



HCU

HafenCity Universität
Hamburg

Universität für Baukunst
und Raumentwicklung

HAMBURGS NEUE UNIVERSITÄT
Europas erste Hochschule für die gebaute Umwelt

Klaus Mechelke

**Prüfverfahren für terrestrische Laserscanner
an der HCU Hamburg**

Inhalt der Präsentation

- Einführung
- 3D-Testfeld
- Kenngrößenbestimmung
- Streckenmessgenauigkeit
- Fazit



Einführung

- Keine Standards für Untersuchungs- & Prüfverfahren
- VDI/VDE 2634, Bl. II und III
- Kenngrößenbestimmung nach Heister (2006) und Kern (2008)
- Feldprüfverfahren nach Gottwald/Tüxsen (2008), Wehmann (2008)
- HCU: Genauigkeitsuntersuchungen seit 2004



3D-Testfeld

- Untersuchung 3D-Genauigkeit in Anlehnung an VDI/VDE 2634 Bl. 3
- Bestimmung diverser Kenngrößen nach Heister und Kern
- Testfeld in Halle D: Messvolumen $30 \times 20 \times 12 \text{m}^3$, $d = 3,3 \text{m}$ bis $32,0 \text{m}$
- Testfeld mit bis zu 53 Referenzpunkten, 3D-Genauigkeit $< 1 \text{mm}$



3D-Testfeld

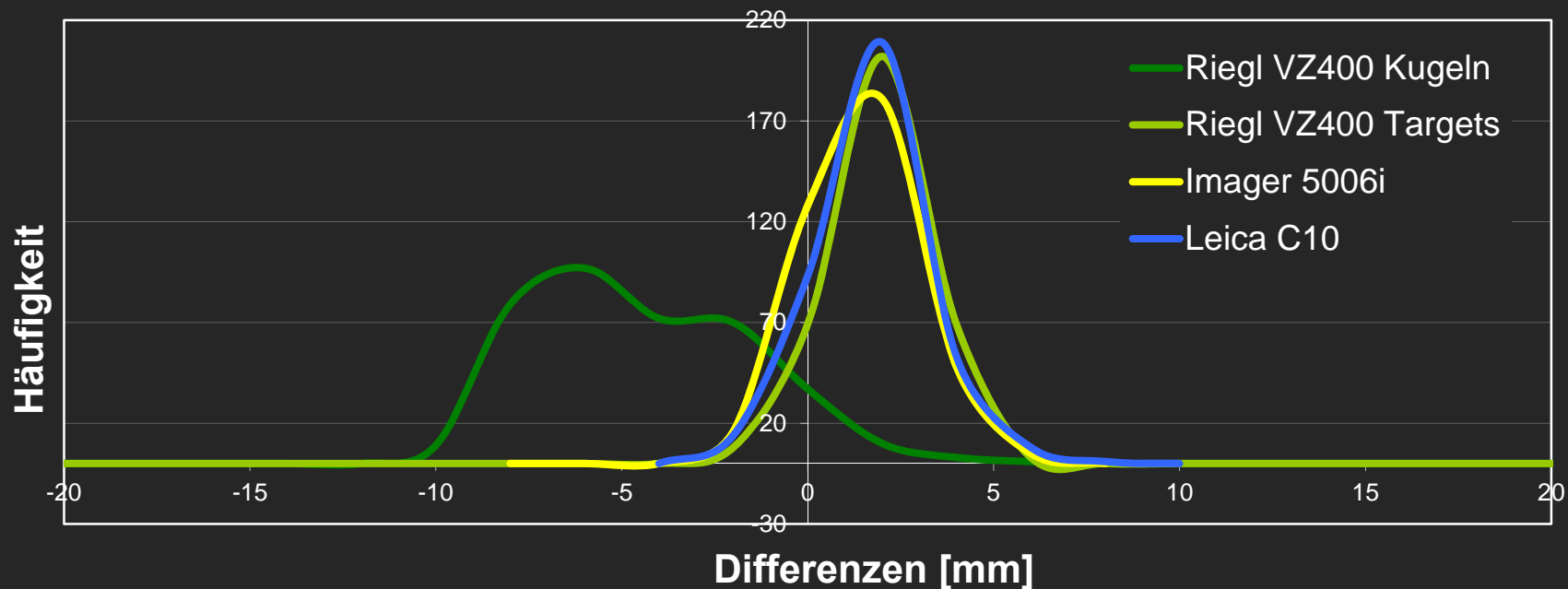
- Scanning von Kugeln (199mm) & Targets mit div. Scannern auf 5 Standpunkten auf verschiedenen Ebenen
- Registrierung der Scannerstandpunkte mit RealWorks Survey (Transformation in ein gemeinsames lokales Koordinatensystem)
- Berechnung der Strecken zwischen den Referenzpunkten in allen Kombinationen im Scanner- und im Referenzsystem (korreliert)
- 3D-Streckenvergleich (Soll/Ist) gemäß VDI/VDE 2634 III - Differenzen = Winkel- und Streckenmessfehler, Kugel-Fitting, Zentrierfehler



3D-Testfeld

- Soll-Ist Vergleich der Raumstrecken zwischen den Referenzpunkten, alle Stationen registriert, alle Strecken verwendet

Scanner	# 3D-Punkte	# Strecken	Δl_{\min}	Δl_{\max}	Spanne	Shift
Riegl VZ 400 Kugeln	28	378	-11,1	4,4	15,5	-5,4
Riegl VZ 400 Targets	27	351	-3,5	4,8	8,3	1,0
IMAGER 5006i Kugeln	28	378	-3,3	5,4	8,7	0,5
Leica C10 Kugeln	28	378	-3,6	6,1	9,7	0,8



