



hcu

HafenCity  
Universität  
Hamburg

# Geometrische Genauigkeitsuntersuchungen des Aufnahmesystems NavVis VLX 2.0 für Innenraum-Anwendungen

Malte Marsmann & Thomas P. Kersten

# Agenda

- Einführung
- Das NavVis-System VLX 2.0
- Geometrische Untersuchungen
- Datenerfassung
- Datenauswertung & Ergebnisse
- Bewertung des Systems
- Fazit





## 1. Einführung

- Fortschreitende Digitalisierung von Gebäuden und Infrastrukturen
- Ziel – Building Information Modeling (BIM) & digitale Zwillinge
- Gefragt – innovative Technologie zur effizienten und präzisen Erfassung von Gebäuden und Innenräumen
- Lösung – System für Mobile Mapping (speziell für Innenräume)
- Umfrage (NavVis 2021) – 72 % der Leistungsanbieter setzen TLS für 3D-Bestandsdokumentation & BIM ein
- Tragbares Mobiles Mapping System NavVis VLX 2.0 seit 2021
- Untersuchung von NavVis VLX 2.0 an der HCU Hamburg in 2022 – Genauigkeit, Effizienz/Wirtschaftlichkeit, Anwenderfreundlichkeit





## 2. Das NavVis-System VLX 2.0

- Sensoren – zwei Laserscanner, vier Kameras & eine inertielle Messeinheit
- Laserscanner – Puck Lite (VLP-16) der Firma Velodyne LiDAR  
( $\sigma_d = 3 \text{ cm}$ , max. Distanz 100 m, 300.000 P/s, 905 nm, FoV 360°/30°)
- Kameras – 4 jeweils um 90° versetzt → 360°  
(Fisheye, c = 3,3mm, f/2,4, HDR-Aufnahmen, 20 MPix)
- Inertielle Messeinheit VectorNav VN-100 (800 hz)
- Zwei Akkupacks – Betriebsdauer ca. 1,5 Stunden
- AMOLED-Multitouch-Display





### 3. Geometrische Untersuchungen

- Untersuchungen im 3D-Testfeld im Labor (20 signalisierte Punkte)
- Analyse des NavVis VLX 2.0 mit und ohne Passpunkte im Testfeld
- Experimente mit Fehlern in der Passpunktdatei

Experiment	Punkt	Art der Manipulation	$\Delta X$ [cm]	$\Delta Y$ [cm]	$\Delta Z$ [cm]
1	P1	Übertragungsfehler	+10	0	0
2	P6	Polygonzugfehler	+4	+10	-3
3	P1	Willkürlicher Fehler	+10	0	0
3	P6	Willkürlicher Fehler	0	0	-20
3	P10	Willkürliche Fehler	-2	+2	+2
3	P11	Willkürlicher Fehler	0	-4,4	0



