

# Vermessung in den Bereichen Architektur, Denkmalpflege und Archäologie

Scherer, Michael, Prof. Dr.-Ing. habil., Bochum, Ruhr-Universität Bochum

## Allgemeines

Auf den Gebieten Architektur, Denkmalpflege und Archäologie erfüllt das Vermessungswesen unterschiedliche Funktionen: Primäre Aufgabe ist die Erfassung der Geometrie, teils unter Berücksichtigung einer aufgabengemäßen Generalisierung. Dann muss die Geometrie kundengerecht aufbereitet und dargestellt werden, z. B. in Form von Plänen und Ansichten. Immer häufiger sind neben der Geometrie aber auch attributive Merkmale zu erfassen und deren räumliche Position ist zu bestimmen. Das können z. B. kunsthistorische Besonderheiten, archäologische Details, Wandbeschaffenheit, Bauschäden usw. sein. Schließlich gehen auf der Seite der Darstellung der Ergebnisse die Wünsche oft weit über die traditionelle zeichnerische Präsentation hinaus: Der Kunde wünscht eine aufwändige Visualisierung.

Drei sehr unterschiedliche Bereiche werden bei der Bauaufnahme tangiert:

- der Bau, das Monument an sich,
- die Messtechnik zur Aufnahme
- die vielfältigen Formen der Ergebnisdarstellung.

Im Spannungsfeld dieser drei Bereiche bewegen sich Auftraggeber und Auftragnehmer.

- Der Auftraggeber sollte auf der Grundlage seiner Objektkennntnis genau wissen, was erfasst werden soll, in welcher Form das Resultat präsentiert wird oder was zukünftig mit den Daten geschieht.
- Der Geodät als Auftragnehmer muss frühzeitig klären, was den Auftraggeber interessiert, und wofür das Ergebnis letztlich gebraucht wird.

Im Zentrum steht damit die Frage : Wozu wird das, was erfasst werden soll, weiter verwandt? - Gerade die Vielfalt der Objekte, der Situationen und der möglichen Resultatpräsentation macht die Verständigung zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer u. U. schwierig, aber umso notwendiger. Je qualifizierter die Anforderungen, desto mehr Einfühlungsvermögen in einen dem Vermessungsingenieur möglicherweise sehr fremden Bereich ist gefragt, mag es sich um Planung in bestehender Bausubstanz handeln, um Fragen der Statik oder um historisch und kunsthistorisch geprägte Sachverhalte.

Gerade vor dem Hintergrund einer realistischen Kostenkalkulation ist die differenzierte Verständigung bis ins Detail nötig. Was genau zu erfassen ist, bis zu welchem Detaillierungsgrad und für welches Resultat, ist im Pflichtenheft festzuhalten.

Die Organisation, die es sich zur Aufgabe gemacht hat, weltweit die Distanz zwischen der "Technik", also Vermessungsleuten, Soft- und Hardwareherstellern auf der einen Seite und dem Anwender, dem, der die Ergebnisse der Vermessungen braucht, nämlich dem Architekten, Bauforscher, Planer oder Bewahrer des Kulturerbes auf der anderen Seite, zu verringern, ist die international tätige "CIPA" (International Committee for Architectural Photogrammetry) . Fachleute von beiden Seiten finden sich dort zusammen, seitens des Kulturerbes delegiert von ICOMOS (International Council on Monuments and Sites) unter dem Dach der UNESCO und seitens des technischen Know-Hows delegiert von der ISPRS (International Society of Photogrammetry and Remote Sensing) bzw. den entsprechenden nationalen Organisationen (s. <http://CIPA.icomos.org/>).



## Charakteristika

### Begriffe und Definitionen:

#### ▪ **Bauaufnahme, Architekturaufnahme, Architekturvermessung, Bauaufmaß:**

Oberbegriffe, die besagen, dass Bauten geometrisch und gegebenenfalls auch attributiv erfasst werden. Traditionell schließt das i.a. die bildliche Erfassung und die visuelle Darstellung nicht ein, obschon dieser Sektor rapide an Bedeutung und Auftragsvolumen zunimmt.

#### ▪ **Baudokumentation:**

Erfassung und Darstellung der Bauwerksgeometrie

#### ▪ **Bestandserfassung, Bestandsaufnahme, Bestandsdatenerfassung:**

Baudokumentation, um die Pläne für Umbau und Renovierung zu erstellen (für das Bauen im Bestand) oder Unterlagen für Facility Management zu beschaffen. (s. dort in CCES)

#### ▪ **Aufmaß:**

- a. aus vermessungstechnischer Sicht: die Erfassung der Geometrie
- b. aus Sicht der Architektur: Baudokumentation, Systemaufmaß: Geometrieerfassung zur Darstellung im Maßstab 1:100 (selten größerer Maßstab), man sagt auch architekturengerechtes Aufmaß = idealisiertes Aufmaß, denn hier wird schon bei der Aufnahme generalisiert
- c. analytisches Aufmaß: bei Bauanalyse und (historischer) Bauforschung; bestehend aus Baudokumentation und Interpretation. Hohe Konsistenz und hohe Genauigkeit ausgesuchter Einzelpunkte sind gefordert, insbesondere formgerechtes, verformungsgetreues Aufmaß: Hier wird nicht generalisiert, sondern die Realität wird so erfasst, wie es die Messgenauigkeit zulässt und so weit der Aufwand gerechtfertigt ist. Da die Aufnahme vor Ort und sehr detailgetreu erfolgt, spricht man auch von "porträtierender Arbeitsweise".