3D-Testfeld

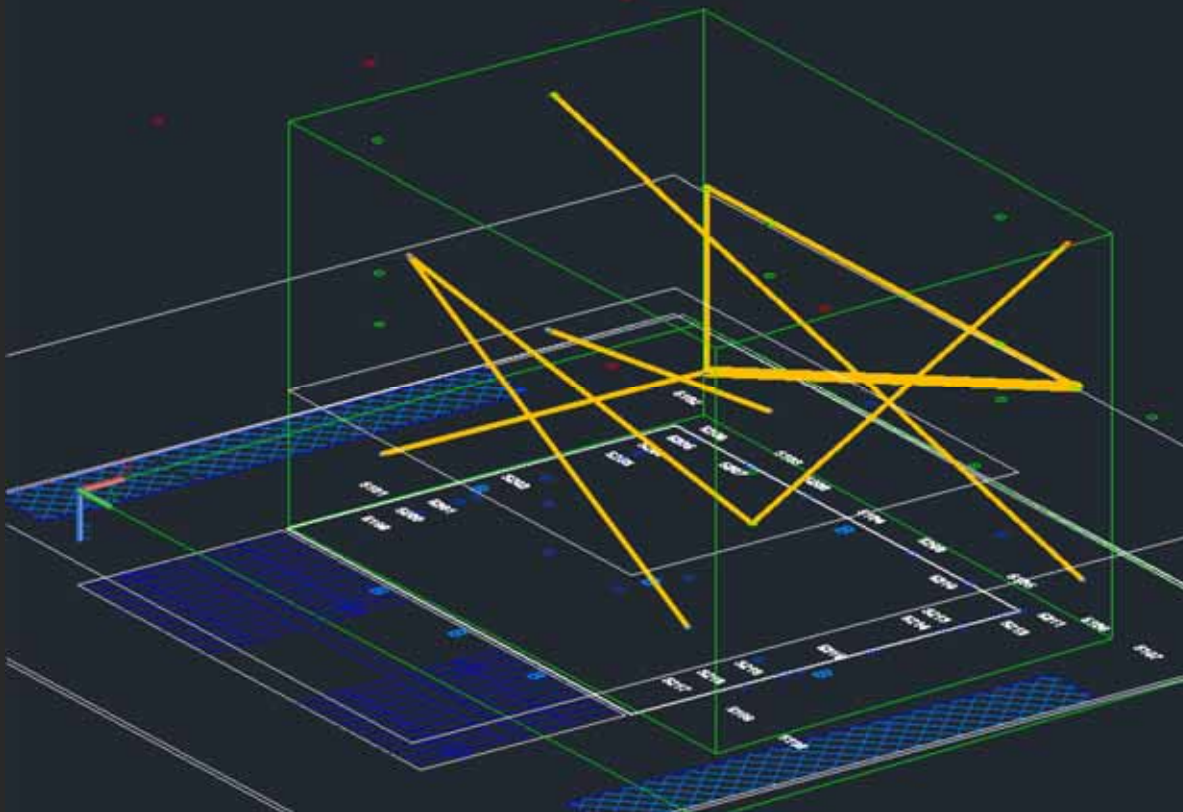
Auswertung nach VDI/VDE 2634

Mittlere Kugelabstandsabweichung

$$\Delta L_i = \frac{1}{7} \sum_{j=1}^7 |\Delta L_j|$$

Abstands-Messunsicherheit

$$u_L = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^7 \Delta L_j^2}{7}}$$



3D-Testfeld

Auswertung nach VDI/VDE 2634

Faro Photon					
von	nach	I_m	I_k	$\Delta L = I_m - I_k$	$ \Delta L $
5001	7101	20,6245	20,6220	2,5	2,5
5101	5108	24,5674	24,5651	2,3	2,3
5102	7107	19,7575	19,7573	0,2	0,2
5105	6203	4,1201	4,1188	1,3	1,3
5208	6108	13,7193	13,7170	2,3	2,3
6102	6103	6,0562	6,0582	-2,0	2,0
6204	7104	11,9004	11,8980	2,4	2,4
mittlere Kugelabstandsabweichung [mm]:				$\Delta L = I_m - I_k =$	1,9
Abstands-Messunsicherheit [mm]:				$u_L =$	2,0

3D-Testfeld

■ Vergleich zu den Ergebnissen 2007 und 2008

	Scanner	Kugel Ø [mm]	# Kugeln	# Strecken	Δl_{\min} [mm]	Δl_{\max} [mm]	Spanne [mm]
2010	Leica C10	199	28	378	-3,6	6,1	9,7
10/2007	Leica ScanStation1	199	29	351	-5,4	6,5	11,9
10/2007	Leica ScanStation2	199	29	351	-5,4	6,5	11,9
04/2007	Leica ScanStation1	145	43	703	-2,3	9,2	11,5



