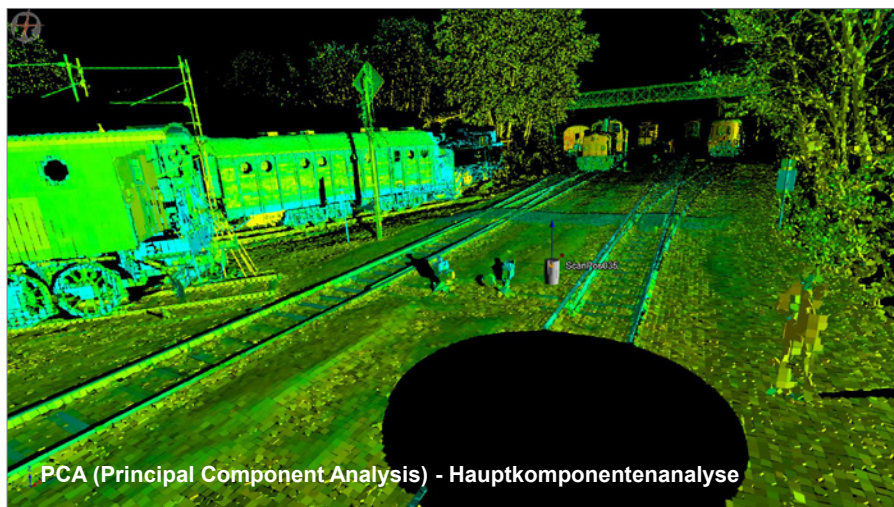
Innovation in 3D

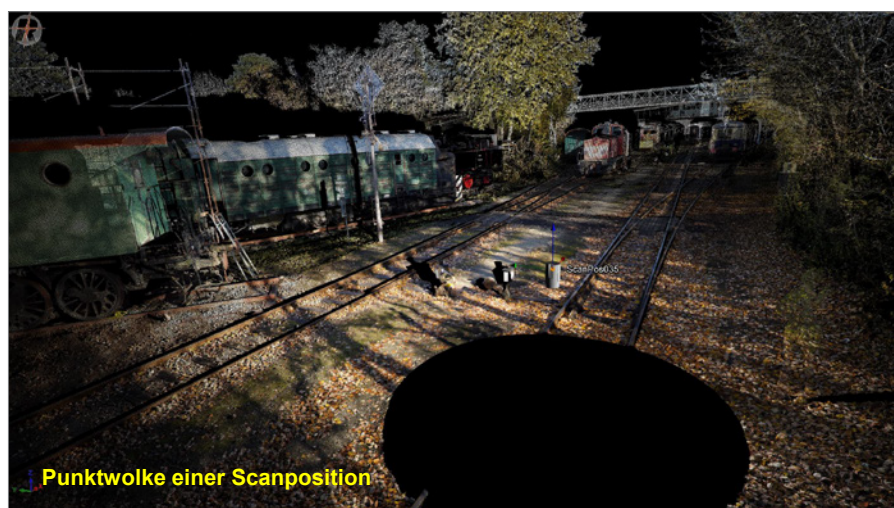
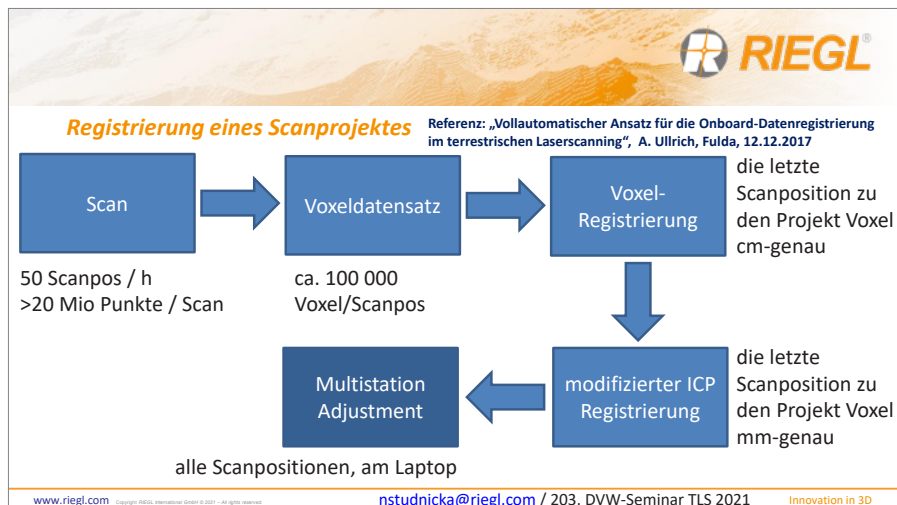
Scanmuster	„Panorama40“
Scanzeit	45 sec
Messungen	ca. 22,5 Mio
Auflösung	0,040°=> 7mm @ 10m
Laserscanner	RIEGL VZ-400i



Punktwolke einer Scanposition (Reflectance)









RIEGL VZ-400i Laser-scanner Bildschirm

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 vom Laserscanner in den Browser eines mobilen Gerätes via WLAN übertragen.

www.riegl.com Copyright RIEGL International GmbH © 2021 – All rights reserved.

nstudnicka@riegl.com / 203. DVW-Seminar TLS 2021

Innovation in 3D



Voraussetzung für die Kombination Laserscanner & Roboter

WICHTIG: Wir beschränken uns hier auf den **Stop & Go Betrieb eines terrestrischen (statischen) Laserscanners**. Dies soll gegenüber kinematischen Lösungen die höchste Präzision der Scandaten ermöglichen.

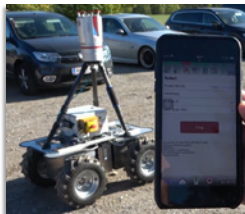
Voraussetzungen:

- Der Laserscanner ist schnell
- Die Onboard Registrierung ist noch schneller (und funktioniert robust)
- Der Roboter steht während der Ruhephase stabil
- Der Roboter bewegt sich von einer Position zur nächsten hinreichend schnell (also ca. 10 Meter in 10-15 Sekunden)



„Robotic Laser Scanning“

Innok Robotics
Mobile Innovations



Innok Roboter, Nov 2019


Robot-App
„experimental“




Robot



Laserscanner
RIEGL VZ-400i




„Robot“ App





Robot






RiVLib ist die gut dokumentierte, plattformunabhängige Softwarebibliothek für die Steuerung und den Datenabruf von RIEGLs V-Line Scannern.

RiVLib ist eine freie Bibliothek von RIEGL für die Entwicklung von kundenspezifischer Software zur Erfassung und Verarbeitung von Scan-Datenströmen.

www.riegl.com Copyright RIEGL International GmbH © 2021 – All rights reserved.
nstudnicka@riegl.com / 203. DVW-Seminar TLS 2021
Innovation in 3D



Innok Robotics GmbH





Erste Tests: Februar 2020

Einsatz bei Kali & Salz AG / Deutschland

www.riegl.com Copyright RIEGL International GmbH © 2021 – All rights reserved.
nstudnicka@riegl.com / 203. DVW-Seminar TLS 2021
Innovation in 3D



