

Terrestrisches Laserscanning 2006 – Technische Möglichkeiten und Anwendungen*

Rudolf Staiger und Thomas Wunderlich

Zusammenfassung

Mit dem Terrestrischen Laserscanning (TLS) steht dem Geodäten seit wenigen Jahren ein mächtiges Werkzeug zur dreidimensionalen Erfassung komplexer und ausgedehnter Objekte oder ganzer Szenarien zur Verfügung. Im Gegensatz zu den vorherigen Innovationsschritten der Vermessungstechnik (z. B. Tachymetrie oder GNSS) wird damit nicht nur ein Messwerkzeug durch ein anderes ersetzt, sondern es bietet auch das Potential neuer Lösungen für einen neuen Kundenkreis. Im Anschluss an die Beschreibung der aktuellen Entwicklungen zur Aufnahme und Auswertung, folgt eine Klassifizierung der bestehenden und potentiellen Anwendungen.

Summary

Terrestrial Laser Scanning (TLS) is a very young but powerful tool for the three-dimensional digitalisation of large and complex objects or entire scenes. This innovation does not only replace existing techniques; it offers also new applications and potential for new solutions for new customers. In the beginning the actual situation of scanners and methods for the treatment of the data are described. In a second step the actual and potential applications are classified.

1 Einleitung

Terrestrische Laserscanner zur dreidimensionalen automatisierten Digitalisierung wurden um die Jahrtausendwende in Form erster kommerziell erhältlicher Produkte in den Markt eingeführt. Seither werden dieser Technologie beste Zukunftsaussichten prophezeit; die Begründungen sind leicht nachvollziehbar: einerseits ist die Bedienung einfach und leicht zu erlernen und andererseits ist das Reservoir an (potentiellen) Anwendungen nahezu unerschöpflich.

Der Schluss liegt nahe, dass es sich nicht nur um eine Technologie handeln muss, die rasche Verbreitung gefunden hat, sondern dass der Laserscanner (einschließlich der zugehörigen Auswertesoftware) bereits heute die Rolle eines Standardwerkzeugs im täglichen Vermessungseinsatz einnimmt. Marktbeobachtungen jedoch widerle-

gen diese These deutlich. Danach befinden wir uns nach wie vor in einer Phase der *Markteinführung*.

In diesem Beitrag wird – einleitend zum TLS-Seminar 2006 – versucht, die aktuelle Situation des Terrestrischen Laserscanning zu beschreiben.

2 Laserscanning – eine Herausforderung für den Geodäten?

In den vergangenen 50 Jahren wurde die Vermessungstechnik durch die Einführung der elektronischen Streckenmessung (EDM), der elektronischen Tachymetrie und der satellitengestützten Messverfahren (GPS) nachhaltig beeinflusst. Alle drei Innovationsschritte wurden als revolutionär bezeichnet und hatten und haben immense Auswirkungen auf die Arbeitsweise unseres Berufes. Allerdings haben diese technischen Neuerungen nur *substituierenden* Charakter, d. h. eine Technologie wird zwar durch eine andere ersetzt, jedoch das Endprodukt (Koordinate, Höhe usw.) bleibt dasselbe. Das gilt auch für den Kundenkreis bzw. für den Produzenten der Vermessungsleistung. Mit anderen Worten: Die Vermessungsdienstleistung im klassischen Sinne (Kataster, Ingenieurvermessung usw.) wird, ungeachtet der technischen Neuerungen, nach wie vor vom Vermessungsfachmann erbracht.

TLS steht für weit mehr: aufgrund des Paradigmenwechsels »vom repräsentativen Einzelpunkt zur genauen und detailreichen Punktwolke« *ergänzt* dieses Verfahren unsere Messwerkzeuge und *erweitert* das Spektrum an Anwendungen bzw. Dienstleistungen drastisch (siehe Tab. 1).