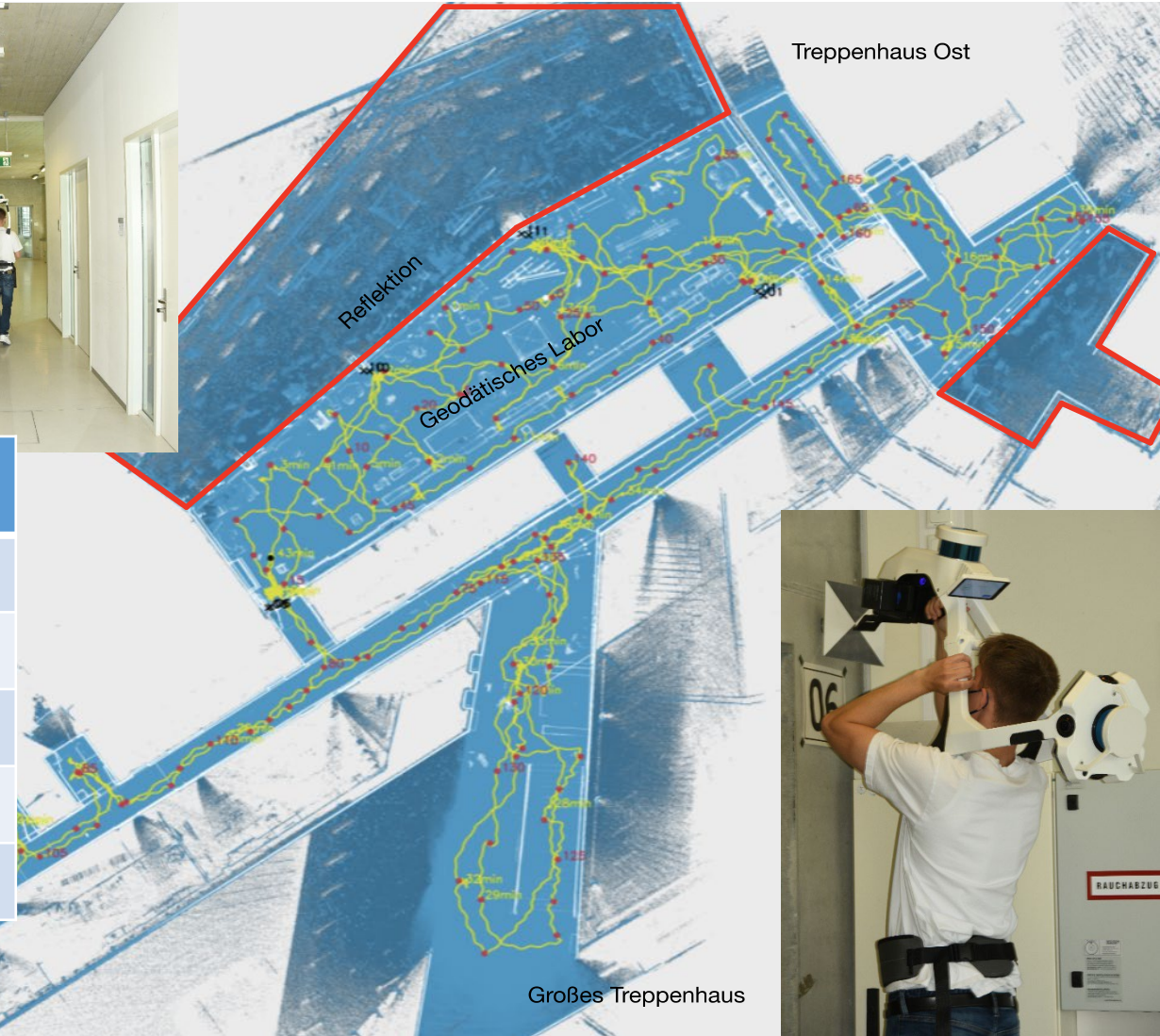
- Vergleich der Punktwolke mit Referenz TLS (Z+F IMAGER 5016)
- Kugelabstandsabweichung im mobilen Testfeld





# 4. Datenerfassung

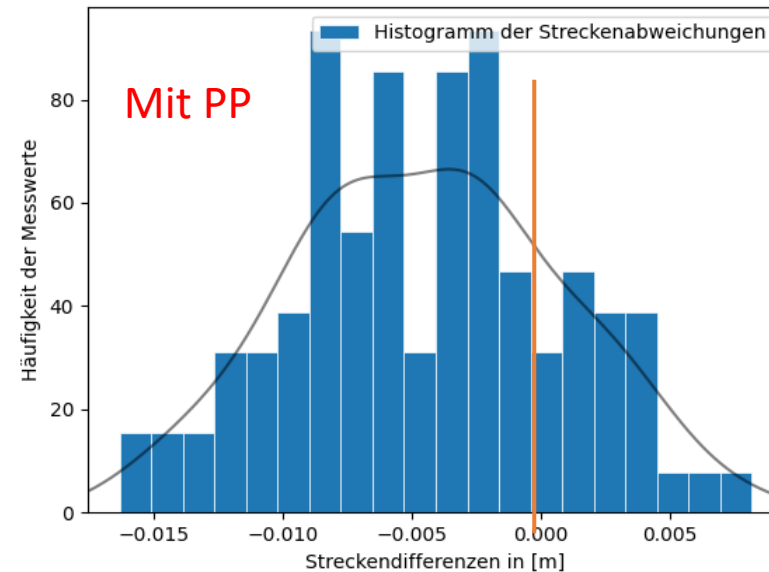
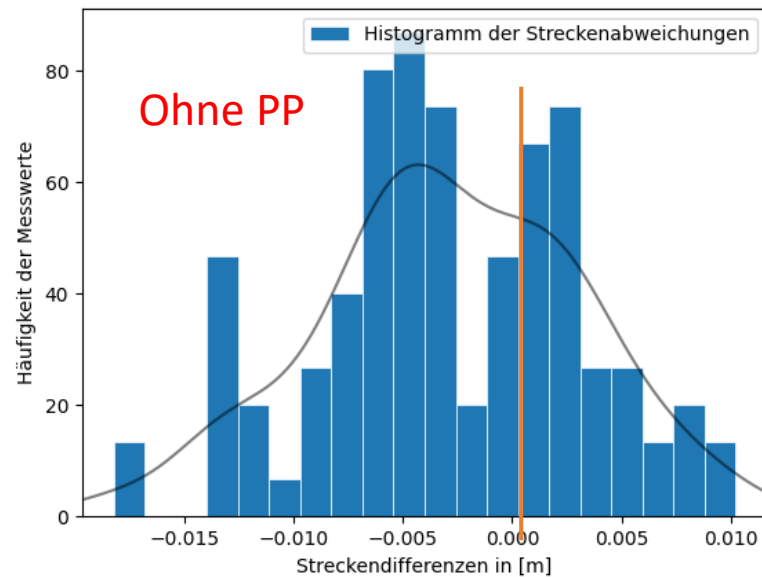
- Aufnahme im Labor, im Flur und im Treppenhaus (3. OG + 2. OG)
- Passpunkte P1, P6, P10 & P11  
P1 und P10 zweimal gemessen
- Aufnahmestatistik



