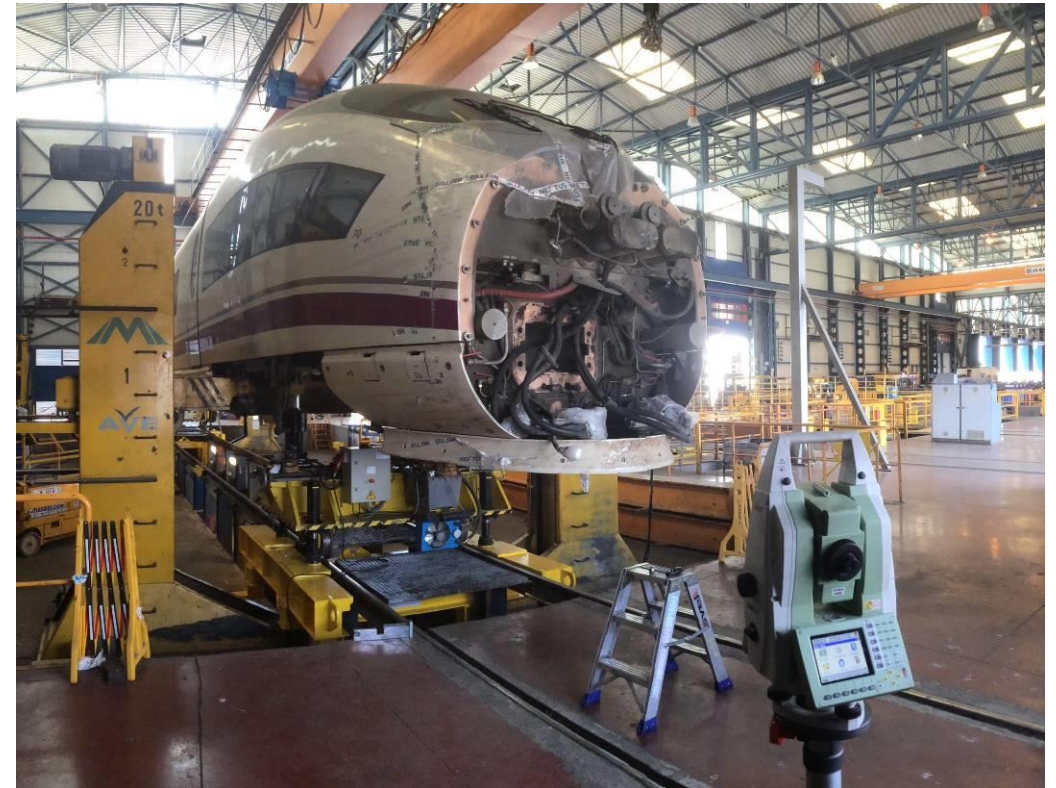


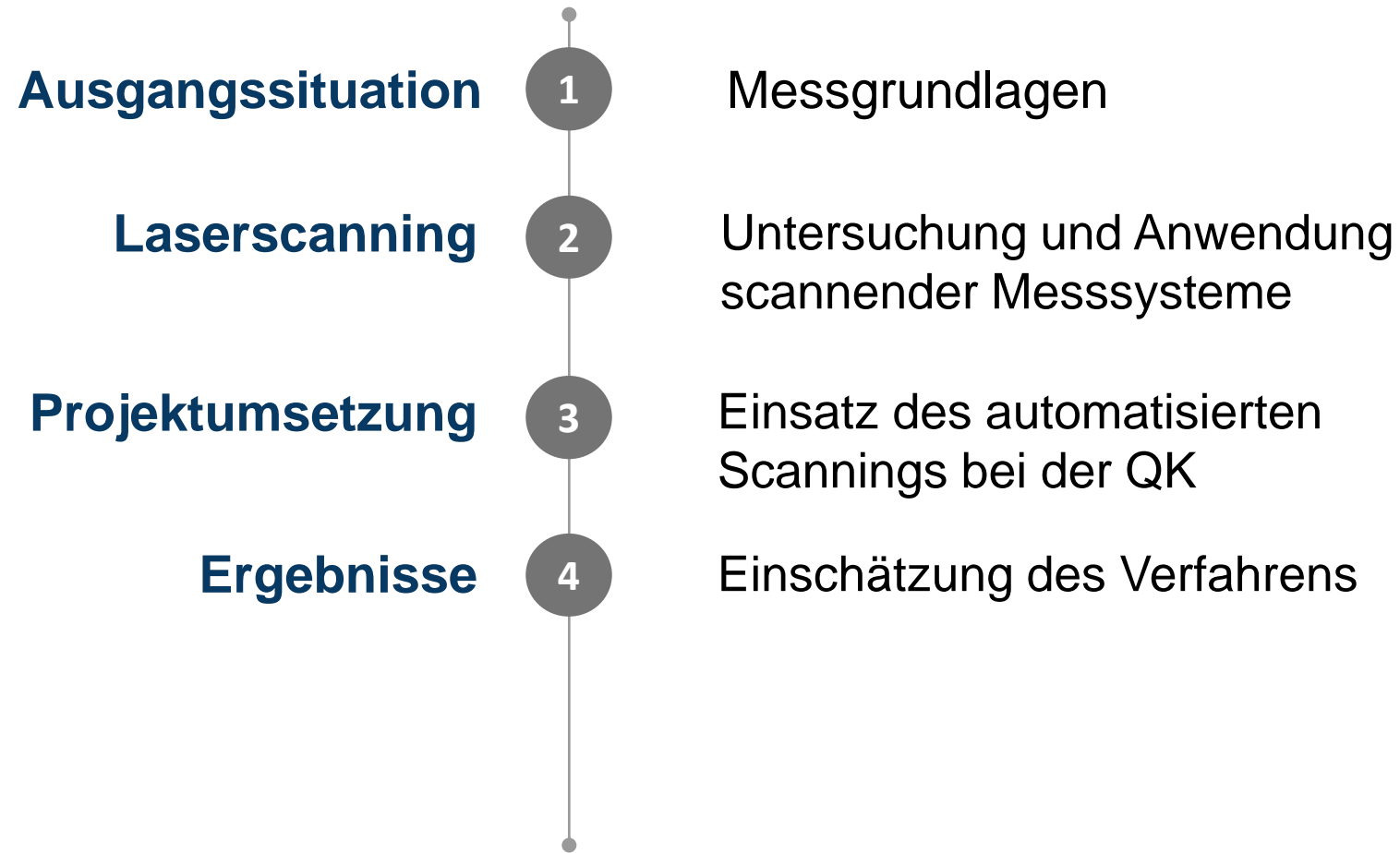
Präzises Laserscanning für die Qualitätskontrolle von Schienenfahrzeugen

Prof. Dr.-Ing. Robin Ullrich | HTW Dresden
BauScan2023
Magdeburg, 09.11.2023

Worum geht es (aus geodätischer Sicht)?

