

Nahe Verwandte des Laserscanners: Intelligente Totalstation und 3D-Kamera

Michael Scherer
Ruhr-Universität Bochum Arbeitsgruppe Geodäsie
Universitätsstrasse 150; IA 4/49
44780 Bochum
michael.scherer@rub.de

Intelligente Totalstation und 3D-Kamera bieten mehr Einsatz- und Variationsmöglichkeiten als hier aufgezeigt. Vieles – bei der 3D-Kamera sicherlich das meiste - ist nicht erforscht, kaum erprobt und bedarf bis zum alltäglichen Gebrauch eines Reifungsprozesses. Bevor das Potential von intelligenter Totalstation und 3D-Kamera beleuchtet wird, werden die Grundprinzipien der Messmethoden zusammengefasst sowie wesentliche Charakteristika des Instrumentariums herausgestellt, um die Verwandtschaftsbeziehungen einheitlich darstellen zu können.

1 Grundprinzipien

1. Die geodätischen Messverfahren beruhen i.a. auf Winkel- und Streckenmessung. Soll die Position von Punkten des dreidimensionalen Raumes beschrieben werden, so wird für jede der drei Dimensionen ein solches Messelement benötigt. Man hat also drei Strecken oder drei Winkel oder die Kombination zwei Winkel / eine Strecke bzw. - seltener - zwei Strecken / ein Winkel.
2. Messtechnisch ist von besonderer Bedeutung, ob das Instrument auf dem unbekanntem Neupunkt, oder auf einem bekannten Punkt positioniert ist. Früher hieß es: Der Neupunkt ist begehbar oder nicht begehbar. Man hatte z. B. einen Rückwärtsschnitt oder einen Vorwärtsschnitt zu messen. Ein Beispiel für ein Messgerät auf dem unbekanntem Neupunkt und Messung von drei Strecken ist die aktuelle GNSS-Positionierung mit dem Satellitenempfänger. Eine Positionierung über Winkel findet bei der äußeren Orientierung in der Photogrammetrie statt, wo der Kamerastandpunkt anhand von drei bekannten Punkten, die im Bild identifiziert werden, nach dem klassischen Rückwärtsschnitt bestimmt wird.
3. Bei der Objektaufnahme kann das Messgerät i. d. R. nicht auf dem zu koordinierenden Punkt positioniert werden, „Der Neupunkt ist nicht begehbar.“. Es ist auf einem Hilfspunkt zu stationieren, der quasi vorab bestimmt wird. Die Neupunktbestimmung erfolgt dann erst im zweiten

Schritt. Die Vorgehensweise bei der Objektvermessung ist also im Prinzip zweistufig. Die erste Stufe heißt z.B. Freie Stationierung in der Tachymetrie, äußere Orientierung in der Photogrammetrie, beim Laserscannen freie Stationierung oder Standpunktbestimmung durch Verknüpfung über identische Flächen oder Punktwolken.

4. Während die Kombination der Elemente „drei Strecken“ oder „drei Winkel“ abhängig von der geometrischen Anordnung unterschiedliche Koordinatengenauigkeit aufweist, ist die Genauigkeit des Zielpunktes bei der Kombination „zwei Winkel, eine Strecke“ praktisch unabhängig von der geometrischen Konfiguration. Diese hervorragende Eigenschaft des Polarmessverfahrens hat offensichtlich dazu geführt, dass dieses sich, sobald die technischen Möglichkeiten bestanden, dauerhaft durchsetzen konnte, sei es in Form der Totalstation, des Laserscanners als einer konsequenten Weiterentwicklung, dem Lasertracker oder zahlreichen Varianten der Geräte.
5. Eine Konkurrenz für die Polarmessung entstand erst mit den Satellitenmessmethoden, weil dort der Empfänger im Neupunkt sofort das Messergebnis liefert. Dennoch können sich beide Verfahren vorzüglich ergänzen (z.B. Leica SmartStation): Stufe 1, die Bestimmung des Standpunktes quasi als Hilfspunkt, übernimmt der Satellitenempfänger; für Stufe 2, die Bestimmung der eigentlich interessierenden Objektpunkte, ist die Totalstation prädestiniert. Das Charakteristikum der Kombination unterschiedlicher Methoden in der zweistufigen Punktbestimmung ist nicht auf obiges Beispiel beschränkt.
6. Zur *Aufnahme* einer Situation eignen sich alle Messmethoden, aber nicht alle eignen sich zur *Absteckung*.

In der Tabelle 1 wurden einige Messmethoden bzw. –geräte und vorstehend dargestellte Eigenschaften einander zugeordnet.

