

# **Kinematisches terrestrisches Laserscanning**

**Jens-André Paffenholz**  
**Geodätisches Institut**  
**Leibniz Universität Hannover**

**Session 4: Anwendungen II**

**2. Hamburger Anwenderforum**  
**Terrestrisches Laserscanning 2007**

**14. Juni 2007**

A decorative horizontal bar at the bottom of the slide, consisting of a thin green line on top and a thick blue line below it.

## Motivation

### Einsatzgebiete Terrestrisches Laserscanning

- Erfassung von Objekten mit Raumbezug → Bestandsdokumentation (Bsp. Gebäude, (Fabrik-) Anlagen)
- Monitoring von Veränderungen → Überwachung
  - Erfassung des Regelverhaltens von Objekten
  - Detektion von (hochfrequenten) Bauwerksdeformationen

### Ziel: Aussagekräftige digitale Datenbestände

- Genauigkeit und Zuverlässigkeit
- Variables bis hohes Level-of-Detail
- Effektivität und Effizienz des Verfahrens
- Aktualität und Nachhaltigkeit des

→ **Terrestrisches Laserscanning**

## Gliederung

- Einführung
- Kinematisches terrestrisches Laserscanning (k-TLS)
  - Variante A: Zeitlich veränderliche Objekte
  - Variante B: Mobile Mapping
- Referenzierung von 2D-Scanprofilen
- Zusammenfassung und Ausblick

## Einführung (1)

### Spezifikationen: Terrestrisches Laserscanning

- Schnell, reflektorlos, unmittelbar 3D
- Hohe räumliche und z.T. hohe zeitliche Auflösung

- Erweiterung des Spektrums der geodätischen Sensoren zur Erfassung und Überwachung

Position, Orientierung und Form

+ Remissionswert

+ ggf. zeitliche Änderungen

## Einführung (2)

### **Schnell → Wirtschaftlich → Interessant ???**

- Was ist schnell? → Kontextabhängig
  - Bewegung des Objekts
  - Bereitstellung der Ergebnisse
- Bilanz: Messung + Auswertung + Aufbereitung

### **Alternativen**

- Tachymetrie
- TLS
- Photogrammetrie

→ **Kinematisches  
terrestrisches  
Laserscanning  
(k-TLS)**

# Kinematisches terrestrisches Laserscanning (1)

## Relevante Aspekte

- Geschwindigkeit und Reichweite
  - DM-Prinzip: Phasenvergleich
  - Messmodus: 3D  $\Leftrightarrow$  2D  $\Leftrightarrow$  1D
- Genauigkeit und räumliche Auflösung
  - Tachymetrisches Prinzip
- Verknüpfung und Referenzierung
  - Objektbezug: Auswertemethodik
  - **Geo-Bezug: Position und Orientierung**

## Kinematisches terrestrisches Laserscanning (2)

Scannerauswahl → Hier: *Leica HDS 4500*

Panorama-Scanner FoV	360° Hz x 310° V
Auflösung	0.010° Hz x 0.018° V
Eindeutigkeitsbereich	53.5m
Messmodi (Datenerfassungsrate)	3D (>0.05 Hz) 2D (33 Profile à 12 Hz) 1D (500 kHz → 32 kHz)
Streckengenauigkeit @25m	3mm (100% Reflexivität) 9mm (20% Reflexivität)
Kommunikation	Client-Server Prinzip via Firewire



→ **Hochfrequente Messungen bei gleichzeitig hoher räumlicher Auflösung**

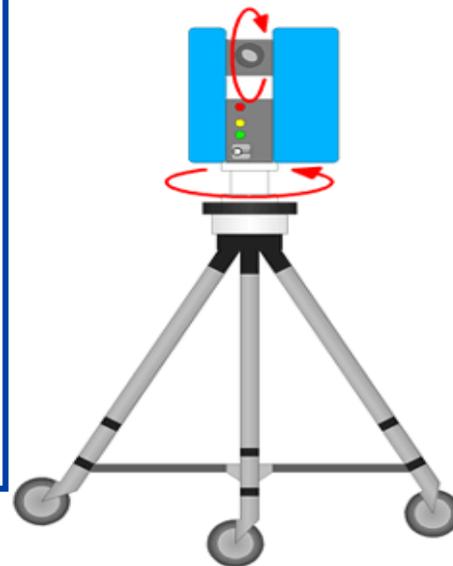
# K-TLS Variante A: Schnelle Statische Laserscans

