

Phototachymetrie: Eine Methode zur Bauaufnahme und zur Erstellung eines virtuellen Modells

Zusammenfassung

Die Phototachymetrie verknüpft aufs Engste Elemente von Photogrammetrie und Tachymetrie mit dem Ziel, die Objektgeometrie zu bestimmen und sie gleichzeitig mit photorealistischer Textur zur Visualisierung zu belegen. Schnell und prädestiniert zur Aufnahme von Bauwerken, die sich durch geometrische Regelkörper repräsentieren lassen, kommt die Methode mit den einfachen Werkzeugen Tachymeter und Digitalkamera aus. Aufnahme und Auswertung können vor Ort erfolgen oder - wie in Photogrammetrie und Laserscanning - zeitversetzt. Da viele Anwender die kurze Verweildauer vor Ort bevorzugen, wird diese Vorgehensweise am Beispiel demonstriert und die zur Auswertung benutzten Tools werden vorgestellt. Neuere instrumentelle Entwicklungstendenzen werden besprochen, welche die Chancen der Phototachymetrie zur breiteren Anwendung erhöhen.

Abstract

Phototacheometry combines elements of photogrammetry and tacheometry. It is predestined for mainly flat surfaced regular shaped buildings. Geometry and photorealistic visual model are obtained in one step on-site. Another possibility to use it is to make only necessary measurements and photos on-site and to work it out in the office. This is the method demonstrated here because many of the users would prefer it like this. Observing the development of modern instruments, one can see, that the possibilities of these totalstations encourage to use phototacheometry.

1. Zum Messverfahren

Die Phototachymetrie dient der Erfassung der Bauwerksgeometrie und der gleichzeitigen Erstellung eines dreidimensionalen Modells mit photorealistischer Textur. Der Begriff „Phototachymetrie“ selbst deutet auf die enge Symbiose zwischen Photogrammetrie und Tachymetrie hin. Obschon seit drei Jahren propagiert, hat sich die Methode nicht durchgesetzt:

Zum einen kommen die Anwender von Verfahren der Bauaufnahme nämlich entweder aus dem photogrammetrischen Bereich oder von der vermessungstechnischen Seite. Sie haben eine gewisse Scheu vor „fremden“ Methoden. Zum zweiten gibt es neben Photogrammetrie und Tachymetrie das Laserscannen. Man meint daher, es sei weder Raum noch Bedarf für eine weitere unabhängige Methode. Zum dritten lässt sich Phototachymetrie wirksam nur mit einer eigenen Software durchführen, mit der man intuitiv und ohne spezielles Fachwissen arbeiten kann. Eine solche Software liegt nur als Hochschul-Prototyp vor. Trotz der Hindernisse gibt es aber Gründe, anzunehmen, dass sich die Phototachymetrie als eigenständiges Verfahren einen Raum verschaffen wird (s. Abschnitt 3.).

Hier wird zunächst die charakteristische Arbeitsweise beschrieben, sodann alternative Vorgehensweisen dargestellt und die Methode wird Laserscanning und Photogrammetrie gegenübergestellt. Der zweite Abschnitt behandelt ihren praktischen Einsatz und die nötigen Software-Tools. Schließlich werden neuere technische Entwicklungen als reelle Zukunftschancen für die Phototachymetrie vorgestellt.

1.1 Typische Merkmale

Hardwareseitig benötigt man ein reflektorlos messendes Tachymeter, auch als Totalstation bekannt, ein Notebook für die Arbeit vor Ort sowie eine Digitalkamera, alles gebräuchliche Gerätschaften in der Vermessungspraxis und in Architekturbüros, die Bauaufnahme betreiben. Wünschenswert, nicht zwingend, ist eine motorisierte Totalstation: Sie ermöglicht zusätzliche bequeme Arbeitsweisen durch die Steuerung über das Notebook.

Bevor an einem einfachen Beispiel die Phototachymetrie als Verschmelzung photogrammetrischer und tachymetrischer Arbeitsweisen demonstriert wird, seien die Charakteristika dieser beiden Verfahren herausgestellt. Die Tachymetrie beruht auf Polarmessung der Koordinate (Horizontalrichtung, Zenitwinkel, reflektorlos gemessene Strecke). Die Photogrammetrie arbeitet mit dem Vorwärtsschnitt der Bildstrahlen von Punkten, die in unterschiedlichen Bildern demselben Objektpunkt zuzuordnen sind. Man benötigt dort also zwei Fotos mit ausreichender Überdeckung der Bildausschnitte, deren räumliche Orientierung bekannt ist. Diese äußere Orientierung verschafft man sich über Passpunkte, d.h. koordinierte Objektpunkte, denen die entsprechenden Bildpunkte zugeordnet

werden. Die Aufnahmen benötigen einen ausreichenden Basisabstand, damit der Vorwärtsschnitt die entsprechende Koordinatengenauigkeit insbesondere in der Tiefe liefert. Die Forderung nach Überdeckung und einer ausreichend großen Basis ist ein Handicap: Sie ist oft nicht zu erfüllen.