System	NavVis VLX 2.0	Z+F IMAGER 5016
Aufnahmedauer	< 1h	ca. 5h
Datenprozessierung	automatisiert	teilweise automatisiert
Instrumentarium	NavVis VLX 2.0	Scan-Kugeln, Stativ, Scanner
Datenvolumen	1,87 GB	0,93 GB
Produkte	3D-PW (RGB) + Panos	Punktwolke (RGB optional)

## 5. Datenauswertung & Ergebnisse

- Datenprozessierung mit der cloudbasierten Softwarelösung IVION
- Auswertung **ohne** Passpunkte als Vergleich der Raumstrecken im 3D-Testfeld – max. Abweichung 18 mm, Stdabw. 5,9 mm
- Auswertung **mit** Passpunkten als Vergleich der Raumstrecken im 3D-Testfeld – max. Abweichung 14 mm, Stdabw. 3,5 mm



# 5. Datenauswertung & Ergebnisse

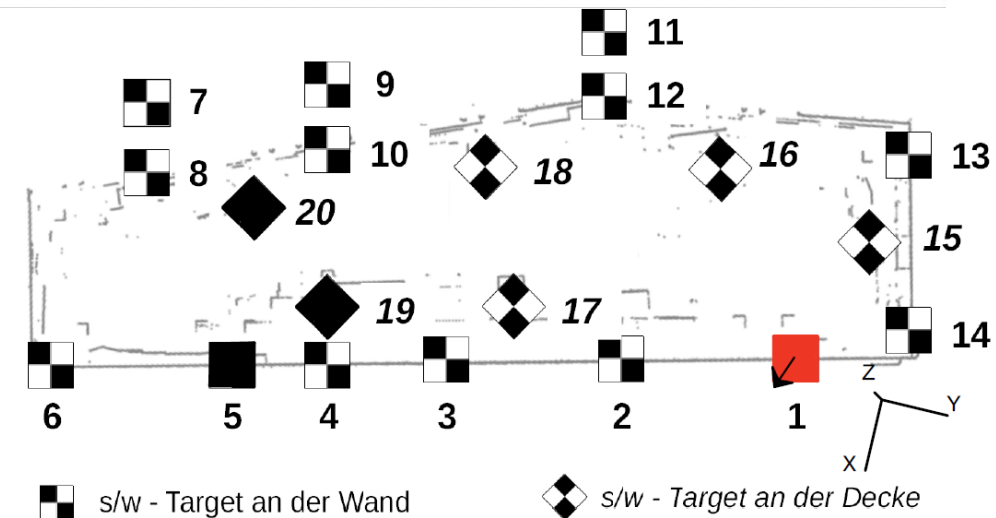
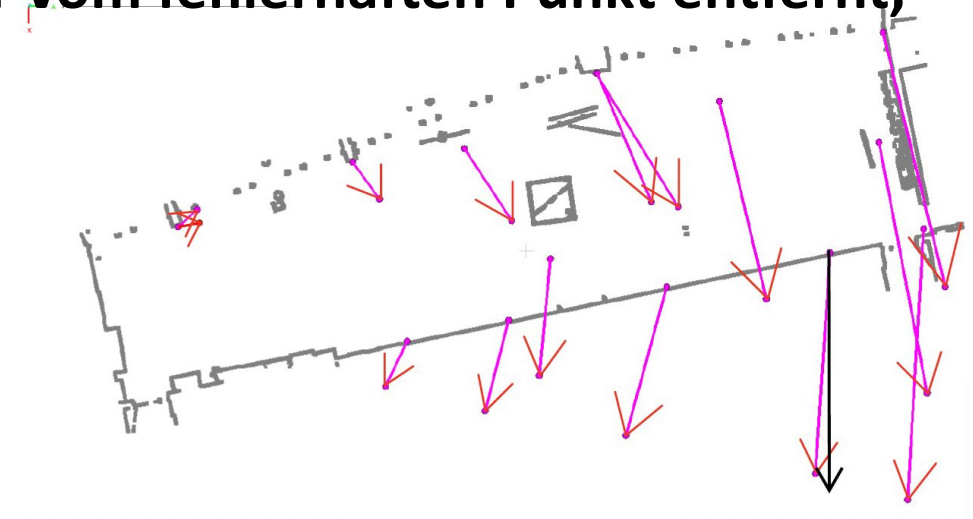
- Experiment 1 – Koordinatenfehler von +10 cm in X-Koordinate von Passpunkt 1
- Ergebnis der Koordinatendifferenzen – je weiter vom fehlerhaften Punkt entfernt, desto geringer der Einfluss

