

# “Mobile Laser Scanning” Anwendungen

Peter RIEGER, Nikolaus STUDNICKA, Andreas ULLRICH

## Zusammenfassung

Die Kombination moderner, schneller 2D-Laserscanner mit den heute verfügbaren Positions- und Lagemesssystemen hoher Genauigkeit eröffnet einen neuen Anwendungsbereich für die Vermessungstechnik. Die unterschiedlichen Anforderungen an mobile Laserscanner Systeme werden durch die Einsatzgebiete und die jeweiligen Trägerplattformen – Fahrzeuge, Schiffe, Flugzeuge – bestimmt. Konkret zeigt dieser Aufsatz nach einigen grundlegenden Betrachtungen Ergebnisse dynamischer Laserscanaufnahmen welche von einem Straßen- und einem Wasserfahrzeug aus aufgezeichnet wurden.

## 1 Grundlagen

### 1.1 Übersicht

Mobile Laser Scanning bezeichnet die 3D Datenerfassung mittels eines oder mehrerer Laserscanner von bewegten Plattformen aus. Neben den bereits seit Jahren eingeführten Begriffen TLS (*terrestrial laser scanning*) für terrestrisches oder stationär bodengebundenes Laserscanning und ALS für (*airborne laser scanning*) für die luftgestützte laser-basierte Datenerfassung stellt das Mobile Laser Scanning (MLS) ein weiteres, von den beiden eingeführten Anwendungsgebieten abgegrenztes Anwendungsgebiet dar.

Ziel des Mobile Laser Scanning ist die Erfassung von 3D Daten von Objektoberflächen unter Beachtung der folgenden Anforderungen:

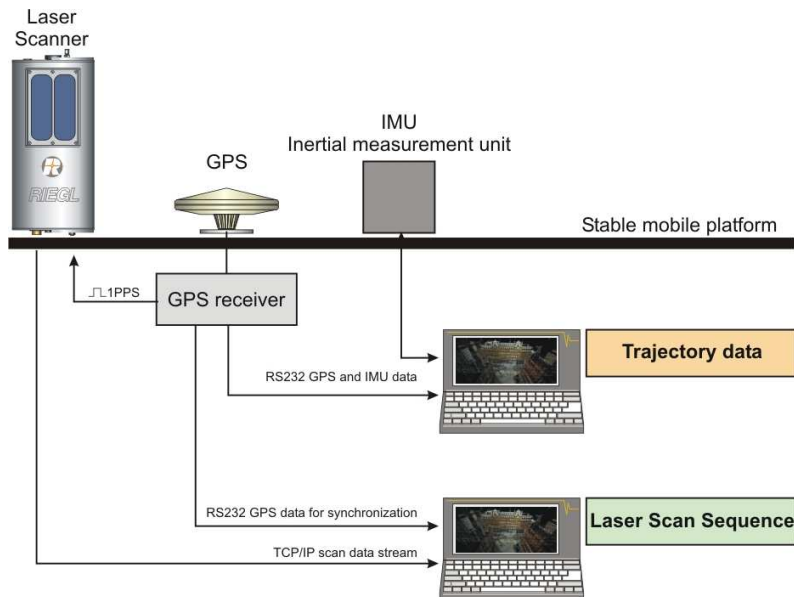
- zeit-effiziente Datenerfassung in ausgedehnten Zielgebieten
- automatische Registrierung der Daten in einem vorgegebenen Koordinatensystem
- hohe Auflösung und hohe Genauigkeit der registrierten Daten

Eine effiziente Datenerfassung ist dann gegeben, wenn das mobile System sowohl Daten mit einer hohen Datenerfassungsrate erfasst, als auch die aufgenommenen Rohdaten automatisiert so weiterverarbeitet werden können, dass eine genaue Datenregistrierung erfolgen kann. Die hohe räumliche Auflösung der Daten ist unmittelbar mit den Laser Scanner Systemparametern wie Strahldurchmesser und Strahldivergenz, aber auch mit den Einsatzparametern Datenerfassungsgeschwindigkeit und Geschwindigkeit der mobilen Plattform verknüpft. Die Anforderung nach einer hohen Genauigkeit wird nur durch ein geeignetes Zusammenspiel der Systemparameter, der Einsatzparameter aber auch der Einsatzvorbereitung und Datennachverarbeitung erfüllt.

