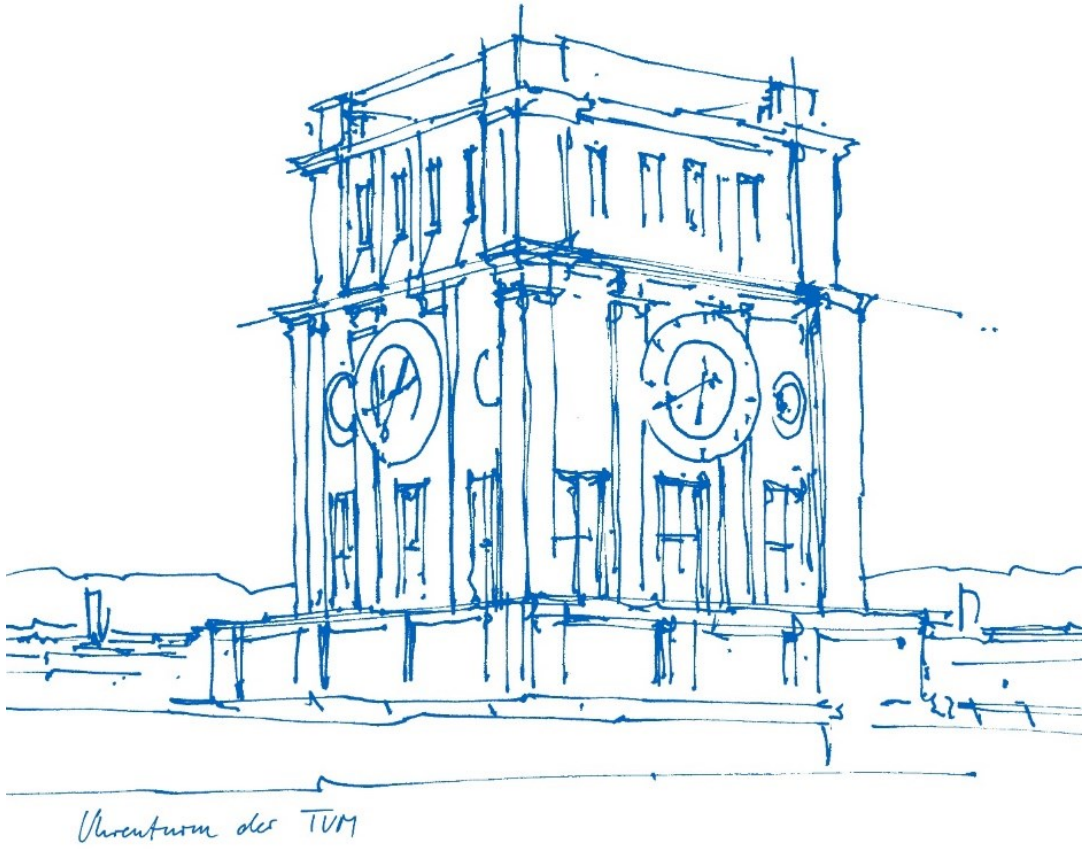
Chair of Geodesy
Technical University Munich

Zweimal scannen – und dann?

Prof. Dr.-Ing. habil. Thomas A. WUNDERLICH



Technische Universität München

Ingenieurfakultät Bau Geo Umwelt

Lehrstuhl für Geodäsie

OVG TU Wien, 30. November 2016

Einstimmung

Mein Zeitstrahl - 40 Jahre eines Wiener Geodäten

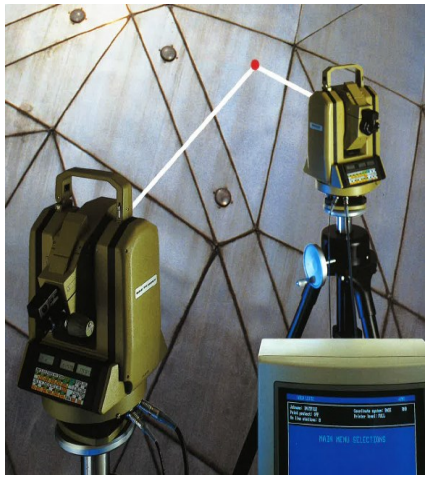
TU WIEN	ETH	LUH	TU WIEN	TU München

1976 ⟷ 2016

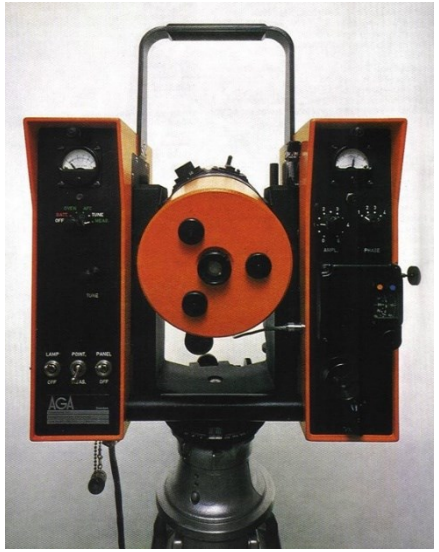
Stud. Ass.	Assistent	Dozent	a.o. Prof.	Ordinarius

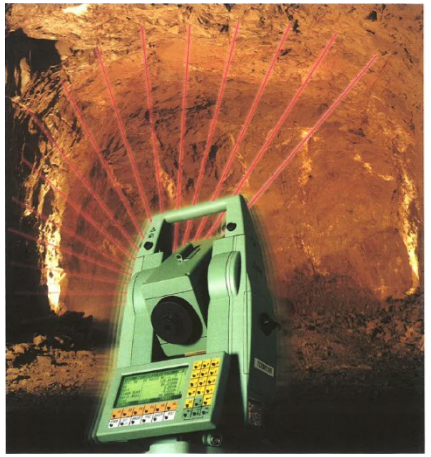
Instrumentelle Entwicklung in dieser Periode

Quelle: Wild Heerbrugg



Quelle: Aga Geodimeter





Quellen: Leica

Zum Thema

Aktueller Trend: von Einzelpunkten zu Punktwolken

Flächenhafte Verfahren finden heute unterschiedlichste Anwendungen.

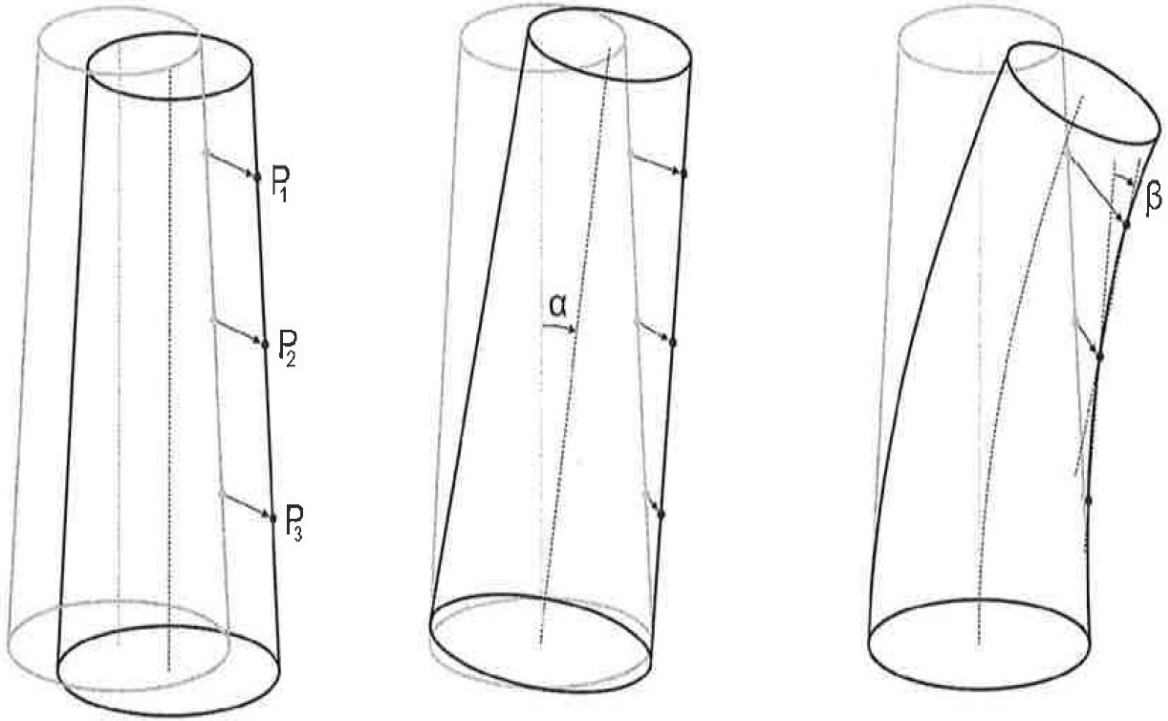
Heute und hier: Fokus auf den Bereich Monitoring mit TLS -

Deformationsanalyse aus Punktwolken terrestrischer Laserscanner

Als Überwachungsobjekte werden nur Bauwerke betrachtet.

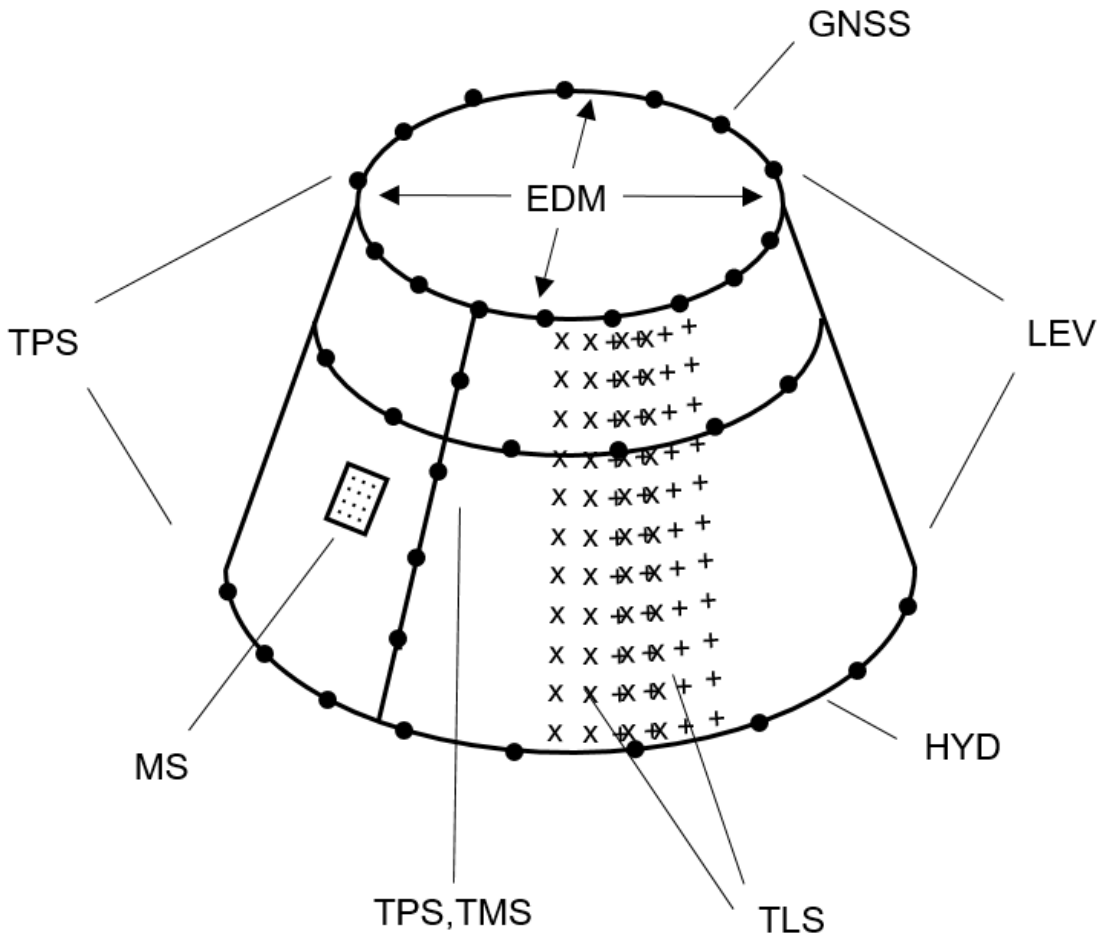
Prinzipielle Aufgabe: Nachweis signifikanter geom. Veränderungen