Tab. 1: Charakteristika geodätischer Messmethoden

| Arbeits-schritte | Stufe 1 | | | Stufe 2 |
|-------------------------------|-----------------------|--|----------------------------|---|
| | Festpunkt / Netzpunkt | | | Objekt- / Projekt-punkt (Standpunkt „unzugänglich“) |
| Elemente | Genau-igkeit | Gerät / Verfahren | Gerät im Neu- / Hilfspunkt | Gerät / Verfahren |
| drei Strecken | inhomo-gen | GNSS (Bogensschlag) | wahlweise HP oder NP | - |
| drei Winkel | inhomo-gen | Äußere Orien-tierung in der Photogrammetrie (Rückwärtsschnitt) | HP | Photogrammetrie, Theodolit (Vorwärtsschnitt) |
| Winkel / Strecke | homo-gen | Totalstation / La-serscanner (Freie Stationierung) | HP | Totalstation / Laserscanner (Polarmessung) |
| Winkel / Strecke / Intensität | homo-gen | 3D-Kamera (freie Stationierung + Trajektorie(s.u.)) | wahlweise HP oder NP | 3D-Kamera (Polarmessung) |

2 Sensoren

Als Sensoren bezeichnet man heute nicht nur Funktionsbaugruppen, die die Bauelemente von Messinstrumenten bilden, sondern die eigenständigen Messgeräte selbst. Die hier relevanten Sensoren Totalstation, Laserscanner und 3D-Kamera werden im Folgenden kurz charakterisiert.

Erstes elektronisches Tachymeter war 1968 das Instrument Zeiss RecElta 14; die Totalstation Hewlett Packard 38A von 1977, zeitlos modern anmutend, läutete den breiten Durchbruch der polaren Messmethode ein: kompakt, voll automatisch messend, mit Datenregistrierung und ersten Rechenmöglichkeiten. Weitere Wünsche, die Automation voranzubringen, mündeten in Geräten, die den Reflektor zunächst automatisch fein einstellen, später dann selbständig finden konnten und schließlich solche, die gänzlich ohne Reflektor arbeiten. Damit löste die schnellere und komfortablere direkte dreidimensionale Objekterfassung homogener Genauigkeit den – insbesondere photogrammetrischen - Vorwärtsschnitt ab; der Lasertracker verdrängte das nach dem Vorwärtsschnitt arbeitende Industriemesssystem, denn die Genauigkeit ist hier inhomogen, abhängig von den Richtungsschnitten; die photogrammetrische Methode benötigt zudem Messbilder mit genügender Überdeckung. Die

Gewichte haben sich also vollständig zu Gunsten der polaren Messmethode verschoben.

Parallel zu den auf den Zielpunkt fixierten elektronischen Tachymetern entwickelten sich in den 90er Jahren die Laserscanner als polare Messinstrumente ohne Punktbindung: Ein dichtes, rasch gemessenes, quasi äquiangulares Punktnetz zufälliger Ausrichtung überzieht das Objekt. Zur Visualisierung kam das Bild hinzu; es fungiert nicht als Messbild, sondern dient der Dokumentation und gibt die photorealistische Textur. Entweder ist eine Kamera mit dem Laserscanner direkt verknüpft, so dass die äußere Orientierung entfällt und das Punktgerüst, die triangulierte Punktwolke direkt mit der Phototextur überzogen wird, oder man nutzt die hohe Flexibilität einer frei beweglichen Kamera (günstigere Standortwahl, Einsicht in Abschattungen für den Laserscanner, schnelle Aufnahmefolge mit Garantie für homogenere Lichtverhältnisse). - Gemeinsam ist Laserscanning und Photogrammetrie, dass aus dem dichten Pixelmuster die geometriebeschreibenden Punkte im Nachhinein extrahiert werden. In der Tachymetrie geschieht die Auswahl bei der Aufnahme vor Ort.

Zentrale Eigenschaften von Tachymeter, Laserscanner und Digitalkamera kombiniert die 3D-Kamera. In der einschlägigen Literatur firmiert sie auch unter den Bezeichnungen PMD-Kamera, TOF (Time of flight)-camera, Range Imaging (RIM). Die Erfindung von Prof. Schwarte (1996, Siegen) arbeitet nach dem PMD-Effekt (Photo-Misch-Detektor) mit amplitudenmoduliertem Licht ähnlich wie der bekannte Phasendistanzmesser: Das vom Objekt reflektierte, hochfrequent modulierte Licht gelangt über die Kameraoptik auf den Empfängerchip in der Bildebene. Die Pixel des Empfängerarrays erhalten Signale unterschiedlicher Phasenverschiebung, abhängig von der jeweiligen Objektentfernung. Das Lichtsignal wird im Detektor über zwei mit Gegentakt-Modulationsspannung betriebene Photogates je nach Phasenlage mehr oder weniger verstärkt. Die Ladungsdifferenz bzw. die Differenzspannung entspricht der Entfernung, die Summenspannung der Intensität. Jedes Pixel des Chiparrays liefert also erstens die individuelle Strecke zum entsprechenden Objektpunkt, zweitens einen von der Objektreflektivität abhängigen Grauwert und drittens aufgrund der Position im Array eine Information über die angulare Lagebeziehung im Strahlenbündel. 3D-Bilder (3 Dimensionen und Helligkeitsinformation) können mit hoher Frequenz aufgenommen werden. - Die 3D-Kamera steht bezüglich der technischen Entwicklung an der Schwelle zur Praxisanwendung in unterschiedlichen Bereichen.

