

„Genauigkeitsuntersuchung für die Erfassung dreidimensionaler Bestandsdaten von  
Verkehrsanlagen mittels Airborne und Mobile Laserscanning“  
4. Hamburger Anwenderforum Terrestrisches Laserscanning 23.06.2011

**Felix Eitel**



## HafenCity Universität Hamburg

### Fachbereich Geomatik

Betreut wurde diese Arbeit durch:

Prof. Dipl.-Ing. Thomas Kersten (HafenCity Universität Hamburg)

Dipl.-Ing. Robert Hau (Nebel & Partner)



- Nur durch Absperr- und Sicherungsmaßnahmen möglich.
- Beeinträchtigung des Verkehrs.
- Reibungsloser Messungsablauf meist unmöglich.



- Alternative: kombiniertes Airborne und Mobile Laserscanning.
- Motivation: Genauigkeitsuntersuchung.



Planungsgrundlage: Erfassung der Bestandsdaten mit Airborne und Mobile Laserscanning

Erfassungskorridor: Weserbrücke  
2 km Bundesstraße B 215  
Nebenstraßen

## TopEye-System



# Systemkomponenten Airborne Laserscansystem



## GPS

Bestimmung der Helikopterposition mittels GPS jede Sekunde

- Auswertung im Post-Processing



## Inertialmesssystem INS

- Bestimmung der Beschleunigungen im Raum
- Zur Systemstabilisierung und
- Interpolation der Helikopterpositionen zwischen den GPS-Positionen

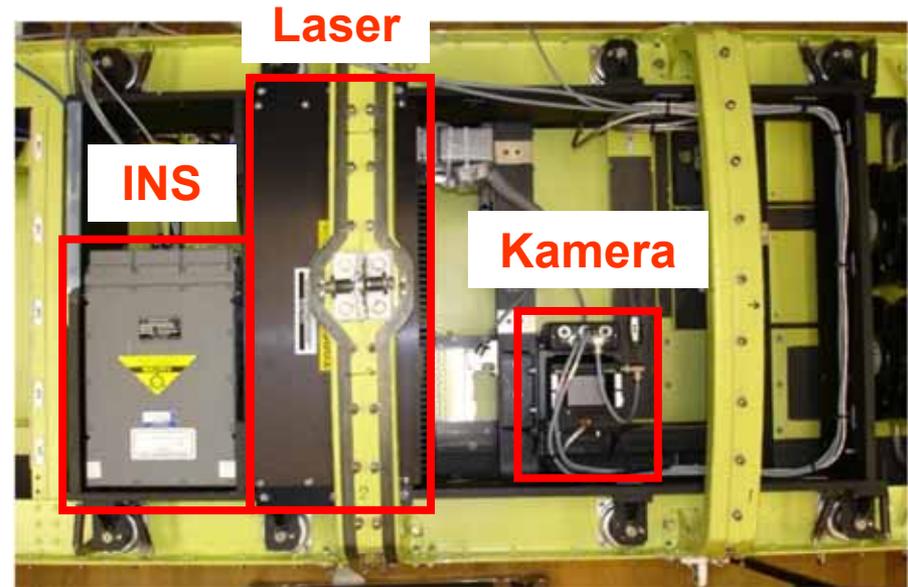


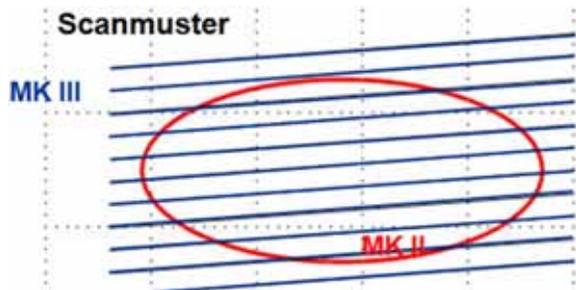
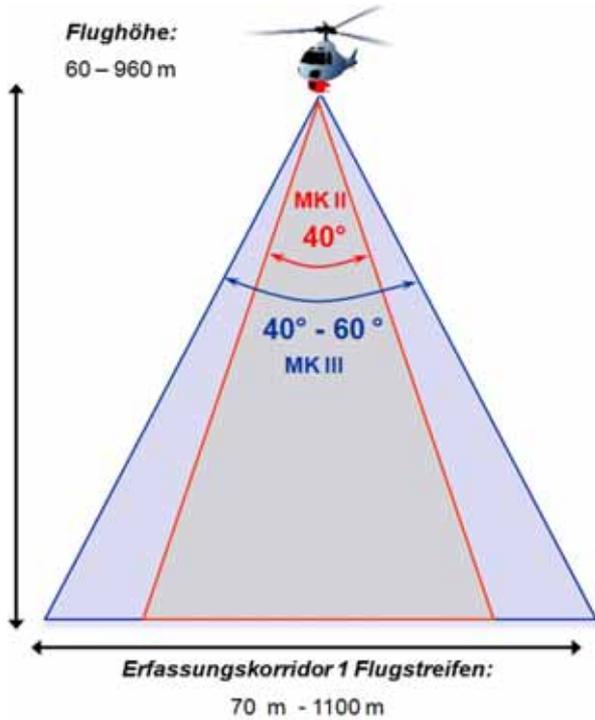
## Laserscanner

- Rotierendes Spiegelsystem
- Entfernungsmessung zum Reflexionspunkt
- MK II = 50.000 Punkte pro sec.
- **MK III = 160.000 Punkte pro sec.**
- Meßbereich 50 m – 1.000 m

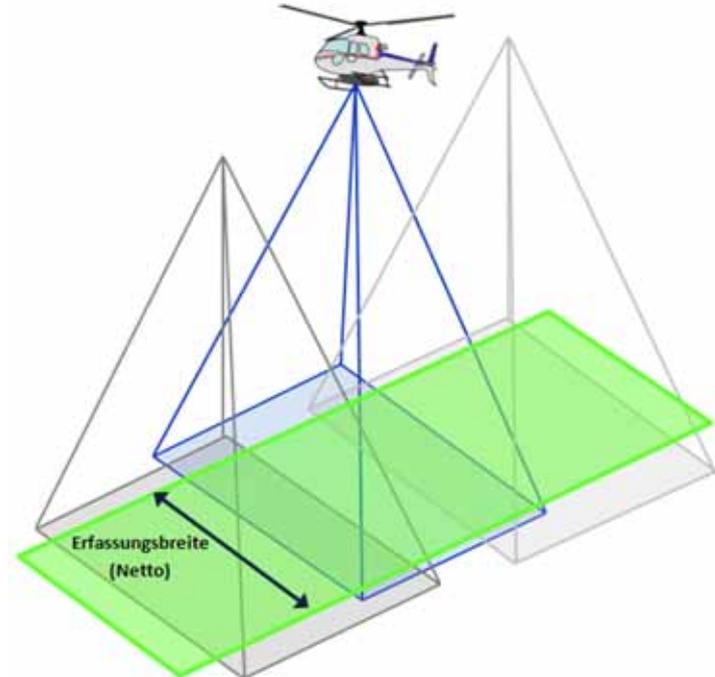
## Kamera

- Hochauflösende kalibrierte Digitalkamera
- Gleicher Erfassungskorridor wie Laser
- Auflösung **7228 x 5428 Pixel (39 MegaPixel)**