Starrkörperbewegung (Translation, Kippung) oder/und Verformung



Quelle: Eling, 2009

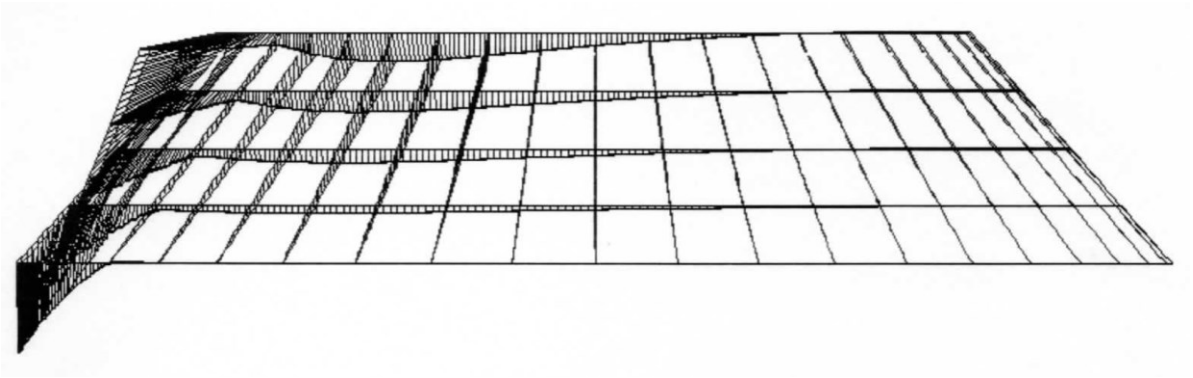
Vergleich möglicher geodätischer Methoden der Überwachung



Quelle: Wunderlich, 2016

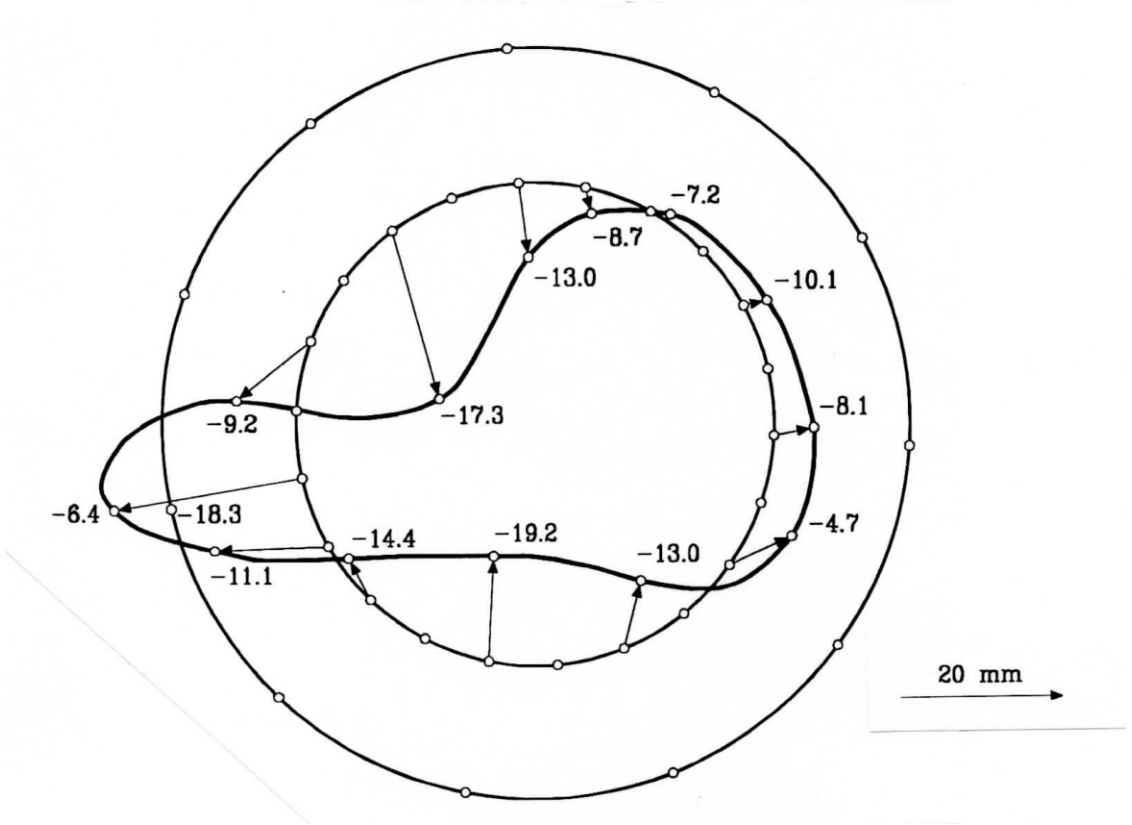
Untersuchungsobjekt Kühlturm 1994

Ergebnis Simulation



Quelle: ZT Kölbl, 1994

Ergebnis Deformationsanalyse



Quelle: Kahmen & Wunderlich, 1994

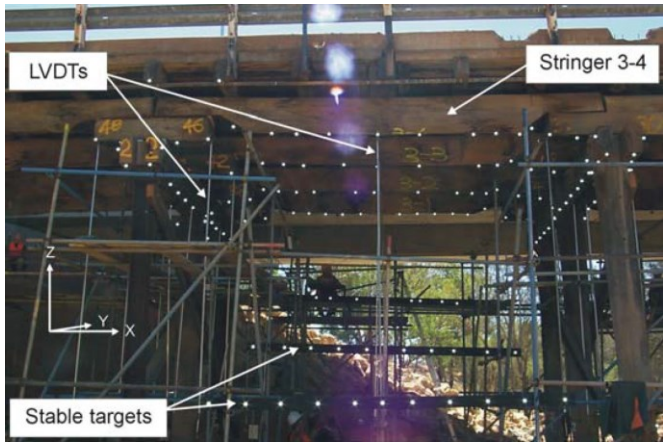
Fundamentale Fragen zur Deformationsanalyse aus Punktwolken

- Wie?
  Welche Methoden der Aufdeckung von Deformationen gibt es?
- Wann?
  Welche Anwendungen rechtfertigen den hohen Auswerteaufwand?
- Warum?
  Was ist der zu erwartende Gewinn einer flächenhaften Aussage gegenüber der Betrachtung ausgezeichneter Punkte?

Mit diesen Fragen machen wir EIN riesiges Faß auf…

…die Zeit reicht jedoch nicht aus, alle Fässer aufzumachen!