Die Phototachymetrie nutzt Elemente beider Methoden: Ein Bauwerk lässt sich i. a. aus regelmäßigen geometrischen Grundformen, z. B. Ebene, Kegelstumpf oder Kugelausschnitt, modellieren. Diese generalisierenden Regelkörper, sog. geometrische Primitive, sind mit wenigen Messpunkten tachymetrisch zu bestimmen, eine Ebene z.B. über drei Raumpunkte. Da die Messpunkte bezüglich der geometrischen Figur beliebig liegen dürfen, ist keine genaue Zielung nötig. Diese Messung ist der Anteil der Tachymetrie an der Methode (s. Abb. 1, Schritt 1).

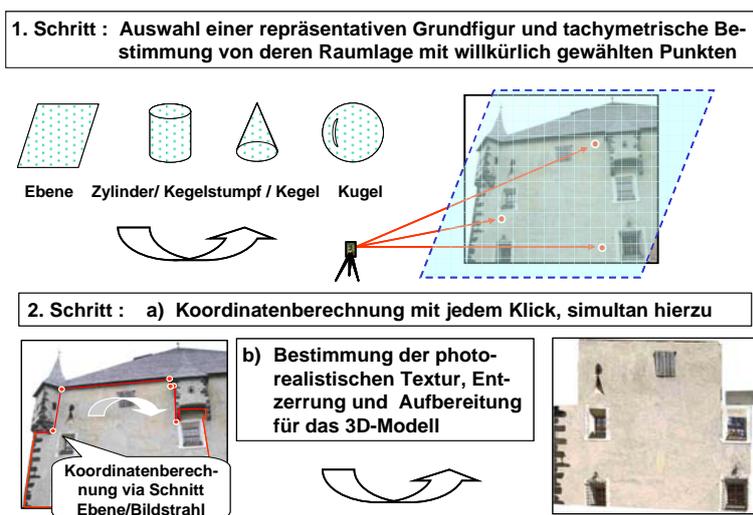


Abb. 1: Grundzüge der Phototachymetrie

Auf dem Weg zur Begrenzung des Regelkörpers – im Beispiel also von der Ebene zur Fläche –, wird in Schritt 2 das orientierte Bild des Objekts benutzt: Zu jedem Bildpunkt, z.B. einer Gebäudeecke, gehört ein Bildstrahl zum Objekt. Dieser wird rekonstruiert und mit der tachymetrisch bestimmten geometrischen Primitiven geschnitten. Dies ergibt die Koordinaten des Eckpunktes. Die Abfolge von Punkten legt ein Begrenzungspolygon fest. Automatisch erfolgt die Entzerrung der eingeschlossenen Bildfläche. Diese Orthogonal-Ansicht des entsprechenden Bildausschnitts dient als Textur für das photorealistiche Modell.

Die geschilderte Koordinatengewinnung stellt offensichtlich eine äußerst enge Synthese zwischen der typisch photogrammetrischen Nutzung von Bildstrahlen und der tachymetrischen Arbeitsweise zur Bestimmung von Lage bzw. Form der geometrischen Primitiven dar. Das Bild fungiert als Messbild und liefert gleichzeitig die Textur für die Belegung der Oberfläche des geometrischen Modells. Da sich Bild und Totalstation die Aufgabe der Koordinatenbestimmung teilen, entfällt das photogrammetrische Erfordernis der Bildüberdeckung bei ausreichend großer Basis. Prinzipiell muss alles nur einmal abgebildet werden. Der Begriff Phototachymetrie symbolisiert zu Recht die Symbiose von photogrammetrischen und geodätischen Messelementen.

Die Bildorientierung vor Ort ist wesentlich einfacher realisierbar als gemeinhin in der Photogrammetrie: Die Passpunktkoordinaten müssen nicht mühsam den Bildkoordinaten zugeordnet werden; stattdessen wird ein markanter Punkt im Bild ausgewählt, angeklickt und mit der Totalstation der entsprechende Objektpunkt direkt gemessen. Objekt- und Bildkoordinaten gewinnt man quasi simultan. Der Prozess des Identifizierens und des Referenzierens entfällt. Was sich als komplexer Vorgang darstellt, geschieht vollautomatisch, programmgeführt, schnell und ohne photogrammetrische oder geodätische Vorkenntnisse.

1.2 Varianten der phototachymetrischen Vorgehensweise

Phototachymetrie muss nicht zwingend so ablaufen wie zuvor beschrieben:

- a) Unterschiedliche Hardware eröffnet unterschiedliche Arbeitsweisen.
- b) Die Modellierung erfolgt durch Regelkörper oder aber einfache Dreiecksvermaschung.
- c) Der Arbeitsprozess findet vollständig vor Ort statt oder getrennt in örtliche und häusliche Bearbeitung.
- d) Projektive Entzerrung und / oder parametrische Entzerrung (Nutzung der Zentralperspektive) stehen zur Wahl.

zu a) Die reflektorlos messende Totalstation kann entweder manuell oder motorisch ausgerichtet werden. Oder es kommt sogar eine inzwischen schon auf dem Markt erhältliche Video-Totalstation (IATS = image assisted totalstations) mit integrierter Kamera zum Einsatz, die diverse Arten der Bildnutzung erlaubt (s. Abschnitt 3). Abhängig vom Gerätetyp eröffnen sich neuartige, komfortable Arbeitsweisen.

