
Möglichkeiten des mobilen Laserscannings – Erfahrungsbericht

Thomas FERNKORN, Dipl.-Ing.(Univ.)
IB Fernkorn & Partner, D-85521 Ottobrunn/München, t.fernkorn@fernkorn-vermessung.de

Zusammenfassung

Seit einigen Jahren wird die Laserscan-Technologie erfolgreich eingesetzt. Mit der Einführung der mobilen Laser-Scan Technik erweitern sich die Möglichkeiten, auch in wirtschaftlicher Hinsicht, große und ausgedehnte Objekte in 3D-Punktwolken zu erfassen. Die so optimierte Vorgehensweise schafft neue Beschäftigungsfelder, indem durch die geringe zeitliche Belastung der zu erfassenden Objekte der Einsatz von Laserscan-Technologie erst möglich wird.

Dieser Vortrag konzentriert sich auf die Praxis in der Anwendung und in der Auswertung.

1 Mobile Laserscan-Technologie

1.1 Definitionen und Entwicklungen

Ein mobiler Laserscanner ist zunächst nichts anderes als ein Laserscanner auf einem fahrbaren Untersatz. Dies kann ein Fahrzeug sein, oder auch ein fahrbarer Untersatz, der per Hand bewegt wird. Im Ergebnis entsteht, wie bei stationären Laserscann-Aufnahmen, eine Punktwolke, aus der die benötigten Informationen abgeleitet werden können. Was diese Technologie so aufwändig macht, sind die Komponenten, die eine kinematische Befahrung erfordern. Folgende Komponenten vereinen sich zu einem System:

- IMU (Inertial Measure Unit)
- DMI (Distance Measurement Instrument)
- GPS/GNNS
- Laserscanner
- Digitalkamera

Das optimierte Zusammenspiel dieser Komponenten ermöglicht es, Ergebnisse im cm-Bereich zu liefern.

1.2 Vorstellung der Systeme

Die auf dem Markt befindlichen Systeme unterscheiden sich durch unterschiedliche Ausstattungen. Hier einige Beispiele:

Trimble MX8

Dieses mobile System ist fest auf dem Fahrzeug montiert und mit dem darin befindlichen Equipment verkabelt. Das heißt: Scannereinheit, Steuerungsausrüstung und Fahrzeug bilden eine Einheit.



Abb. 1: MX8-Verkabelung



Abb. 2: MX8 fest auf Fahrzeug montiert



Abb. 3: Arbeitsplatz im Fahrzeug

Trimble MX9

Die neuesten Entwicklungen gehen auf kompaktere Lösungen. Dabei können diese Scaneinheiten auf einen handelsüblichen Dachträger (z.B. einen Kombi oder einem SUV) montiert werden. Das Steuer-Equipment wird als Black-Box lediglich in das Fahrzeug platziert und mit dem Scanner verbunden. Dabei wird auf den Weggeber oft verzichtet. Ein Beispiel hierfür ist der MX9 von Trimble.



Abb. 4: MX9 (Foto KOREC)

PEGASUS (LEICA)

Das PEGASUS-System ist ebenfalls als mobile Einheit auf einem konventionellen Dachträger montierbar. Im Vergleich zu den Trimble-Varianten verfügt dieses Gerät nur über einen Scanner.



Abb. 5: Pegasus (Foto LEICA)

TIMMS

Im Gegensatz zu den beiden vorgestellten System MX8 und MX9 als Outdoor-Equipment gibt es speziell für Innenaufmaße den mobilen Laserscanner TIMMS der Fa. Trimble.



Abb. 6: TIMMS (Fa. Trimble)

1.3 Einsatzmöglichkeiten und Voraussetzungen

Der Einsatz dieser mobilen Laserscanner unterscheidet sich grundsätzlich in der Outdoor- und Indoor-Varianten. Während ein MX8, MX9 oder PEGASUS für die Erfassung linienhafter Objekte geeignet ist, findet das TIMMS hauptsächlich im Gebäudeinnenaufmaß Verwendung.

Der wirtschaftliche Einsatz mobiler Laserscanner ist abhängig von der Größe des Objektes oder dessen Rahmenbedingungen.