3D-Testfeld

■ Vergleich zu den Ergebnissen 2007 und 2008

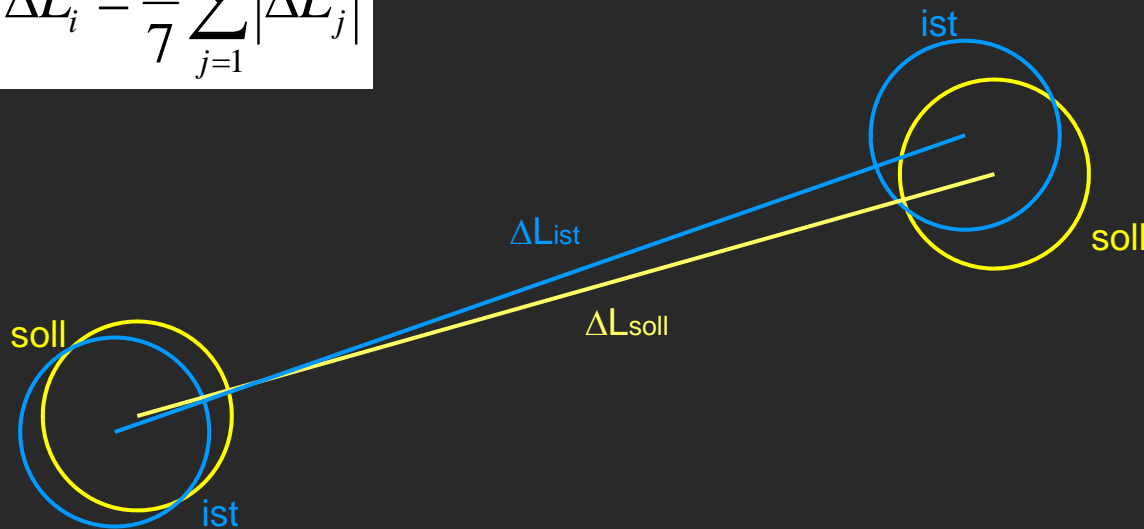
	Scanner	Kugel Ø [mm]	# Kugeln	# Strecken	Δl_{\min} [mm]	Δl_{\max} [mm]	Spanne [mm]
2010	ZF IMAGER 5006i	199	28	378	-3,3	5,4	8,7
09/2008	ZF IMAGER 5006	199	31	465	-5,8	10,3	16,1
10/2007	Leica HDS 6000	199	29	406	-6,7	6,3	13,0
10/2007	ZF IMAGER 5006	199	29	406	-5,7	7,7	13,4
04/2007	ZF IMAGER 5006	145	43	703	-7,4	6,6	14,0



Kenngrößenbestimmung

- Mittlere Kugelabstandsabweichung ΔL (Heister 2006) als Maßtreue, Überprüfung der Rückführbarkeit auf Längennormal

$$\Delta L_i = \frac{1}{7} \sum_{j=1}^7 |\Delta L_j|$$



- **Ausgleichende Kugel mit festem Radius**

Kenngrößenbestimmung

- Kugelfitting in RealWorks Survey mit festem Radius
- Kugelkoordinaten nach Registrierung im ersten Scannerkoordinatensystem & Mittelbildung aller Kugelzentren eines Punktes

- Mittlere Kugelabstandsabweichung ΔL
(Heister 2006)

$$\Delta L_i = \frac{1}{7} \sum_{j=1}^7 |\Delta L_j|$$

- ΔL_1 : Mittel aus 4 Stationen, stationsweise berechnet, 7 Strecken
- ΔL_2 : Alle 4 Stationen registriert, 7 Strecken
- ΔL_3 : Alle 4 Stationen registriert, alle Strecken

Scanner	Kampagne	ΔL_1 [mm]	ΔL_2 [mm]	ΔL_3 [mm]	# Strecken
Riegl VZ 400 (Reflex-Targets)	2010	1,3	0,8	1,4	351
IMAGER 5006i (Kugel)	2010	1,6	1,2	1,2	378
Leica C10 (Kugel)	2010	1,5	1,3	1,3	378

Kenngrößenbestimmung

- ΔL durch Berechnung einer 6-Parameter-Transformation der Kugelmittelpunkte auf die Sollpositionen (Kern 2008)
- Voraussetzung: Sollkoordinaten aus Netzmessung bekannt

$$\Delta L = \sqrt{s_x^2 + s_y^2 + s_z^2}$$

Scanner	Kampagne	# Kugeln	ΔL_1 [mm]	ΔL_2 [mm]	# Stationen
Riegl VZ 400 (Reflex-Targets)	2010	27	0,7	0,5	5
IMAGER 5006i	2010	28	0,9	0,6	6
Leica C10	2010	28	0,7	0,5	6

- ➔ ΔL_1 : Mittel aus allen Stationen, stationsweise berechnet
- ➔ ΔL_2 : alle Stationen registriert

Kenngrößenbestimmung

- Abstandsmessunsicherheit u_L (Heister 2006) als Bestimmungsgüte

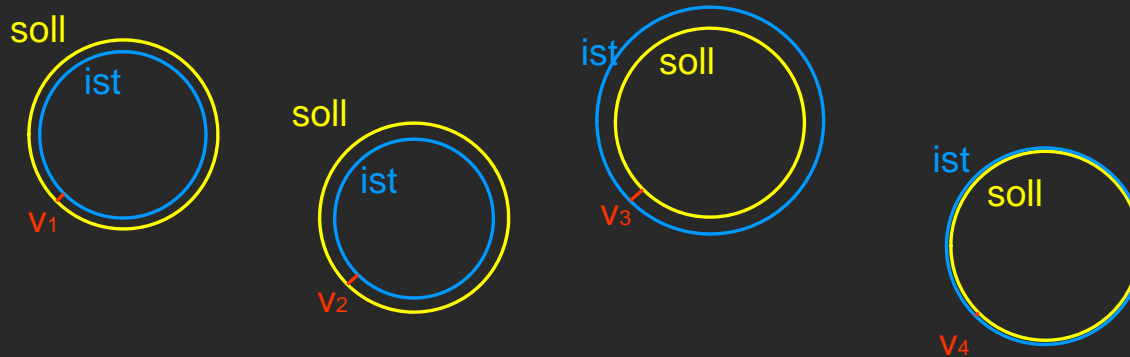
$$u_L = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^7 \Delta L_j^2}{7}}$$

Scanner	Kampagne	u_{L_1} [mm]	u_{L_2} [mm]	u_{L_3} [mm]	# Strecken
Riegl VZ 400 (Reflex-Targets)	2010	1,7	1,0	1,7	351
IMAGER 5006i (Kugel)	2010	2,0	1,5	1,6	378
Leica C10 (Kugel)	2010	1,8	1,5	1,7	378

