

# Integration eines terrestrischen Laser-scanners in ein hydrographisches Multi-Sensor-System für die kinematische Datenerfassung über und unter Wasser

## Integration of a Terrestrial Laser Scanning System into a Hydrographical Multi-Sensor-System for Kinematic Data Acquisition Above and Below Water

Thomas Kersten, Volker Böder, Thomas Thies

In diesem Beitrag wird die Integration eines terrestrischen Laserscanningssystems (TLS) auf einem schiffsbasierten Multi-Sensor-System zur simultanen Erfassung von 3D-Geodaten über und unter Wasser vorgestellt. Diese Systemintegration und erste Erfahrungen mit diesem speziellen Multi-Sensor-System sind in einer Zusammenarbeit zwischen der HafenCity Universität Hamburg (HCU) und der Hamburg Port Authority (HPA) entstanden. Dazu wurde in einem Pilotprojekt der terrestrische Laserscanner Riegl VZ-400 auf dem Vermessungsschiff „Deepenschriewer III“ der HPA eingesetzt, um das System in typischen Anwendungsgebieten der HPA zu testen. Als Testgebiet wurde der Grasbrookhafen nahe der neuen Hamburger Elbphilharmonie aufgenommen und mit Referenzdaten verglichen. Dabei konnte auch gezeigt werden, wie das Sensorsystem nachträglich kalibriert werden konnte, um so eine Genauigkeitssteigerung der 3D-Daten zu erzielen.

**SCHLÜSSELWÖRTER:** Mobile Mapping, Sensorintegration, Systemkalibrierung, terrestrisches Laserscanning

*In this paper the integration of a terrestrial laser scanning system (TLS) on a ship-based multi-sensor system for simultaneous 3D geo-data acquisition above and below water is presented. This system integration and first experiences with this special multi-sensor system are developed in a co-operation between HafenCity University Hamburg (HCU) and Hamburg Port Authority (HPA). Therefore, the terrestrial laser scanner Riegl VZ-400 was used on the surveying ship „Deepenschriewer III“ of HPA in a pilot project, in order to test the mobile system in typical applications of HPA. As a test area the Grasbrookhafen, which is close to the new Hamburg Philharmonic Hall, was scanned with the mobile system and compared with reference data from static TLS. Finally, it could be shown, how subsequent system calibration could eliminate systematic errors and increase the accuracy of the 3D data.*

**KEYWORDS:** Mobile mapping, sensor integration, system calibration, terrestrial laser scanning

### 1 EINFÜHRUNG

Dreidimensionale Geodaten sind digitale Informationen, denen auf der Erdoberfläche und im Wasser eine bestimmte räumliche Lage zuge-

wiesen werden kann. Diese Geodaten bilden einen wesentlichen Teil des in der modernen Informations- und Kommunikationsgesellschaft vorhandenen Wissens, das auf allen Ebenen in Verwaltung, Wirtschaft und Wissenschaft und vom Bürger zunehmend benötigt wird. Sie bil-

den die Grundlage des planerischen Handelns und ihre Verfügbarkeit ist eine maßgebliche Voraussetzung für Standort- und Investitionsentscheidungen. Das führt zu einem stetig steigenden Bedarf an solchen Geodaten, wodurch hohe Anforderungen an die effiziente Erfassung (aktuelle und kostengünstige Daten) und umfangliche Verfügbarkeit (schnell, einfach, flächendeckend und großmaßstäblich) gestellt werden. Daher bieten sich für eine effiziente 3D-Datenerfassung mobile Sensorsysteme (Mobile Mapping Systeme) in der Luft (Flugzeug, Helikopter), auf dem Land (Fahrzeug) und auf dem Wasser (Schiff) an.

In diesem Beitrag wird ein mobiles Multi-Sensor-System auf einem Vermessungsschiff im Hamburger Hafen vorgestellt, mit dem simultan über und unter Wasser 3D-Geodaten erfasst wurden. Dabei steht die Integration eines terrestrischen Laserscanningsystems (TLS) in ein schiff-basiertes Multi-Sensor-System, das mit Navigations- und hydrographischen Sensoren ausgestattet ist, im Vordergrund. Diese Systemintegration und die Erfahrungen mit diesem speziellen Multi-Sensor-System sind in einer Zusammenarbeit zwischen der HafenCity Universität Hamburg (HCU) und der Hamburg Port Authority (HPA) entstanden. Dazu wurde in einem Pilotprojekt der terrestrische Laserscanner Riegl VZ-400 auf dem Vermessungsschiff „Deepenschriewer III“ der HPA eingesetzt, um das System in typischen Anwendungsgebieten der HPA zu untersuchen und zu testen.