## Variante A: Zeitlich veränderliche Objekte

Schnelles  
statisches  
Scannen



Position und  
Orientierung  
fix



### Phasenvergleich

- + Hohe Messfrequenz
- + Kurze Messzeiten
- Begrenzte Reichweite
- Mehr Standpunkte erforderlich

Quelle: Zoller+Fröhlich, 2006

## K-TLS Anwendungen – Variante A

### Hochauflösendes Monitoring

#### Programmevaluation *re-mo Sys*

- Programmsystem zur Steuerung, Erfassung und Auswertung
- Kontinuierliche 3D-Erfassung von Objektveränderungen

#### Hubbrücke

- Kopplung 2D k-TLS mit Neigungssensorik
- Schnelle, unregelmäßige Veränderung

## K-TLS Anwendungsbeispiel re-mo Sys

- Steuerung und Datenerfassung mit Laserscannern *Leica HDS 4500* / *Z+F Imager 5003*
- Kommunikation nach dem *Client-Server-Prinzip*
- Automatischer Epochenvergleich zur Detektion von Deformationen anhand von Differenzbildern
- Berücksichtigung eines zwischen den Messepochen bewegten Laserscanners
- Ableiten des Regelverhaltens eines Objekts durch hochauflösende Scans
- Abweichungen vom Regelverhalten → Anpassung des Messprogramms

### Automatisierte Deformationsanalyse auf Basis von Differenzbildern

# Automatisierte Deformationsanalyse (1)

## Erfassung der Szene

- Manuell
- Zielmarken in Abhängigkeit der zu erwartenden Deformationen
- Flächenhafte Erfassung: engmaschiges Punktraster

## Passpunkte Nullepoche

- Halbautomatisch
- Integration  $Z+F$  Target-Fitting Algorithmus
- Pixelgenaue Zielmarkenmarkierung

## Initialisierung Monitoring

- Manuell
- Definition Abtastintervall
- Selektion des relevanten Ausschnittes

## Passpunkte Folgepoche

## 3D-Helmert-Transformation

## Ableitung von Differenzbildern

## Automatisierte Deformationsanalyse (2)

Erfassung der  
Szene

- Vollautomatisch
- Startwerte des Algorithmus aus Kreuzkorrelation beider Intensitätsbilder
- Kreuzkorrelationskoeffizient liefert Güte der Zuordnung

Passpunkte  
Folgepoche

Passpunkte  
Nullepoche

- Vollautomatisch
- Bewegungen des Laserscanners
- Einführung von
  - Restriktionen
  - Kovarianzinformationen
  - Übergeordnetes Koordinatensys.