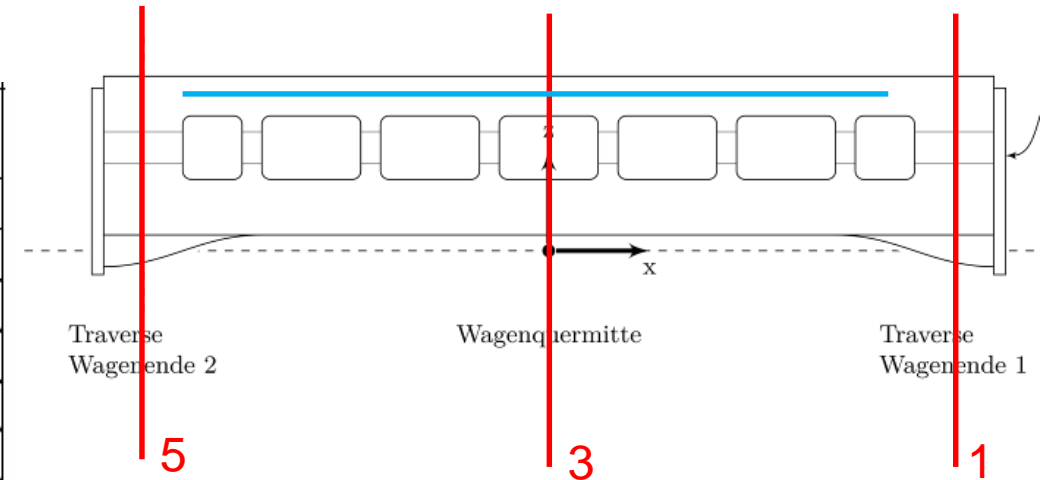
- Qualitätssicherung (Industrievermessung)
- Herstellervorgaben (u.a. DIN25043)
- **komplexe Fahrzeuggeometrie** abgebildet auf (wenige?) Messpunkte bzw. **Messstellen**
- Laufgüte, Fahrzeugbegrenzungsprofil, Entgleisungssicherheit
- u.a. als Nachweise für **Verkehrstauglichkeit**





Messstellen (DIN25043)

MV Nr.	Bezeichnung	Maß	Maße in mm		Fahrzeug-seite	Istmaß bzw. Abweichungen zum Nennmaß an den bezeichneten Messstellen (Maße in mm)				
			Nennmaß	Grenzabmaß		1	2	3	4	5
2.3	Abstand Mitte der Pufferauflage zur Bezugsebene	z38	0	0,5 -0,5	R	0,3				0,1
					L	0,3				
4.1	Abstand der Auflageflächen für die Kraftübertragung Fahrwerk zur Bezugsebene (mit Beilagen)	z43	80	0,5 -0,5	R		0,3		0,1	
					L		0,4		0,4	
	z44	0	R			0,0		-0,3		
			L							
	z45	0	R			0,2				
			L			0,0				
4.2	Lageabweichung der Kraftübertragungselemente zum Fahrwerk in Längs- und Querrichtung mit Bezug zur Wagenlängsebene	x43	10850	3 -3	R		2,3		2,2	
					L		2,4		2,2	
		y43	1000	3 -3	R		-0,2		-0,2	
					L		-0,2		-0,2	
8.1	Lage der Seitenwände gegenüber Wagenlängsmittle	y32	1500	10 -10	R	1,2	6,7	3,3	4,3	3,7
					L	6,1	6,5	6,7	6,6	5,9

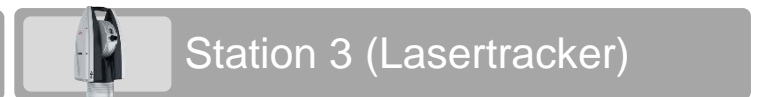
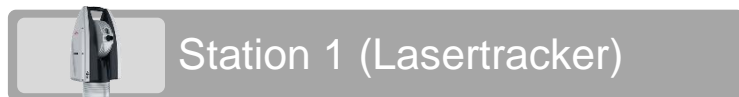
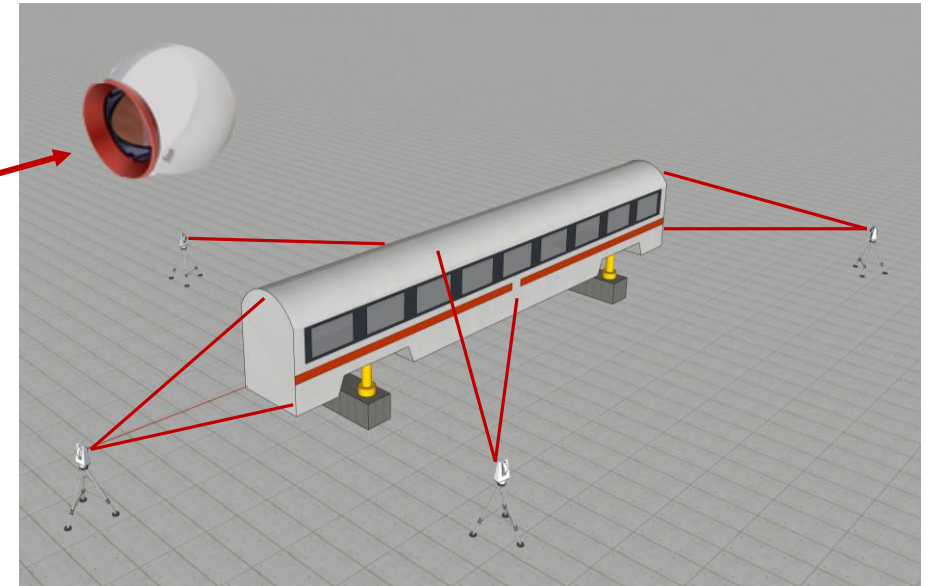


Messstrategie

- 3 bis n Instrumentenstandpunkte
- Transformation durch Referenz- und Verknüpfungspunkte
- Ableitung von Dimensionen/Maße aus Koordinaten



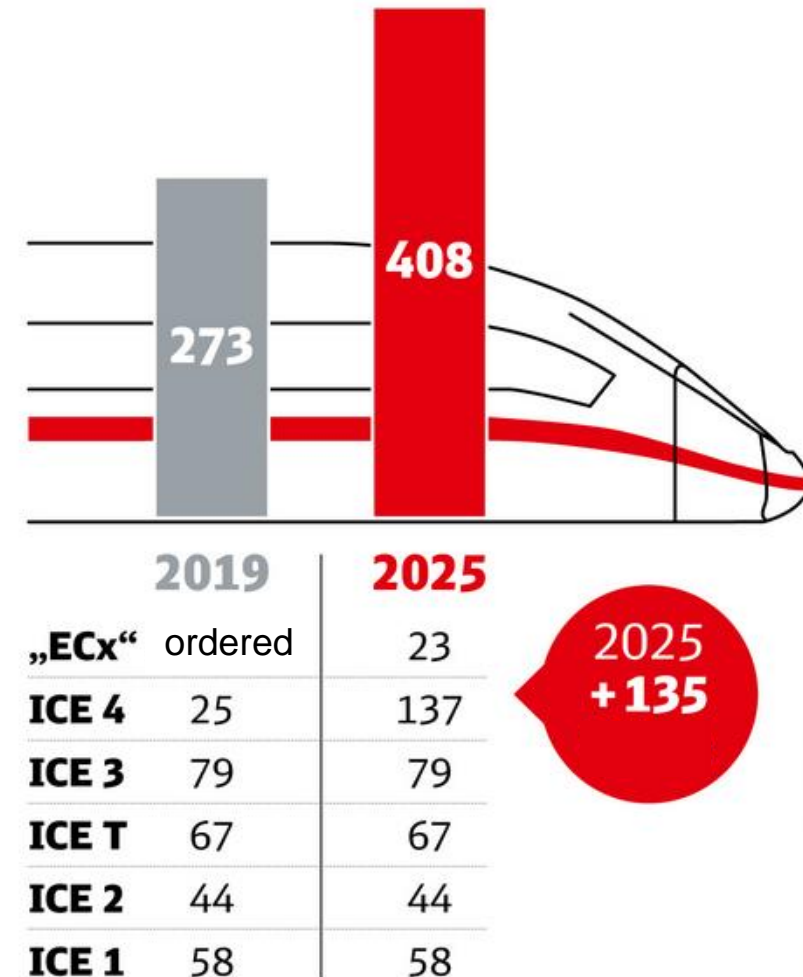
[x,y,z]