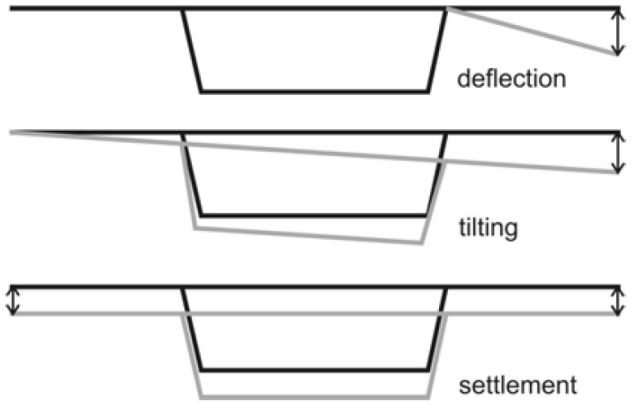
Anfänge des TLS-Monitoring 2004 - 2006



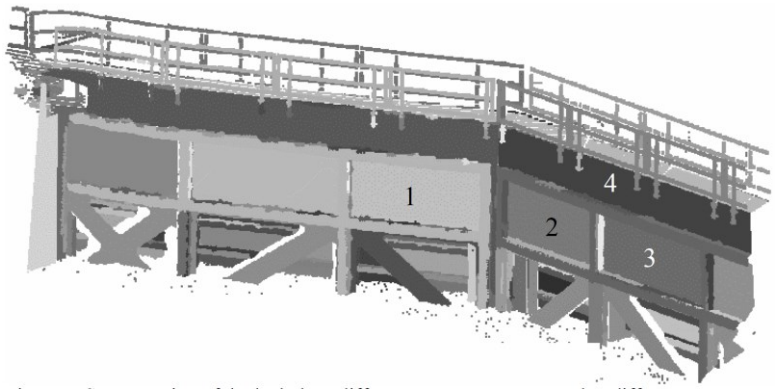
Quelle: Gordon et al., 2004

Quelle: Schäfer et al., 2004

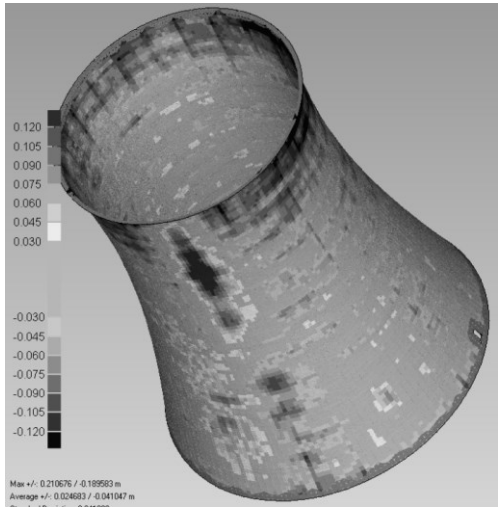
Quelle: Grimm & Rudig, 2005



Quelle: Zogg & Ingensand, 2005

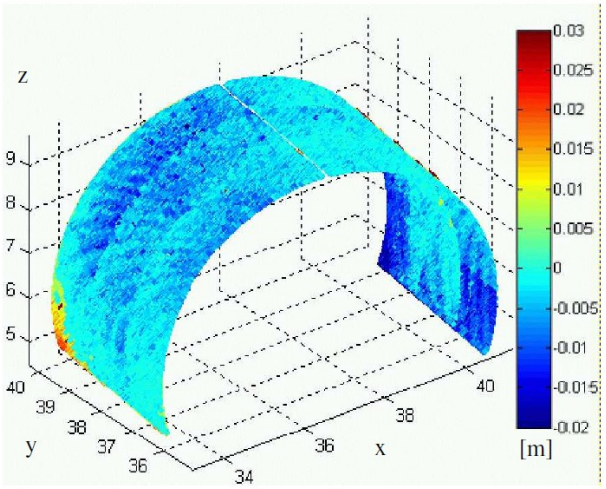


Quelle: Lindenbergh & Pfeifer, 2005

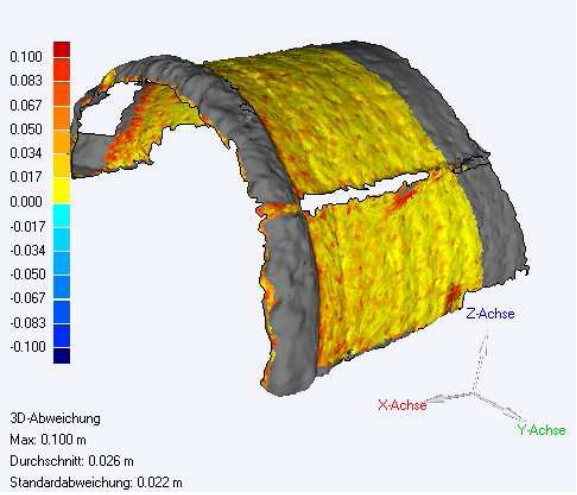


Quelle: Ioannidis et al., 2006

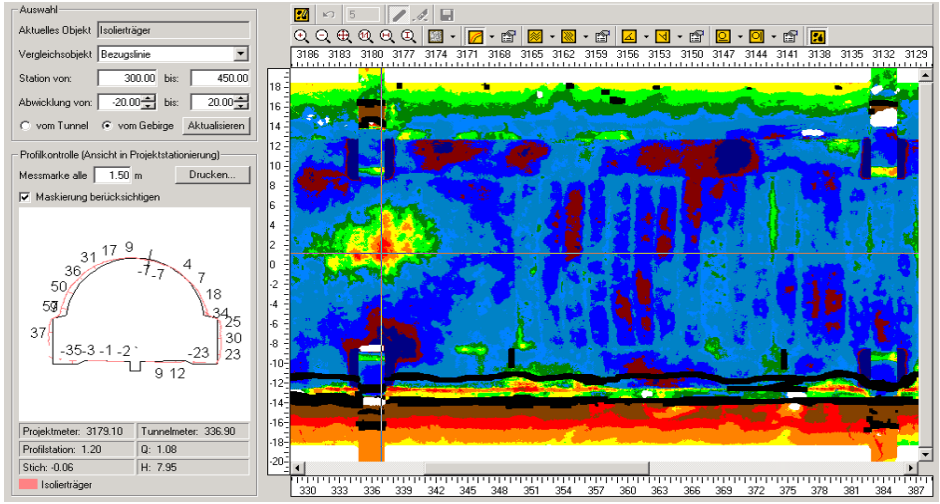
Schnellste Verbreitung in der Praxis: Tunnelbau



Quelle: van Gosliga et al., 2006



Quelle: Ohlmann, 2010



Quelle: Chmelina, 2016

Notwendigkeit der sauberen begrifflichen Trennung

- Deformationsanalyse
  Nachweis signifikanter Lage- oder/und Formveränderungen eines Objekts oder auch nur von Teilen (Regionen) davon
- Veränderungsanalyse
  etwas ist gegenüber der Vorepoche hinzu-/weggetreten, Bereiche werden durch Standpunktänderung sichtbar/abgeschattet
- Oberflächenanalyse
  Prüfung der Herstellungsqualität (Formtreue, Toleranzeinhaltung, Abnutzungserscheinungen, Ausschluß von Scheindeformationen)

Festlegung des Vergleichszustandes für die Deformationsanalyse

- Nullepoche
  Vor/nach Lasteinwirkung, vor/nach Arbeitsschritt im Bauablauf
- Bauwerksmodell (Entwurf, CAD-Detailplanung, Bestandsplanwerk)
  Geometrieabweichung ist-soll, auch dynamisch

Wo liegen die größten Herausforderungen der Aufgabe?

- Keine identischen Punkte von Epoche zu Epoche

  Während bei der klassischen Beobachtungen von Einzelpunkten diese vermarkt, signalisiert und wiederholbar anzielbar sind, fallen die Laserpunkte einer Punktwolke von Epoche zuu Epoche nicht aúf identische Orte
- Keine eindeutige Zuordnung der Punkte verschiedener Epochen zueinander

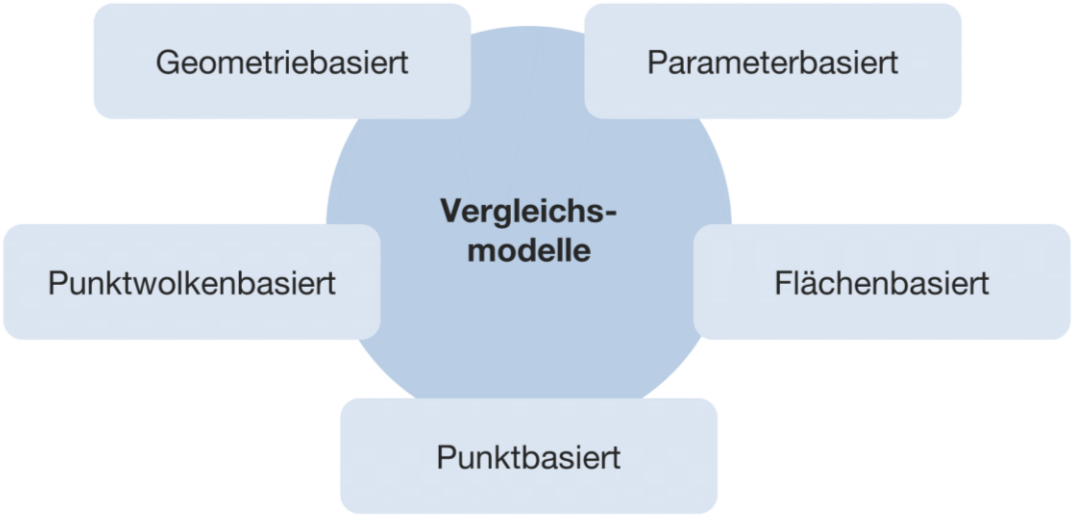
  Während zwischen zwei Koordinatenrealisierungen eines Punktes in verschiedenen Epochen die geometrische Zuordnung eindeutig ist, können bei Punktwolken verschiedene Zuordnungsvorschriften angewendet werden

Unterscheidung der Vorgangsweisen

Vosselman & Maas (2010)

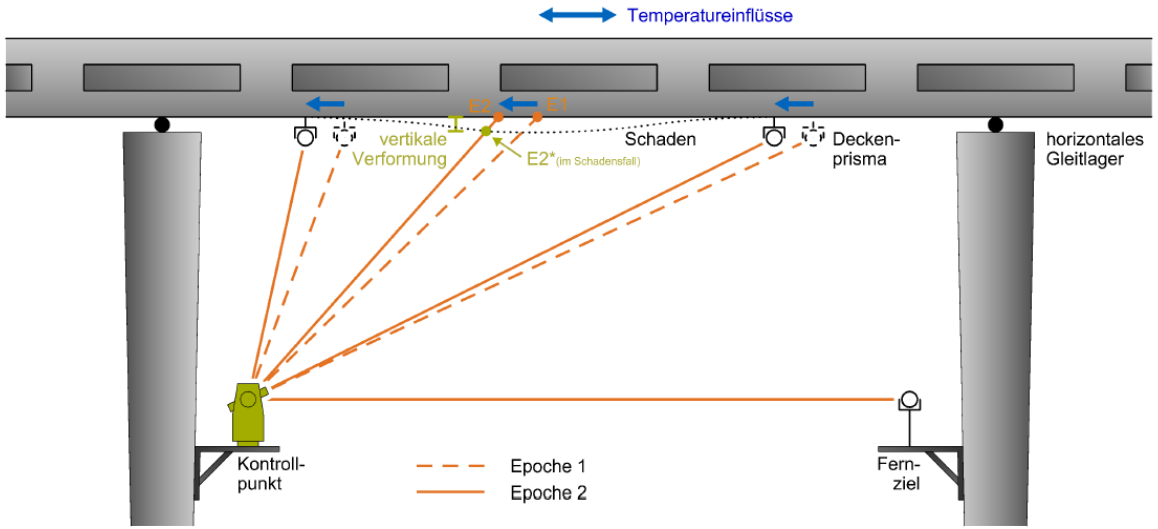
- **Punkt zu Punkt**
  Range Images, virtuelle Ziele, Raster
- **Punkt zu Fläche**
  - Kachelung (z.B. TIN)
  - Implizite Funktionen (analyt. Flächen)
  - Explizite Funktionen (Freiformflächen)
- **Fläche zu Fläche**
  - Best-fit der ganzen Fläche (ICP)
  - Best-fit von Flächenteilen (Segmente)

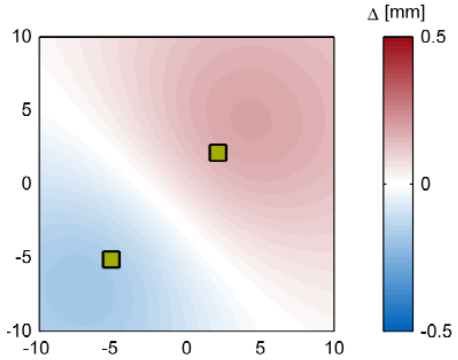
Ohlmann-Lauber & Schäfer (2011)