#### ▪ **Informationssysteme:** Sie unterscheiden sich

- a. nach der Art des Gegenstandes: Profanbau des täglichen Lebens, Denkmal, historischer Bau, Ensemble usw.
- b. nach dem Grad der Aktivität, die dem Nutzer ermöglicht wird: z. B. nur Betrachter eines Archivs oder mehr, z. B. Planender, der ein FM-(Facility Management)-System mit Umzugsmodul oder Programm zur Wirtschaftlichkeitsberechnung nutzt. Grundlage ist jeweils die Geometrie.

**GebIS** = Gebäudeinformationssystem; es charakterisiert den Status quo u.a. durch Bauwerksgeometrie, Nutzungsbeschreibung, Bild und weitere Informationen jeder Art (s. DVW-Schriftenreihe Bd. 19).

**MIS** = Monument Information System (Denkmal-Informationssystem)

**Monitoring System** = (anzustrebende) höchste Stufe eines Informationssystems mit dem Ziel, bei besonders wertvoller Substanz rechtzeitig auch zukünftige Entwicklungen zu erfassen, z.B. zeitliche Veränderungen zu erkennen, um eventuell gegenzusteuern.

### Anlass für eine Baudokumentation/ Bauaufnahme:

- Umbaumaßnahmen ("Bauen im Bestand"),
- Restaurierung,
- Sicherungsmaßnahmen,
- Verformungsanalyse - nicht immer quantitativ, bei historischer Bausubstanz eher auch qualitativ (neben allgemeiner Verformung insbesondere Neigung, Senkung),
- öffentliche Präsentation, Dokumentation, Archivierung.

**Auftraggeber:** Privat, Architekt, Denkmalpflege, Kommune, Makler, Public Relations Agentur, Statiker, Bauingenieur, Archäologie, (Kunst-)Historiker, Bauforscher

**Resultate** der Vermessung und Darstellung der Ergebnisse erfolgen z. B. gemäß der nachfolgenden Tabelle.

Primär numerische Darstellung	Primär visuelle Darstellung	
Numerische Daten: Koordinaten, Maße, Flächen	Strichzeichnung	Flächenbelegte Visualisierung
Alphanumerische Daten: Attributliste	Grundriss/Aufriss, Projektion, Fassadenbild, Steingerechter Plan, Gittermodell, z.B. als Dreiecksvermaschung	3D-Modellierung mit Textur/Rendering, fotorealistisch  a. statisches Modell b. Bewegung im Modell, frei oder geführt
		Panorama
Evtl. Ziel: Datenbank als Grundlage für ein Monitoring		

Die Art der Darstellung wird i.a. vom Auftraggeber festgelegt, und damit auch der Detaillierungsgrad und der inhaltliche Umfang der Aufnahme.

**Genauigkeit/Detailauflösung:** Besonders markant sind die unterschiedlichen Anforderungen an die Detailgenauigkeit - und damit an die Genauigkeit der Aufnahme schlechthin. Die folgende Tabelle enthält eine grobe Einteilung:

Grobe Einteilung in Arbeitsbereiche	Baudokumentation/ Bauanalyse	Denkmalpflege	Architekturaufnahme/ Bauaufmaß
Zugehörige Genauigkeiten	3 mm ... 1 cm	1 cm ... 2 cm	2 cm ... 5 cm
Richtung abnehmender Genauigkeit >>>			
Fachausdrücke, die Güte der Detaillierung betreffend	porträtierend, analytisches Aufmaß	formtreu, verformungstreu	architektengerecht, idealisiert

Die Übergänge sind fließend, die Begriffe nicht scharf fixiert. Dennoch lassen sich Unterschiede klar erkennen:

Mit den Begriffen **Bauaufmaß** oder **Architekturaufnahme** wird im allgemeinen die Planerstellung für das Bauen im Bestand verbunden. Bei der Vermessung wird generalisiert. Leichte Abweichungen vom offensichtlichen Sollzustand - z. B. Wandwölbungen im cm-Bereich - werden toleriert. Daher spricht man hier auch von idealisierter bzw. architektengerechter Aufnahme und Strukturaufmaß.

Im Bereich der **Denkmalpflege** steht die Erfassung des Status quo für Zwecke der Archivierung und Erhaltung im Vordergrund. Die Baudokumentation soll, was die Geometrie betrifft, die Bauwerkseigenheiten abbilden. Die damit verknüpften Begriffe "verformungstreu" und "formgerecht" besagen, dass die bei historischen Bauwerken augenfälligen, eher ungewollten Verformungen - z. B. Abweichungen aus der

Vertikalen, Unebenheiten von Wandflächen, Abweichungen vom Rechten Winkel usw. - erfasst werden. Es wird aber noch eine gewisse Generalisierung zugelassen, z. B. oft nicht wie bei der Bauforschung steingenuau aufgenommen. Üblich ist heute i.a. die Erfassung in Grundriss, Aufriss und Ansichten. Strichförmige Fassadendarstellungen werden teils vom großmaßstäbigen, detaillierten Orthophoto abgelöst oder dadurch ergänzt.