Beispiele hierfür:

Out-Door-Systeme

Früher musste ein Autobahnabschnitt komplett gesperrt werden, wenn er nach konventionellen Methoden erfasst werden sollte. Mit den neuen Systemen ist lediglich ein Sicherungsfahrzeug hinter dem Messfahrzeug (MX8) erforderlich. Aufnahmen können mit einer Geschwindigkeit von ca. 50km/h durchgeführt werden. Beim neuen MX9 kann sogar ganz auf

ein Sicherungsfahrzeug verzichtet werden. Dieses System führt die Aufnahmen auch bei einer Geschwindigkeit von bis zu 90km/h zuverlässig durch.

Der Einsatz modernster hochfrequenter Scanner macht dies möglich.



Abb. 7: MX8 auf Fahrzeug fest montiert



Abb. 8: MX8 im Einsatz vor Sicherungsfahrzeug-Kolonne

Indoor-Systeme

Der Einsatz von Indoor-Systemen wie das TIMMS ermöglicht es, sicherheitsempfindliche Bereiche oder auch Bereiche, die möglichst wenig mit einem Aufnahmevorgang belastet werden sollen (z.B. ein Pflegeheim) rasch zu erfassen.

2 Genauigkeiten und Systemvoraussetzungen

Genauigkeiten

Die im Anschluss vorgestellten Aufgaben erfordern Genauigkeiten im cm-Bereich. Das heißt, sowohl die Fahrbahnkanten, als auch die Gebäudeinnenaufmaße sind mit einer Genauigkeit von 1-1,5cm zu erfassen. An dieser Vorgabe scheitern einige Systeme, da sie diese Genauigkeitsanforderungen nicht erfüllen.

Systemvoraussetzungen

Um die Voraussetzung zu erreichen, genügen z.B. die Positionierungen der Systeme über GNSS nicht alleine. Es sind in aller Regel übergeordnete Passpunkte geodätisch einzumessen, um die hohen Anforderungen zu erfüllen. Diese fallen je nach System unterschiedlich aus.

MX8/9:

horizontal ausgebildete Quadrate mit hohem Kontrast zur Umgebung (z.B. 40x40cm)



Abb. 9: Passpunkt mit GNNS-Messanordnung mit Reflektor



Abb. 10: Quadratischer Passpunkt

Der Abstand dieser Passpunkte beträgt ca. 200 m.

Beim System MX9 können, laut Aussage des Herstellers, auch vertikale Targets Verwendung finden. Der Passpunktabstand kann auf 500 m vergrößert werden. Erfahrungswerte hierfür fehlen noch, da das System erst seit Kurzem verfügbar ist.

Beim Indoor-System TIMMS werden einfache Bodenmarkierungen verwendet (z.B. ein Kreuz mit einem Edding-Stift), die geodätisch eingemessen werden. Für kleinere Objekte genügt ein Bezugspunkt, der am Ende der Befahrung wieder angefahren wird.

3 Praktischer Einsatz

3.1 Erstellung eines Passpunktfeldes für linienhafte Objekte

Die Erstellung eines Passpunktfeldes entlang einer Autobahnstrecke stellt besondere Herausforderungen dar. Die Vorgabe an die Lagegenauigkeit des Endergebnisses ist meist mit +/-2cm festgelegt; die Höhengenaugkeit mit einem Faktor 2-3 besser. Daran kann man erkennen, dass es mit einer reinen GNNS – Bestimmung der Passpunkte (vgl. Abb. 9 und 10) nicht getan ist. Die ersten Erfahrungen diesbezüglich waren die, dass man bei guten Sichtverhältnissen und GNNS-Doppelmessung in die Nähe dieser Genauigkeiten kommen kann. Allerdings sind die Verhältnisse nicht immer optimal für GNNS. Läuft die Strecke abgeschattet durch einen Hochwald im Süden, so ist mit größeren Abweichungen zu rechnen. Außerdem erfordert die Doppelmessung eine entsprechende Zeitschiene. Dies bedeutet, dass man zweimal auf die Strecke muss und damit zweimal Sicherungsfahrzeuge benötigt.