Um hier erfolgreich zu sein, ist es zunächst selbstverständlich, dass wir die Aufnahme- und Auswertetechnik beherrschen bzw. beherrschen lernen. Das allein jedoch genügt nicht. Ebenso wichtig ist die pro-aktive Auseinandersetzung mit dem neuen Geschäftsfeld. Gelingt es uns, basierend auf Ingenieurskunst und Kreativität, sinnvolle Lösungen mit konkretem Nutzen für den Kunden zu generieren, wird auch das Laserscanning in der Vermessungswelt ein oft genutztes Werkzeug werden. Vernachlässigen wir jedoch die Marktbearbeitung und verhalten uns eher reaktiv, überlassen wir das Feld den Nachbardisziplinen, denn bereits heute bieten Bauingenieure, Architekten und Informatiker Vermessungsdienstleistungen mit Laserscanning als Datenerfassungs-Methode an.

* Überarbeitete Fassung des gleichnamigen Vortrags beim 72. DVW-Seminar »Terrestrisches Laser-Scanning (TLS 2006)« am 9. und 10. November 2006 in Fulda. Die Beiträge zum Seminar sind als Band 51 in der Schriftenreihe des DVW erschienen und können beim WiBner-Verlag bestellt werden. Weitere Informationen siehe Rückseite innen in dieser zfv.

Tab. 1: Tabellarischer Vergleich zwischen herkömmlicher Messtechnik und TLS

Kriterium	herkömmliche Messtechnik	Terrestrisches Laserscanning (TLS)
Denk- und Arbeitsweise	- Punktorientiert - Punkte sind repräsentativ	- Elementorientiert - Punkte sind nicht repräsentativ
Messergebnis	Längen, Strecken, Höhen »Georeferenzierte Geometrie«	3D-Koordinaten + Remissionswert »Georeferenzierte Geometrie + Materialeigenschaft«
Endergebnis	Koordinaten (2D oder 3D) Flächen Volumina Höhenschichtplan	- Punktwolken - Schnitte - DGM, Regelkörper - Abstandskontrollen u. v. m.
Anwendungen	bekannt	Wie bisher + ... xxx?
Auftraggeber	bekannt	Wie bisher + ... xxx?
Pot. Leistungserbringer	Vermessungsfachmann	Vermessungsfachmann + ... xxx?

3 Merkmale des heutigen Laserscannings

Das Hauptziel beim terrestrischen Laserscanning ist die geometrische Beschreibung des dreidimensionalen Objektraumes. Im Standardfall (Abb. 1) werden eine oder mehrere 3D-Punktwolken erzeugt, welche durch unterschiedliche Methoden verknüpft und georeferenziert werden. Der Scanner wird während der Aufnahme nicht bewegt. Bei den anderen Aufnahmemethoden werden 2D-Profile entweder ruhend (Stop & Go) oder bewegt (kinematisch) gemessen. Zur Verknüpfung der Profile sind

zusätzliche Messsysteme (z.B. INS, GNSS oder Tachymetrie) erforderlich. Anwendungen finden sich insbesondere zur Erfassung von Tunnel- oder Straßenräumen (z.B. Gräfe et al. 2005)

Mit einem schnellen Scanner können auch Bewegungsanalysen großer Bauwerke ausgeführt werden. Hesse et al. (2005) tasteten hierzu mit einem Imager 5003 (Z+F) den Pylon einer Windenergieanlage im Profilmessmodus mit einer Messfrequenz von 12,4Hz ab. Daraus wurden Deformationen und zugehörige Eigenfrequenzen des Pylons abgeleitet.