**Bauforschung und Bauanalyse** verlangen höchste Detailtreue. Das analytische Aufmaß erfordert die porträtierende Aufnahme angesichts des Objektes, wobei eine Vielfalt von Attributen - geometrisch richtig eingeordnet - zu erfassen und zu bewerten sind. Die unterschiedlichen mit der Dokumentierung von Baudenkmälern und archäologischen Stätten befassten Fachbereiche benutzen unterschiedliche - innerhalb der Fachwelt nicht unumstrittene - Klassifizierungen zur Bezeichnung des Detaillierungsgrades, i.a. verknüpft mit Maßstabsangaben, z.B. Aufmaß I. Grades (Darstellung 1:100), Aufmaß IV. Grades (Pläne 1:25).



### Die Messverfahren

Welche Methode jeweils eingesetzt werden sollte, hängt von verschiedenen Faktoren ab:

- örtlichen Gegebenheiten,
- Umfang der Aufgabe (inhaltlich sowie quantitativ),
- Genauigkeitsklasse (s.v.) und
- Art der Präsentation der Resultate.

Stichworte	Punktextraktion / Filterung		Stichworte
	a priori, d.h. vor Ort, schon vor der Messung	a posteriori, im Zuge der Bearbeitung	
Bandmaß, Lot, Handheld-Distanzmesser, Teleskopstab	Handaufmaß	Photogrammetrie	Reseau, Digitalkamera Bündelblockausgleichung
Totalstation berührungslos messend	Tachymetrie	Scan-Verfahren	Laserscanner
zusätzlich programmgesteuert			Triangulationsmessverfahren
			Handscanner

Abgesehen von Spezialverfahren stehen vier Methoden zur Verfügung (siehe Tabelle): Handaufmaß, Photogrammetrie, Tachymetrie und unterschiedliche Scan-Verfahren. Die Kombination verschiedener Methoden dürfte oft die besten Ergebnisse liefern. Ausschlaggebend für die Auswahl ist in der Praxis aber häufig die Vertrautheit des Auftraggebers/-nehmers mit einem ihm bereits bekannten Verfahren und nicht die optimale Eignung der jeweiligen Methode für den entsprechenden Zweck.

Ein gewichtiger Aspekt beim Vergleich der Verfahren ist der Zeitpunkt der Selektion des Wesentlichen, der Abstraktion: Bei der Photogrammetrie und den Scan-Verfahren wird zunächst die ganze Umgebung quasi vollständig erfasst, jedenfalls Punkt neben Punkt; die Filterung zur Extraktion des Wesentlichen erfolgt später. Bei Handaufmaß und Tachymetrie werden von vorneherein nur diejenigen Punkte messtechnisch erfasst, die zur Beschreibung des Objektes als wichtig angesehen werden. Ort und Zeitpunkt des entscheidenden

Extraktionsvorganges sind bei den beiden Gruppen also grundsätzlich verschieden. Diese Unterscheidung ist für den Einsatz der Methoden in manchen Bereichen entscheidend, wie z. B. für die Baudokumentation in der Bauforschung bzw. in der Denkmalpflege, wo es auf Nuancen geometrischer Besonderheiten ankommen kann, die nur vor Ort richtig erkannt werden. Bei dieser porträtierenden Arbeitsweise ist es besonders vorteilhaft, wenn die Möglichkeit der Qualitätskontrolle (Genauigkeit und Vollständigkeit) vor Ort besteht.

Im Folgenden werden die vier Verfahren kurz, vorwiegend tabellarisch charakterisiert. Zum Ende der jeweiligen Kapitel sind exemplarisch einige Internetadressen von Anbietern entsprechender Hardware und Software aufgelistet. Sie mögen dem Einstieg in eine weitergehende Recherche dienen.

### Das Handaufmaß

Das Handaufmaß mit Lot, Zollstock, Schnurgerüst und - heute - berührungslos arbeitendem elektronischen Hand-Distanzmesser oder Bandmaß ist das älteste Verfahren. Das Objekt sollte hier wegen der ungünstigen Varianzfortpflanzung, d.h. wegen des ungünstigen Zusammenwirkens von Messabweichungen, nicht zu ausgedehnt sein. Je komplexer das Bauwerk, desto mehr Sorgfalt und Sachkenntnis sind erforderlich.

Vorteile	Nachteile	Anwendung	Hilfsmittel
kleinräumig und schnell einsetzbar, Maße sofort, preiswertes Instrumentarium	"Insel"messungen, ungünstige Varianzfortpflanzung, aufwändiger Weg zum Plan, kein Koordinatenbezug	Bauaufnahme und Bauanalyse, Ergänzungs- und Kontrollmaße	grafisch basierte Computerunterstützung zur Konstruktion von Plänen unter Nutzung von Redundanz

Beim computergestützten Handaufmaß nutzt man Software als Kartierungs- und Koordinierungshilfe, um auf der Grundlage einfacher Skizzen, auch online mit elektronischem Handheld-Distanzmesser und Notebook, rasch zu brauchbaren Resultaten zu kommen.

Zur dreidimensionalen Aufnahme im Bereich der Bauforschung und -analyse wird das Handaufmaß in Verbindung mit Lotung und Teleskopstab von traditionell geprägten Fachleuten bevorzugt. Dies erscheint angesichts der Leistungsfähigkeit und Flexibilität anderer porträtierender Methoden nicht länger gerechtfertigt. Das Handaufmaß hat aber in Verbindung mit den anderen Verfahren, insbesondere um Einzelmaße in sichttoten Bereichen zu nehmen, weiterhin seinen Platz.