Der Erfolg des Laserscanners beruht auf der schnellen Erfassung einer großen Anzahl von Objektpunkten mit entsprechender Genauigkeit und hohem Automationspotenzial. Nachteilig sind die relativ hohen Gerätekosten, die Unhandlichkeit im Vergleich zu Tachymeter oder Kamera und der vergleichsweise hohe Aufwand für die Nachbereitung. Vielfach gilt auch als

Nachteil, dass man mit dem Laserscanner bisheriger Art Einzelpunkte nicht direkt erfasst. - Demgegenüber ist die Tachymetrie von Haus aus punktorientiert. Die objektbeschreibenden Punkte werden vor Ort ausgesucht, manuell-visuell eingestellt, dann wird die Messung ausgelöst – oft ein wenig ökonomischer Prozess. Die Nachteile beider Methoden, nämlich Aufwand und apparative Schwerfälligkeit des Laserscannens bzw. Langsamkeit manueller Tachymetrie bei der Erfassung weniger Punkte, kann die intelligente Tachymetrie zumindest teilweise kompensieren.

3 Intelligente Tachymetrie – Intelligentes Scannen

Eine moderne Totalstation verfügt über Servomotoren und reflektorlose Distanzmessung, zwei Voraussetzungen für die rechnergesteuerte Zielausrichtung und die Auslösung der Messung über den Steuercomputer. Reaktionen des Instruments auf das Objekt werden so möglich und damit der Aufbau automatisierter Messungsabläufe und die Implementierung von Rückkopplungsmechanismen. Diese „Autonomie“ des Gerätes soll der Begriff „Intelligente Tachymetrie“ verdeutlichen. Der Terminus „Intelligentes Scannen“ betont den Unterschied zum Laserscannen, bei dem ja direkt kein Bezug zum Objekt und keine Rückkopplung bestehen. Mit dem Prototyp des intelligenten Tachymeters wurde seit 1995 experimentiert (Scherer 2002). Beispiele für typische Interaktionen der intelligenten Totalstation sind:

- Präzisionsscannen von Profilen: Intelligentes Scannen statt Laserscannen liefert eine höhere Profilvergenauigkeit, eine genauere Lage der Punkte auf dem gewünschten Profil sowie gleiche Punktabstände in Bezug auf die Objektoberfläche. Anwendungsbereiche sind Bauforschung, Denkmalpflege und Architekturdokumentation. Der Standpunkt der Totalstation bezüglich des Profils ist beliebig. Die Funktionsweise: Vorgabe der Profillage, des Abstandes der Profilpunkte auf der Objektoberfläche und der Profildicke, d.h. der maximal erlaubten Abweichung von der vorgegebenen Profilebene (z.B. 3mm). Der rechnergesteuerte Ablauf umfasst: Prädiktion der Punktlage – Ausrichtung des Gerätes - Kontrollmessung – Berechnung der Ablage – evtl. Korrektur – usw. (vgl. Abb. 1a).
- *Absteckung* von Profilen: z.B. Meterriss oder Profile für Befestigung von Applikationen an Bauten
- Absteckung von Einzelpunkten unabhängig von der Geräteposition (Abb. 1b)
- Flächenhaftes Scannen durch automatisches Abtasten eines Punktrasters innerhalb eines zuvor gegebenen Umgrenzungspolygons beliebiger Form mit dem Zwischenergebnis Punktwolke analog zum Laserscannen: i. a. zum Aufmaß größerer Bereiche (z.B. 50m Ausdehnung); nach Vorschalten einer speziellen Blende konnten auch kleinteilige Oberflächen (Skulpturen, ca.

30cm Ausdehnung) erfolgreich mit einer Auflösung von ca. $\pm 1\text{mm}$ gescannt werden.

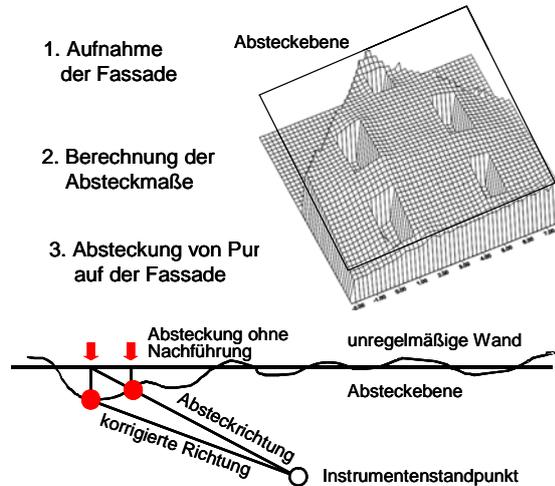
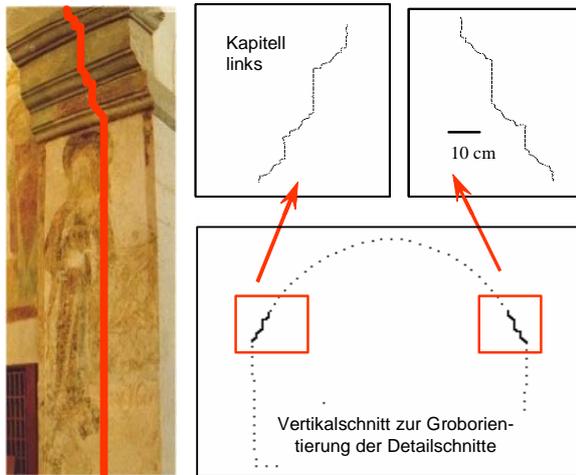


Abb. 1a: Intelligentes Scannen

Abb. 1b: Intelligentes Abstecken

- Nutzung der Steuerung zur exakten Erfassung von Kanten: An Ecken und Kanten wird der Messfleck geteilt; dies verursacht Fehlmessungen, ganz eklatant u. U. bei den Geräten, die nach dem Phasenmessprinzip arbeiten (Abb. 2b). Hier hilft die automatische Auslenkung von der z.B. manuell eingestellten Visur aus der Ecke mit nachfolgender Messung von Punkten in der Umgebung und Rückrechnung des anvisierten Punktes; dieses Beispiel ist typisch für die Rückkopplung mit dem Objekt (Abb. 2a).