Nachfolgend werden die Hauptkomponenten eines Mobile Laser Scanning Systems beschrieben, die unterschiedlichen Ansätze zur Registrierung der Daten besprochen und Beispiele für Systeme und Daten gegeben.

## 1.2 Systemkomponenten

Nachfolgende Abbildung (Abb. 1) zeigt die Hauptkomponenten eines Systems für Mobile Laser Scanning in einem Blockdiagramm. Eine Schlüsselkomponente sind die Laserscanner für die Erfassung von 3D Daten welche zunächst im lokalen Koordinatensystem der Laser-scanner selbst vorliegen. Laserscanner basierend auf der Laufzeitmessung von kurzen Laserpulsen ermöglichen eine zuverlässige und über einen großen Entfernungsbereich eindeutige Datenerfassung. Diese Eigenschaft bleibt prinzipiell auch bei widrigen Umweltbedingungen und in schwierigem Messumfeld erhalten, in dem etwa einzelne Lasersignale auf mehrere tiefengestaffelte Objekte treffen und von diesen reflektiert werden. Als Beispiel seien Strom- oder Telegraphenleitungen im städtischen Gebieten genannt welche auch scharf gebündelte Messstrahlen nur teilweise abdecken können. Die hohe Empfindlichkeit der Laser-Scanner basierend auf dem Puls-Laufzeit-Verfahren erlaubt es Messdaten auch von schlecht reflektierten Zielen zu erhalten, wie zum Beispiel auf dunkle oder leicht spiegelnde Oberflächen oder aber auch auf Straßenoberflächen unter einem sehr flachen Auftreffwinkel.



**Abb. 1:** Blockdiagramm eines Mobile Laser Scanning Systems

Sind mehrere Laserscanner im Einsatz um den zu erfassenden Raumwinkel bestmöglich abzudecken, so können bei bekannter und zeitlich unveränderlicher Position und Orientierung der Einzelscanner deren Daten in ein lokales fahrzeuggebundenes Koordinatensystem in einfacher Weise übergeführt werden. Die Position und Orientierung jedes Einzelscanners kann in eine so genannte Mounting-Matrix zusammengefasst werden, die zum einen aus den Konstruktionsunterlagen oder auch durch eine Vermessung grob bestimmt wird, zum anderen aber präzise über eine Systemkalibrierung zu bestimmen ist.

Für den Einsatz im Mobile Laser Scanning werden sowohl 2D Laserscanner als auch 3D Laserscanner verwendet, wobei die zwei Dimensionen eines 2D Laserscanners sich aus der Entfernungsmessung und einer Winkelmessung der Scaneinrichtung ergeben. Oftmals lenkt die Scaneinrichtung die Messstrahlen der Laser-Entfernungsmesseinrichtung linear ab, wodurch sich ein so genannter Zeilenscan ergibt. Beim Einsatz eines 3D Laser Scanners wird zumeist die zweite Scanachse bloß dazu verwendet, den Linescan vor der Datenerfassung in eine Raumrichtung zu stellen, die für die Abdeckung der bevorstehenden Aufgabe optimal ist. Diese wird während der Datenerfassung dann nicht mehr verändert.

In besonderen Einsatzfällen, wie in Bereichen mit Vegetation, ist nicht nur der erste reflektierte Laserimpuls von Interesse, sondern auch weitere, wie z.B. Echos von Ästen o.ä. Diese Technik wird first/last pulse“- oder noch aufwendiger - „full waveform“ Technik benannt (RIEGL 2007). Die aus der Full-Waveform-Analyse gewonnene Impulsbreite des reflektierten Laserimpulses kann für die automatische Filterung von großer Bedeutung sein (M. DONEUS, 2006).

Eine weitere Hauptkomponente eines Mobile Laser Scanning Systems ist das INS/GPS System (*inertial navigation system / global positioning system*) zur Erfassung der Position und Lage des lokalen Koordinatensystems des Laser-Messsystems im Zielkoordinatensystem, zum Beispiel dem WGS84 (*world geodetic system*). Die Kombination eines Trägheitsmesssystems, einer sogenannten IMU (*inertial measurement unit*) mit einem GPS Empfänger gestattet die Realisierung einer INS/GPS Systems, das sich durch hohe Genauigkeit auszeichnet, da die absolute Positionsinformation der GPS Messung die langfristige Drift der IMU größtenteils eliminieren kann, ohne ihre hohe Positions- und Orientierungsmessgenauigkeit innerhalb kleiner Zeitbereiche zu verschlechtern. Derartige INS/GPS Systeme werden im Bereich ALS standardmäßig eingesetzt. INS/GPS Systeme liefern ihre Informationen in einem fixen Zeitraster, sowohl in Echtzeit (RTK-Systeme, *real-time kinematics*) oder mit bestmöglicher Genauigkeit nach einer off-line Datenaufbereitung.