Ein weiteres Problem stellt die Höhengenaugkeit dar. Diese lässt sich mit GNNS nicht erreichen. Grundsätzlich sind die Höhen im amtlichen Höhensystem abzuliefern. Bei langgestreckten Objekten von weit über 10 km Länge sind die Geoidmodelle nicht so stabil, dass eine konsistente Höhenabbildung möglich ist. Das heißt: Man denkt daher daran, die Passpunkte mit einem Liniennivellement höhenmäßig zu bestimmen, während man die Lageinformation über die GNNS- Messung erhält. Zeitlich könnte man dieses Nivellement mit der GNNS-Zweitmessung kombinieren. Doch bald stellte sich heraus, dass ein Nivellement auch nicht optimal ist. Autobahnen weisen häufig signifikante Längsprofile auf. Bei nur 3% Steigung ergibt sich bei einer durchschnittlichen Zielweite von 50m ein Höhenunterschied zwischen zwei Wechsellpunkten von ca. 3m, was zu unterschiedlichen Refraktonsverhältnissen führt. Die Lage der Messanordnung über Asphalt verschärft die Situation zusätzlich

Neues Konzept für die Passpunktbestimmung:

Die Idee war, ein Messkonzept zu entwickeln, das die Genauigkeitsanforderungen erfüllt, nur eine Messaktion je Strecke erfordert und Lage- sowie Höhenmessung vereint.

Die Lösung besteht aus einem zwangszentrierten Polygonzug mit gegenseitig gleichzeitiger Messung (zwei Tachymeter) und zwei Messfahrzeugen. Die Messfahrzeuge rücken im Ziehharmonika-Prinzip hintereinander her. Dabei wird der hintere Tachymeter nach dem Aufrücken des hinteren Fahrzeuges um das vordere herumgetragen – ein überholen auf der Standspur ist nicht erlaubt!!! – und mit dem vorderen Fahrzeug zur nächsten Station gebracht. An jeder Station wird ein Passpunkt und meist auch ein Festpunkt seitlich zum Fahrbahnrand markiert bzw. vermark. Diese werden dann von je 2 Stationen erfasst. An jeder Station (= Standpunkt) wird auch ein GNNS-Punkt tachymetrisch aufgemessen. Die entlang der Mess-Strecke befindlichen amtlichen Höhenfestpunkte werden an das Aufnahmefeld herangetragen und in die Messungen integriert.



Abb. 11: Tachymeter RegElta2 mit Zieleinrichtung zur gegenseitig gleichzeitigen Anmessung



Abb. 12: Zweiter Tachymeter am vorderen Messfahrzeug

Der Vorteil dieses Systems ist, dass mit zwei Messverfahren in einem Zuge die Passpunkte bestimmt werden (Tachymeterzug und GNSS-Messung mit Höhenanbindung per Nivellement). Die Sichten liegen in etwa parallel zur Oberfläche, was zu symmetrischen Messverhältnissen führt. Durch die Mittelbildung der Höhenunterschiede zwischen den Standpunkten (Stationen) wird der Einfluss der Refraktion eliminiert.

Zum Einsatz kamen Tachymeter der Reihe ELTA2 oder 3 der Fa. Zeiss. Diese Systeme sind relativ schnell einsatzbereit. Ein zeitaufwendiges Hochfahren eines moderneren Tachymeters entfällt. Dies wirkt sich in Bezug auf die Messdauer und somit in wirtschaftlicher Hinsicht positiv aus. Im Übrigen verfügen diese „alten“ Geräte nach wie vor über eine hervorragende Optik und Streckenmessgenauigkeit. Die Erfahrung hat gezeigt, dass die Mittelwerte der doppelt aufgemessenen Punkte Abweichungen von selten über 5mm aufweisen.

3.2 Auswertung der Messkampagne zur Bestimmung der Passpunkte nach dem neuen Konzept

Für die Auswertung hat sich die Trennung von Lage- und Höhenauswertung bewährt.

