

SA am Geodätischen Institut der Leibniz Universität Hannover: *Referenzmessungen bis Monitoring*

8. Projektdialog SpatialAnalyzer
Köln – 3. November 2016

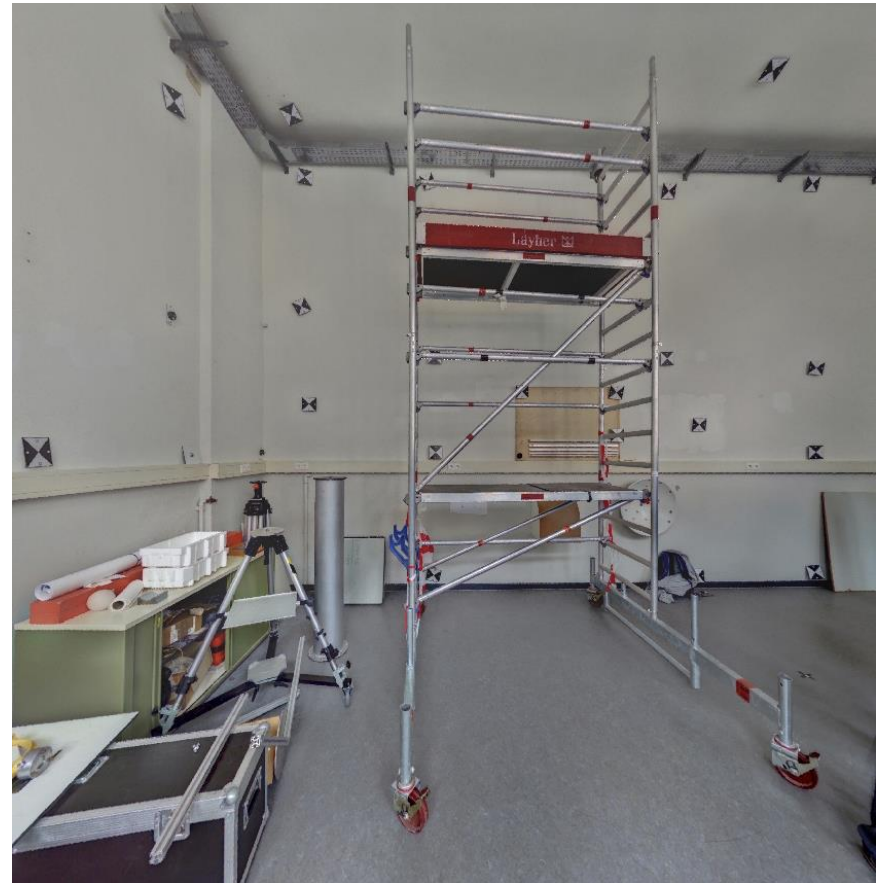
Dr.-Ing. Jens-André Paffenholz
Geodätisches Institut, Leibniz Universität Hannover

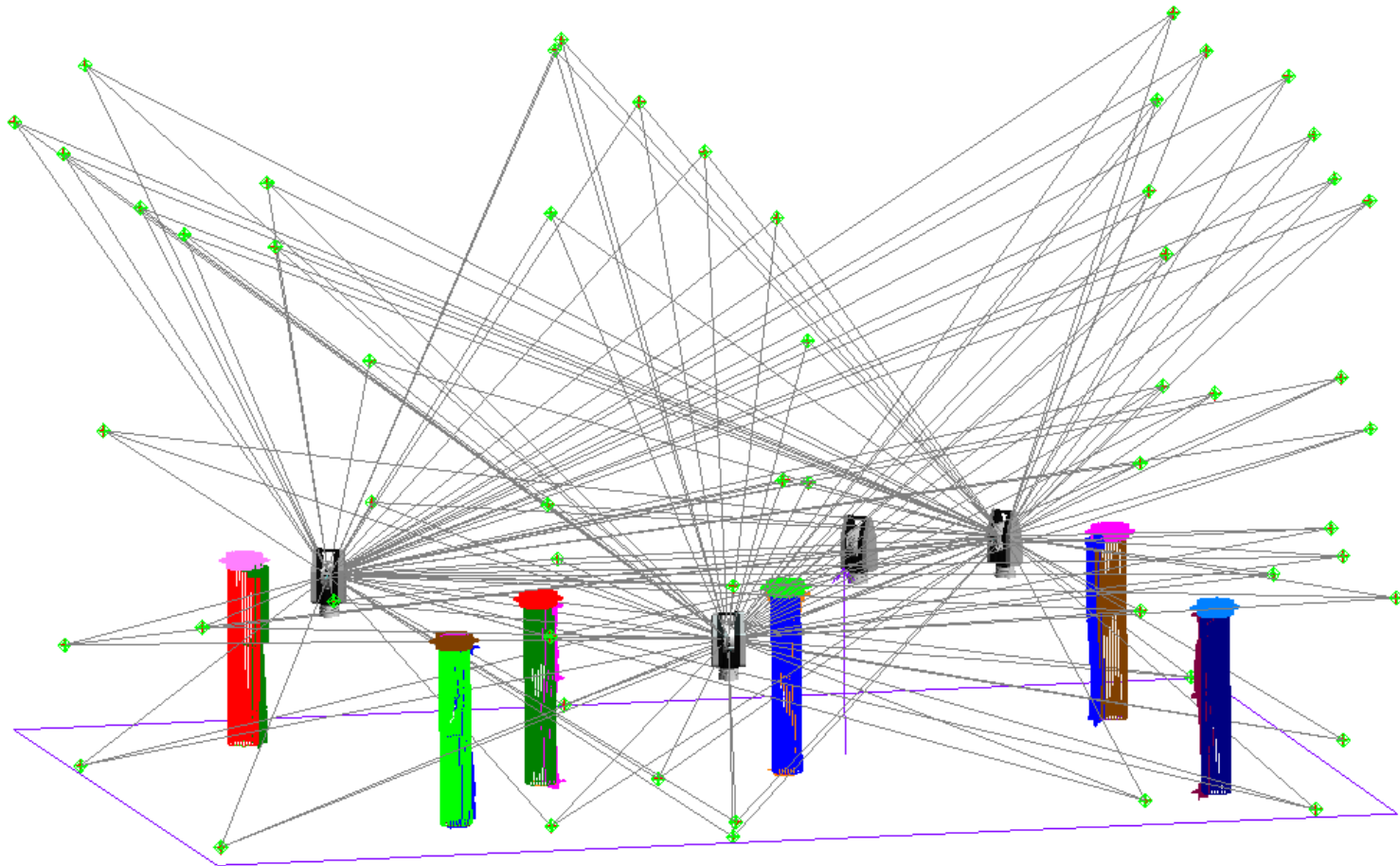
- Referenzmessungen (Forschung und Lehre)
 - Referenzpunktfelder
 - Geometrie und Formüberprüfung
 - Lasertracker als Referenzsensor in verschiedenen Anwendungen

- Monitoring (Forschung)
 - Lastinduzierte Verformungsmessungen am Beispiel einer Gewölbebrücke
 - Measurement Plans zur optimalen Unterstützung wiederkehrender Arbeitsabläufe



- Messvolumen ca. 6 m x 8 m x 5 m
- 6 permanente Messpfeiler
- 50 permanente magnetische Halter („Nester“)
- Ausgleichung der Messergebnisse
 - **SA-Modul USMN** (Unified Spatial Metrology Network)
 - **Hochgenaues** Referenzfestpunktfeld mit 50 µm mittlere Standardabweichung der Punkte nach der Ausgleichung



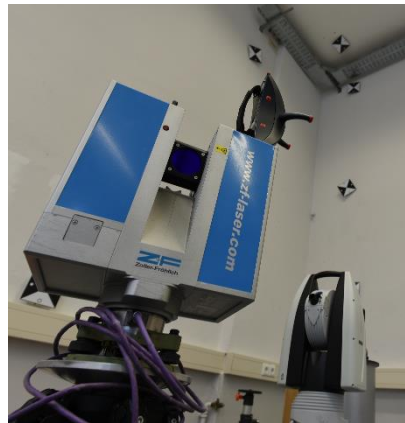


→ SA-Modul: Measurement Simulation

- Laserscanner Zoller+Fröhlich (Z+F) Imager 5006
- Lasertracker Leica AT960-LR mit Leica T-Probe
- Triangulationsscanner Leica T-Scan 5 (*nicht dauerhaft verfügbar*)