[Messzeit]

Herausforderungen – ein Beispiel

- Wachstum der DB Inter-City Express (ICE) Flotte bis 2025
- In der Abb. nur Züge mit ICE-Standard gezeigt (ähnliche Tendenz für andere Kategorien)
- höhere Anzahl an Fahrzeugen nötig
- Aktuelle Messprozesse werden den höheren Anforderungen nicht gerecht
- **Messprozess muss beschleunigt werden**



Deutsche Bahn AG, 03/2019

**Mehrere Lasertracker
simultan betreiben**
☹ Personal, Instrumente

**Mehrere Messstandorte
gleichzeitig betreiben?**
☹ Gewachsene Strukturen,
Personal, Instrumente, EKM

Berührungslose Messungen integrieren
☹ Genauigkeit, Zugänglichkeit

- **Laserscanner** für geringere Genauigkeitsansprüche
- **Lasertracker** für präzise Messung
- Höherer Bedarf an Instrumenten, aber das Personal bleibt identisch



Bild von
macrovector_official
auf Freepik

Laserscanner -Limitierungen

✓ Geräteparameter

- Material der Fahrzeuge
- Auftreffwinkel
- Genauigkeit der Scanner
- Definition der Messstellen
- Sichtbarkeiten
- Toleranzangaben (DIN25043, DIN18710)

Modell	Hersteller	Einsatzbereich	Distanzgenauigkeit
100HSX	Surphaser	1-35 m	<0,35 mm @ 15 m
IMAGER 5016	Z+F	0,3-187 m	0,3 mm @ 15 m
ATS600	Leica	1-60 m	<0,3 mm @ 15m
VZ-400i	Riegl	0,5-120 m	5 mm @ 100 m
VZ-200	Riegl	1,5-140 m	5 mm @ 100 m
FOCUS S 70	FARO	0,6-70 m	0,3 mm @ 10 m
Artec Ray	artec3d	<110 m	<0,7 mm @ 15 m
GLS 2000	TOPCON	350 m	3,5 mm @ 1-150 m
Polaris HD	Teledyne optech	1,5-250 m	5 mm @ 100 m
TX 8	Trimble	0,6-120 m	<1 mm @ 2 m
TX 6	Trimble	0,6-80 m	<2 mm @ 2 m-80 m
RTC360	Leica	0,5-130 m	0,4 mm @ 10 m
ScanStation P50	Leica	0.4-120 m	1,2 mm + 10 ppm (<120 m)

Untersuchung der Scanner

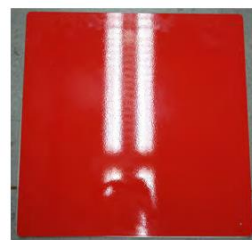
- Testbleche in verschiedenen Winkel- und Distanzkombinationen
- Referenzebenen mit Lasertracker (Nester, Kinematik)