In der Architekturvermessung -idealisiertes Aufmaß- und im Facility Management ist das computergestützte Handaufmaß dank der heute ausgefeilten Software zum festen Bestandteil bei der Überprüfung des Bestandes und auch bei der Aufnahme nicht allzu komplexer Situationen geworden.

Elektronische Hand-Distanzmesser	Software zum rechnergestützten Handaufmaß
<a href="http://www.disto.com">www.disto.com</a> <a href="http://www.topcon.com">www.topcon.com</a>	<a href="http://www.kubit.de">www.kubit.de</a> <a href="http://www.maxmess.de">www.maxmess.de</a> <a href="http://www.aadiplan.de">www.aadiplan.de</a> <a href="http://www.elcovision.com">www.elcovision.com</a> <a href="http://www.vitruvius.de">www.vitruvius.de</a>

## Photogrammetrie

Die Photogrammetrie bildet ein weitgehend eigenständiges Gebiet. Die Tabelle zeigt einige Aspekte zur Nahbereichsphotogrammetrie, die man auch als Architekturphotogrammetrie bezeichnet.

Vorteile	Nachteile	Anwendungen	Ergänzungen
Zeitaufwand vor Ort gering, visualisierungsfreundlich, u.U. preiswerte Ausrüstung, neue anwenderfreundliche Software	Passpunkte, Referenzierung braucht Textur (Kontrast), Auswertung i.a. a posteriori, Schnittbildung u.U. schwierig, gute Ausleuchtung erforderlich	Architektur, Denkmalpflege, Bauforschung, Fassadenaufnahme, Visualisierung	digitale Photogrammetrie ermöglicht Online-Anwendungen, insbesondere Matching Panoramaerstellung ist ein eigenständiger Bereich

Zwei Bereiche graduell unterschiedlichen Anspruchsniveaus werden gerne unterschieden: Einbildphotogrammetrie, verknüpft mit den Schlagworten "Entzerrung, Orthophoto, Aufrichten" und Mehrbildphotogrammetrie mit den Begriffen "Stereobild, Bildverband, Bündelblockausgleichung, u.a.". Bei der Einbildphotogrammetrie wird das zentralperspektivische Schrägbild anhand von koordinierten Passpunkten in eine Orthogonalperspektive überführt, also entzerrt. Bei der Mehrbildphotogrammetrie wird ein und dasselbe Objekt von mindestens zwei Standpunkten aus fotografiert; zur Auswertung bildet man die Aufnahmesituation mathematisch nach und aus dem Schnitt der Richtungen von den zwei Aufnahmestandpunkten zu den in beiden Bildern vorhandenen Objektpunkten werden die Koordinaten bestimmt. Die Unterscheidung in Ein- und Mehrbildphotogrammetrie ist z. B. für den Architekten, der die Baudokumentation selbst betreibt, von Interesse. Bisher gab sich der Nichtfachmann nämlich mit der einfacheren Einzelbilddauswertung zufrieden, also der Entzerrung von Photos weitgehend großflächig als eben anzusehender Bildflächen. In Folge der Softwareentwicklung ist ein rascher Wandel zu beobachten hin zu leistungsstarker semiprofessioneller Software bzw. zu Amateuranwendungen, die die photogrammetrische Koordinatenbestimmung aus Bildverbänden ermöglichen.

<b>Hardware</b>	Analog-/ Digitalkameras	<a href="http://www.rolleimetric.de">www.rolleimetric.de</a> <a href="http://www.kodak.de">www.kodak.de</a> <a href="http://www.hasselbad.com">www.hasselbad.com</a> <a href="http://www.leica.com">www.leica.com</a>
<b>Software</b>	Einbildentzerrung	<a href="http://www.kubit.de">www.kubit.de</a> <a href="http://www.elcovision.com">www.elcovision.com</a> <a href="http://www.rolleimetric.de">www.rolleimetric.de</a> <a href="http://www.rsi.gmbh.de">www.rsi.gmbh.de</a> <a href="http://www.ruhr-uni-bochum.de/geodaesie/">www.ruhr-uni-bochum.de/geodaesie/</a>
	Ein- und Mehrbildsysteme	<a href="http://www.elcovision.com">www.elcovision.com</a> <a href="http://www.phocad.de">www.phocad.de</a> <a href="http://www.rolleimetric.de">www.rolleimetric.de</a> <a href="http://www.rsi.gmbh.de">www.rsi.gmbh.de</a>

## Scanverfahren

Die hier interessanten Methoden arbeiten auf unterschiedliche Art und Weise mit unterschiedlichen Anwendungsschwerpunkten. Drei im Einzelfall stark überlappende Gebiete lassen sich unterscheiden: eher

großräumiger Bereich, mittlerer und Nahbereich. In allen dreien ergibt sich über die Nutzung der gemessenen Geometrie hinaus ein erweitertes Anwendungsspektrum, wenn die Intensität des reflektierten Signals - der Remissionswert - mit aufgezeichnet wird. Dann ist für eine Modellbildung eine Textur in Graustufen, das Remissionsbild, verfügbar. Eine fotorealistische, farbige Textur braucht zusätzliche Bildinformationen; daher werden bei manchen Produkten parallel Videobilder aufgezeichnet.

