



**HCU**

HafenCity Universität  
Hamburg

Universität für Baukunst  
und Raumentwicklung

**HAMBURGS NEUE UNIVERSITÄT**  
Europas erste Hochschule für die gebaute Umwelt

Th. Kersten, K. Mechelke, M. Lindstaedt, T. Graeger & H. Sternberg

**Phasen im Vergleich - Erste Untersuchungsergebnisse der Phasenvergleichsscanner Faro Photon und Trimble FX**

# Inhalt der Präsentation

- n Einführung
- n Untersuchte terrestrische Laserscanner
- n Geometrische Genauigkeitsuntersuchungen
- n Schlussfolgerungen und Ausblick



# Einführung

- n **Trend TLS**  $\pm$  **schneller, weiter, genauer . . . . .**
- n **Viele Hersteller**  $\pm$  **4. Generation TLS auf dem Markt**
- n **Kein Scanner für alle Anwendungen**  $\pm$  **Zweit-Scanner**
- n **Leistungspotenzial TLS**  $\pm$  **unklar für viele Anwender**
- n **Techn. Spezifik. = Telekom-Werbung<sup>1)</sup> mit Fußnoten**
- n **Keine Standards für Untersuchungs- & Prüfverfahren**



# Untersuchte terrestrische Laserscanner



© 3dls

**Trimble FX**



**Faro  
Photon 80  
Photon 120**



**Zoller+Fröhlich  
IMAGER 5006**

# Untersuchte terrestrische Laserscanner

Scanner / Eigenschaft	Trimble FX	Faro Photon 80 / 120	Z+F IMAGER 5006
Sichtfeld [°]	360 x 270	360 x 320	360 x 310
Techn. Reichweite [m]	38	76 / 153	79
Wellenlänge [nm]	690	785	658
Scan-Geschwindigkeit [pkt/s]	≤ 190 000	≤ 120 000 / ≤ 976 000	≤ 500 000
Winkelauflösung H/V [°]	0,002	0,009	0,0018
Laserspotgröße]	8.6mm @ 25m	6mm @ 50m	14mm @ 50m
Distanzgenauigkeit	keine Angabe	2mm @ 25m	6mm @ 50m
3D Punktgenauigkeit	keine Angabe	keine Angabe	10mm @ 50m
Kamera	nein	extern / optional	extern / optional
Neigungssensor	nein	ja	ja

# Geometrische Genauigkeitsuntersuchungen

- n **Kenngößen nach Heister 2006 und Kern 2008**
- ⌊ **Mittlere Antastabweichung (Heister 2006) als Spanne des Abstandes zum ausgeglichenen Formelement**
- ⌊ **Antastabweichung (Kern 2008) als Beschreibung des zu erwartenden Rauschens auf der Objektoberfläche**
- ⌊ **Antast-Messunsicherheit (Heister 2006) als Mittelwert der Standardabw. für unbekanntem Radius der ausgeglichenen Kugel**
- ⌊ **Kugelradiusabweichung (Kern 2008) als Mittelwert der Differenzen zwischen geschätztem und Sollradius von k Kugeln**
- ⌊ **Mittlere Kugelabstandsabweichung (Heister 2006) als Maßtreue, Überprüfung der Rückführbarkeit auf Längennormal**
- ⌊ **Abstands-Messunsicherheit (Heister 2006) als Bestimmungsgüte (Kugelfitting mit festem Radius)**

# Geometrische Genauigkeitsuntersuchungen

- n 3D-Testfeld (div. Kenngrößen)
- n Distanzmessgenauigkeit
- n Einfluss des Einfallswinkels des Laserstrahls auf die 3D-Punktgenauigkeit



## 3D-Testfeld

- n Untersuchung 3D-Genauigkeit in Anlehnung an VDI/VDE 2634 Bl. 3
- n Kenngröße: hier Kugelabstandsabweichung
- n Testfeld in Halle D: Messvolumen  $30 \times 20 \times 12 \text{m}^3$ ,  $d = 3,3 \text{m}$  bis  $32,0 \text{m}$
- n Testfeld mit bis zu 43 Referenzpunkten, 3D-Genauigkeit  $< 1 \text{mm}$