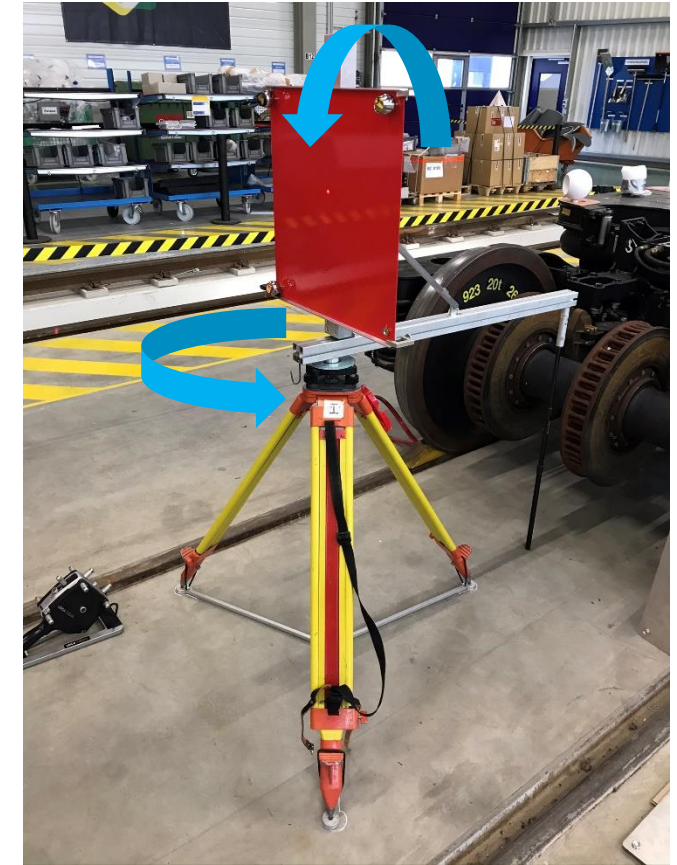
(b) Stahl



(c) weiß lackiert

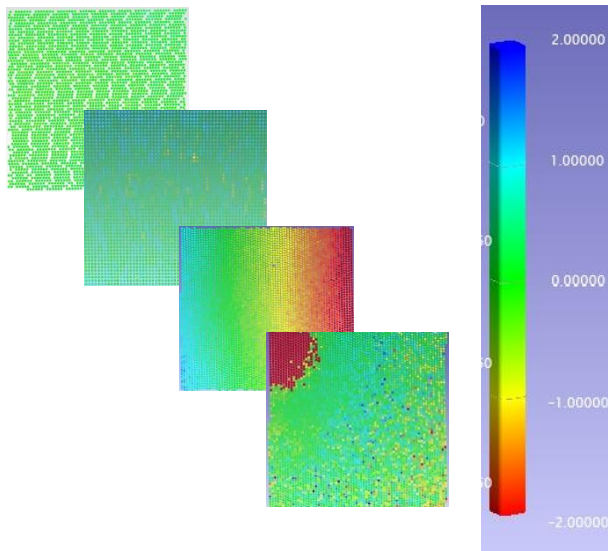


(d) rot lackiert



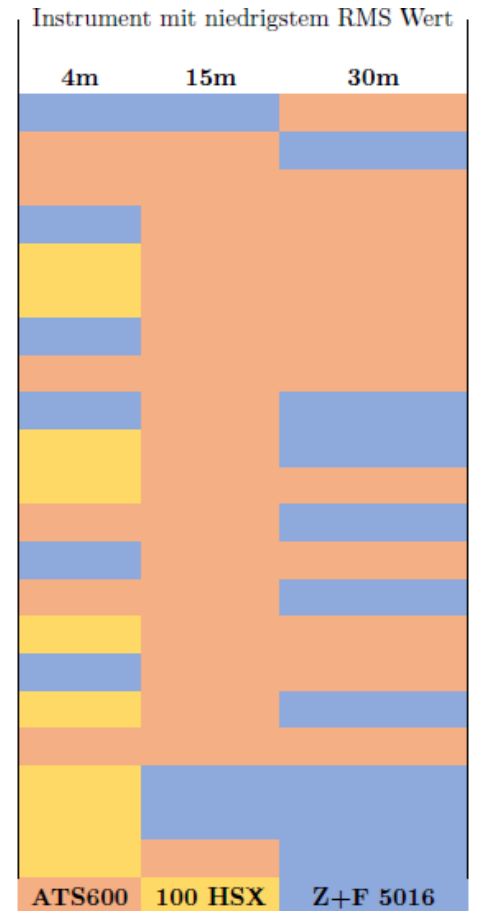
Untersuchungsergebnisse

- RMS der Scanpunkt-differenzen zur Referenzebene [mm]
- Normalenvektor auf Referenzebene



Hz	Vz		Leica ATS600			Surphaser 100HSX			Z+F 5016		
			4m	15m	30m	4m	15m	30m	4m	15m	30m
0°	0°	Rot	0,29	0,42	0,29	0,65	0,66	-	0,21	0,28	0,48
		Weiss	0,32	0,46	0,46	0,59	1,33	-	0,54	0,70	0,39
		Stahl	0,28	0,15	0,16	9,57	1,11	-	X	-	X
15°	0°	Rot	0,32	0,38	0,25	0,32	0,65	-	0,16	-	0,67
		Weiss	0,29	0,39	0,47	0,28	0,76	-	0,52	-	0,60
		Stahl	0,33	0,22	0,48	0,25	-	-	0,29	-	0,55
30°	0°	Rot	0,29	0,28	0,43	0,24	0,63	-	0,12	-	0,86
		Weiss	0,31	0,65	0,78	0,33	0,72	-	0,47	-	0,84
		Stahl	0,42	0,30	0,90	0,27	5,34	-	0,25	-	0,82
60°	0°	Rot	0,21	0,19	0,98	0,12	0,76	-	0,13	-	0,98
		Weiss	0,38	0,75	1,23	0,30	0,79	-	0,52	-	1,33
		Stahl	0,51	0,26	1,66	0,65	7,21	-	0,69	-	1,14
15°	15°	Rot	0,33	0,57	0,28	0,45	0,76	-	0,17	-	0,40
		Weiss	0,28	0,39	0,35	0,29	0,71	-	0,49	-	0,26
		Stahl	0,40	0,14	0,32	0,18	3,96	-	0,23	-	0,45
30°	30°	Rot	0,24	0,55	0,20	0,31	0,76	-	0,13	-	0,32
		Weiss	0,27	0,34	0,34	0,19	0,74	-	0,48	-	0,25
		Stahl	0,33	0,21	0,60	0,38	13,29	-	0,33	-	1,01
60°	60°	Rot	0,22	0,27	0,81	0,11	0,85	-	0,14	0,23	0,70
		Weiss	0,40	0,29	0,83	0,33	1,01	-	0,54	0,23	0,54
		Stahl	0,32	0,34	1,25	0,30	21,35	-	0,42	-	0,66

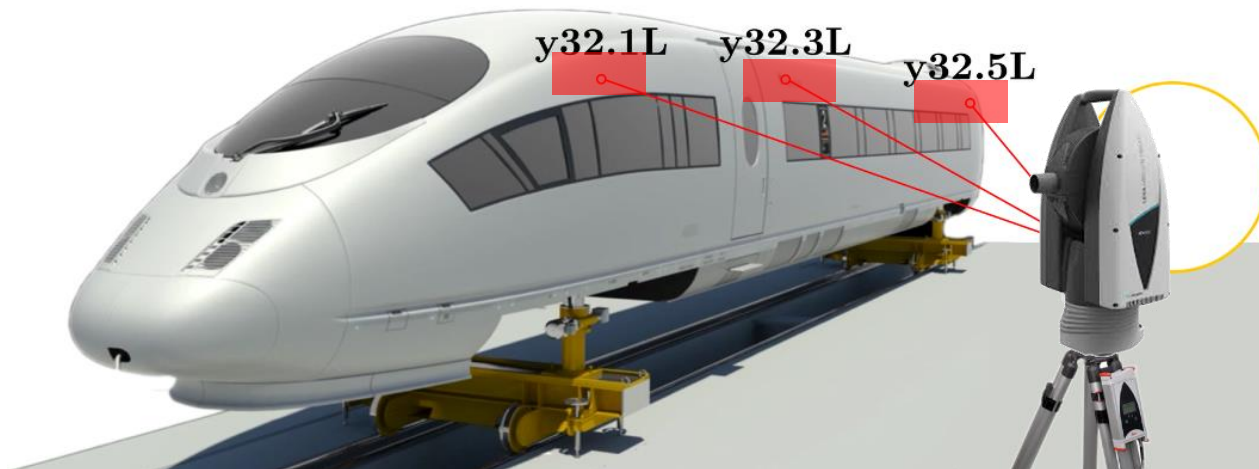
- keine Messung X Messung nicht erfolgreich