RIEGL VZ-400i am SPOT Roboter (Boston Dynamics Spot)



www.riegl.com

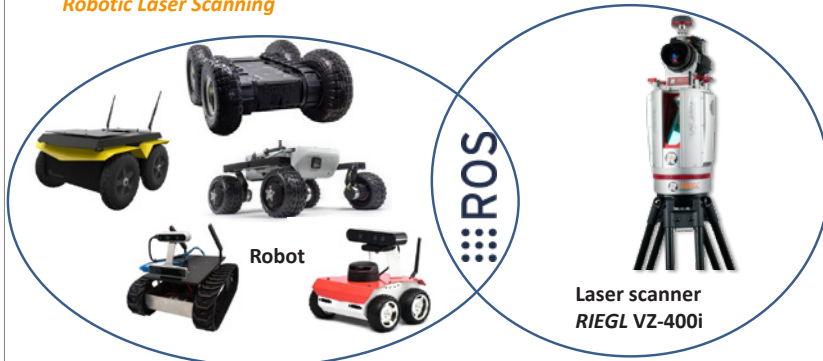
Copyright RIEGL International GmbH © 2021 – All rights reserved

nstudnicka@riegl.com / 203. DVW-Seminar TLS 2021

Innovation in 3D



Robotic Laser Scanning



www.riegl.com

Copyright RIEGL International GmbH © 2021 – All rights reserved

nstudnicka@riegl.com / 203. DVW-Seminar TLS 2021

Innovation in 3D



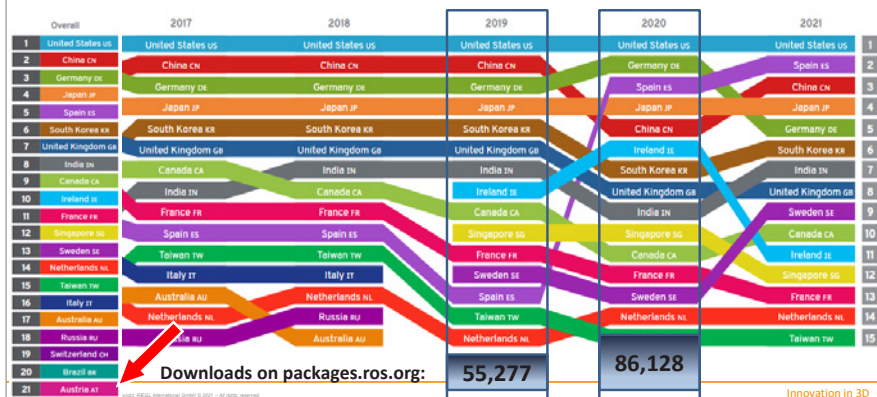
ROS – Robot Operating System



Roboter-Betriebssystem

- ein offenes „Framework“ für die Entwicklung von Software für Robotersysteme
- entwickelt und gepflegt von der *Open Robotics Group*
- wird weltweit von Robotik-Entwicklungsteams eingesetzt

ROS – Robot Operating System







ROS – Robot Operating System

Roboter-Betriebssystem

- ein offenes „*Framework*“ für die Entwicklung von Software für Robotersysteme
- entwickelt und gepflegt von der *Open Robotics Group*
- wird weltweit von Robotik-Entwicklungsteams eingesetzt
- eine Open-Source-Robotik „*Middleware-Suite*“ (kein Betriebssystem) mit „*Nodes, Topics und Services*“

Kostengünstige Sensoren, die Navigation und Kollisionsvermeidung unterstützen, bieten häufig "ROS-Treiber", um die Integration zu erleichtern.

Die Laserscanner der **RIEGL VZi**-Serie werden aus Gründen des Preises, der Größe, des Gewichts, ... typischerweise nicht für diese Aufgaben eingesetzt.

www.riegl.com Copyright RIEGL International GmbH © 2017 – All rights reserved.
nstudnicka@riegl.com / 203. DVW-Seminar TLS 2021
Innovation in 3D





ROS – Robot Operating System

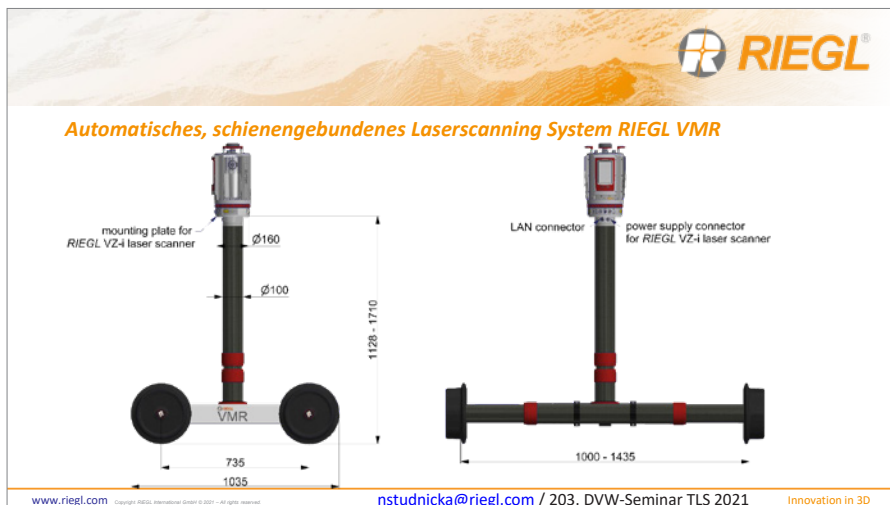
Die VZi-Laserscanner von **RIEGL** sind viel mehr als nur ein „Lidar-System“ mit

- hohe Genauigkeit, große Reichweite, Compact Design
- On-Board-Management für große Vernetzung
- Integrierte Kameras und zusätzliche Sensoren





www.riegl.com Copyright RIEGL International GmbH © 2017 – All rights reserved.
nstudnicka@riegl.com / 203. DVW-Seminar TLS 2021
Innovation in 3D



RIEGL VMR - Robotic Rail Scanning System

- Roboter für großflächige Stop & Go Datenerfassung mit RIEGL VZi-Laserscanner
- leicht transportabel und adaptierbar
- automatische Datenregistrierung parallel zur Erfassung

www.riegl.com Copyright RIEGL International GmbH © 2021 - All rights reserved. nstudnicka@riegl.com / 203. DVW-Seminar TLS 2021 Innovation in 3D



Testfahrt mit der „Robot App“

Datum	3. September 2021
1. Scanposition (0 m)	10:57
79. Scanposition (557 m) Ende der Vorwärtsfahrt	12:43
153. Scanposition (1084m) Ende der Rückwärtsfahrt	14:19
Standzeit an den Scanpositionen	70 Sekunden
Distanz zwischen zwei Scanpositionen	7 Meter
Scanmuster	Panorama40 (22,5 Mio Messungen / Scan)

www.riegl.com Copyright RIEGL International GmbH © 2021 – All rights reserved

nstudnicka@riegl.com / 203. DVW-Seminar TLS 2021

Innovation in 3D

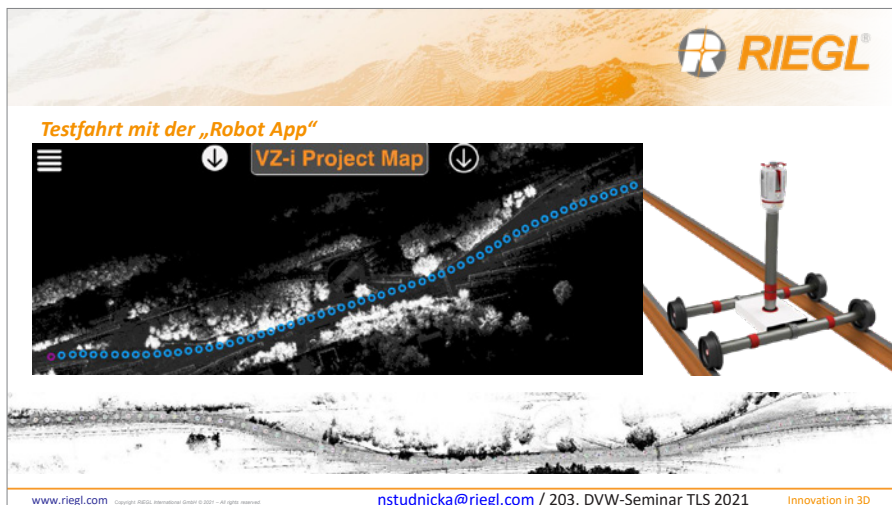


Testfahrt mit der „Robot App“



www.riegl.com Copyright RIEGL International GmbH © 2021 – All rights reserved

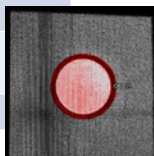






Testfahrt mit dem ROS Treiber

Datum	5. November 2021
Anzahl der Scanpositionen	149
Anzahl der feingescannten Reflektoren	22
Anzahl der eingemessenen Kontrollpunkten	11
Länge des vermessenen Gleises (Vor- und Rückfahrt)	1070 m
Dauer der Messfahrt 11:16 – 14:11	2:55 Stunden