#### Laserscanner (großräumig einsetzbar)

Analog zur Methodik der polaren tachymetrischen Punktbestimmung werden der Horizontalwinkel, der Vertikalwinkel und die Strecke ermittelt. Der distanzmessende Strahl wird i. a. durch ein System von Drehspiegeln sehr schnell abgelenkt und überstreicht das Objekt zum Beispiel nacheinander in Vertikalebene, die azimuthal gedreht werden. Gemessen wird die Distanz, die den Ablenkwinkeln zugeordnet ist. Man erhält also polare Objektkoordinaten. Manche Geräte sind hierbei auf einen Sektor beschränkt; ermöglichen also kein Rundumscannen. - Als Ergebnis erhält man stets eine Punktwolke, zunächst ohne exakten Bezug zum Objekt. Beim Bauwerk führen manuell gestützte Auswertungen zu den markanten, das Objekt beschreibenden Eckkoordinaten bzw. Formen.

Vorteilhaft ist die hohe Erfassungsgeschwindigkeit (bis zu 800.000 Punkte pro Sekunde). Die Genauigkeit wird durch verschiedene Faktoren begrenzt, insbesondere durch die schnelle Distanzmessung, bei der der Streckenmesswert über den Strahlquerschnitt endlicher Ausdehnung integriert werden muss (rel. großer Messfleck, z. B. an Kanten undefiniert). Genauigkeitsangaben für den einzelnen Messwert sind rar. - Zur Modellbildung werden häufig unterschiedliche Regelkörper (sog. geometrische Primitive wie z.B. Ebene, Zylinder, Kugelkalotte) aus sehr vielen Einzelpunkten bestimmt. Bringt man diese Flächen wiederum zum Schnitt, z. B. die drei Ebenen, die eine Raumecke bilden, so erhält man Koordinaten markanter Punkte. Um unterschiedliche Standpunkt-Koordinatensysteme aneinander zu fügen, werden häufig speziell ausgebildete Referenzpunkte - z. B. kugelförmig oder Reflexfolien- mit gescannt.

Bezüglich der Bauart, mit direkter Auswirkung auf den praktischen Einsatz, sind zwei Konstruktionsformen zu unterscheiden:

1. Kamerascanner: Die Geräte werden wie eine Kamera ausgerichtet und nehmen in einem Zuge nur einen Bildausschnitt auf, z. B. in einem Sektor von  $40^\circ \times 40^\circ$ . Größere Bereiche müssen ausschnittsweise aufgenommen und über Passpunkte aneinander gefügt werden.
2. Panoramascanner: Ihr Aufbau ist theodolitartig; sie drehen sich um eine Vertikalachse und können so die ganze Sphäre abbilden.

Vorteile	Nachteile	Anwendungen	Besonderheiten
sehr schnell, Kontrolle der Punktwolke in situ, keine Beleuchtungsprobleme	aufwändige Extraktion der objektrelevanten Punkte, Geräte voluminös, teuer	Bauwerksaufnahme, Formerfassung, schnelle Erstellung einer 3D-Übersicht	auch bei geringer Einzelpunktgenauigkeit gute Flächenerfassung, weil eine große Anzahl von Punkten vorliegt, wegen großer Punktdichte geeignet zur Bestimmung ausgleichender Freiformen (NURBS)

### Triangulations-Messverfahren (naher bis mittlerer Entfernungsbereich)

Diese - eher seltener eingesetzte - Variante der Scanner arbeitet nach dem Triangulationsprinzip mit einer Basis fester Länge im Standpunkt (Prinzip des parallaktischen Dreiecks). Zwei Methoden lassen sich unterscheiden:

1. Ein Laserlichtfleck wird von einem Basisende auf das Objekt projiziert und die Lage des reflektierten Lichtflecks meist auf einer CCD-Zeile am anderen Basisende detektiert.
2. Ein (Streifen)-Muster wird auf das Objekt projiziert und dieses wird synchron von zwei Digitalkameras aufgenommen, die an den Enden einer Basis angeordnet sind.

Aus den distanzadäquaten parallaktischen Verschiebungen wird die Entfernungskomponente berechnet. Die hohe Lagegenauigkeit im Nahbereich (Submillimeter) nimmt verfahrenstypisch überproportional zur Entfernung ab (auf z.B. ca. 5 mm bei 10 m). Man braucht ausreichende Signalintensität und entsprechenden Kontrast. Entscheidend sind also die Reflexionseigenschaften und die Umgebungshelligkeit (Nachtarbeit beim Einsatz im Freien). Über Drehbewegungen um die Basis bzw. Strahlablenkung kann ein auf einige Dekagrad begrenzter Raumsektor ohne erneute Geräteausrichtung überstrichen werden. Das Resultat des Scannens ist eine Punktwolke wie unter 3.4.1, aber mit höchster Detailauflösung im Nahbereich.

Vorteile	Nachteile	Anwendungsbereiche	Besonderheiten
hohe Genauigkeit im Nahbereich, hohe Punktdichte, Kontrolle vor Ort	geringe Lichtstärke, Kontrastprobleme, mit der Entfernung über-proportional abnehmende Genauigkeit	Skulpturen, Reliefs, Architekturdetails, Artefakte, Verformungen	Visualisierung auch von komplexen Objektstrukturen durch Verknüpfung mit Bildern, z. T. automatisch

### Handscanner (Nahbereich)

Geräte für die flexible Aufnahme im Nahbereich, d.h. mit einem Aktionsradius . weniger Meter weisen eine außerordentlich große Vielfalt an Funktionsvarianten auf. Die wenigen für die Architekturaufnahme interessanten Systeme zeichnen sich durch extreme operative Beweglichkeit aus, bis hin zum freihändigen Überstreichen des Objekts, analog der Arbeitsweise mit einer Spritzpistole, online, direkt am Computerbildschirm kontrolliert. Der Abtastkopf arbeitet i. a. nach dem Triangulationsprinzip (s. v.). Man hat verschiedenartige Verfahren zu seiner Lokalisierung, d.h. Bestimmung von Aufnahmeort und Abtastrichtung. Noch gibt es wenige Freihandscanner, aber die äußerst flexible Arbeitsweise dürfte die Entwicklung dieses Scannertyps begünstigen.