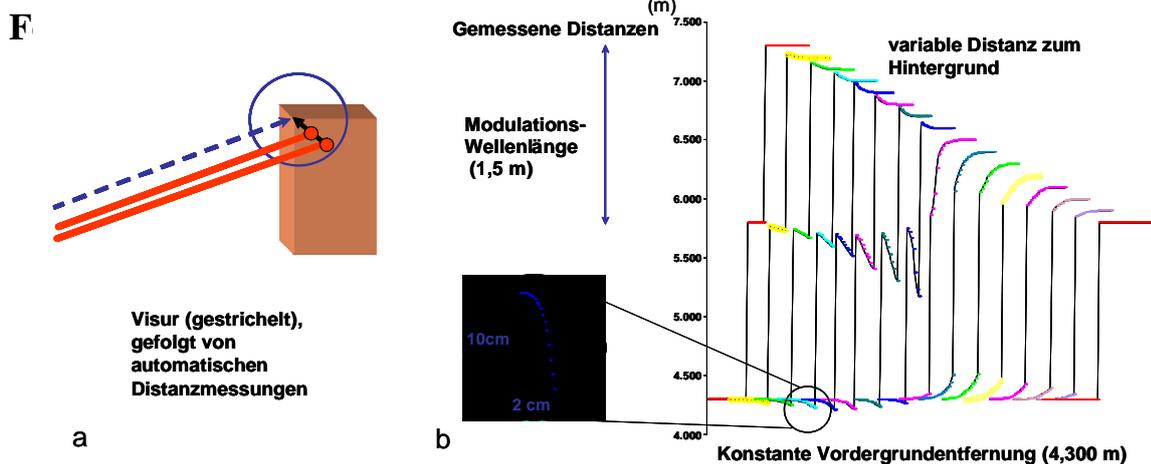


Abb. 2: a) Steuerung zur Vermeidung von Fehlern infolge Messfleckteilung
 b) Entfernungfehler bei der Messung zu Kanten in Abhängigkeit von Modulationswellenlänge, Fleckteil-Verhältnis und Distanz zwischen Vorder- und Hintergrund

- Indirekte Punktbestimmung mit einem Extrapolationsstab: Das automatische Anfahren der Position der Stabspitze im Anschluss an die eigentliche Messung bietet Sicherheit gegen Vertauschen der Reihenfolge der Punkte beim Anzielen.
- Anwendungen in Phototachymetrie und Videotachymetrie; beide Begriffe werden kurz erläutert und die Rolle der intelligenten Tachymetrie wird aufgezeigt:

Phototachymetrie

Bei dieser kostengünstigen Methode (Scherer 2007) zum Aufbau des geometrischen Modells und zur gleichzeitigen Visualisierung eines Bauwerks werden photogrammetrische Elemente und tachymetrische Messung so kombiniert, dass die Nachteile der herkömmlichen Photogrammetrie – Vorwärtsschnitt und Bildüberdeckung - eliminiert werden. Vorteilhaft anwendbar ist die Methode vor allem zur Visualisierung von Objekten, die sich mit geometrischen Primitiven approximieren lassen. Die Vorgehensweise wird an einem einfachen Beispiel (Abb. 3a) demonstriert: Bilder eines Bauwerks (mit geringfügiger Überdeckung) wurden vorab – z.B. im rationellen Schnellverfahren vor Ort - orientiert. In einem ersten Schritt wird ein Regelkörper, eine geometrische Primitive, ausgewählt und durch tachymetrische Messung in seiner Raumlage bestimmt – z. B. im einfachsten Fall eine Ebene über drei beliebige Punkte. Im zweiten Schritt erfolgt die Begrenzung der Primitive Punkt für Punkt durch Klick ins Bild. Dadurch wird jeweils der Bildstrahl bestimmt und dieser mit der zuvor tachymetrisch ermittelten Primitive zum Schnitt gebracht. Durch punktweises Umgrenzen einer Fläche erhält man so sowohl die Geometrie als auch die zugehörige photorealistische Textur und man kann das Modell direkt im 3D-Viewer überprüfen (Abb. 3b).