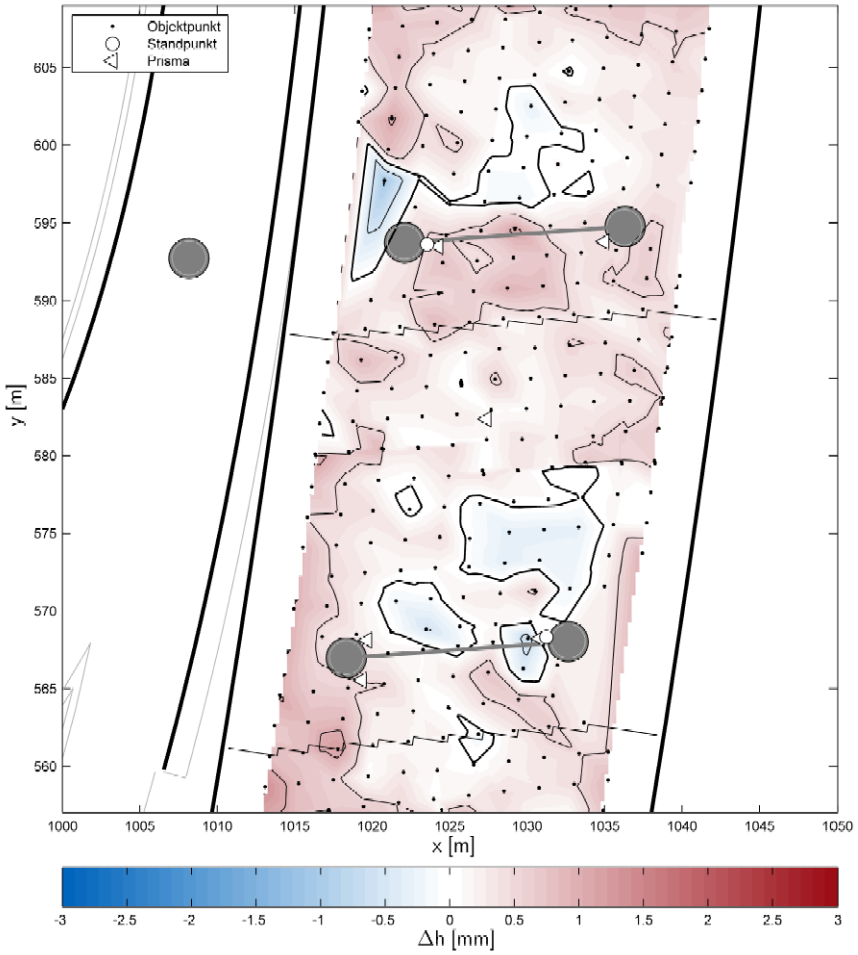


Anwendungsbeispiele

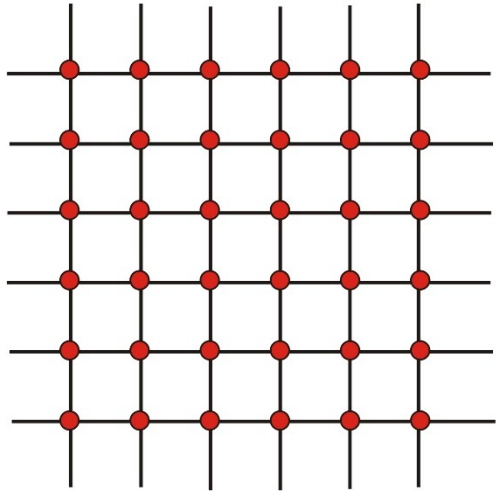
Hochbrücke Freimann [Schäfer, 2008, 2009, 2016]

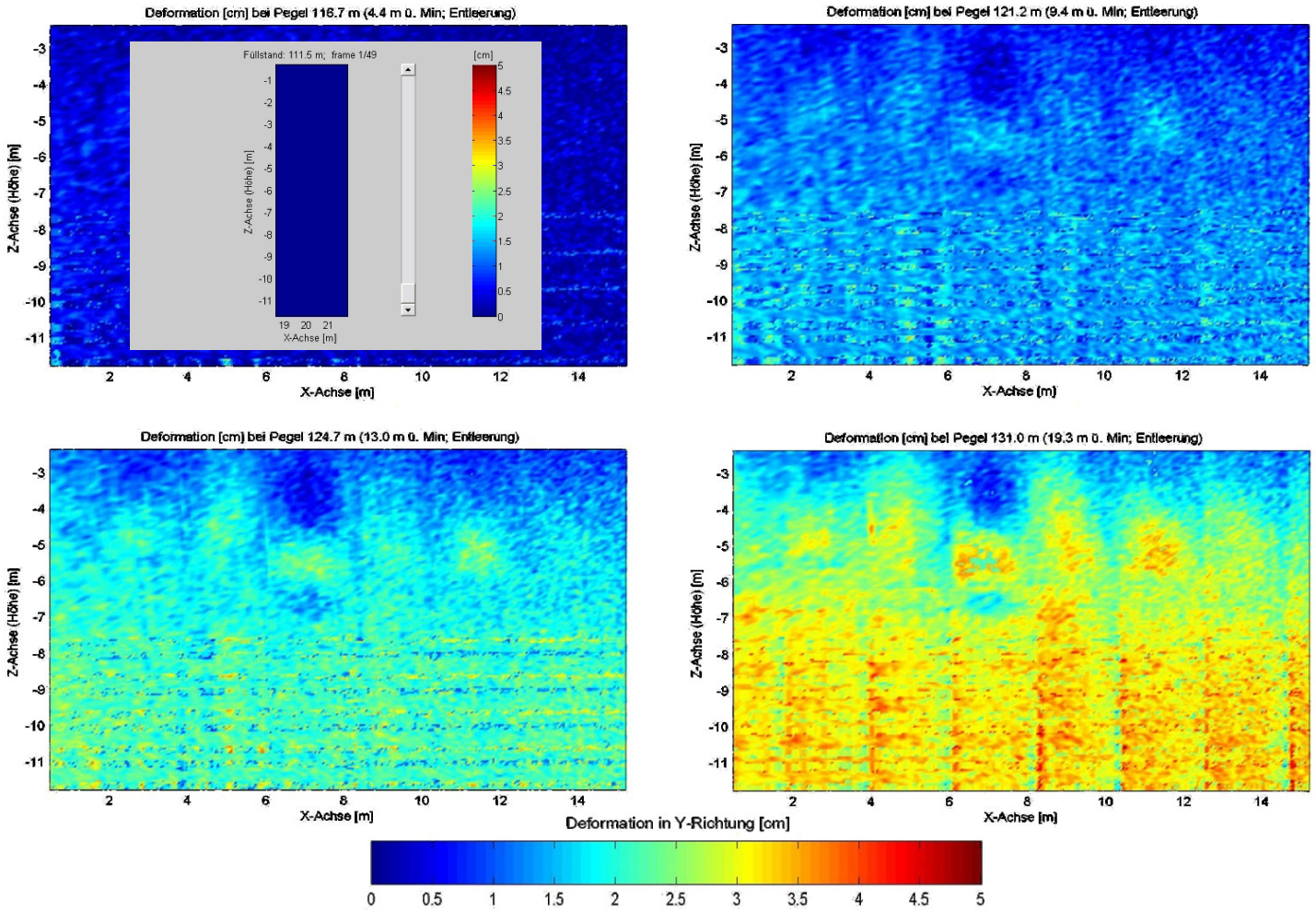




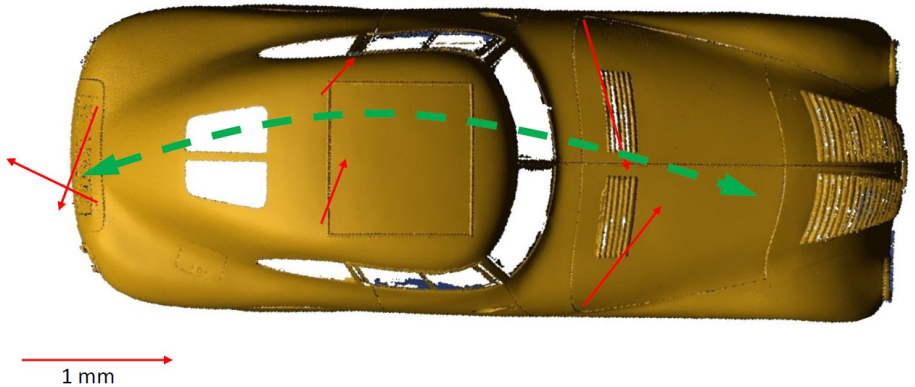


Schleuse Gabcikovo [Schäfer et al., 2004]



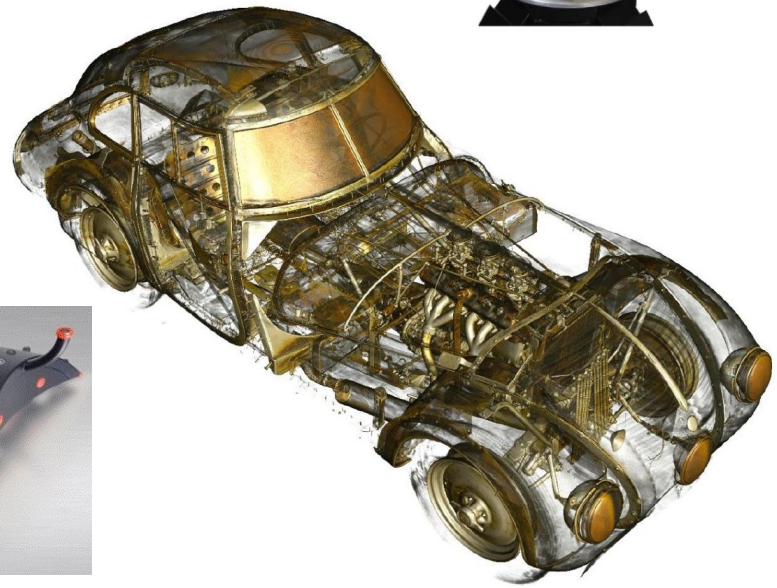


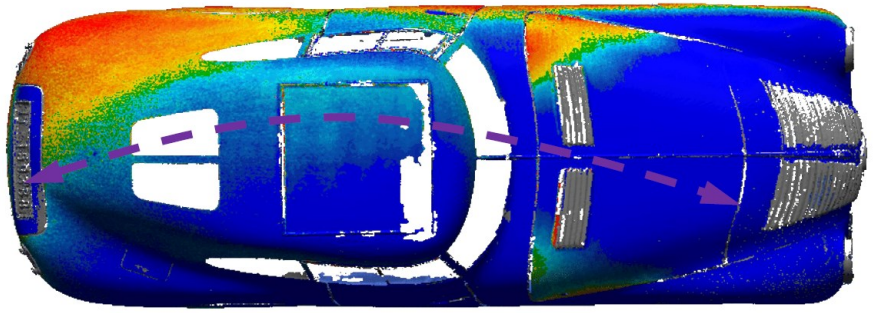
Oldtimer-Transport Deutsches Museum – EZRT [Wasmeier, 2016]