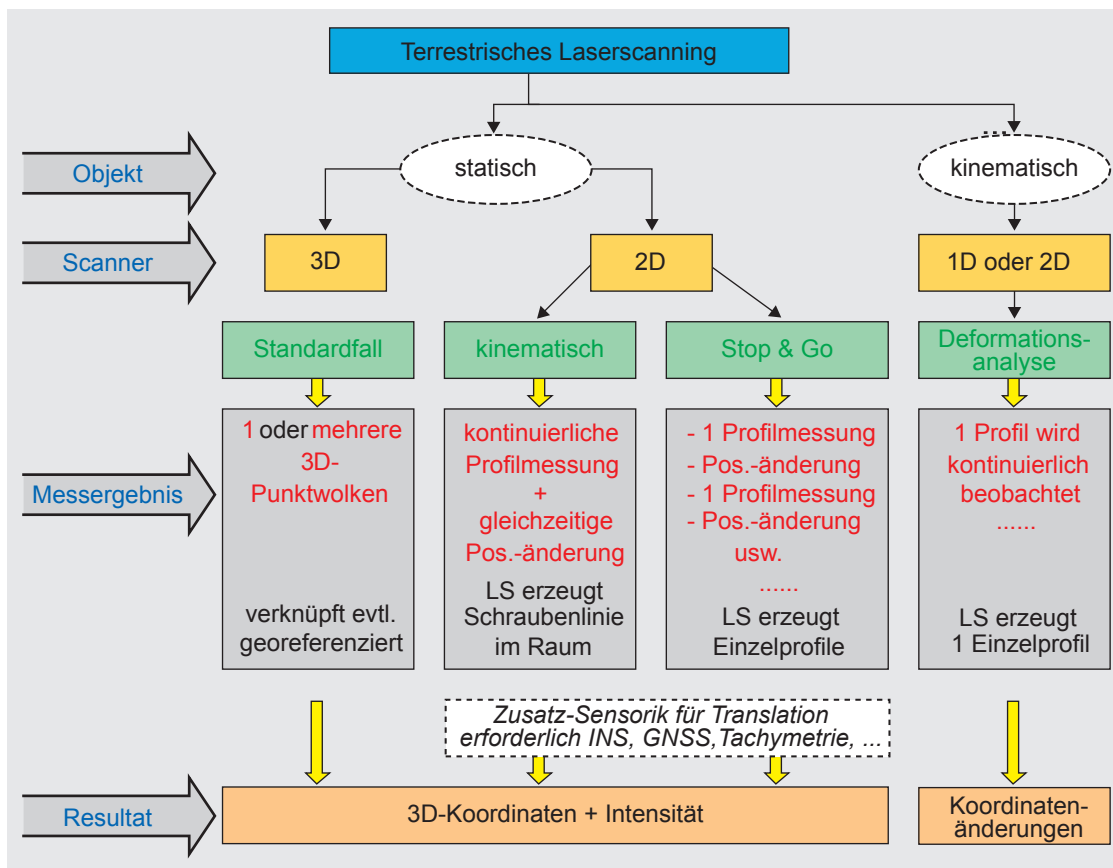


Abb. 1: Klassifizierung der Messstrategien beim TLS

Großräumige und flächenhafte Deformationen, die z. B. durch verschiedene Lastzustände entstehen, können – durch Wiederholungen des Standardfalls – ebenfalls mit Laserscanning nachgewiesen werden. Richtungsweisend ist das Beispiel der präzisen Erfassung der dynamischen Lastverformung der gigantischen Schleusentore des Donaukraftwerkes Gabčíkovo, welches in einer vom DAAD geförderten Kooperation der STU Bratislava mit der TUM als Pionierarbeit erfolgreich bewerkstelligt worden ist (Schäfer et al. 2004).

4 Aktuelle Entwicklungen

Die Bearbeitung eines Projektes gliedert sich in die Phasen Datenerfassung, Datenaufbereitung und Datenanalyse. Dazu gehört im Vorfeld eine sorgfältige Planung, denn nicht jeder Scanner und nicht jede Auswertesoftware führen zum gewünschten Erfolg. Deshalb ist es sinnvoll, die einzelnen Phasen gesondert zu betrachten.

4.1 Sensortechnik

Beschränken wir uns auf Scanner, die nach dem Polarmessprinzip arbeiten, ist weiterhin das wichtigste Unterscheidungsmerkmal die Streckenmessmethode: Instrumente, welche das *Phasenmessverfahren* zur Streckenmessung nutzen, ermöglichen zwar sehr hohe Messraten von bis zu 500 kHz, jedoch nur geringe Reichweiten (20 bis 80 m). Bei der Nutzung des *Impulsmessverfahrens* ist es genau umgekehrt: große Reichweiten von bis zu 2000 m sind an geringe Messfrequenzen (ca. 12 kHz) gekoppelt (Staiger 2005).

Die wesentlichen Eignungskriterien für eine konkrete Messaufgabe sind: die Punktdichte (Abstand zweier benachbarter Punkte), die Reichweite, die Genauigkeit und die Messrate (Punkte / Zeit) sowie die Größe des Messfeldes (Panorama- oder Kamerascanner).