Leica ATS600

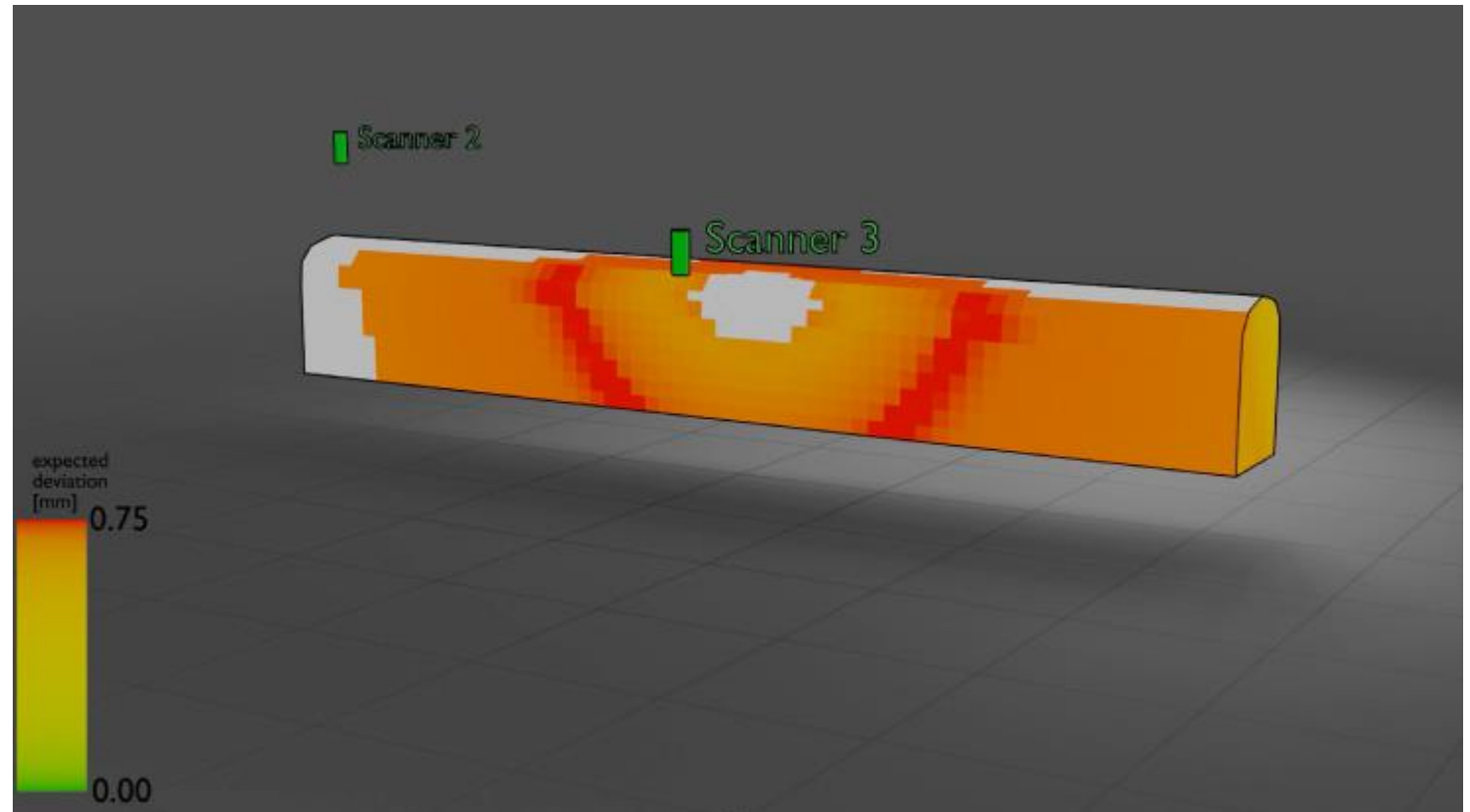
- „Lasertracker mit integrierter Scanningfunktion“
- ...d.h., die Nutzung von **Reflektoren** ist trotzdem möglich
- Vorteil einer **selektiven Bereichsauswahl**
- Besonders einfache Standpunktverknüpfung
- Zeitersparnis/ Prozessierung
- Genügend Redundanz
- **Kenngößen** Leica ATS600 und Stationierung (Erweiterte Messunsicherheit $U_y = 0,7\text{mm}$ mit Stationierung)

4.2	Lageabweichung der Kraftübertragungselemente zum Fahrwerk in Längs- und Querrichtung mit Bezug zur Wagenlängsebene	x43	10850	3	-3	R
						L
		y43	1000	3	-3	R
						L
8.1	Lage der Seitenwände gegenüber Wagenlängsmittle	y32	1500	10	-10	R
						L



Standpunktsimulation mit Blender (Genauigkeit)

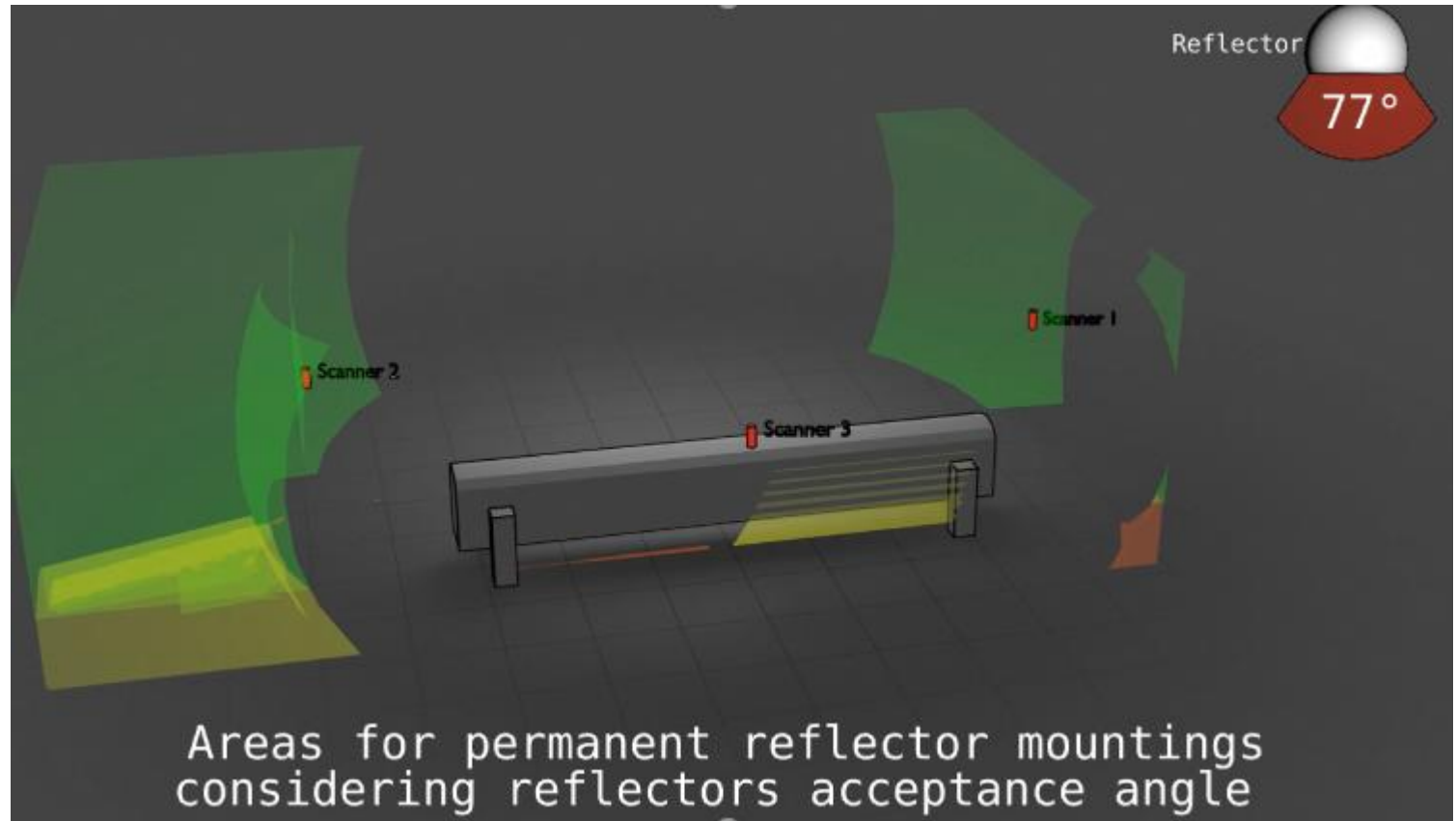
- Einfallwinkel bzw. Auftreffwinkel
- Messunsicherheit Instrument
- Sichtbehinderungen (Hallenlayout)
- Akzeptanzwinkel des Reflektors
- Möglichst hohe Genauigkeit der Scans
- **Iterativer Prozess**