Für den Einsatz von INS/GPS Systemen im Mobile Laser Scanning Anwendungen ergibt sich im Vergleich zu der Anwendung im Bereich ALS die zusätzliche Schwierigkeit, dass durch Abschattung während der Datenerfassung einzelne GPS-Satelliten zeitweise nicht zur Verfügung stehen und damit die GPS-Lösung (Position über der Zeit) eine mindere Qualität als im ALS-Bereich aufweist. Andererseits besteht die Möglichkeit, Daten zusätzlicher Sensoren in die Lösung der Position- und Orientierungsdaten über der Zeit mit einzubeziehen, wie zum Beispiel Wegstreckengeber beim Einsatz auf Straßenfahrzeugen.

Die beiden Datensätze, 3D-Laserdaten des Lasermesssystems und die Trajektorien- und Orientierungsdaten des INS/GPS Systems (Ort und Orientierung im WGS84-System zu äquidistanten Zeiten), werden in einem Nachverarbeitungsschritt zusammengeführt. Eine qualitativ hochwertige Zusammenführung erfordert eine präzise Zeitstempelung beider Datensätze. Hierzu synchronisieren die Laserscanner in üblicher Weise ihre interne Zeitbasis auf das PPS Signal (*pulse per second*) des GPS Empfängers des INS/GPS Systems und fügen jedem Datensatz einer Lasermessung einen hochauflösenden Zeitstempel hinzu.

In vielen Anwendungen ist die Ergänzung der Laserdaten durch Bildinformation, wie auch bei TLS und ALS Systemen, von Vorteil. Die Bildinformation kann sowohl über Bildfolgen, über Videosequenzen, oder auch über die Daten einer oder mehrerer Zeilenkameras gewonnen werden. Wie auch bei den Laserdaten ist die präzise Zeitstempelung der Bilder bzw. Bilddaten für eine Registrierung erforderlich, ferner muss die innere und äußere Ori-

entierung der Kamera sowie eine Modellierung der Kameraverzeichnung verfügbar sein, um die Bildinformation auf die Laserdaten oder davon abgeleitete Modelle aufzubringen.

### 1.3 Registrierung der 3D Daten

Für Anwendungen im Bereich TLS stehen eine Vielzahl unterschiedlicher Verfahren zu Registrierung der Daten einzelner, stationär aufgenommener Datensätze (Scans) in Verwendung, die allesamt darauf beruhen, dass jeder dieser Datensätze als in sich starr angenommen werden kann. Damit sind für diesen Datensatz bloß die 6 Freiheitsgrade (3 Position- und 3 Orientierungsparameter) der Geräteaufstellung in einem übergeordneten Koordinatensystem zu bestimmen. Eingeführte Verfahren sind zum Beispiel die Registrierung über ICP Algorithmen (*iterative closest point*) [A. ULLRICH 2005] oder die Registrierung über signalisierte Verknüpfungspunkte.

Bei ALS und MLS Anwendungen sind die Daten nach der Zusammenführung von Laserdaten und Trajektoriendaten bereits registriert, dennoch ist in den allermeisten Fällen eine Nachbesserung der Registrierung erforderlich. Der Grund hierfür liegt in den unterschiedlichen Genauigkeitsklassen der beiden Subsysteme – Laserscanner und INS/GPS. Die „innere“ Genauigkeit der Laserdaten, d.h. die Genauigkeit der Laserdaten im Koordinatensystem des Laserscanners liegt im unteren cm-Bereich, wohingegen die Genauigkeit der Trajektorie im unteren Dezimeterbereich liegt. Daher ist eine Verbesserung der Genauigkeit des Gesamtdatensatzes bestehend aus mehreren Einzeldatensätzen, z.B. mehreren Flugstreifen-daten, möglich, wenn die Laserdaten der Einzeldatensätze durch eine Ausgleichung der Trajektoriendaten aneinander angeglichen werden.