Vorteile	Nachteile	Anwendungsbereiche	Besonderheiten
Millimeter- bis Submillimeter-Genauigkeit, hohe Punktdichte, computerkontrollierte	Aktionsradius aller Verfahren sehr beschränkt, teuer, bei	Denkmalpflege, Archäologie, Bauforschung, Skulpturen, Reliefs, z.B.	sehr unterschiedliche Messverfahren,

Aufnahme, Freihandscannen, schnelle Verfügbarkeit des Modells	Magnetorientierung darf das Objekt keine Metalle enthalten	Architekturdetails, Artefakte, Verformungen	vieles in Entwicklung, Matching weitgehend automatisch
---	--	---	--

Einen immer wieder aktualisierten Überblick zu dem sich rasch ändernden Markt der Laserscanner findet man z.B. in Gim International magazine for geomatics, GITC-Verlag, Niederlande. Eine Hilfe bei ausgiebiger Recherche zu Scannern bietet auch [www.geomagic.com/support/resources/scanners.php3](http://www.geomagic.com/support/resources/scanners.php3)

360°- Laser-Scanner	Sektorielle Laser-Scanner	Triangulationsprinzip	Handscanner
<a href="http://www.callidus.de">www.callidus.de</a>	<a href="http://www.leica-geosystems.com">www.leica-geosystems.com</a>	<a href="http://www.mensi.com">www.mensi.com</a>	<a href="http://www.rsi.gmbh.de">www.rsi.gmbh.de</a>
<a href="http://www.octocom.de/3d_laserscanning.html">www.octocom.de/3d_laserscanning.html</a>	<a href="http://www.cyra.com">www.cyra.com</a>	<a href="http://www.minolta-3d.com">www.minolta-3d.com</a>	
<a href="http://www.riegl.com">www.riegl.com</a>			
<a href="http://www.zofre.de">www.zofre.de</a>			

### Tachymetrie mit reflektorloser Distanzmessung

Die tachymetrische Aufnahme, also die polare Einzelpunkterfassung wurde seit dem Aufkommen der Totalstation stetig weiter entwickelt. Die Punktgenauigkeit bei der Aufnahme auch ausgedehnter komplexer Objekte ist mit wenigen Millimetern vergleichsweise sehr gut und homogen, praktisch unabhängig von der Objektgröße. Im anstehenden Kontext wird nur auf die reflektorlose, man sagt auch berührungslose Messmethodik eingegangen. Zwei Gerätetypen stehen hier zur Verfügung: Totalstationen, die manuell zum Zielpunkt ausgerichtet werden und solche, die mit Servomotoren ausgerüstet sind, also per Notebook extern steuerbare Totalstationen.

Die Arbeit mit manueller Einstellung der aufzunehmenden Punkte ist hinreichend bekannt. Die Möglichkeit, reflektorlos notebookgesteuert zu messen wird dagegen z. Zt. i. a. nur rudimentär genutzt. Die Anwendungs- und Automationsmöglichkeiten und damit die Wirtschaftlichkeit lassen sich gegenüber der manuellen Punkteinstellung gerade bei der Bauaufnahme jedoch erheblich steigern. Bei der porträtierenden Arbeitsweise sorgen zahlreiche Software-Funktionen für genaue, rasche Aufnahme u.a durch punktscharfe Messung von Ecken trotz endlichen Strahlquerschnittes, exakte Ermittlung von Horizontal- und Vertikalprofilen von beliebigem Instrumentenstandpunkt aus, Fortführung von Profilen an beliebiger Stelle im Objekt oder Ermittlung verdeckter Punkte mit Extrapolations-Codestab.

Vorteile	Nachteile	Anwendungsbereiche	Besonderheiten
schnelle automatisierte Erfassung von markanten Einzelpunkten, Schnitten und Profilen; hohe absolute Punktgenauigkeit, universell einsetzbare, verbreitete geodätische Standardgeräte, Kontrolle von Vollständigkeit und Genauigkeit vor Ort	bei der Aufnahme von Flächenformen mit großen Punktmengen langsam	Achitekturerrfassung, Denkmalpflege, Archäologie, Bauforschung, Baudokumentation, Fassadenaufnahme	Visualisierung in Verbindung mit Bilderfassung, Einzelbildentzerrung automatisierbar, mit eingebauten Kameras automatische Dokumentation und Aufbau eines Bildarchivs