- ➔ u_{L_1} : Mittel aus 4 Stationen, stationsweise berechnet, 7 Strecken
- ➔ u_{L_2} : Alle 4 Stationen registriert, 7 Strecken
- ➔ u_{L_3} : Alle 4 Stationen registriert, alle Strecken

Kenngrößenbestimmung

- Kugelradiusabweichung (Kern 2008)
als Mittelwert der Differenzen zwischen
geschätztem und Sollradius von k Kugeln

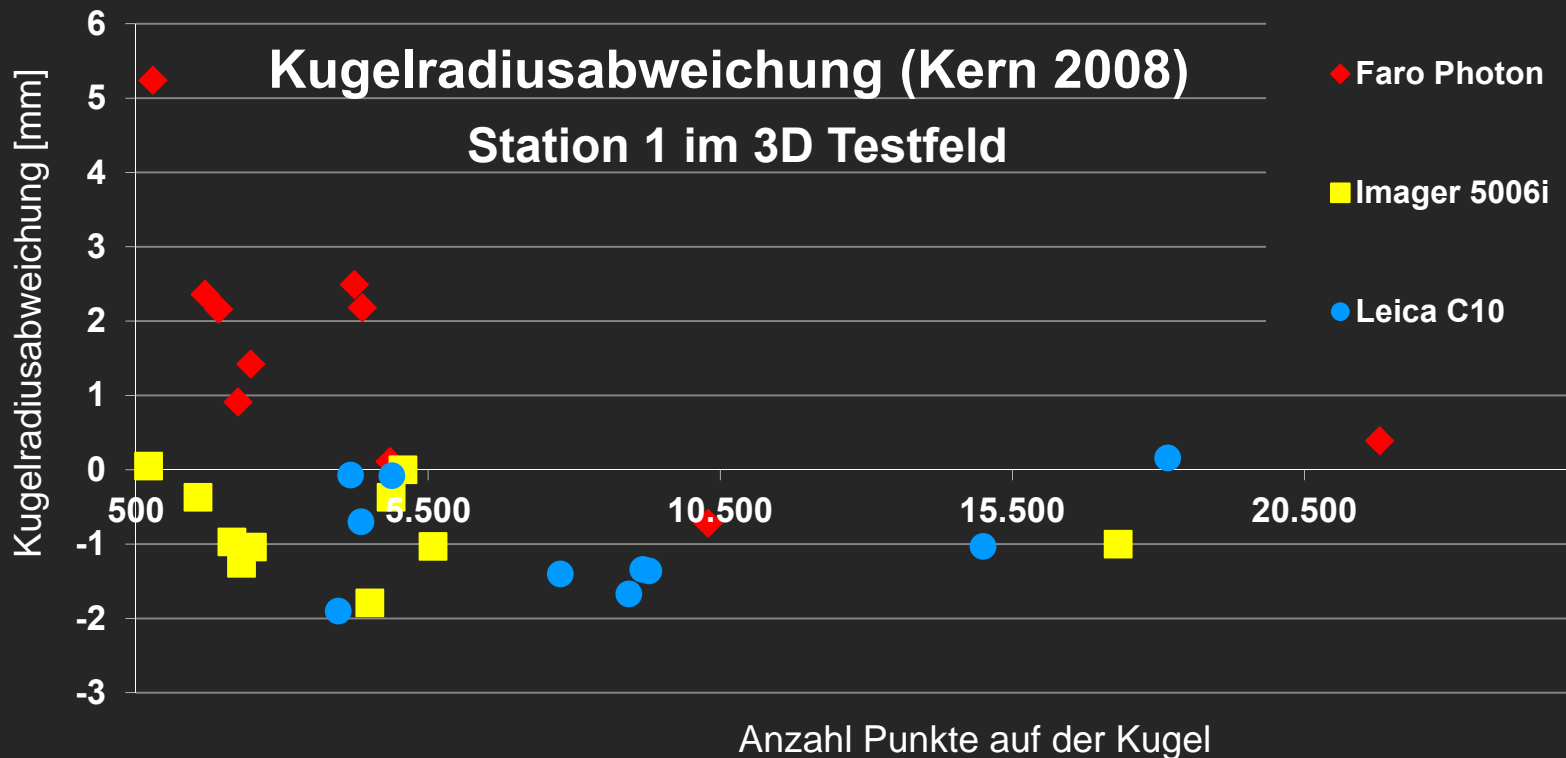


$$R_K = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k v_i$$

Kenngrößenbestimmung

Scanner	Kampagne	# Kugeln	Δr_{\min} [mm]	Δr_{\max} [mm]	$\emptyset \Delta r$ [mm]	# Punkte \emptyset
Faro Photon 120	2010	10	-0,7	5,2	1,7	5466
IMAGER 5006i	2010	10	-1,8	0,1	-0,8	4655
Leica C10	2010	10	-1,9	0,2	-0,9	8568