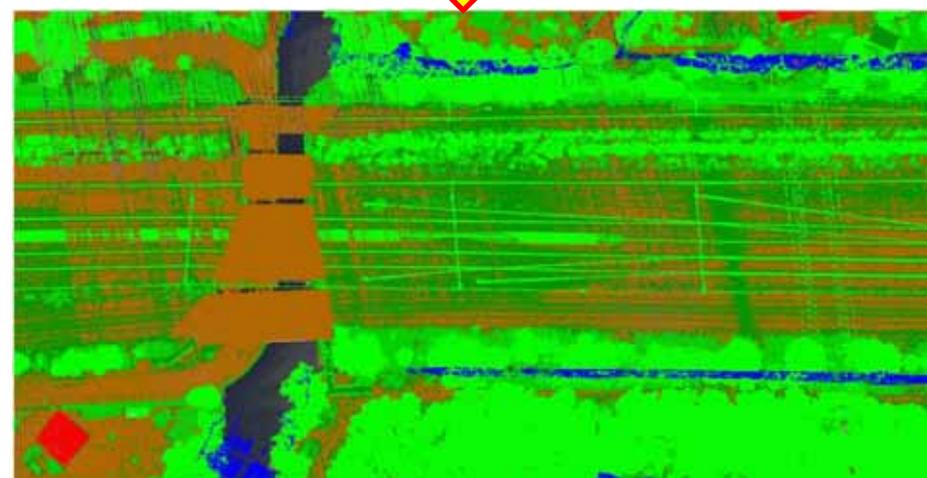
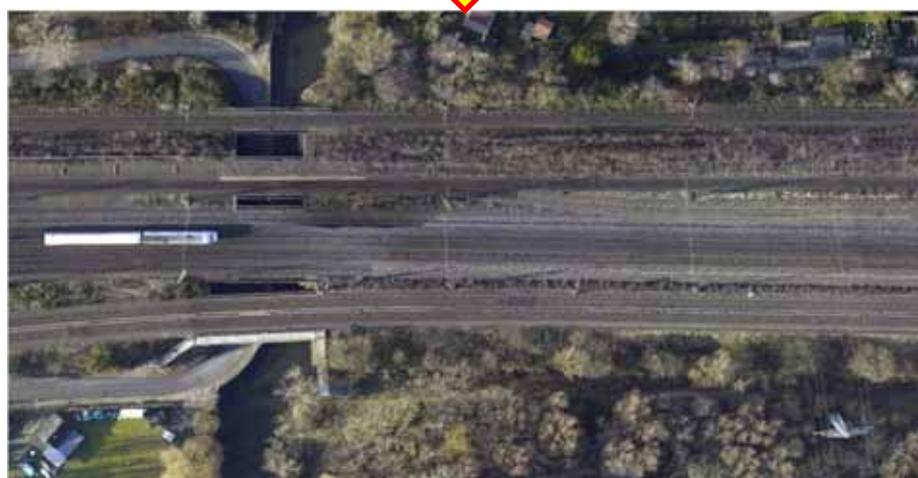
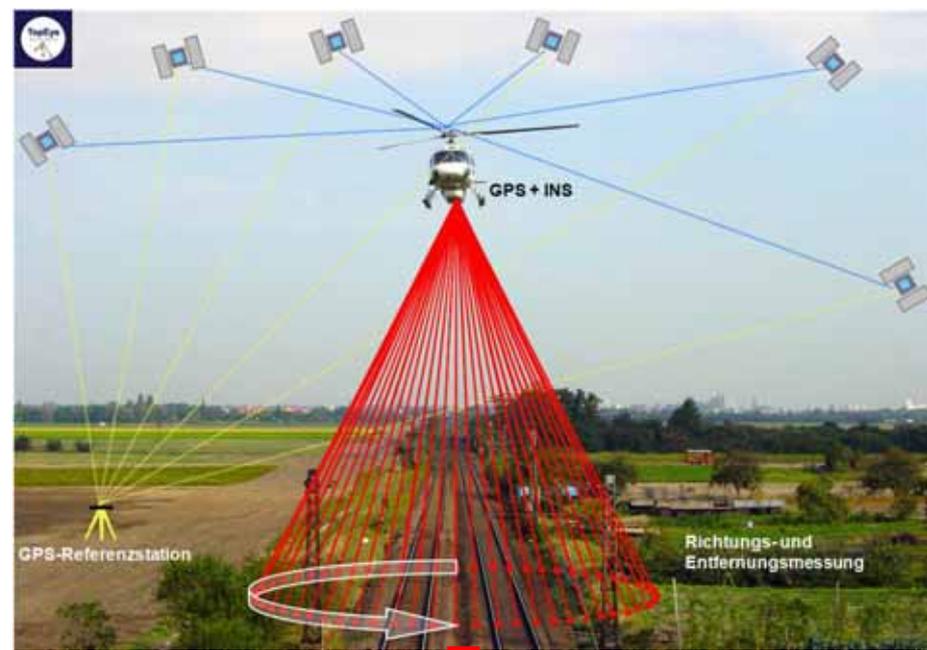




Flughöhe	Laserscanner				Kameraauflösung
	Brutto	Netto (70%)	MK II Punkte / m <sup>2</sup>	MK III Punkte / m <sup>2</sup>	Bodenauflösung
100 m	73	51	20 - 33	60 - 100	1 cm
200 m	146	102	10 - 17	30 - 50	2 cm
300 m	218	153	7 - 11	20 - 33	3 cm
500 m	364	255	4 - 7	10 - 20	5 cm
700 m	510	357	3 - 5	5 - 15	7 cm



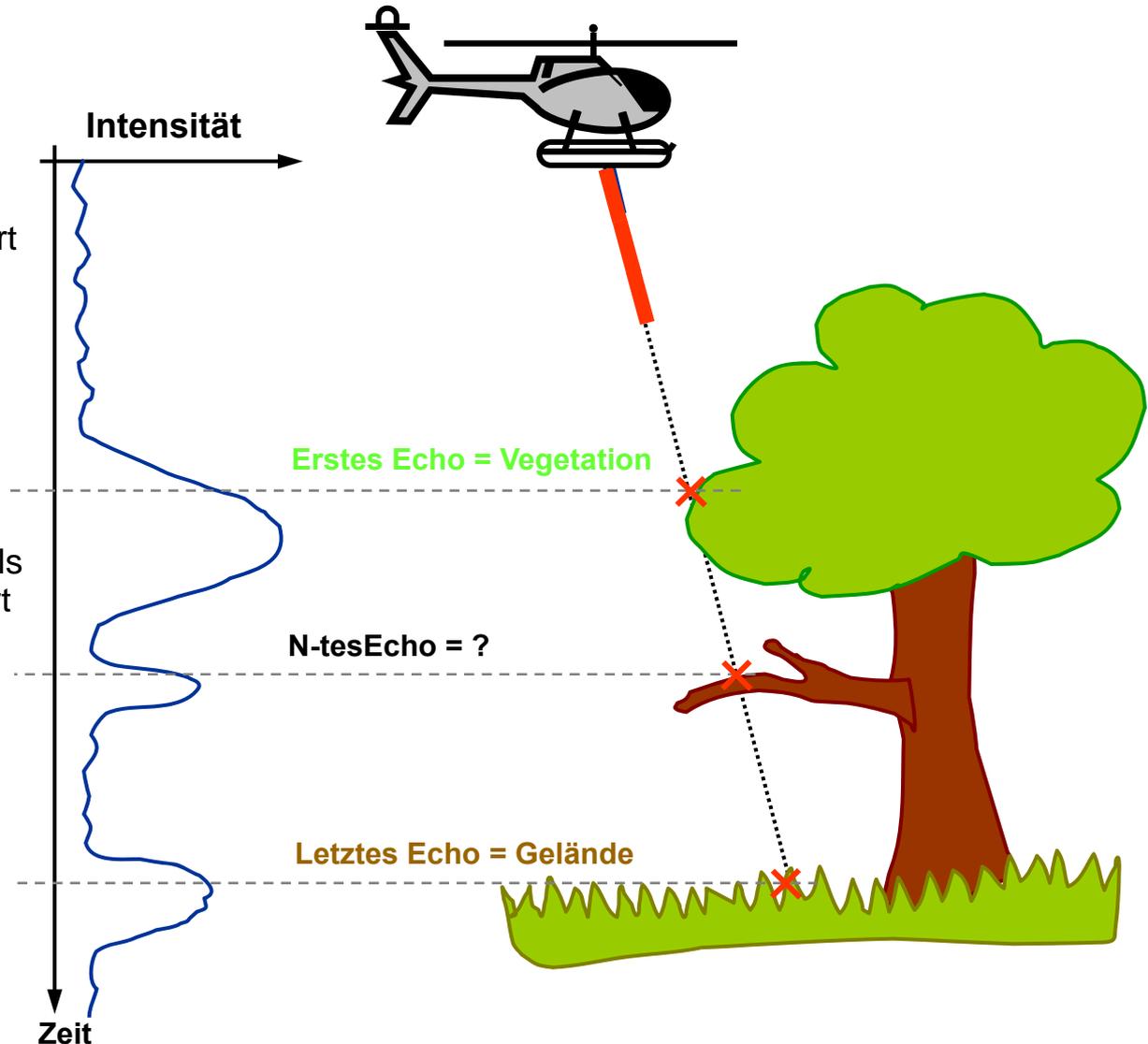
# Gleichzeitige Aufnahme von Bild- und Laserdaten