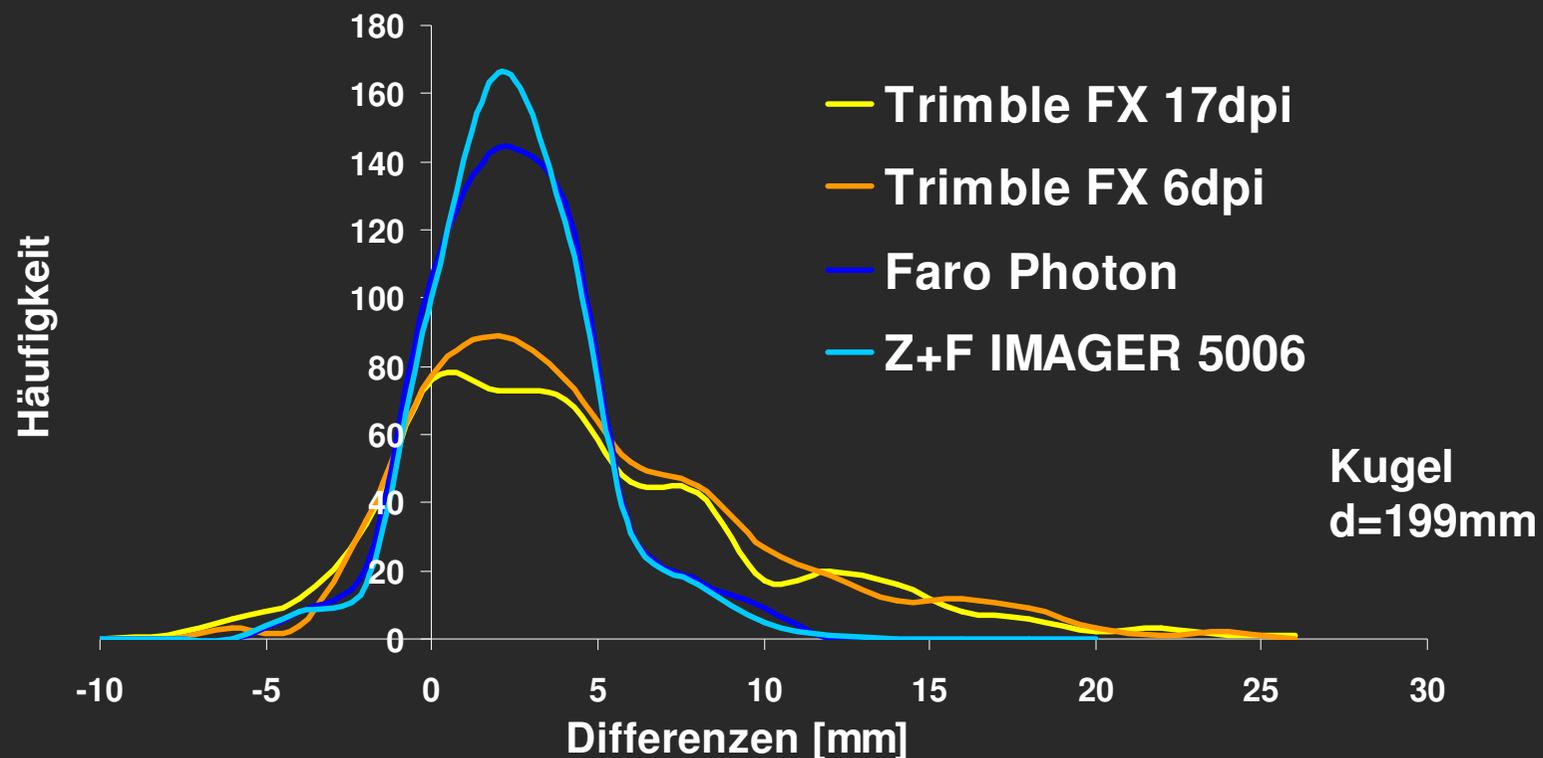
## 3D-Testfeld

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



# 3D-Testfeld

	Kampagne	# 3D-Punkte	# Strecken	$\Delta L_{\min}$ [mm]	$\Delta L_{\max}$ [mm]	Spanne [mm] $\Delta L = \Delta l_{\max} - \Delta l_{\min}$
Trimble FX 6dpi	09/2008	30	465	- 7,8	23,0	30,8
Trimble FX 17dpi	09/2008	29	434	-9,6	24,0	33,6
Faro Photon 80 RR4	09/2008	30	465	-5,2	9,8	15,0
Z+F IMAGER 5006	09/2008	30	465	-5,8	10,3	16,1



# 3D-Testfeld

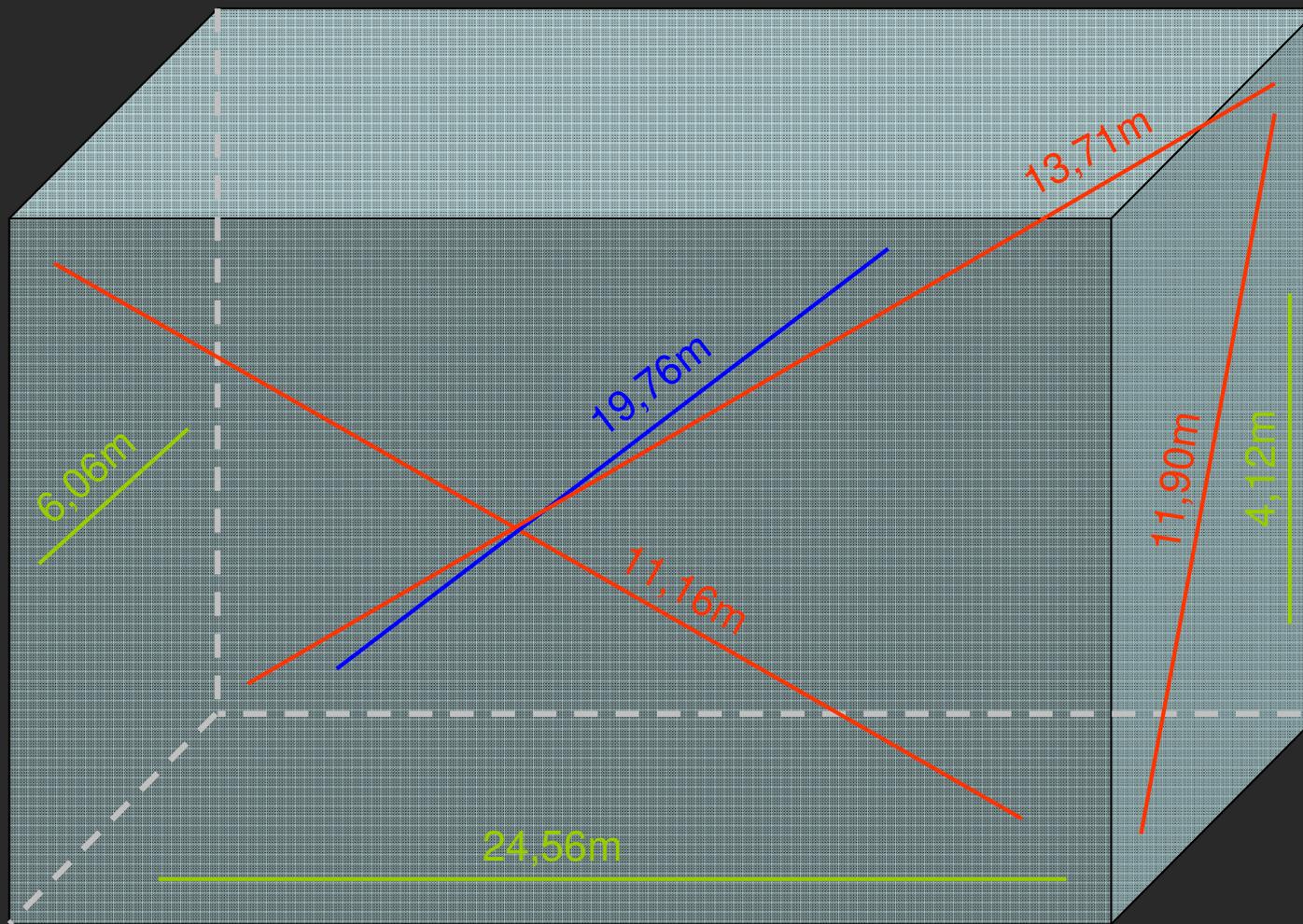
n Vergleich zu Ergebnissen 2007 (Oldenburger 3D-Tage 2008)