$\Delta r = \text{soll} - \text{ist}$



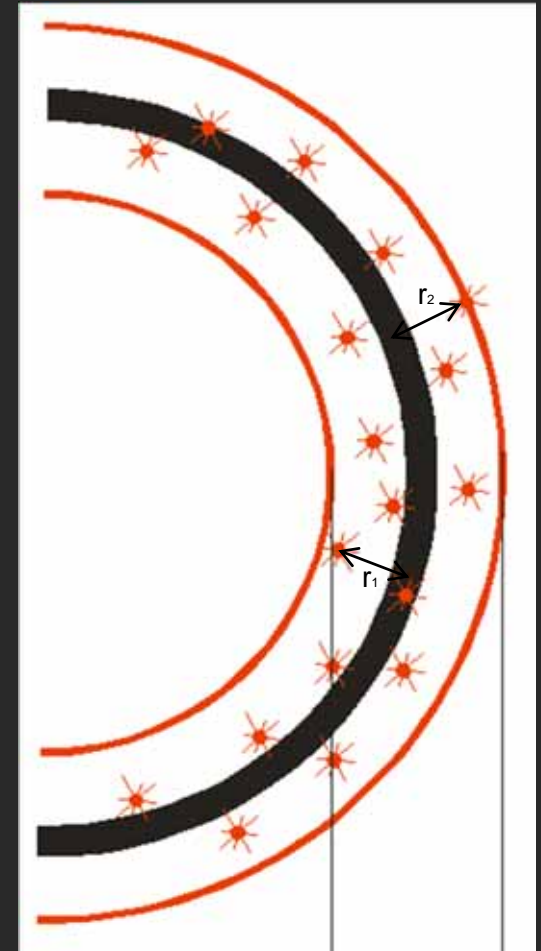
d=199mm

Kenngrößenbestimmung

- Mittlere Antastabweichung (Heister 2006)
als Spanne des Abstandes zum ausgeglichenen Formelement

$$R = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n r_i$$

- Ausgleichende Kugel mit unbekanntem Radius
- Radiale Abweichungen für alle Messpunkte aller Kugeln

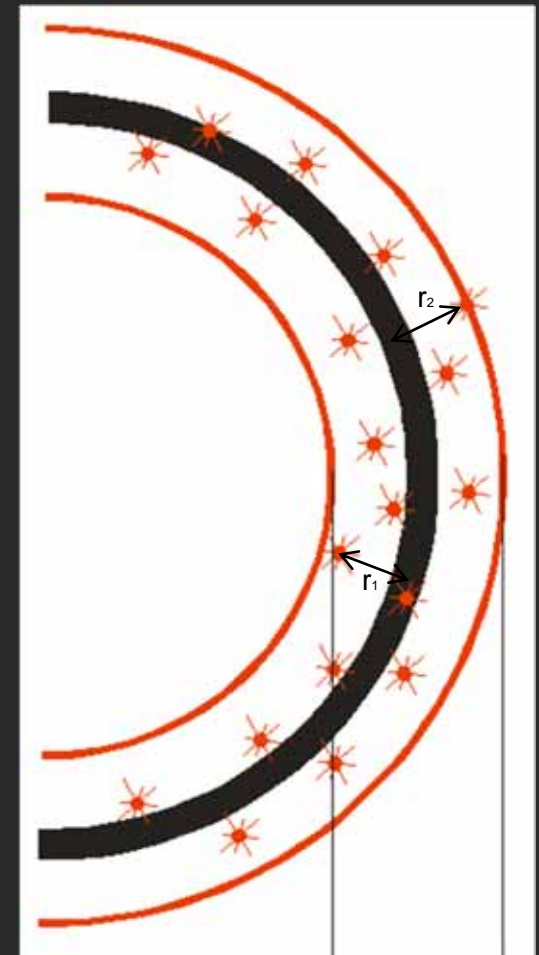


Kenngrößenbestimmung

- Antastabweichung (Kern 2008)
als Beschreibung des zu erwartenden
Rauschens auf der Objektoberfläche

$$R = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n r_i^2}$$

- Ausgleichende Kugel mit unbekanntem Radius
- Radiale Abweichungen für alle Messpunkte
aller Kugeln



Kenngrößenbestimmung

- Antast-Messunsicherheit (Heister 2006) als Mittelwert der Standardabweichungen der geschätzten Radien der ausgeglichenen Kugeln

$$u_R = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{10} s_{Rj}^2}{10}}$$