Ergebnis Ausgleichung

Passpunkt	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$
	[mm]		
P1_1	2	-1	0
P1_2	3	-1	0
P6	-6	-3	-2
P10_1	0	1	0
P10_2	-2	1	4
P11	3	4	-3

Ergebnis Koordinatendifferenzen

Punkt-Nr.	$\Delta X$ [mm]	$\Delta Y$ [mm]	$\Delta Z$ [mm]	S zu P1 [m]
1	94	-5	9	0
2	63	-16	7	7,203
3	39	-10	-3	14,015
4	19	-9	9	18,467
7	-7	8	2	27,845
8	-2	9	-16	27,917
9	15	12	10	20,763
11	55	24	1	12,546
12	57	36	2	12,737
13	108	28	7	9,661
14	115	-5	5	4,240
15	107	22	-6	5,283
16	84	21	0	8,093
17	50	-4	2	12,000
18	30	21	3	16,272





# 5. Datenauswertung & Ergebnisse

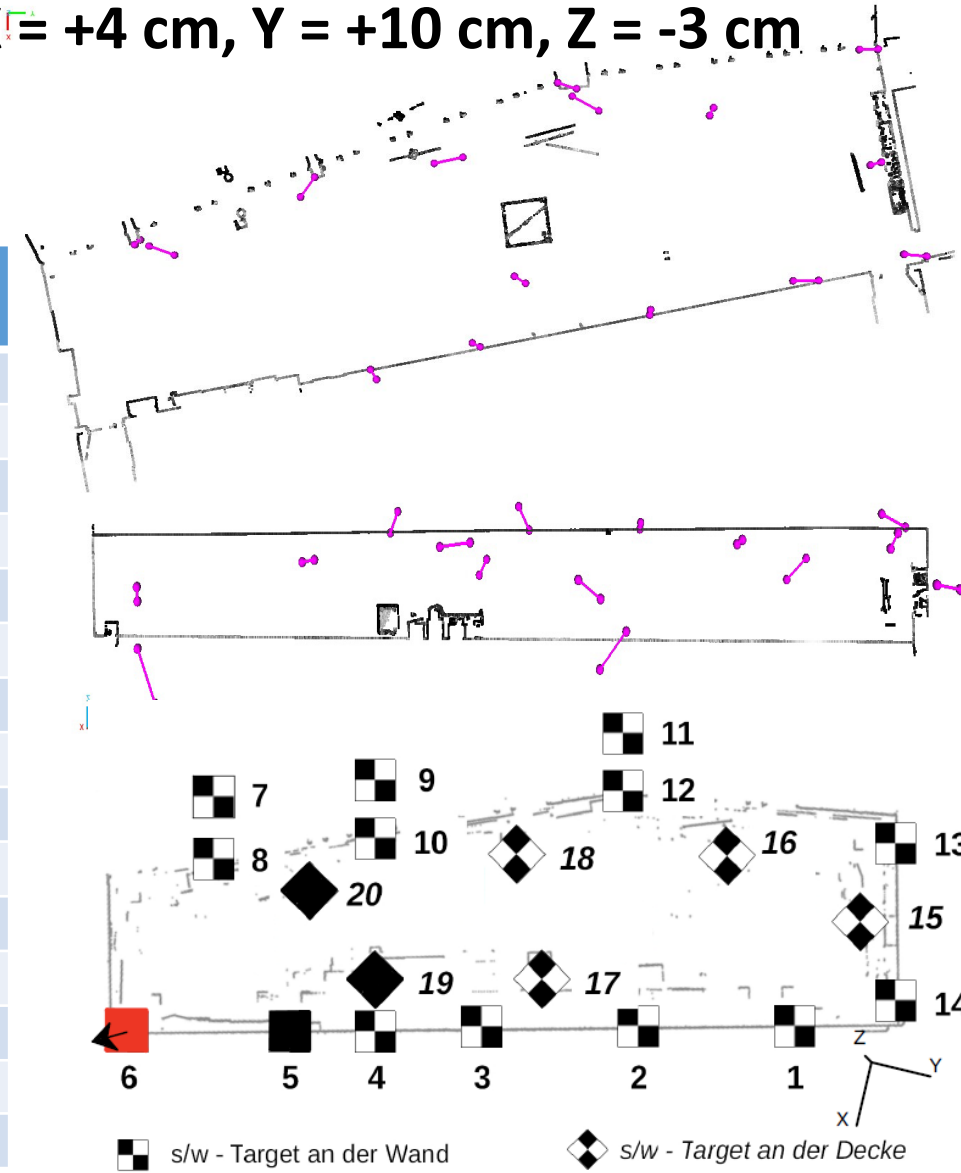
- Experiment 2 – Polygonzugfehler in Passpunkt 6:  $X = +4 \text{ cm}$ ,  $Y = +10 \text{ cm}$ ,  $Z = -3 \text{ cm}$
- Fehler detektiert und im Passpunkt 6 lokalisiert

