



Ingenieurgeodätische Anwendungen eines Lasertrackers

Prof. Andreas Wieser
Geosensorik und Ingenieurgeodäsie

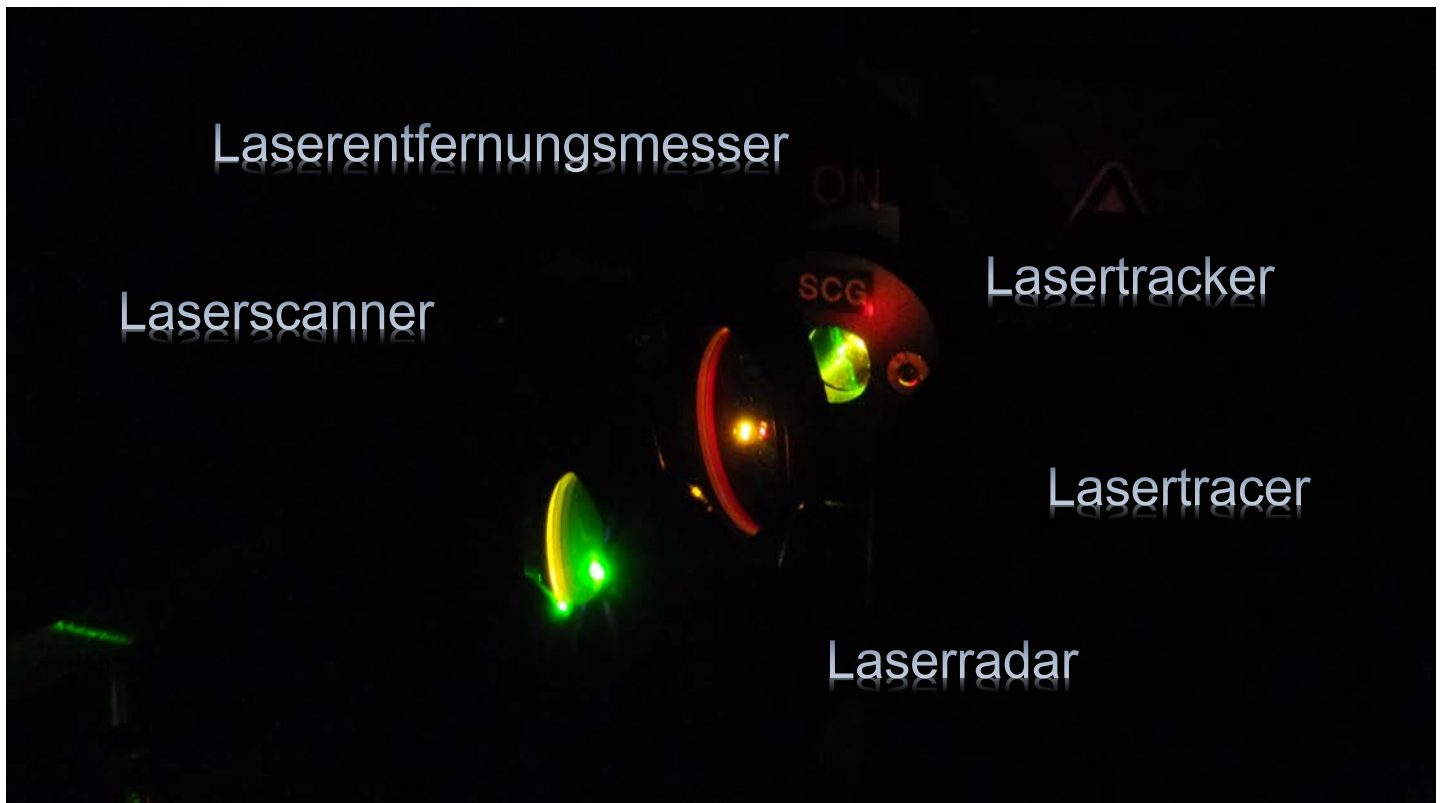
Laserentfernungsmesser

Laserscanner

Lasertracker

Lasertracer

Laserradar



Totalstation – Lasertracker



Polarkoordinaten
in
instrumentzentriertem
Koordinatensystem



Fotos: <https://www.onepointsurvey.com/>; <http://www.tbts.co.th>

Geosensorik und Ingenieurgeodäsie
Institut für Geodäsie und Photogrammetrie

GEOMATIK News | 14.11.2019 | 3

Prisma – Corner-Cube Reflektor



Pictures: <http://www.bau-laser.ch/>; <https://www.hexagonmi.com>

Geosensorik und Ingenieurgeodäsie
Institut für Geodäsie und Photogrammetrie

GEOMATIK News | 14.11.2019 | 4

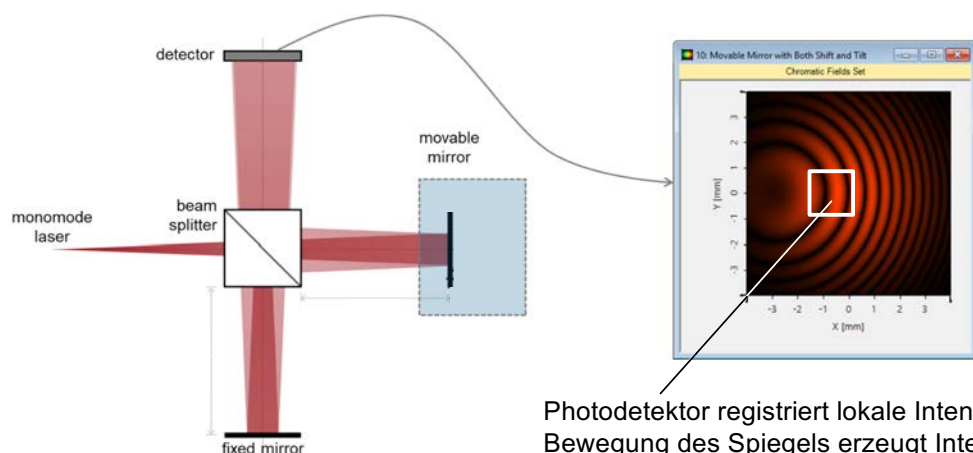
Typische Leistungsmerkmale

	Totalstation (TS60)	Lasertracker (AT960)
Distanzmessung)* (1σ)	0.6 mm + 1 ppm	0.005 mm + 0.15 ppm
Winkelmessung)* (1σ)	0.0024 mm/m (0.5")	0.003 mm/m
Bei Messdauer pro Punkt	3 s	0.001 s
Reichweite	1.5 – 3'500 m	2 – 80 m

* Die Spezifikationen für den Tracker werden üblicherweise nicht als Standardabweichungen der polaren Messelemente angegeben; die Werte aus den Datenblättern sind hier zur Vergleichbarkeit jedoch so umgerechnet; die Std. der Winkelmessung bei der Totalstation bezieht sich auf das Kreisbogenmittel, beim Tracker ist es die Einzelmessung.

Distanzmessung: Interferometrie

Grundprinzip: Michelson-Interferometer



Photodetektor registriert lokale Intensität
Bewegung des Spiegels erzeugt Intensitätsänderung
Zählen der Maxima $\Rightarrow$ Distanzänderung in $\lambda/2$

Abbildung: <https://www.lightrans.com/use-cases/application-use-cases/faser-based-michelson-interferometer-and-interference-fringe-exploration.html>
Foto: <https://store.hexagonmetrology.us/>

Distanzmessung: Absolut-Interferometer

Interferometer-Realisierung (FIM): Dopplerinterferometer

- Distanzänderungen mit nm-Auflösung
- Datenrate >10-100 kHz möglich
- Normalerweise Prisma statt Spiegel
- Absolutmessung nur durch kontinuierliche Verfolgung ab Punkt mit bekannter Distanz („Vogelnest“)



Absolutbezug: ADM

- Signalunterbrechungen unproblematisch
- Hohe Genauigkeit nur durch lange Integrationszeit
- Zielpunkt (Prisma) muss statisch sein

Absolutinterferometer (AIFM)

- Enge Kopplung
- IFM erlaubt Bewegung während Integration
- ADM erlaubt Messung ohne statische Initialisierung