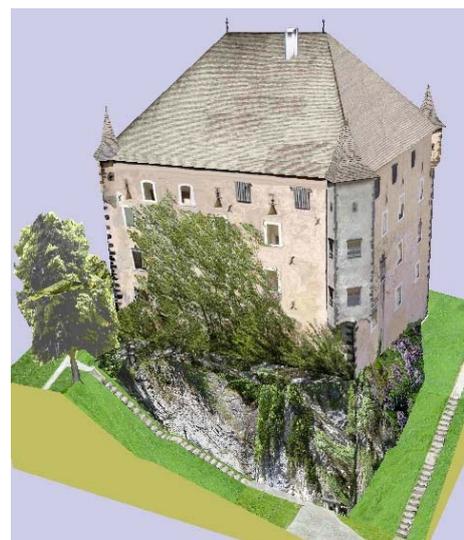
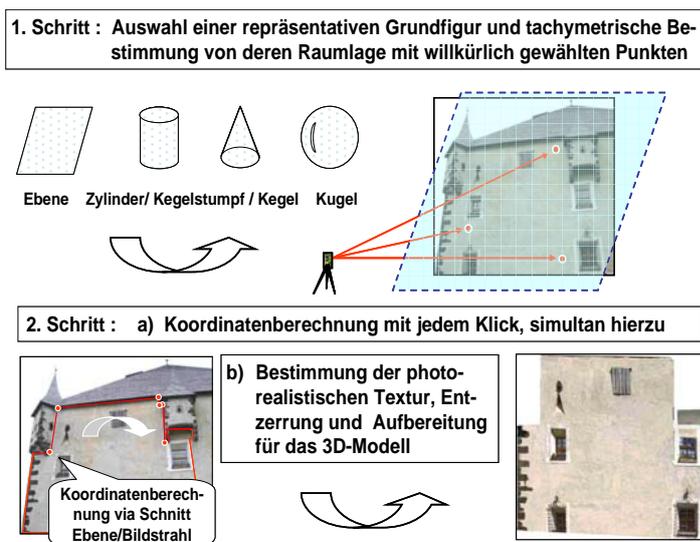


Abb. 3a: Messmethode Phototachymetrie

Abb. 3b: Überprüfung vor Ort im VRML-Viewer

Verglichen mit den üblichen Methoden zur Punktbestimmung – vgl. Tabelle 1 (Klassifizierungen) - erfolgt hier die Punktfestlegung auf andere Art: Hilfspunktbestimmung in Stufe 1, nämlich äußere Orientierung des Bildes und freie Stationierung der Totalstation, Ermittlung der Objektkoordinaten in Stufe 2 über Schnitt der Richtung (Bildstrahl) nach Art der Photogrammetrie mit der tachymetrisch bestimmten Ebene. Man hat für den einzelnen Punkt eine höhere Redundanz als bei den herkömmlichen Verfahren und die günstigeren quasi homogenen Genauigkeitsverhältnisse wie bei der Tachymetrie, aber der Aufwand für die Einzelpunktbestimmung ist geringer: Der Regelkörper muss nur ein einziges Mal ermittelt werden. Der Messungsablauf lässt sich völlig über den Cursor im Bild steuern. Ist das Bild orientiert, wird der Messfleck der intelligenten Totalstation über einen Klick ins Bild an die korrespondierende Stelle am Objekt gelenkt. Das macht die Bedienung einfach und es ermöglicht die Fernsteuerung der Totalstation über den Cursor (realisiert über bluetooth). Dabei kann der Messende unmittelbaren Kontakt zum Bauwerk halten, eine Aufnahmemethodik, die in der Baudokumentation bevorzugt wird. – Über die intelligente Steuerung per Mausklick lässt sich auch rasch eine Visualisierung undulierter Oberflächen nach Art der topographischen Aufnahme durch Aufbau eines Dreiecksnetzes durchführen (vgl. Felsformation in Abb. 3b), das sofort automatisch mit Textur belegt und mit Hinzunahme des nächsten Punktes fortgeführt wird.

Videotachymetrie

Während in der Phototachymetrie intelligente Totalstation und beweglich im Raum eingesetzte Kamera zusammenwirken, sind in der Videotachymetrie Kameras in der intelligenten Totalstation integriert, die damit zur Videototalstation (IATS = Image Assisted Total Station) avanciert. Im Jahr 2000 wurde in Bochum ein Gerät Leica TCRM 1102 mit drei Kameras (Weitwinkel, Normal, Okularvergrößerung, eine Abstufung welche die Orientierung erleichtert) ausgestattet (Juretzko 2005). Im Verbund ermöglichen die Kameras drei wesentliche Funktionen:

- Dokumentation, u. a. bei der photorealisticen Feldbuchführung durch die Überlagerung mit alphanumerischen und graphischen Informationen (Dies ist auch eine Voraussetzung für die Anlage von Bauwerksnetzen mit natürlichen Punkten und deren Fortführung.)
- Nutzung der Bilder als photorealistiche Textur für Zwecke der Visualisierung oder zur Erstellung von Orthophotos
- Steuerung der Totalstation direkt aus dem Bild heraus

Die dem Bild überblendeten alphanumerischen Kennungen, sind über die Datenbank mit den Bilddaten, Koordinaten usw. verknüpft. Werden sie mit dem Cursor bezeichnet, kann die intelligente Video-Totalstation die entsprechende Objektposition anvisieren. Das photorealistiche dynamisch geführte Feldbuch bedeutet eine erhebliche Arbeitserleichterung; man erkennt sofort, was bereits

erledigt wurde. Eine herkömmliche Visur erübrigt sich; auf das Okular wurde ganz verzichtet. Steile Visuren stellen kein Problem dar. Unmittelbar nach dem Klick auf einen Bildpunkt wird die Zielachse zum entsprechenden realen Punkt ausgerichtet. Auch Anwendungen in der täglichen Vermessungsarbeit (Lageplan, Stückvermessung) gestalten sich mit der Video-Totalstation wesentlich ökonomischer. Eine zusätzliche Feldbuchführung kann ganz entfallen (Sakimura et al. 2007).