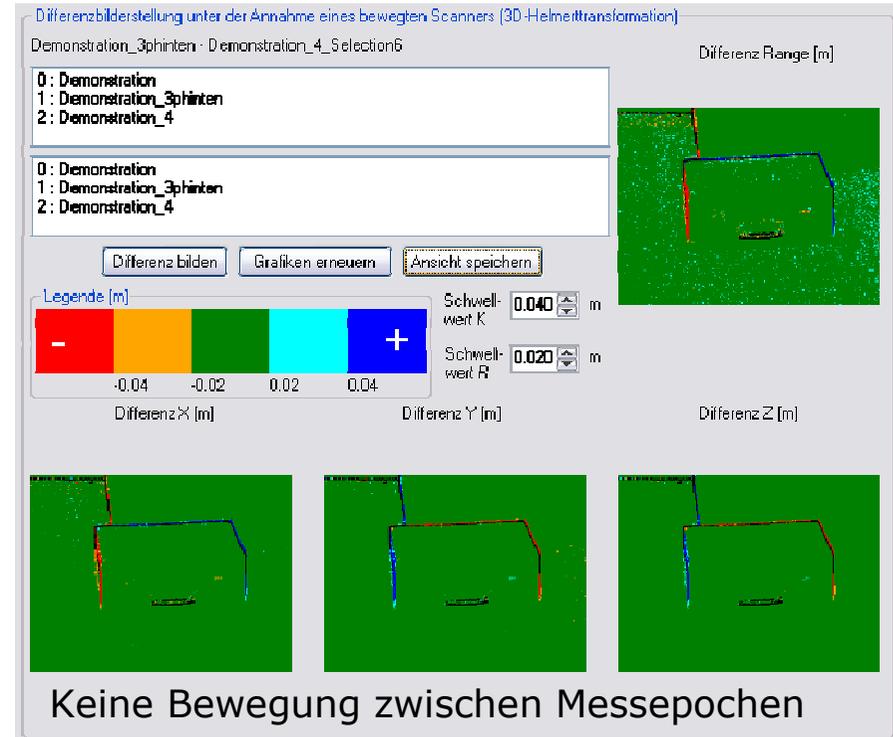
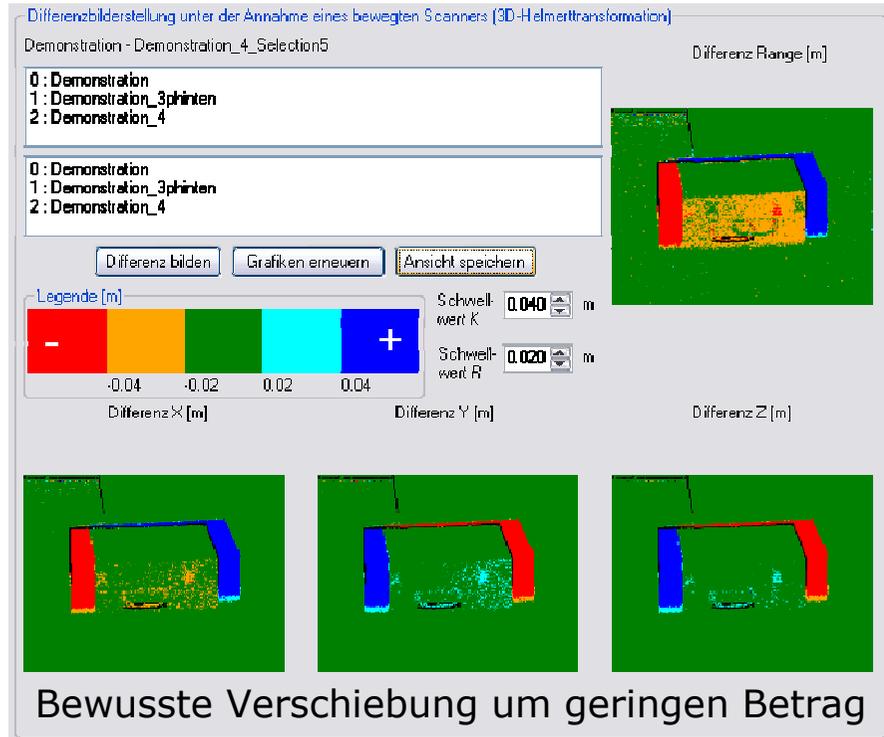
3D-Helmert-  
Transformation

Initialisierung  
Monitoring

- Vollautomatisch
- Direkter Vergleich der Winkelinkremente
- Größenordnung der Deformation (Vorstufe)

Ableitung von  
Differenzbildern

# Ableitung von Differenzbildern (1)



- Aufdeckbare Deformationen:
  - Starrkörperbewegungen
  - Verformungen (Torsion)
- keine Aussagen zur Signifikanz der Differenzen

# Ableitung von Differenzbildern (2)

Differenzbilderstellung unter der Annahme eines bewegten Scanners (3D-Helmeittransformation)

Nullzustand\_bewegteObjekte - Nullzustand\_bewegteObjekte\_2\_Selection3

0 : Nullzustand\_bewegteObjekte  
1 : Nullzustand\_bewegteObjekte\_2

Differenz Range [m]

0 : Nullzustand\_bewegteObjekte  
1 : Nullzustand\_bewegteObjekte\_2

Differenz bilden Grafiken erneuern Ansicht speichern

Legende [m]

-			+
-0.04	-0.02	0.02	0.04

Schwellwert K 0.040 m  
Schwellwert R 0.020 m

Differenz X [m] Differenz Y [m] Differenz Z [m]

Bewusste Verschiebung um geringen Betrag

Differenzbilderstellung unter der Annahme eines bewegten Scanners (3D-Helmeittransformation)

Nullzustand\_bewegteObjekte - Nullzustand\_bewegteObjekte\_Selection3

0 : Nullzustand  
1 : Nullzustand\_bewegteObjekte

Differenz Range [m]

0 : Nullzustand  
1 : Nullzustand\_bewegteObjekte

Differenz bilden Grafiken erneuern Ansicht speichern

Legende [m]

-			+
-0.04	-0.02	0.02	0.04

Schwellwert K 0.040 m  
Schwellwert R 0.020 m

Differenz X [m] Differenz Y [m] Differenz Z [m]

Keine Bewegung zwischen Messepochen

- Nachweis künstlicher Objektdeformationen weniger cm durch bewusste Bewegung eines Kleinbusses (Entfernung ca. 20m)