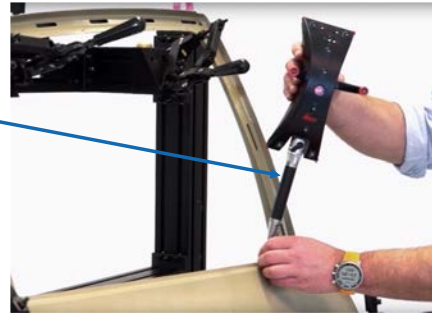
TS: Prismenstab mit Dosenlibelle



LT: T-Probe



Verlängerung



Pictures: <https://www.hexagonmi.com>

Geosensorik und Ingenieurgeodäsie
Institut für Geodäsie und Photogrammetrie

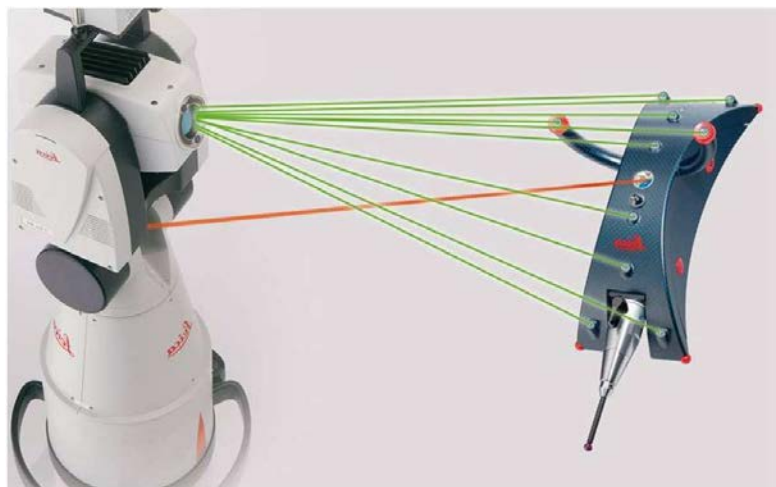
GEOMATIK News | 14.11.2019 | 9

6 Degrees of Freedom (6 DOF)

Tracker-Kernfunktionalität
plus Bildverarbeitung

Bis 30m Entfernung einsetzbar

$U_{3D} = 0.03 \text{ mm} + 0.01 \text{ mm/m}$



Pictures: <https://www.hexagonmi.com>; <http://www.docplayer.net>

Geosensorik und Ingenieurgeodäsie
Institut für Geodäsie und Photogrammetrie

GEOMATIK News | 14.11.2019 | 10

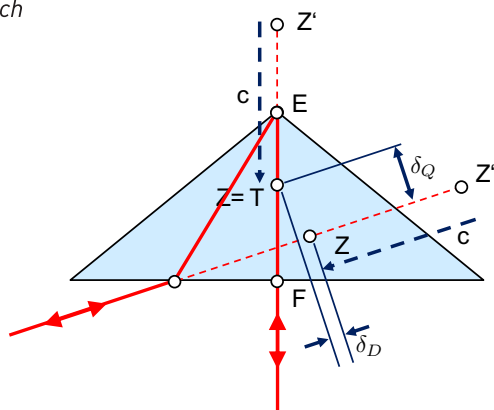
6-DOF Erweiterung: Handgeführter Scanner



Pictures: <https://www.virtualmarket.innotrans.de/de/3D-Messtechnik.p1631750>; <https://www.3print.com/leica-handheld-laser-3d-scanner-las-20-8-2336067/>

Geosensorik und Ingenieurgeodäsie
Institut für Geodäsie und Photogrammetrie

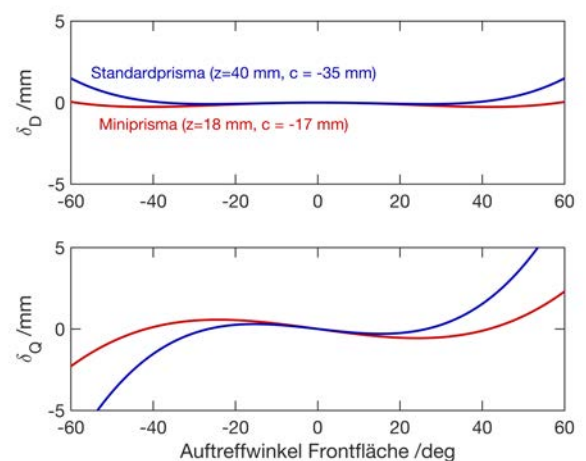
GEOMATIK News | 14.11.2019 | 11



- Reflektoren für Lasertracker bestehen i.d.R. aus orthogonalen Spiegeln
- Glas für RFI (Fixe Installation!) und robuste, kostengünstigere Reflektoren



Prismenproblematik



Geosensorik und Ingenieurgeodäsie
Institut für Geodäsie und Photogrammetrie

GEOMATIK News | 14.11.2019 | 12

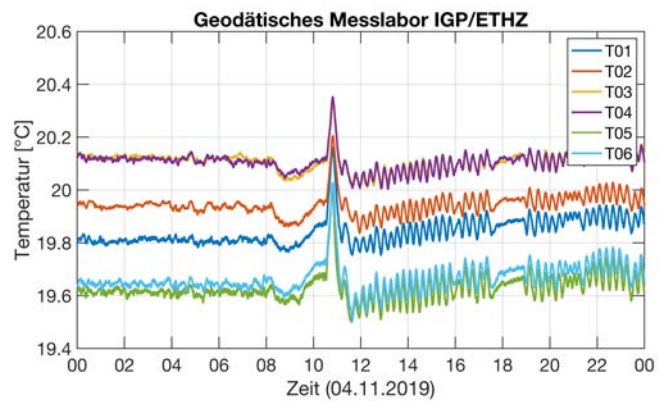


- In Innenräumen: Meteoerfassung nötig
- Im Freien: signifikante Beschränkung

Refraktionseffekte

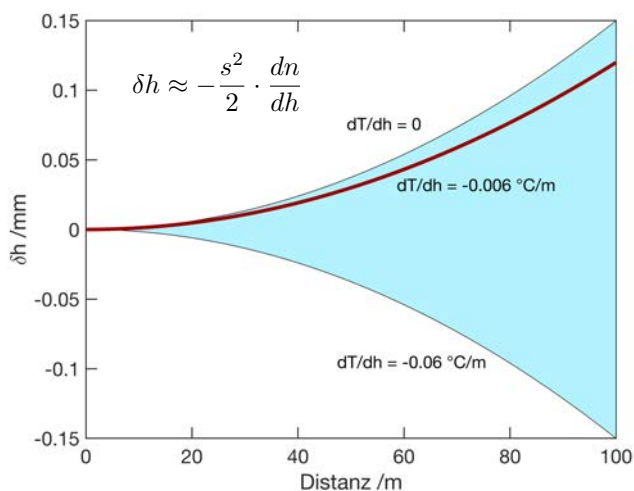
Distanzmessung:
Dominanter Unsicherheitseinfluss Temperatur