www.riegl.com

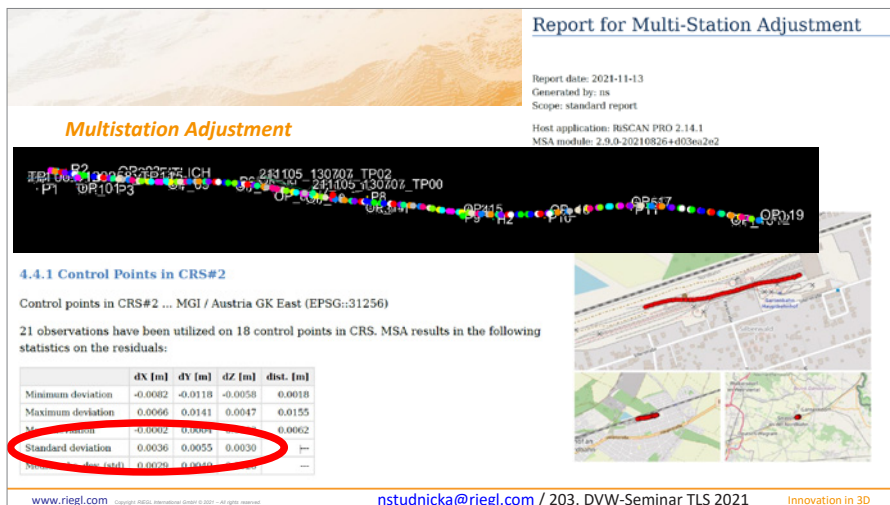
Copyright RIEGL, International GmbH © 2021 – All rights reserved


nstudnicka@riegl.com / 203. DVW-Seminar TLS 2021

Innovation in 3D

Testfahrt mit dem ROS Treiber







Ausblick

- Entwicklung eines Planungstools für eine Vermessungsfahrt
- Einbindung von externen Kameras (Auslösung während des Stillstandes, Zusatzmodul im ROS System)
- Unterstützung von Kunden Integrationen (Einbindung weiterer Sensoren mit ROS Treiber)

www.riegl.com
nstudnicka@riegl.com / 203. DVW-Seminar TLS 2021
Innovation in 3D

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Copyright: DGLS International GmbH © 2021 - All rights reserved.
Use of the presentation after this file is permitted without further DGLS or author consent.
This presentation is provided "as is". However, certain rights to fully rendered and deliverable right be necessary.

Automatische Schadenserkenennung bei Infrastrukturprojekten mittels Deep-Learning

Frederic Hake | Hamza Alkhatib



Geodätisches Institut Hannover



Leibniz
Universität
Hannover

Automatische Schadenserkenennung bei Infrastrukturprojekten mittels Deep-Learning



Frederic Hake, Hamza Alkhatib – DVW TLS Seminar 2021



Geodätisches Institut Hannover



Leibniz
Universität
Hannover

Motivation

Typische Schäden an Betonbauwerken



Betonabplatzung



Rissbildung

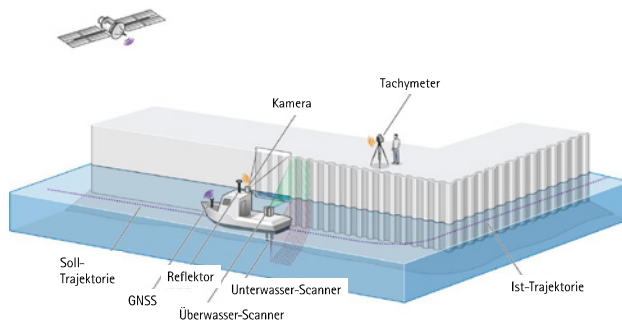


Netzrisse
Aussinterungen

Frederic Hake, Hamza Alkhatib | DVW TLS-Seminar 2021

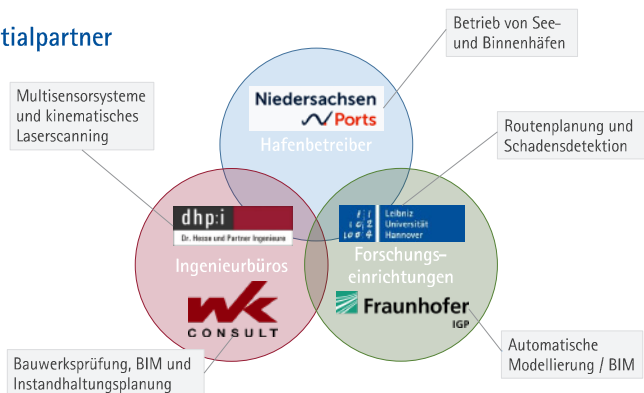
Seite 2

Kinematische Messplattform

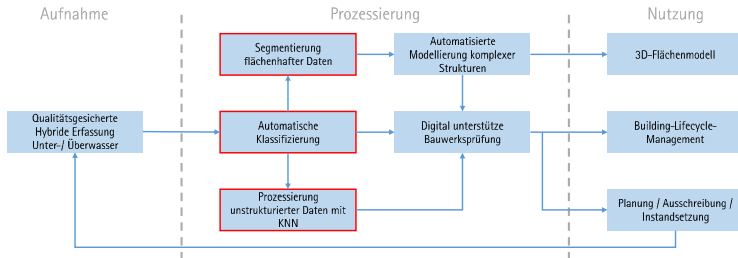


(Hesse et al. 2019)

Konsortialpartner

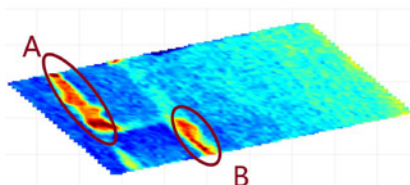


Gesamt workflow

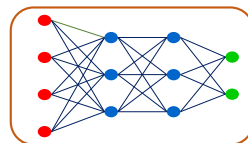


Inhalt

Schadensdetektion



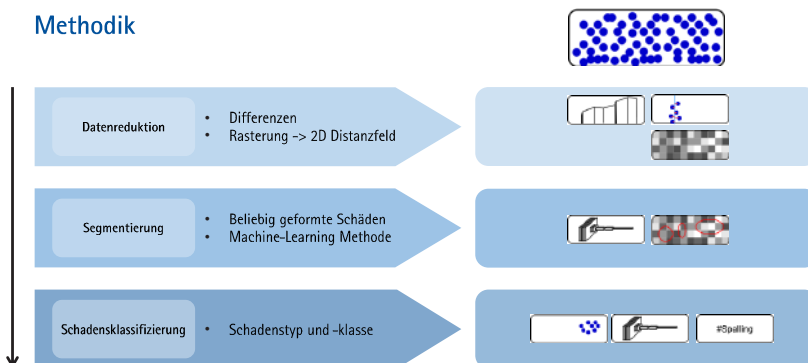
Schadensklassifizierung



Segmentierungsmethoden

- Punktbasiert
 - PointNet (Qi et al. 2017a)
 - PointNet++ (Qi et al. 2017b)
- Meshbasiert (e.g. Hasan et al. 2020)
- Bildbasiert
 - Deep CNN mit Transfer-learning (e.g. Feng et al. 2019)
 - Vortrainierte Netzwerke (e.g. Gopalakrishnan et al. 2017)

Methodik



Flächenhafte Erkennung von Schadensbildern

- Auf Basis von 3D-Punktwolken
 - XYZ (I) als Feature
 - Hauptsächlich für geometrische Schäden
 - Abplatzung, Risse, ...



- Auf Basis von RGB-Bildern
 - RGB als Feature
 - Hauptsächlich für nicht-geometrische Schäden
 - Rost, Aussinterung, kleine Risse, ...

