

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**

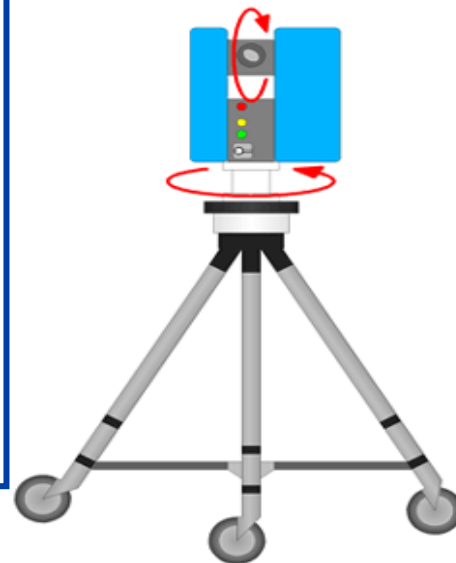
K-TLS Variante A: Schnelle Statische Laserscans

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

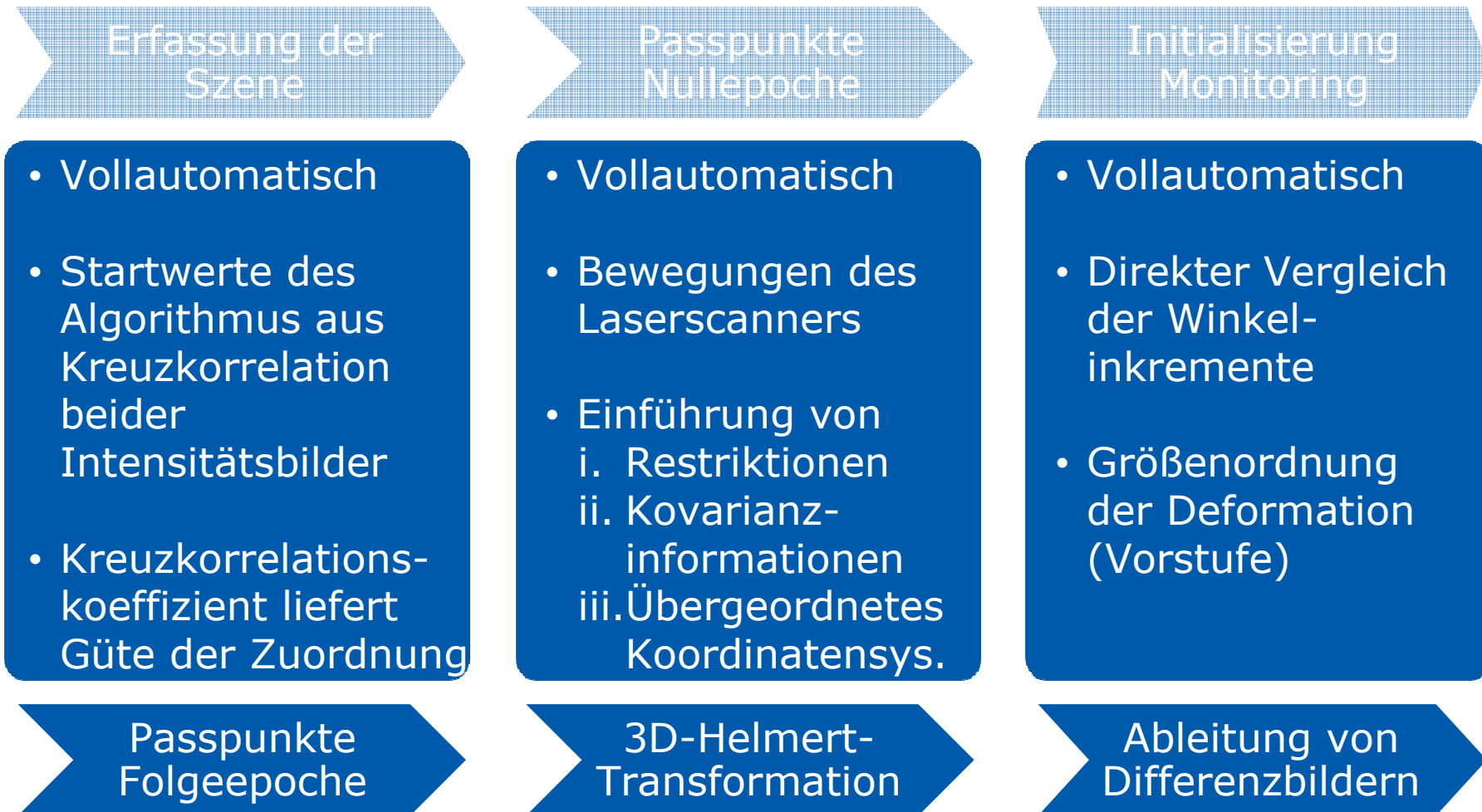
- Manuell
- Definition Abtastintervall
- Selektion des relevanten Ausschnittes