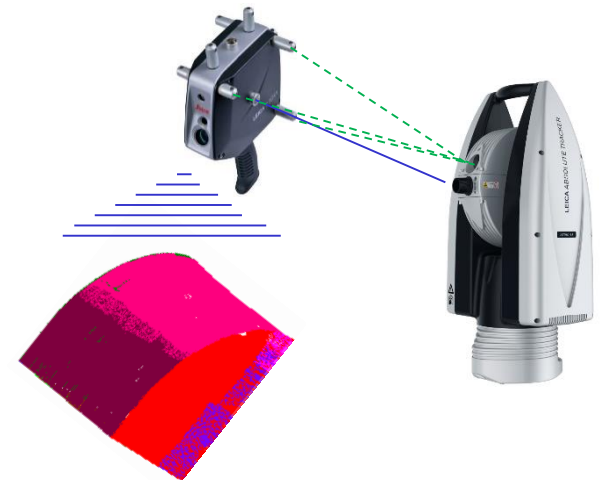
www.zf-laser.com



www.hexagonmetrology.de

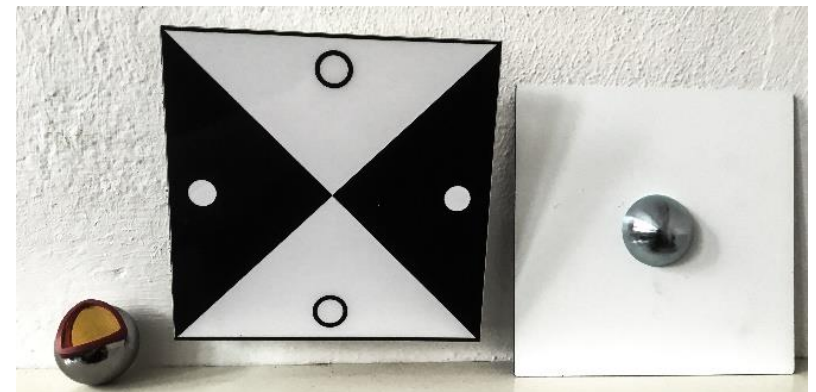


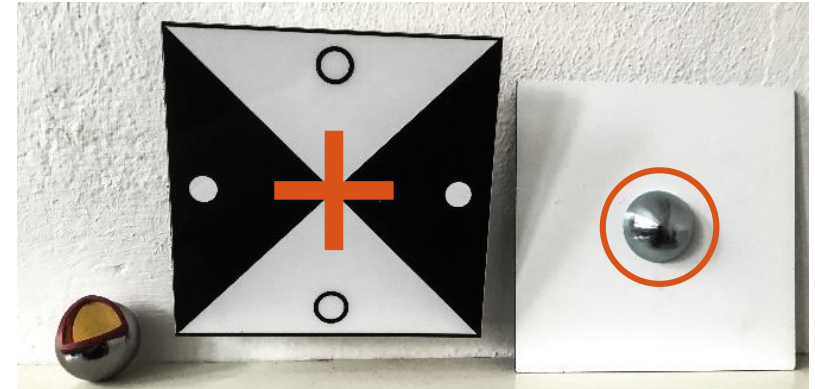
- Bestimmung der 6-DoF (Degrees of Freedom) der T-Scan über Distanzmessung und T-Cam durch den Lasertracker
- Einscannen der Objektgeometrien mit der T-Scan
- Leica AT960-LR:
 - Winkelgenauigkeit $\pm 15 \mu\text{m} + 6 \mu\text{m/m}$
 - Distanzgenauigkeit AIFM $\pm 0.5 \mu\text{m/m}$
- Leica T-Scan5:
 - Messunsicherheit Planflächen UP = $\pm 80 \mu\text{m} + 3 \mu\text{m/m}$
[Datenblatt Hexagon]



→ Hochgenaue Punktwolken im Koordinatensystem des Lasertrackers respektive im Referenzfestpunktfeld

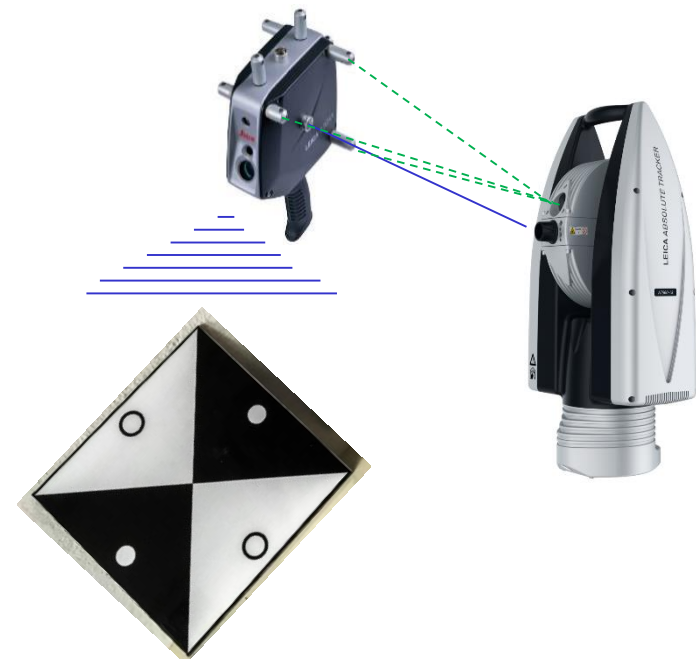
- „Nester“ als Aufnahme für Corner Cube Reflektoren (CRRs) und Zieltafeln
- CCRs: Lasertrackermessungen zur hochgenauen Bestimmung des Referenzfestpunktfeldes bzw. Stationierung
- Flächenhafte Zieltafeln: getrennte / kombinierte photogrammetrische sowie statische und kinematische Laserscannermessungen



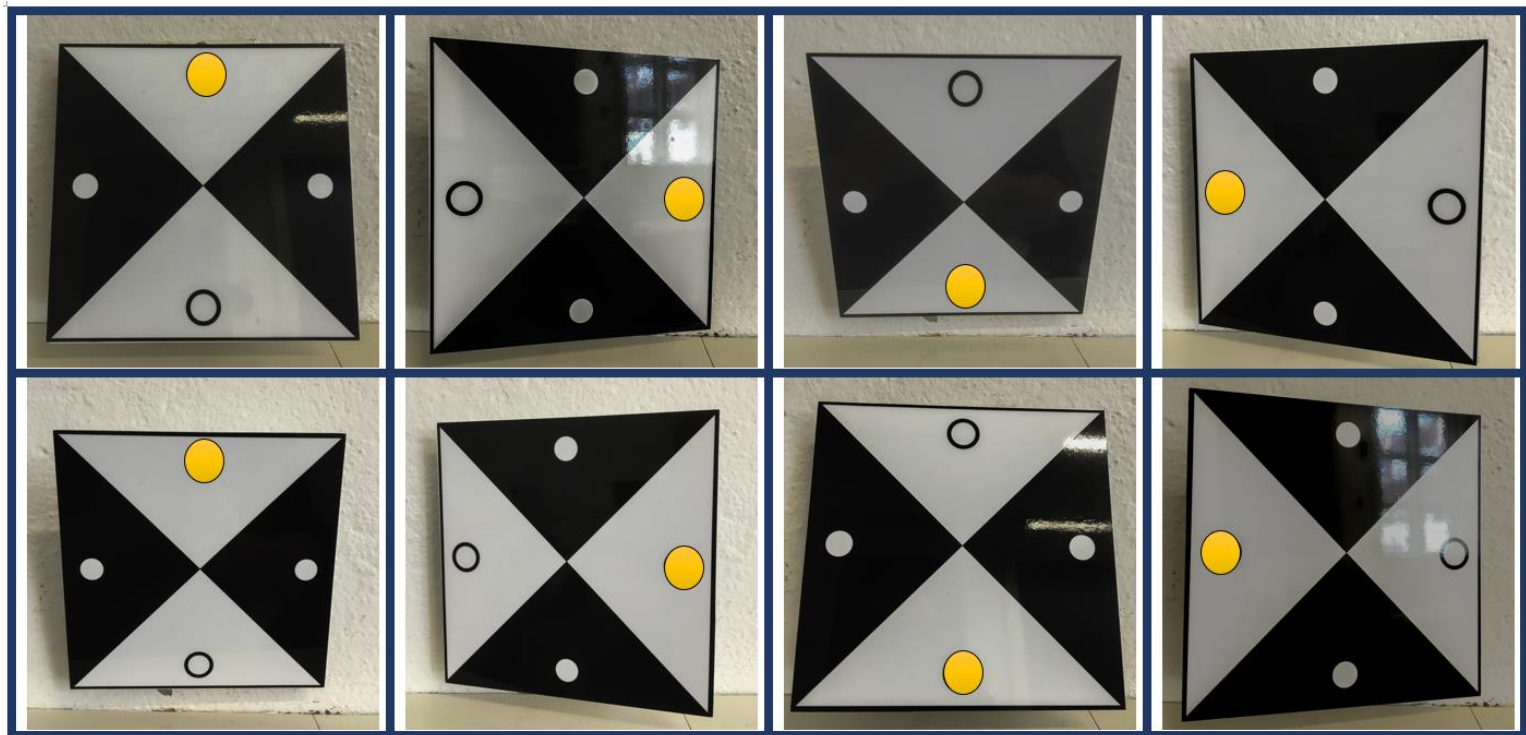


- Kalibrierung der Zieltafeln
 - Zentrum Zieltafeln = Zentrum CCR?
 - Radius Zentrum Zieltafeln = Radius CCR?
- Referenzierung der zu überprüfenden Sensoren im Referenzfestpunktfeld

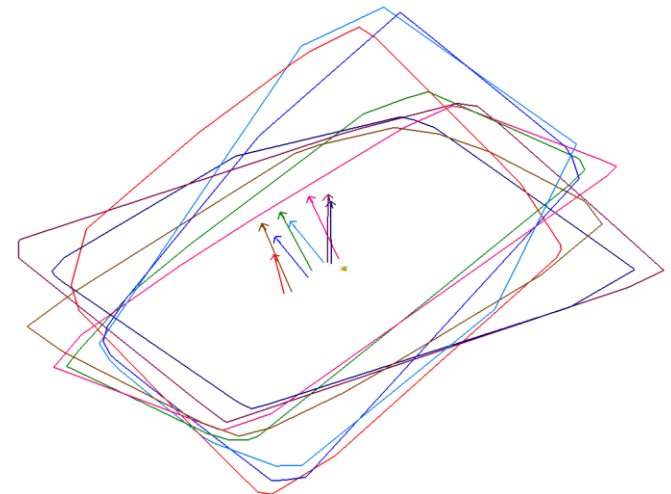
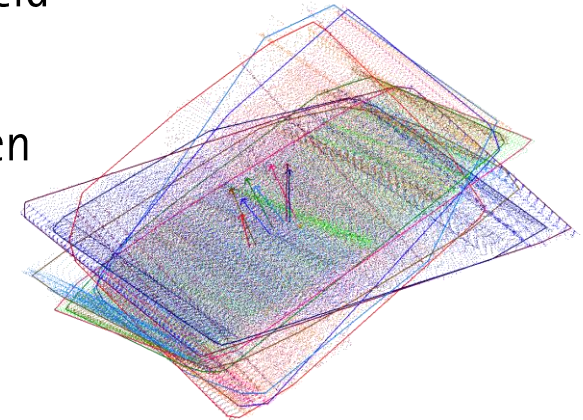
- Kalibrierung der Zielzeichen mit Leica AT960-LR & T-Scan 5 unter Nutzung von SpatialAnalyzer für Erfassung und Analyse
- 1. Schritt: Bestimmung des Zieltafelzentrums