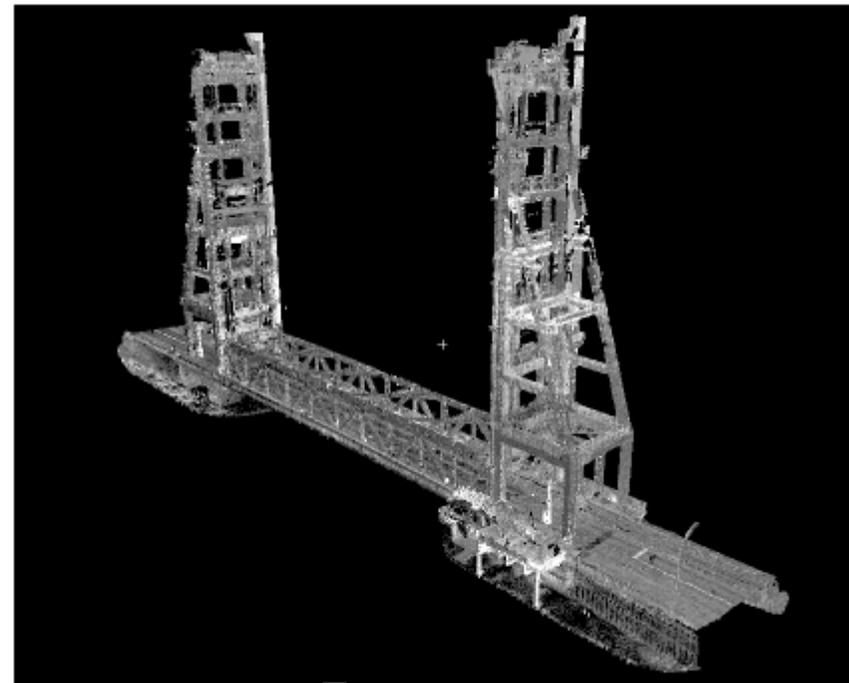
## K-TLS Anwendungsbeispiel Hubbrücke (1)

**Projektseminar am GIH 2005/2006**

*Automatisierte Beweissicherung an einer Hubbrücke*



Rethe-Hubbrücke  
im Hamburger Hafen



3D-Modell aus Laserscans

## **K-TLS Anwendungsbeispiel Hubbrücke (2)**

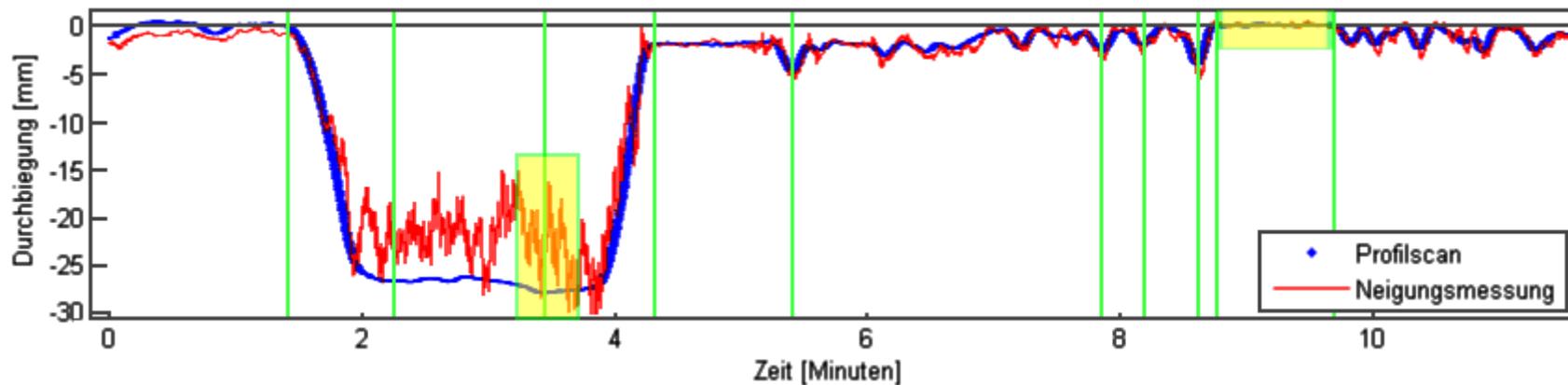
### **Kurzperiodische Deformationen unter Verkehrslast**