Passpunkte Folgepoche

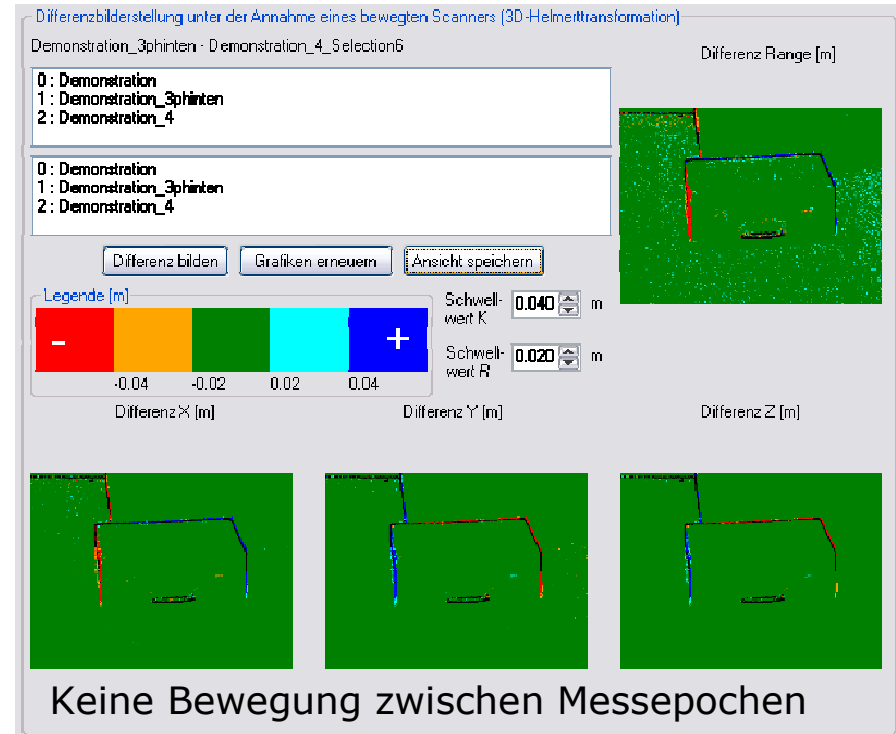
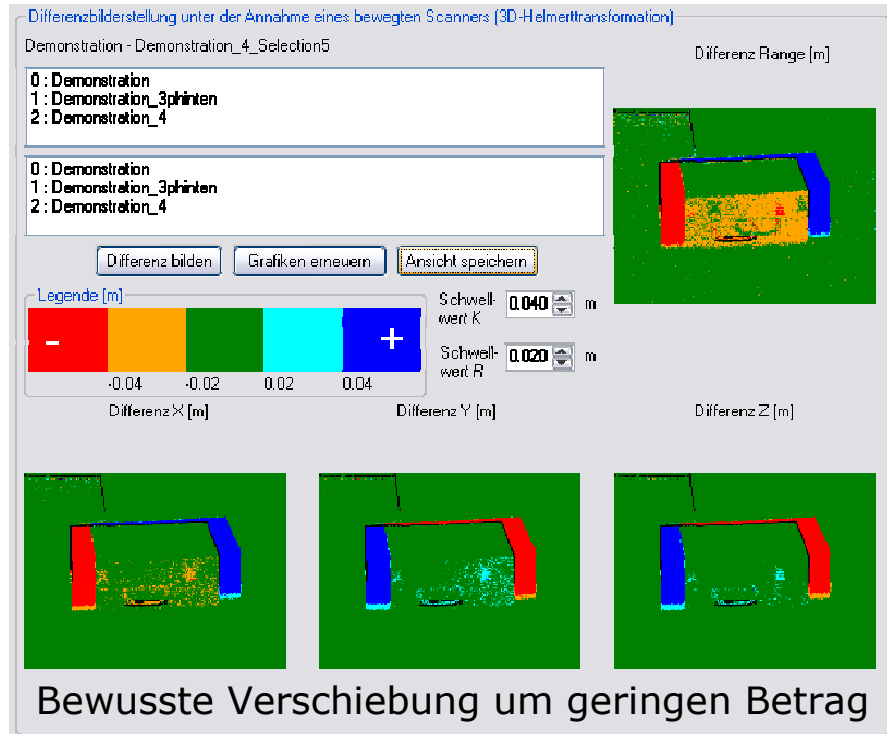
3D-Helmert-Transformation