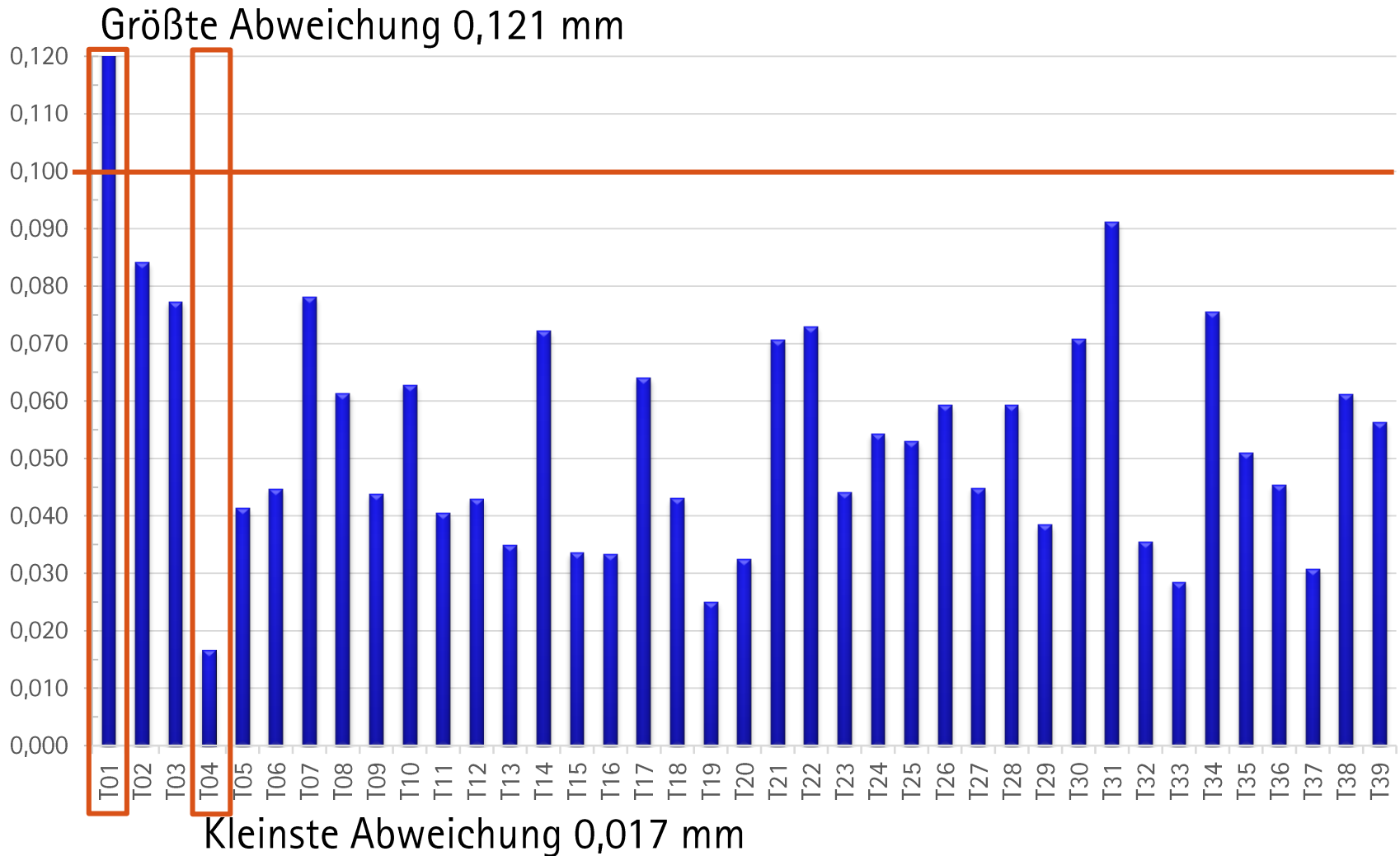


- Voraussetzung: Stationierung im Referenzfestpunktfeld
- Bestimmung des Zieltafelzentrums (für 39 Zieltafeln)
- Verkippung und Drehung der Zieltafeln in 8 Positionen

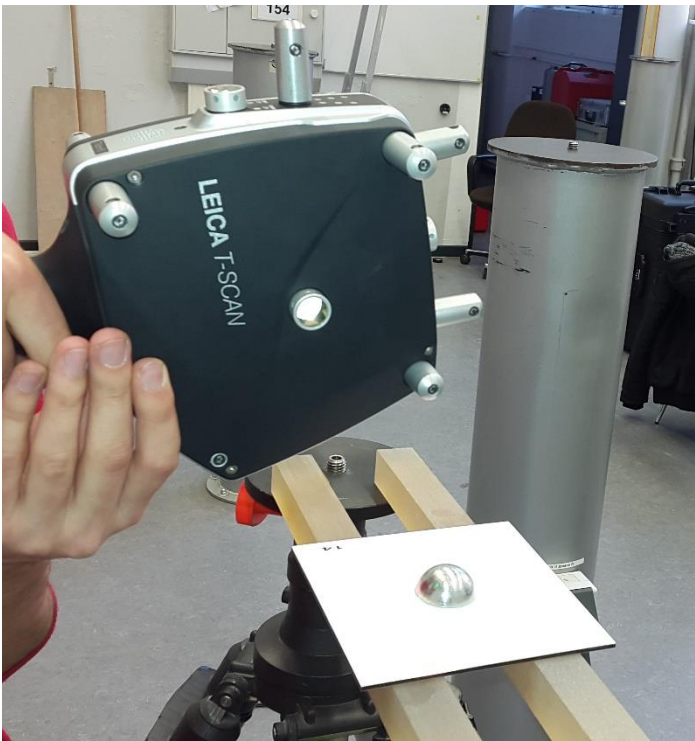


- Voraussetzung: Stationierung im Referenzfestpunktfeld
- Bestimmung des Zieltafelzentrums (für 39 Zieltafeln)
- Verkippung und Drehung der Zieltafeln in 8 Positionen
- Scan und Schätzung von 8 Ebenen
- Berechnung der Schnittpunkte
- Vergleich mit Sollkoordinaten





- 2. Schritt: Bestimmung des Radius

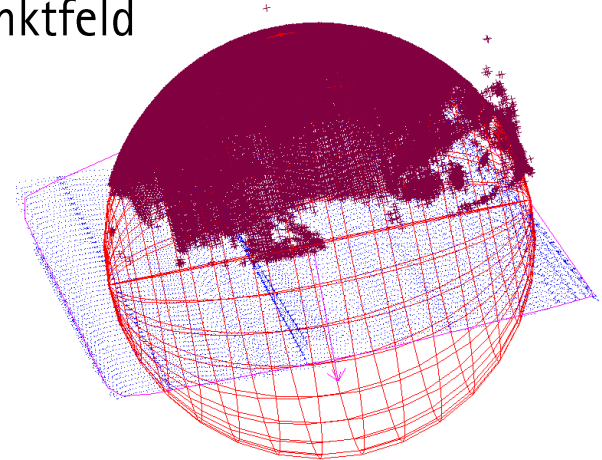


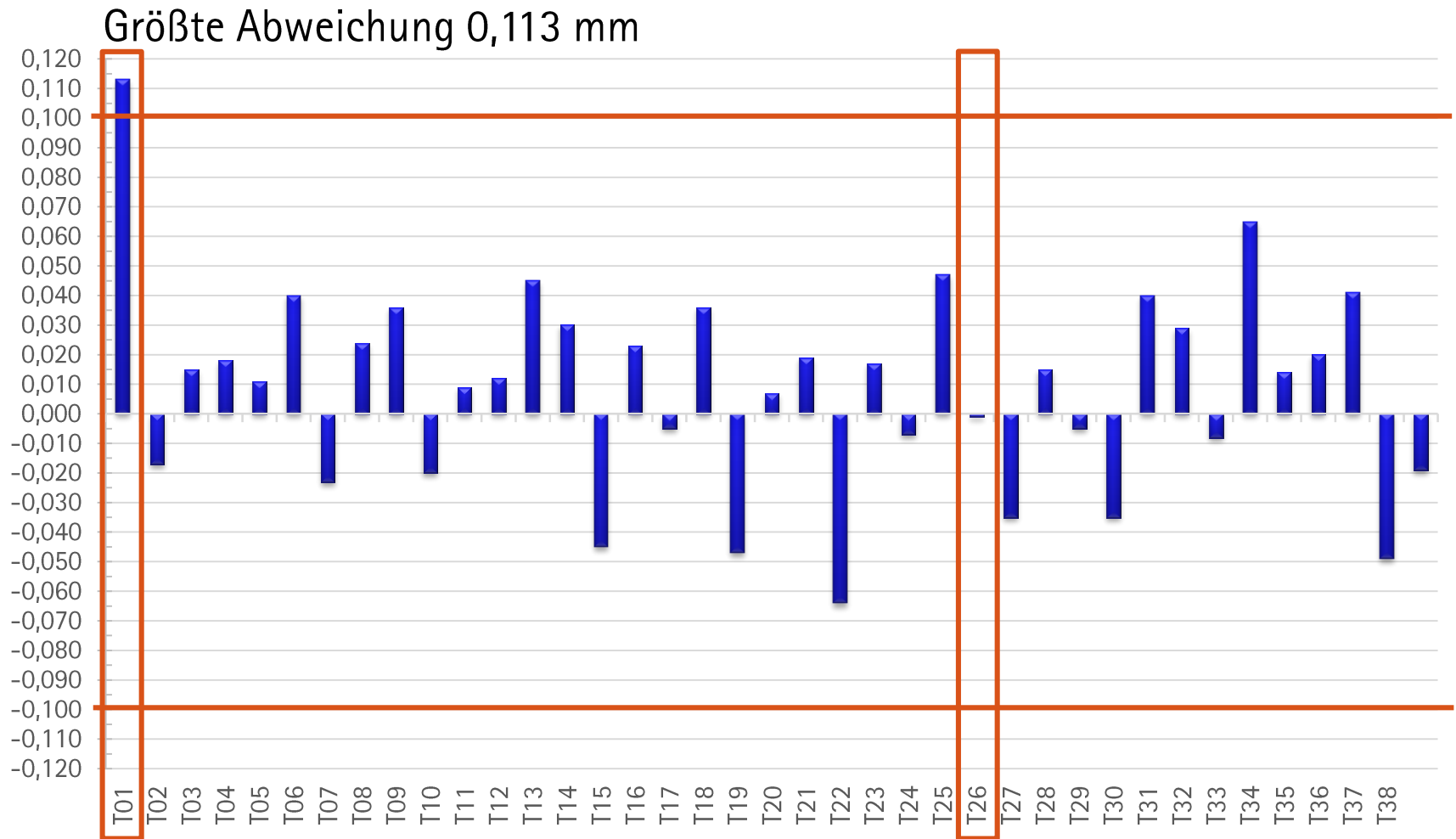
- Voraussetzung: Stationierung im Referenzfestpunktfeld
- Bestimmung des Radius (für 39 Zieltafeln)