# Aufzeichnung der Waveform

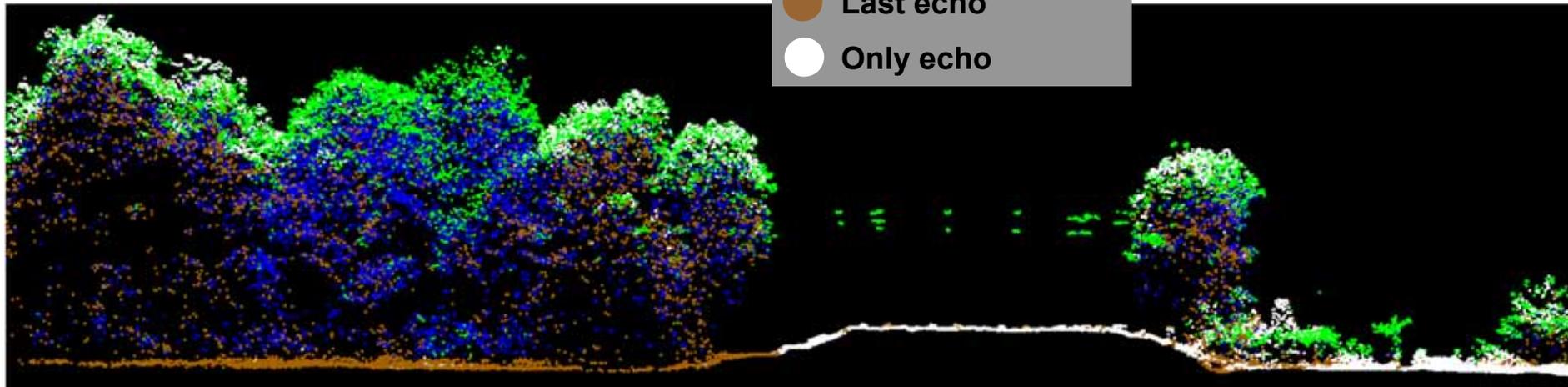
## Funktion:

1. Aussenden des Laserstrahls und Beginn der Zeitmessung
2. Der Laserstrahl wird an verschiedenen Objekten reflektiert
3. Der Digitizer registriert die empfangene Lichtmenge jede Nanosekunde ( $10^{-9}$  sec)
4. Die Intensitätswerte werden mit der zugehörigen Zeit gespeichert = Waveform
5. Echos werden aus der aufgezeichneten Waveform mittels verschiedener Routinen extrahiert



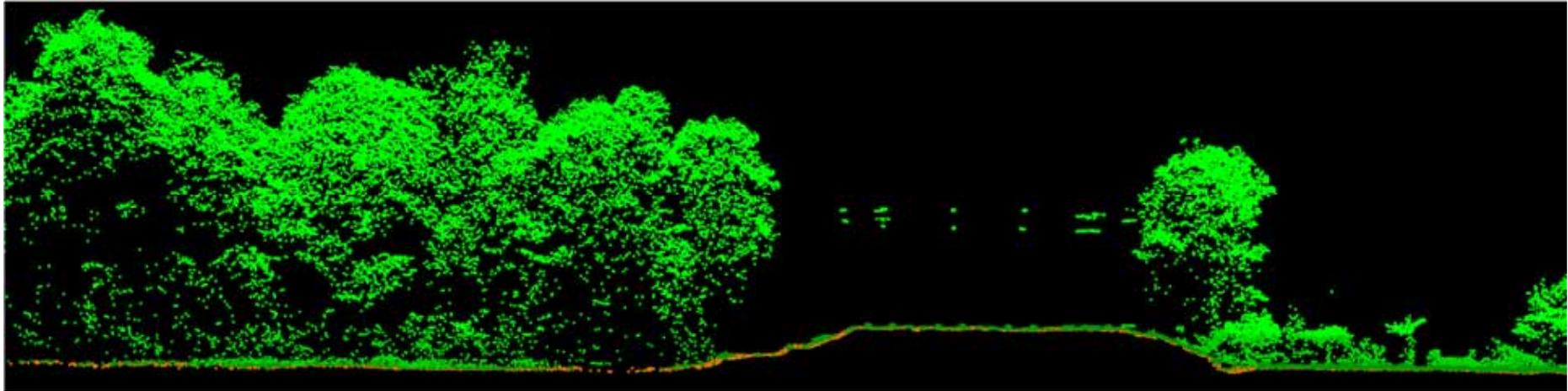
## Echoinformation der Laserdaten

- First echo
- Intermediate echo
- Last echo
- Only echo



# Klassifizierung der Laserdaten

- Vegetation
- Gelände



## StreetMapper-System



# Mobile Laserscanning; Systemkomponenten



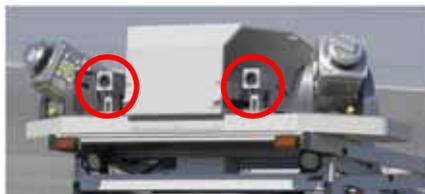
GPS-Reveiver



INS / IMU



Laserscanner



Kameras



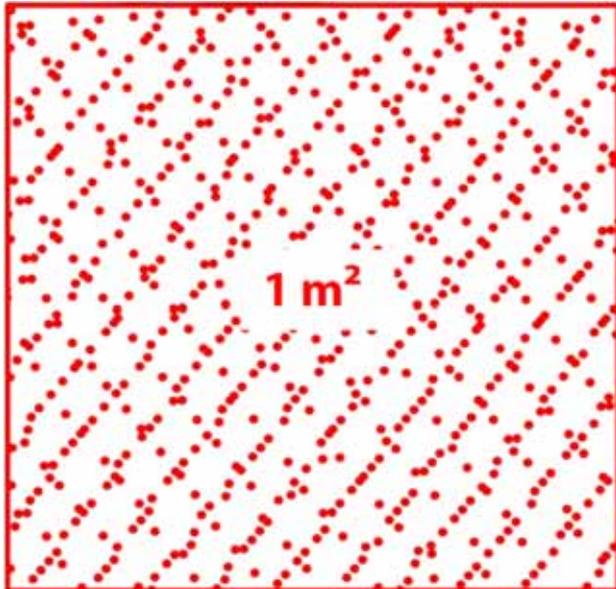
# Mobile Laserscanning; Laserscanner



StreetMapper, RIEGL VQ 250

- Messfrequenz 100 – 200 kHz
- Messbereich bis zu 300 m
- Scan-Winkel 360°
- Messgenauigkeit <  $\pm 8$  mm
- Full Waveform
- Bis zu 4 Scanner möglich