 <b>d=145mm</b>	Kampagne	# 3D-Punkte	# Strecken	$\Delta L_{\min}$ [mm]	$\Delta L_{\max}$ [mm]	Spanne [mm]
Leica ScanStation 1	04/2007	43	703	-2,3	9,2	11,5
Z+F IMAGER 5006	04/2007	43	703	-7,4	6,6	14,0

 <b>d=199mm</b>	Kampagne	# 3D-Punkte	# Strecken	$\Delta L_{\min}$ [mm]	$\Delta L_{\max}$ [mm]	Spanne [mm]
Leica ScanStation 1	10/2007	29	351	-5,4	6,5	11,9
Leica ScanStation 2	10/2007	29	351	-5,4	6,5	11,9
Leica HDS 6000	10/2007	30	406	-6,7	6,3	13,0
Z+F IMAGER 5006	10/2007	30	406	-5,7	7,7	13,4

# 3D-Testfeld

n Prüfstreckenverteilung im Testfeld in Anlehnung an VDI/VDE 2634



- Kante
- Flächendiagonale
- Raumdiagonale

# 3D-Testfeld

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

- n **Mittlere Kugelabstandsabweichung  $\Delta L$**   
**(Heister 2006)**

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

- ⌘  **$\Delta L_1$  : Mittel aus 5 Stationen, stationsweise berechnet, 7 Strecken**
- ⌘  **$\Delta L_2$  : Alle 5 Stationen registriert, 7 Strecken**
- ⌘  **$\Delta L_3$  : Alle 5 Stationen registriert, alle Strecken**

	Kampagne	# Strecken	$\Delta L_1$ [mm]	$\Delta L_2$ [mm]	# Strecken	$\Delta L_3$ [mm]
Trimble FX 6dpi	10/2008	7	4,1	2,6	465	4,6
Trimble FX 17dpi	10/2008	7	5,1	2,8	434	4,7
Faro Photon 80	10/2008	7	1,9	2,4	465	2,3
Z+F IMAGER 5006	10/2007	7	2,0	2,3	465	2,1

# 3D-Testfeld

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

- n Abstandsmessunsicherheit  $u_L$  (Heister 2006)

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

- ⌘  $u_{L1}$  : Mittel aus 5 Stationen, stationsweise berechnet, 7 Strecken
- ⌘  $u_{L2}$  : Alle 5 Stationen registriert, 7 Strecken
- ⌘  $u_{L3}$  : Alle 5 Stationen registriert, alle Strecken

	Kampagne	# Strecken	$u_{L1}$ [mm]	$u_{L2}$ [mm]	# Strecken	$u_{L3}$ [mm]
Trimble FX 6dpi	10/2008	7	5,9	3,5	464	6,4
Trimble FX 17dpi	10/2008	7	6,6	3,6	434	6,4
Faro Photon 80	10/2008	7	2,6	2,9	465	3,0
Z+F IMAGER 5006	10/2007	7	2,7	3,1	465	2,8