zu b) Die einleitend vorgestellte Vorgehensweise bestimmt im ersten Schritt die geometrische Grundfigur tachymetrisch und im zweiten Schritt Einzelpunkte über den Schnitt mit dem Bildstrahl. Es lässt sich jedoch auch primär ein einfaches Dreiecksnetz mit wenigen, die Oberfläche gut beschreibenden Punkten nach Art der topographischen Aufnahme aufbauen, grobmaschiger und gezielter als beim Laserscanning, besonders elegant mit einer motorisierten Totalstation: Beim Klick ins Bild fährt sie automatisch den zugehörigen Objektpunkt an, die Koordinate wird gemessen, der neue Punkt mit den vorhergehenden, benachbarten verknüpft und dieses Dreiecksnetz in demselben Arbeitsgang mit der entsprechenden entzerrten Textur belegt (s. Geländeformation in Abb. 2). Dies geschieht noch näher am Objekt, wenn die Totalstation kabellos mit dem Notebook verbunden ist.

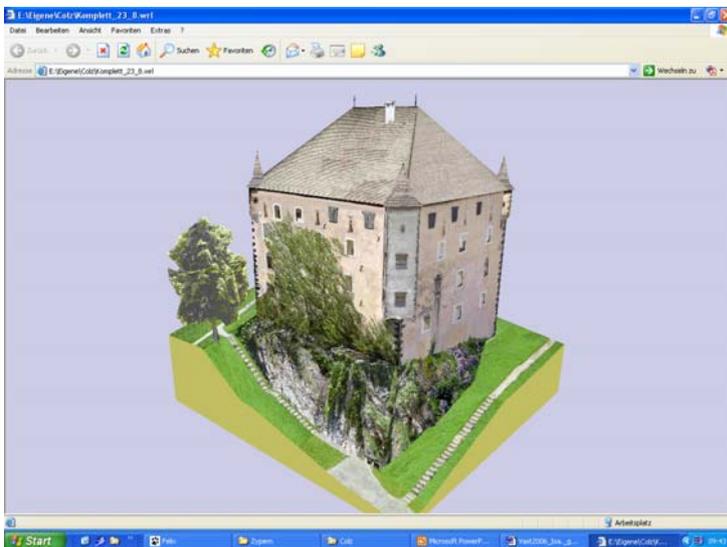


Abb. 2: Ergebnis einer Visualisierung bei Betrachtung mit dem VRML-Viewer

zu c) Eine methodische Unterscheidung lässt sich mit „Arbeit vor Ort von der Aufnahme bis zum fertigen Modell“ und „Ermittlung der Grundformen und ausgewählter Punkte vor Ort, aber häusliche Ausarbeitung“ beschreiben. Die Trennung von Aufnahme und Auswertung (vgl. Laserscannen und Photogrammetrie) kommt den technisch orientierten Anwendern entgegen. Bauforscher und Denkmalpfleger legen demgegenüber Wert darauf vor Ort zu dokumentieren, in engem Kontakt zum Bauwerk.

zu d) Zur Entzerrung der Bilder kann neben dem vorgestellten Ansatz über die äußere Orientierung (auch als parametrische Orientierung bezeichnet) der bekannte projektive Ansatz (Vier-Punkt-Entzerrung) gewählt werden. Die Vorab-Orientierung entfällt hier; anstelle von

drei sind stets vier Punkte nötig. Die direkte Überblendung des Bildes mit bereits koordinierten Punkten ist dann nicht möglich. Hat man nur wenige Entzerrungsbereiche, ist der projektive Ansatz sinnvoll.

1.3 Vergleich mit Laserscanning und Photogrammetrie

Zur besseren Einschätzung der Möglichkeiten der Phototachymetrie im Verhältnis zu Laserscanning und Photogrammetrie seien einige Unterschiede und Gemeinsamkeiten angerissen: Ein virtuelles Modell benötigt i. a. wenige charakteristische Punkte sowie die Textur. Werden aus der Punktwolke des Laserscannens geometrische Primitive extrahiert, wird die große Anzahl an Messpunkten drastisch reduziert. Trotz Automation erfordert dies immer noch manuellen Einsatz. Anschließend wird das geometrische Modell mit Bildtextur überzogen, die entweder einer Kamera entstammt, die, verbunden mit dem Laserscanner, synchron Bilder liefert (vgl. Einbaukameras in Totalstationen), oder aber man nutzt auch hier –flexibler– Bilder frei beweglicher Kameras. Dann muss jedoch wie in Photogrammetrie oder Phototachymetrie die äußere Orientierung über Passpunkte hergestellt werden, ein Prozess, der beim Laserscanning mit Identifizierung und Referenzierung genauso aufwändig ist wie in der Photogrammetrie oder der klassischen Tachymetrie. In der Phototachymetrie hingegen ist sie schneller durchführbar (s. v. Ende Abs. 1.1). In größeren Projekten und bei gehobenen Genauigkeitsansprüchen wird beim Laserscanning wie auch in der Photogrammetrie tachymetrisch gemessen: zur Verknüpfung der Scannerstationen, zur Einmessung von Marken usw.. Dieser nicht verfahrensimmante Aufwand entfällt bei der Phototachymetrie, weil diese von Haus aus eine tachymetrische Methode ist.