- Scan der Rückseite (Kugel)
- Schätzung Kugelmittelpunkt

- Scan der Vorderseite (Ebene)
- Schätzung der Ebene

- Berechnung Abstand Mittelpunkt Kugel zu Ebene und Vergleich mit Sollradius CCR





Kleinste Abweichung -0,001 mm



- Leica AT960-LR & Leica T-Scan 5
 - Alle Referenzgeometrien und Installationen (Rohre, Kabelkanäle, ...)
 - Arbeitsaufwand: 50 Stunden (2 Personen)

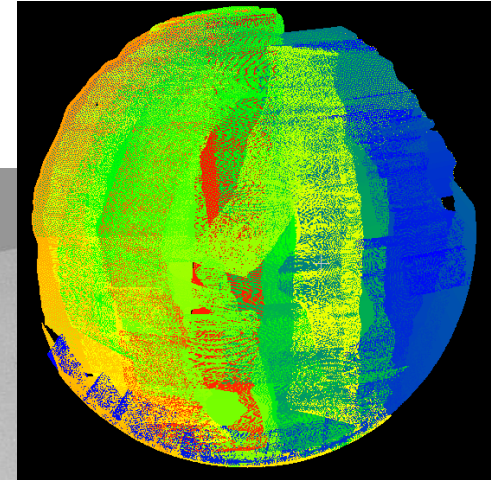
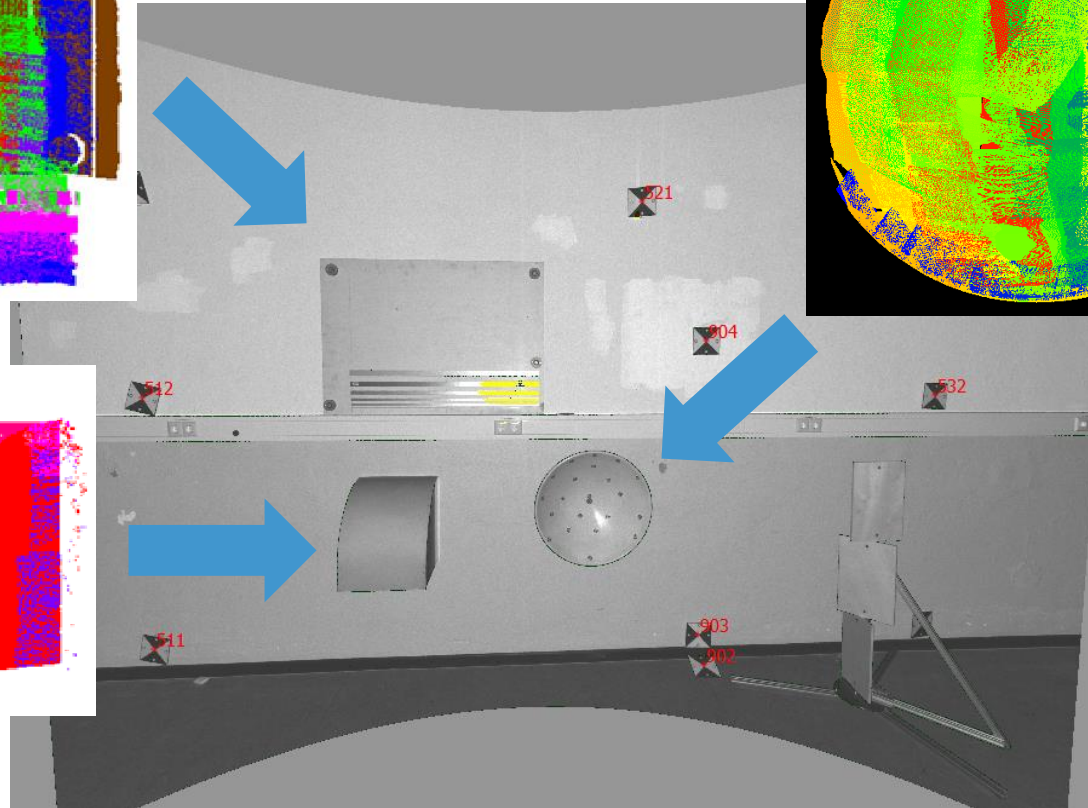
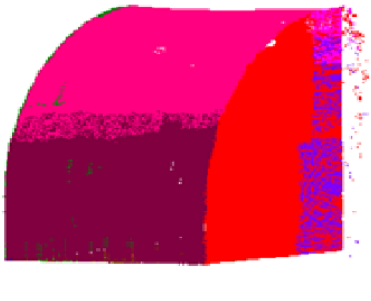
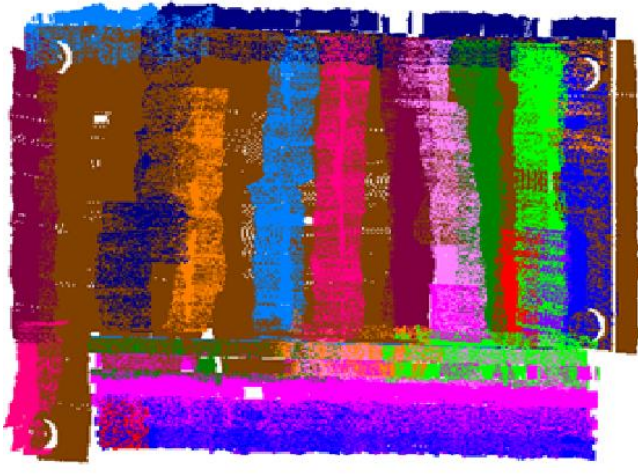
→ Hochgenaue Referenzpunktwolken

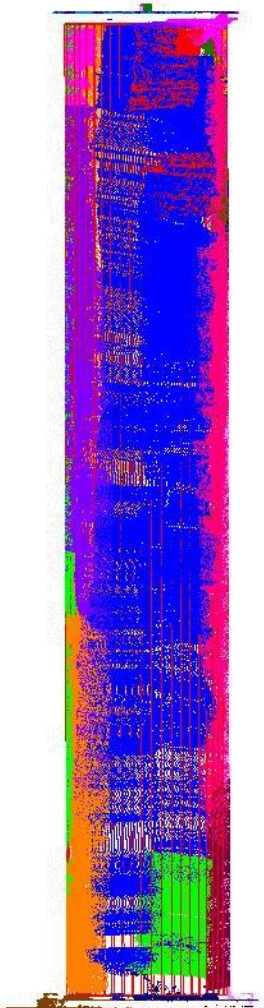
- Z+F Imager 5006
 - 35 Komplet- und Detailscans
 - Registrierung und Referenzierung über die kalibrierten Zielzeichen

- Auswertung mit
 - Cyclone (Leica)
 - SpatialAnalyzer (New River Kinematics)
 - CloudCompare (Open Source, Freeware)

- Verfahren
 - Parametrischer Vergleich geschätzter Geometrien
 - Berechnung Punktwolke-zu-Punktwolke Distanzen

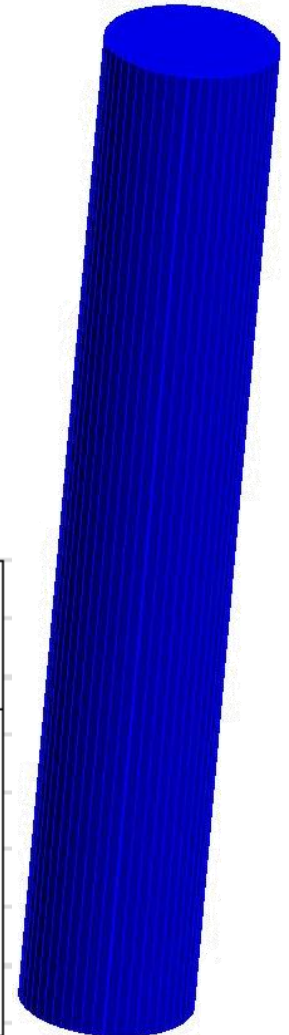
Referenzgeometrien Quader/ gekrümmte Oberfläche/ Paraboloid





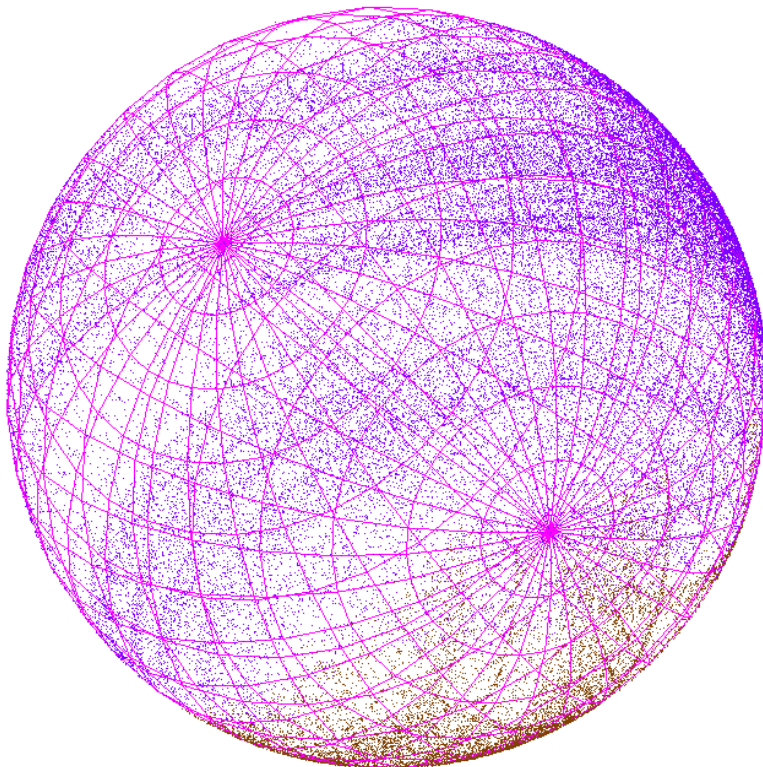
- Messung mit T-Scan
- 85 Millionen Punkte
- Zylinderschätzung mit SpatialAnalyzer
- Durchmesser 219.779 mm