Beim ALS ist dies der so genannte Streifenausgleich, der sowohl der Systemkalibrierung als auch der Verbesserung der inneren Genauigkeit des Gesamtdatensatzes dienen kann. Im Streifenausgleich kann sowohl ausschließlich eine relative Ausgleichung der Scandaten zu einander durchgeführt werden, als auch eine Anpassung der Daten an Referenz- oder Kontrollobjekte.

Im Gegensatz zu Aufgaben im TLS Bereich stehen im ALS und MLS-Bereich keine in sich starren 3D Datensätze zur Ausgleichung an, sondern aufgrund der 2D-Datenerfassung oftmals nur Scanzeilen, die in sich mehr oder weniger starr sind. Bei einer Ausgleichung von Flugstreifendaten ist daher der Modellierung der Variabilität der Trajektorienkorrektur in einer Ausgleichungsrechnung besondere Aufmerksamkeit zu widmen. Bei zeitlich kurzen Flugstreifen (allgemein Erfassungstreifen) hat sich eine Modellierung der Variation mit bloß 6 Parametern bewährt. Diese sind wiederum 3 Translationsparameter, die den gesamten Streifen im Zielkoordinatensystem verschieben, sowie drei Winkeloffsets, die zu den Roll-, Nick- und Kurswinkel der Trajektoriendaten hinzu addiert werden, um Winkelmessfehler zu modellieren. Sind die Erfassungstreifen zeitlich sehr ausgedehnt, so ist eine Gliederung angebracht, so dass die 6 zuvor genannten Parameter abschnittsweise bestimmt werden, wobei zwischen diesen Zeiten über Interpolation für jeden Zeitpunkt ein Parametersatz für die Ausgleichung errechnet wird. Die Anzahl der Segmente und damit auch die Anzahl der über eine Ausgleichsrechnung zu bestimmenden Parameter ist an die Anzahl der zur Verfügung stehenden Beobachtungen sinnvoll anzupassen.

Speziell im Bereich MLS kann ein hybrider Ansatz für die Ausgleichung der Erfassungstreifen herangezogen werden, der auf der Einbindung starrer 3D Datensätze beruht. Diese starren 3D Datensätze können zum einen von einem 3D Laserscanner stammen, der im so

genannten Stop-and-Go Betrieb im Stillstand als 3D Scanner eingesetzt wird, während der Bewegung als 2D Scanner betrieben wird. Über die Ausgleichung werden dann die Erfassungstreifen an den 3D Datensatz angepasst, wobei letzterer wieder über 6 Parameter in seiner Orientierung und Position beschrieben wird. Die Trajektorie des Erfassungstreifens wird wieder mehr oder weniger starr über zeitlich versetzte Stützpunkte mit 6 Offsetparametern angepasst. Ebenfalls, wie auch in TLS-Anwendungen kann wieder mit signalisierten Punkten gearbeitet werden, die im Fall des Laserscannings üblicherweise retro-reflektierende Objekte sind. Für MLS ist die Größe der Reflektoren an die Datendichte anzupassen.

**Tabelle 1:** Charakterisierung typischer Systeme

	<b>TLS</b> Terrestrisches Laser Scanning	<b>MLS</b> Mobile Laser Scanning	<b>ALS</b> Airborne Laser Scanning
<b>Datenformat</b>	Bildrahmen- basiert	Linienbasiert	Linienbasiert
<b>Registrierung</b>	über Reflektoren oder Nutzdaten	online per INS/GPS Aufnahme Sensoren wie z.B. Radsensor	online per INS/GPS Aufnahme der Trajektorie
<b>Reichweite</b>	1m – 1000m	typ. bis 200m	500m – 1500m
<b>Datenerfassungsrate</b>	typ. 12 kHz	typ. 12 kHz - 200kHz	typ. 200 kHz
<b>Registriergenauigkeit</b>	typ. 5mm	typ. 2cm (DGPS)	typ. 10cm (bis 2cm bei ICP auf Referenzmodelle)
<b>räumliche Auflösung</b>	typ. einige mm	typ. einige cm	typ. einige dm
<b>Aufnahmeart</b>	stop-and-go		go