Generell lässt sich nicht sagen, wann Laserscanning, Phototachymetrie oder Photogrammetrie ideal einzusetzen sind. Bei Objekten mit stark undulierter, strukturierter Oberfläche dürfte derzeit das Laserscanning die geeignete Methode sein; ein engmaschiges Dreiecksraster liefert, belegt mit photorealistischer Textur, gleich das virtuelle Modell. – Kosten und apparativer Aufwand sind jedoch vergleichsweise hoch. Ist das Bauwerk durch Regelkörper hinreichend großflächig zu approximieren, so ist eine phototachymetrische Aufnahme von Vorteil: Schon während des Aufnahmevorganges wird generalisiert und Details werden mit unterschiedlichen Werkzeugen modelliert. - Liegt photogrammetrische Erfahrung vor, wird

man die Photogrammetrie vorziehen, sofern eine hinreichend große Aufnahmebasis entsprechende Tiefengenauigkeit garantiert.

2. Phototachymetrie in der Anwendung

Die Anwender aus Bauforschung, Denkmalpflege oder Archäologie bevorzugen die gleichzeitige Erfassung, Modellierung und Visualisierung vor Ort, denn die Baudokumentation (Interpretation) steht im Vordergrund. Dem Gros der technisch orientierten Nutzer ist eine möglichst kurze örtliche Verweildauer wichtig, wie bei Laserscanning oder Photogrammetrie. Auch im folgenden Beispiel wurde in die Aufnahme vor Ort und die häusliche Bearbeitung getrennt, um zu zeigen, dass dies möglich ist. Dieses Vorgehen kommt mit den einfachsten instrumentellen Voraussetzungen aus; ein motorisiertes Tachymeter ist nicht nötig.

2.1 Vorbereitende Arbeiten

Vor Arbeitsbeginn ist festzulegen, ob der Netzaufbau ein- oder mehrstufig erfolgt. Kleine Objekte, auch Innenräume, wird man in einem Zug aufnehmen, bei größeren ist vorab ein grobmaschiges Koordinatennetz zu messen, wobei zugleich Punkte am Bauwerk festgelegt werden, auf die man sich in einem zweiten Schritt stützt, um frei zu stationieren. Es sollte aber kein Polygonzug durch oder um das Bauwerk gelegt werden: Diese Arbeitsweise entstammt einer Epoche, als die freie Stationierung technisch schwierig zu realisieren und die berührungslose Messung zu einer entsprechend großen Anzahl günstig verteilter Ziele nicht möglich bzw. zu ungenau war.

Das praktische Vorgehen wird an einem Fragment der Stadtmauer Dortmund (Adlerturm) gezeigt. Trotz dichten Baumbestandes konnte ein Netz mit fünf Standpunkten und neun Außenpunkten über freie Stationierung ausschließlich reflektorlos gemessen werden (Abb. 3). Die Standpunkte haben keine direkte Verbindung; es wurde mit nur einem Stativ gearbeitet. Netzmessung sowie Erfassung aller für die spätere Orientierung der ca. 40 Bilder und für die häusliche Ausarbeitung notwendigen Bauwerkspunkte erfolgten innerhalb von vier Stunden. Präzise identifizier- und messbare Ziele mit Entfernungen von 50m – 100m dienten als

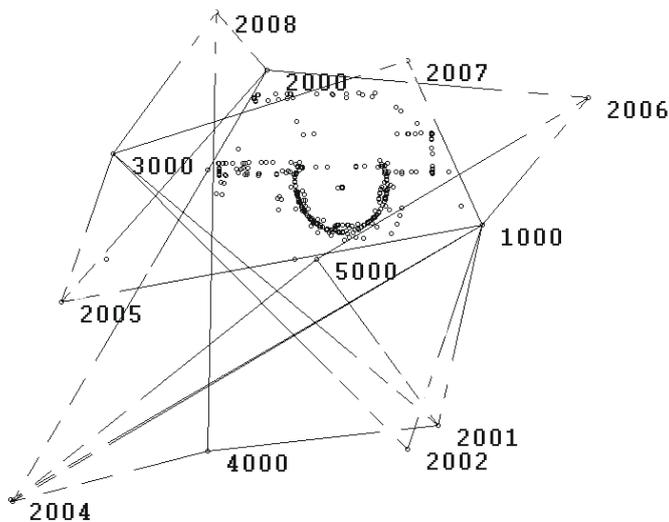


Abb. 3: Netzplan zur Aufnahme des Adlerturm Dortmund

Verknüpfungspunkte. Die Genauigkeit der Standpunktkoordinaten liegt zwischen $\pm 5\text{mm}$ und $\pm 7\text{mm}$. Nach der Grobstationierung zu jeweils zwei Punkten erfolgte mit der motorisierten Totalstation TCRM 1102 von Leica Geosystems die automatische Ausrichtung zu den anderen Punkten. Wegen der guten Koordinatengenauigkeiten, insbesondere von $\pm 6\text{mm}$ bei Netzschluss auf Punkt 5000, wurde auf eine Ausgleichung verzichtet. - Die innere Orientierung der Kamera Nikon Coolpix 995 erfolgte mit dem Programm Photo-Modeler für die Weitwinkelposition des Objektivs. Zusätzlich wurde bei der Bestimmung der äußeren Orientierung pragmatisch die Brennweite als Unbekannte mitgeschätzt, da dies die Genauigkeit verbessert. Einzelheiten $< \text{ca. } 3\text{cm}$ wurden nicht aufgenommen, also z. B. Putzteile auf Natursteinflächen. Ziel der Aufnahme war keine Baudokumentation sondern der Nachweis, dass schnelle Modellierung und Visualisierung bei minimaler Verweildauer vor Ort auch mit der Phototachymetrie machbar sind.