## 2 MOBILE MULTI-SENSOR-SYSTEME

Mobile Multi-Sensor-Systeme werden schon seit fast zwei Jahrzehnten in Flugzeugen und auf Fahrzeugen eingesetzt. Gerade die Mobile Mapping Fahrzeuge mit integrierten terrestrischen Laserscannern haben sich in den letzten fünf Jahren auf dem Markt erfolgreich etabliert. Wenn terrestrische Laserscanner auf mobilen Plattformen (Fahrzeug, Schiff, Eisenbahn, etc.) im Profimodus scannen, spricht man auch vom mobilen Laserscanning. So berichten u. a. verschiedene Autoren über den land-basierten Einsatz solcher Aufnahmesysteme in verschiedenen Ländern: Talaya et al. (2004), Gajdamowicz et al. (2007), Gräfe (2007), Kremer & Hunter (2007), Gandolfi et al. (2008), Kersten et al. (2009). In den letzten Jahren hat man das Potential terrestrischer Laserscanner auch für hydrographische Anwendungen auf Multi-Sensor-Schiffen erkannt. Alho et al. (2009) berichten vom Einsatz eines terrestrischen Laserscanners auf einem Boot zur Vermessung von Flüssen in Finnland, während Van Rens et al. (2007) den Einsatz eines Riegl LMS-Z420i in Kombination mit RTK-GPS und einem Applanix Inertialsystem POS MV 320 im Hafen von Norfolk (Virginia, USA) beschreiben. Böder et al. (2010) stellen die erste Sensorintegration von zwei terrestrischen Laserscannern (Z+F IMAGER 5006i und Riegl VZ-400) auf zwei verschiedenen Schiffen für Tests im Hamburger Hafen vor, während Studnicka et al. (2011) den Einsatz des Riegl VMX-250 Mobile Laser Scanning Systems auf einem Boot zur Erfassung der Paläste am Canal Grande in Venedig präsentiert. Moderne Multi-Sensor-Systeme auf einem Schiff können heute wie folgt ausgestattet sein (Abb. 1): Terrestrische Laserscanner zur 3D-Datenerfassung über Wasser, Fächerecholot zur Strukturierung unter Wasser, GNSS zur kinematischen Positionsbestimmung von Laserscanner und Echolot und Inertiale Messeinheit (IMU) zur Bestimmung der Lagewinkel und zur Stützung von GNSS. Die Raumvektoren zwischen den einzelnen Sensorsystemen im Schiffskordinaten-

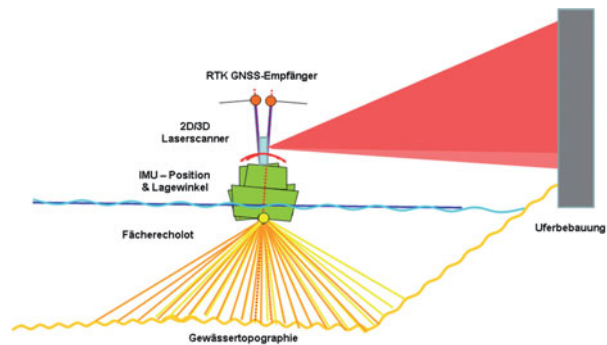


Abb. 1 | Schematischer Überblick über die eingesetzten Sensoren an Bord eines Vermessungsschiffes (Böder 2010)

system werden durch geodätische Messverfahren bei Installation des Systems sehr genau bestimmt. Basierend auf der Positionsbestimmung der GNSS-Antenne werden die Messungen des Laserscanners und des Fächerecholots mit Hilfe der Lagewinkel und der Raumvektoren in das übergeordnete Koordinatensystem transformiert.

## 3 SENSORINTEGRATION DES TERRESTRISCHEN SCANNERS RIEGL VZ-400

Laserscanner lassen sich im Prinzip bezüglich der Integration in ein hydrographisches Multi-Sensor-System ähnlich behandeln wie Fächerecholote. In der hydrographischen Aufnahmesoftware QINSy wurde eine Schnittstelle für den Riegl VZ-400 erstellt, sodass die Daten an Bord der „Deepenschriewer III“ mit Fächerecholotdaten fusioniert werden können. 3D-Position und Lagewinkel werden über den inertialen Sensor IXSEA HYDRINS (Heading ( $1\sigma$ )  $\pm 0.034^\circ$  (abhängig von der geographischen Breite in Hamburg:  $54^\circ$ ), Roll/Pitch ( $1\sigma$ )  $\pm 0.01^\circ$ ) in Kombination mit einem GNSS-Empfänger TRIMBLE SPS851H (Zephyr 2 Antenne, Korrekturdaten vom Dienst Trimble VRS-NOW) bereitgestellt. Das eingesetzte Fächerecholot Reson Seabat 8101 besitzt folgende technischen Daten: 101 Beams (akustisches Signal),  $150^\circ$  Fächerbreite, Messrate bis 40 Hz, Reichweite 300 m,  $1.5^\circ$  Beamöffnung, Punktabstände  $0.5\text{m}@20\text{m} / 1.3\text{m}@50\text{m}$ . Die Objektkoordinaten werden in Echtzeit in der Software QINSy bestimmt und angezeigt. Folgende Aspekte müssen bei der Sensorintegration berücksichtigt werden: (a) Zeitsynchronisierung aller beteiligten Sensoren, (b) Online & Offline Datenfusion zu georeferenzierten Punktwolken, (c) Bestimmung der Lagewinkeloffsets aller Sensoren zueinander und (d) Beseitigung von restlichen systematischen Einflüssen.