Zylinder			
Target 21 513::Fitted Zylinder			
	X	Y	Z
Start (mm)	11084.469	11151.075	10.000
Ende (mm)	11066.951	11151.988	1328.231
Richtung (mm)	-0.013287	0.000692	0.999911
Proj. Winkel (Grad)	Rx von Y 89.9603	Ry von Z 359.2387	Rz von X 177.0181
Radius (mm)	109.889	Durchmesser (mm)	
Längen (mm)	1318.348	219.779	



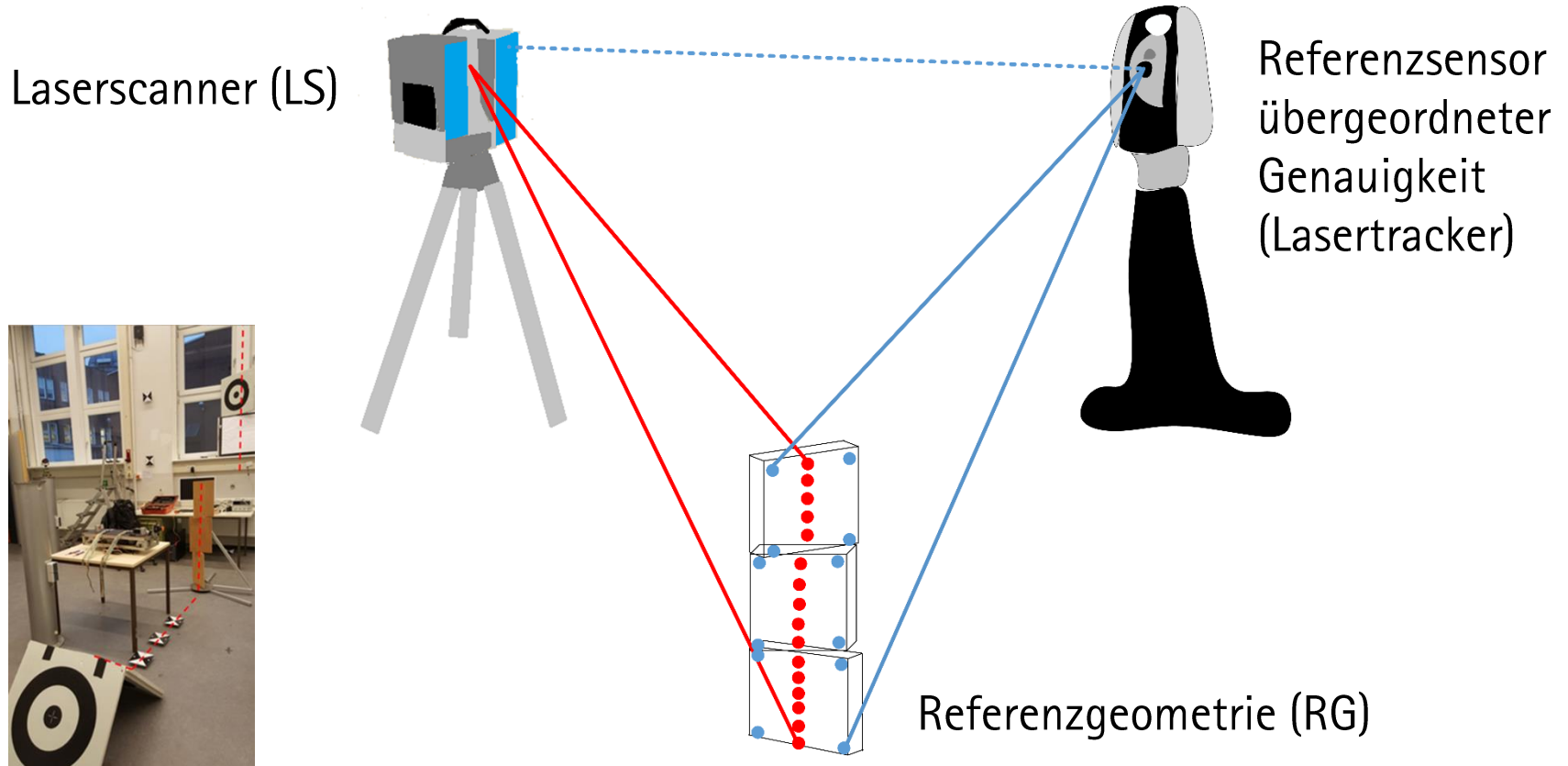
Referenzgeometrie T-Scan-Kalibrierkugel

Messung mit T-Scan (Sollradius = 25.0 mm)



Kugel - (Fit) Angl. Ergebnisse:			
Radius (mm)	24.987	(frei)	
Mittelpunkt (mm)	15004.210	17321.435	1529.099
Prozentualer Anwendungsbereich	76.2500		
STANDARDABW.			
Mittel	0.000	RMS	0.021
Magnitude			
Max	0.051	Min	0.000
signiert			
Max	0.050	Min	-0.051
Total Number	399248		
Innerh. Toleranz	398700		
Außerhalb der Toleranz	548		
Toleranz	0.050		
Setzen aller Offsets auf		Außenseite gemessen.	
		0.000	
106046 points ignored (unchecked) in fit.			

Räumliche Referenzierung (Registrierung in einem MSS) Positionsbestimmung des Laserscanners im Bodyframe

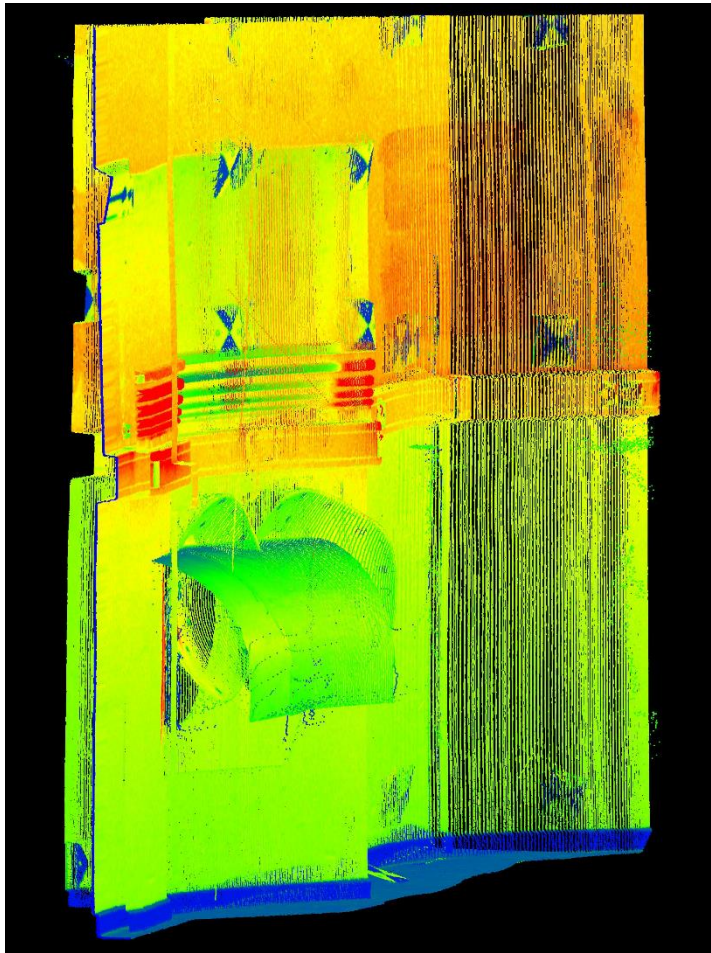


Strübing, T.& Neumann, I. (2013): Positions- und Orientierungsschätzung von LIDAR-Sensoren auf Multisensorplattformen. In: zfv 138 (3), S. 210–221.