Ableitung von Differenzbildern

Automatisierte Deformationsanalyse (2)



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)

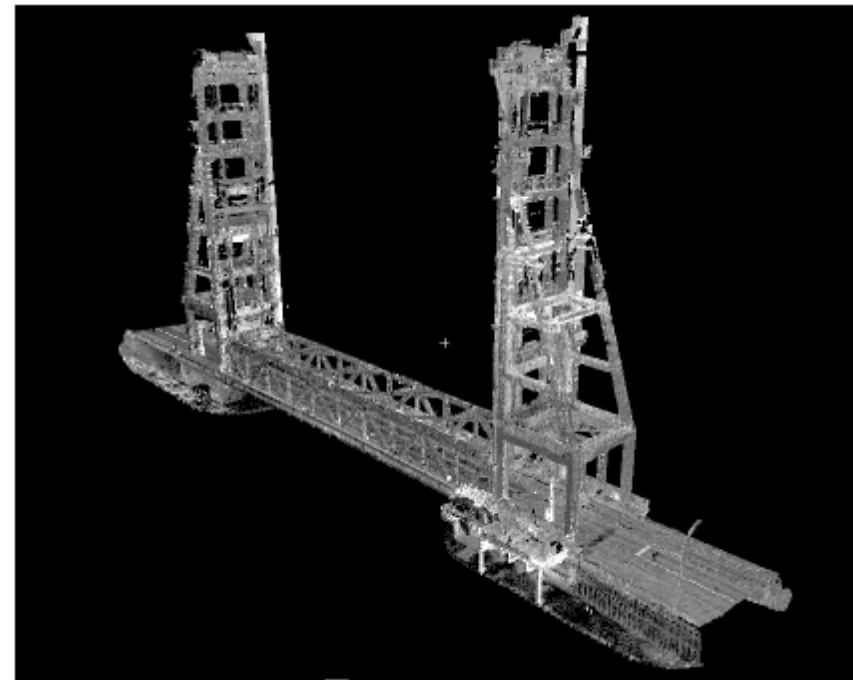
K-TLS Anwendungsbeispiel Hubbrücke (1)

Projektseminar am GIH 2005/2006

Automatisierte Beweissicherung an einer Hubbrücke



Rethe-Hubbrücke
im Hamburger Hafen



3D-Modell aus Laserscans

K-TLS Anwendungsbeispiel Hubbrücke (2)