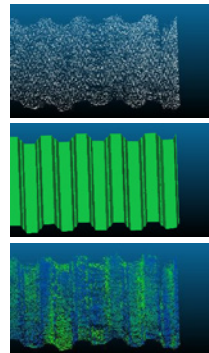


Flächenhafte Erkennung von Schadensbildern – 3D Punktwolken

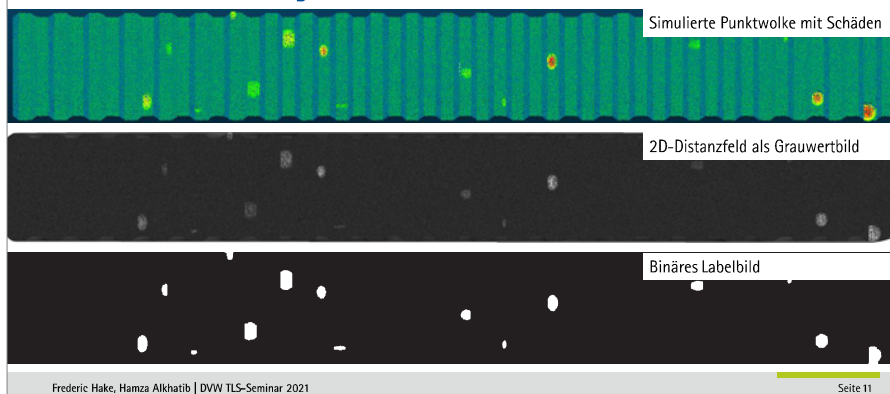
Idee: Differenzen zwischen Punktwolke und Modell nutzen

- CAD-Modell
- Einfache Geometrien (Ebenen, Linien, ...)
- Gekrümmte Flächen

➔ Höhenfelder



Flächenhafte Erkennung von Schadensbildern – 3D Punktwolken

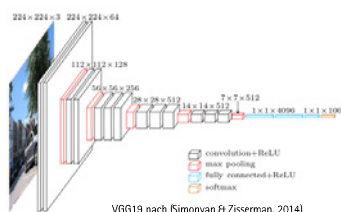


Frederic Hake, Hamza Alkhatib | DVW TLS-Seminar 2021

Seite 11

Flächenhafte Erkennung von Schadensbildern – 3D Punktwolken

- VGG19 zur Feature Extraction
 - Vortrainiert an > 14 Millionen Bildern aus ImageNet
- Modifiziertes VGG19 Netzwerk
 - Nur erste 4 convolutional layers
 - Merkmalsextraktion
- Erkennung von Defekten
 - Local Outlier Factors (Breunig et al. 2000)

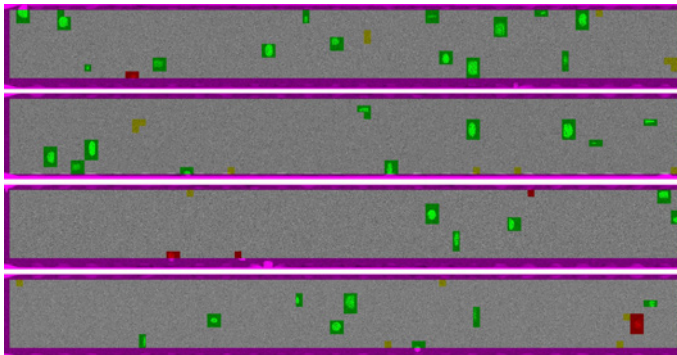


VGG19 nach (Simonyan et Zisserman, 2014)

Frederic Hake, Hamza Alkhatib | DVW TLS-Seminar 2021

Seite 12

Flächenhafte Erkennung von Schadensbildern – 3D Punktwolken



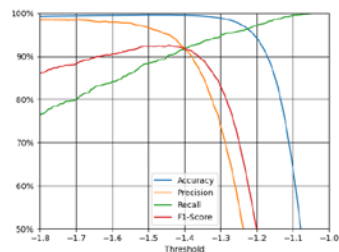
Beispielergebnis mit vier Datensätzen
Grün: echt positiv
Gelb: falsch positiv
Rot: falsch negativ

Flächenhafte Erkennung von Schadensbildern – 3D Punktwolken

- Gewünschter Recall 95 %
- Gesamt F1-Score 82.7 %

	Abnormal	Normal
Abnormal	2781	1017
Normal	146	95820

- Erfolgreiche Erkennung der Schäden
- Validierung an Realen Daten in Arbeit

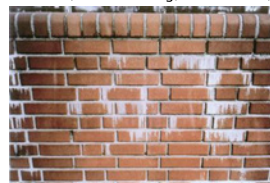


Flächenhafte Erkennung von Schadensbildern

- Auf Basis von 3D-Punktwolken
 - XYZ (I) als Feature
 - Hauptsächlich für geometrische Schäden
 - Abplatzung, Risse, ...

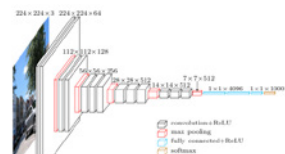


- Auf Basis von RGB-Bildern
 - RGB als Feature
 - Hauptsächlich für nicht-geometrische Schäden
 - Rost, Ausfrierung, kleine Risse, ...

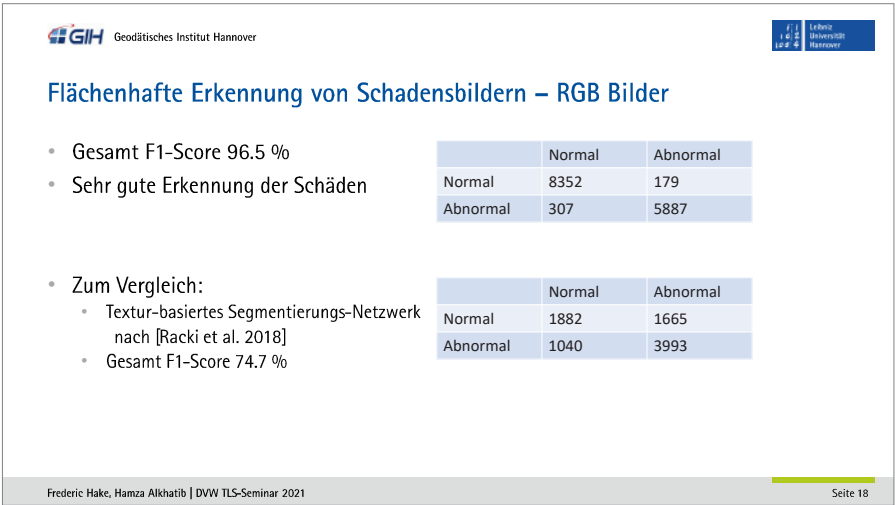
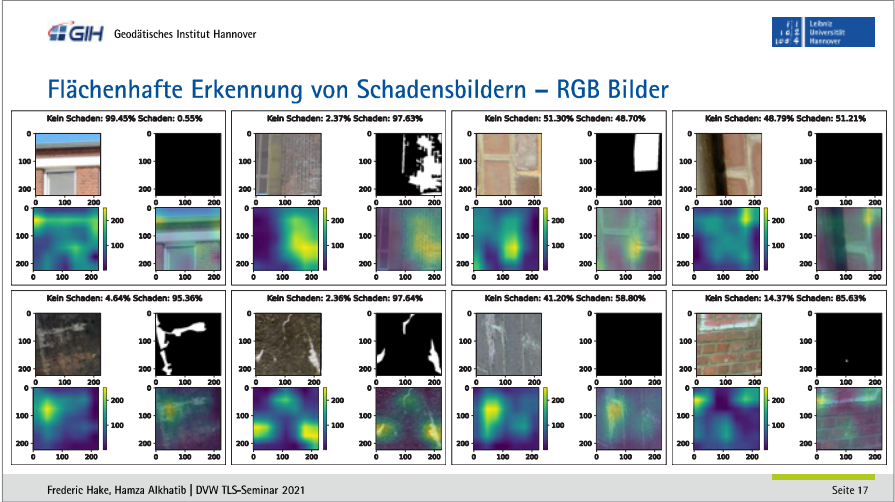


Flächenhafte Erkennung von Schadensbildern – RGB Bilder

- Transfer Learning mit VGG19
 - Vortrainiert an > 14 Millionen Bildern aus ImageNet
- Modifiziertes VGG19 Netzwerk:
 - Reduktion der Neuronen zur Vermeidung von Overfitting
 - Sigmoid Aktivierung für die Ausgabeschicht
 - Backpropagation mit Binary Crossentropy



VGG19 nach (Simonyan Et Zisserman, 2014)



Ausblick

- Kombinierte Auswertung von Bildern und Punktwolken
 - Eingefärbte Punktwolken
 - Bilder und Punktwolken in einem Netzwerk verwenden
- Klassifizierung der Schäden
 - Punktbasierte, bildbasierte oder gemeinsame Klassifizierung
 - Point cloud Convolutional network (z. B. KPConv (Thomas et al. 2019))
 - Transformer network (z. B. Point Transformer (Zhao et al. 2020))

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Frederic Hake M. Sc.