#### **Anordnung:**

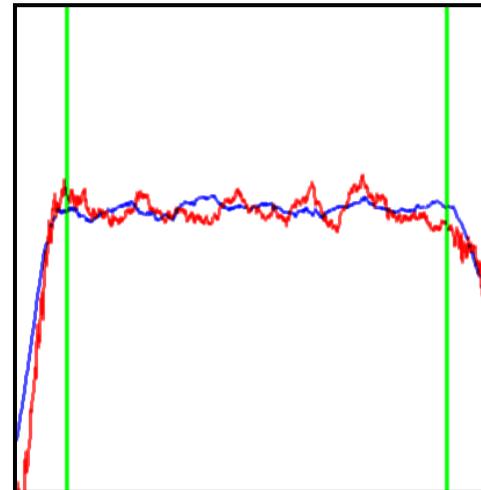
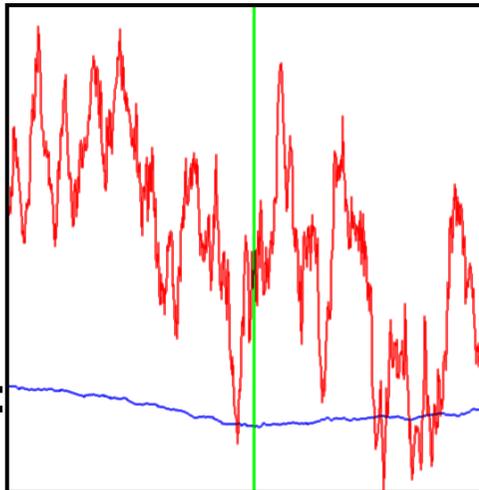
- K-TLS unter Brücke im Profilmodus auf rechten Hauptträger
- Neigungssensoren oben auf Hauptträger
- Zeitliche Synchronisierung von k-TLS und Neigungssensor
- Verkehrslastermittlung aus Videoaufzeichnung

# K-TLS Anwendungsbeispiel Hubbrücke (3)

K-TLS Auswertung an definiertem Punkt unterhalb des Neigungssensors



max.  
Durchbiegung:  
27,9 mm



Rauschniveau:  
0,1 mm

## K-TLS Anwendungsbeispiel Hubbrücke (4)

### Bewertung des Beispiels

- Lkw und Zug detektiert (Effekte im mm-Bereich)
- Pkw nicht identifiziert
  
- Kopplung von k-TLS mit heterogener Sensorik ist möglich (Synchronisierung!)
- Objektbezug durch Auswertemethodik
- Vollständige Integration erfordert auch eine bautechnische Modellierung

## K-TLS Variante B: Mobile Mapping (1)

**Variante B:**

**Scannen von bewegter Plattform**

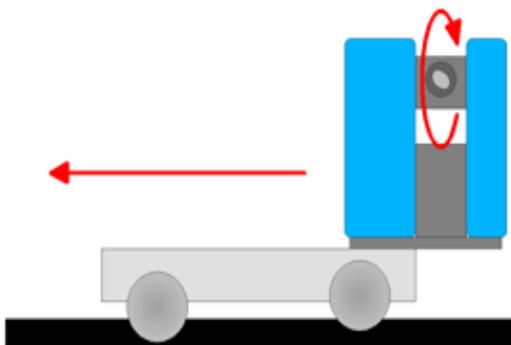
**Profilmodus (2D-Scans)**  
3D aus der Bewegung der Plattform (Helix)