Im Frühjahr 2007 erschien mit dem Gerät VX Spatial Station der Firma Trimble die erste kommerzielle Videototalstation, ausgerüstet mit einer digitalen Kamera zur Steuerung des Gerätes und mit der Möglichkeit der Überblendung der Bilder durch alphanumerische Kennungen. Besonders erwähnenswert ist die hier auf mehr als 10Hz gesteigerte Messgeschwindigkeit. Auf der Messe Intergeo im Herbst 2007 wurde von der Firma Topcon die Imaging Station IS vorgestellt, bei der wie in älteren Bochumer Prototypen schon zwei Kameras, nämlich eine Weitwinkelkamera und eine Okularkamera integriert sind. Scannen ist hier bei einer Distanzmessgenauigkeit von $\pm 5\text{mm}$ mit 20Hz möglich. Auch Merkmalsextraktion ist ansatzweise realisiert: Im Bild grob angezeigte Ecken oder Kanten werden in einer Bildanalyse identifiziert und im nächsten Schritt durch Scannen der Umgebung rechnerisch sekundenschnell ermittelt (vgl. halbautomatisches Verfahren gemäß Abb. 2a). Dieses enge Zusammenspiel zwischen Bild und schneller Polarmessung – die Korrelation zwischen Koordinatenbild und 2D-Bild - ist erst mit ausreichend hoher Scan-Geschwindigkeit der Totalstation realisierbar (Scherer 2002).

Erstaunlich, dass trotz zunehmend ausgefeilter Hard- und Software auf der Seite der Laserscanner nach Jahren scheinbarer Stagnation plötzlich Bewegung in den Bereich der scannenden Video-Totalstation (IASTS = Image Assisted Scanning Total Station) kommt. Das Scannen von Details oder bandförmigen Strukturen wird wirtschaftlich, so dass man überlegen muss, unter welchen Rahmenbedingungen solche universell einsetzbaren, neuen, intelligenten Geräte insbesondere im Hinblick auf ihre gleichzeitige Fähigkeit zur punktscharfen Direktmessung eine Alternative zum Laserscanner darstellen. - Auch für die Phototachymetrie eröffnen sich da, wo z.B. innerhalb des Prozesses kleine, aber stark undulierte Oberflächen zu modellieren sind, neue Perspektiven. - Die beobachteten Tendenzen lassen hoffen, dass das Know-how zum Handling der intelligenten Totalstation in professionelle Software eingebunden wird und dass es nicht beim universitären Unikat zu Steuerung und Datenerfassung bleibt (Programme TOTAL – Tachymetrische Objektorientierte TeilAutomatische Laservermessung und PHOTON – PHOtoTachymetrie ONsite).

4 3D-Kamera

Derzeit kann man 3D-Kameras von drei Firmen beziehen: PMD-Tech in Siegen, CSEM in der Schweiz und Canesta in USA. Es fällt auf, dass sich die Kameratypen bereits in kurzer Zeit verändert haben (Abb. 4). Die 3D-Kamera