Drei neue Instrumente wurden in den letzten zwölf Monaten vorgestellt:

- Die Leica SCANSTATION ist eine Weiterentwicklung des HDS 3000. Neben einer Erhöhung der Reichweite (von 200 auf 300 m) und einer Verdopplung der Messrate (jetzt 4 kHz) wurde besonderer Wert auf die Integration von Funktionalitäten eines Tachymeters gelegt: Der Scanner kann zentriert und mittels Zweiachskompensator horizontalisiert werden. Von Nachteil ist die Gewichtserhöhung um ca. 3 kg.
- Mit dem CPW 8000 stellt Callidus einen Scanner vor, der nach Herstellerangaben erstmals eine patentierte Kombination aus Pulslaufzeit- und Phasenmessung nutzt. Bis zu einer Reichweite von 80 m kann mit 50 kHz gescannt werden.

- Der phasenmessende IMAGER 5006 (Zoller und Fröhlich) bietet gegenüber seinem Vorgängermodell folgende Vorteile: eine höhere Reichweite (80 m), gepaart mit einer höheren Punktdichte und verbesserten Winkel- und Streckenmessgenauigkeiten. Im Instrument sind, neben einem zweiachsigen Neigungssensor, die Stromversorgung (Akku) und ein PC mit Festplatte untergebracht. Damit ist eine Datenerfassung ohne externe Geräte bzw. Verkabelung möglich.

Die Scanner der 1. Generation erfassen Punkte in einem nicht-orientierten, lokalen Koordinatensystem. Die heutigen Scanner werden vermehrt mit den Funktionen eines Tachymeters (Zentrierung, horizontale und vertikale Orientierung) ausgestattet. Die Hersteller verfolgen aus Sicht der Autoren damit zwei Ziele:

- Der Scanner (als Instrument) soll »harmonischer« in einen generellen Vermessungsablauf eingebunden werden und
- eine Georeferenzierung der Laserscans soll ohne zusätzliches Tachymeter möglich sein.

Das System I-SITE 4400 (Maptek) verfügt mit seinem integrierten Fernrohr (zur horizontalen Ausrichtung), dem zweiachsigen Neigungssensor (vertikale Orientierung) und der Zwangszentrierung (auch für GPS-Antenne) als erster Scanner über eine komplette Tachymeterfunktionalität.

Die Streckenmessung von reflektorlos messenden Tachymetern war noch vor kurzem signifikant genauer als die Streckenmessung der Laserscanner. Dieser Unterschied ist kleiner geworden und für manche Scanner schon nicht mehr vorhanden.

Damit fehlt dem Instrumententyp »Laserscanner« nur noch die Funktionalität der Punktabsteckung, um ein Tachymeter vollwertig ersetzen zu können.

4.2 Auswertetechnik

Die Software-Lösungen der 1. Generation versuchen auf Basis der sog. As-Built-Dokumentation ein möglichst breites Spektrum an Anwendungen abzudecken. Mit Hilfe von Regelgeometrien (Ebene, Zylinder, Kegel usw.) können z. B. Rohrleitungssysteme aus dem Anlagenbau modelliert werden. Anschließend werden die geometrischen Elemente in ein CAD-System importiert. Die Modellierung ist aufwändig und in vielen Fällen weichen die Objekte aufgrund von Beschädigung, Abnutzung etc. signifikant von der mathematischen Sollform ab.

Aus Sicht der Autoren sind bei den aktuellen Softwarelösungen zur Auswertung von Punktwolken drei Tendenzen zu verzeichnen:

- Die Modellierung durch Regelgeometrien wird ergänzt oder ersetzt durch leistungsfähige Software zur Drei-

ecksvermaschung. Damit lassen sich schnell auch unregelmäßige und komplexe Strukturen beschreiben.

- Große Punktwolken können heute direkt in ein CAD-System geladen werden, wo dann – im Gegensatz zur Modellierung – 2D- und 3D-Geometrien visuell und teilautomatisiert *konstruiert* werden.
- Es wird vermehrt branchenspezifische Auswertesoftware angeboten: Der Anwender findet u. a. Produkte für die Sparten Anlagenbau, Architektur, Denkmalpflege, gerichtliche Spurensicherung (Forensik) bzw. Tunnel- und Bergbau.