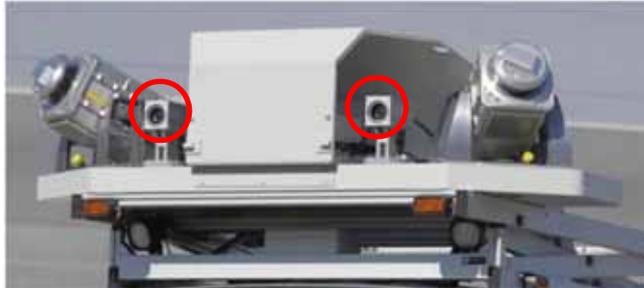
Scanmuster



### Punktdichte StreetMapper 360

Anzahl Scanner	25 km / h	40 km / h	60 km / h	80 km / h	100 km / h
1	1440	900	600	450	360
2	2880	1800	1200	900	720

# Mobile Laserscanning; Kamera und Video



- bis zu vier Kameras möglich
- 2 – 4 Megapixel
- 4 – 7 Bilder pro Sekunde
- 20 mm Brennweite
- Geocodierung der Einzelbilder



Kamera 1



Kamera 2



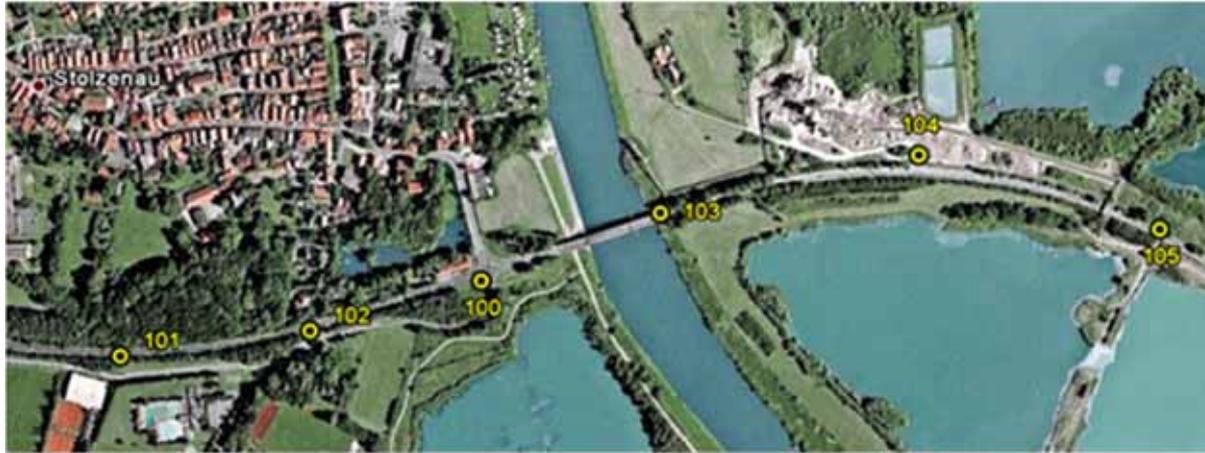
Videoaufzeichnung



Planungsgrundlage: Erfassung der Bestandsdaten mit Airborne und Mobile Laserscanning

Erfassungskorridor: Weserbrücke  
2 km Bundesstraße B 215  
Nebenstraßen

## Bestimmung des 3D-Grundlagennetz



Pkt-Nr.	Y [m]	X [m]	Höhen NIV DHHN92 [m]	$\sigma$ Lage [mm]	$\sigma$ Höhe [mm]
100	3505502,454	5819509,845	32,551	8	2,1
101	3505017,665	5819407,468	33,110	14	2,1
102	3505272,285	5819441,847	34,702	8	2,1
103	3505743,942	5819602,457	34,800	9	2,0
104	3506093,285	5819682,014	30,407	9	2,2
105	3506418,640	5819581,201	30,073	14	2,2

- Lagebestimmung der Passpunkte durch DGPS-Messung mit Hilfe von SAPOS
- Bestimmung der Lage über 2 Mess-Epochen
- Bestimmung der Höhe durch Feinnivellement mit Anschluss an das amtliche Höhenfestpunktfeld
- Datumstransformation über 7 amtliche Festpunkte (Überführung ETRS89/UTM32 in GK)

## Kennwerte für die Befliegung:

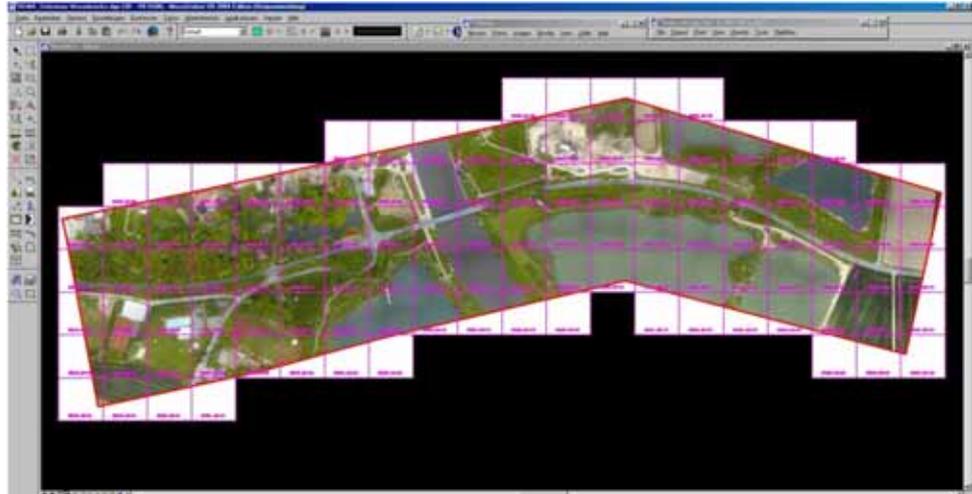
### Laserdaten

aufgenommene Fläche	2 km <sup>2</sup>
Anzahl Flugstreifen	9
Streifenbreite	140 m
Flughöhe über Grund	200 m
Anzahl der Datenpunkte	9,8 Mio.
Punktdichte	35 Punkte / m <sup>2</sup>
Datenvolumen	2,6 GB



### Photos

aufgenommene Fläche	2 km <sup>2</sup>
Anzahl der Photos	133
Auflösung der Photos	7216x5412 Pixel
Datenvolumen	805 MB



## Kennwerte für die Befahrung:

### Laserdaten

aufgenommene Fläche	2 km <sup>2</sup>
Anzahl Fahrstreifen	4
Streifenbreite	140 m
Anzahl der Datenpunkte	270 Mio.
Punktdichte	2400 Punkte /m <sup>2</sup>
Datenvolumen	9,9 GB