## 2 Praktische Einsatzbeispiele

### 2.1 KFZ-basiertes MLS-System *RIEGL LMS-Z420i* mit *Applanix POS LV*

#### 2.1.1 Systembeschreibung

Die Hauptkomponenten des im Folgenden vorgestellten MLS-Systems sind ein *RIEGL LMS-Z420i* Laser Scanner und ein Positions- und Lagebestimmungssystem *Applanix POS LV* (LV für „Land Vehicle“). Der Laserscanner sowie die IMU und die GPS-Antenne sind stabil auf einer gemeinsamen Plattform am Gepäckträger eines Fahrzeuges montiert (Abb. 2). Im Fahrzeug befinden sich ein Laptop zur Speicherung der Daten des Laserscanners und der zum *Applanix POS LV* gehörige Steuerrechner inklusive GPS-Empfänger. Ein digitaler Drehgeber, welcher an einem Rad der Hinterachse des Fahrzeuges montiert ist, liefert dem INS/GPS-System zusätzliche Information zur Bestimmung der Position. Im

Falle einer teilweisen oder kurzzeitig totalen Abschattung der GPS-Satelliten durch Gebäude oder Bäume ist so eine Stützung der Navigationslösung möglich.



**Abb. 2:** KFZ basiertes MLS-System

Das Messgerät *RIEGL LMS-Z420i* (RIEGL 2007) ist ein terrestrischer 3D-Laserscanner. Für die spezielle Anwendung in einem MLS-System wird der Scanner mit der Steuerungssoftware *RiSCAN PRO* als 2D-Linienscanner konfiguriert. Zusätzlich erfolgt die Synchronisation der Zeitbasis des Scanners und der Zeitbasis des INS/GPS-Systems mittels des vom GPS-Empfänger abgeleiteten Synchronisations-Signals (PPS-Signal).

### 2.1.2 Planung der Vermessungsfahrt

Zur erfolgreichen Durchführung einer Vermessung mittels MLS ist prinzipiell eine vorhergehende Planung erforderlich. Die in die Planung eingehenden Parameter sind die Messdistanz, die gewünschte Punktdichte bzw. Punktabstände, die angestrebte Messgenauigkeit sowie der unter Umständen eingeschränkte Geschwindigkeitsbereich des Vermessungsfahrzeuges (Tabelle 2). Die gegenseitige Abhängigkeit der genannten Parameter muss bei der Planung berücksichtigt werden.

**Tabelle 2:** Die für die Vermessungsfahrt gewählten Parameter

mittlere Messdistanz	30 m
Geschwindigkeit	~ 6,5 km/h (1,8 m/s)
Winkel-Schrittweite im Zeilenscan des RIEGL LMS-Z420i	0.18°
Zeilen-Scanrate des RIEGL LMS-Z420i	18 Linien/sec

Aus Geschwindigkeit, Scanrate und Schrittweite ergibt sich der Punktabstand innerhalb einer Scanzeile bei einer Distanz von 30 Metern zu ca. 10 cm, der Punktabstand zweier

aufeinander folgender Scanzeilen beträgt bei einer Geschwindigkeit von ca. 1,8 m/s - unabhängig von der Messdistanz - 10 cm.

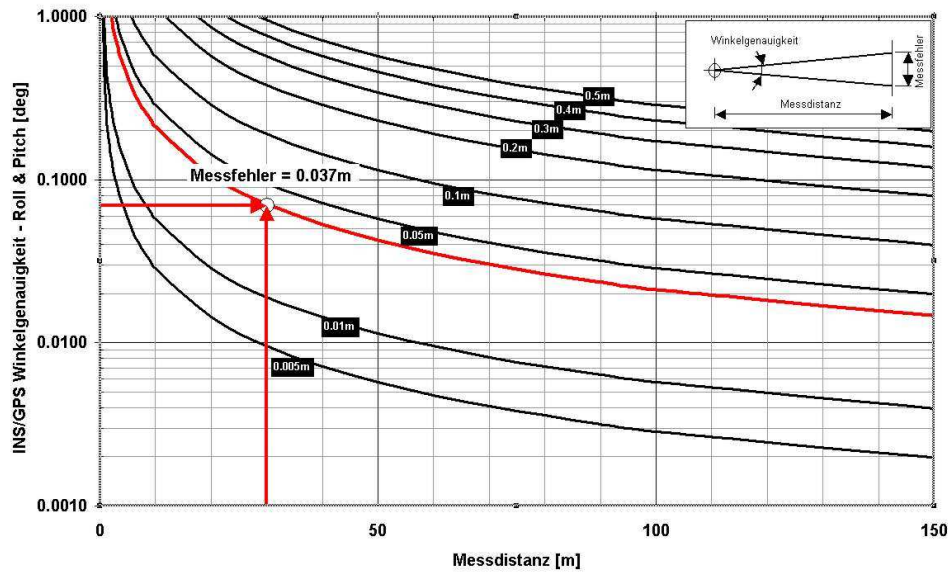
Die entsprechende mittlere Punktdichte auf ebene Ziele welche zur Scanrichtung normal stehen beträgt bei dieser Messdistanz ca. 100 Punkte/m<sup>2</sup>.