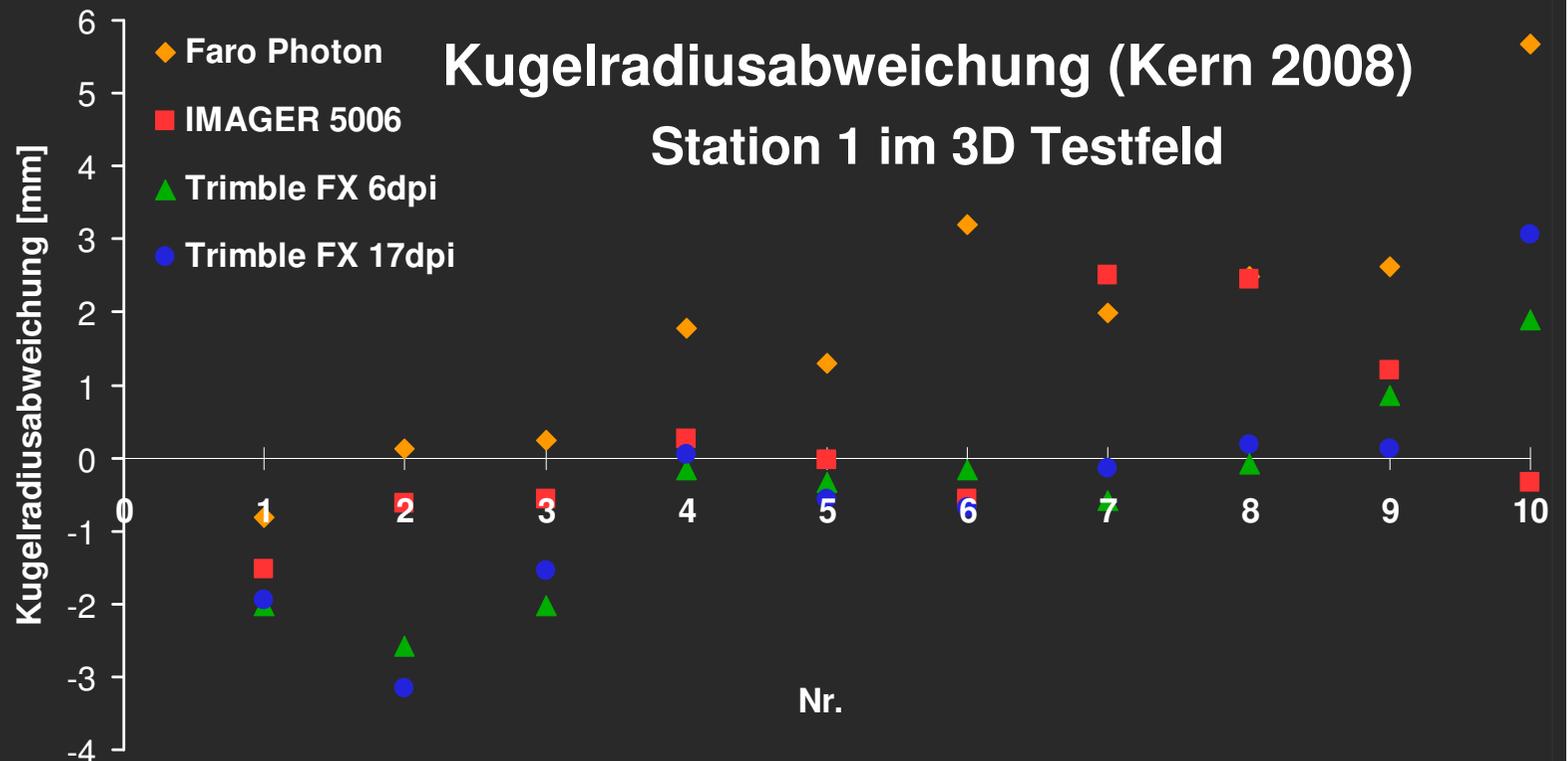
# 3D-Testfeld

	Kampagne	# Kugeln	# Punkte Ø	$\Delta r_{\min}$ [mm]	$\Delta r_{\max}$ [mm]	Ø $\Delta r$ [mm]
Trimble FX 6dpi	09/2008	10	2411	-2,6	1,9	-0,5
Trimble FX 17dpi	09/2008	10	19311	-3,2	3,1	-0,5
Faro Photon 80	09/2008	10	1212	-0,8	5,7	1,9
Z+F IMAGER 5006	09/2008	10	17253	-1,5	2,5	0,3



d=199mm

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



Kenngröße	Berechnung	Trimble FX 6dpi [mm]	Trimble FX 17dpi [mm]	FARO Photon 80 [mm]	Z+F IMAGER 5006 [mm]
Mittlere Antastabweichung (Heister 2006)	$R = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n r_i$	<b>0,7</b>	<b>0,8</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>
Antastabweichung (Kern 2008)	$R = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n r_i^2}$	<b>0,9</b>	<b>1,0</b>	<b>0,6</b>	<b>0,6</b>
Antast- Messunsicherheit (Heister 2006)	$u_R = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n s_{Rj}^2}{n}}$	<b>1,0</b>	<b>1,1</b>	<b>0,7</b>	<b>0,7</b>
Kugelradius- abweichung (Kern 2008)	$R_K = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k v_i$	<b>-0,5</b>	<b>-0,5</b>	<b>1,9</b>	<b>0,3</b>
Kugelabstands- abweichung (Heister 2006)	$\Delta L_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n  \Delta L_j $	<b>2,6</b>	<b>2,8</b>	<b>2,4</b>	<b>2,3</b>
Abstands- Messunsicherheit (Heister 2006)	$u_L = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n \Delta L_j^2}{n}}$	<b>3,5</b>	<b>3,6</b>	<b>2,9</b>	<b>3,1</b>