[Video: Emanuel Schütz]

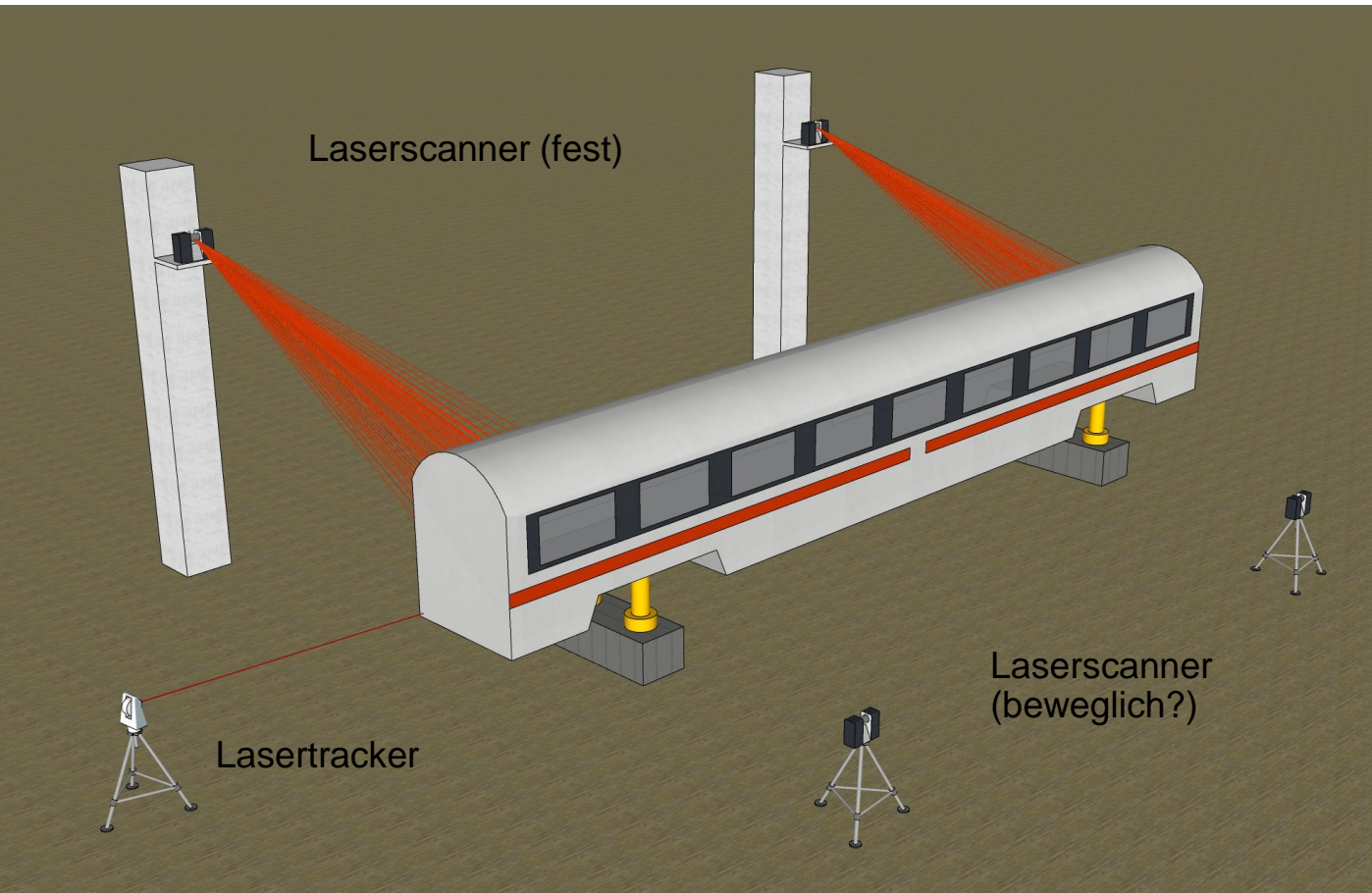
Standpunktsimulation mit Blender (Sichten)

- Einfallswinkel bzw. Auftreffwinkel
- Messunsicherheit Instrument
- Sichtbehinderungen (Hallenlayout)
- Akzeptanzwinkel des Reflektors
- Möglichst hohe Genauigkeit der Scans
- **Iterativer Prozess**



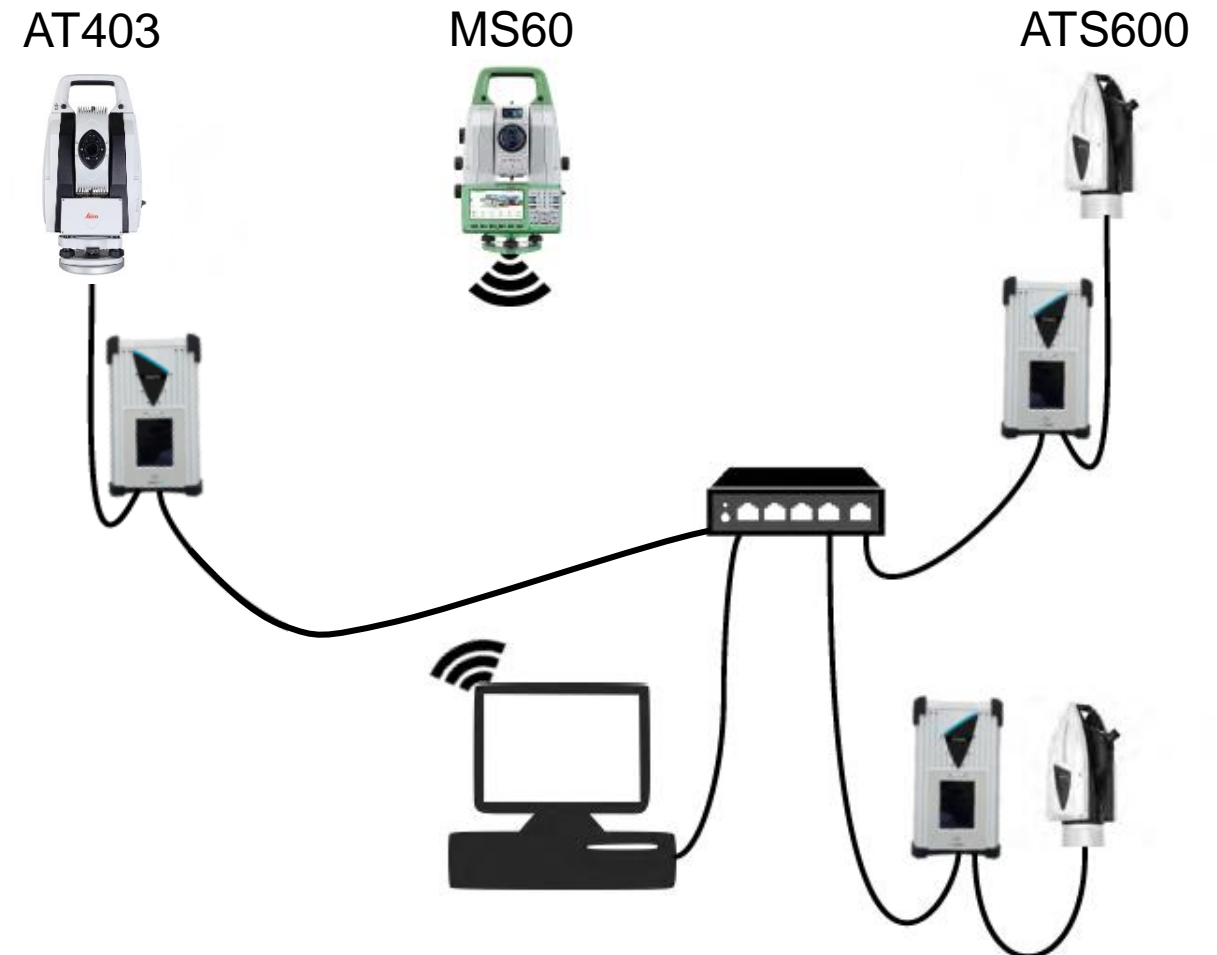
[Video: Emanuel Schütz]