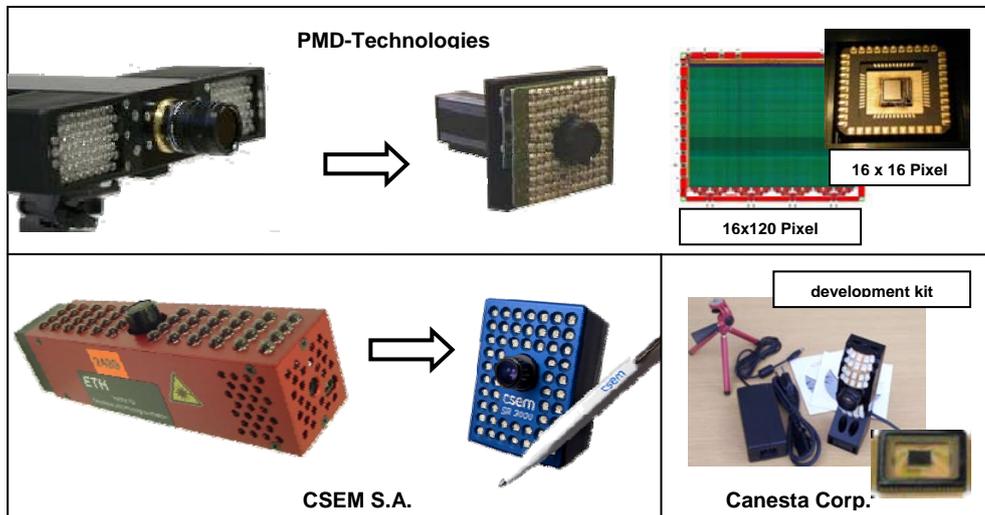


Abb. 4: 3D-Kameras unterschiedlicher Hersteller

bietet aktuell nur eine geringe Auflösung im Vergleich zu einer heutigen einfachen Digitalkamera (z.B. 80 k-Pixel); die Streckenmessung ist nicht stabil, über die Additionskorrektur ist wenig bekannt, die Reichweite liegt nur im Zehnermeter-Bereich, der Pixelpitch, d.h. der Mitten-Abstand der Pixel in der Matrixanordnung begrenzt die Auflösung, die Größe der Bildpixel erfordert die Integration über einen beträchtlichen Ausschnitt der Objektoberfläche und erzeugt damit eine Unschärfe der Distanz (vgl. Kahlmann, Ingensand 2006). Dennoch: Gleich mehrere Eigenschaften sind neu oder außergewöhnlich:

- a) Alle Daten sind auf einen Schlag verfügbar
- b) Die Aufnahmezeit liegt bei 10Hz – 100Hz
- c) Die Distanzmessung ohne aufwändige Mechanik und Elektronik erlaubt den Bau eines handlichen und damit mobilen Gerätes zur polaren Koordinatenbestimmung

Diese Qualitäten machen die 3D-Kamera für viele Bereiche interessant. Daher ist anzunehmen, dass die Hersteller alles tun werden, die derzeitigen Schwächen rasch zu überwinden. Die hoch redundanten Informationen geschickt zu erfassen, zu nutzen und mannigfaltige Operationen in Echtzeit zu bewältigen, stellt die eigentliche Herausforderung dar.

Bezüglich der eingangs spezifizierten Charakteristika der Messprinzipien (vgl. Tab. 1) sind alle Kombinationen realisierbar und sowohl einzeln als auch gemeinsam zu nutzen. Die 3D-Kamera erweitert das Spektrum der Kombinationsmöglichkeiten, da sie nicht nur wahlweise zur Hilfspunkt- oder

Neupunktbestimmung eingesetzt wird (Stufe 1), sondern auch Objektkoordinaten misst (Stufe 2). Schwenkt man die Kamera während des Messens (unter Beibehaltung der Koordinaten des Aufnahmezentrums), so erhält man eine dichte Punktwolke ähnlich der des Laserscannens. Dies entspricht der Bestimmung von Objektkoordinaten von einem bekannten Standpunkt aus (Stufe 2 in Tab. 1). Betrachtet man das Objektkoordinatensystem dagegen als gegeben und bewegt die 3D-Kamera um das Objekt oder positioniert man sie auf einzelnen Punkten quasi mit Rückblick auf das Objekt, so hat man die Situation „Gerät im Neupunkt“ analog der Funktion des Satellitenreceivers. Mit Laserscanner oder Totalstation ist diese Vorgehensweise zwar im Prinzip ebenso möglich (vgl. Tab.1 Stufe 1 oben), aber wegen des apparativen Aufwandes kaum praktikabel. Stufe 1 und Stufe 2 verschmelzen mit der 3D-Kamera in einer einzigen Aktion. Dass sie über ein prinzipiell weitergehendes Potenzial als das übrige Instrumentarium verfügt, wird überdeutlich.

Ihre Echtzeit-Eigenschaften erlauben es offensichtlich, Algorithmen zur Reaktion auf das Objekt zu implementieren. Insofern besteht ein direkter Bezug zur intelligenten Tachymetrie, die sich ja auch über die Reaktion auf das Objekt definiert. Bei der 3D-Kamera gestaltet sich dies jedoch einfacher. Die Ermittlung der Trajektorie der Kamerabewegung und der wechselnden Raumrichtung eröffnen neue dynamische Möglichkeiten. Die schnelle Reaktion macht das Gerät auch für die Absteckung, insbesondere am Objekt, interessant. Entsprechende Tools könnten für eine Interaktion zwischen Kamera und Messendem sorgen: Die Kamerabewegungen des Beobachters würden z.B. durch Aufforderungspfeile oder audio-visuell dirigiert. Hochfrequente Bewegung wird ausgeglichen (Steadycam); künstlicher Jitter ist denkbar zur Steigerung des Auflösungsvermögens usw..

Das folgende einfache Denkmodell (Abb. 5) zeigt schematisch, wie ein Aufnahmenetz quasi automatisch (hier nur über Streckenmessung) in einem Schritt entsteht. Dabei fallen Stufe 1 und 2 (s. Tab. 1) zusammen, und das

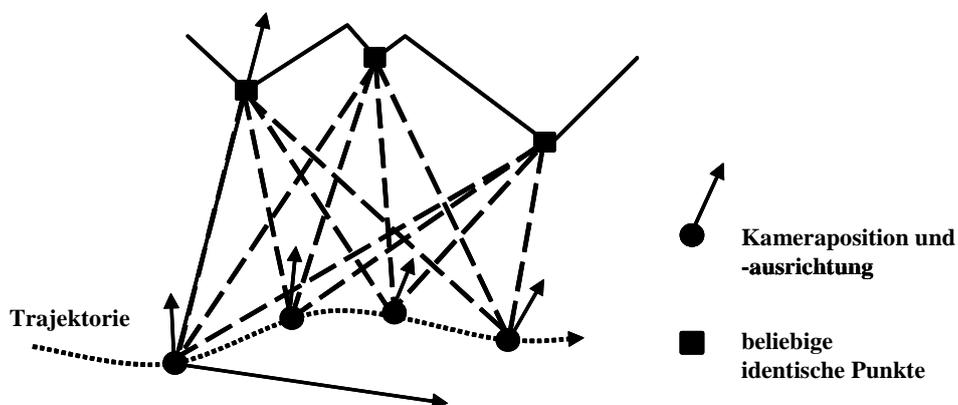


Abb. 5: Zweidimensionale Darstellung der minimal zu messenden Streckenelemente zur Realisierung einer vollautomatischen Aufnahme