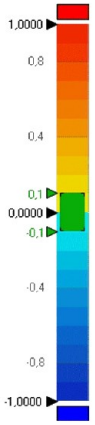


Differenz der Fahrzeughülle vor und nach Transport

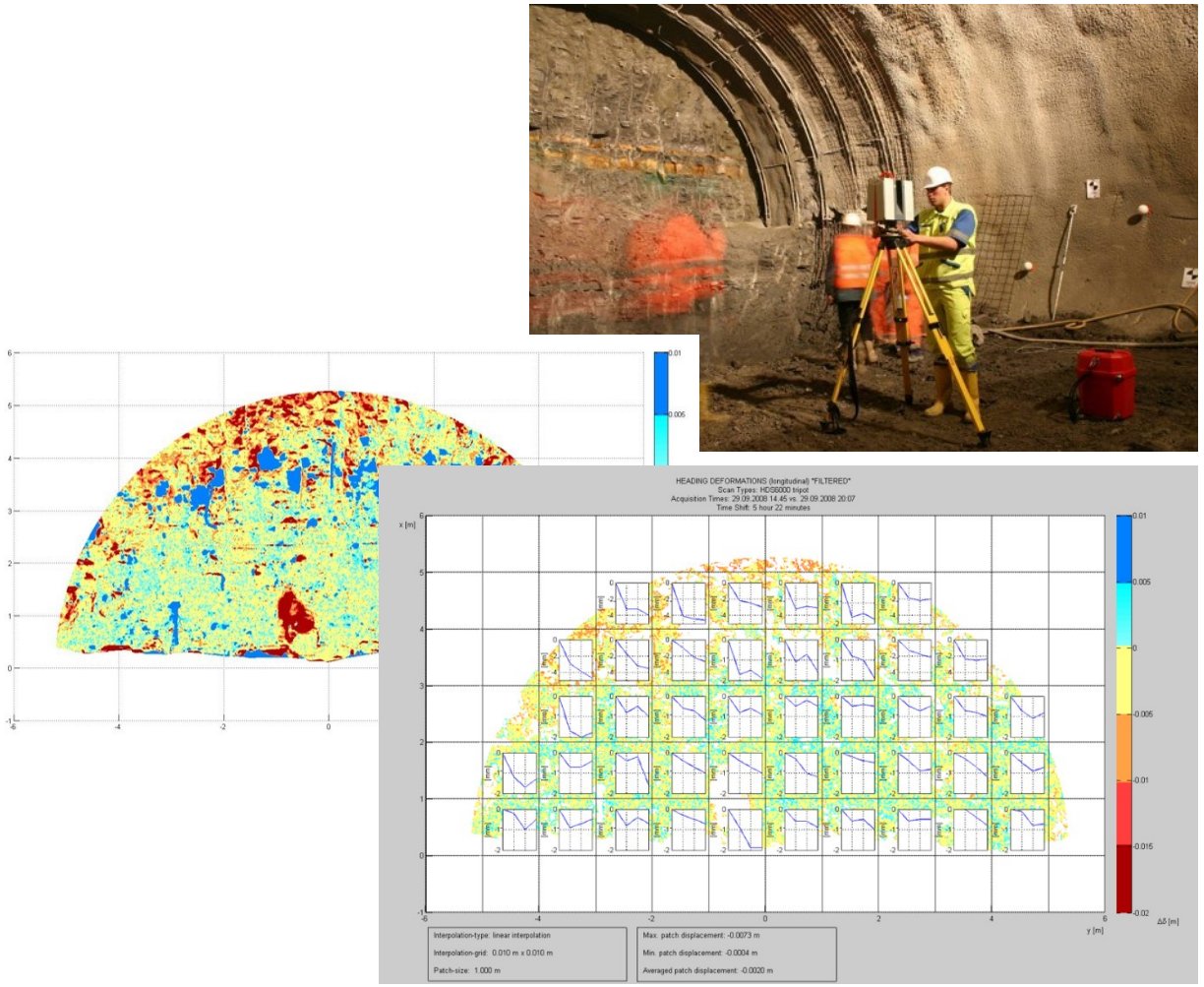
blau = Bewegung nach außen
Größenordnung: 1-2 mm

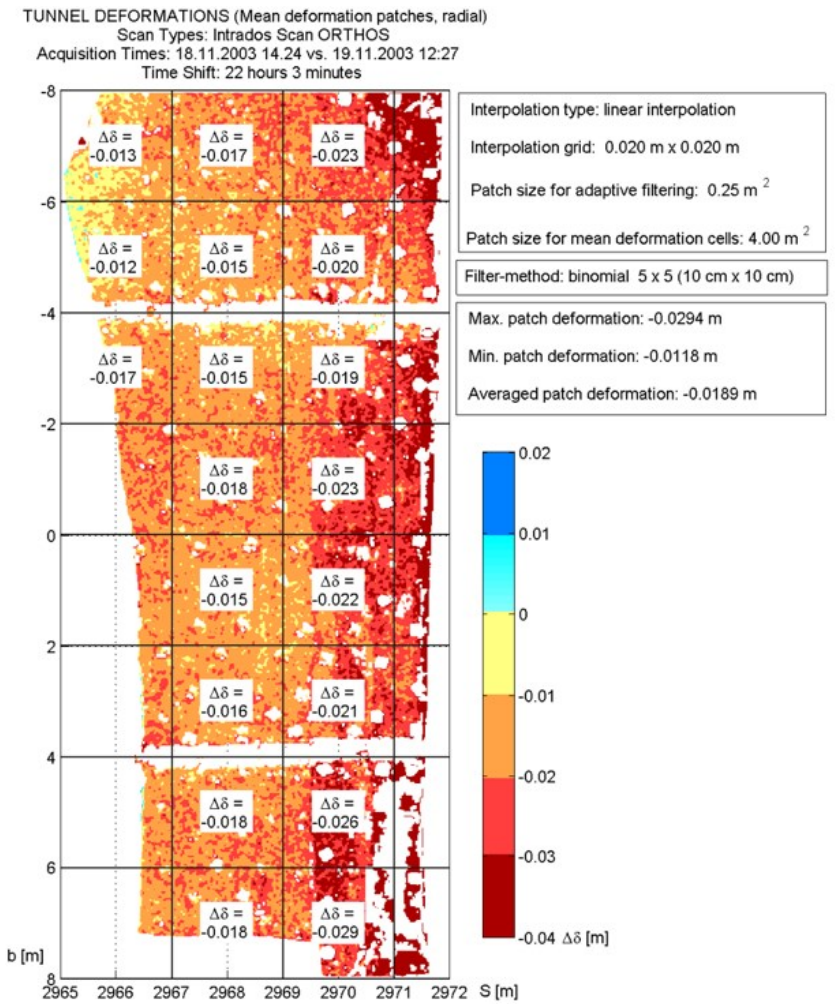




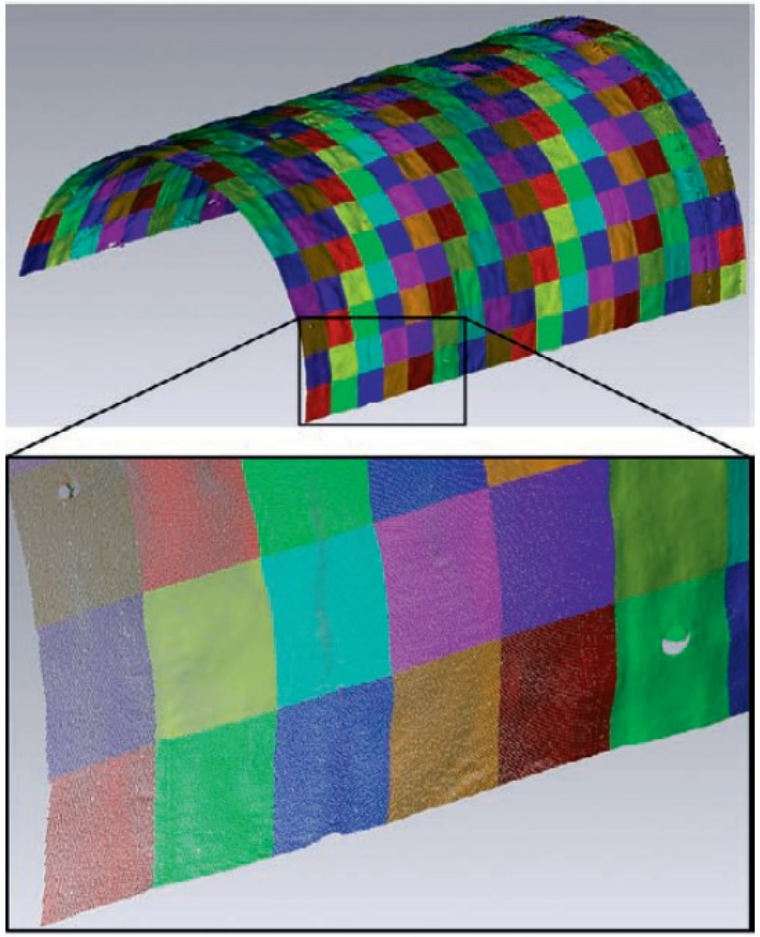


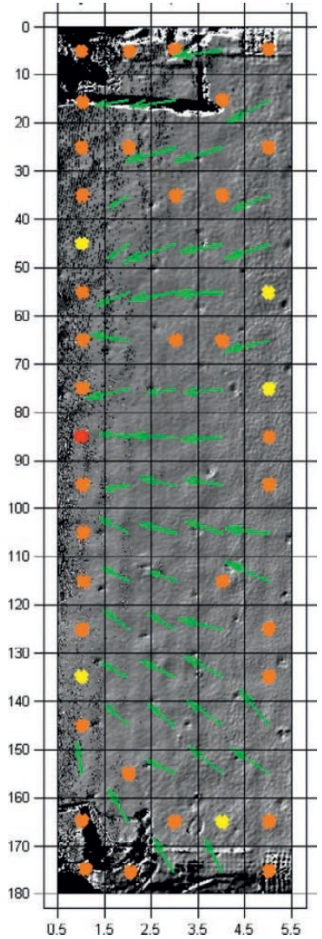
NÖT-Tunnel Stuttgart [Ohlmann-Lauber, 2010]

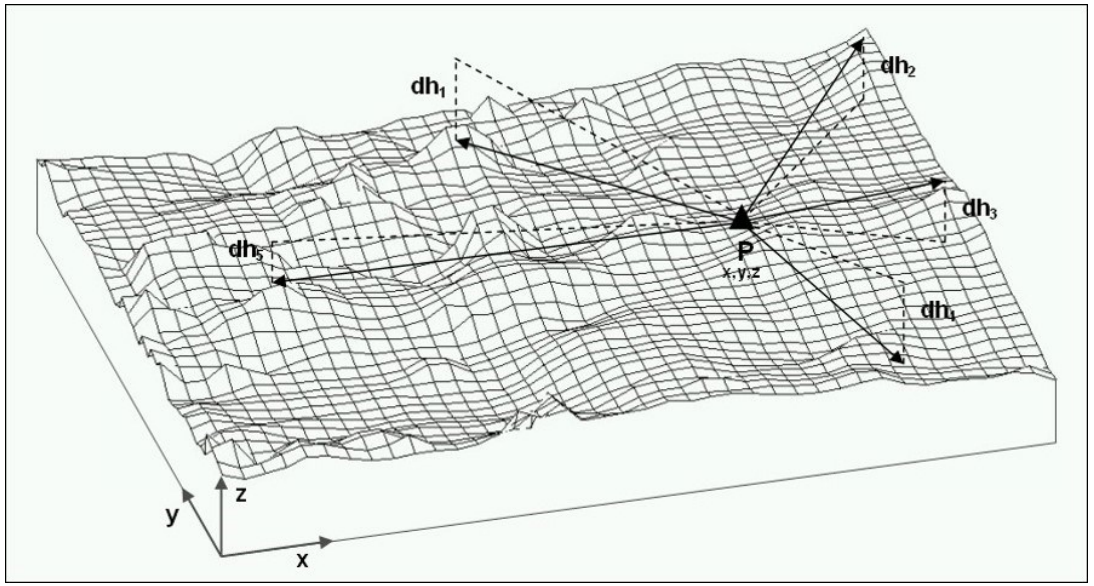




3d-Tunnelinformation [Chmelina et al., 2012]