- Ausgleichende Kugel mit unbekanntem Radius

Kenngrößenbestimmung

$$R = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n r_i$$

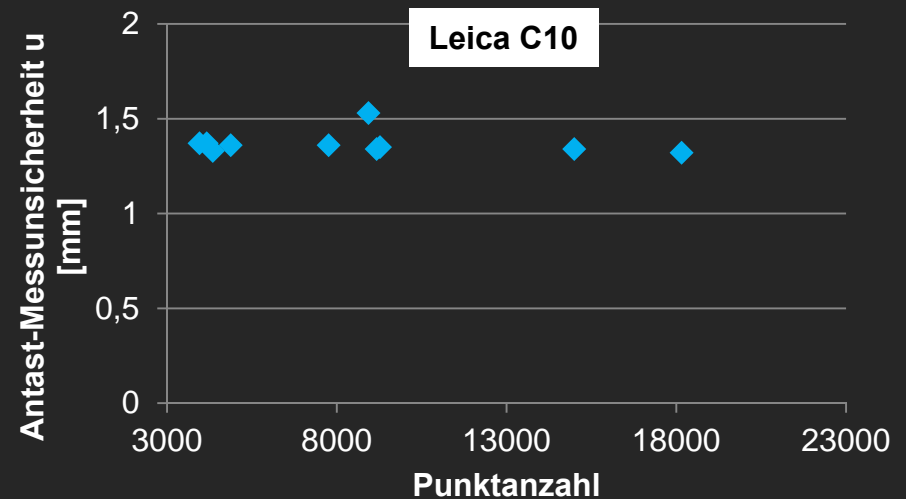
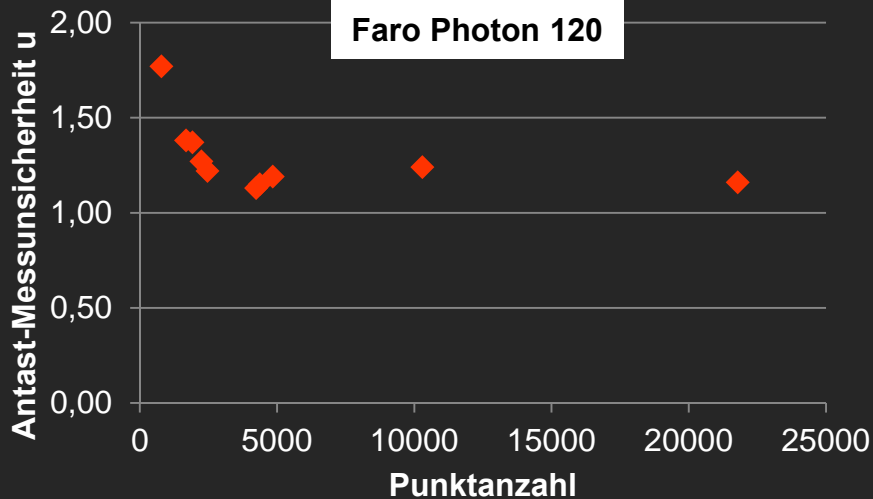
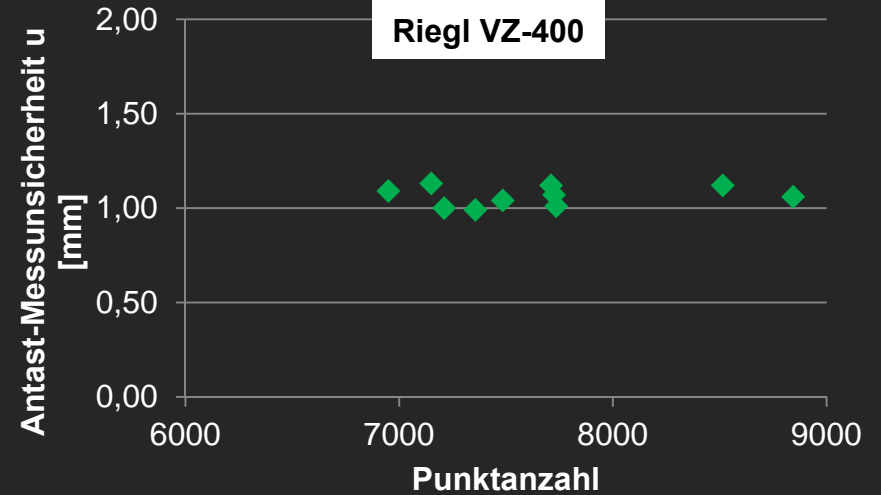
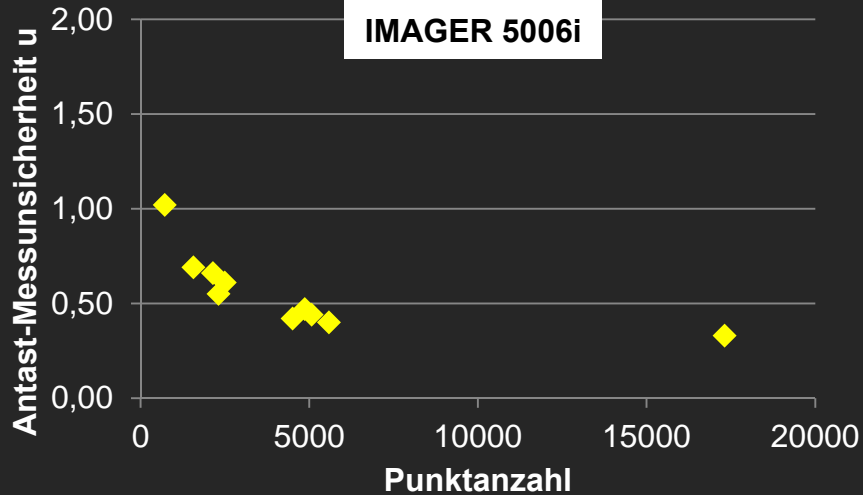
$$u_R = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{10} s_{Rj}^2}{10}}$$

$$R = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n r_i^2}$$

Scanner	Mittlere Antastabweichung (Heister)	Antast- Messunsicherheit (Heister)	Antastabweichung (Kern)
Riegler VZ 400	0,8	1,1	1,1
Faro Photon 120	0,9	1,3	1,2
IMAGER 5006i	0,3	0,6	0,5
Leica C10	1,2	1,4	1,6

Kenngrößenbestimmung

Antast-Messunsicherheit (Heister)



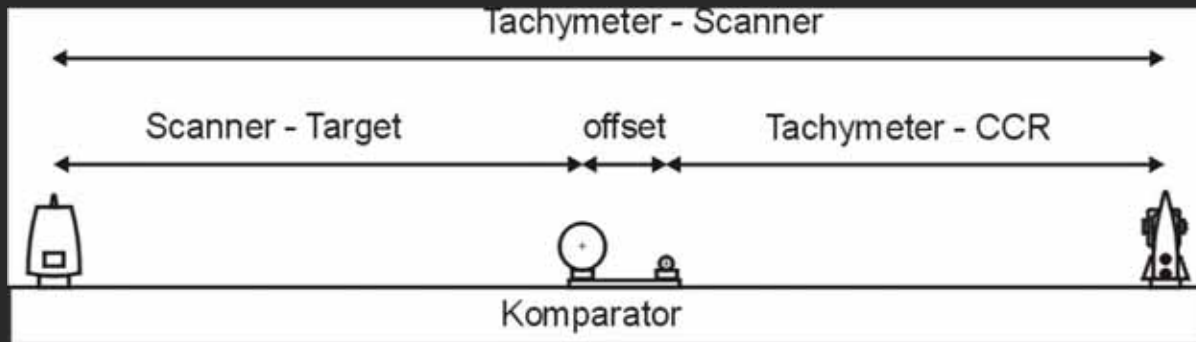
Streckenmessgenauigkeit

- 20m-Prüfstrecke auf Komparatorbahn
- Zielzeichen für Scanner: Kugeln & Targets im Abstand 1 - 20m
- Vergleich zu Referenzstrecken (Leica TM30)
- Kugelfitting mit bekanntem Radius in RealWorks Survey