# Streckenmessgenauigkeit

HCU

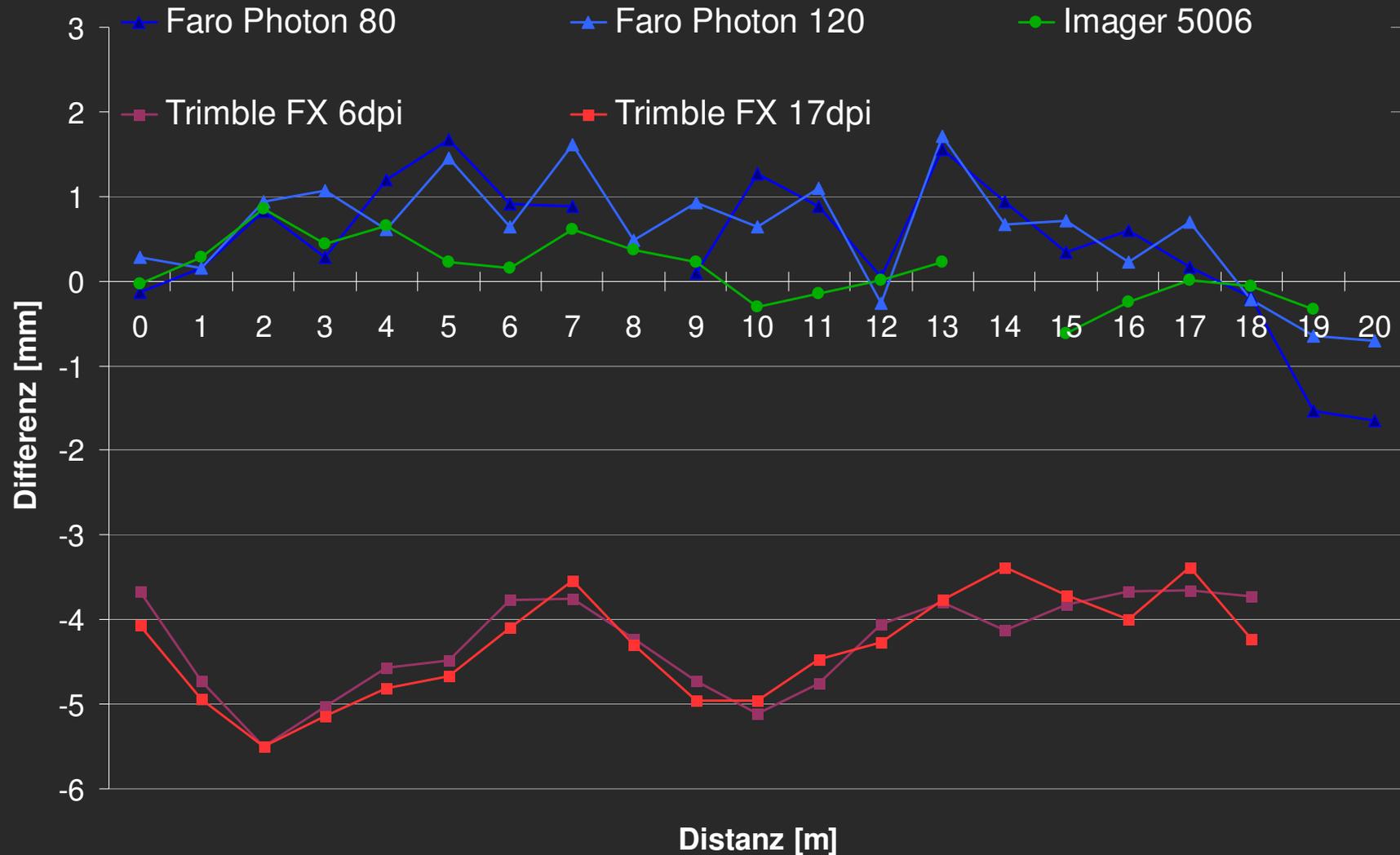
HafenCity Universität  
Hamburg

- n 20m-Prüfstrecke auf Komparatorbahn
- n Zielzeichen für Scanner: Kugeln im Abstand 1-20m
- n Vergleich zu Referenzstrecken  
(Leica TCRP1201/SMX Lasertracker)
- n Kugelfitting mit bekanntem Radius in RealWorks Survey