Abb. 2 zeigt den Aufbau des Systems auf dem Dach der „Deepenschriewer III“. GNSS-Antenne, IMU und TLS wurden längs der Schiffsachse in einem Abstand von jeweils 30 cm auf einer Platte montiert. Die unmittelbare Nähe der Sensoren zueinander reduziert mögliche Fehlereinflüsse bei der geodätischen Einmessung der Sensoren in das Schiffskordinatensystem und bei der Fusion der Messdaten. Ein detaillierte Beschreibung des Vermessungsschiffes und der eingesetzten Sensoren ist in Böder et al. (2010) und in Thies (2011) zu finden.

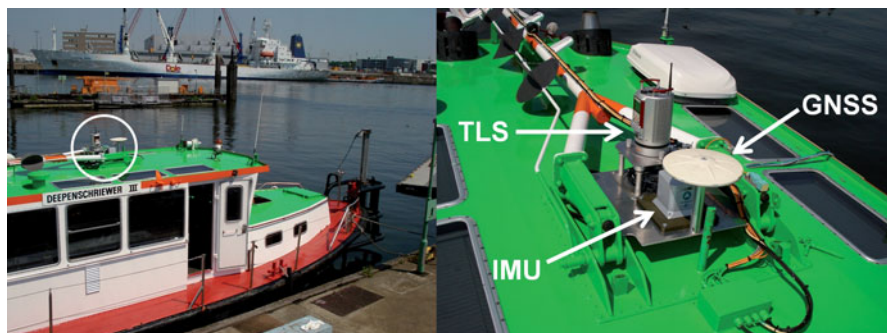


Abb. 2 | Installation des TLS Riegler VZ-400 an Bord der „Deepenschriewer III“

#### 4 SYSTEMKALIBRIERUNG

Nach der geodätischen Einmessung der Sensoren erfolgt die Verknüpfung der Sensoren an Bord zu einem integrierten System über LAN, RS-232 und USB-Verbindungen. Die Zeitsynchronisation wird über einen PPS-Puls realisiert, der von den an Bord befindlichen GNSS-Sensoren generiert werden kann. In der an Bord installierten Software QINSy ist ein Treiber für den Riegler VZ-400 integriert, sodass eine Einbindung problemlos möglich ist. Die Lagewinkeloffsets werden durch verschiedene Scandaten von markanten Gebäuden (Abb. 3) und Molen (Abb. 5) in QINSy bestimmt, in dem in zwei aufgenommenen Profilen (hin und zurück) Kanten und Flächen mit einander verglichen werden.

So wurden am Getreideterminale in Hamburg (Rethe) die Lagewinkeloffsets für Roll & Pitch bestimmt (Abb. 3). Bei einer senkrecht stehenden Mauer verursacht ein Fehler bei der Kalibrierung des quer zur Kursrichtung wirkenden Rollens (Roll) eine Neigung der Mauer ebenfalls quer zur Fahrtrichtung. Analog wirken sich Fehler des in Längsrichtung des Schiffes wirkenden Stampfens (engl. pitch) aus. Nach Anbringen der Kalibrierparameter können die Effekte bereits in Echtzeit weitgehend eliminiert werden, wie in Abb. 4 ersichtlich ist.

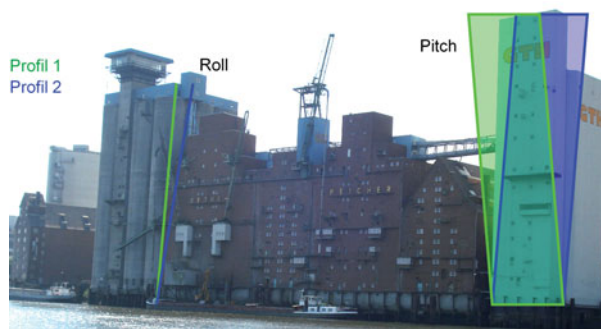


Abb. 3 | Lagewinkel-Kalibrierung (Roll & Pitch) am Getreideterminale Hamburg (Rethe) durch Vergleich verschiedener Scandaten (Profil 1 & Profil 2). Die Lagewinkeloffsets wurden zur Verdeutlichung wesentlich vergrößert.