2.2 Werkzeuge zu Modellierung und Texturierung

Die wichtigsten Tools werden vorgestellt, bereitgestellt in den Hauptmenüs zur ‚Steuerung‘ der Aufnahme und der ‚Modellierung‘ (Abb. 4). Allgemein gilt, dass Punktkoordinaten **erzeugt** werden können durch

- direkte Messung zum Objekt (Funktion ‚Direktmessung‘),

- Klick ins Bild mit nachfolgender automatischer Ansteuerung des entsprechenden Objektpunktes durch ein motorisiertes Tachymeter („Anfahren und Übernehmen“),
- Schnitt des Bildstrahls mit der tachymetrisch bestimmten Regelfläche („Messen“, „Übernehmen“) und,
- Schnitt von geometrischen Figuren (z. B. Schnitt von drei Ebenen).

Um Punkte zu **übernehmen**, genügt ein Klick ins orientierte Bild: Bekannte Punkte werden beim Bildaufruf nämlich automatisch eingeblendet (s. Abb. 5, 6).

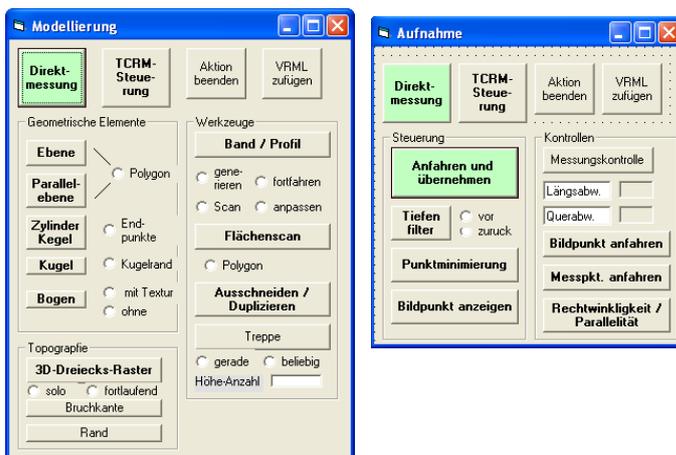


Abb. 4: Fenster zur Steuerung von Aufnahme und Modellierung

Das Dialogfenster ‚Modellierung‘ enthält drei Rahmen. Unter der Oberfläche ‚Geometrische Elemente‘ erfolgt beim Aufruf der Funktion ‚Ebene‘ die Aufforderung, drei Punkte zu messen. Wird wie in Abbildung 1 dargestellt, anschließend ein geschlossenes Polygon gebildet, erhält man neben den Eckkoordinaten die entzerrte, ausgeschnittene Textur. Der Klick auf den Button ‚VRML‘ speichert diese Daten im für einen VRML-Viewer lesbaren Format. Das dreidimensionale, virtuelle, texturierte Modell kann gleich auf Vollständigkeit und Richtigkeit geprüft werden (s. Abb. 5, 6).

Analog zu ‚Ebene‘ arbeiten die Buttons ‚Kugel‘ und ‚Zylinder/Kegel‘. Zur Modellierung eines Kreiskegelstumpfes reicht es, ihn in zwei unterschiedlichen Radien - augenscheinlich senkrecht zur Achse - in jeweils drei Punkten anzumessen (Abb. 5). Zylinder und Kugel werden durch Dreiecke approximiert, deren Dichte in Abhängigkeit von der jeweiligen Krümmung automatisch gewählt wird. Mit der Funktion ‚Bogen‘ lassen sich offensichtlich glatte Bögen (Berechnung über den Schnitt Bildstrahl / Ebene bzw. durch direkte Messung) bestimmen.

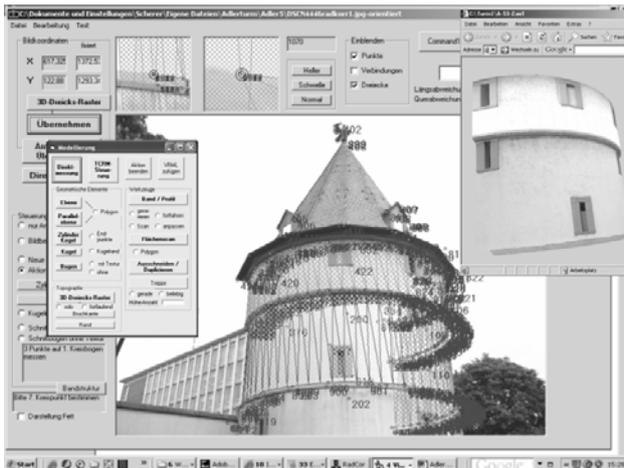


Abb. 5: Visualisierung des zylindrischen Turmes mit Kontrolle über den VRML-Viewer