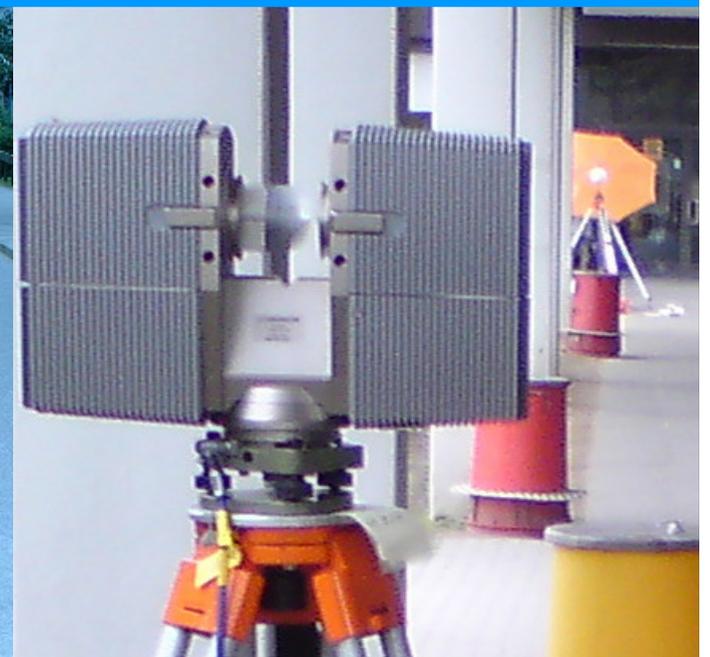
# Streckenmessgenauigkeit

## n Differenzen zu Sollstrecken (20m – Komparator)

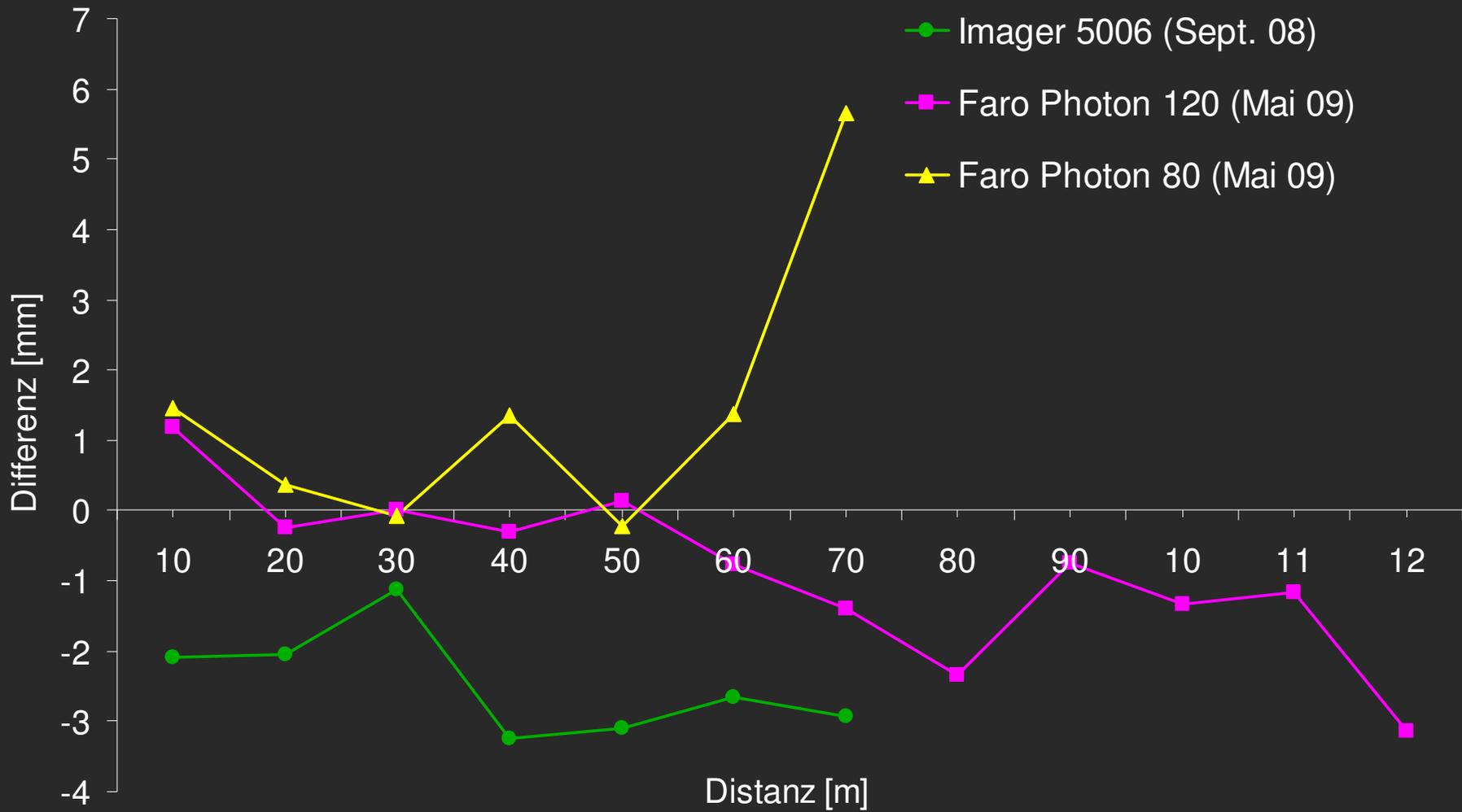


# Streckenmessgenauigkeit

- n Prüfstrecke auf Stativen von 10 - 70m / 120m) im Abstand von 10m
- n Zielzeichen für Scanner: Kugeln (199mm), Flächentargets
- n Vergleich zu Referenzstrecken (Leica TCRP1201, TCA2003)
- n Kugelfitting mit bekanntem Radius in RealWorks Survey