### Totalstationen

ohne Servomotoren	über Servomotoren steuerbar
<a href="http://www.leica-geosystems.com">www.leica-geosystems.com</a>	<a href="http://www.leica-geosystems.com">www.leica-geosystems.com</a>
<a href="http://www.trimble.com/type_opticaltotalstations.html">www.trimble.com/type_opticaltotalstations.html</a>	<a href="http://www.trimble.com/type_opticaltotalstations.html">www.trimble.com/type_opticaltotalstations.html</a>
<a href="http://www.nikon.com">www.nikon.com</a>	
<a href="http://www.topcon.com/survey.html">www.topcon.com/survey.html</a>	
<a href="http://www.sokkia.com/products/TotalStations.htm">www.sokkia.com/products/TotalStations.htm</a>	

Software für Auswertung und Steuerung

reflektorlos	reflektorlos und notebookgesteuert
<a href="http://www.kubit.de">www.kubit.de</a>	<a href="http://www.ruhr-uni-bochum.de/geodaesie/">www.ruhr-uni-bochum.de/geodaesie/</a>
<a href="http://www.aadiplan.de">www.aadiplan.de</a>	
<a href="http://www.elcovision.com">www.elcovision.com</a>	
<a href="http://www.ingenieurteam2.com">www.ingenieurteam2.com</a>	
<a href="http://www.theocad.de">www.theocad.de</a>	
<a href="http://www.vitruvius.de">www.vitruvius.de</a>	

Im vorausgehenden Abschnitt wurden die vier wesentlichen Aufnahmemethoden skizziert. Vergleicht man sie miteinander, zeigen sich bei jedem Verfahren Stärken und Schwächen: Keine Methode ist für einen bestimmten Zweck ideal. Die Verfahrensweisen an sich sind außerordentlich verschieden. Daher wird offensichtlich zu selten zwischen den Methoden gewechselt; unterschiedliche Verfahren werden kaum nebeneinander eingesetzt. In den Anwendungsbereichen hoher Genauigkeit kommt hinzu, dass Nutzer, die der strikt porträtierenden Schule angehören, praktisch nur die vor Ort interpretierenden Verfahren Handaufmaß und Tachymetrie akzeptieren.

Von der Baudokumentation zum Informationssystem

In der modernen Bauaufnahme liegen alle Ergebnisse in digitaler Form vor; nicht nur die bauwerksbeschreibende Geometrie. Die digitale Grundstruktur umfasst auch semantische, verbale und Bildinformationen. Alle nicht-geometrischen Informationen lassen sich über die Geometrie auf der Basis der Koordinaten ordnen. Die durchgehende Digitalisierung hat den Vorteil großer Objektivität (z. B. ist man nicht abhängig vom Abbildungsmaßstab) und beliebiger Reproduzierbarkeit. Damit lassen sich die Objektdaten jederzeit in neuem Zusammenhang wieder verwenden und fortführen. Sie eignen sich zum sukzessiven Aufbau von Informationssystemen (siehe Charakteristika, GebIS, DGM, MIS) als Grundlage eines umfassenden Monitoringsystems.

Vor diesem Hintergrund ist es bei vergleichsweise geringen Kosten wünschenswert

- möglichst viele Informationen zu sammeln und für den späteren Gebrauch geordnet abzulegen. Dies betrifft den Inhalt beim Aufbau eines Informationssystems.
- die Aufnahme selbst so anzulegen, dass bei späterem Bedarf eine problemlose Ergänzung und Informationsverdichtung möglich ist. Voraussetzung hierfür ist es, sich auf ein bauwerkseigenes Passpunktfeld zu stützen, möglichst auf jederzeit identifizierbare natürliche Punkte. Dieser zweite Aspekt betrifft die Datengewinnung.

Auch die Tendenzen zu immer mehr ins Detail gehender Visualisierung unterstützen diese Forderung nach Datenbanken und deren Fortführung. Wie man die Nachhaltigkeit auf breiter Basis realisieren kann, steht dahin. Entsprechende Gesetze sind überfällig. Die Datenpflege der Bereiche Kataster, Kartographie, Geoinformationswesen könnte hier vorbildhaft sein, da sie die Aufbereitung, Aktualisierung und

Bereitstellung von analogen und digitalen topographisch - kartographischen Informationen sowie die Weiterentwicklung der hierzu notwendigen Instrumente zur Fortführung umfasst.

Das geometrische Grundkonzept bei einer Bauwerksaufnahme sollte also stets so aussehen, dass man im Hintergrund den Aufbau eines Informationssystems anvisiert, zumal dies nicht mit zusätzlichen Kosten verbunden sein muss.

### Visualisierung, Virtual Reality, 3D-Modell

Immer häufiger wird die bildliche Darstellung von Bauwerken und Monumenten gefordert, sei es als Ergänzung zu den traditionellen Formen der Ergebnispräsentation, wie Schnitt und Ansicht, oder als eigenständige Aufgabe. Da der Auftraggeber zunehmend Fragen zu der - sogar eventuell erst für einen späteren Zeitpunkt geplanten - Visualisierung stellen wird, wird dieses Thema hier wenigstens angerissen. Weil einige geodätische Aufnahmeverfahren bereits von Haus aus mit Bildern arbeiten, die eng verknüpft sind mit der Geometrie, ist der Geodät, besonders auch als Sammler und Bearbeiter von Geodaten, prädestiniert, auch Visualisierungsaufgaben zu übernehmen.

Der Begriff Visualisierung umschreibt als Oberbegriff die bildliche Darstellung von Objekten, sei es in einfachster photographischer Form oder als aufwändige Virtual Reality-Produktion.