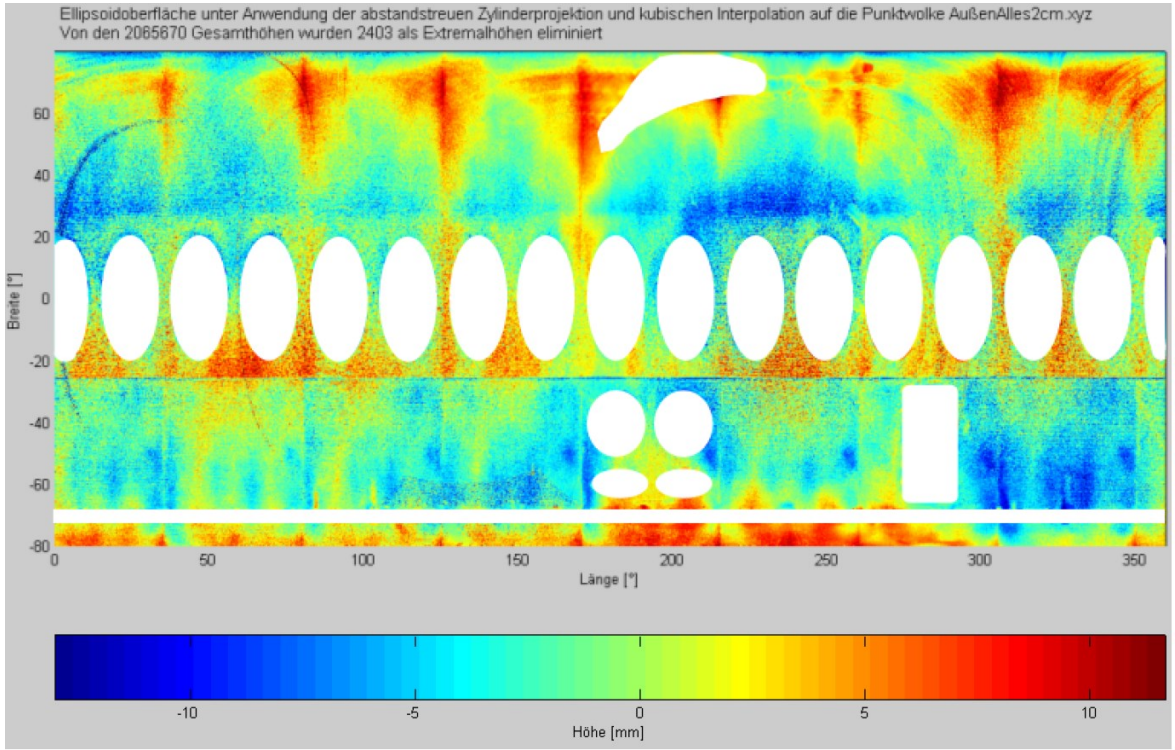




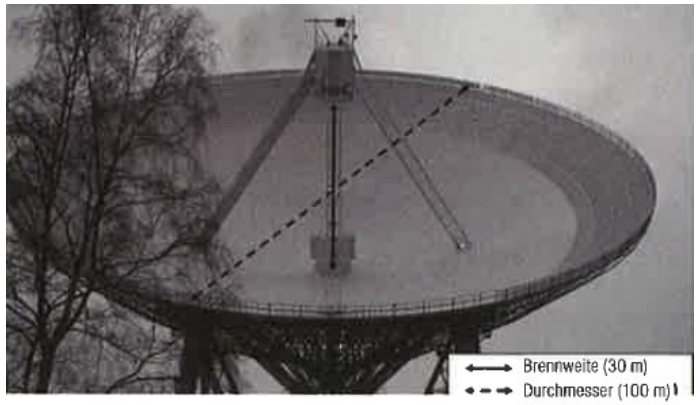


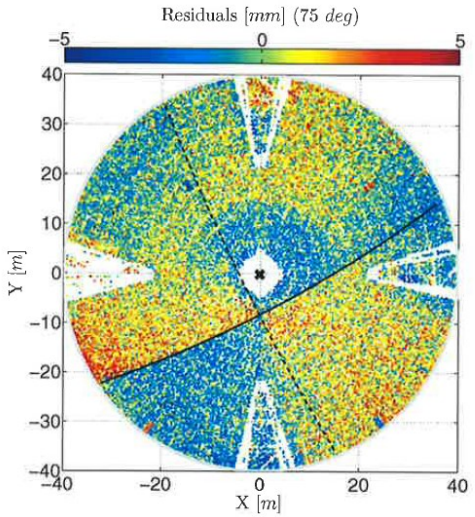
Vergleich: Topographisches Matching zur Lokalisierung in der Forstinventur – Czaja, 2007 – HTO Bayern

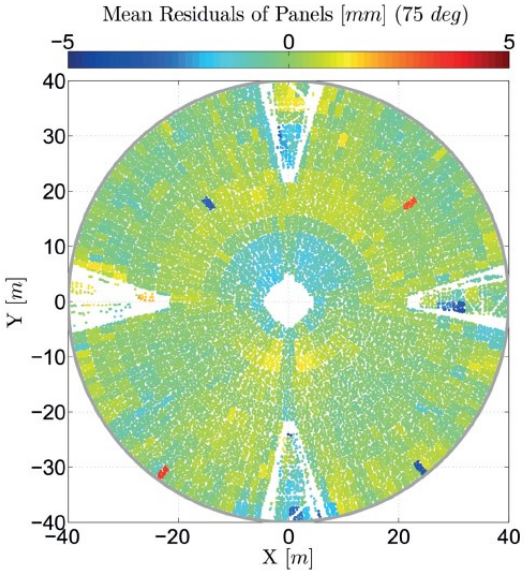
Futuro-Haus [Ratke-Fuchs, 2006]

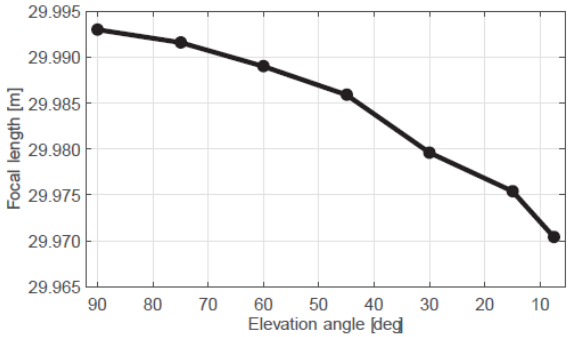


Radioteleskop Effelsberg [Holst & Kuhlmann, 2011, 2014, 2015]