# Streckenmessgenauigkeit

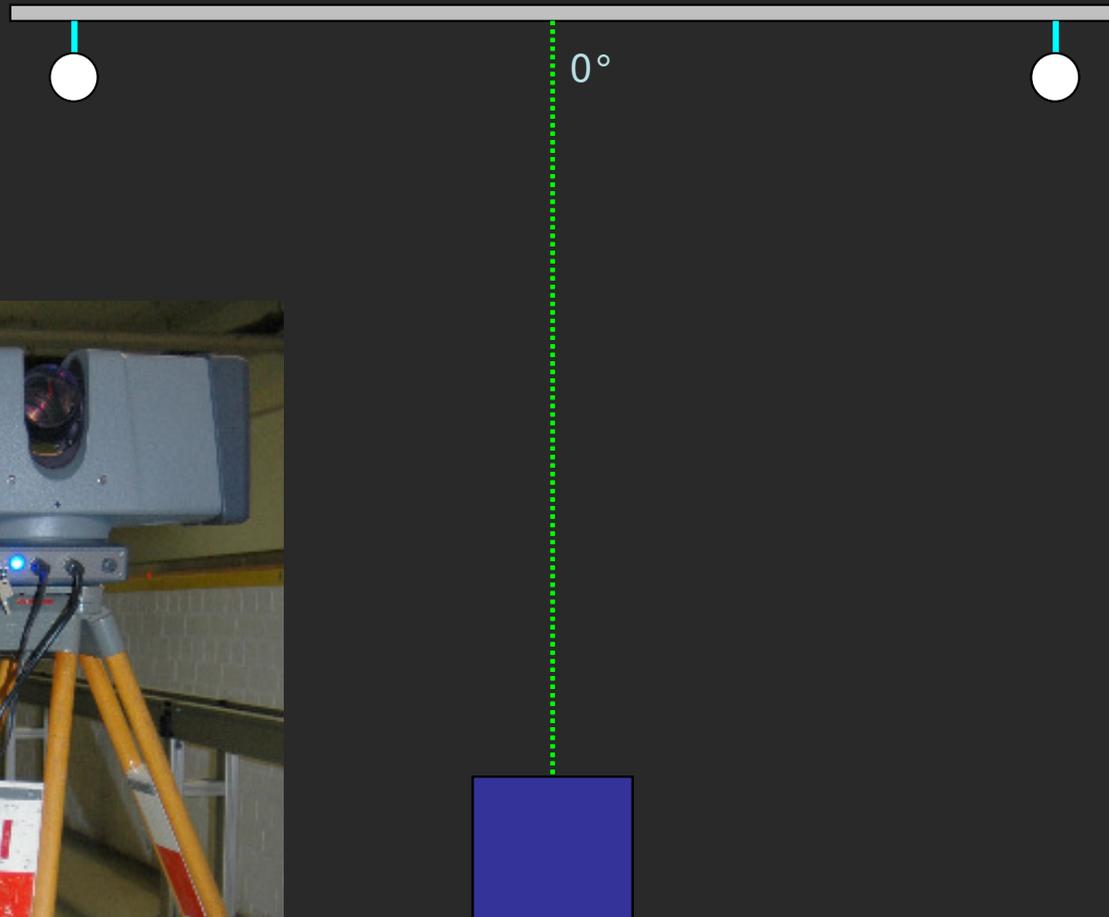


# Einfluss des Auftreffwinkels auf die 3D-Genauigkeit

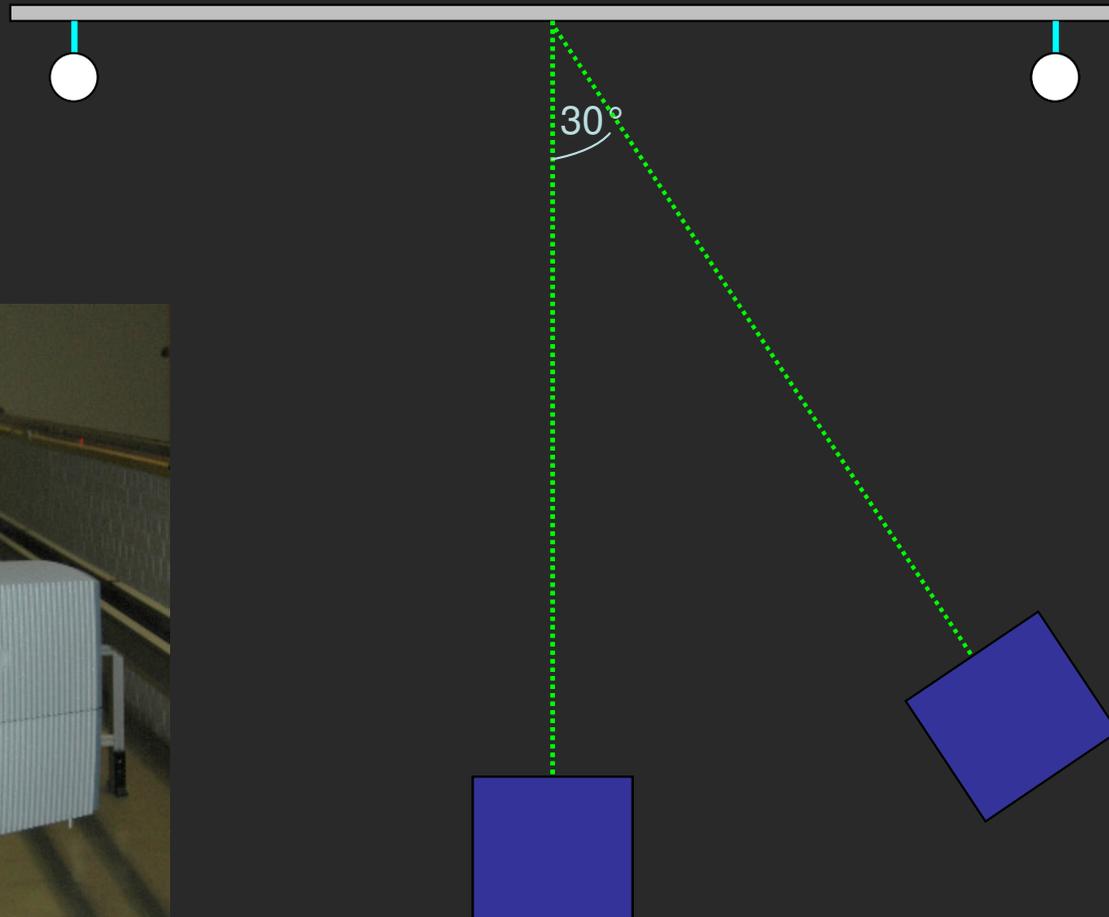
- n Aufnahme: Scanning einer drehbar gelagerten plangeschliffenen Granitplatte in 10 Winkelpositionen
- n Auflösung: 3mm am Objekt
- n Referenz: 4 an der Platte montierte Kugeln
- n Forderung: ausgleichende Ebenen durch Kugelzentren und Punktwolke sollen konstanten Abstand haben mit Referenz zur Winkelposition  $0^{\circ}$  (relative Änderung)



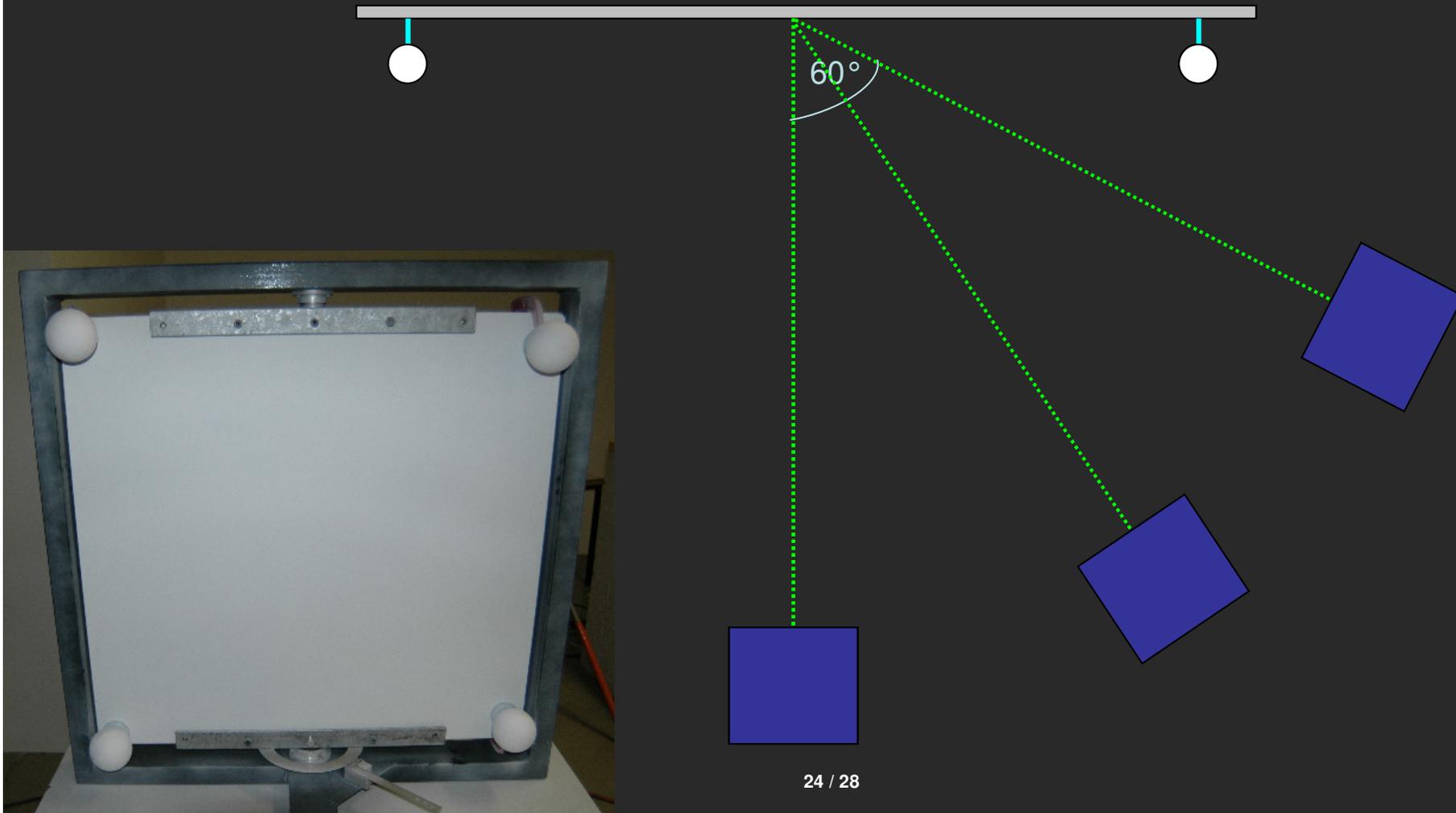
# Einfluss des Auftreffwinkels auf die 3D-Genauigkeit