PD Dr.-Ing. Hamza Alkhatib



Prof. Dr.-Ing. Ingo Neumann

Geodätisches Institut, Leibniz Universität Hannover
{Nachname}@gih.uni-hannover.de | www.gih.uni-hannover.de

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Verkehr und
digitale Infrastruktur

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



IHATEC
Innovative
Hafentechnologien

Quellen

- Breunig, M.M.; Kriegel, H.P.; Ng, R.T.; Sander, J. LOF: identifying density-based local outliers. *Proceedings of the 2000 ACM SIGMOD international conference on Management of data*, 2000, pp. 93–104.
- Feng, C.; Zhang, H.; Wang, S.; Li, Y.; Wang, H.; & Yan, F. (2019). Structural damage detection using deep convolutional neural network and transfer learning. *KSCIE Journal of Civil Engineering* 23(10), 4493–4502.
- Gopalakrishnan, K., Khaitan, S. K., Choudhary, A., & Agrawal, A. (2017). Deep convolutional neural networks with transfer learning for computer vision-based data-driven pavement distress detection. *Construction and building materials*, 157, 322–330.
- Grunwald, M., Hermann, M., Freiberg, F., Laube, P., and Franz, M. O. (2018). Optical surface inspection: A novelty detection approach based on cnn-encoded texture features. In *Applications of Digital Image Processing XII*, volume 10752, page 107521E. International Society for Optics and Photonics.
- Hassan, E. S., El-Hattab, A. I., Ismail, M., & Elsharkawy, A. (2020). Detection of Road Surface Damage by Using Terrestrial Laser Scanner. *Port-Said Engineering Research Journal*, 24(1), 35–43.
- Hesse, C.; Holste, K.; Neumann, I.; Hake, F.; Alkhatib, H.; Geist, M.; Knaack, L.; Schari, C. 3D HydroMapper: Automatisierte 3D-Bauwerksaufnahme und Schadenserkennung unter Wasser für die Bauwerksinspektion und das Building Information Modeling. *Hydrographische Nachrichten-Journal of Applied Hydrography* 2018, 113, 48–59.
- Pedregosa, F.; Varoquaux, G.; Gramfort, A.; Michel, V.; Thirion, B.; Grisel, O.; Blondel, M.; Prettenhofer, P.; Weiss, R.; Dubourg, V., et al. (2011). Scikit-learn: Machine learning in python. *Journal of machine learning research*, 12(Dc9):2825–2830.
- Qi, C. R., Su, H., Mo, K., & Guibas, L. J. (2017a). Pointnet: Deep learning on point sets for 3d classification and segmentation. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 652–660).
- Qi, C. R., Yi, L., Su, H., & Guibas, L. J. (2017b). Pointnet++: Deep hierarchical feature learning on point sets in a metric space. *arXiv preprint arXiv:1706.02413*.
- Rakić, D.; Tomazević, D.; and Skocaj, D. "A Compact Convolutional Neural Network for Textured Surface Anomaly Detection." 2018 IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV) 2018, pp. 1331–1339, doi: 10.1109/WACV.2018.00150
- Simonyan, K.; Zisserman, A. Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition, 2014.
- Thomas, H., Qi, C. R., Deschaud, J. E., Marcotegui, B., Goulette, F., & Guibas, L. J. (2019). Kpconv: Flexible and deformable convolution for point clouds. In *Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision* (pp. 6411–6420).
- Zhao, H., Jiang, L., Jia, J., Torr, P., & Koltun, V. (2020). Point transformer. *arXiv preprint arXiv:2012.09164*

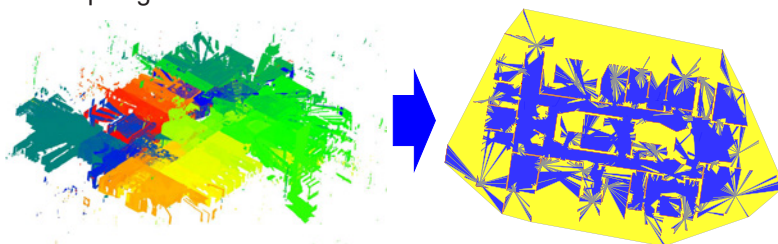
Leere modellieren – eine Topologie für 2D-Schnitte durch strukturierte TLS-Punktwolken

Enrico Romanschek | Christian Clemen | Wolfgang Huhnt

Session 4 – Aktuelle Projekte und Anwendungsfelder

Leere modellieren

Eine Topologie für 2D-Schnitte durch strukturierte TLS-Punktwolken



E. Romanschek, C. Clemen, W. Huhnt | 203. DVW-Seminar Terrestrisches Laserscanning 2021

Seite 1

30.11.2021

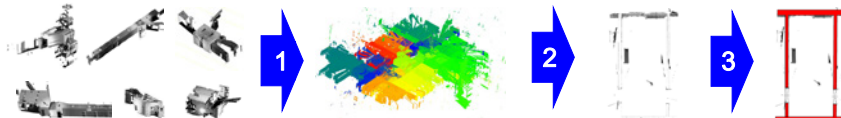
Motivation

➤ Punktwolken als Digitalisierungsgrundlage

- As-Built Modelle
- Bauen im Bestand
- Facilitymanagement

➤ Üblicher Arbeitsablauf:

1. Registrierung
2. Ausschnitt aus gemeinsamer Punktwolke in Grafikprogramm importieren
3. Bauteile an Punktwolke manuell platzieren (evtl. mit programmatischer Unterstützung)



E. Romanschek, C. Clemen, W. Huhnt | 203. DVW-Seminar Terrestrisches Laserscanning 2021

Seite 3

30.11.2021

Motivation

- Punktwolken als Digitalisierungsgrundlage
 - As-Built Modelle
 - Bauen im Bestand
 - Facilitymanagement

➤ Optimierter Arbeitsablauf:

1. Registrierung
2. Vollautomatische Topologie-Detektion
3. Vollautomatische Bauteilgenerierung



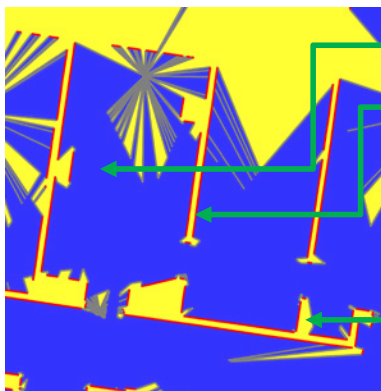
E. Romanschek, C. Clemen, W. Hührt

203. DVW-Seminar Terrestrisches Laserscanning 2021

Seite 4

30.11.2021

Vollautomatische Topologie-Detektion: Ergebnis



Garantiert leere Bereiche

Erkannte Oberflächen

Unbestimmte Bereiche

- Lückenlose Modellierung
- Keine Überlappungen
- Vollautomatisch erzeugt

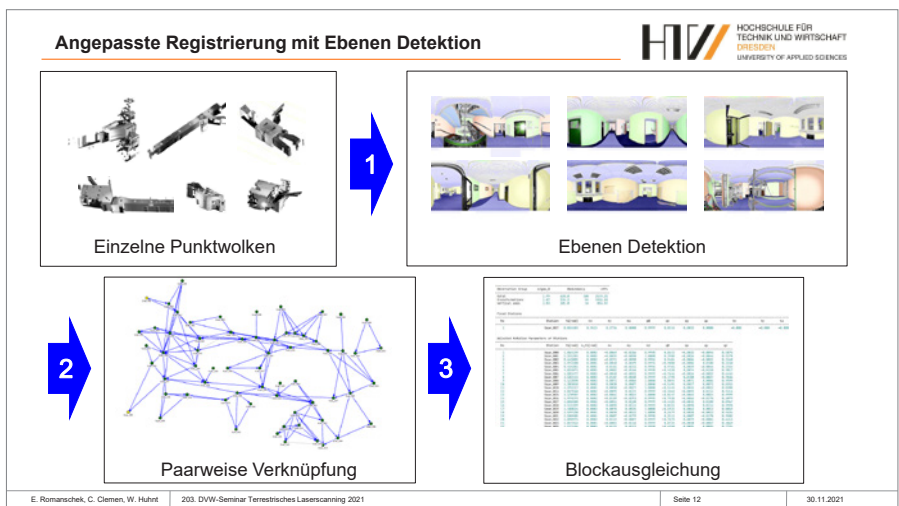
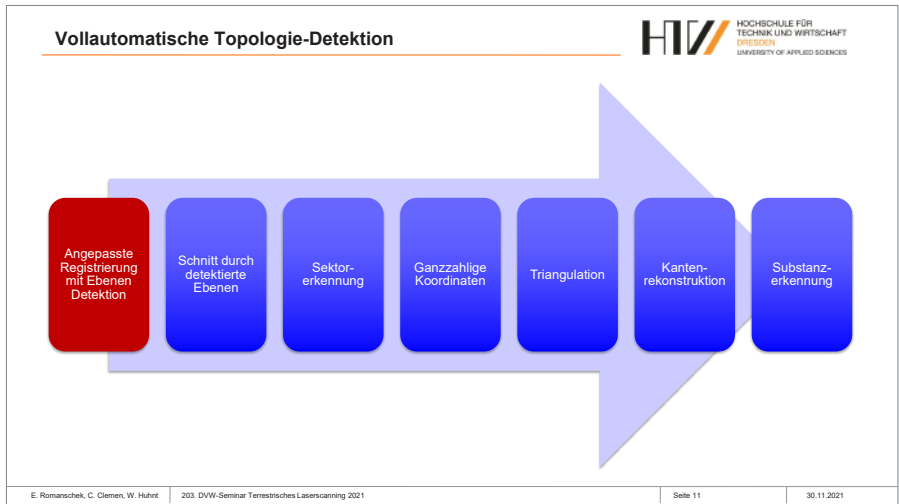
Ausschnitt aus fertiger Raumzerlegung

E. Romanschek, C. Clemen, W. Hührt

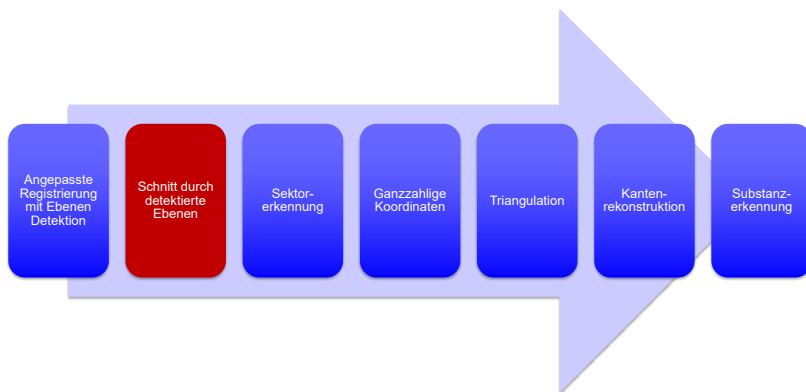
203. DVW-Seminar Terrestrisches Laserscanning 2021

Seite 9

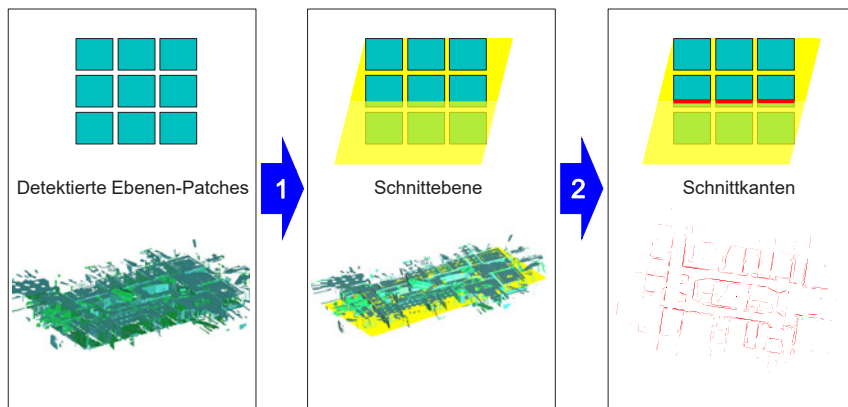
30.11.2021

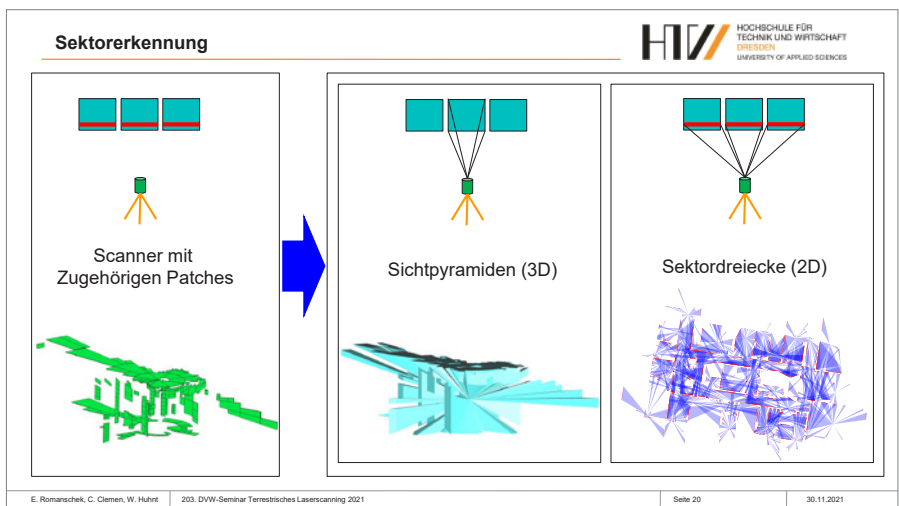
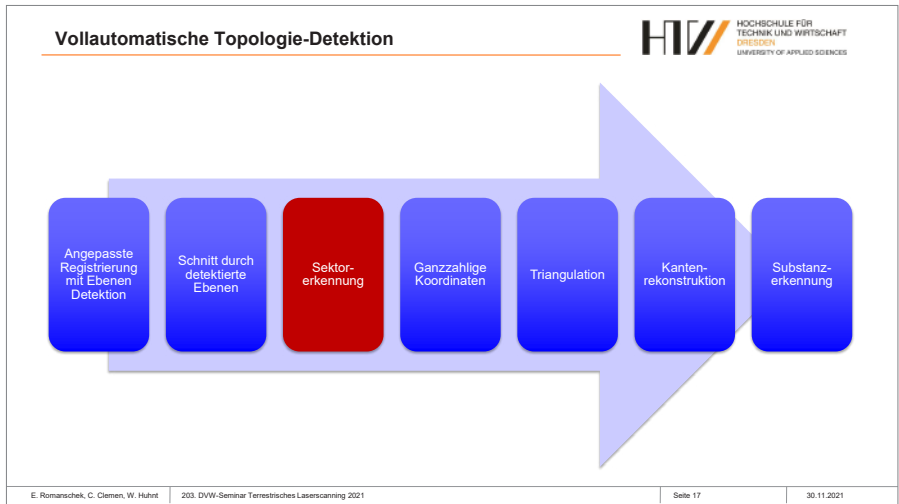