5 Anwendungen

Die ersten diskreten Linien eines heute sehr breiten, sich ständig verdichtenden Spektrums von Anwendungen wurden im Zuge der Entwicklung des terrestrischen Laserscannings faktisch gezielt generiert. Die neuen Instrumente stellten ja nicht eine nächste Generation bestehender geodätischer Messgeräte dar, sondern wurden zur wirtschaftlichen Bewältigung ganz bestimmter, stark nachgefragter Aufgaben entwickelt. Solche waren vor allem die Erfassung von komplexen Rohrleitungssystemen, die Kreation virtueller Szenarien für Filme und das verkehrstolerante, ungefährdete Erfassen von Schnellstraßenschäden. Aus der Sicht der Vermessung gehören alle drei Aufgaben zur Aufnahme; seitdem die Methode Einzug in das Arsenal der geodätischen Verfahren gehalten hat, sind auch die Möglichkeiten im Bereich der Überwachung entdeckt und positiv erprobt worden. Nur die dritte klassische Komponente, die Absteckung, ist bis dato weder von den Instrumenten noch von realistischen Anwendungsideen her besetzt worden.

Während wir aufgrund der bildgebenden Messverfahren der Photogrammetrie und CAD-gestützter Auswertungen tachymetrischer Aufnahmen oder Profilmessungen den Übergang von punktwiser Betrachtung zur Nutzung von Linien- und Flächenelementen längst bewältigt haben, denken wir bei der Absteckung in Punkten oder Punktfolgen. Es wird keinen Sinn machen, Scannern das Korsett der Einstellung diskreter Richtungen aufzuzwingen. Zukunft haben eher Konzepte, welche den bewegten Laserstrahl als repetierenden Zeiger zur optischen Markierung von Umrissen betrachten. Die Autoren sehen natürlich die Voraussetzungen: Der Laserstrahl muss aufgefangen werden und seine Zeichnung muss dabei deutlich sichtbar sein. Damit ergibt sich eine Einschränkung auf Böden, Wände und Decken von Innenräumen. Eine Arbeitshypothese könnte es sein, ein Ziel zu erreichen, welches sich die operative Geodäsie schon seit längerem gesteckt hat, nämlich Planinhalte, insbesondere spezielle Leitungsverläufe, in bestehenden Baulichkeiten, für verschiedenste Zwecke ohne großen Vermessungsaufwand anzureißen. Dazu laufen seit Jahren Forschungsprojekte, die eine Realisierung mittels sensorbestückter Brillen und

virtueller Realität anstreben. Die Berichte über die extreme Komplexität der Umsetzung ermutigen, per terrestrischem Laserscanning eine günstigere Alternative zu finden. Im nächsten, auf Anschaulichkeit verzichtenden Schritt wird man versuchen, durch schnelle, aufgabenorientierte Verarbeitung von Scans die laufende Position und Raumlage von Objekten, z. B. Fertigteilen, zu bestimmen und nur notwendige Montagebewegungen rückzukoppeln. Das ist selbstredend Zukunftsmusik, welche wir jedoch schnellstens zu spielen üben sollten, um den Ton anzugeben!

Zur Stunde verfügen wir nur über vielfältige Anwendungen in den Bereichen Aufnahme und Überwachung. Den aktuellen Schemata von Wunderlich (2006) folgend, lassen sich folgende Einteilungen treffen. Das erste