$$1^{\circ}\text{C} \hat{=} 1 \text{ ppm} \hat{=} 1 \mu\text{m}/\text{m}$$



Refraktionseffekte

Höhenfehler bei horizontalem Messstrahl



Winkelmessung:
Strahlkrümmung wegen Gradient
des Brechungsindex

Dominanter Unsicherheitseinfluss:
Temperaturgradient quer zum Messstrahl

$$\frac{dn}{dh} \approx \frac{dn}{dT} \cdot \frac{dT}{dh} + \frac{dn}{dp} \cdot \frac{dp}{dh}$$

- In Innenräumen: Abklärung u.U. nötig
- Im Freien: signifikante Beschränkung



Lasertracker: Typische Anwendungen

- Koordinatenmessmaschine in Industrie („Large Volume Metrology“)
- Formkontrolle („Inspection“)
- Roboterkalibrierung
- Steuerung von Fertigungsprozessen

Pictures: <https://www.hexagonmi.com>

Geosensorik und Ingenieurgeodäsie
Institut für Geodäsie und Photogrammetrie

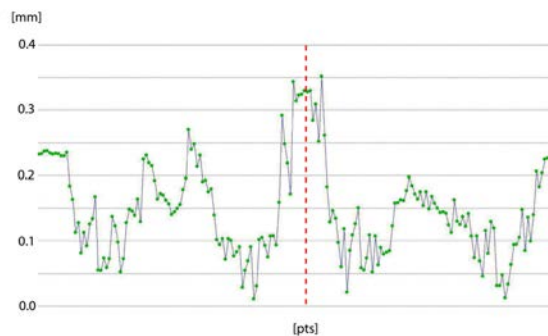


Ausgewählte Anwendungen @ GSEG/ETHZ

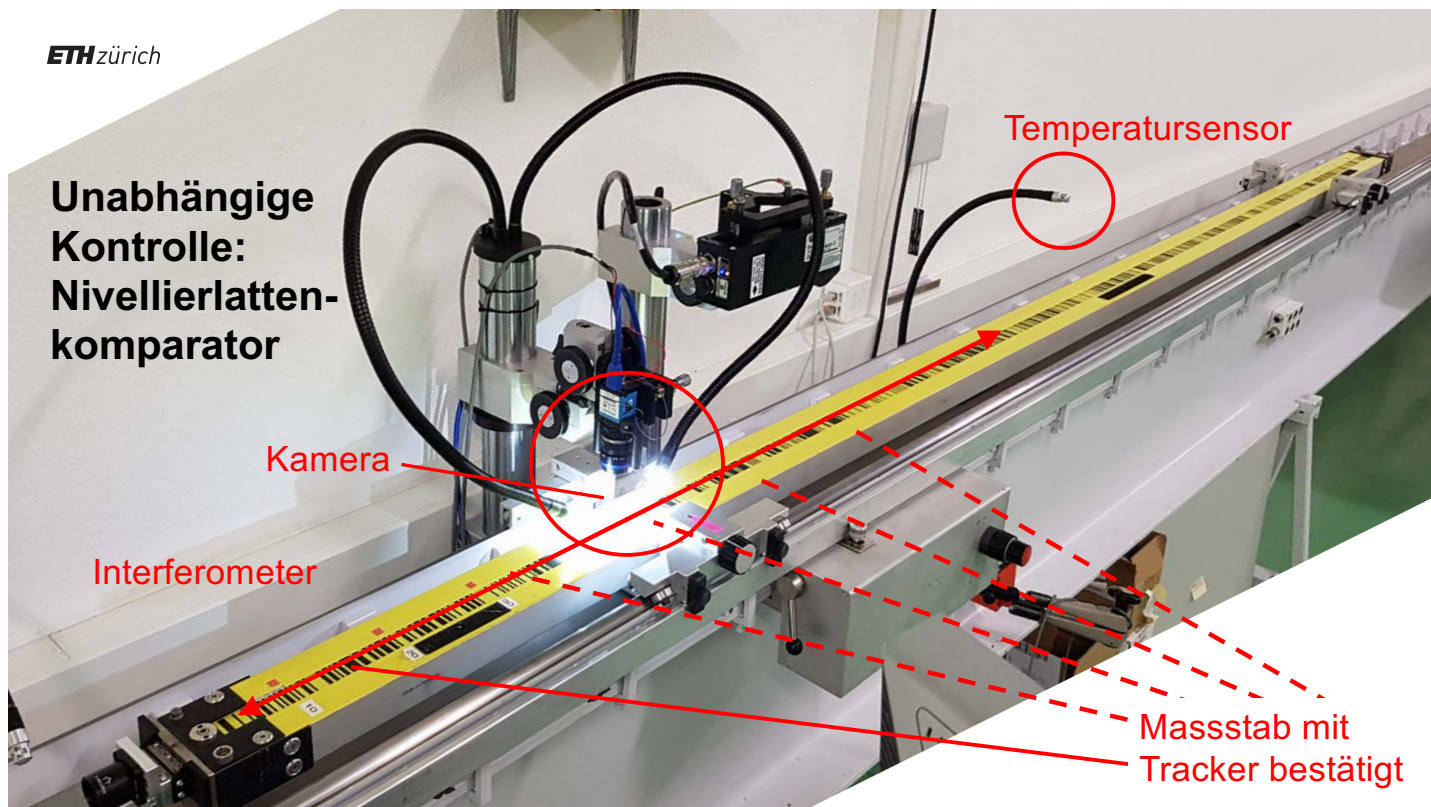


Evaluierung eines Roboters vor dem Ankauf

Anfahren programmierter Positionen
durch Vorwärtssteuerung
mit <0.4 mm Abweichung (3D)