Referenzkoordinatensystem wird festgelegt. Die hier als Referenzpunkte angedeuteten Gebäudeecken können später z.B. durch Merkmalsextraktion, Nutzung von Kanteneffekten gemäß Abbildung 2a, Flächenschnitt oder eine Detektion analog Abbildung 2b bestimmt werden; vorerst reichen einige ins Gesichtsfeld eingebrachte Retroreflektoren aus. Das Beispiel lässt sich auf die punktweise Erfassung und Nutzung der Trajektorie und der zu extrahierenden Korrelationsergebnisse verschiedenartiger Informationen und der Redundanzen erweitern.

Der Blick auf die Messprinzipien in Tabelle 1 verdeutlicht, wie die 3D-Kamera praktisch alle Möglichkeiten des bisherigen Instrumentariums umfasst und noch darüber hinausgeht:

- Strecken zu allen Punkten gleichzeitig (wie GNSS)
- Winkelbeziehungen zwischen allen Punkten gleichzeitig (wie photogrammetrisch genutztes Messbild)
- Punktwolke (Scanner)
- praktisch freihändige Messung (GNSS, Handheld-Distanzmesser)
- Stationierung frei oder über identische Flächen quasi automatisch (Totalstation, Scanner)
- Merkmalsextraktion und Matching für Intensitätsbild über Trajektorie (einfacher realisierbar als in der Photogrammetrie)
- Merkmalsextraktion bzw. Matching aus dem Koordinatenbild (Winkel-, Streckenbild)
- Ermittlung der Trajektorie als Raumkurve für z.B. spezielle Konstruktionen

Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile!

Man mag sich den Weg vom derzeitigen Zustand „unzulängliche reale“ 3D-Kamera zur künftigen „idealen“ bezüglich der Nutzung etwa folgendermaßen vorstellen: Die 3D-Kamera wird zunächst -fest verbunden mit bzw. integriert in einer digitalen Farbkamera- vom intelligenten Tachymeter gestützt; dies hat äussere Ähnlichkeit mit der Wechselwirkung zwischen Totalstation und Digitalkamera in der Phototachymetrie. Es folgt die Kombination und Integration 3D-Kamera, digitale Farbkamera, elektronischer Neigungssensor und Kompass, beide ausreichend kurzzeitstabil, um die Trajektorie der Kamerabewegung bzw. die äußere Orientierung zu fixieren (mehr nicht, denn die Messungen alleine sollten ausreichen). Schließlich hat man eine leichte kostengünstige Einheit von Farbkamera, 3D-Kamera, Anzeige und leistungsstarker integrierter Software, deren Einfluss auf das Spektrum der heute gebräuchlichen Geräte und Methoden sich kaum abschätzen lässt. Der Weg zu einer in den 20er Jahren am und mit dem Objekt agierenden „intelligenten“ 3D-Kamera ist lang, steinig und birgt vielfältige Lösungen. Punkt- und flächenorientierte Messmethoden sind gleichermaßen betroffen.

5 Literatur

- Juretzko, M. (2005): Reflektorlose Video-Tachymetrie - ein integrales Verfahren zur Erfassung geometrischer und visueller Informationen. DGK Reihe C, Nr. 588, München, 122 S.; nur als Internetversion. http://129.187.165.2/typo3_dgk/docs/c-588.pdf
- Kahlmann, T. & Ingensand, H. (2006): Range Imaging. Terrestrisches Laser-Scanning (TLS 2006), Beiträge zum 72. DVW-Seminar in Fulda. Schriftenreihe Band 51/2006, Wißner Verlag, S. 181 - 200
- Sakimura, R. & K. Maruyama (2007): Development of a New Generation Imaging Total Station System. Journal of Surveying Engineering, Vol. 133, No. 1, February 1, 2007. © ASCE, ISSN 0733-9453/2007/1-14-22
- Scherer, M. (2002): Advantages of the Integration of Image Processing and Direct Coordinate Measurement for Architectural Surveying - Development of the System TOTAL - , XXII FIG International Congress, ACSM/ASPRS Annual Conference Washington DC, CD-ROM
- Scherer, M. (2007): Phototachymetrie: Eine Methode zur Bauaufnahme und zur Erstellung eines virtuellen Modells. AVN 8-9/2007, S. 307-313

Inhalt

| | |
|--|----|
| 1 Grundprinzipien..... | 1 |
| 2 Sensoren | 3 |
| 3 Intelligente Tachymetrie – Intelligentes Scannen | 5 |
| 4 3D-Kamera | 10 |
| 5 Literatur | 13 |