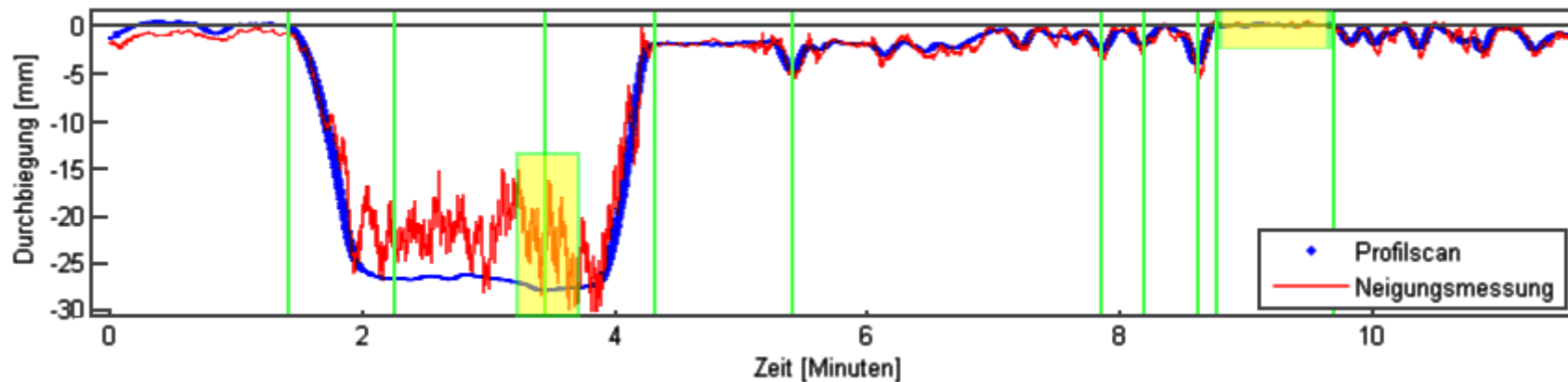
Kurzperiodische Deformationen unter Verkehrslast

Anordnung:

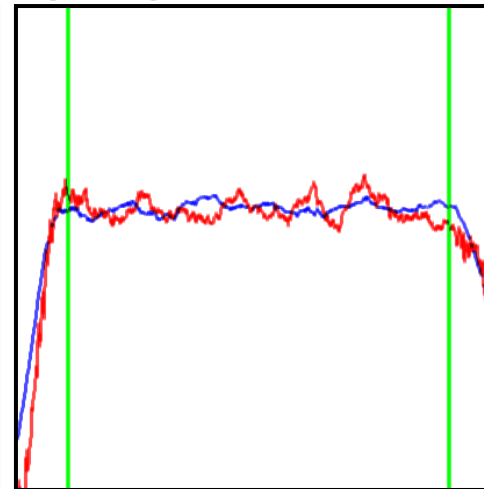
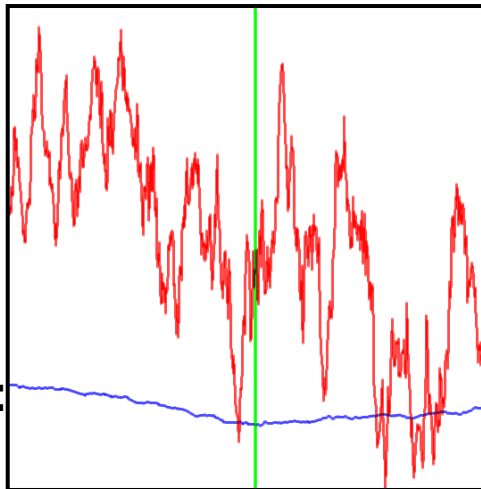
- K-TLS unter Brücke im Profilmodus auf rechten Hauptträger
- Neigungssensoren oben auf Hauptträger
- Zeitliche Synchronisierung von k-TLS und Neigungssensor
- Verkehrslastermittlung aus Videoaufzeichnung