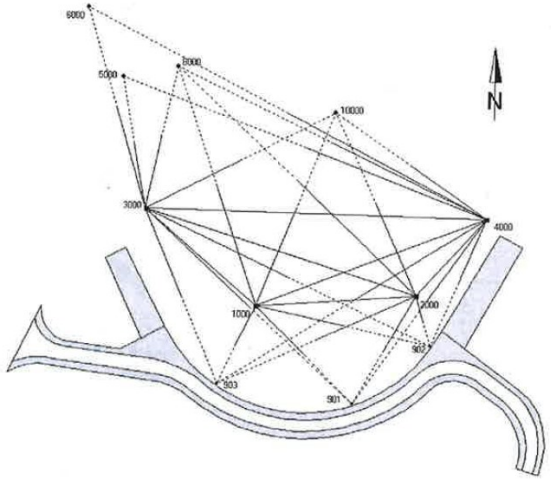


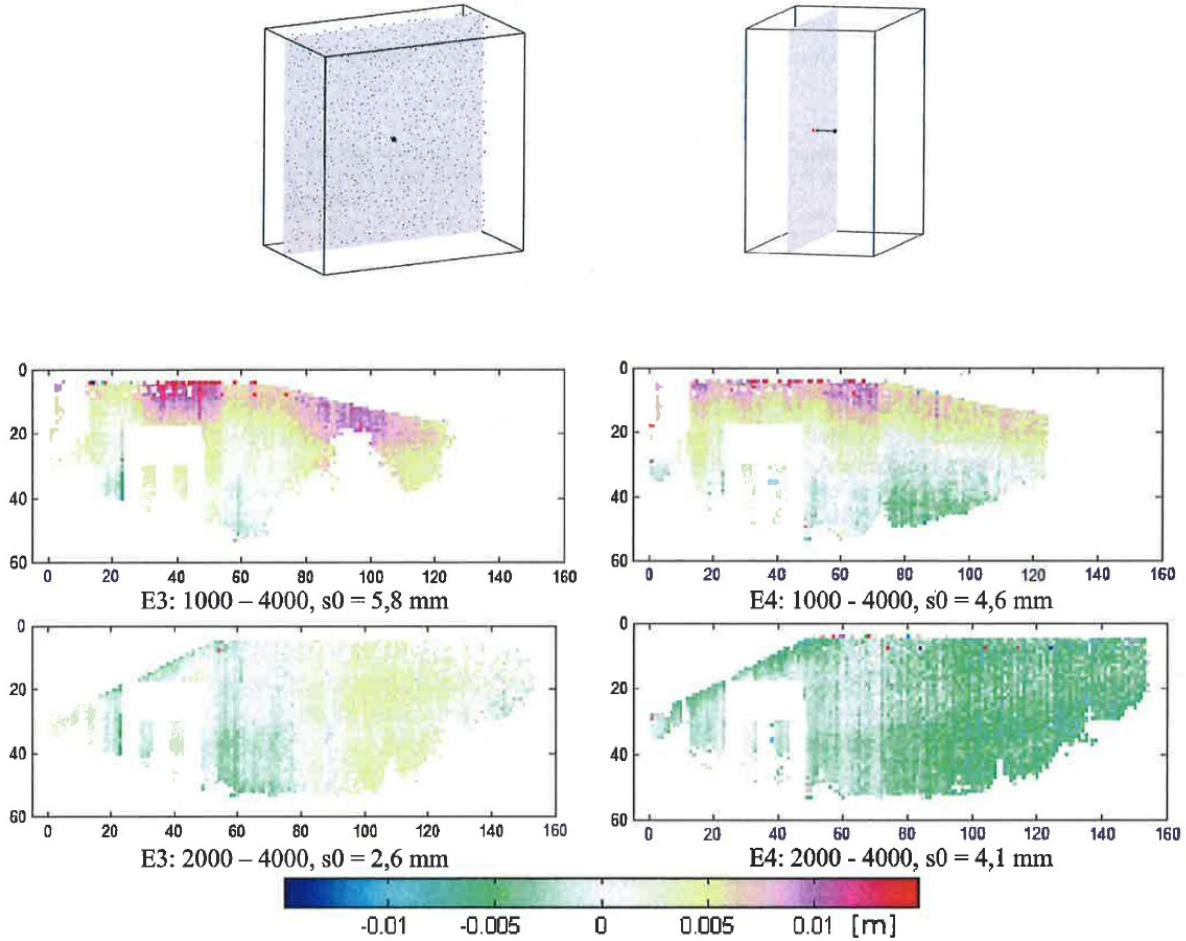




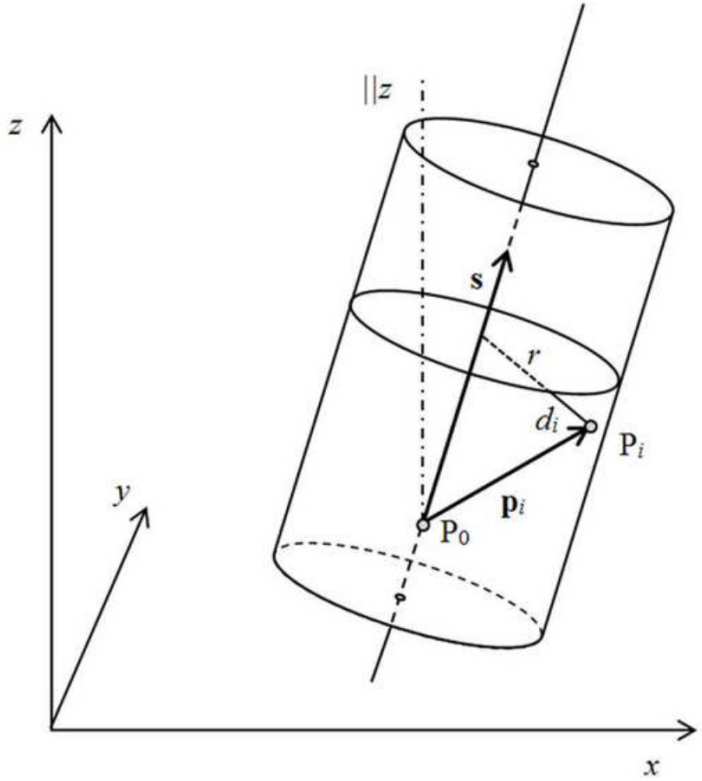


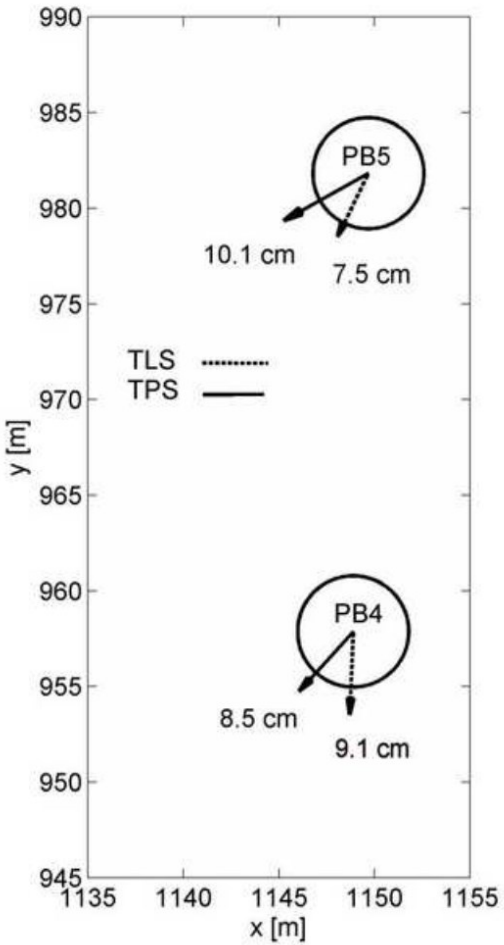
Okertalsperre [Eling, 2009]



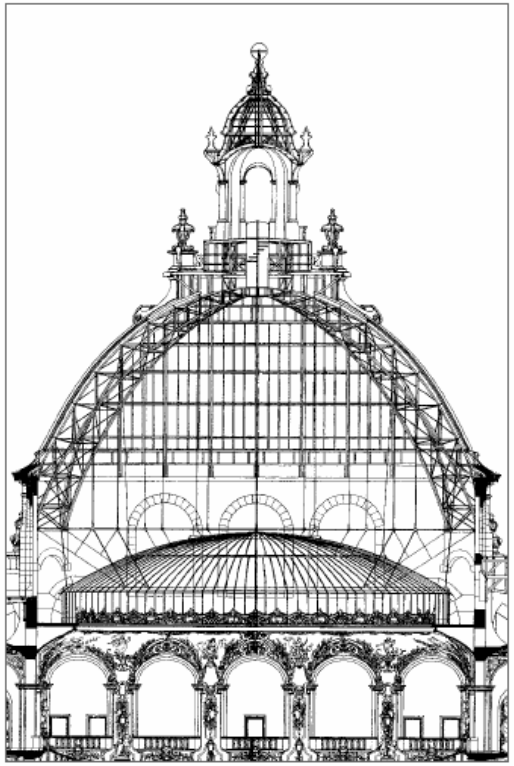


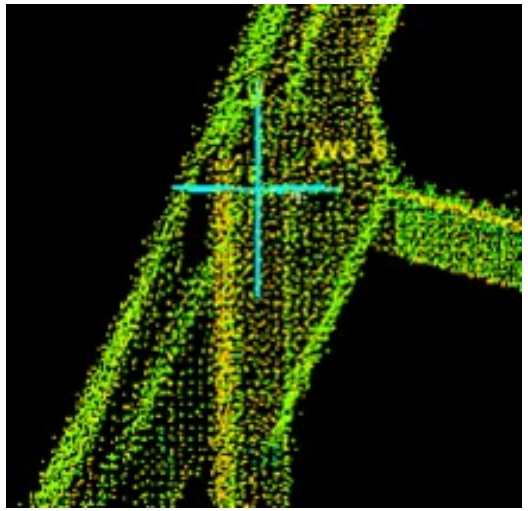
Industrieschlote [Kregar et al., 2015]

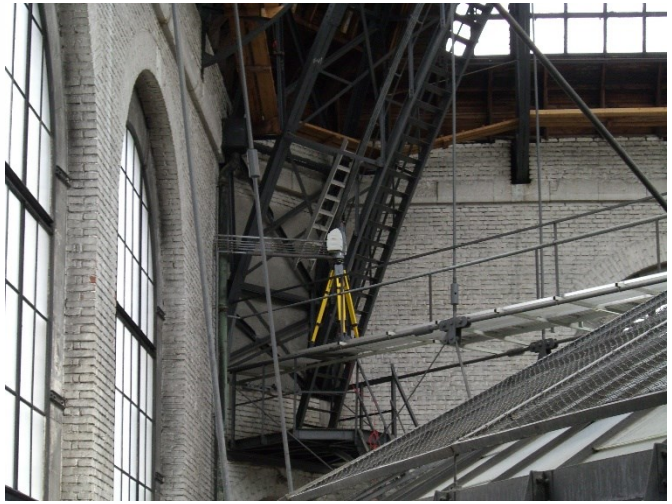


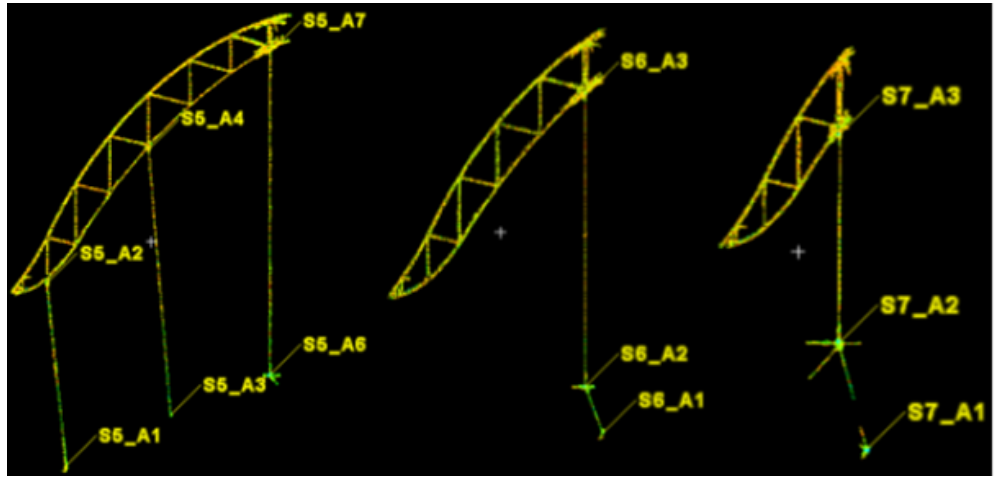


Kuppel des Justizpalasts München [Wunderlich et al., 2008]

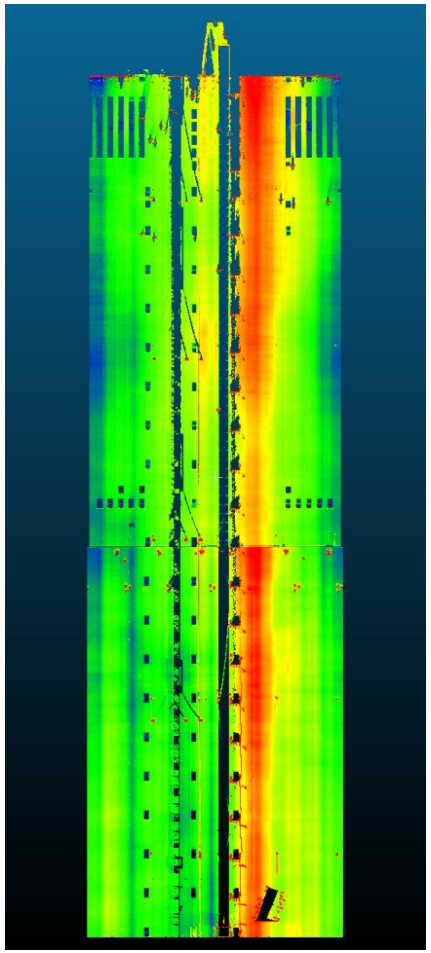


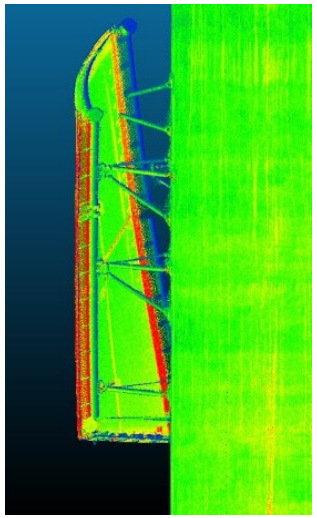


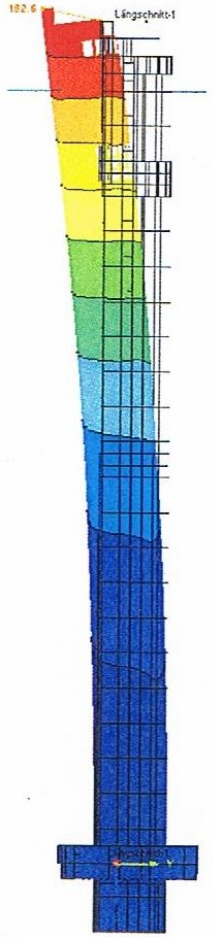




Aufzugtestturm Rottweil [Thurner, 2016]