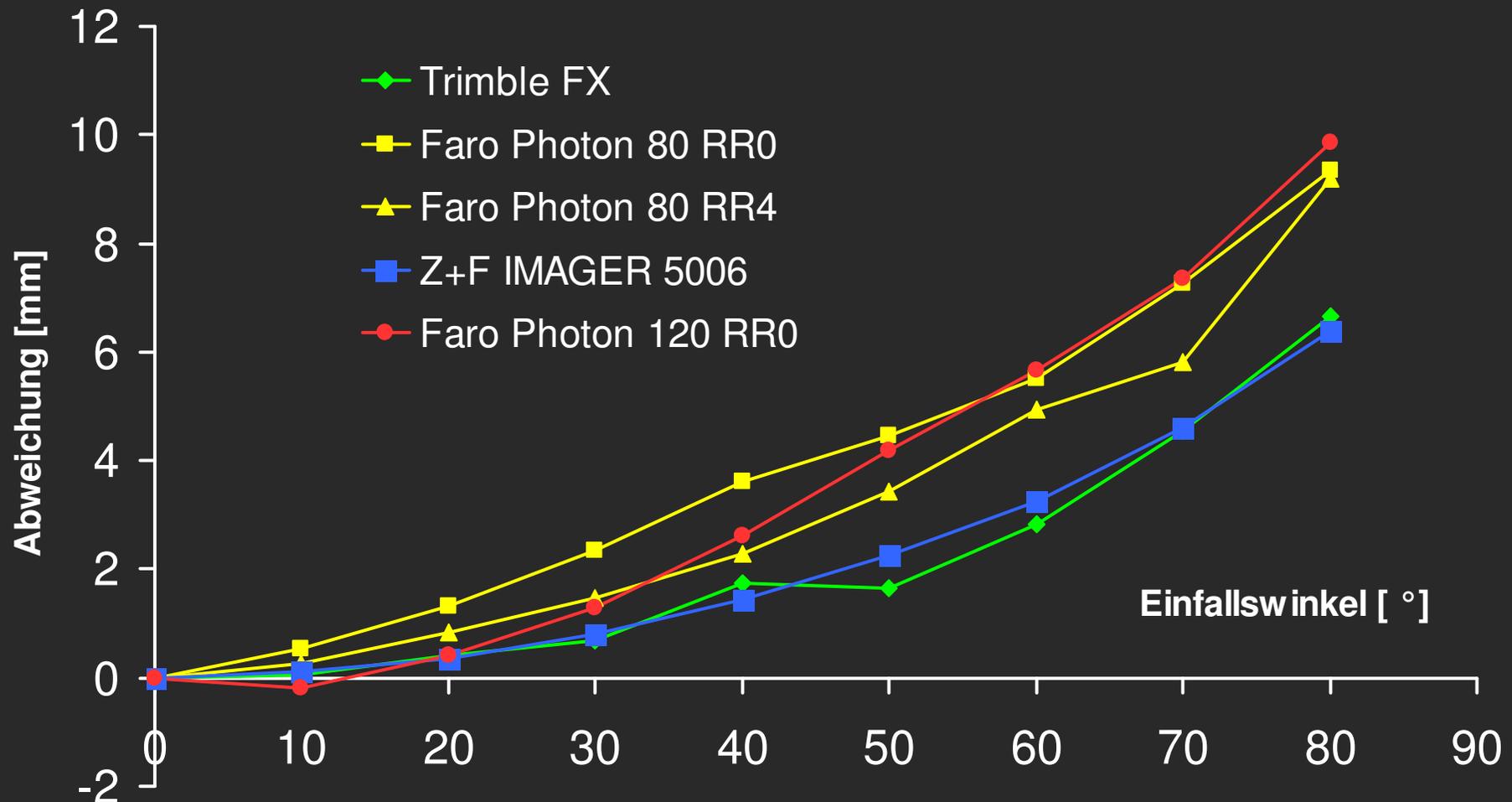
# Einfluss des Auftreffwinkels auf die 3D-Genauigkeit



# Einfluss des Auftreffwinkels auf die 3D-Genauigkeit



# Einfluss des Auftreffwinkels auf die 3D-Genauigkeit



## Schlussfolgerungen / Ausblick

- n Phasenscanner im Vergleich  $\pm$  Unterschiede!
- n Kenngrößen (Zahlen) versus Erfahrung (Praxis)
- n ‚Realitätsnahe‘ praktische Bedingungen (Messvolumen)
- n Wichtig: Untersuchung des Gesamtsystems (HW/SW)
- n Standards: Prüfverfahren, Kenngröße, Kalibrierung
- n Untersuchung versus Feldprüfverfahren
- n Systemverbesserung durch Scanneruntersuchung



**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](http://www.hcu-hamburg.de/geomatik)