Zur Abschätzung des maximalen Messfehlers des MLS-Systems werden im Folgenden die Einflüsse des INS/GPS sowie des Laserscanners betrachtet. Laut Herstellerangaben erreicht das POS LV für Roll-, Nick- und Kurs-Winkel eine Messgenauigkeit von 0.07° (jeweils 1 $\sigma$ -Werte). Die GPS-Navigationslösung wird mittels der in Echtzeit über GSM übertragenen Korrekturinformationen des österreichischen APOS-Netzes (*Austrian POSitioning Service*) durch den GPS-Empfänger korrigiert. Hiermit wurde eine Lagegenauigkeit im RTK-Modus von weniger als 10 cm und eine Höhengenauigkeit von weniger als 15 cm beobachtet.

Der LMS-Z420i Laserscanner bietet eine Winkelauflösung der Spiegelradablenkung von 0.0025°, eine Divergenz des Laserstrahles von 0.25 mrad und eine Distanzmessgenauigkeit von 10 mm. Die Winkelmessgenauigkeit des Scanners ist einerseits von der Winkelauflösung, andererseits von der Strahldivergenz abhängig. Unter der Annahme einer näherungsweise Gauß'schen Verteilung der Intensität des Laserstrahles in Transversalrichtung wird die Winkelmessgenauigkeit aufgrund der Strahldivergenz zu ca. 0.007° bestimmt. Die Gesamt-Winkelmessgenauigkeit des Scanners beträgt somit ca. 0.0095°.

Die Abschätzung der zu erwartenden Lagegenauigkeit eines einzelnen Messpunktes vereinfacht sich durch die Annahme, dass die Messzentren des Laserscanners und des IMU-Sensors im selben Ursprung liegen. Bei einer Messdistanz von 30 Metern ergibt sich rechnerisch eine Standardabweichung des Punkt-Lagefehlers nur aufgrund der Winkelmessfehler der IMU von 37 mm (siehe Abb. 3), der kombinierte Winkelmessfehler der IMU und des Laserscanners von 42 mm.

Zusätzlich zu diesem Wert muss der Fehler der Positionsbestimmung mittels GPS sowie die Distanzmessgenauigkeit des Laserscanners berücksichtigt werden. So kann die absolute Lagemessgenauigkeit bei einer Messdistanz von 30 m im WGS84 Koordinatensystem als näherungsweise ellipsoidförmiges Volumen geschätzt werden, mit einer Länge der horizontal liegenden Halbachsen von ca. 120 mm sowie der vertikalen Halbachse mit ca. 192 mm. Anzumerken ist dass diese Werte eine absolute Genauigkeitsangabe darstellen.



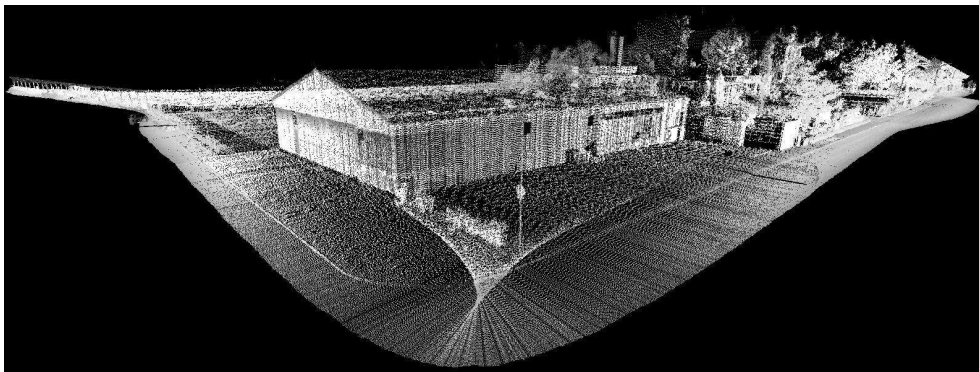
**Abb. 3:** INS/GPS Genauigkeitsanforderungen (Roll/Pitch)