Ergebnis Ausgleichung

Passpunkt	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$
	[mm]		
P1_1	14	-28	0
P1_2	14	-30	1
P6	-37	78	0
P10_1	7	-24	-5
P10_2	6	-22	-2
P11	16	-26	5

Ergebnis Koordinatendifferenzen

Punkt-Nr.	$\Delta X$ [mm]	$\Delta Y$ [mm]	$\Delta Z$ [mm]	S zu P6 [m]
1	0	-9	-7	30,65
2	-2	0	2	23,53
3	-1	-3	-5	16,636
4	3	3	7	12,226
7	-2	1	-4	7,679
8	3	6	-8	7,974
9	8	-6	-1	13,975
11	-1	-8	6	24,421
12	7	11	9	24,467
13	1	-8	1	35,856
14	0	-11	5	34,772
15	1	-3	-5	33,923
16	-3	1	1	28,31
17	-3	-5	8	19,059
18	-3	11	1	17,954



# 5. Datenauswertung & Ergebnisse

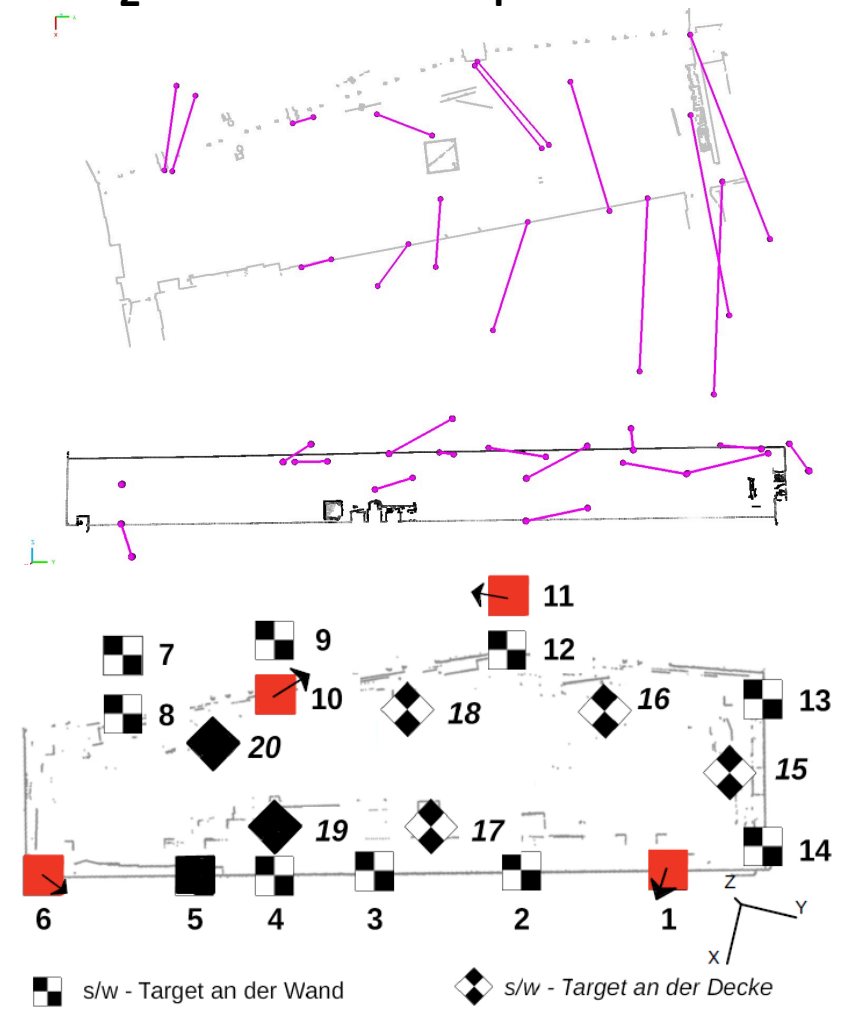
- Experiment 3 – Mehrfache Koordinatenfehler in folgenden Passpunkten:  
 $P1_x = +10$  cm,  $P6_z = +20$  cm,  $P10_x = -2$  cm,  $P10_y = +2$  cm,  $P10_z = +2$  cm,  $P11_y = +4,4$  cm
- Fehler detektiert, aber nicht eindeutig lokalisiert in den Passpunkten

Ergebnis Ausgleichung

Passpunkt	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$
	[mm]		
P1_1	-1	-1	1
P1_2	0	-1	1
P6	-62	-27	-176
P10_1	4	0	-9
P10_2	1	1	-1
P11	49	476	12