Mit dem Modul ‚Topographie‘ wird ein Dreiecksraster aufgebaut. Ein Klick ins Bild steuert die Totalstation automatisch zum entsprechenden Objektpunkt. Wählt man ‚fortlaufende Rasterentstehung‘, so ist stets nur ein Punkt zuzufügen; die Verbindungen zu Altpunkten sowie das texturierte Dreieck werden automatisch hergestellt, ohne dass polygonal vordefinierte Bruchkanten überschritten werden; zum Randpolygon wird automatisch die entsprechende Folge texturierter Anschlussdreiecke erzeugt.

Der dritte Funktionsrahmen im Dialogfeld ‚Modellierung‘, überschrieben mit ‚Werkzeuge‘, erleichtert die Arbeit bei der Detailaufnahme. Im Modul ‚Bandstruktur‘ ist hier zunächst ein Querprofil entweder durch direkte Anzielung charakteristischer Punkte zu bestimmen, oder über die Funktion des Linienscannens (Juretzko 2005). Sie ermöglicht, unabhängig von der aktuellen Position der Totalstation, Profile in beliebiger räumlicher Lage punktweise mit frei wählbarem Aufnahmeabstand zu erfassen. Das Band-Querprofil kann als Schablone abgesetzt und mit Hilfe des Bildes der jeweiligen Profilbreite angepasst werden (s. Sockel am Abschluss des Mauerwerks Abbildung 6).

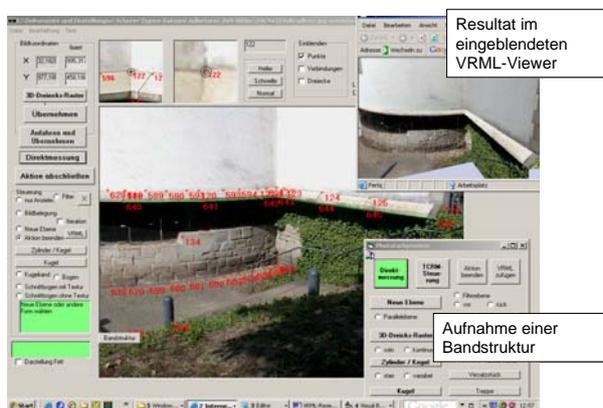


Abb. 6: Beispiel zur Detailaufnahme

Der Button ‚Flächenscannen‘ ermöglicht, analog dem Laserscanning zu arbeiten: Ein Polygon wird im Bild bezeichnet und dann bei vorgegebener Punktdichte automatisch dreidimensional aufgenommen. Da die Totalstation TCRM 1102 nur langsam scannt, lässt sich die Funktion derzeit nur für kleine Bereiche sinnvoll einsetzen (s. aber Abschnitt 3).

Vielfach wiederholen sich Strukturen; Applizieren mag erlaubt sein, z. B. bei der häufigen Aufgabe, Treppen zu visualisieren: Bei gradem Verlauf ist die Stufengeometrie nur einmal zu bestimmen; dann folgt paralleles Versetzen. Dieser Konstruktionsvorgang kann mittels Merkmalsextraktion automatisiert werden; Höhen- und Seitenkorrekturen erfolgen richtig über das Bild. Ein automationsgerechtes Modul wird derzeit getestet. Auch fehlen noch Module für Helligkeitsabgleich und Farbausgleich bei der Bildmontage.

Schließlich seien Tools zur Tachymetersteuerung erwähnt (Abbildung 4 rechts). Einige ähneln denen des Handlings der Punktwolke vom Laserscannen. Vorteilhaft ist hier, dass man es mit wenigen, gezielt bestimmten Punkten zu tun hat. - Die Funktion ‚Tiefenfilter‘ sorgt dafür, dass nur Punkte, die zur sichtbaren Oberfläche gehören, benutzt werden, denn beim Bildaufruf werden zunächst auch Punkte aus dem Hintergrund mit eingeblendet (vgl. Abb. 6). Die Filterung erfolgt in Aufnahmerichtung; Punkte hinter der Bildoberfläche werden durch Verschieben der Filterebene in der Tiefe - vom Kamerastandpunkt aus gesehen - ausgeblendet. Gerade wenn man, wie im Beispiel, das Modell nicht vor Ort erstellt, ist die Funktion hilfreich, während vor Ort die direkte Messung und Steuerung mit dem Button ‚Anfahren und Übernehmen‘ sinnvoller ist, d. h. die Punkte in der Realität automatisch anfahren zu lassen, die im Bild mit dem Cursor bezeichnet werden.

2.3 Genauigkeit und Qualitätskontrolle

Von Haus aus verfahrenstypisch unterschiedlich ist die Koordinatengenauigkeit bei Tachymetrie und Photogrammetrie. Die Phototachymetrie als Mischmethode weist ein entsprechend eigenständiges Verhalten auf.