Bewertung

Vorteile und Nachteile der Deformationsanalyse aus Punktwolken

- Vorteile

  Sehr vollständig, hochauflösend, ökonomisch vom Beobachtungsaufwand
- Nachteile
  - Großer Vorbereitungsaufwand (Kalibrierung, Registrierung, Georeferenzierung)
  - Systematische Fehlereinflüsse durch Objekteigenschaften (Material, Reflektivität, Rauhigkeit)
  - Sytematische Fehlereinflüsse durch Beobachtungsgeometrie (Auftreffwinkel, Horizontierung & Instrumentenfehler, …)
  - Systematische Fehlereinflüsse durch Lasteinwirkungen auf Objekt bei mehreren Aufstellungen über längere Zeit (Winddruck, Erwärmung durch Sonne)
  - Großer Auswerteaufwand (data cleaning, Segmentierung, best fit Approximation)

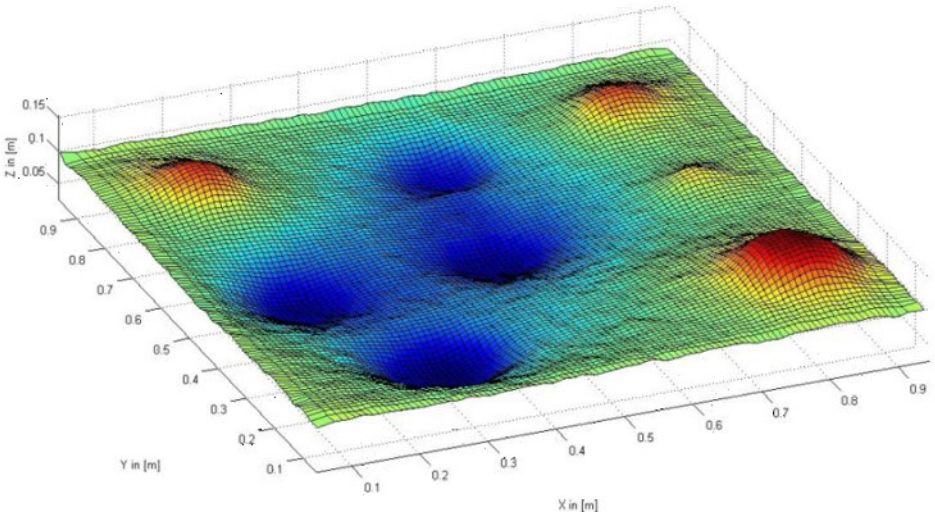
Kritische Betrachtung – was ich noch als unbefriedigend empfinde!

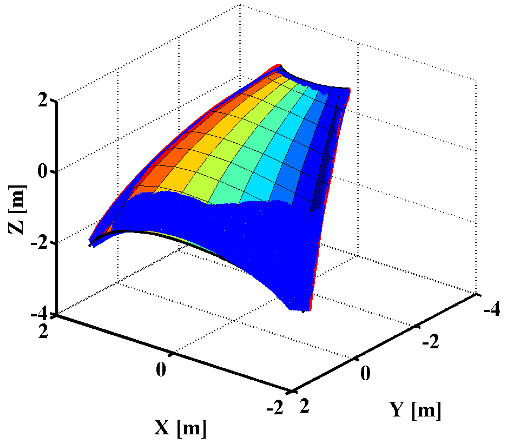
- Zu geringe Ausschöpfung des Potentials der Punktwolken
  - Häufig Ausdünnung zur Linderung der Rechenlast notwendig
  - Ableitung repräsentativer Punkte → wieder „Einzelpunkte“
- Beschränkung der Deformationsaussage
  - Manchmal nur Starkörperbewegung ableitbar
  - Manchmal Reduktion auf eine Dimension statt 3d Aussage
- Neue Parameter zur Deformationsbeschreibung noch kaum genutzt
  - z.B. Oberflächendifferenzen, Volumsdifferenzen, …
  - Ausnahme: Brennweitenänderung bei Radioteleskop [Uni Bonn]
- Kommerzielle Software? Signifikanztests?

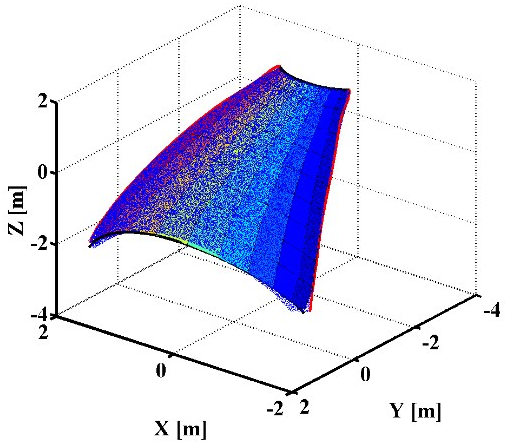
Vorschau

Experimentierfläche des Geodätischen Prüflabors der TUM

Vorteilhaft: Kooperation mit TU Wien



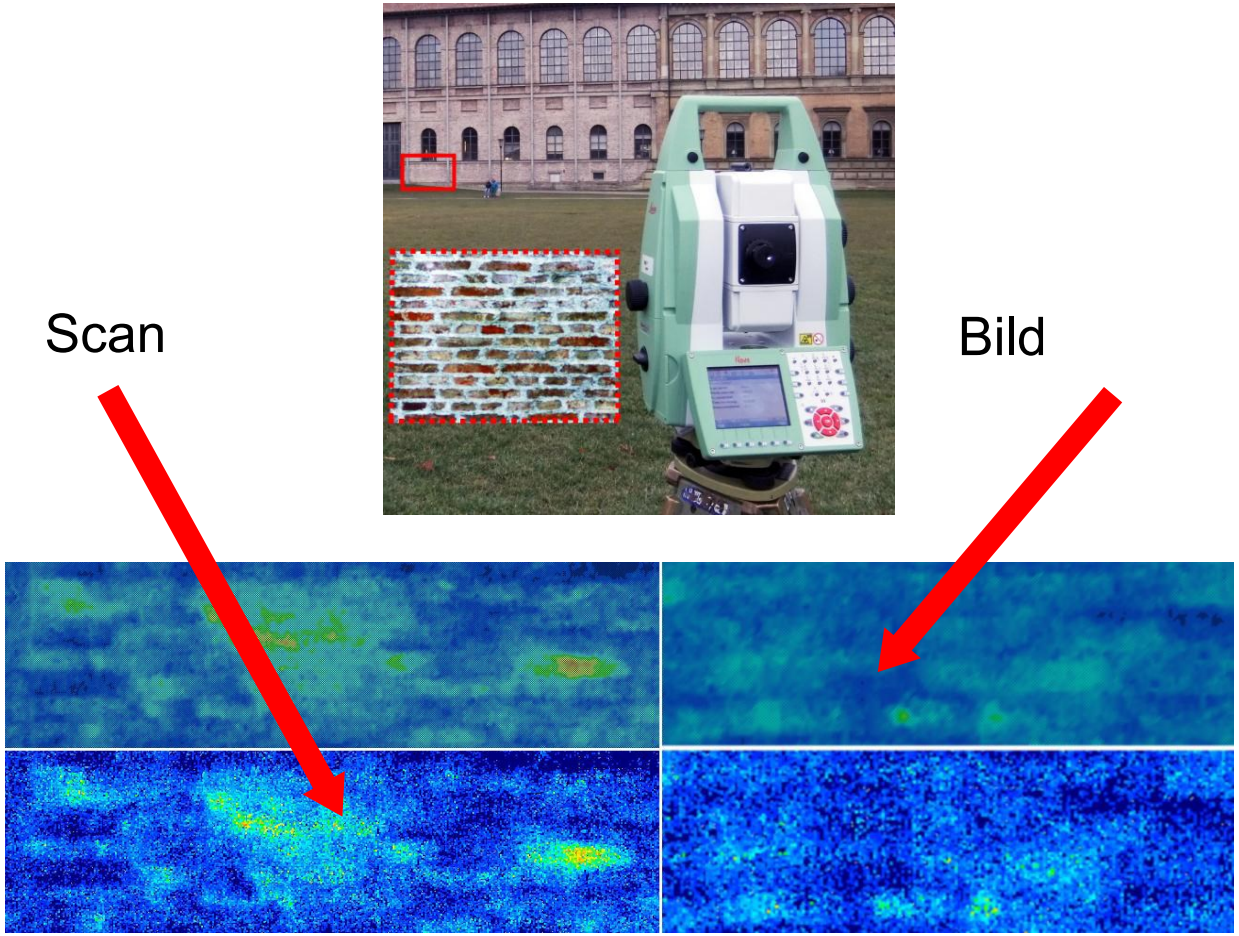




Quelle: Harmenig & Neuner, 2015

Verbesserung durch Fusion Scan und Bild mit Multistations

- Laserscans sind hervorragend dazu geeignet, Deformationen aus Distanzänderungen zu aufzudecken
- Meßbilder hingegen erlauben es, identische Zielpunkte aufzufinden
- Die Kombination beider Verfahren stellt das Ideal dar
- Bisher ist das nur durch aufeinander folgende Beobachtung mit Scanner und Meßkamera gelungen [MoLas]
- Jetzt haben wir Multistations



Themen-Schwerpunkthefte der DGK-Abteilung Ingenieurgeodäsie und Tutorials/Sessions IVK/INGEO

avn | Fachbeitrag begutachtet

Erscheint
2. Dezember 2016

Areal Deformation Analysis from TLS Point Clouds – The Challenge

Flächenhafte Deformationsanalyse aus TLS-Punktwolken – die Herausforderung

Thomas Wunderlich, Wolfgang Niemeier, Daniel Wujanz, Christoph Holst, Frank Neitzel, Heiner Kuhlmann

Halt Maß!