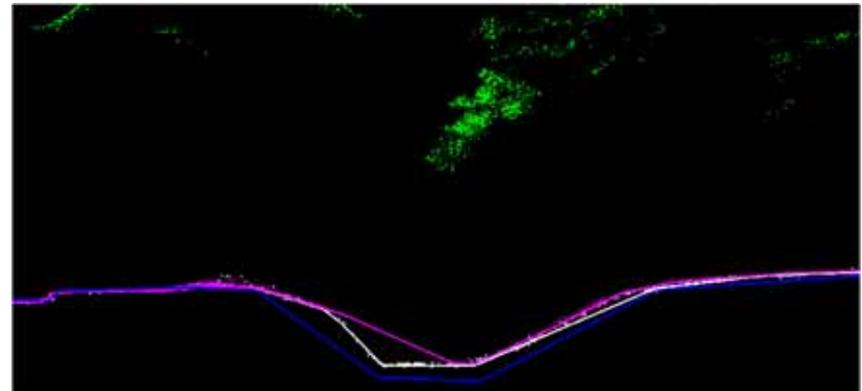
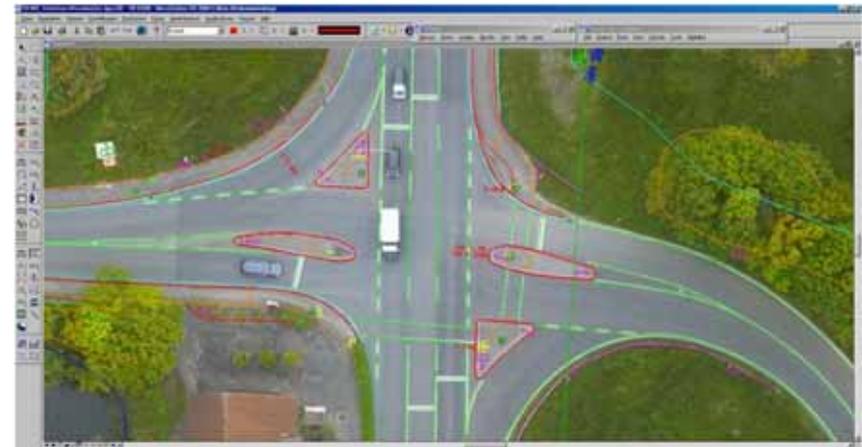
### Photos

aufgenommene Fläche	2 km <sup>2</sup>
Anzahl der Photos	1018
Auflösung der Photos	4 Megapixel
Datenvolumen	490 MB



## Genauigkeitsvergleich:

- Terrestrische Tachymeteraufnahme / Digitalisierung aus Orthophotos + kombinierten **ALS** und **MLS** Daten eines Kreuzungsbereiches.



- Querprofile **ALS** / **MLS** / Tachymeter

- Höhenraster **ALS** / **MLS** / Nivellement



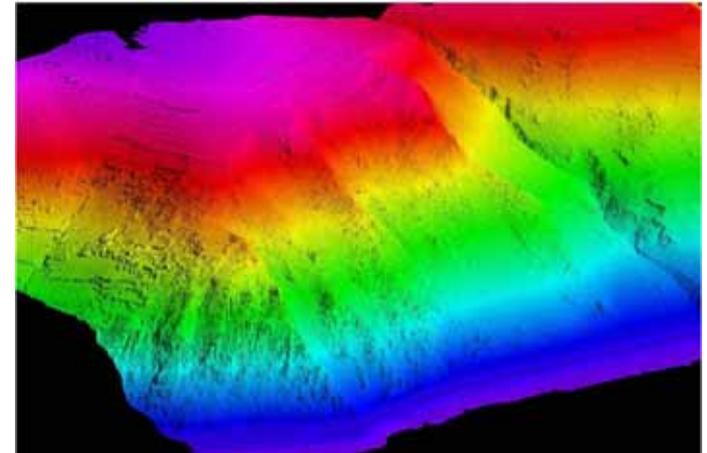
TerraScan



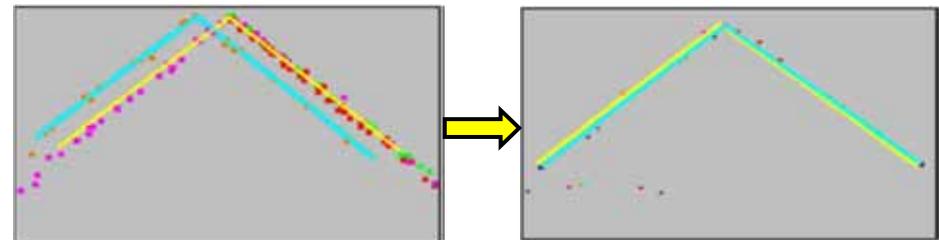
TerraPhoto



TerraModeler



TerraMatch



## Genauigkeitsvergleich: Kreuzungsbereich

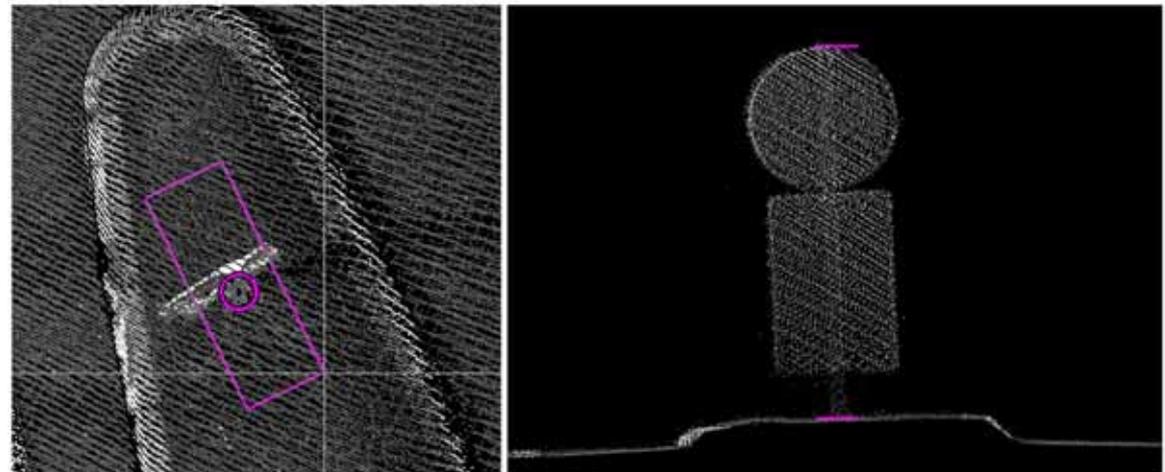
### Digitalisierung „nur“ in den Orthophotos:

- genaue Erfassung bodengleicher Objekte
- negativ: ungenaue Erfassung hoher Objekte



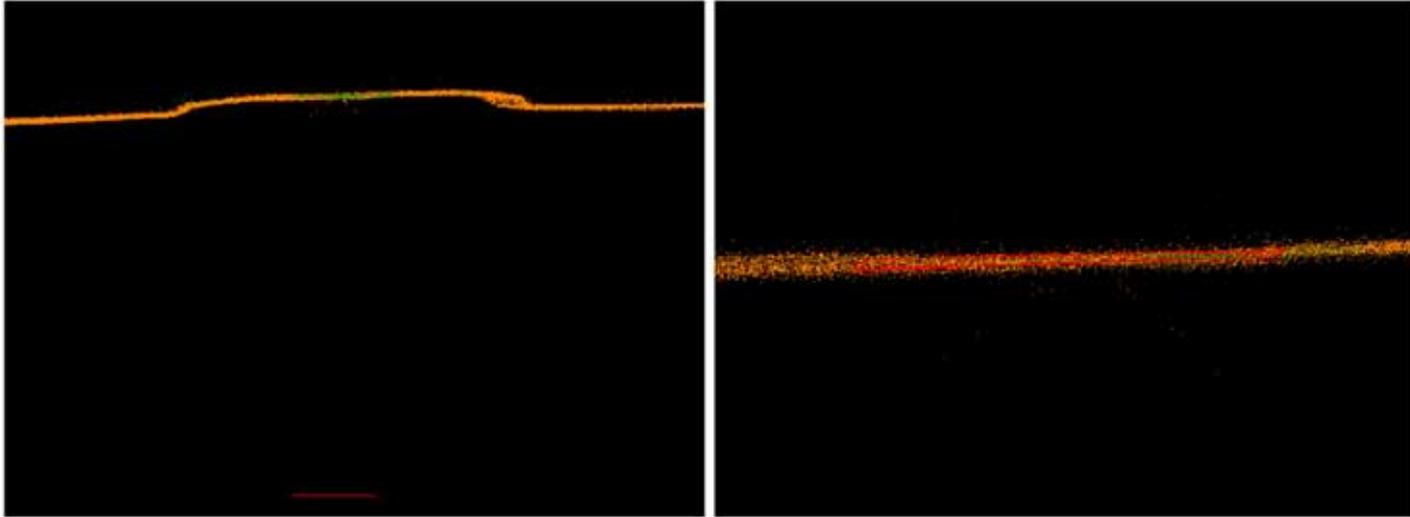
### • Problemlösung:

Zuhilfenahme der ALS und MLS  
 Laserdaten für die Digitalisierung



## Genauigkeitsvergleich: Kreuzungsbereich

- Höhenbestimmung der digitalen Objekte durch automatisierte Routine.