Unabhängige Kontrolle: Nivellierlatten- komparator



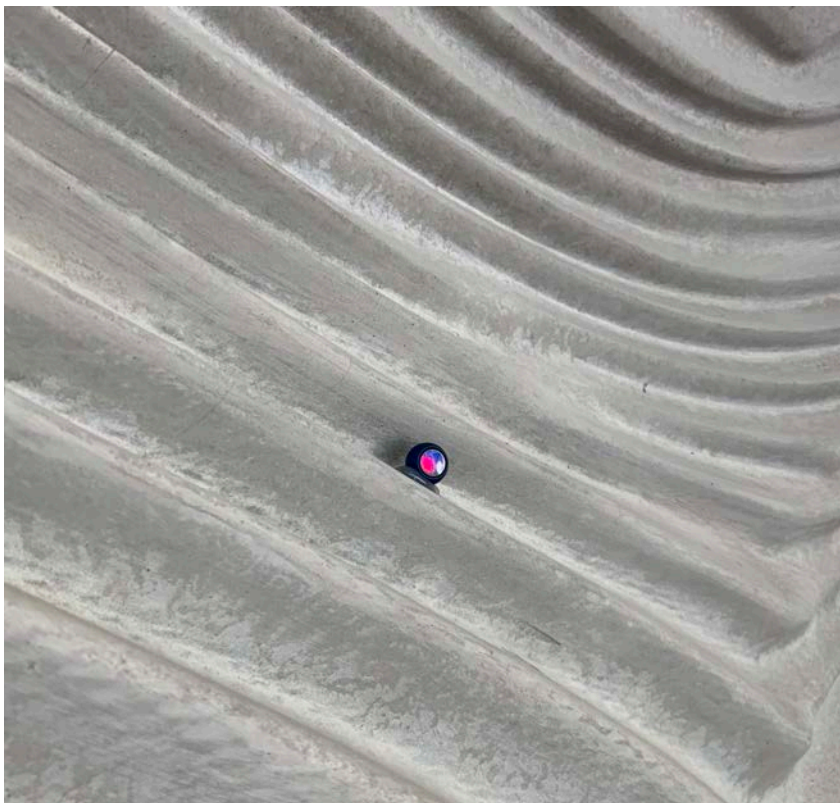
DFAB House Dübendorf

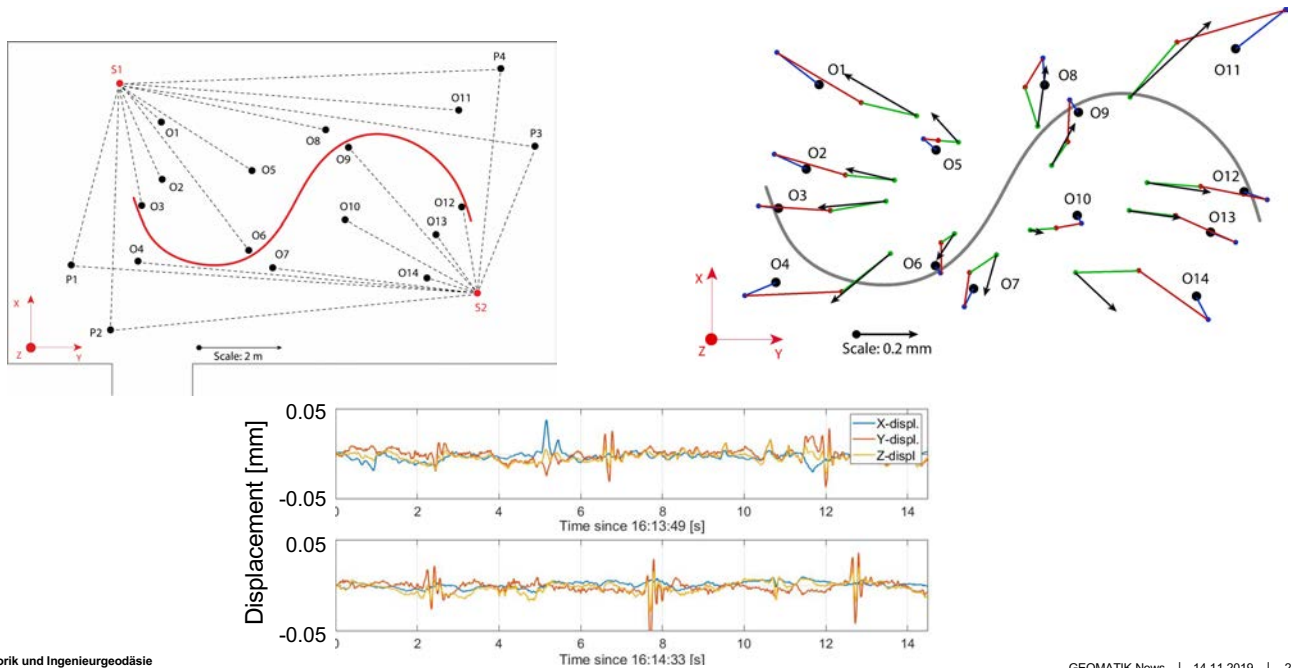
Deformations- überwachung

Geosensorik und Ingenieurgeodäsie
Institut für Geodäsie und Photogrammetrie



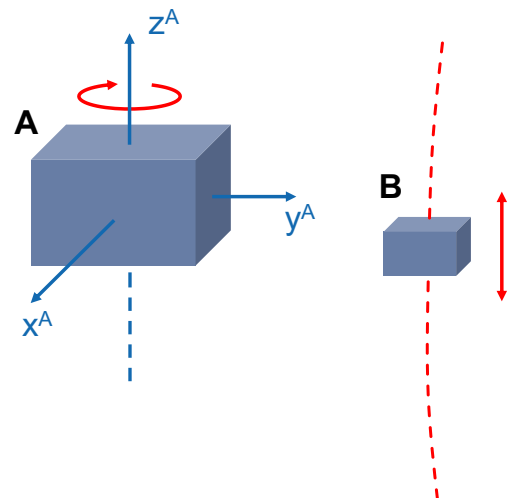
GEONAT News 14.11.2019 19





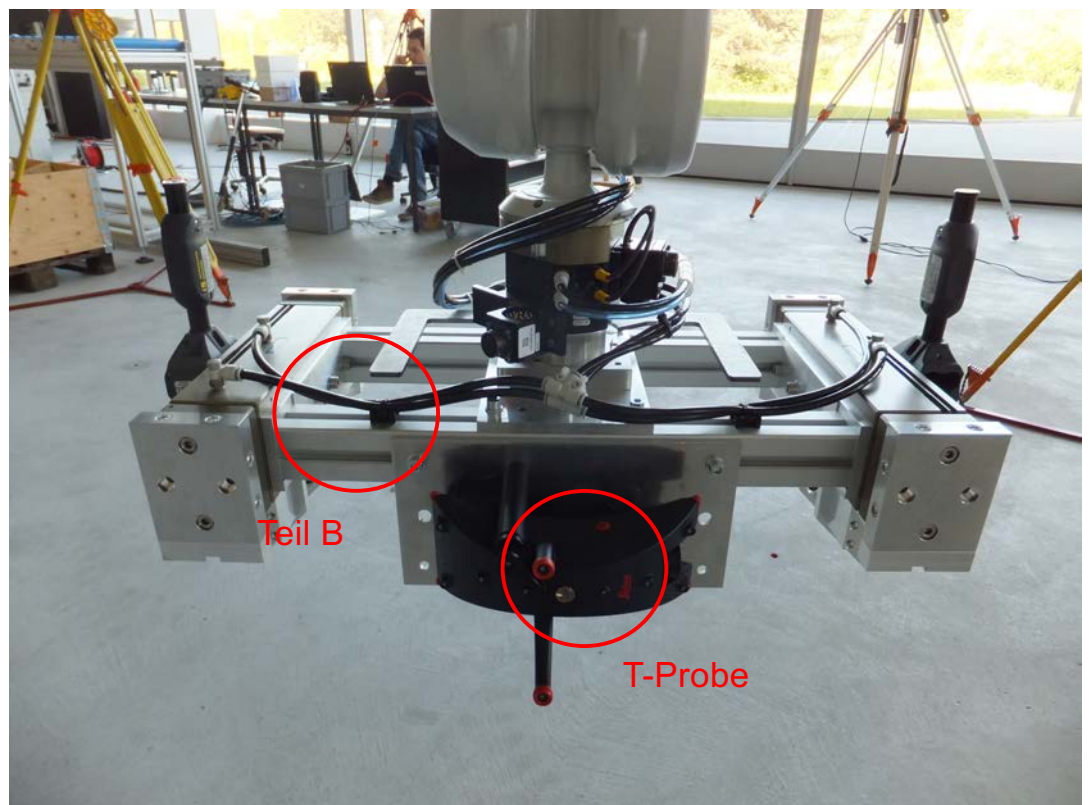
Machbarkeitsstudie (6+3) DOF-Tracking