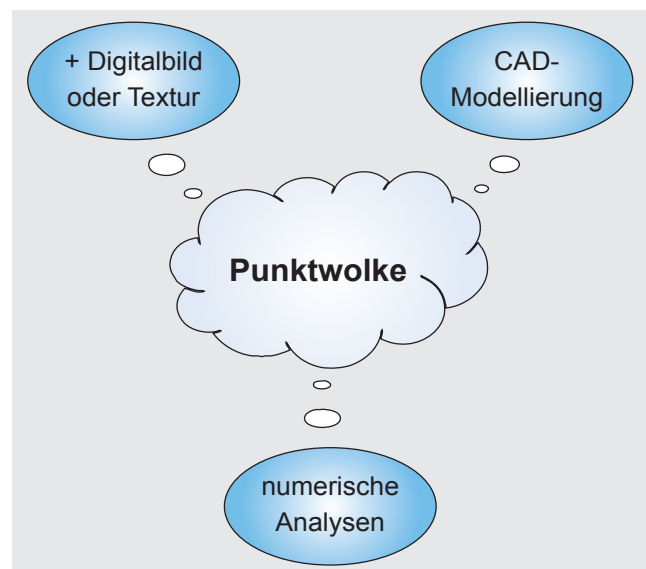


Abb. 2: Rohprodukt und Veredelung beim Laserscanning

Schema stellt das vom Kunden gewünschte Produkt in den Mittelpunkt. Im einfachsten Fall handelt es sich dabei um die räumliche Punktwolke selbst; natürlich nach vorhergehender Wegfilterung von Störelementen (vereinzelte Fehlmessungen, unerwünschte Fremdobjekte) und allfälliger Fusionierung mehrerer Teilwolken zu einer gemeinsamen. Anspruchsvollere Produkte werden durch Weiterverarbeitung der Gesamtpunktwolke geschaffen. Zum einen kann dies durch Bekleben mit Texturen oder durch Kombination mit digitalen Bildern einer internen oder externen Kamera erfolgen. Je exakter das nach den Gesetzen der Photogrammetrie geschieht, umso realitätsnäher stellt sich das Ergebnis ein. Zum anderen kann eine sukzessive Konvertierung in ein CAD-Modell vorgenommen werden. Dazu müssen entsprechende Teilbereiche der Punktwolke mittels bestangepasster Flächen approximiert werden. Dies können analytische Flächen oder anspruchsvolle Freiformflächen sein. Während für bestimmte Strukturen, wie z. B. Rohrleitungsstränge, bereits effiziente, automatisch arbeitende Algorithmen bestehen, ist sonst noch mit hohem Aufwand manuell einzugreifen – entweder im Auswerteprogramm selbst oder nach

speziellen Importroutinen im CAD. Daher gilt die CAD-Modellierung als teuerste, wiewohl für manche Anwendungen unentbehrliche Form der Veredelung des Rohproduktes Punktwolke. Schließlich ist auch der Fall zu betrachten, dass weder Punktwolke noch Modell das Endprodukt darstellen, sondern erst der Vergleich mit einer übergeordneten Soll-Geometrie des CAD oder den Ergebnissen einer Folgeperiode des Scannens den eigentlichen Wert für den Kunden schafft. Allgemein kann man von Mehrwertgenerierung durch Scananalysen sprechen. Abb. 2 gibt das Schema von Rohprodukt und Möglichkeiten der Veredelung einprägsam wieder.

Im Weiteren sollen typische Beispiele für die Nutzung der vorgenannten Produkte gegeben werden. Die Punktwolke selbst kann zur wirtschaftlichen Planerstellung mittels Grundriss, Aufriss und beliebigen Profilen herangezogen werden. Mit Hilfe einer Dreiecksvermaschung können schnell Volumina berechnet werden. Nicht selten wünschen Auftraggeber jedoch einfach nur die Aufnahme und Archivierung von Scans, um erst im Bedarfsfall (z.B. bei nötiger Restaurierung) oder, wenn durch höhere Automatisierung die Modellierung billiger geworden ist, die eigentlich interessierenden Produkte zu bestellen. An dieser Stelle ist wohl am besten einsichtig, dass die enormen Datenmengen zukunftsicher auf extrem haltbaren Datenträgern mit weitem technologischem Horizont gespeichert werden müssen, was derzeit noch nicht genügend Beachtung findet.

Triangulierte Punktwolken können ebenso zur Generierung digitaler Geländemodelle wie zur Verknüpfung mit künstlichen Texturen oder natürlichen Bildinformationen genutzt werden. Letzteres ist besonders beliebt bei der Kreation virtueller Welten, sei es für Stadtmodelle, Immobilienmanagement, touristische Werbeanimationen, Filmkulissen oder Dokumentation des Kulturerbes. Die Heranziehung für Zwecke der Untersuchung und messtechnischer Beweisführung nimmt in letzter Zeit in den Gebieten der Unfallforschung und der kriminalistischen Forensik stark zu. Besondere Algorithmen sind auch notwendig, wo z.B. Aufnahmen von Naturobjekten, wie Bäumen, detailliert ausgewertet werden sollen.