Ergebnis Koordinatendifferenzen

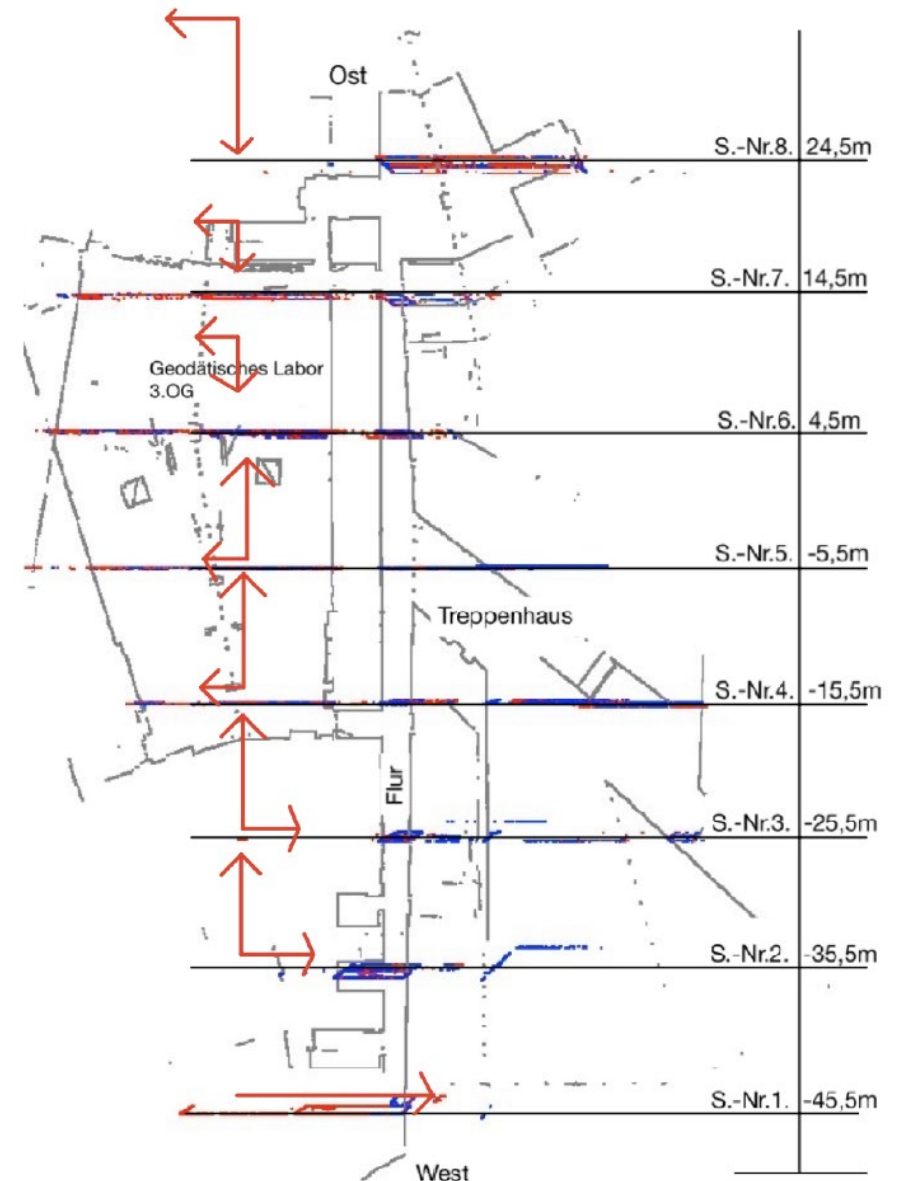
Punkt-Nr.	$\Delta X$ [mm]	$\Delta Y$ [mm]	$\Delta Z$ [mm]
1	98	-3	7
2	61	-18	6
3	25	-17	-6
4	5	-17	0
7	-49	5	0
8	-46	1	-13
9	-3	12	8
11	47	41	15
12	48	41	4
13	115	45	15
14	122	2	-1
15	111	24	4
16	72	22	13
17	38	-2	2
18	12	31	17



# 5. Datenauswertung & Ergebnisse

- Schnitte in der Punktwolke im Vergleich zum Laserscanner
- Je weiter man von Passpunkten entfernt ist, desto ungenauer wird es