+

**Georeferenzierung** jedes einzelnen Scanpunktes

=

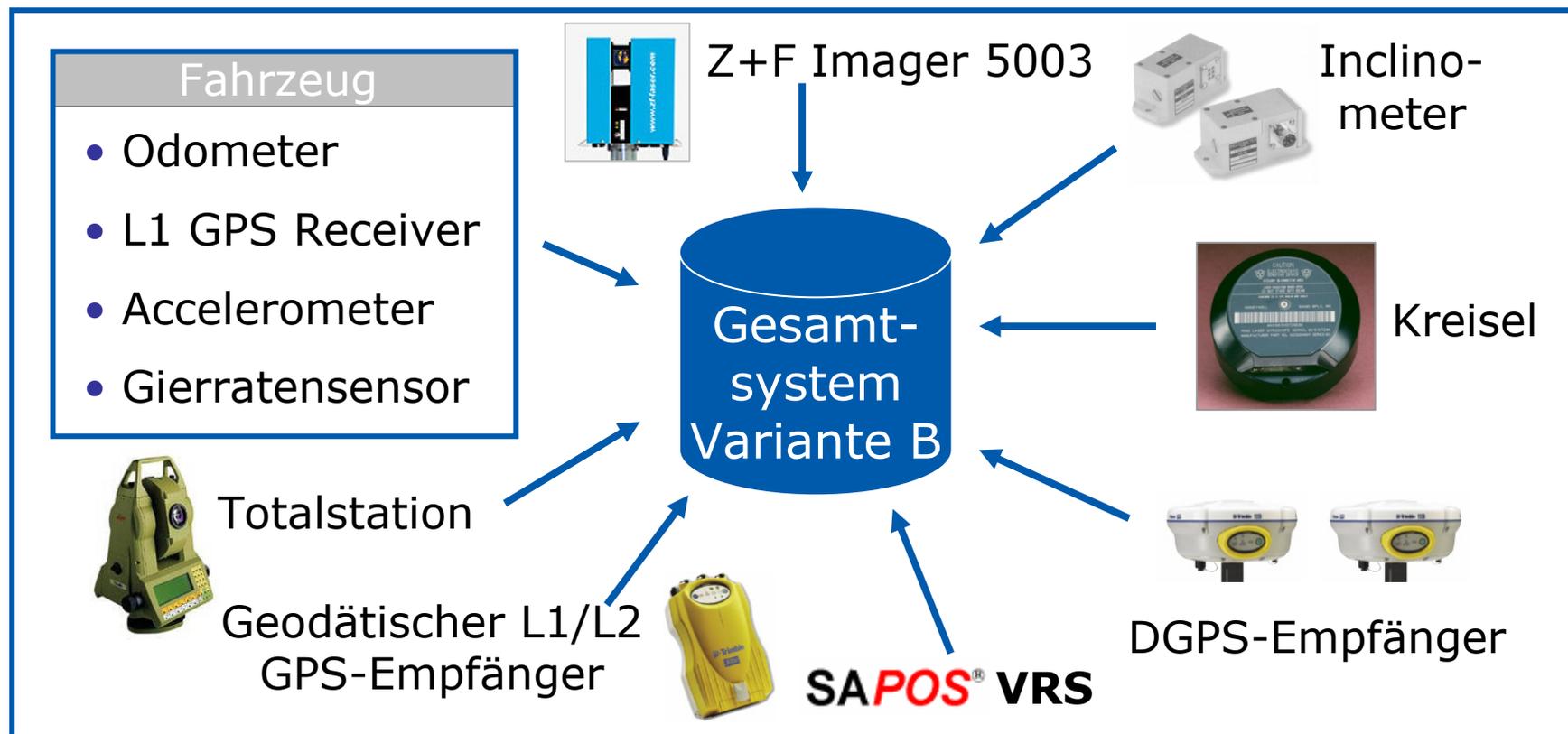
**Erfassung von geometrischer 3D-Umgebungsinformation**



Quelle: Zoller+Fröhlich, 2006

## K-TLS Variante B: Mobile Mapping (2)

Referenzierung z.B. mittels Navigationstechnik



## Beispielhafte Realisierungen – Variante B

### **Schienegebundene Plattformen**

- Referenzierung durch GPS, Totalstationen
- Bspe.: GNBAHN, SwissTrolley, Amberg

### **Multisensor-Mobile-Mapping-Systeme**

- Umfangreiche Sensorik (Bild, Nav.)
- Bspe.: MoSES, GeoMobil

### **Objekterfassung und Qualitätssicherung**

- Photogrammetrische Referenzierung
- Bsp.: Leica T-Cam mit T-Scan (Triangulation!)