Finales Messkonzept



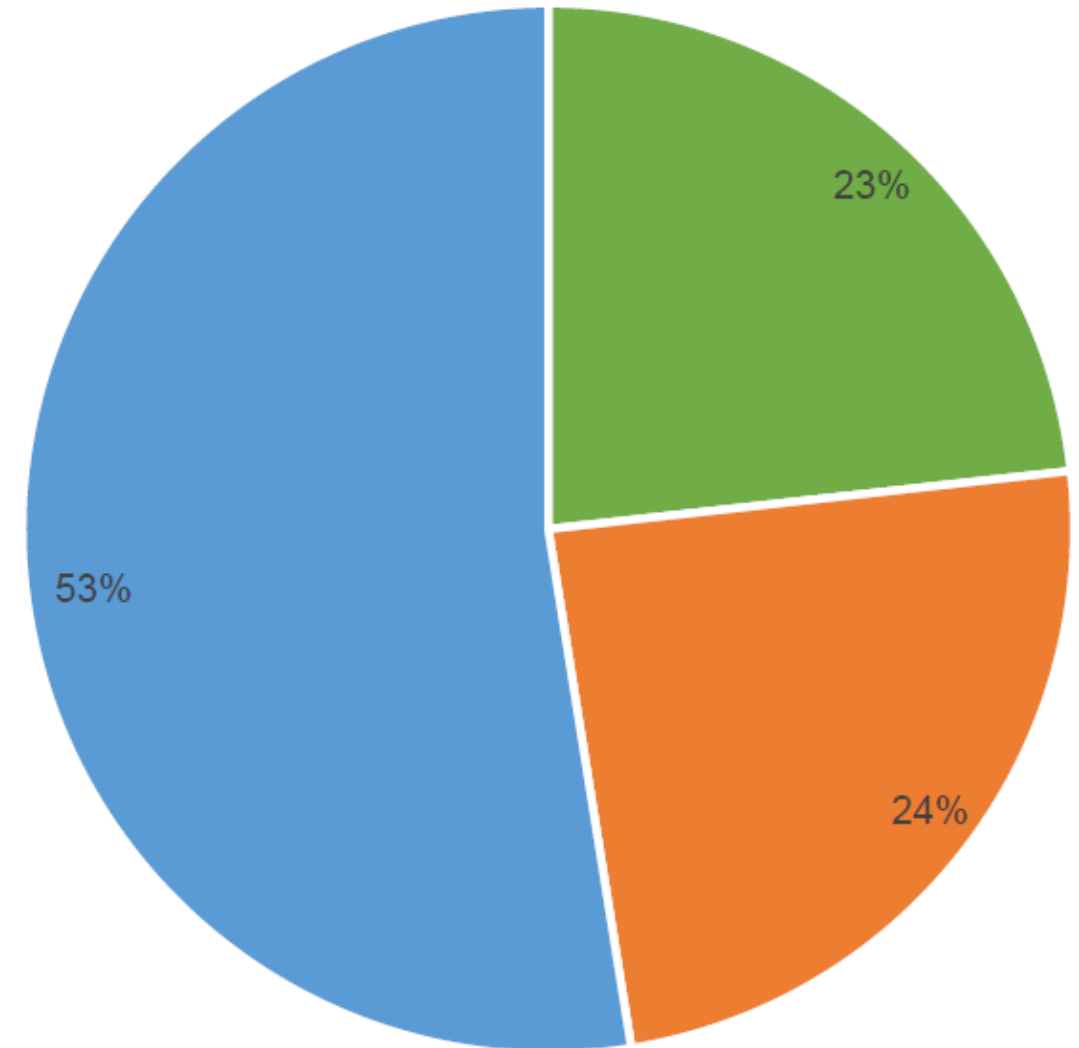
Projektkonzept & Sensorvernetzung

- 2x Leica ATS600 für Scanning
- 1x Leica MS60 für Scanning
- 1x Leica AT403 für präzise Messungen
- SpatialAnalyzer (SA) als Basisapplikation
- Projekt-Software setzt auf Automatisierungsschnittstelle von SA auf



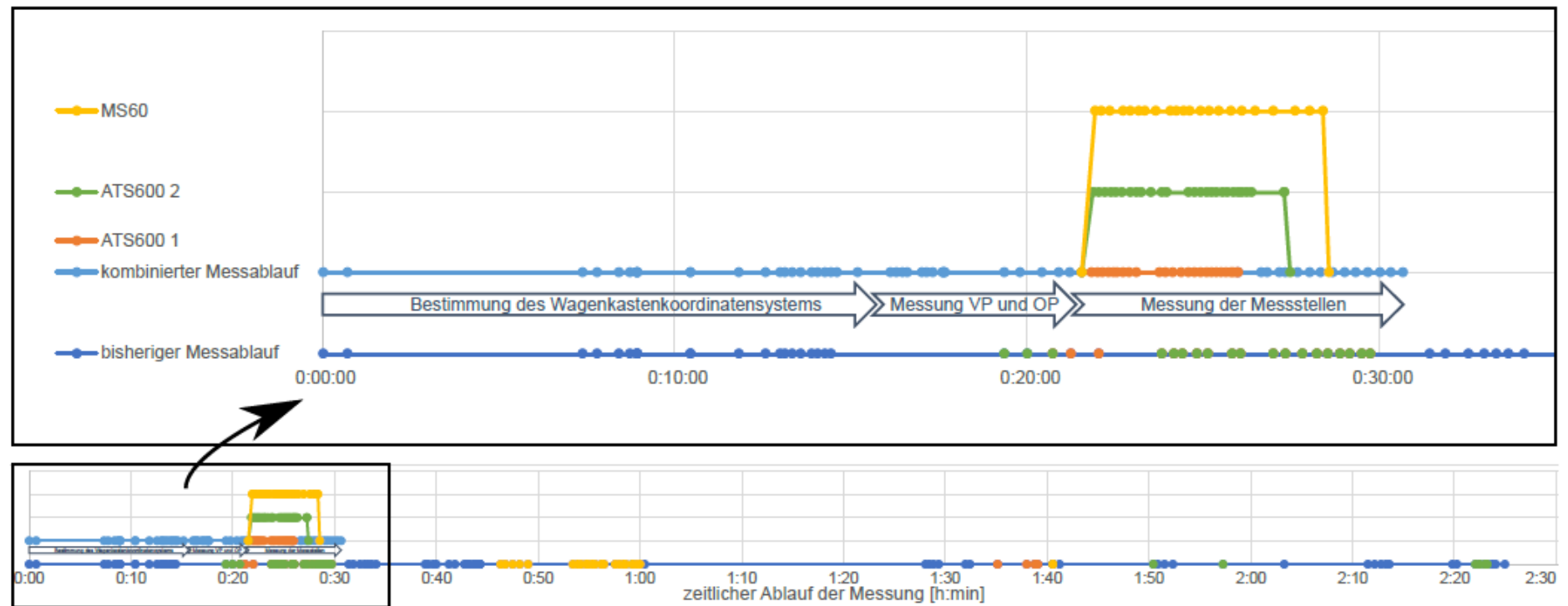
Vergleichsmessung ursprünglichen Messabla