An einer Mole nahe der Schiffliegeposition wurde der Lagewinkel Heading (Kurs) korrigiert. Das Ergebnis zweier Profilmessungen in unterschiedlicher Entfernung von der Mole ist in Abb. 5 zusammengefasst. Der Vergleich der Profile zeigt signifikante Lagewinkeloffsets, die nachträglich aus Scandaten bestimmt wurden.

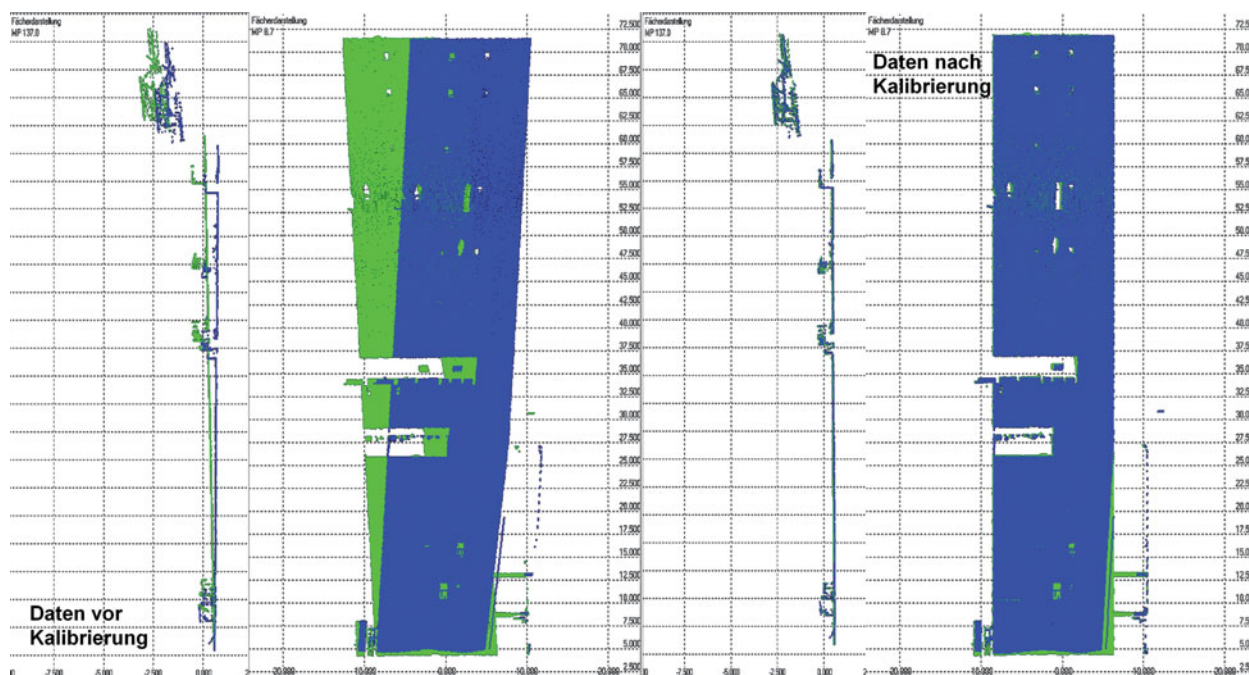


Abb. 4 | Ergebnis der Lagewinkel-Kalibrierung (Roll & Pitch) am Getreideterminale Hamburg (Rethe) anhand verschiedener Scandaten (Profil 1 & Profil 2)



Abb. 5 | Lagewinkel-Kalibrierung (Heading) an einer Mole durch Vergleich verschiedener Scandaten (Profil 1 & Profil 2) mit unterschiedlichen Abständen und Ergebnisse der Kalibrierung



Abb. 6 | Schrägansicht des Grasbrookhafens in der Hamburger HafenCity im veralteten Luftbild mit Gebäuden in Google Earth

## 5 GENAUIGKEITSUNTERSUCHUNGEN

Um systematische Effekte in den kinematisch aufgenommenen Laserscanningdaten zu detektieren, wurden drei Profile im Grasbrookhafen in der Hamburger HafenCity als Testdaten aufgenommen. Das Aufnahmegebiet ist in Abb. 6 veranschaulicht, wobei der nördliche und der östliche Bereich des Grasbrookhafens jedoch heute schon voll bebaut und in Nutzung sind. Das Hafenbecken ist in Ost-West etwa 450 m lang und in Nord-Süd-Richtung 60 m bis 110 m breit. Die „Deepenschriewer III“ fuhr etwa 20 m vom Ufer entfernt, um auch die Kaianlagen bis zur Wasserlinie mit aufnehmen zu können. Drei Profile wurden nacheinander aufgenommen und analysiert: Zwei Profile beginnen am südlichen Ufer von West nach Ost und führen am nördlichen Ufer von Ost nach West zurück. Das dritte Profil beginnt am nördlichen Ufer von West nach Ost und endet am südlichen Ufer mit einem Ost-West-Profil. Mit den Bezeichnungen A und B sind in der Abb. 7 Untersuchungsstellen markiert, auf die im Folgenden näher eingegangen wird.