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

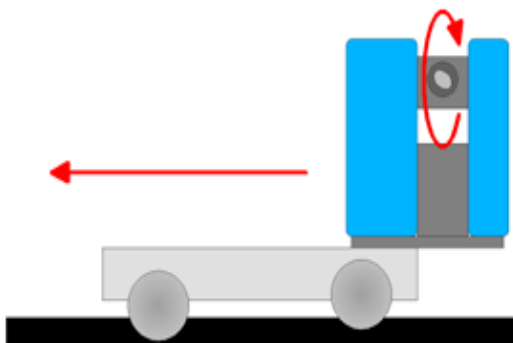
Profilmodus (2D-Scans)
3D aus der Bewegung der Plattform (Helix)

+

Georeferenzierung jedes einzelnen Scanpunktes

=

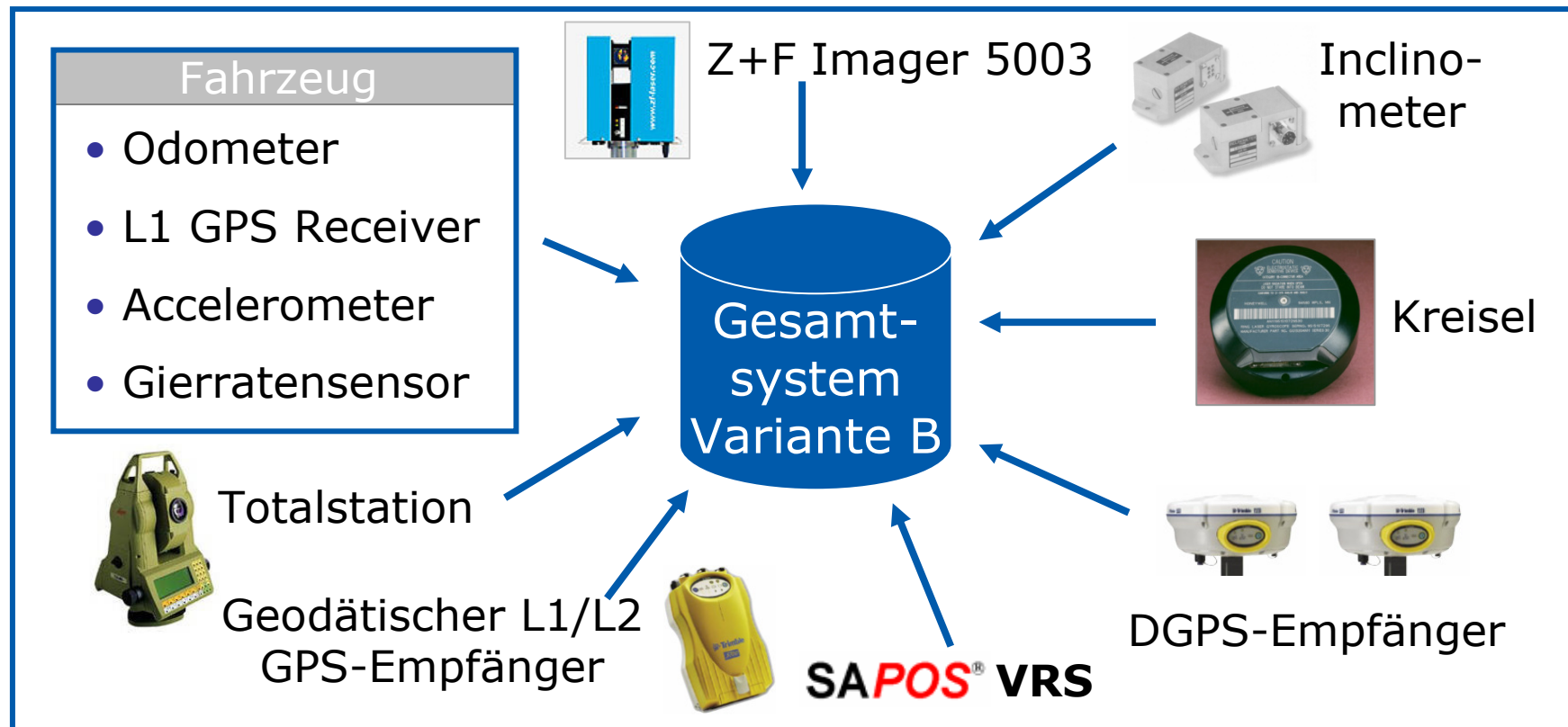
Erfassung von geometrischer 3D-Umgebungsinformation