- Zwei Maschinenteile
- A: Rotation um
ca. vertikale Achse (3 DOF)
- B: Bewegung entlang
ca. vertikaler Trajektorie (6 DOF)
- Pose von B im rotierenden
Koordinatensystem von A
auf 1 mm genau „zu jedem Zeitpunkt“





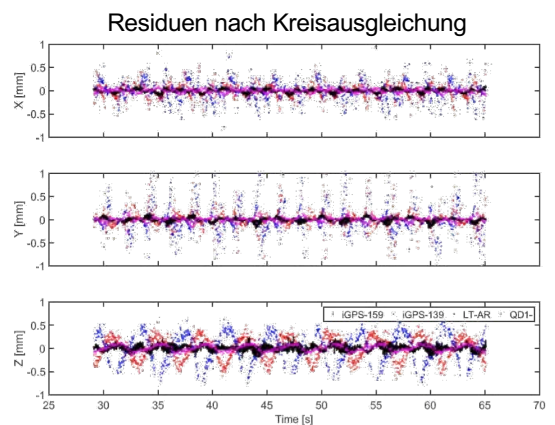
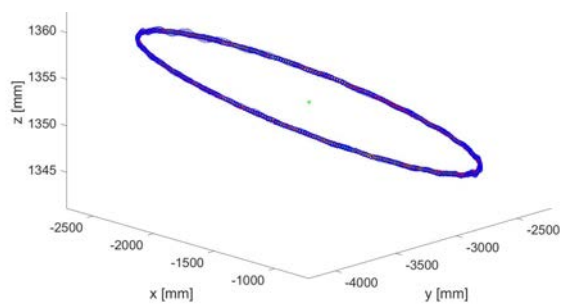
ETH zürich



Robotic Fabrication Lab – ETH Zürich, 17.5.2017



ETHzürich