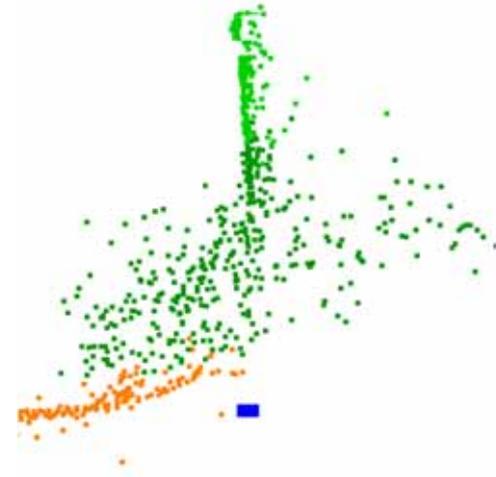


### Problem

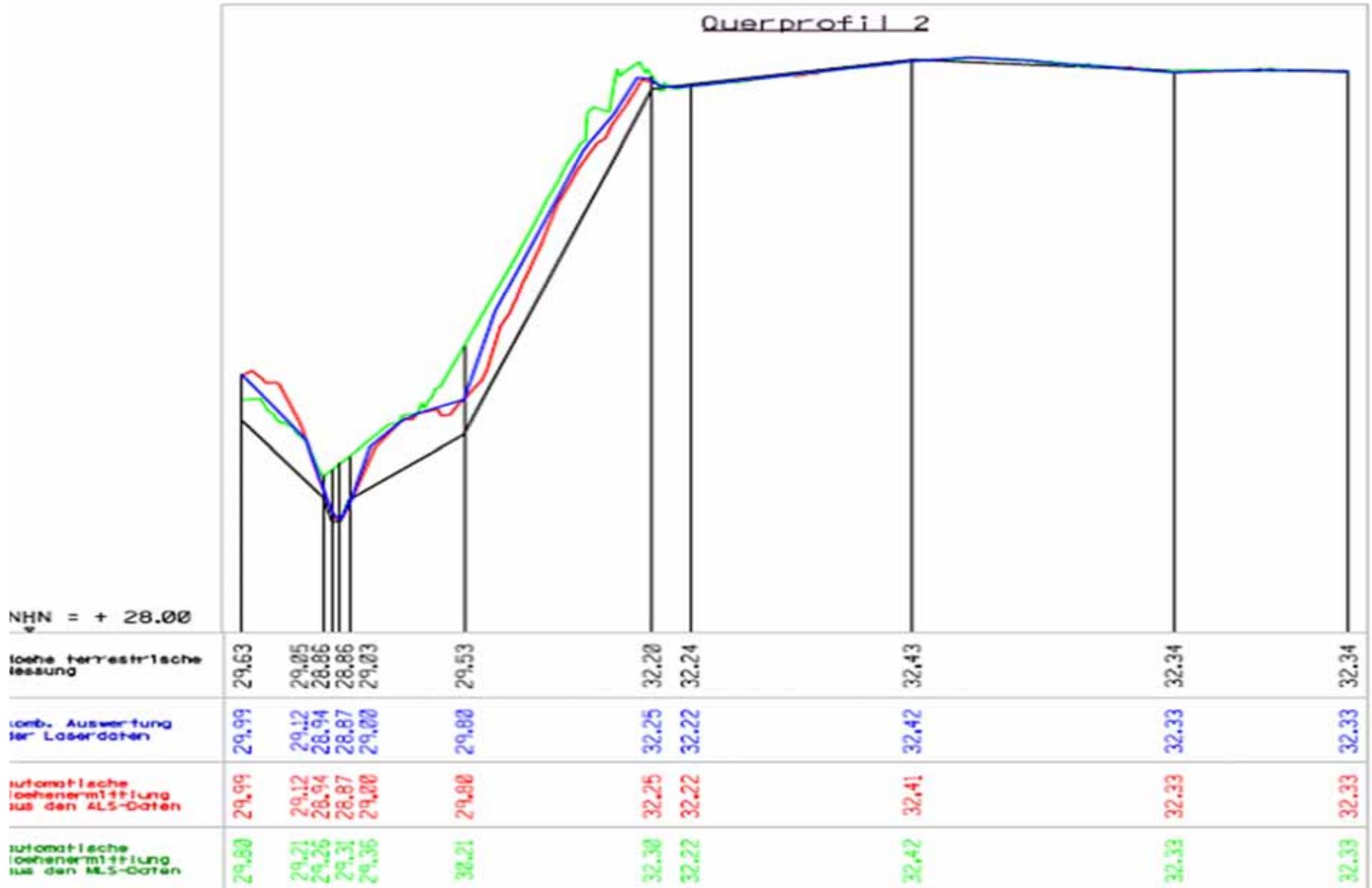
- fehlerhafte Anpassung der Höhe durch unzureichende Geländepunkte.

### Lösung

- manuelle Höhenanpassung der geometrischen Objekte in den Laserdaten.