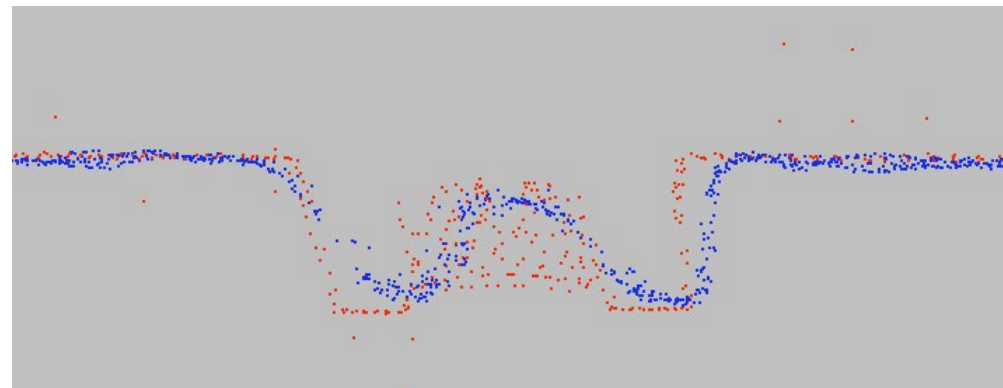
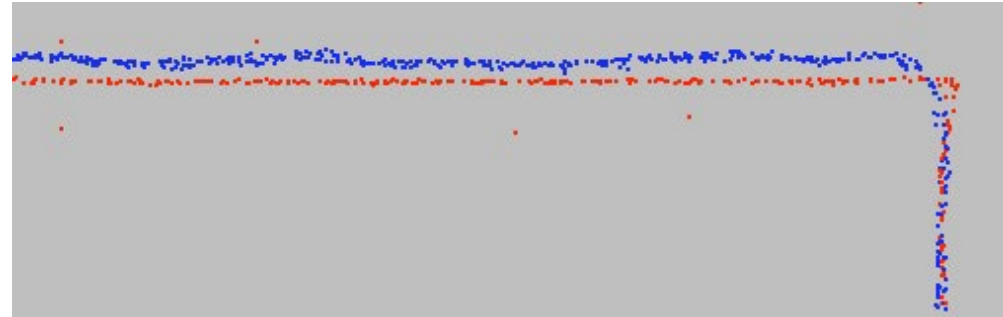
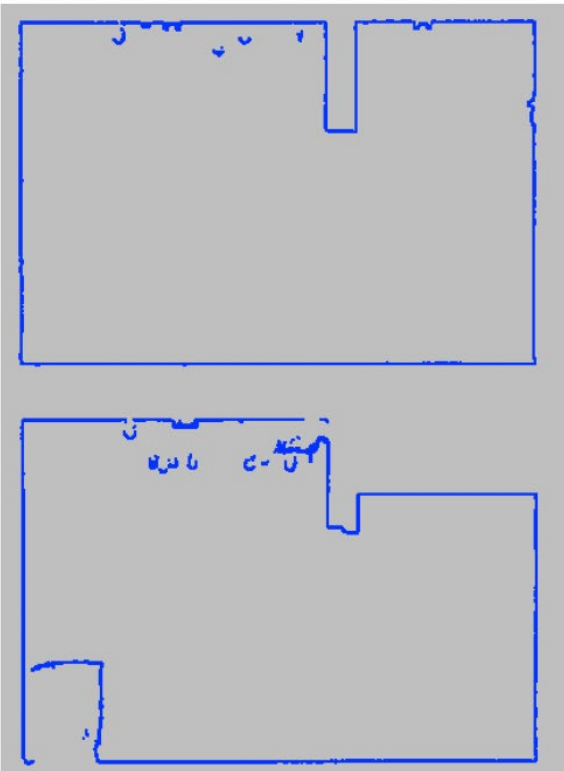
Schnitt	Abweichungen im 3.OG [mm]		Abweichungen im 2.OG [mm]	
	Höhe	Lage	Höhe	Lage
1	nicht messbar	14	nicht messbar	15
2	7	5	-5	17
3	8	4	-4	15
4	8	-3	-4	13
5	7	-3	-5	6
6	-4	-3	-5	4
7	-4	-3	-5	5
8	-9	-5	-5	5





## 5. Datenauswertung & Ergebnisse

- NavVis Punktwolke – kaum Verdeckungen durch Aufnahme, leichte Verschiebung der Punktwolke zur Referenz, wellenförmige Effekte und gerundete Kanten
- IMAGER 5016 – scharfe Kanten, aber auch Verdeckungen an Kanten durch Wahl der Scanstation beim statischen Scanning



Blau:

Rot:



## 5. Datenauswertung & Ergebnisse

- Kugelabstandsmessungen im mobile 3D-Testfeld
- Referenzmessungen der 7 Maßstäbe durch Lasertracker Leica AT960
  - Stabtyp 1: 1772,6 mm Stabtyp 2: 2272,6 mm
  - Kugelradius: 72,7 Std. 0,07 mm
- Vergleich von NavVis VLX 2.0 mit Referenz und Z+F IMAGER 5016