Aus Punktwolken abgeleitete CAD-Modelle sind von grundlegender Bedeutung für Bestandspläne von baulichen oder maschinellen Anlagen (as-built geometry) zu Zwecken der Kontrolle oder Umplanung, auch zur Gewinnung von FE-Modellen, statischen Berechnungen und Simulationen. Besonderes Interesse herrscht in der Industrie an der Erfassung komplexer Produktionsanlagen während oder bei minimaler Unterbrechung der Produktion und an der Nutzung zur Offline-Programmierung von Industrierobotern (optimale Wirkungsräume).

Hier ergibt sich auch ein günstiger Anknüpfungspunkt zum Bereich der Analyse auf Basis von rohen Punktwolken oder abgeleiteten Modellen; z.B. zur Aufdeckung

von Abweichungen von der Planung oder zur virtuellen Aufspürung von Kollisionen während simulierter Bewegungsabläufe. Langsame Bewegungen im Sinne von Deformationen können gut durch Differenzbildung von Scans unterschiedlicher Aufnahmezeitpunkte erfasst werden, wenn sie vom Ausmaß her mit der Messgenauigkeit des Instrumentes signifikant aufdeckbar sind. Dabei kommen manchmal bestangepasste Flächen oder Rasterinterpolationen zum Einsatz.

Das zweite Schema kann in zweifacher Weise zur Findung einer Einteilung beitragen. Zunächst können der Interessensraum und die Instrumentenauslegung gestaffelt werden nach Nahbereich (mehrere Zehnermeter, meist schnelle Phasenvergleichsverfahren), mittlerem Bereich (wenige Hundertermeter, Impulslaufzeitverfahren) und Fernbereich (mehr als ein Kilometer, Scanner manchmal eher Tachymetercharakter). Während für die ersten beiden Gruppen Innen- und Außenaufnahmen üblich sind, kommen für die letzte Gruppe praktisch nur Aufgaben im Außenraum in Betracht; typisch sind Überwachungen von Schneehöhen zur Lawinenvorwarnung und von Geländebewegungen bei überraschender Rutschungsgefahr. Man könnte von der mehrfachen Bestimmung der Außenhaut sprechen und diesen Grenzfall jenem im Nahbereich gegenüberstellen, bei dem nur die Innenhaut, meist auch mehrfach (z.B. Rohausbruch, Spritzbetonsicherung, Innenschale) vermessen wird. Die einschlägige Anwendung ist hier bereits hoch entwickelt und betrifft Profil- und Lichtraumkontrollen im Tunnelbau, oft gekoppelt mit digitaler Bildinformation. Zwischen den beiden oberflächenbezogenen Grenzfällen liegt das breite Feld der Erfassung und Darstellung komplexer 3D-Strukturen, in deren Fokus meist die Modellierung mit geometrischen Körpern (solids) steht.

Die körperbegrenzenden Flächen werden, wo möglich, mit Flächen 1., 2. und höherer Ordnung (Ebenen, Quadriken wie Zylinder und Kugeln sowie Torusse als Beispiel der 4. Ordnung) modelliert oder sonst mit NURBS-Flächen (non uniform rational B-splines) approximiert.

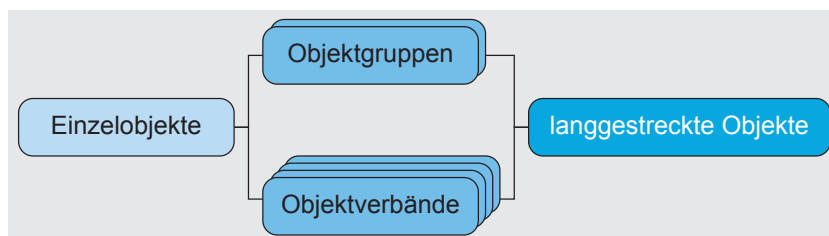


Abb. 3: Objekttypen beim Laser Scanning

Der alternative räumliche Zugang erfolgt direkt über Form und Größe des zu scannenden Objektes. Wie Abb. 3 verdeutlicht, können wir drei Typen unterscheiden. Die erste betrifft Einzelobjekte, die zweite Objektgruppen (im Sinne einer Menge benachbarter Einzelobjekte) und Objektverbände (im Sinne zusammengehöriger, miteinander verbundener Einzelobjekte) und die dritte sehr langgestreckte Objekte, welche in räumlich abgeschlossenen