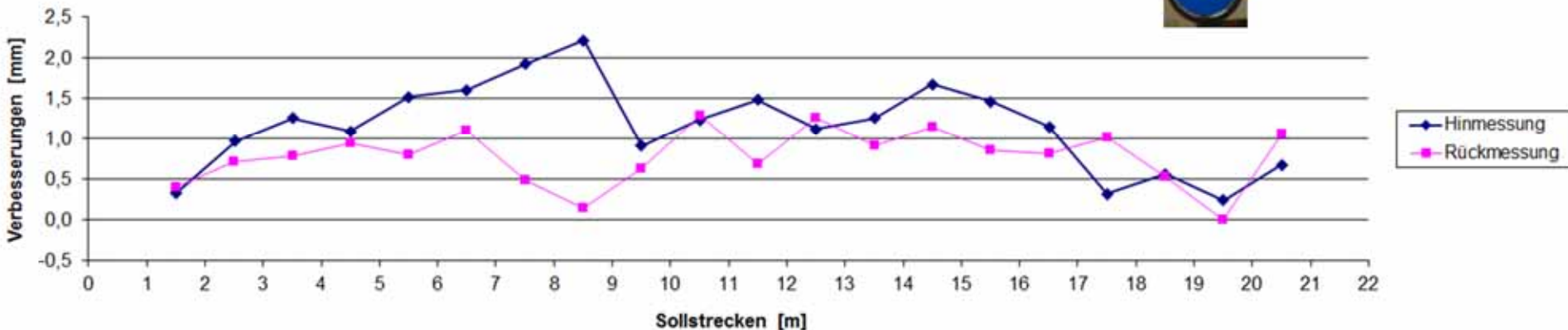


Streckenmessgenauigkeit

Sollstreckenvergleich auf 20m-Komparatorbahn



Sollstreckenvergleich Leica C10 - Komparatorbahn 20m



Streckenmessgenauigkeit

Vergleichsstrecke Friedhof Ohlsdorf (7 Messpfeiler)

- Streckenlängen bis 430m, 20...300m in 10m-Intervallen
- Referenzmessung mit Leica TM30
- Einsatz verschiedener Targets
- Kugelfitting in RealWorks Survey mit bekanntem Radius