Vollautomatische Topologie-Detektion

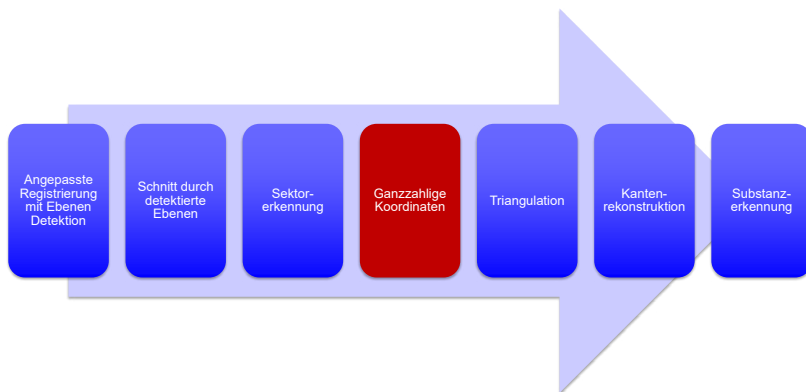


Schnitt durch detektierte Ebenen





Vollautomatische Topologie-Detektion



E. Romanschek, C. Clemen, W. Hührt

203. DVW-Seminar Terrestrisches Laserscanning 2021

Seite 21

30.11.2021

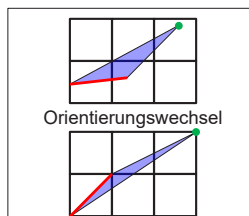
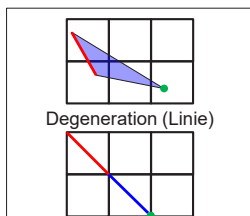
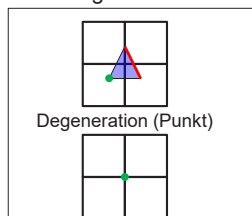
Ganzzahlige Koordinaten

- Ganzzahlige Koordinaten garantieren eindeutige Lageberechnungen!
- Grundlage für reproduzierbare Ergebnisse!

$$\begin{vmatrix} x_a & x_b & x_c \\ y_a & y_b & y_c \\ 1 & 1 & 1 \end{vmatrix} = \begin{matrix} + \\ \triangle \end{matrix} \quad \begin{matrix} - \\ \triangle \end{matrix} \quad \begin{matrix} 0 \\ \text{---} \end{matrix}$$

$a \quad b \quad c$ $a \quad b \quad c$ $a \quad c \quad b$

- Mögliche Sonderfälle:




E. Romanschek, C. Clemen, W. Hührt

203. DVW-Seminar Terrestrisches Laserscanning 2021

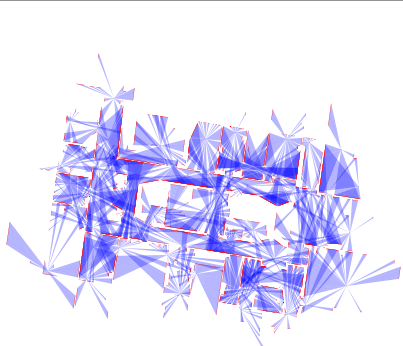
Seite 26

30.11.2021

Ganzzahlige Koordinaten

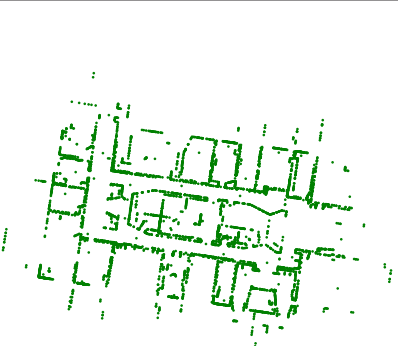


HOCHSCHULE FÜR
TECHNIK UND WIRTSCHAFT
DRESDEN
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES



Sektordreiecke


➔



Sämtliche Vertices der Sektordreiecke
(ganzzahlig)

E. Romanschek, C. Clemen, W. Huhrt
203. DVW-Seminar Terrestrisches Laserscanning 2021
Seite 27
30.11.2021

Vollautomatische Topologie-Detektion



HOCHSCHULE FÜR
TECHNIK UND WIRTSCHAFT
DRESDEN
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

➔

Angepasste
Registrierung
mit Ebenen
Detektion

Schnitt durch
detektierte
Ebenen

Sektor-
erkennung

Ganzzahlige
Koordinaten

Triangulation

Kanten-
rekonstruktion

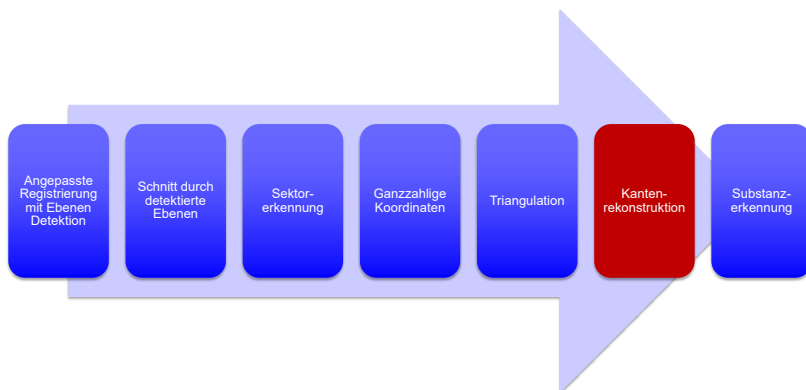
Substanz-
erkennung

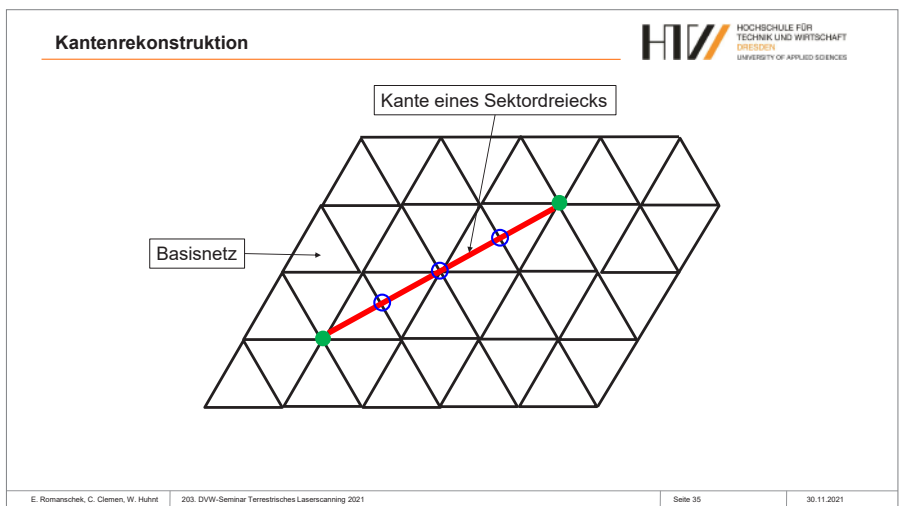
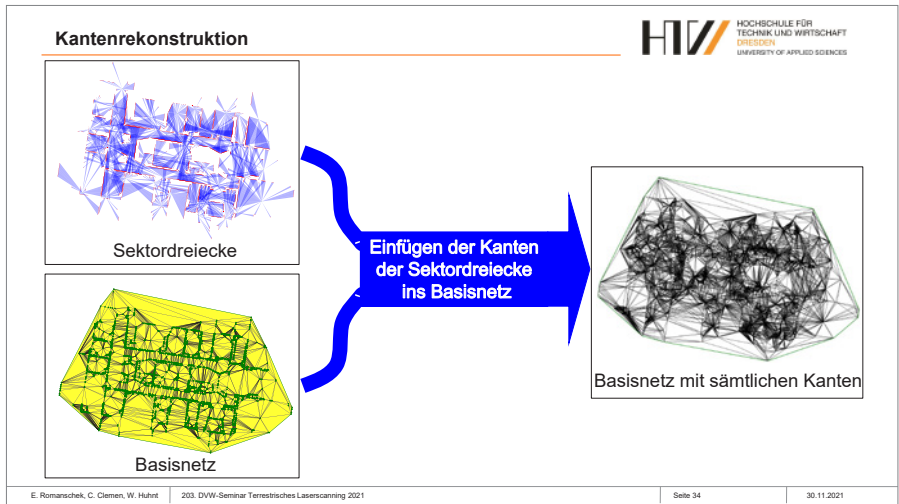
E. Romanschek, C. Clemen, W. Huhrt
203. DVW-Seminar Terrestrisches Laserscanning 2021
Seite 28
30.11.2021