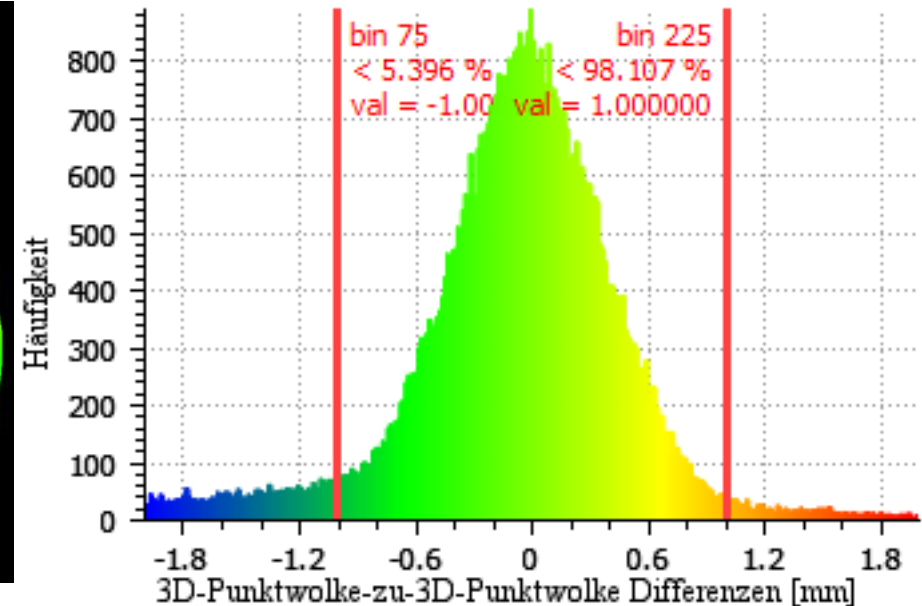
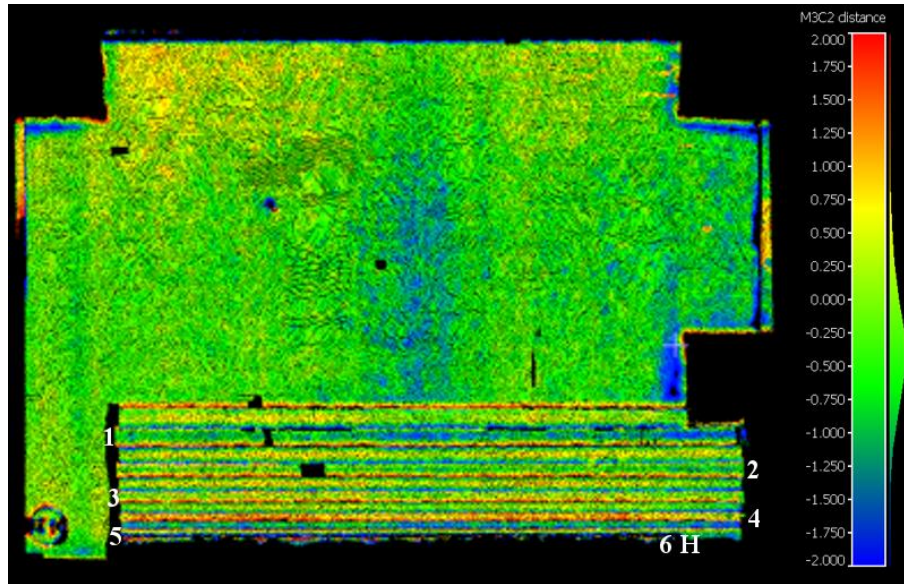
Hartmann, J; Paffenholz, J.-A.; Strübing, T.; Neumann, I.: Determination of position and orientation of lidar-sensors on multi-sensor platforms. Proceedings of the 9th International Symposium on Mobile Mapping Technology (MMT 2015), Sydney, Dec 9-11, 2015, p. 8 .

Hochgenaues kinematisches Laserscanning Ergebnisse für Referenzgeometrien Wandausschnitt



Räumliche
& zeitliche
Referen-
zierung





- 3D-Punktwolke-zu-3D-Punktwolke (Cloud2Cloud) Differenzen [mm] der Referenzgeometrie Q zwischen dem k-TLS basierten MSS und der Referenzmessung mit der Leica T-Scan mit einer Streuung von ± 2 mm.

Paffenholz, J.-A.; Alkhatib, H.; Stenz, U.; Neumann, I.: Aspekte der Qualitätssicherung von Multi-Sensor-Systemen. Akzeptierter Beitrag für Allgemeine Vermessungsnachrichten.

Lastinduzierte Verformungsmessung am Beispiel einer Gewölbebrücke

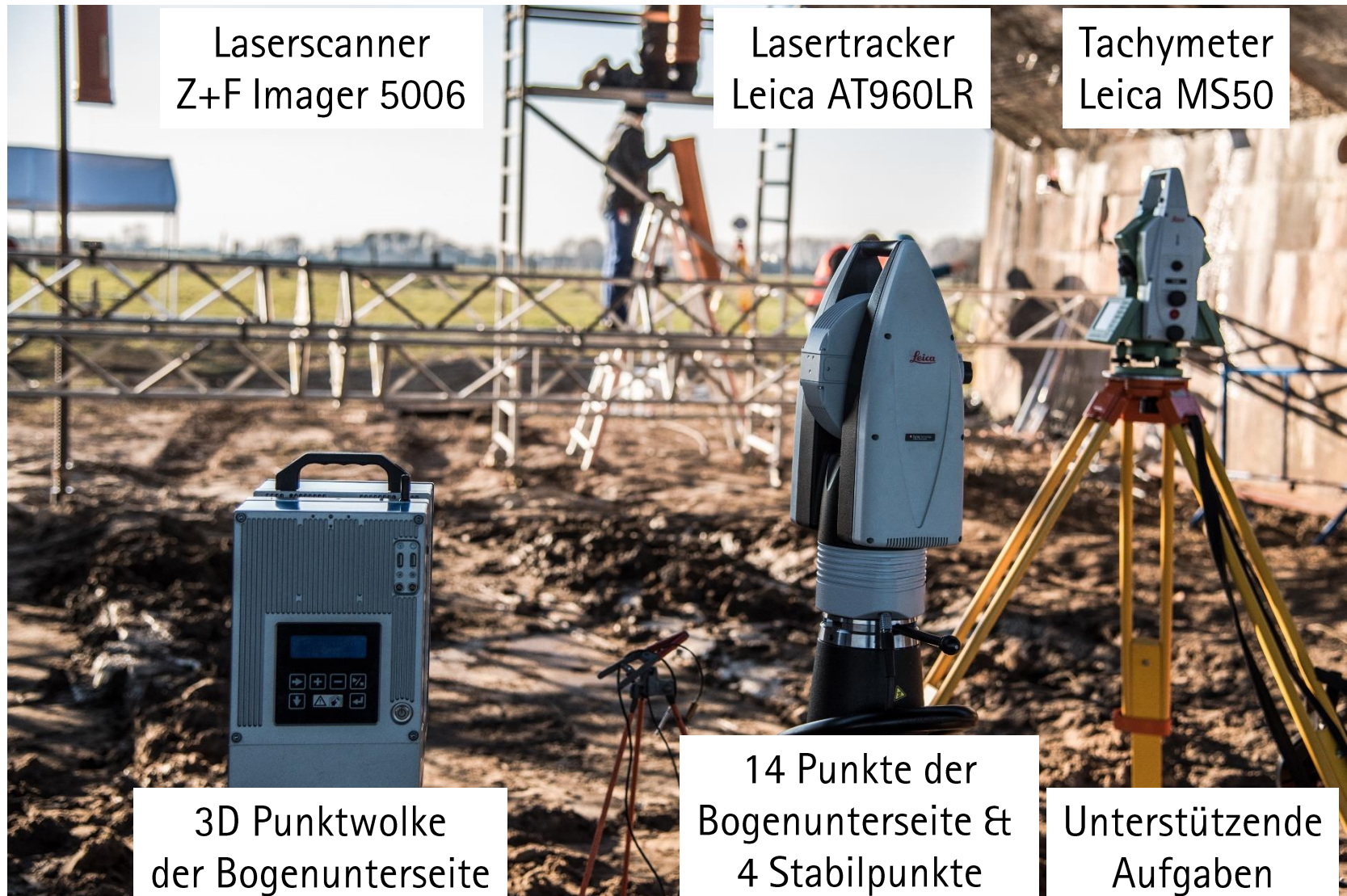


Weiterführende Informationen sowie geplante Publikationen zum Thema



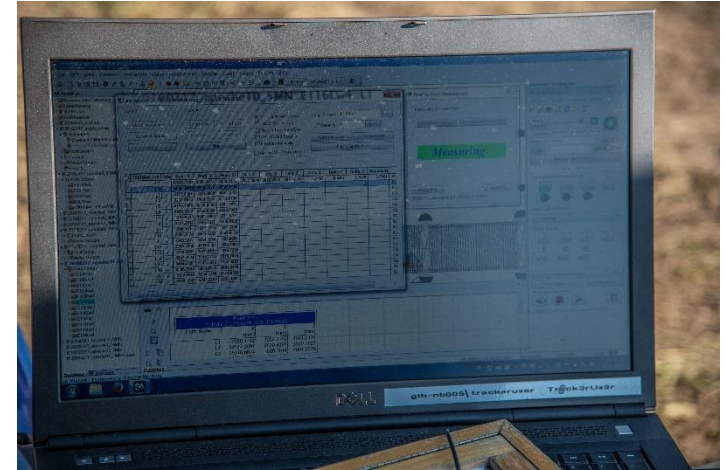
Schacht, G.; Piehler, J.; Marx, S.; Müller, J.: Belastungsversuche an einer historischen Eisenbahn-Gewölbebrücke. Manuskript eines Fachaufsatz/Bericht für Bautechnik.

Eingesetzte Sensorik und deren Standpunkte





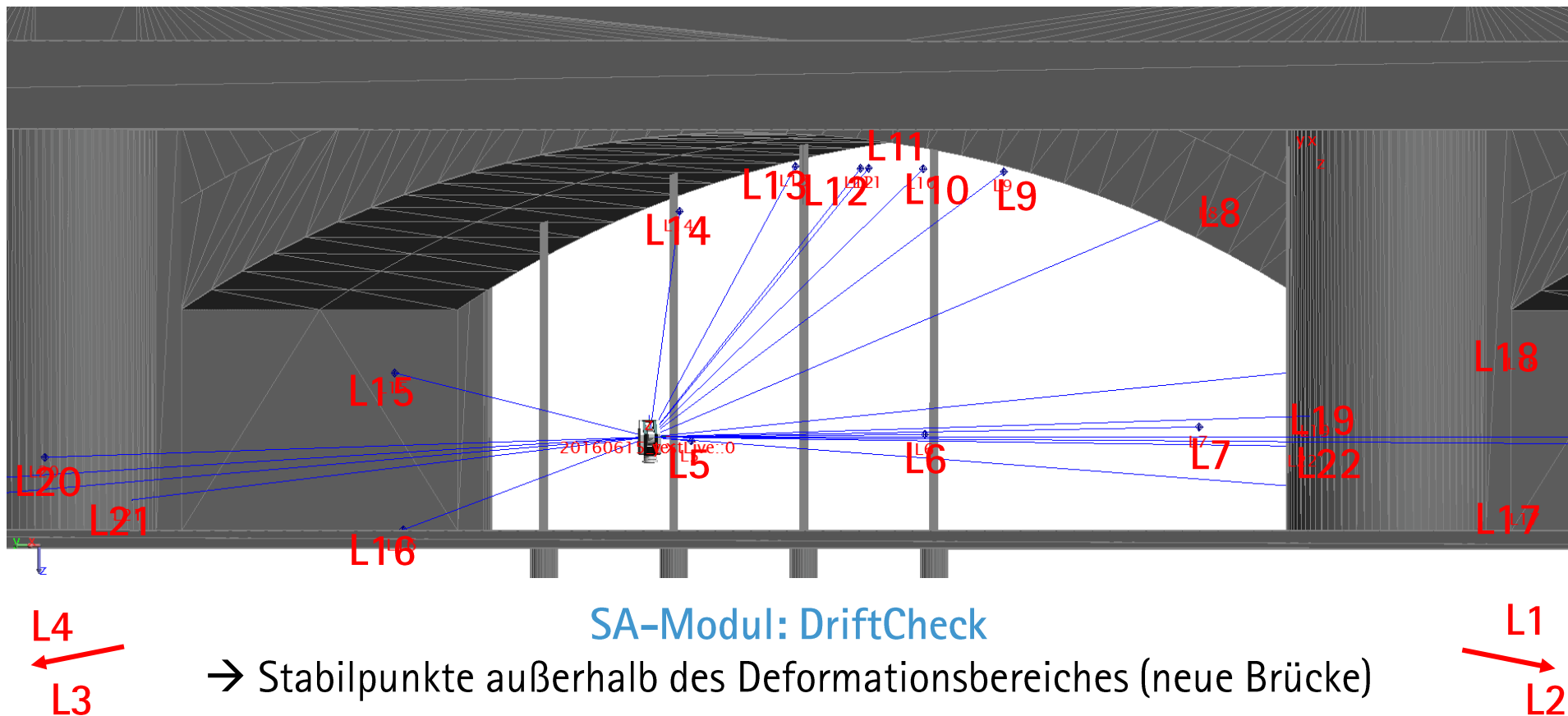
- Laserscanner
 - Reine Datenerfassung
 - Scandauer je 7 Minuten während konstanter Last
 - Auswertung im post-processing