Für den Distanzbereich einer rein tachymetrischen Bauwerksaufnahme ist die Punktgenauigkeit als homogen und entfernungsunabhängig anzusehen. Allerdings hängt sie noch vom Einfallswinkel auf der Objektoberfläche ab; schräger Strahleinfall bewirkt

Abweichungen in Richtung Messstrahl sowie quer hierzu (quasi als Winkelabweichung). Auch eine Divergenz zwischen optischem Zielstrahl und distanzmessendem Laserstrahl bewirkt Abweichungen bei schrägem Auftreffen. Kollinearität und Achsbedingungen sind also zu prüfen. - In der Photogrammetrie wird die Koordinate über den Schnitt zweier Strahlen bestimmt; die Basislänge beeinflusst die Tiefengenauigkeit überproportional (Abb. 7 unten). In der Phototachymetrie schneidet der Bildstrahl dagegen den Regelkörper. Der Bildstrahl ist zwar der Photogrammetrie entlehnt, aber die Tiefengenauigkeit ist allein durch die tachymetrische Genauigkeit bei der Messung des Regelkörpers bestimmt (Abb. 7 oben): Analog dem Einfluss der Richtungsungenauigkeit in der Tachymetrie ist die Genauigkeitsabnahme nur entfernungsproportional.

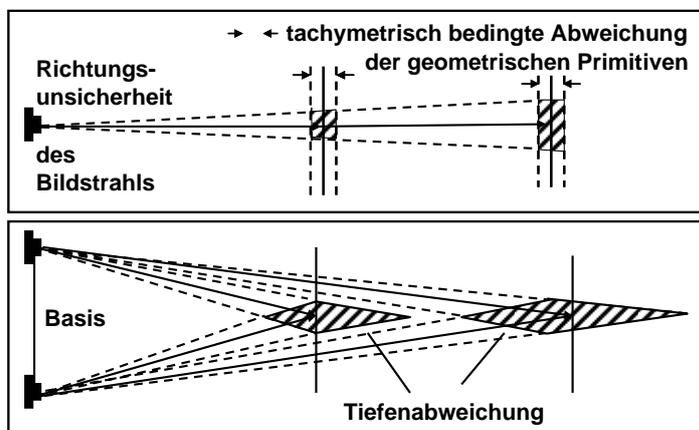


Abb. 7: Genauigkeitsverhältnisse bei der Koordinatenbestimmung in Photogrammetrie und Phototachymetrie

Beim Laserscanning wird zwar über eine große Anzahl von Punkten gemittelt, systematische Einflüsse wirken auf den relevanten Ausschnitt der Punktwolke aber gleichermaßen, z. B. Additionskorrektur oder Einfluss durch schrägen Strahleneinfall. Die Genauigkeit einer typischen rein tachymetrischen Aufnahme dürfte mindestens um den Faktor zwei besser sein. Die Phototachymetrie steht, was die Genauigkeit betrifft, etwa zwischen Laserscannen und tachymetrischer Aufnahme.

Um die Abweichung zwischen dem per Bildstrahl und Regelkörper **berechneten** gegenüber dem entsprechenden real **messbaren** Punkt zu kontrollieren, kann der berechnete Punkt automatisch vom motorisierten Tachymeter richtungsmäßig anvisiert und die zugehörige Strecke gemessen werden. Längs- und Querabweichung im Bezug auf den Kamerastandpunkt repräsentieren die erreichte Genauigkeit. – Es ist auch noch einmal zu betonen: Die Phototachymetrie ist das einzige Aufnahmeverfahren zur Visualisierung vor Ort. Das virtuelle Modell ist als durchgreifende Messungskontrolle sehr wertvoll.



Abb. 8: VRML-Ansichten des Adlerturms

3. Entwicklungstendenzen

Die terrestrischen Messmethoden werden dominiert von den polar messenden Verfahren: Laserscanning, nachführende, prismensuchende, reflektorlos messende Totalstationen, Lasertracker u. a.. Der Prototyp einer rechnergesteuerten, motorisierten, reflektorlos messenden Totalstation wurde 1994 an der Ruhr-Universität Bochum entwickelt; der Einbau von Digitalkameras in eine Totalstation erfolgte 2001. Mit dieser weltweit ersten programm- und bildgesteuerten Video-Totalstation (Juretzko 2005) wurden neue Anwendungen möglich:

1. Reflektorlos werden Objektnetze mit natürlichen Punkten aufgebaut und simultan zur Messung das Punktbild erfasst; so lassen sich nachhaltig nutzbare Vermessungsnetze preiswert erstellen und fortführen (Scherer 2006).
2. Werden die Bilder mit Sekundärinformationen, wie Punktlage oder Punktnummer usw. schon während der Aufnahme überblendet, bietet dies zusätzlichen Informationsgewinn und Arbeitserleichterung. Der hohe ökonomische Nutzen wurde inzwischen auch anderenorts dezidiert nachgewiesen (Sakimura & Maruyama 2007).