Bei der Markierung A ist ein Bauzaun aufgenommen worden (siehe Abb. 8). Die seitlichen Rahmen der Elemente bestehen aus 4 cm dicken Rohren, die oberen und unteren Rahmen aus 2,5 cm dicken Rohren. Der Bauzaundraht hat eine Dicke von 3 mm und ist in 10 cm × 25 cm-Rechtecken aufgebaut. Der Bauzaun ist in allen Profilen deutlich identifizierbar, auch ein Teil der dünnen Drähte

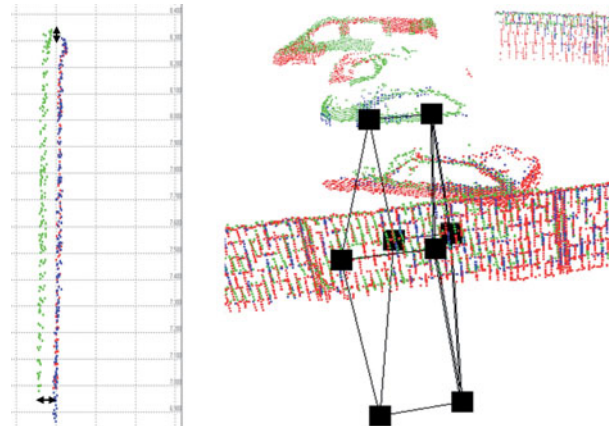


Abb. 8 | Genauigkeitsanalysen anhand eines Bauzauns (Mitte) am südlichen Ufer des Grasbrookhafens (Marke A in Abb. 7) zeigen Abweichungen in der Lage von ca. 7 cm (links) und in der Höhe von ca. 4-5 cm (rechts) beim Vergleich zweier Profile mit entgegengesetzter Fahrtrichtung

sind gut zu erkennen. Der Vergleich der Koordinaten, die für diesen Bauzaun ermittelt wurden, ergab, dass die Ergebnisse der West-Ost-Profil 1 und 3 in Lage und Höhe in etwa um 1-2 cm voneinander abweichen. Dies ist ein sehr gutes Ergebnis, die Unterschiede sind in den Darstellungen kaum zu definieren. Das Ost-West-Profil 2 weicht dagegen aber in der Lage um 7 cm und in der Höhe um 5 cm von den West-Ost-Profilen ab.

Diese Abweichungen konnten auch am nördlichen Ufer in Abb. 9 nachgewiesen werden. Hier wurden Analysen sowohl an einer zurückliegenden Hausfront als auch an der Kaimauer durchgeführt, die jeweils vergleichbare Ergebnisse (7 cm in der Lage, 4 cm in der Höhe) mit dem Südufer ergaben. Die Koordinaten des abweichenden Profils 2 lagen stets weiter vom Schiff entfernt, sodass von einer Systematik ausgegangen werden muss. Dies kann beispielsweise durch eine Abweichung in der Einmessung der Sensoren an Bord um 3,5 cm quer zur Längsrichtung des Schiffes verursacht worden sein, was durch Postprocessing der Daten in der Software QINSy kalibriert werden kann.

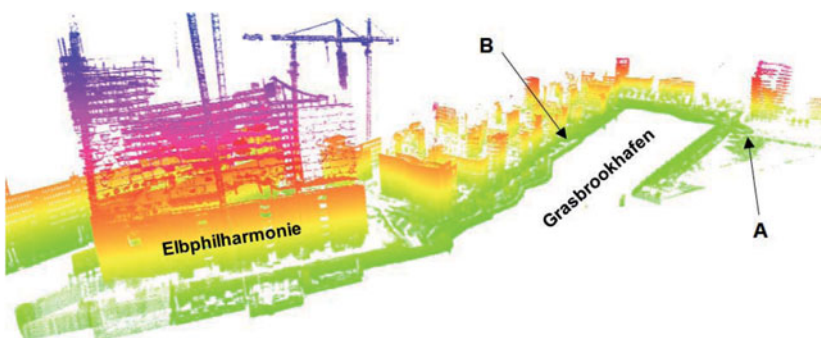


Abb. 7 | Erfasste Scandaten (farblich höhenkodierte Darstellung) vom Grasbrookhafen mit Testgebieten A und B