- Lasertracker
 - Datenerfassung mit SA
 - 20 CCRs in 2 Minuten
 - 3-5 Wiederholungen pro Laststufe
 - CCR in L14 mit 1 Hz während Be- und Entlastung
 - in-situ Auswertung mit SA



SA-Import eines CAD-Modells der Brücke zur Orientierung und Herstellung des Koordinatenbezugs zum Bauwerk

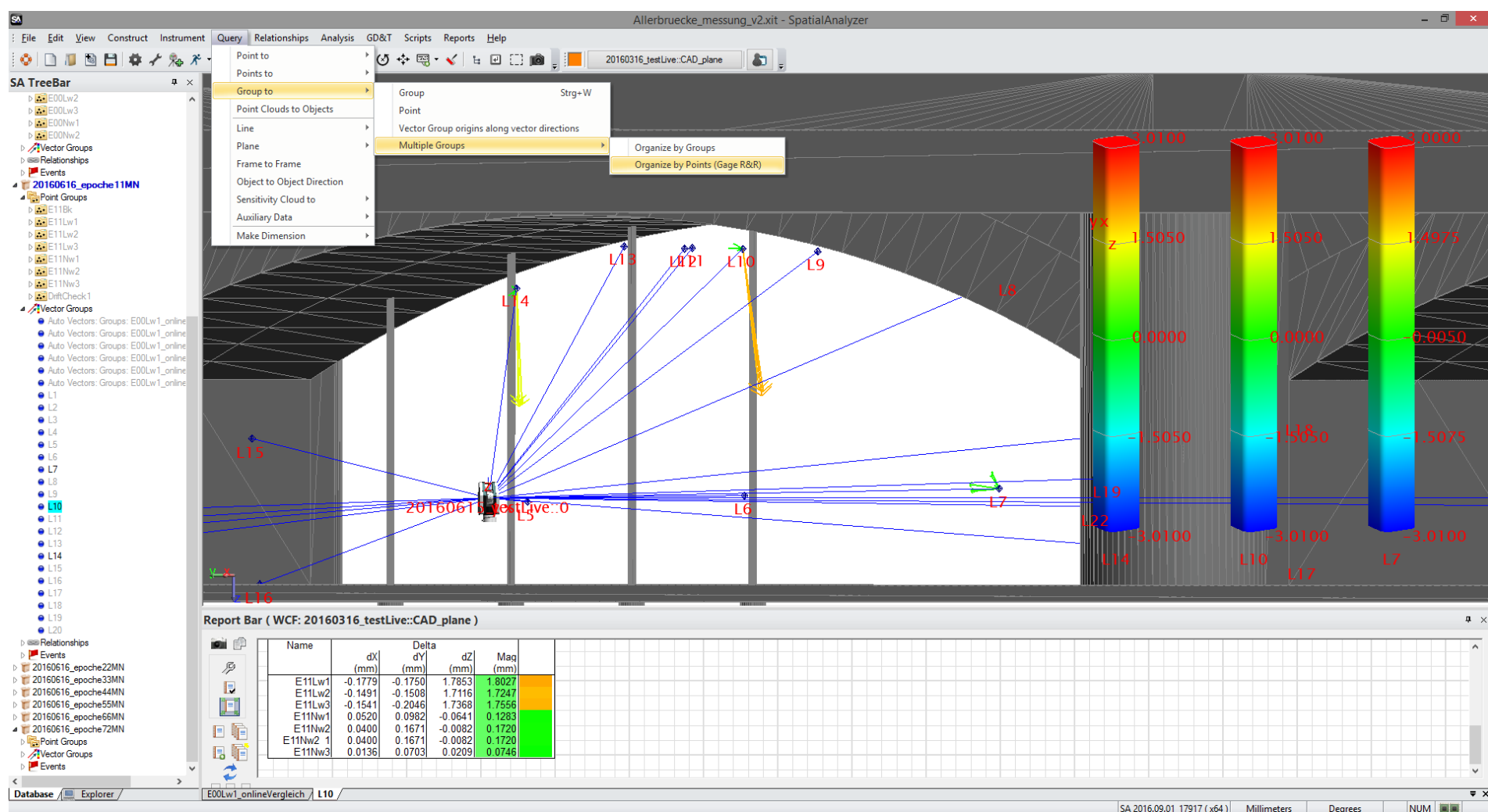


- L1-L4: Stabilpunkte außerhalb des Deformationsbereiches (neue Brücke)
 - Berücksichtigung von Veränderungen des Sensors während der Messung
 - **SA-Modul: DriftCheck** bzw. (3D-Helmert Transformation:
6 Parameter=3 Translationen + 3 Rotationen)
- L5-L7: Messbasis
- L8-L18: Punkte im Brückenbogen
 - Scheitel: L9-L11 (belasteter Teil). L12-L13 (unbelasteter Teil)
 - Belastungsachse: L8, L10, L14
 - Pfeiler: L15-L18
- L19-L20: Kontroll(Stabil)punkte an Pfeilern der unbelasteten Bogenseite

MP: Z:\publications\201611_sa-projekt\dialog\Allerbruecke_real_v2.mp *

MP Search:

0	Set Interaction Mode		
1	Make a Collection Instrument ID - Runtime Select <Instrument auswählen>		
2	Get Instrument Weather Setting <Check, ist das Instrument bereits verbunden oder nicht>		
3	Step Status Test		
4	Ask for User Decision from Strings		
5	String Comparison		
6	Start Instrument Interface		
7	Get Instrument Model		
8	String Comparison <Leica AT960/930>		
9	Load Instrument Configuration		
10	String Comparison <Faro Vantage>		
11	Load Instrument Configuration		
12	String Comparison <Faro Tracker>		
13	Load Instrument Configuration		
14	String Comparison <Faro Tracker>		
15	Load Instrument Configuration		
16	String Comparison <Leica emScon AT402>		
17	Load Instrument Configuration		
18	Make a Collection Object Name - Runtime Select <Auswahl der Referenzepeche bzw. der zubeobachtenden Punkte>		
19	Make Strings from a Collection Object Name		
20	Ask for String		
	Epochen-/Laststufenname eingeben (20160617_epoche#_#MN)	Enter Value	Epochen-/Laststufenname eingeben (20160617_epoche#_#MN)
A0	String	Enter Value	FALSE
A1	Boolean	Enter Value	20160617_epoche#_#MN
A2	String	Enter Value	MS Shell Dlg: 8
A3	Font Type	Enter Value	-1
A4	Step ID	Enter Value	
A5	String	Result Only	Result Only
21	Collection Existence Test		
22	Construct Collection		
23	Jump To Step		
24	Set (or construct) default collection		
25	Get Active Collection Name		
26	Ask for Integer <Anzahl der Wiederholungen>		
27	Ask for User Decision from Strings		
	Kontinuierliche/dynamische Messung eines diskreten Punktes während Belastung	Enter Value	Kontinuierliche Dauermessung auf L14 (Temporal Scan)
A0	Edit Text	Enter Value	MS Shell Dlg: 16
A1	Font Type	Enter Value	YES
A2	String	Enter Value	NO
A3	String	Enter Value	
A4	String	Enter Value	
A5	Step ID	Enter Value	-1
A6	String	Result Only	Result Only
28	String Comparison		
29	Make a Point Name - Runtime Select		
30	Ask for String		
	Name Punktgruppe für Belastung (kontinuierliche Messung von L14) (E##Bk) #1=Epoche #2=Last	Enter Value	Name Punktgruppe für Belastung (kontinuierliche Messung von L14) (E##Bk) #1=Epoche #2=Last
A0	String	Enter Value	FALSE
A1	Boolean	Enter Value	E##Bk
A2	String	Enter Value	MS Shell Dlg: 8
A3	Font Type	Enter Value	-1
A4	Step ID	Enter Value	
A5	String	Result Only	Result Only
31	Make Strings from a Point Name		