Triangulation

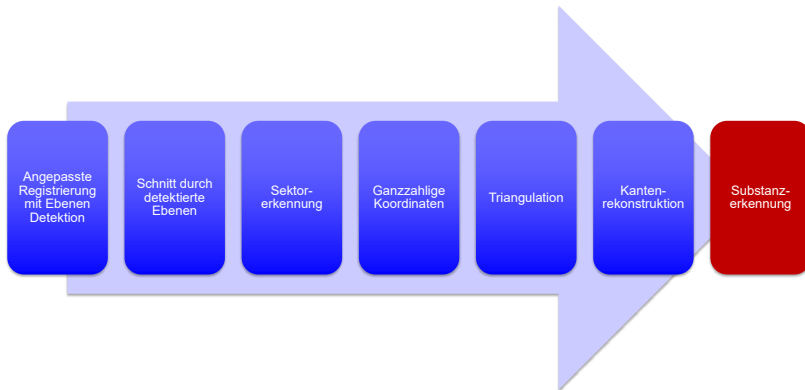


Vollautomatische Topologie-Detektion

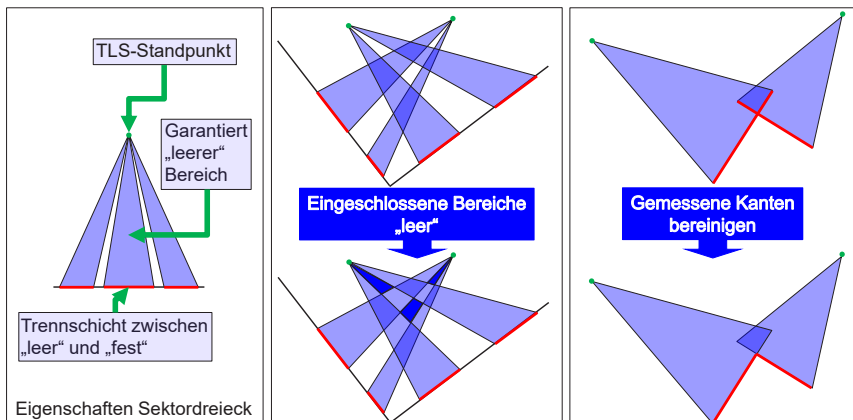




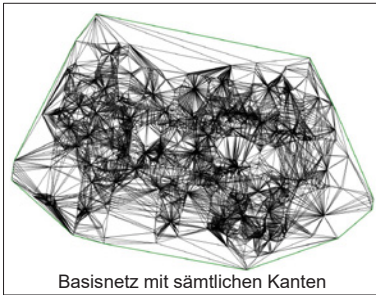
Vollautomatische Topologie-Detektion



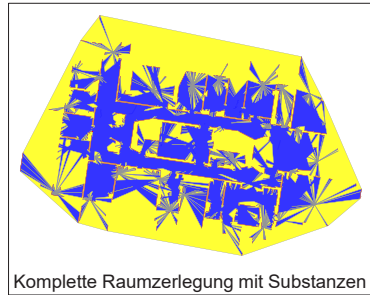
Substanzerkennung



Substanzerkennung

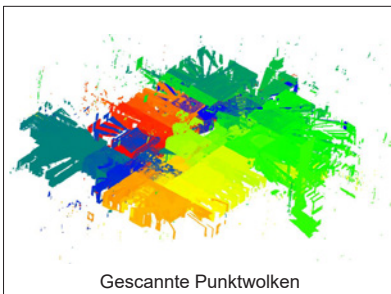


Basisnetz mit sämtlichen Kanten

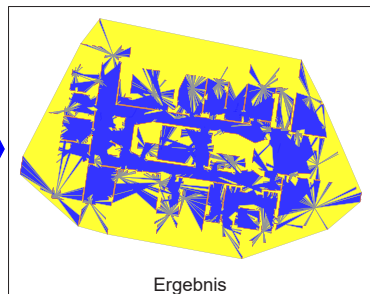


Komplette Raumzerlegung mit Substanzen

Ergebnis

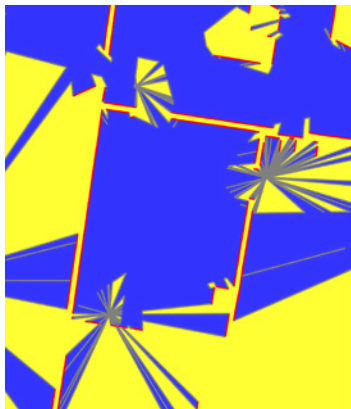


Gescannte Punktwolken



Ergebnis

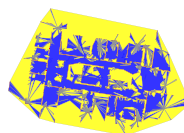
Ergebnis: Grundlage für Bauteilerkennung



- ✓ Leere Bereiche (blau) können kein Bauteil enthalten
- ✓ An roter Kante muss ein Bauteil liegen
- ✓ Kanten von Bauteilen schon teilweise vorhanden
- Automatische Bauteilerkennung ist noch in Entwicklung

Diskussion und Ausblick

- Neuartiges Verfahren zur automatischen Raumzerlegung
- Einsparung von Zeit und manuellem Aufwand



- Erweiterung für dreidimensionale Raumzerlegungen in Entwicklung:
Vetter, J.; Huhnt, W. Accuracy Aspects when Transforming a Boundary Representation of Solids into a Tetrahedral Space Partition. In Contribution to EG-ICE 2021; 2021. In Proceedings of the EG-ICE, Hybrid, 30th June–2nd July 2021, Abualdenien, J., Bormann, A., Ungureanu, L., Hartmann, T., Eds.; Universitätsverlag TU: Berlin, Germany, 2021; pp. 320–329. doi:10.14279/depositonce-12021
- Grundprinzip auch in anderen Bereichen anwendbar:
Romanschek, E., Clemen, C., Huhnt, W.: A novel robust approach for computing de-9im matrices based on space partition and integer coordinates. ISPRS International Journal of Geo-Information 10(11) (2021). DOI 10.3390/ijgi10110715. URL https://www.mdpi.com/2220-9964/10/11/715

Enrico Romanschek
HTW Dresden
Fakultät Geoinformation
enrico.romanschek@htw-dresden.de

Prof. Christian Clemen
HTW Dresden
Fakultät Geoinformation
christian.clemen@htw-dresden.de

Prof. Wolfgang Huhnt
TU Berlin
Fachgebiet Bauinformatik
wolfgang.huhnt@tu-berlin.de



Europe Digital Backbone
ESF
European Structural Fund



Eine Maßnahme wird unterstützt durch: Bundesrat
auf Grundlage des von den Abgeordneten des Deutschen
Landtag beschlossenen Beschlusses.



HOCHSCHULE FÜR
TECHNIK UND WIRTSCHAFT
DRESDEN
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES



HOCHSCHULE FÜR
TECHNIK UND WIRTSCHAFT
DRESDEN
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES



Das terrestrische Laserscanning (TLS) ist seit vielen Jahren 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 hat der DVW auch in 2021 eine Weiterbildungsveranstaltung zum Thema „Terrestrisches Laserscanning“ angeboten. Zielgruppe sind Kolleginnen und Kollegen in der Praxis, Forschung oder Ausbildung aus den Bereichen der Geodäsie, der Geoinformation und aus Nachbardisziplinen, die sich über hochaktuelle Themenfelder umfassend und unabhängig von Anbietern informieren wollen.

Wir als DVW-Arbeitskreise AK 3 „Messmethoden und Systeme“ sowie AK 4 „Ingenieurgeodäsie“ haben in diesem Jahr insbesondere die Fragestellungen und Schwerpunkte aufgegriffen, die die Automatisierung der Aufnahme und Verarbeitung von TLS-Daten betreffen.

Da das diesmalige Seminar aus bekannten Gründen leider wieder vollständig Online stattfinden musste, gibt auch dieser Band nicht wie gewohnt die einzelnen Vorträge in Textform wieder, sondern bildet lediglich die digitalen Vortragsunterlagen ab.



ISBN: 978-3-95786-309-6



9 783957 863096

Schriftenreihe des DVW
Band 99 / 2022
Printversion: 27,00 Euro
PDF: kostenfrei
www.geodaesie.info