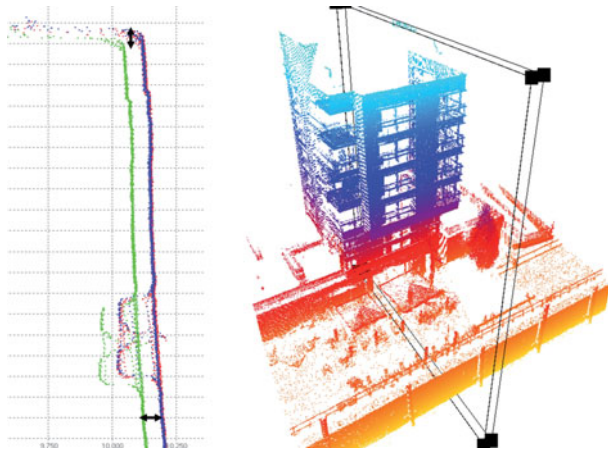


Abb. 9 | Genauigkeitsanalysen an der Kaimauer (Marke B in Abb. 7) zeigen Abweichungen in der Lage von ca. 7 cm (Pfeil links unten) und in der Höhe von ca. 4–5 cm (Pfeil links oben) beim Vergleich zweier Profile mit entgegengesetzter Fahrtrichtung.

Die Abweichung der Lagewinkelbestimmung bzw. eine ungenau kalibrierte Ausrichtung der Sensorachsen zueinander wurden durch den Vergleich langer linearer Strukturen längs zur Fahrtrichtung in unterschiedlichen Entfernungen zum TLS wie in Kapitel 4 beschrieben analysiert. Dabei konnten die Lagewinkeloffsets bestimmt und korrigiert werden (siehe Abb. 3–5).

Für weitere Genauigkeitsaussagen wurden Referenzdaten herangezogen. Die Gebäudereihe im nördlichen Grasbrookhafen wurde mit dem Riegl VZ-400 von der gegenüberliegenden südlichen Seite von drei verschiedenen Scannerstandpunkten aufgenommen. Die Aufnahmezeit für das statische Scanning betrug ca. 5 Stunden, während ein Profil vom gesamten Grasbrookhafen innerhalb von 15 Minuten aufgenommen wurde. Die Entfernung des Scanners zu ausgewählten Testobjekten lag zwischen 90–150 m, während das Schiff bei der Aufnahme nur 35–65 m von diesen Objekten entfernt vorbeifuhr. Beim Vergleich von Flächen an Gebäuden wurde nur eine Differenz von  $\pm 1$  cm zwischen den Referenzdaten und den mobil erfassten Scandaten festgestellt. Gerade in den unteren Bereichen der Gebäude passen beide Datensätze somit recht gut zusammen. Allerdings sind kleinere höhenabhängige systematische Effekte sichtbar. Diese werden insbesondere bei Gebäudehöhen ab 30 m sichtbar, dort schwingen die mobilen Daten deutlich um die Referenzdaten.

Um diese systematischen Bewegungseffekte genauer untersuchen zu können, wurde mit dem Gebäude Docklands im Hamburger Fischereihafen ein passendes Testobjekt vom Multi-Sensor-Schiff aus gescannt (Abb. 10).

Bei der Analyse der Scandaten zeigten sich in den horizontalen Gebäudelini

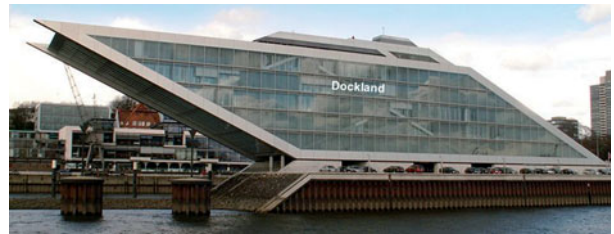


Abb. 10: Testobjekt | Docklands im Hamburger Fischereihafen

durch systematische Artefakte aus den Bewegungsdaten verursacht werden (Abb. 11 links oben). Dabei stellte sich heraus, dass ein Zeitfehler in einem verwendeten Protokoll der Bewegungsdaten der inertialen Messeinheit IXSEA HYDRINS von +25 ms vorlag, der nach Überprüfung durch den Hersteller bestätigt wurde. Aufgrund der Schiffsdynamik wirkt sich dieser Fehler insbesondere auf den Rollwinkel und damit auf die Höheninformation bei Aufnahme des Gebäudes aus. Nach Korrektur der falschen Zeitsynchronisierung lagen die anschließend korrigierten Gebäudedaten ohne offensichtlichen systematischen Fehler vor, wie in der Abb. 11 (rechts oben) dargestellt ist. Die Restklaffungen der Höheninformationen wurden dadurch signifikant reduziert.