# Genauigkeitsvergleich: Querprofile

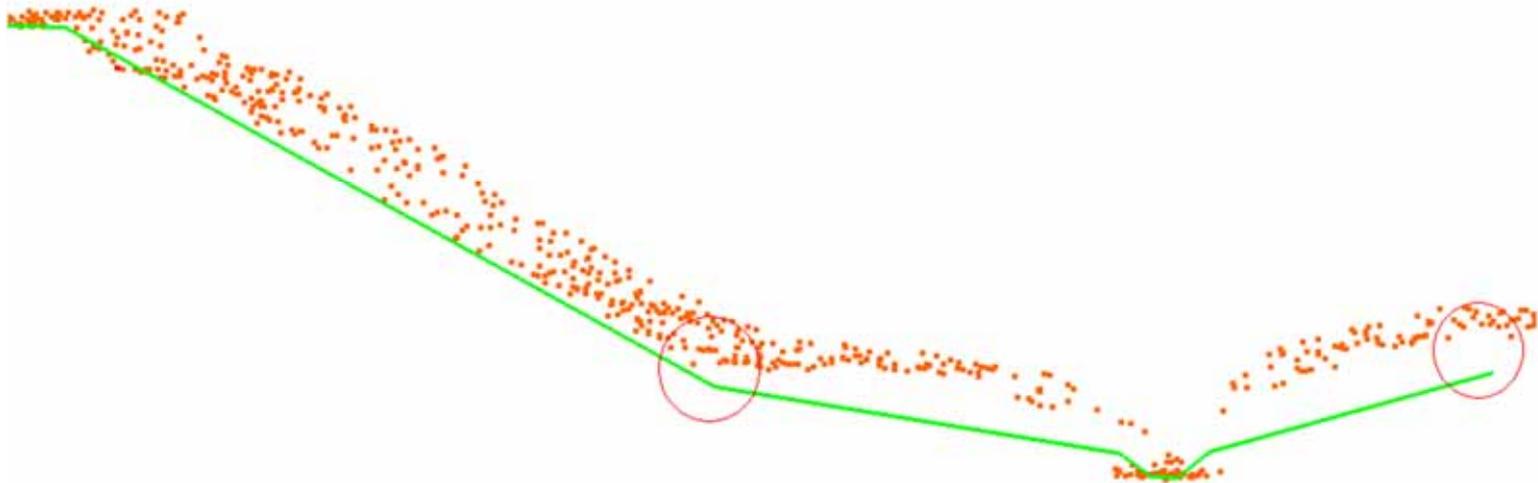


## Vergleich der Höhen: terrestrische Messung / ALS



Punkt	Punktart	Station [m]	Höhe [m]	Höhe [m]	Δh [cm]
			[terrestrisch]	[ALS]	[ALS]
1	Gelände	0,00	29,63	29,99	36
2	Graben - Oberkante	2,08	29,05	29,12	7
3	Graben - Unterkante	2,32	28,86	28,94	8
4	Graben - Unterkante	2,53	28,86	28,87	1
5	Graben - Oberkante	2,76	29,03	29,00	-3
6	Böschung - Unterkante	5,73	29,53	29,80	27
7	Böschung - Oberkante	10,58	32,30	32,25	-5
8	Fahrbahn	11,56	32,20	32,22	2
9	Fahrbahn - Mitte	17,30	32,43	32,41	-2
10	Fahrbahn	24,07	32,34	32,33	-1
11	Gelände	28,57	32,34	32,33	-1
	unbefestigtes Terrain				
	befestigtes Terrain				

## Vergleich der Höhen: terrestrische Messung / ALS



### Problem

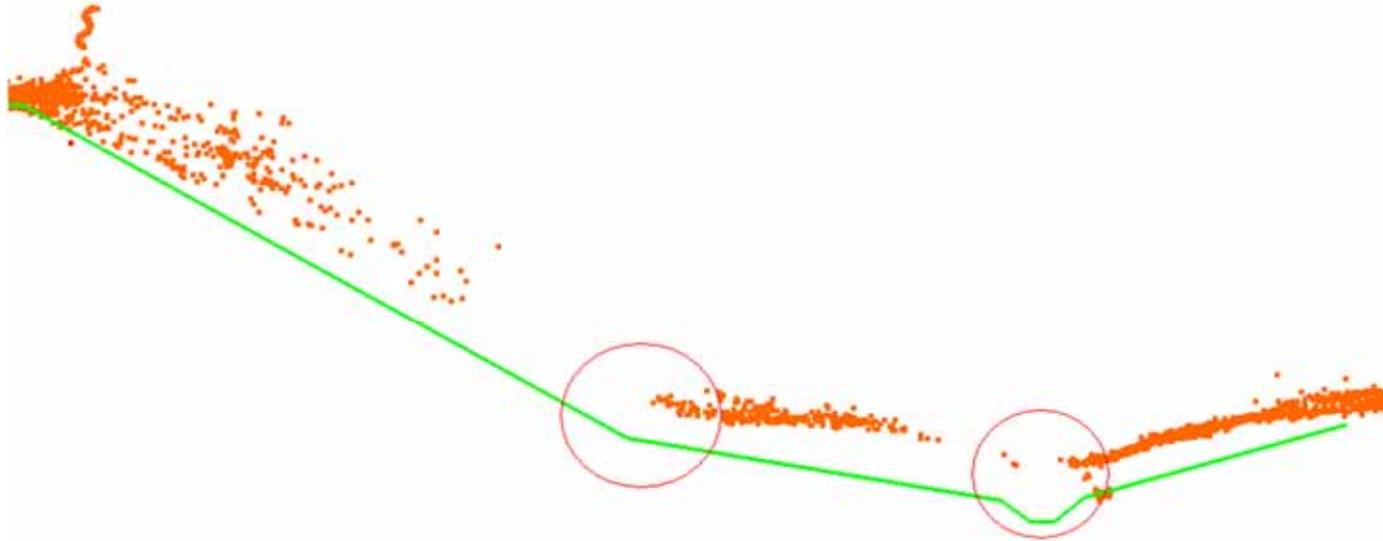
- Geländepunkte im Böschungsbereich (Punkt 1 und 6 - rot markiert) zu hoch klassifiziert.

## Vergleich der Höhen: terrestrische Messung / MLS



Punkt	Punktart	Höhe [m]		$\Delta h$ [cm]	
		Station [m]	[terrestrisch]		[MLS]
1	Gelände	0,00	29,63	29,80	17
2	Graben - Oberkante	2,08	29,05	29,21	16
3	Graben - Unterkante	2,32	28,86	29,26	40
4	Graben - Unterkante	2,53	28,86	29,31	45
5	Graben - Oberkante	2,76	29,03	29,36	33
6	Böschung - Unterkante	5,73	29,53	30,21	68
7	Böschung - Oberkante	10,58	32,30	32,30	0
8	Fahrbahn	11,56	32,20	32,22	2
9	Fahrbahn - Mitte	17,30	32,43	32,42	-1
10	Fahrbahn	24,07	32,34	32,33	-1
11	Gelände	28,57	32,34	32,33	-1
	unbefestigtes Terrain				
	befestigtes Terrain				

## Vergleich der Höhen: terrestrische Messung / MLS



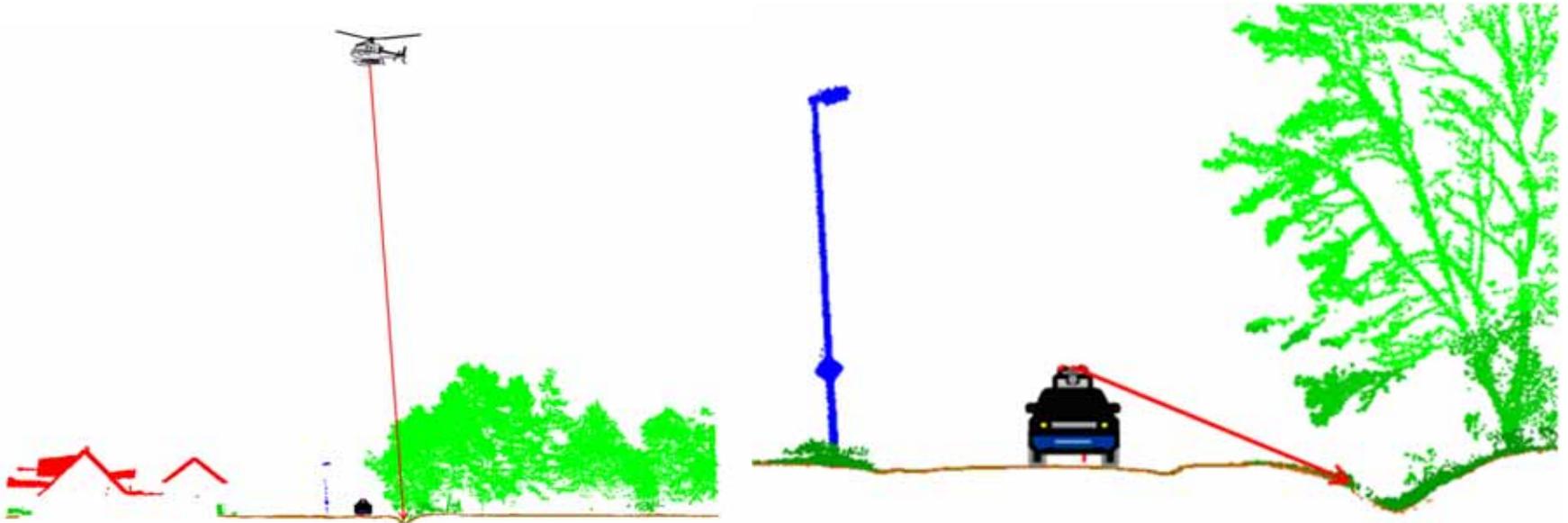
### Problem

- Im Grabenbereich kaum Laserdaten vorhanden = falsche Höheninformation abgeleitet.