3. Mit den Bildern der Totalstation lässt sich direkt visualisieren, da die äußere Orientierung über die Totalstation stets gegeben ist.
4. Die zeitraubende Visur und Zieleinstellung über das Strichkreuz ersetzt der Klick ins Bild; das Gerät lässt sich günstiger platzieren; der Nutzer hält sich am Bauwerk selbst auf und arbeitet ausschließlich über Bildsteuerung. Besondere Vorteile bietet die kabellose Bedienung vom Notebook aus.
5. Die kostengünstige, automatische Aufzeichnung der Messsituation wird sich als dokumentarisches Beweismittel z. B. im Baubetrieb durchsetzen.

Die Gerätehersteller haben die großen Vorteile der reflektorlos messenden Totalstation mit eingebauten Kameras erkannt; erste Geräte sind auf dem Markt. Die Totalstation Topcon GPT-7000i (2005) ist allerdings nicht motorisiert. Leica Geosystems hat ein Versuchsgerät konzipiert (Walser 2005). Erstes Seriengerät mit integrierter Kamera ist die Trimble VX Spatial Station (2007). Hier ist auch ein anderer Vorschlag realisiert: Die Folgefrequenz für die Distanzmessung erlaubt mit ca. 10 Hz bis zu ca. 30 mal mehr Messungen pro Zeiteinheit als das intelligente Tachymeter Leica TCRM 1102 und kommt so der propagierten Integration von Tachymetrie, Photogrammetrie und Laserscanning näher (Scherer 2002). Dies könnte der Phototachymetrie zum verdienten Durchbruch verhelfen, glatte Oberflächen mit relativ wenigen, tachymetrisch gemessenen Punkten zu beschreiben und daneben kleinteilige, ornamentale Bereiche detailliert zu scannen. Diese ausreichend dicht, nicht generalisiert, zu erfassen, fällt der Phototachymetrie noch schwer. Mit der Trimble-Station ist ein Element von 40cm x 40cm bei einer Rasterweite von 8mm nun schon in ca. 4min aufzunehmen.

Im obigen Beispiel wurden wegen der höheren Qualität externe Aufnahmen den Bildern der Videokameras des hiesigen Tachymeters vorgezogen: Der Kamerastandpunkt ist frei wählbar, die Beweglichkeit der externen Kamera nicht zu übertreffen. Dennoch kann die integrierte Kamera bei Korrelation beider Bild-Typen zur Automation der äußeren Orientierung der externen Photos verhelfen und die Phototachymetrie so voran bringen. Hier besteht Entwicklungsbedarf.

Gegenüber dem reinen Laserscanning könnte die Phototachymetrie gerade wegen ihrer Flexibilität – gezielte Aufnahme klarer Strukturen mit wenigen Punkten (Generalisierung vor

Ort), Flächenscannen stark undulierter Gebiete, universelle, beweglichere, vorhandene, kostengünstige Geräte - an Bedeutung gewinnen. Unter welchen äußeren Bedingungen sie ökonomisch einzusetzen ist, lässt sich genauer beurteilen, sobald Erfahrungen mit den unterschiedlichen Varianten an verschiedenartigen Objekten, im direkten Vergleich mit den anderen Aufnahmeverfahren und mit weiter verbesserter Software vorliegen. Die photogrammetrischen Auswertprogramme oder die Software zur Bearbeitung der Punktwolke des Laserscannens sind ausgefeilt; für die Phototachymetrie liegt nur der „Prototyp“ vor. PHOTON (PHOTotachymetrische ON-site-Aufnahme) baut auf dem Programm TOTAL (Juretzko 2005) zum intelligenten Scanning und zur Steuerung der Video-Totalstation auf und liefert Geometrie und virtuelles VRML-Modell. Parallel wird in Bochum die Software ACADIA (AutoCAD et DIA) entwickelt. Sie bietet neben einer nutzerfreundlicheren Datenstruktur die Modellgenerierung mit Werkzeugen von AutoCAD und kommt damit Anwendern aus Architektur und Bauforschung entgegen. Experimentelle Erfahrungen fließen aus der Versuchssoftware PHOTON in den Aufbau von ACADIA ein. Angenommen, der Trend zur Integration von Tachymetrie, Photogrammetrie und Laserscanning schreitet fort, insbesondere die Funktion des intelligenten – gezielten – Scannens, dann sollte es angesichts dieser sich rasch verbreitenden Hardware den Softwareherstellern leicht fallen, die Programme zur Bearbeitung der Punktwolken des Laserscannens so umzugestalten, dass die Möglichkeiten der Phototachymetrie als präzise, scannende und bildorientierte Methode mit exzellentem Visualisierungspotenzial berücksichtigt werden.

4. 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

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 2002 (CD-ROM)

Scherer, M. (2006): A sustainable geodetic network for documentation and monitoring of the Pantheon. 1st Int. Conference on the Pantheon, Bern 2006, im Druck

Walser, B. (2005): Development and Calibration of an Image Assisted Total Station. IGP Mitteilungen Nr. 87/2005, Zürich, 168 Seiten

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr.-Ing. Michael Scherer
Ruhr-Universität Bochum
Arbeitsgruppe Geodäsie
Universitätsstrasse 150; IA 4/49
44780 Bochum
GERMANY
Tel. +49 (0)234 32-26070
Fax +49 (0)234 32-14373
Email: michael.scherer@rub.de
Web site: www.ruhr-uni-bochum.de/geodaesie