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



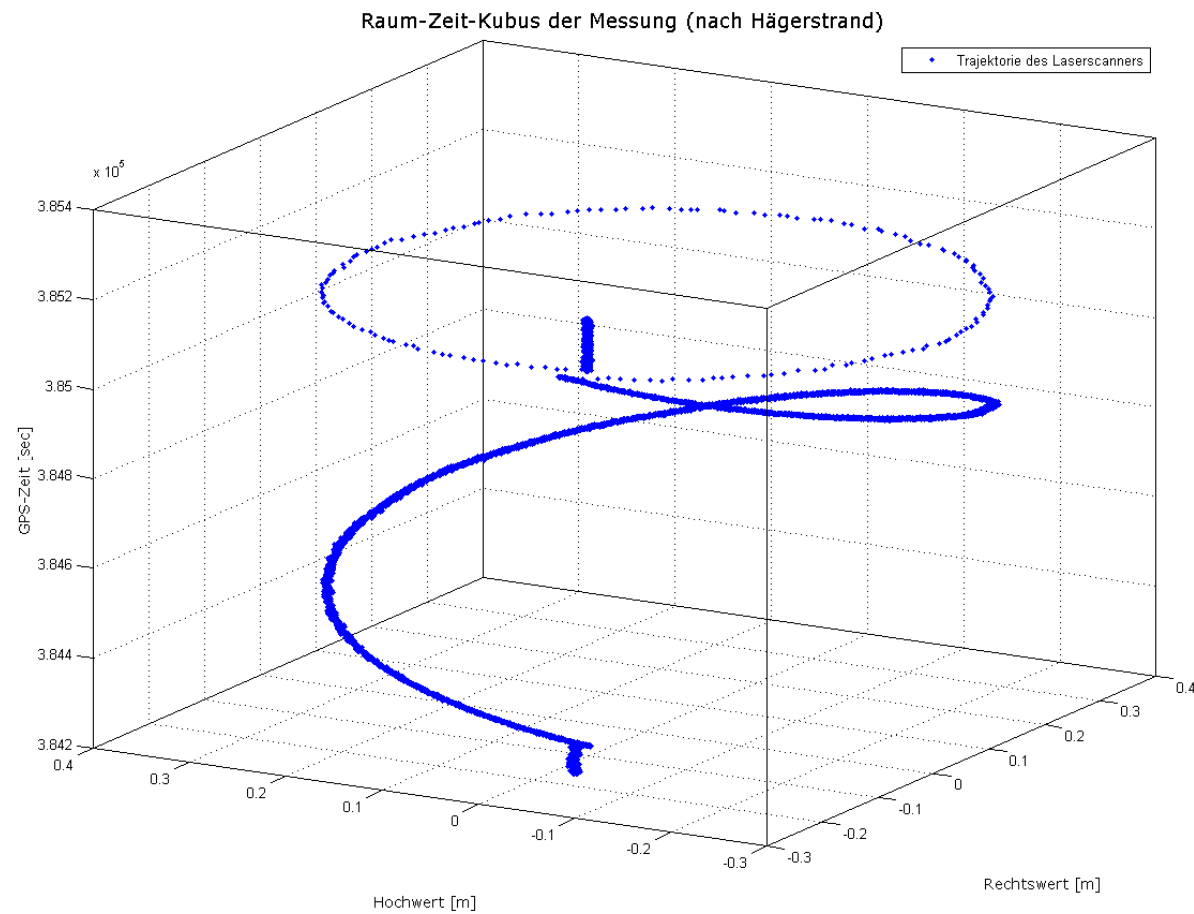
Messungen

- „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° 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: Transformieren 1: Nullzustand_bewegteObjekte_2

Transformationsparameter

tx_m	ty_m	tz_m	rotx_rad	roty_rad	rotz
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.