## Genauigkeitsvergleich: Querprofile

### Problem

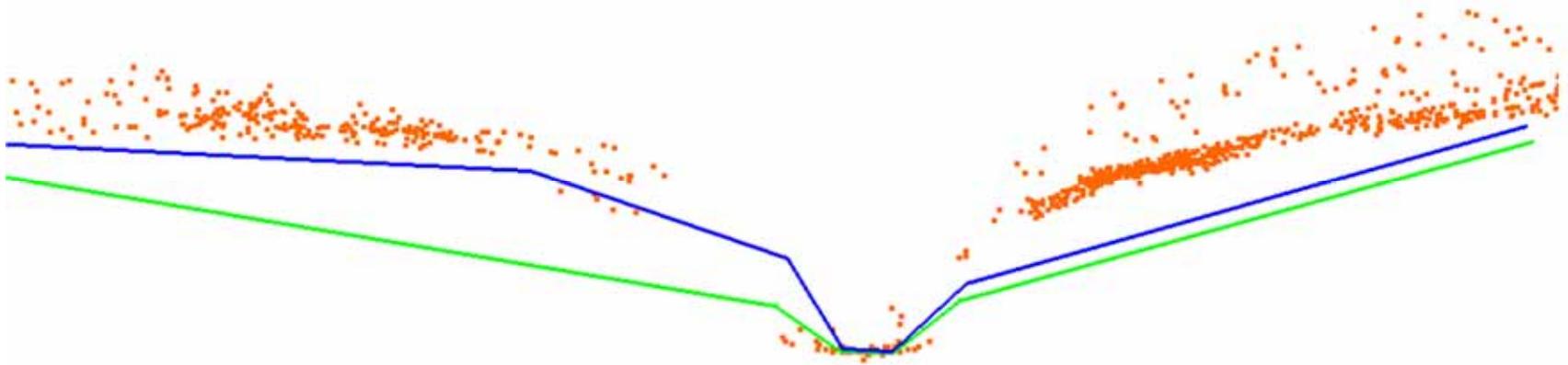
- Keine genaue Höhenbestimmung im Böschung- und Grabenbereich – bedingt durch die Aufnahmesituation der mobilen Laserscanplattformen.



### Lösung

- Manuelle Anpassung der Höhen an den kombinierten Laserdaten.

### Vergleich der Höhen: terrestrische Messung / manuelle Anpassung (ALS + MLS)



#### Lösung

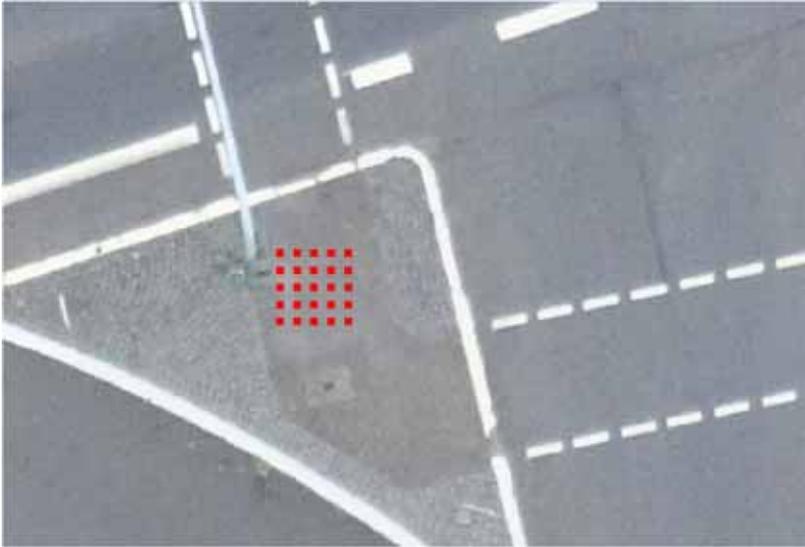
- Anpassung erfolgt an den tiefsten Punkten der klassifizierten Geländepunkte.
- Durch unterschiedliche Aufnahmepositionen ist nun eine genauere Erfassung des Geländes auch im unbefestigten Terrain möglich.

## Vergleich der Höhen: terrestrische Messung / manuelle Anpassung (ALS + MLS)



Punkt	Punktart	Station [m]	Höhe [m]	Höhe [m]	Δh [cm]
			[terrestrisch]	[manuell]	[manuell]
1	Gelände	0,00	29,63	29,69	6
2	Graben - Oberkante	2,08	29,05	29,11	6
3	Graben - Unterkante	2,32	28,86	28,88	2
4	Graben - Unterkante	2,53	28,86	28,87	1
5	Graben - Oberkante	2,76	29,03	29,03	0
6	Böschung - Unterkante	5,73	29,53	29,63	10
7	Böschung - Oberkante	10,58	32,30	32,30	0
8	Fahrbahn	11,56	32,20	32,22	2
9	Fahrbahn - Mitte	17,30	32,43	32,41	-2
10	Fahrbahn	24,07	32,34	32,33	-1
11	Gelände	28,57	32,34	32,33	-1
	unbefestigtes Terrain				
	befestigtes Terrain				

## Vergleich der Höhen auf befestigten Grund: nivellierte Höhen / ALS / MLS



Höhenraster 1	ALS
Maximum dz [mm]:	-3
Minimum dz [mm]:	-17
Absolute Mittelwert dz [mm]	9
Stdabw. [mm]:	3

Höhenraster 2	ALS
Maximum dz [mm]:	-5
Minimum dz [mm]:	-41
Absolute Mittelwert dz [mm]	21
Stdabw. [mm]:	10

Höhenraster 1	MLS
Maximum dz [mm]:	7
Minimum dz [mm]:	-11
Absolute Mittelwert dz [mm]	5
Stdabw. [mm]:	5

Höhenraster 2	MLS
Maximum dz [mm]:	8
Minimum dz [mm]:	-3
Absolute Mittelwert dz [mm]	3
Stdabw. [mm]:	3

## Vergleich der Höhen auf unbefestigten Grund: nivellierte Höhen / ALS / MLS



Höhenraster 3	ALS
Maximum dz [mm]:	27
Minimum dz [mm]:	-38
Absolute Mittelwert dz [mm]	14
Stdabw. [mm]:	16

Höhenraster 3	MLS
Maximum dz [mm]:	88
Minimum dz [mm]:	-8
Absolute Mittelwert dz [mm]	31
Stdabw. [mm]:	20

- **Genauigkeitsuntersuchung der dreidimensionalen Bestandsdaten von Straßenverkehrsanlagen in den kombinierten ALS-/MLS-Daten und Orthophotos:**
  - » Mittlerer Lagefehler = 21 mm
  - » Mittlere Höhenfehler = 14 mm
  
- **Abweichung der Höhen aus Querprofilen:**
  - » Befestigten Terrain = + - 20 mm
  - » Unbefestigten Terrain = + - 100 mm
  
- **Genauigkeit der Höhen in den Höhenrastern:**
  - ALS
  - » Befestigten Terrain = 3 – 10 mm
  - » Unbefestigten Terrain = 16 mm
  - MLS
  - » Befestigten Terrain = 3 – 5 mm
  - » Unbefestigten Terrain = 20 mm

- **Genauigkeit einer konventionellen Tachymetermessung**
- **Nicht nur „punktueller Erfassung“**
- **Störungsfreies Messverfahren**
- **Flächendeckende Erfassung**
- **Mehrwert durch die Punktwolke und Bildinformationen**
- **Ergänzungsmessung im Datenbestand jederzeit möglich**
- **Schnelles und wirtschaftliches Verfahren**