## 6 ANWENDUNGSBEISPIELE

Die Systemintegration und -erweiterung durch einen terrestrischen Laserscanner an Bord eines Vermessungsschiffes vergrößert das Anwendungsspektrum des Vermessungsschiffes. Potentielle Anwendung ist beispielsweise die Ergänzung der hydroakustisch gewonnenen bathymetrischen Daten in Uferbereichen durch Laserscanning und damit tideunabhängigere Arbeit. In Verbindung mit dem simultanen Einsatz eines hochauflösenden Fächerecholots können Hafen- und Uferbauwerke wie Spundwände, Kaimauern, Böschungen, Vorsätze, Hochwasserschutz-Wände und anderes regelmäßig über und unter Wasser überwacht werden. Eine flächendeckende, kontinuierliche Erfassung der topographischen Hafenbestandsdaten im Gewässerbereich inklusive Betonung und Dalben ermöglicht die Erstellung eines 3D-Hafenmodells. Das mobile Laserscanning auf dem Schiff erlaubt eine einfache Vegetationskartierung an Uferbereichen. Durch die Erzeugung von „Lichttraumprofilen“ in Brückendurchfahrten und bei Oberleitungen wird die nautische Verkehrssicherheit erhöht (Abb. 12). Durch Aufnahme von 3D-Daten mit einem terrestrischen Laserscanner auf einem Schiff wird die Beweissicherung bei z. B. Schiffshavarien unterstützt. Die Beobachtung von Schiffsdynamiken wie zum Beispiel die Bestimmung des Trimmverhaltens (squat und settlement) stellt eine weitere mögliche Anwendung dar.

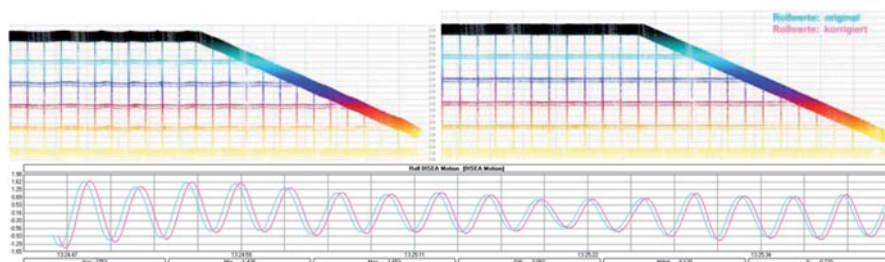


Abb. 11 | Genauigkeitsanalysen am Testobjekt Docklands: schwingende Linien in den Originaldaten (links oben) und gerade Linien in den korrigierten Daten (rechts oben). Darstellung der originalen und der zeitkorrigierten Rollwerte (unten).

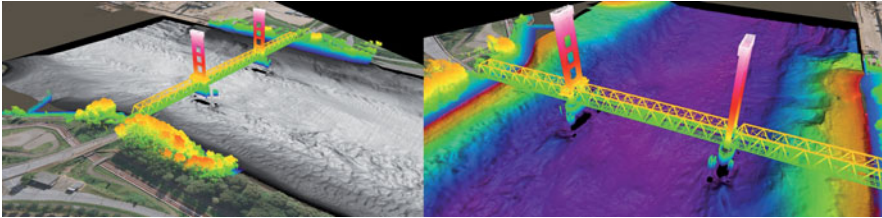


Abb. 12 | Anwendungsbeispiel für mobiles Laserscanning auf einem Schiff: simultane 3D-Erfassung von Flusstopographie unter und entlang der Wasserstraße

## 7 FAZIT & AUSBLICK

In diesem Beitrag wurde eine erfolgreiche Integration eines terrestrischen Laserscanningsystems (Riegl VZ-400) in das Multi-Sensor-Messschiff „Deepenschriewer III“ vorgestellt. Dabei erfolgte die Kombination von TLS, Fächerecholot und inertialer Messeinheit problemlos durch Zeitsynchronisation mit einem PPS-Puls über GNSS in der hydrographischen Aufnahmesoftware QINSy. Es hatte sich jedoch bei den durchgeführten Tests mit dem Multi-Sensor-System gezeigt, dass trotz präziser Sensoreinmessung eine Systemkalibrierung für genaues mobiles Scanning erforderlich ist, um anschließend erfasste Daten online verarbeiten zu können. Mit diesem System sind hohe Messgenauigkeiten (besser als  $\pm 2$  cm für die Objektpunktbestimmung) auch bei hohen Messentfernungen möglich, wenn inertielle Messsysteme mit höchster Genauigkeit wie der IXSEA HYDRINS eingesetzt werden. Damit stellen solche Multi-Sensor-Systeme ein hohes Potential für viele Anwendungen in Häfen dar. Der Riegl VZ-400 wurde bereits auch erfolgreich in das System an Bord des HCU-Vermessungsbootes Level-A integriert. Weitere Untersuchungen werden nach Sensorintegration einer genaueren IMU von iMAR (iNAV-RQH-1003) in das Schiff folgen. Dabei wird auch geprüft, in wie weit 3D-Objekte aus solchen mobilen Laserscanningdaten effizient modelliert werden können.