	Mittelpunkt (Std X, Y, Z /mm)			Rotationswinkel (Std /deg)
Lasertracker	0.002	0.002	0.000	0.003
iGPS	0.017	0.012	0.000	0.010
QDaedalus	0.005	0.005	0.000	0.100

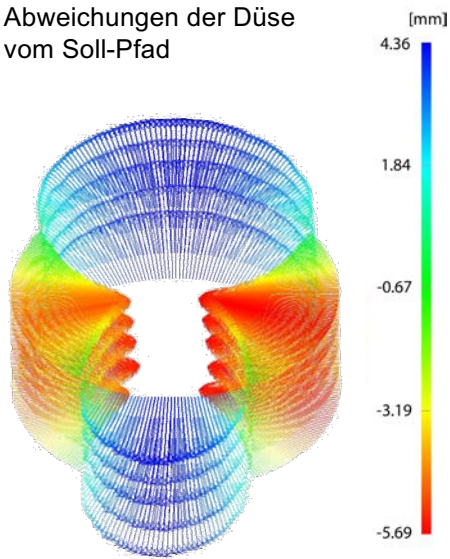


3D-Druck mit Beton – Verbesserung der Vorwärtsmodellierung

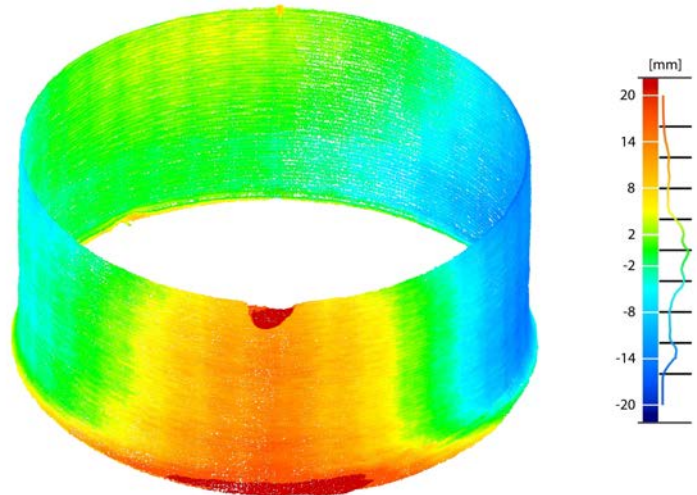
- Verfolgen der Düse während der Produktion
- 3D-Erfassung der hergestellten Form unmittelbar nach der Herstellung und über die Zeit