Höhennetz

Die Höhen werden zunächst mit einem lokalen Höhensystem bestimmt und zu den nivellierten Punkten ins Verhältnis gesetzt. Dabei unterteilt man die Mess-Strecke in Berechnungsabschnitte, innerhalb derer man den Höhenunterschied des lokalen Systems zum amtlichen ermittelt und ggf. auf die Strecke abgleicht. Die Abweichungen liegen meist im wenigen cm-Bereich und werden auf die Länge eines Berechnungsabschnittes abgeglichen. Dies führt zu einer Unsicherheit von Station zu Station von meist unter 2mm. Oftmals ist der Höhenanschieb über die gesamte Strecke konstant und muss daher nicht abgeglichen werden. Bei jeder Station können die GNNS-Höhenwerte mit denen ins amtliche System gebrachten Höhen (aus der Tachymeteraufnahme) verglichen werden. Die Abweichungen liegen meist in der zu erwartenden Größe von +/-2cm. Durch Abschattungen verursachte Abweichungen sind deshalb für das System unschädlich, da die Höhenbestimmung durch doppelte Tachymetermessung in Kombination mit der nivellierten Höhenanbindung ausreichend genau ist. Daher werden die GNNS-Höhenbestimmungen in erster Linie zur Kontrolle verwendet.

Lagenetz

Das Lagenetz wird örtlich berechnet und über die GNNS-Punkte ins Landessystem transformiert. Die Restklaffungen liegen normalerweise in den üblichen GNNS-Genauigkeiten (+/-2cm).

Passpunkte, Festpunkte

Anschließend werden die ermittelten Standpunkthöhen mit den Lagekoordinaten vereinigt und alle Pass- und Festpunkte polar bestimmt. Da alle Punkte zweimal erfasst werden, können die Koordinaten gemittelt werden. Bei größeren Abweichungen ist u. U. eine Nachmessung notwendig. In der Regel liegen diese bei max. +/-5mm.

3.3 Passpunkte im Indoor-System

Ab einer gewissen Größenordnung ist es sinnvoll, mit Passpunkten die Messaktion zu stabilisieren. Dies hat auch den Sinn, dass die Erfassung in einzelne Bereiche aufgeteilt werden kann, um später über die referenzierten Passpunkte die Aufnahme wieder zusammenzusetzen. Punktwolken erreichen häufig Dimensionen, die auch größere Rechnerkapazitätä-

ten überfordern. Daher ist die Bearbeitung in Teilabschnitten durchaus sinnvoll und praktikabel.

4 Ergebnisse

Grundsätzlich werden die Messungen über sog. Trajektionslinien aufbereitet.

4.1 Linienhafte Objekte

Im Ergebnis erhält man 3D-Punktwolken, die weitere Auswertungen in Bestandsplänen ermöglichen (2D oder 3D)