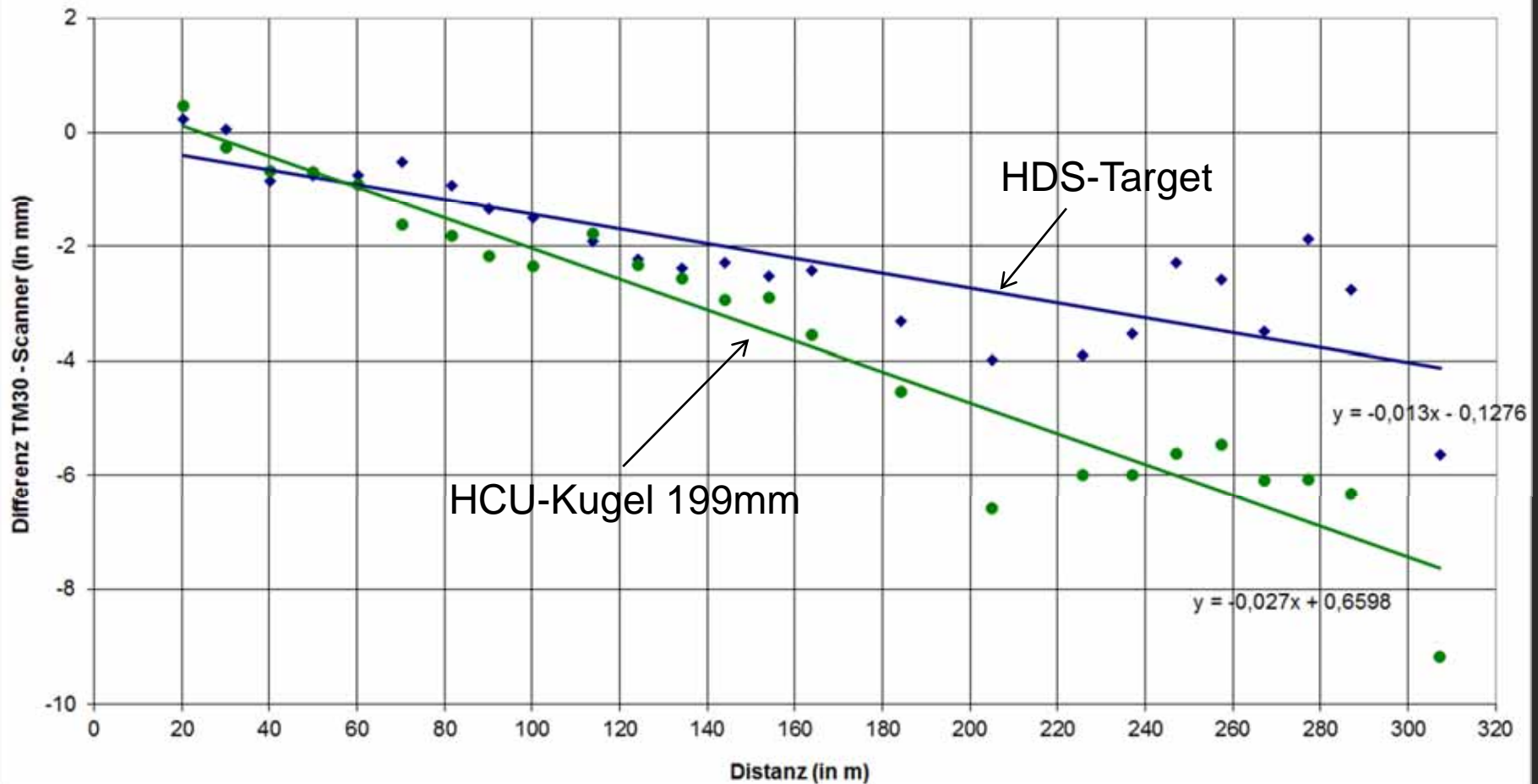


Streckenmessgenauigkeit

Vergleichsstrecke Friedhof Ohlsdorf

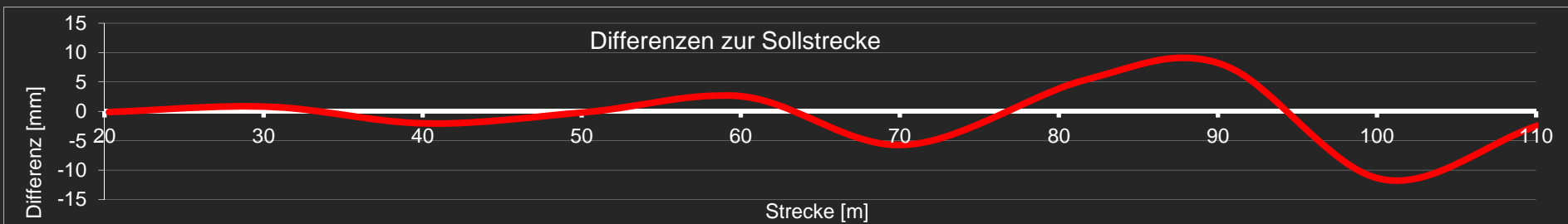
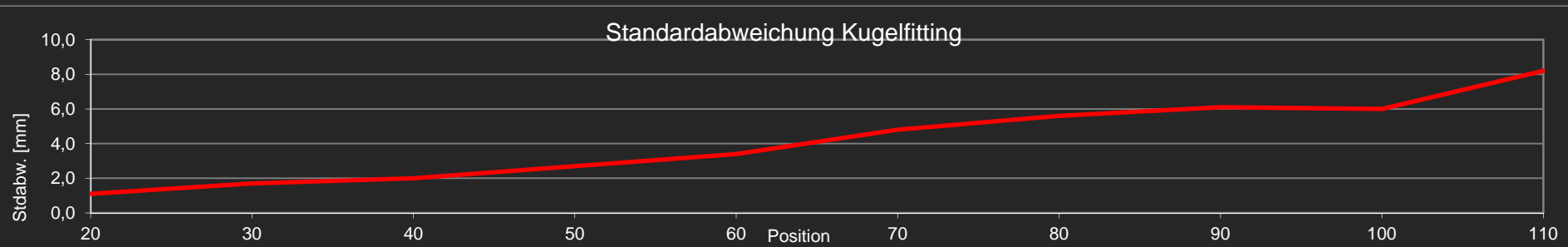
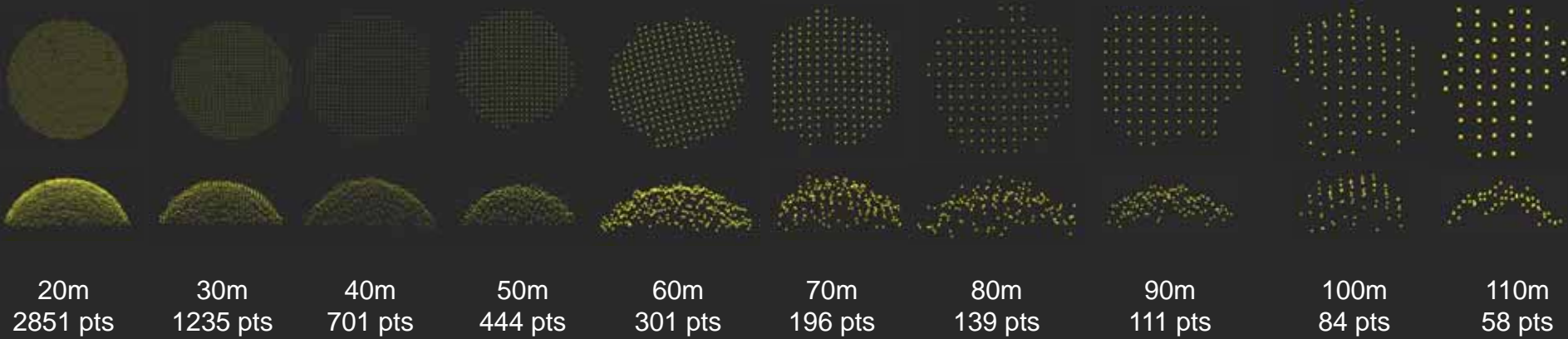
Leica ScanStation C10 - Vergleichsstrecke Ohlsdorf (C10 Seriennr. 1260287, 16. Juni 2011)

Hersteller-Spezifikation (Strecke): +/- 4mm im Bereich 1...50m, Reichweite 300m@90% Albedo



Streckenmessgenauigkeit

■ Faro Photon 120 Scaneinstellung: Auflösung 1/1 Qualität 4



Schlussfolgerungen / Ausblick

- **Viele Kenngrößen – aber noch keine Standards**
- **Kenngrößen (Zahlen) versus Erfahrung (Praxis)**
- **„Realitätsnahe“ praktische Bedingungen (Messvolumen)**
- **Wichtig: Untersuchung des Gesamtsystems (HW/SW)**
- **(Labor)Untersuchung versus Feldprüfverfahren**
- **Kalibrierung – Herstellersache !?**

HCU

HafenCity Universität
Hamburg

Universität für Baukunst
und Raumentwicklung

HAMBURGS NEUE UNIVERSITÄT
Europas erste Hochschule für die gebaute Umwelt

**Vielen Dank
für Ihre Aufmerksamkeit**

www.hcu-hamburg.de/geomatik