# Referenzierung von 2D-Scanprofilen (1)

Durch Azimutzuordnung zu jedem 2D-Scanprofil



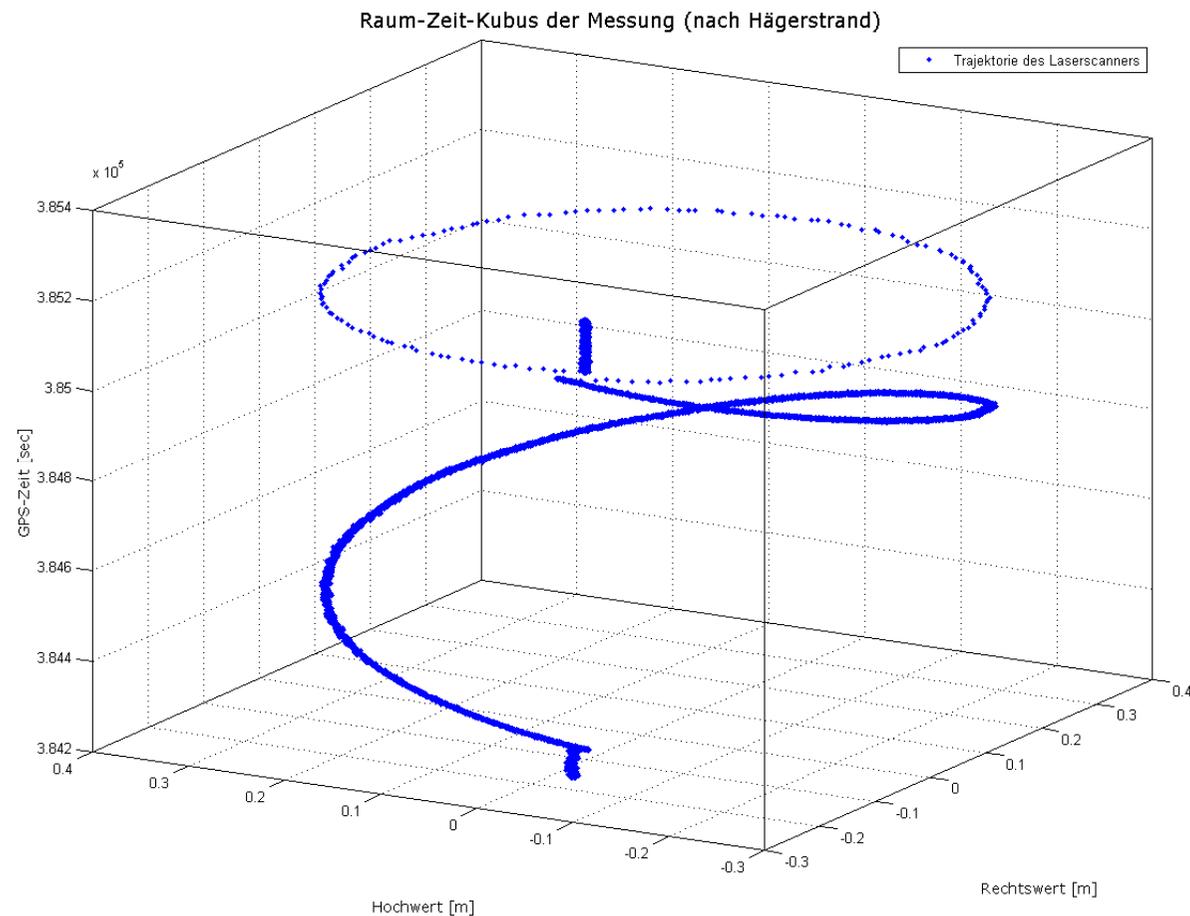
## Messungen

- „Echter“ 360° 3D-Laserscan
- Kinematische GPS-Messung mit 10 Hz

## Anforderungen

- Synchronisation von TLS und GPS!

## Referenzierung von 2D-Scanprofilen (2)



## Referenzierung von 2D-Scanprofilen (3)

### Auswertung

- Zuordnung eines Azimutes zu jedem 2D-Profil des Laserscans

### Verifizierung

- Durch tachymetrische Vergleichsmessungen

### Potential

- Genauigkeit für Azimut (13 ausgewählte Punkte)  $0.05^\circ$  bei Auswertung einer GPS-Antenne
- Resultierende Querabweichung:  $\approx 2\text{cm}$  @ 25m

## Zusammenfassung

- TLS und k-TLS sind eine wertvolle Ergänzung der ingenieur-geodätischen Sensorik
  - Räumlich hochauflösende Erfassung
  - Zeitlich hochauflösende Erfassung (instrumentenabhängig)
- Programmsystem *re-mo Sys* zur kontinuierlichen Erfassung und integrierten automatischen Datenauswertung-/analyse
- K-TLS ist eine effiziente Alternative zu statischem TLS bei Objektaufnahmen
  - Detektion schneller Objektveränderungen (→ Hubbrücke)
- Referenzierung von 2D-Scanprofilen durch Azimutzuordnung erfolgreich und mit großem Potential

## Ausblick

- Zielmarkenuntersuchungen
  - Entwurf einer geeigneten Zielmarke mit optimalen Eigenschaften zur Detektion in Laserscans
  - Algorithmus mit Qualitätsaussagen zur Zielmarkenkoordinatenbestimmung
- Berücksichtigung des Einflusses der Achsenfehler auf die Winkelmessung (In-situ-Kalibrierung des Laserscanners)
- Optimierung der Azimutzuordnung

remote-monitoring System für den HDS 4500

Konfiguration Projekt Erfassung Daten Analyse Benutzer Hilfe

Differenzbild: Nullzustand\_bewegteObjekte - Nullzustand\_bewegteObjekte\_2\_Selec...