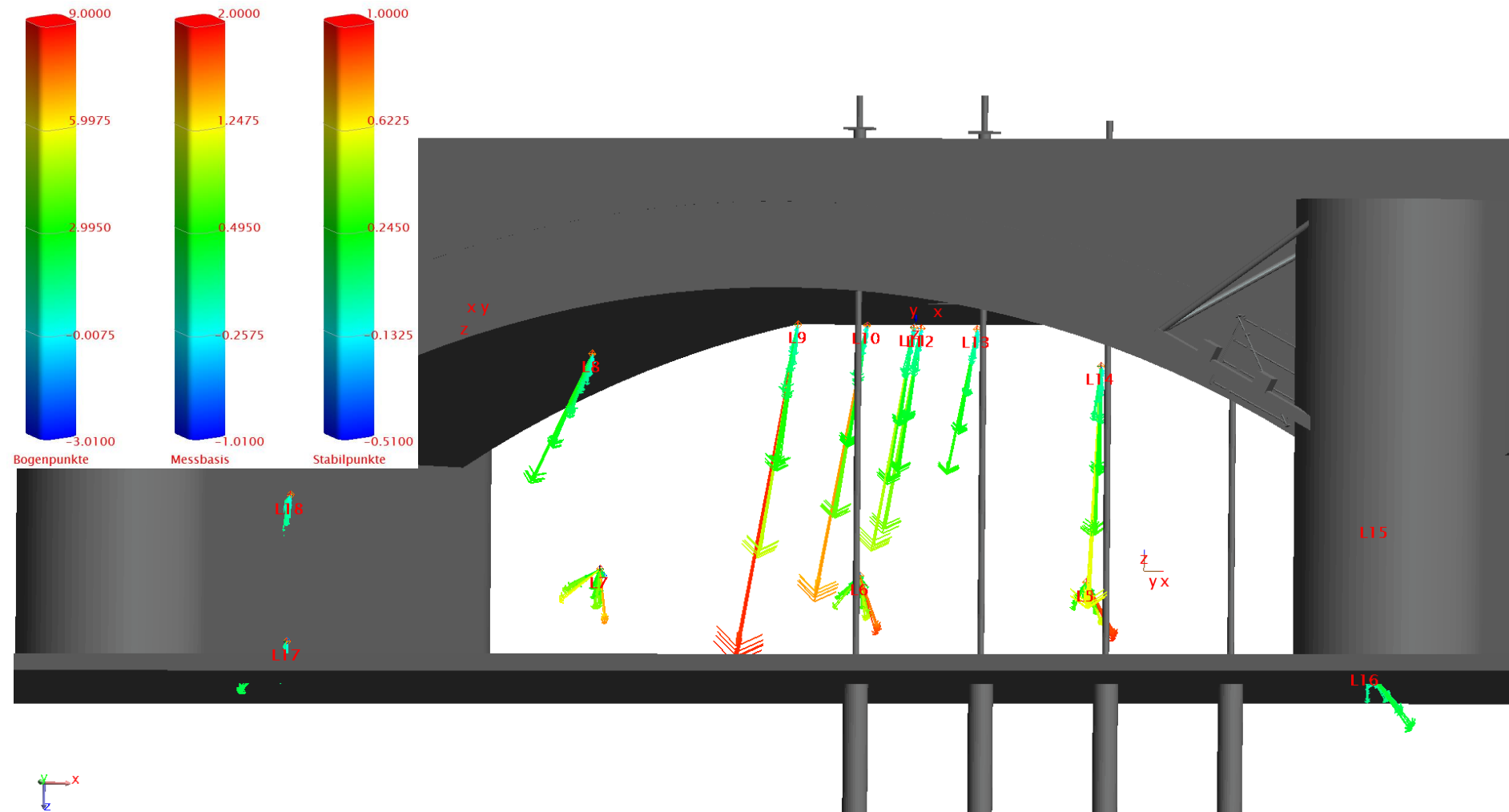
Ergebnisse Versuch 1 (März 2016)

Vergleich Grundlastniveau von 0.1 MN mit 4 MN

Punkt		3D Verschiebung [mm]			
		1 MN	2 MN	3 MN	4 MN
Messbasis	L5	0.3	0.7	1.2	1.7
Messbasis	L6	0.3	0.7	1.1	1.6
Messbasis	L7	0.4	0.7	1.0	1.3
Belastungsachse	L8	0.7	1.5	2.3	3.3
Scheitel (belastet)	L9	1.6	3.4	5.5	8.0
Belastungsachse	L10	1.4	2.8	4.6	6.5
Scheitel (belastet)	L11	1.0	2.2	3.7	5.3
Scheitel (unbelastet)	L12	1.0	2.2	3.5	5.0
Scheitel (unbelastet)	L13	0.8	1.6	2.5	3.6
Belastungsachse	L14	1.3	2.5	4	5.8

Ergebnisse Versuch 1 (März 2016)

Vergleich Grundlastniveau von 0.1 MN mit 4 MN



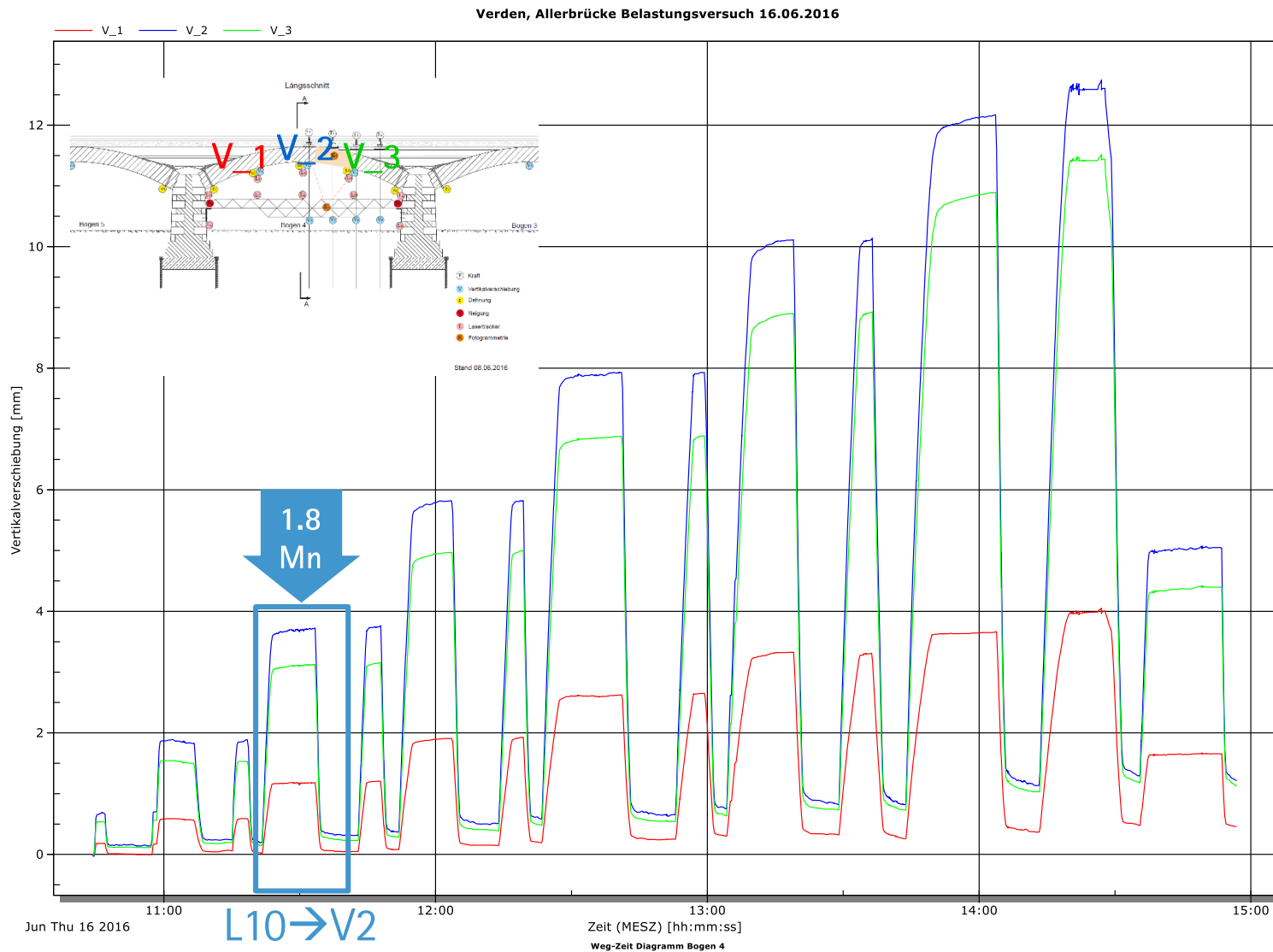
Ergebnisse Versuch 2 (Juli 2016)

Vergleich Grundlastniveau von 0.1 MN mit ~1.8 MN

Punkt		Belastung~1.8MN [mm]			
		dx	dy	dz	Mag
Messbasis	L5	-0.1	0.7	0.5	0.9
Messbasis	L6	-0.1	0.8	0.4	0.9
Messbasis	L7	-0.1	0.8	0.3	0.9
Belastungsachse	L8	-0.4	-0.7	1.4	1.6
Scheitel (belastet)	L9	-0.5	-0.6	4.8	4.9
Belastungsachse	L10	-0.5	-0.5	3.9	4.0
Scheitel (belastet)	L11	-0.5	-0.4	3.2	3.3
Scheitel (unbelastet)	L12	-0.3	-0.4	2.8	2.8
Scheitel (unbelastet)	L13	-0.4	-0.2	1.8	1.8
Belastungsachse	L14	-0.5	0.0	3.3	3.3

Vergleichsdaten Versuch 2 des IBW¹

Vertikalverschiebungen [mm]



SA am Geodätischen Institut der Leibniz Universität Hannover: *Referenzmessungen bis Monitoring*

- Vielfältiger Einsatz moderner Sensorik und Auswertesoftware
 - Forschung und Lehre:
 - Schaffung von Referenzdaten
 - Kalibrierung unterschiedlicher Sensoren
 - Geometrie- und Formüberprüfung
 - Forschung:
 - Verfolgung kinematischer Objekte/ Plattformen
 - Lastinduzierte Verformungsmessungen

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.

SA am Geodätischen Institut der Leibniz Universität Hannover: *Referenzmessungen bis Monitoring*



Dr.-Ing. Jens-André Paffenholz, Johannes Bureick, M.Sc., Dipl.-Ing. Jens Hartmann, Johannes Link,
B.Eng., Dipl.-Ing. Ulrich Stenz, Janetta Wodniok, M.Sc., Prof. Dr.-Ing. Ingo Neumann

Geodätisches Institut, Leibniz Universität Hannover

AG TLS-basierte Multi-Sensor-Systeme

paffenholz@gih.uni-hannover.de | www.gih.uni-hannover.de