oder vereinbarten Korridoren verlaufen. Insbesondere der letztgenannte Typus gibt aus Gründen der Zeitersparnis und Wirtschaftlichkeitssteigerung Anlass zum Übergang vom statischen zum kinematischen Scannen in Helixform, bei dem die laufende Position und Raumlage des Scanners durch geeignete Zusatzsensoren bestimmt wird. Notwendig sind exakte Zeitmarken der Scandaten und der direkte Zugriff auf diese durch entsprechende Adressierung.

Einzelobjekte sind durch eine geringe Zahl von Scans zu erfassen, im Minimum sogar mit einer einzigen Aufnahme. Man denke dabei an historische oder zeitgenössische Kunstwerke, Innenräume oder Fassaden. Das hervorragendste Beispiel für Objektgruppen stellen 3D-Stadtmodelle dar, zu deren Aufnahme terrestrisches Laserscanning mit flugzeuggetragenem kombiniert wird. Als Objektverbände sollen – im Gegensatz zu den Objektgruppen – Gesamtaufnahmen kompletter Bauwerke (bzw. Bauwerksbereiche) oder maschineller Anlagen verstanden sein. Die Korridore schließlich können alle Arten von Transportwegen (Leitungen, Straßen und Gleise, Tunnels, Schächte) sowie Küstenbereiche betreffen.

6 Ausblick

Instrumentelle und methodische Fortschritte machen die Technologie des Terrestrischen Laserscannings immer attraktiver für unseren Berufsstand. Die Vielfalt der möglichen Anwendungen sollte ermutigen, neue Felder zu besetzen. Ähnlich wie bei der Einführung der satellitengestützten Vermessungstechnik trifft man jedoch häufig auf Abwartehaltung und Bedenken bezüglich der Rentabilität. Die Autoren sind überzeugt, dass der Einstieg lohnt und nicht verpasst werden darf. Andere Disziplinen, wie z.B. Architektur, Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften, nutzen Laserscanning bereits intensiv. Wir müssen sorgsam darauf bedacht sein, als Messexperten tonangebend zu bleiben und überzeugende Lösungen von uns aus anzubieten.

Literatur

- Gräfe, G., Lang, M., Banemann, S.: Vermessung von Referenzstrecken für Simulation und Fahrversuch mit dem Mobilien-Straßen-Erfassungssystem (MoSES). In: VDI-Tagung: Erprobung und Simulation in der Fahrzeugentwicklung; Band 1900 VDI-Berichte; S. 311–326; Würzburg; VDI Verlag, Düsseldorf, 2005.
- Hesse, C., Neuner, H., Kutterer, H.: Statistical Analysis of Kinematic Laser Scans. In 7th Conference on Optical 3-D Measurement Techniques, Wien, 2005.
- Schäfer, Th., Weber, Th., Kyrinovic, P., Zamecnikova, M.: Deformation Measurement Using Terrestrial Laser Scanning at the Hydropower Station of Gabčíkovo. Proc. INGE004, Bratislava, 2004.
- Staiger, R.: The Geometrical Quality of Terrestrial Laser Scanner. FIG working week, 16.–21. April, Cairo, 2005.
- Staiger, R.: Terrestrisches Laserscanning – eine neue Universalmessmethode? S. 3–15. In: Terrestrisches Laserscanning (TLS) – ein geodätisches Messverfahren mit Zukunft. Band 48, Schriftenreihe des DVW, 2005.
- Wunderlich, Th.: Der Anwendungsreichtum des terrestrischen Laserscannings. Flächenmanagement und Bodenordnung, 68. Jg., Heft 4, S. 170–174, 2006.

Anschrift der Autoren

Rudolf Staiger
 FH Bochum
 Lennerhofstraße 140
 44801 Bochum
 rudolf.staiger@fh-bochum.de

Thomas Wunderlich
 Lehrstuhl für Geodäsie
 Technische Universität München
 Arcisstraße 21
 80290 München
 geodaesie@bv.tum.de