- Anteil gescannter Messtellen bzgl. des Gesamtumfangs
- Blau: Reflektormessungen
- Grün: Scanning
- Orange: Scanning teilweise umsetzbar

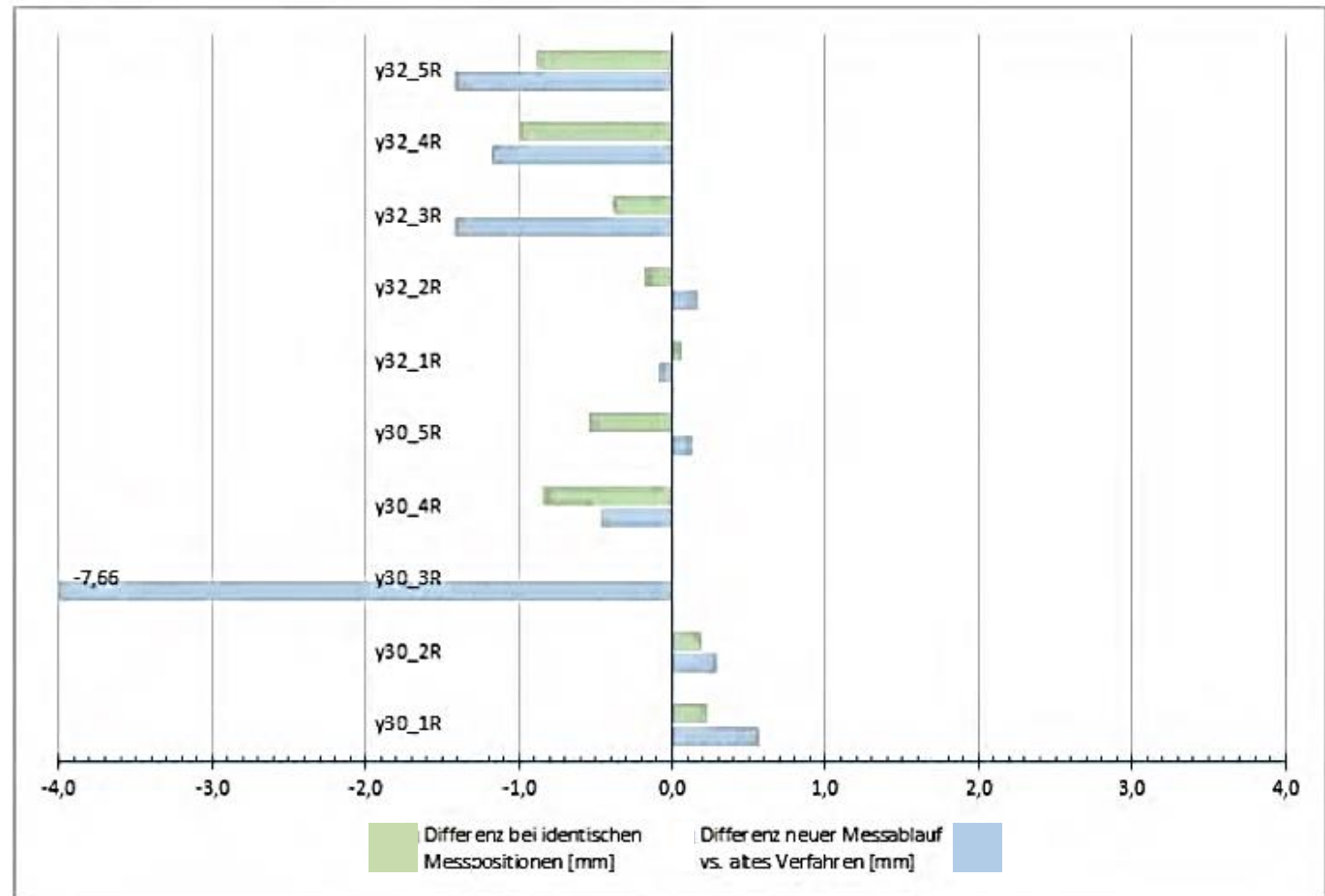


Vergleichsmessung ursprünglichen Messablauf

- Zeitlicher Ablauf (idealisierte Darstellung mit teilweise möglichen Bereichen)
- Realzeit ca. 1 Stunde mit ATS600



Vergleichsmessung ursprünglichen Messablauf

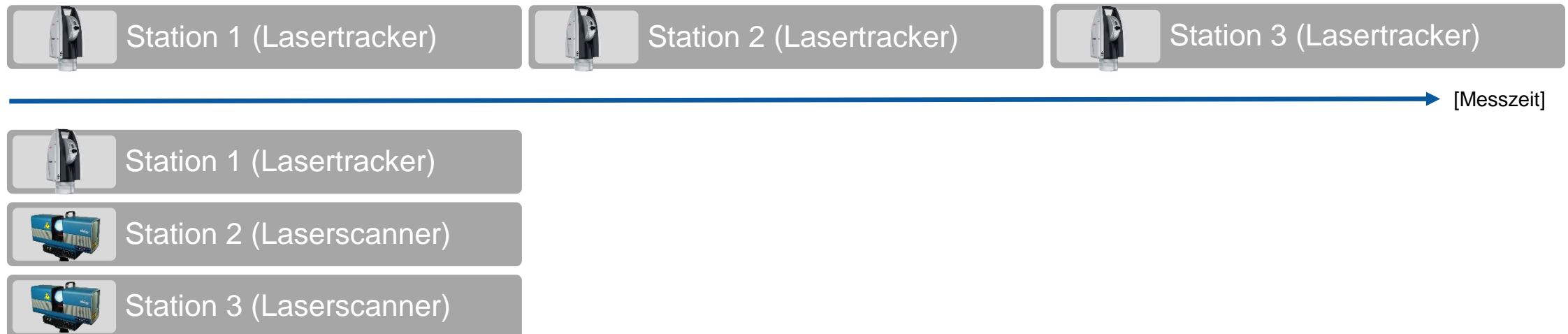


Genauigkeit umsetzbar

Zeitersparnis bis zu 50% (Prognose)

Arbeitssicherheit (keine Absturzsicherungen für Dachmessungen)

Einsparung von Messadaptern (und deren Kalibrierung)



Dank & Fragen



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