Differenzbilderstellung unter der Annahme eines bewegten Scanners (3D-Helmert-Transformation)  
Nullzustand\_bewegteObjekte - Nullzustand\_bewegteObjekte\_2\_Selection2

Differenz Range [m]

0: Nullzustand\_bewegteObjekte  
1: Nullzustand\_bewegteObjekte\_2

Differenz X [m] Differenz Y [m] Differenz Z [m]

Legende [m]

Schwellwert K: 0.040 m  
Schwellwert R: 0.020 m

Differenz bilden Grafiken erneuern Ansicht speichern

Deformationsanalyse

Erfassung der Deformationsszene bestehend aus Stabil- und Objektpunkten über das Menü "Erfassen -> Scannern"

Festlegen der Nullepoche und Anmessen der Stabilpunkte in der Nullepoche

Selektion der Nullepoche: 0: Nullzustand\_bewegteObjekte

Scannerkoordinaten (Ursprung Koordinatensystem) x: 0.0 m y: 0.0 m z: 0.0 m

Target Fitting zur Bestimmung der Stabilpunkte in der Nullepoche

Target_Name	x_m	y_m	z_m	Verwenden
280	1.211	10.276	-1.301	<input checked="" type="checkbox"/>
212	5.304	16.266	0.003	<input checked="" type="checkbox"/>
103	5.101	6.910	-1.303	<input checked="" type="checkbox"/>

Ergebnisse der 3D-Helmert-Transformation

Zu transformierende Folgeepoche: 1: Nullzustand\_bewegteObjekte\_2

Transformationsparameter

tx_m	ty_m	tz_m	rotx_rad	roty_rad	roto
0.001679	-0.000921	0.000294	-2E-06	1.8E-05	-0.0

Monitoring konfigurieren und starten

Festlegen des Abtastintervalls für die Folgeepochen: 5 [min] Restzeit bis zur nächsten Epoche [sec]

Überwachung mit obigem Intervall starten Start Stopp

Differenzbildausschnitt festlegen

Subsample: Einstellung für die automatisch ladenden Scans: 4

Differenzbildbreite von 3250 bis 3650  
Differenzbildhöhe von 2451 bis 2650

Differenzbild zweier Epochen betrachten

Messages: Status, Temperatur, etc. Datenlast... Scannern...

Scanfile: 0: Nullzustand\_bewegteObjekte

Line, Pixel: 4470, 4020

xyz Range [m] High-SpeedMotor [°]

x: 0 y: 0 z: 0

HighSpeed Motor: 0 LowSpeed Motor: 0

130.75.74.39 <Imager not present>

Nr	Scanfile	Lines	Sub L	Pixel	Sub P	Min Intens	Mi
0	Nullzustand_bewegteObjekte	5000	10	10130	10	200	5
1	Nullzustand_bewegteObjekte_2	5000	10	10130	10	200	5

Status:

Vielen Dank für Ihre  
Aufmerksamkeit

## Literatur

**Kutterer, H.:** *Kinematisches terrestrisches Laserscanning - Stand und Potenziale.* In: Luhmann, T. und Müller, C. (Hrsg.): Photogrammetrie - Laserscanning - Optische 3D-Messtechnik, Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2007, Verlag Herbert Wichmann, 2007, S. 2-9.

**Paffenholz, J.-A.; Neumann, I. und Kutterer, H.:** *Entwicklung eines remote-monitoring Systems für den HDS 4500.* In: Luhmann, T. und Müller, C. (Hrsg.): Photogrammetrie - Laserscanning - Optische 3D-Messtechnik, Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2007, Verlag Herbert Wichmann, 2007, S. 188-195.

**Paffenholz, J.-A.:** *Entwicklung eines remote-monitoring Systems für den HDS 4500.* Diplomarbeit (unveröffentlicht) am Geodätischen Institut der Leibniz Universität Hannover, 29.09.2006.

**Wegner, J. D.; Cong, X. Y.; Paffenholz, J.-A.; Rehr, I.; Strübing, T.:** *Geodetic monitoring and deformation analysis of a vertical lift bridge.* Proceedings CD of the XXIII International FIG Congress, published on CD only, Munich, Germany, 2006.