Die Variabilität der Messgenauigkeit des GPS wird durch viele Faktoren bestimmt und ist mit einer bestimmten Zeitkonstante behaftet. Ebenso ist die Messgenauigkeit der IMU zeitabhängig. Wird die Datenaufzeichnung auf einen Zeitraum beschränkt in welchem die GPS-Navigationslösung sowie das Driftverhalten der IMU einen näherungsweise konstanten Fehler aufweist reduziert sich der relative Messfehler auf das Rauschverhalten der Lagebestimmung durch die IMU sowie das Entfernungsruschen des Laserscanners.

Die absoluten Lagefehler werden deutlich, wenn man beispielsweise den Überlappungsbereich mehrerer Scandatenätze betrachtet. Ein nachfolgender Streifenausgleich reduziert diesen Fehler.

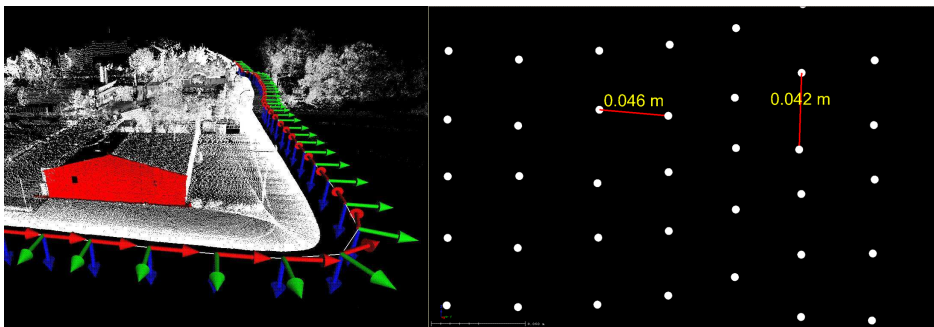
### 2.1.3 Ergebnis der Vermessungsfahrt

Die bei der Vermessungsfahrt aufgezeichneten 2D-Daten des Laserscanners wurden mit den Daten des INS/GPS-Systems unter Zuhilfenahme der synchron aufgezeichneten Zeitstempel in das WGS84-Koordinatensystem transformiert. In der nachfolgenden Abbildung (Abb. 4) ist die dreidimensionale Punktwolke aus erhöhter Position dargestellt.



**Abb. 4:** Die im WGS84-Koordinatensystem vorliegende Punktwolke zeigt das Ergebnis einer Vermessungsfahrt.

Das im Folgenden betrachtete Detail zeigt, dass die tatsächliche Punktdichte bzw. Verteilung bei nahegelegenen Objekte deutlich höher liegt als geplant.



**Abb. 5:** Links: Ein Ausschnitt der Scandaten zeigt eine Gebäudefassade sowie die zugehörige Trajektorie (Koordinatenkreuze im 5 Sekunden-Abstand). Rechts: Detailansicht der Scanpunkte mit einem Punktabstand von geringer als 5cm.