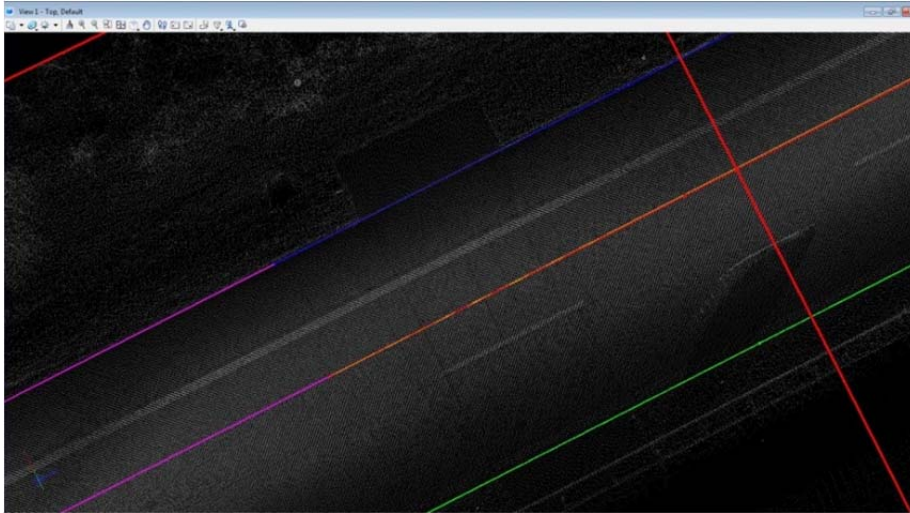


Abb. 13: Fahrbahnkanten und erkennbare Ausbuchtung

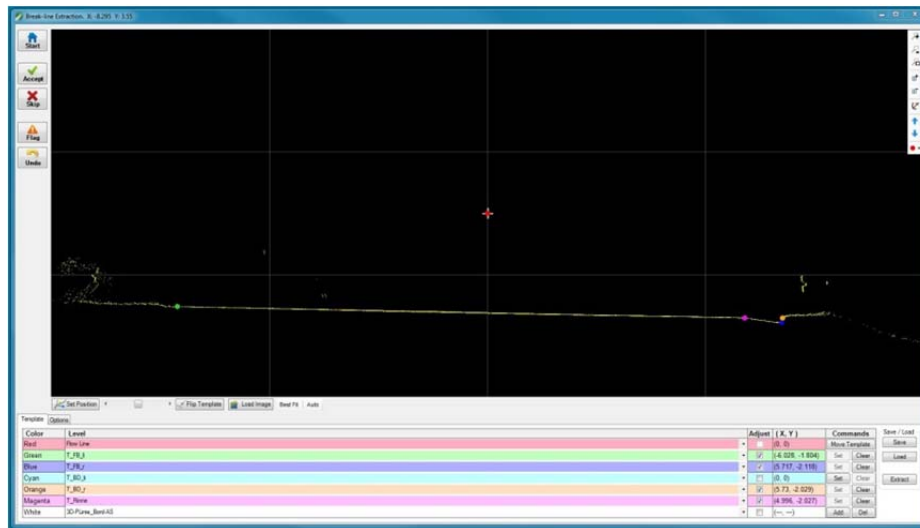


Abb. 14: Schnittdarstellung mit erkennbaren Bruchkanten

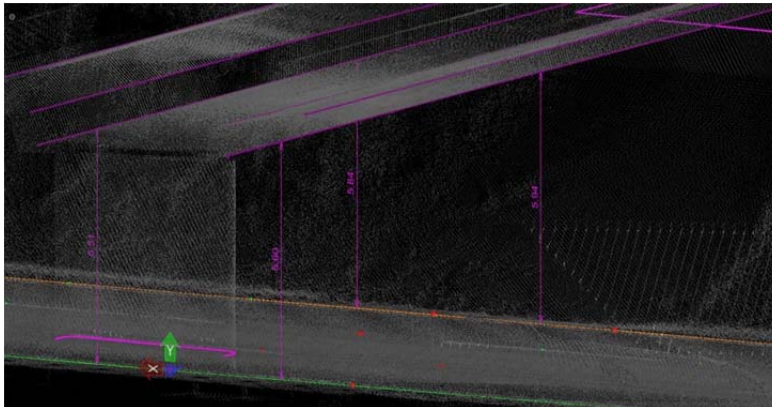


Abb. 15: Ermittlung von Ausbauhöhen an Brücken

4.2 Architekturvermessung

Die Auswertung von mobilen Indoor-Laserscanning erfolgt ähnlich dem stationären. Das TIMMS-System liefert jedoch eine bereits ausgedünnte Punktwolke. Dies führt zu einem geringeren Rauschen der Punktwolke und damit zu einer etwas erleichterten Auswertung und Planerstellung.