## 8 LITERATUR

- [1] Alho, P., Kukko, A., Hyypä, H., Kaartinen, H. Hyypä, J. & A. Jaakkola (2009): Application of boat-based laser scanning for river survey. *Earth Surface Processes and Landforms* 34, 1831–1838.
- [2] Böder, V. (2010): HCU-HMSS: A Multi Sensor System in Hydrographic Applications. 2nd International Conference on Machine Control & Guidance, Schulze-Lammers, Kuhlmann (Eds.), Bonn, March 9–11, 65–74.
- [3] Böder, V., Kersten, Th., Hesse, C., Thies, Th., Ehm, M. & A. Sauer (2010): Scannen unter und über Wasser durch Sensorintegration von GNSS/IMU, Echolot und terrestrischem Laserscanner. *GNSS 2010 – Vermessung und Navigation im 21. Jahrhundert – Beiträge zum 100. DVW-Seminar am 4. und 5. Oktober 2010 in Köln, Schriftenreihe des DVW, Band 63, Wißner-Verlag, Augsburg, 193–212.*
- [4] Gajdamowicz, K., Öhamn, D. & M. Horemuz (2007): Mapping and 3D Modelling of Urban Environment Based on LIDAR, GPS/IMU and Image Data. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 36(5/C55).
- [5] Gandolfi, S., Barbarella, M., Ronci, E. & A. Burchi (2008): Close Photogrammetry and Laser Scanning Using a Mobile Mapping System for the High Detailed Survey of a Height Density Urban Area. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37(B5): 909–915.
- [6] Gräfe, G. (2007): Kinematische Anwendungen von Laserscannern im Straßenraum. Dissertation an der Universität der Bundeswehr München, Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen.

- [7] Kersten, Th., Büyüksalih, G., Baz, I. & K. Jacobsen (2009): Documentation of Istanbul Historic Peninsula by Kinematic Terrestrial Laser Scanning. *The Photogrammetric Record*, 24(126): 122–138.
- [8] Kremer, J. & G. Hunter (2007): Performance of the StreetMapper mobile LIDAR mapping system in „Real World“ projects. *Photogrammetric Week 07*, Fritsch (Ed.), Wichmann Verlag, Heidelberg, 215–225.
- [9] Talaya, J., Alamus, R., Bosch, E., Serra, A., Kornus, W. & A. Baron (2004): Integration of a Terrestrial Laser Scanner with GPS/IMU Orientation Sensors. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 35(B5).
- [10] Studnicka, N., Zach, G., Amon, P. & M. Pfennigbauer. (2011): RIEGL VMX-250 Mobile Laser Scanning System am Beispiel der Paläste am Canal Grande, Venedig. *Photogrammetrie, Laserscanning, Optische 3D-Messtechnik – Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2011*, Th. Luhmann/C. Müller (Hrsg.), Wichmann, VDE VERLAG, Berlin und Offenbach, 129–140.
- [11] Thies, T. (2011): A Vessel-Based Mobile Mapping System – From Sensor Integration to Multipurpose Products. Unveröffentlichte Masterarbeit an der HafenCity Universität Hamburg, Januar.
- [12] Van Rens, J., Silva, A., Canter, P. & R. Brennan (2007): Surface Imaging Capabilities on Marine Hydrographic Vessels. *U.S. Hydro 2007 Conference*, Norfolk, Virginia, USA, [www.thsoa.org/hy07/12\\_04.pdf](http://www.thsoa.org/hy07/12_04.pdf).

**Prof. Dipl.-Ing. Thomas Kersten,**

HAFENCITY UNIVERSITÄT HAMBURG  
LABOR FÜR PHOTOGRAMMETRIE  
& LASERSCANNING

Hebebrandstraße 1 | 22297 Hamburg  
E-Mail: [thomas.kersten@hcu-hamburg.de](mailto:thomas.kersten@hcu-hamburg.de)



**Prof. Dr.-Ing. Volker Böder,**

HAFENCITY UNIVERSITÄT HAMBURG  
LABOR FÜR MARINE GEODÄSIE

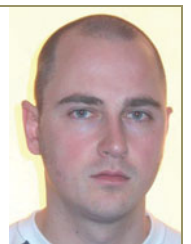
Hebebrandstraße 1 | 22297 Hamburg  
E-Mail: [volker.boeder@hcu-hamburg.de](mailto:volker.boeder@hcu-hamburg.de)



**M.Sc. Thomas Thies,**

HAMBURG PORT AUTHORITY

Neuer Wandrahm 4 | 20457 Hamburg  
E-Mail: [thomas.thies@hpa-hamburg.de](mailto:thomas.thies@hpa-hamburg.de)



Manuskript | eingereicht: 26.2.2011 | Im Peer-Review-Verfahren begutachtet