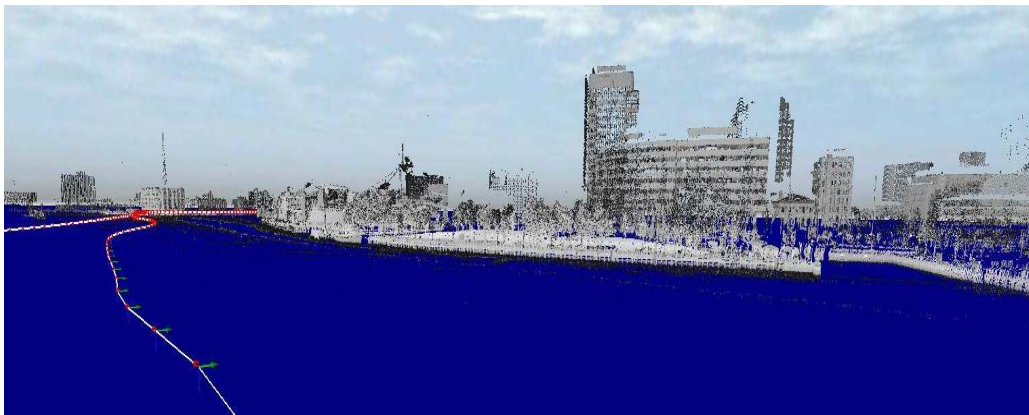
Die in obiger Abbildung (Abb. 5) gezeigte Hausfassade wurde aus einer mittleren Messdistanz von 12 Metern bei einer Fahrtgeschwindigkeit von ca. 7 km/h gescannt. Die Trajektorie ist anhand der Pfeile erkennbar, welche das lokale Fahrzeugkoordinatensystem darstellen. Selbstverständlich ergibt sich für andere als die geplanten Scanparameter kein regelmäßiges Punktraster – im Gegensatz zum entfernungsabhängigen Punktabstand innerhalb einer Scanzeile bleibt der Zeilenabstand bei gleicher Geschwindigkeit und Richtung des Fahrzeuges unabhängig von der Distanz konstant. Das Beispiel zeigt den Einfluss der Planung und Durchführung einer MLS-Vermessung auf die Qualität der erhaltenen 3D-Punktwolke.

## 2.2 Schiff-basiertes MLS-System *RIEGL LMS-Z420i* mit *Applanix POS MV*

Bei einem weiteren Beispiel wurde der gleiche Scanner, jedoch mit einer *Applanix POS MV* (MV für „Marine Vehicle“) auf einem Messschiff in Norfolk / USA eingesetzt. Mit freundlicher Unterstützung von NOAA (*National Oceanic & Atmospheric Administration*) wurde das Hafenbecken mit den Gebäuden der näheren Umgebung gescannt. Wieder wurde der Scanner mit IMU auf eine stabile Plattform montiert. Diese Platte wurde in Querrichtung zur Schiffsachse mit Hilfe von Schockabsorbern an Deck angebracht (Abb. 6). Die nachfolgenden Bilder zeigen die resultierende Punktwolke sowohl in der 3D Ansicht mit der zugehörigen Trajektorie (Abb. 7), als auch aus der Vogelperspektive im Vergleich zu Luftaufnahmen aus „Google Earth“ (Abb. 8). Der einerseits große Vorteil der hohen Reichweite von über 1000m des *RIEGL Z420i* Laser Scanners stellt auf der anderen Seite hohe Ansprüche an die Winkelgenauigkeit der IMU. Die Navigationslösung des INS/GPS Systems wurde in diesem Beispiel durch Daten des GPS-Empfängers gestützt, welcher mittels zweier Antennen in einem räumlichen Abstand von ca. 3 Metern zusätzliche Informationen über den Kurswinkel errechnen konnte.



**Abb. 6:** Mobile Laser Scanning Meßsystem montiert am NOAA-Meßschiff “Bay Hydrographer” in Norfolk Virginia USA (Verwendung der Bilder und Daten mit schriftlicher Erlaubnis der NOAA).



**Abb. 7:** Nach Intensität (Stärke des reflektierten Laser Impulses) graukodierte Punktwolke mit Trajektorie des Messschiffs



**Abb. 8:** Mobile Laser Scanning Punktwolke aus der Vogelperspektive im Vergleich zu einer Luftaufnahme von Google Earth (Hafen von Norfolk / USA)

### 3 Literatur

RIEGL Laser Measurement Systems GmbH (2007): [www.riegl.com](http://www.riegl.com): Aktuelle Datenblätter

M. Doneus, C. Briese (2006): *Full-waveform airborne laser scanning as a tool for archaeological reconnaissance*, in: Campana S., Forte M. (eds.), *From Space to Place. Proceedings of the 2nd International Conference on Remote Sensing in Archaeology*. BAR International Series 1568, 2006, page 99-106

A. Ullrich, N. Studnicka (2005): *Zusammenführung boden- und luftgestützter Laserscanner- und Kameradaten*, in *Photogrammetrie, Laserscanning, Optische 3D-Messtechnik*, Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2005, Wichmann

P. Rieger, N. Studnicka, A. Ullrich

N. Studnicka, U. Riegl, A. Ullrich (2004): *Laserscanning und Photogrammetrie – kombinierte Datenaufnahme und –auswertung*, in Photogrammetrie, Laserscanning, Optische 3D-Messtechnik, Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2004, Wichmann

---