Abweichungen der Düse vom Soll-Pfad



Abweichungen der Betonoberfläche vom Design

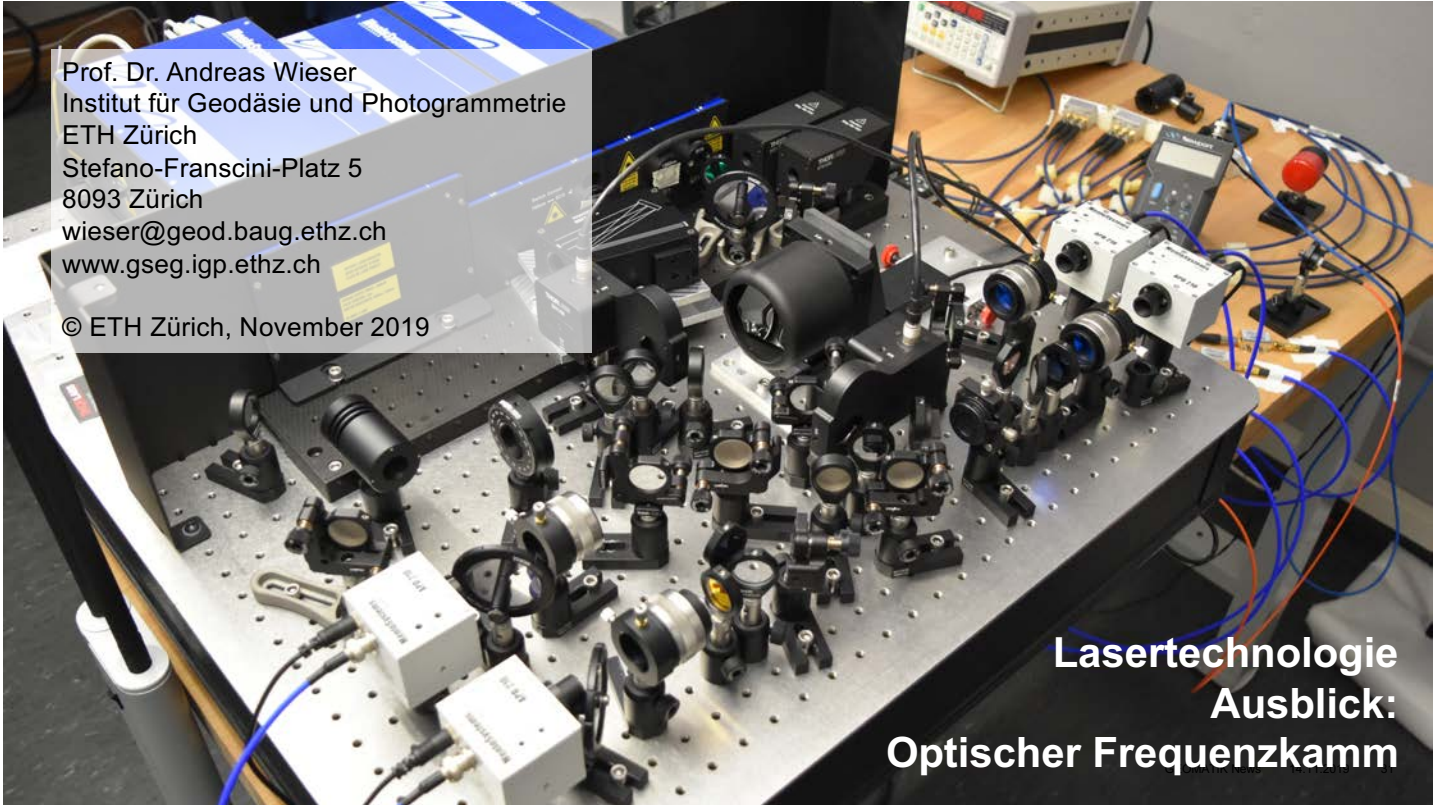


Einsatzmöglichkeiten eines Lasertrackers in der Ingenieurgeodäsie

- Als besonders genaue und schnelle **Robotik-Totalstation**
- Erweiterter Einsatzbereich durch **6-DOF Messung**
 - Probe
 - Maschinensteuerung
 - Scanner
- Im Freien einsetzbar, aber **primär in Innenräumen**
(Reichweite, Refraktion, Schmutz, ...)

Fotos: <https://www.gh.uni-hannover.de/>; <https://insphered.com>





Prof. Dr. Andreas Wieser
Institut für Geodäsie und Photogrammetrie
ETH Zürich
Stefano-Franscini-Platz 5
8093 Zürich
wieser@geod.baug.ethz.ch
www.gseg.igp.ethz.ch

© ETH Zürich, November 2019

Lasertechnologie
Ausblick:
Optischer Frequenzkamm