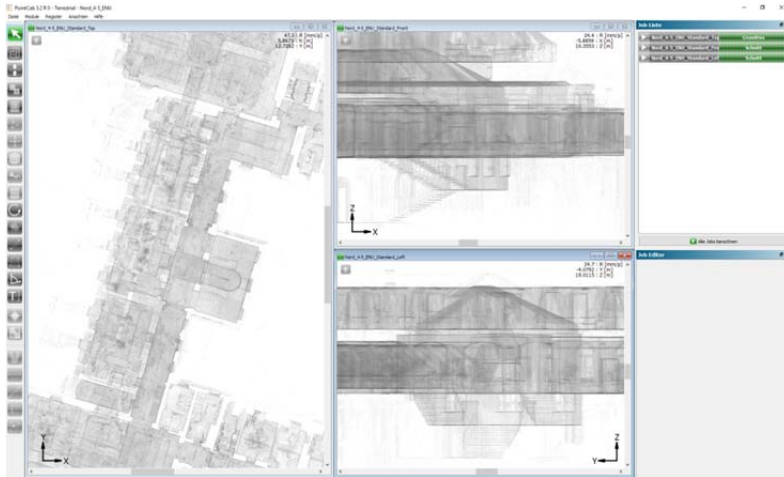


Abb. 16: Punktwolke aus TIMMS-Befahrung

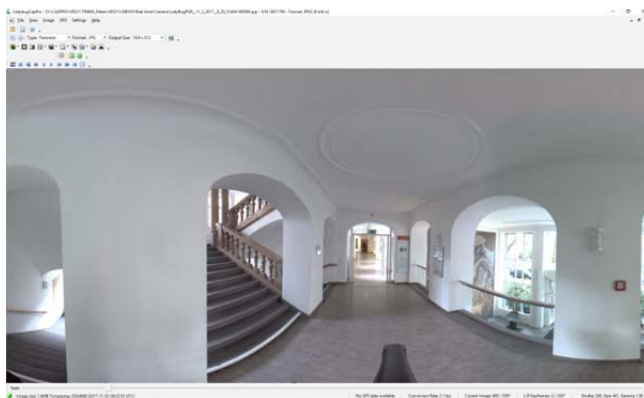


Abb. 17: „Froschaugenfoto“ der TIMMS-Aufnahme

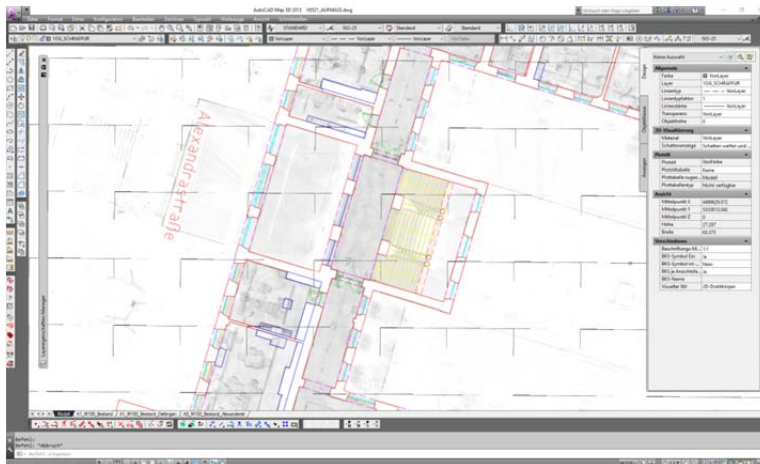


Abb. 18: Ausarbeitung der Punktwolke am CAD.

5 Ausblick

Weitere Anwendungen für das TIMMS-System.

Derzeit wird untersucht, inwieweit für kleinräumige Bereiche das mobile Laserscan-System „TIMMS“ auch im Außenbereich eingesetzt werden kann. Fassadenaufnahmen bei Gebäuden konnten bereits erfolgreich durchgeführt werden. Bei Aufnahmen von innerörtlichen Straßenzüge oder Kreuzungen sind hingegen optimale Lichtverhältnisse erforderlich. Nur dann sind die Kontraste so ausgeprägt, dass sich daraus z.B. Grundrisspläne ableiten lassen. Auch hier gilt, dass sich in kurzer Zeit, z.B. an einem verkehrsarmen Sonntag-Vormittag, Straßenzüge erfassen lassen, wo sonst tageweise Tachymeteraufnahmen erforderlich wären.

FAZIT:

Das mobile Laserscanning ist eine deutliche Verbesserung bei großflächigen oder linienhafter Objekten. Zur Erlangung von Genauigkeiten im cm-Bereich ist ein präzises Passpunktfeld erforderlich. Im Bereich der Straßenvermessung ist das Verfahren alternativlos. Vor dem Hintergrund wachsender BIM-Anwendungen wird das Verfahren immer mehr an Bedeutung gewinnen.