	Imager [mm]	$\Delta_{ref}$ [mm]	NavVis [mm]	$\Delta_{ref}$ [mm]
Kugelradius	72,3	0,4	70,4	-2,2
Std. des Radius	0,3	0,3	0,6	0,5
Stab 1	1776,9	4,3	1772,5	0,1
Stab 2	1772,6	0,0	1770,9	1,8
Stab 3	1772,3	-0,3	1771,8	0,8
Stab 4	1772,5	-0,1	1771,8	0,8
Stab 5	1772,5	-0,1	1772,0	0,7
Stab 6	1772,1	-0,5	1771,5	1,1
Stab 7	2272,5	0,1	2271,0	1,7



## 6. Bewertung des Systems

### ■ Aufnahme

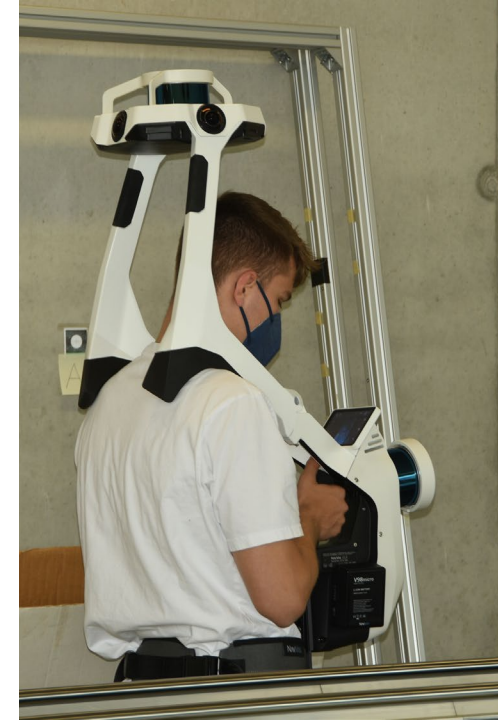
- Erfassung von unterschiedlichen und komplexen Umgebungen ist möglich
- Geringes Gewicht des Systems für einfache Handhabung
- Aufnahme von farbigen Panoramen und 3D-Punktwolken
- Empfehlung – Vorbereitende Passpunktbestimmung durch tachymetrische Messungen

### ■ Datenprozessierung

- Automatisierte Verarbeitung der Daten in der Cloud
- Keine eigenen Computer-Ressourcen erforderlich – Datensicherheit?
- Wenige einzustellende Parameter
- Automatische Messdatenfilterung

### ■ Anwenderfreundlichkeit

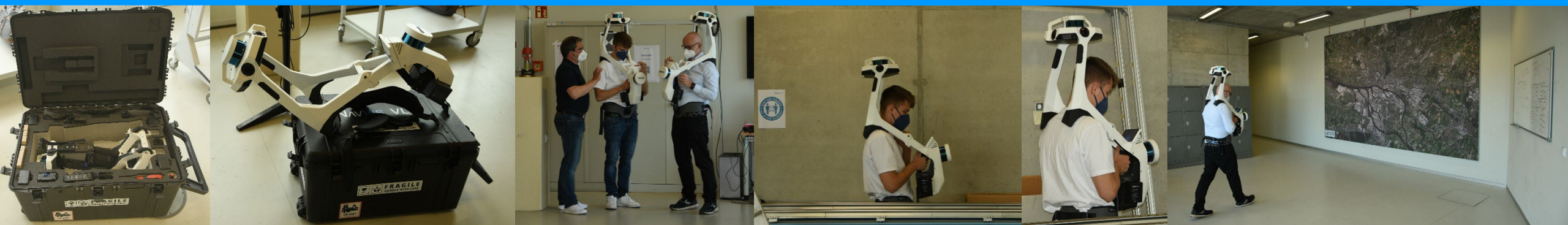
- Hohe Benutzerfreundlichkeit
- Einfacher Mess- und Auswerteprozess für Anwender





## 7. Fazit

- Effizienter Einsatz des NavVis VLX 2.0 im Geodätischen Labor und Fluren der HCU Hamburg
- Geometrische Genauigkeitsuntersuchungen im Labor = techn. Spezifikationen des Herstellers
- Geringere Genauigkeit vs. effiziente Aufnahme im Vergleich zum Laserscanner
- Genauigkeit der Punktwolke abhängig von Passpunktanzahl, -genauigkeit und -verteilung
- Aber: grobe Fehlererkennung in den Ergebnissen unter bestimmten Voraussetzungen möglich
- Keine absolute Genauigkeitsaussage anhand der Ergebnisse möglich
- Geeignetes Vermessungsinstrument für Indoor-Anwendungen und BIM



Dank: **NAVVIS** Thorsten Klaus  
Harald Saeger



Dr. Daniel Wujanz

**Vielen Dank  
für Ihre Aufmerksamkeit!**

**Kontakt – Malte Marsmann & Prof. Dr.-Ing. Thomas P. Kersten**