Unter einer 3D-Modellierung versteht man die dreidimensionale Darstellung eines Objektes auf der Grundlage seiner Geometrie. Das dreidimensionale Drahtmodell enthält dabei nur die Konturen. Flächenansichten erlaubt das flächentexturierte, gerenderte Modell. Die Textur zur Flächenbelegung kann künstlich im Computer erzeugt sein; für eine weitgehend naturgetreue, eine sogenannte photorealistische Modellierung, benötigt man Photos als Textur. Dies sind praktisch Orthophotos von allen Flächen.

Soll ein Objekt dreidimensional dargestellt werden, so spricht man auch von Flächenrückführung. Größere Bauwerksflächen lassen sich im allgemeinen durch Regelflächen, hier Ebenen oder Zylinder, approximieren und im Zuge des Prozesses der Referenzierung von Passpunkten ausschneiden - dies ist das Vorgehen bei tachymetrischer Erfassung bzw. photogrammetrischer Auswertung. Unregelmäßige Körper werden vorzugsweise durch ein engmaschiges Koordinatennetz dargestellt und die - ebenen - Maschen mit Bildmaterial gefüllt (Scannen mit Videosignal verknüpft, automatisches Matching in der Photogrammetrie, Flächenapproximation durch Regelflächen, Rendern).

Von Virtual Reality spricht man spätestens dann, wenn ein Modell unter verschiedenen Blickwinkeln betrachtet werden kann, und wenn so ein virtuell begehbare Raum entsteht. Die Bewegungsbahn des Betrachters kann vorausberechnet sein oder aber, der Beobachter bestimmt selbst, wie er sich im Raum bewegt. Letzteres verlangt den höchsten Grad an Perfektion, denn das Modell muss aus jedem erlaubten Blickwinkel die gleiche Auflösung aufweisen. Die nachfolgende Tabelle gibt einen Einblick in Erscheinungsformen der bildlichen Darstellung und in die Anforderungen an die technische Realisierung. Der Umfang der Arbeiten muss, ausgehend vom geplanten Endergebnis, zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer mindestens so sorgfältig geprüft und festgelegt werden, wie dies im Zuge der Baudokumentation der Fall ist. Er ist im Pflichtenheft festzuhalten.

<b>Grad der Bildbearbeitung</b>	<b>zunehmende Objektkomplexität</b>	<b>Anwendungsbereich</b>	<b>Anforderungen an die Geometrie</b>
unbearbeitet, unwesentlich	Photo des Bauwerks,	Information Werbung	-

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 360°-Panoramabild</li> <li>• sensitive Karte, Bild oder Panoramabild mit Panoramen verknüpft</li> </ul>		Bildverband, meist in Horizontalebene mit geringer Überdeckung
Entzerrung, Orthophoto	Fassadenansicht	Restaurierung, Archivierung	Texturierte Fläche mittels Strecken im Bild oder tachymetrisch bzw. photogrammetrisch bestimmten Koordinaten, "Klötzchen- Geometrie"
kleinräumige Bildbeschneidung bzw. kleinpixelige Rendering von engmaschigen Koordinatennetzen	3D-Modelle  Grobmodell <ul style="list-style-type: none"> <li>• eines Bauwerks</li> <li>• eines Ensembles</li> </ul> Fein-Modell (Drahtmodell / photorealistisches Modell) als Hüllkörper, begehbare Innenraum, Bauwerk/ Monument  Animation in Form von fly-/ walk-throughs, dabei Pfad <ul style="list-style-type: none"> <li>• vorberechnet</li> <li>• freie Bewegung des Benutzers</li> </ul>	Gestaltungsplanung, Hintergrundmodell (kleiner Abbildungsmaßstab)  Virtual Reality für Planer, Investor, Bauherr  Zur Entwurfsbeurteilung, Umweltplanung, Stadtplanung  Forschung (Artefakte), Wissensvermittlung, Medienarbeit, Unterricht, Öffentlichkeit	Einzelpunkte zur Flächenbegrenzung und Formbeschreibung bzw. Gitteraufnahme automatisiert, Flächenrückführung  freie Bewegung erfordert einen höheren Grad an Vollständigkeit  Problem der Darstellung der Raumbegrenzung, d.h. des nicht genauer betrachtbaren Außenraumes.
erhöhte Komplexität je nach Detaillierungsgrad	Ensemble: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 3D- Kartenmodell,</li> <li>• 3D- Stadtmodell,</li> <li>• 3D-Landschaftsmodell</li> </ul>		

Abgesehen vom einfachen 360°-Panoramabild benötigt man in allen anderen Fällen Daten zur Bauwerksgeometrie. Liegt ein engmaschig gescanntes Koordinatenfeld vor, verknüpft mit zugeordneten Farbwerten, so ist das Modell daraus abzuleiten. Anderenfalls benötigt man als Textur zur Flächenbelegung entzerrte Photos. Die Entzerrung kann auf der Grundlage von Streckenmessungen bzw. anhand von Objektkoordinaten erfolgen.

Zur Erstellung von Fassadenansichten reicht es oft aus, Photos zu entzerren und abschnittsweise zur kompletten Ansicht zu montieren. Um ein begehbare 3D-Modell zu erstellen, sind die Bilder der dreidimensional vorliegenden Geometrie des Objektes zuzuordnen. Die eigentliche Modellbildung kann dann, z. B. für Modelle wie sie im Internet abzurufen sind, auf einfache Art und Weise über die Programmiersprache VRML (Virtual Reality Modelling Language) geschehen.

Die nachfolgende Tabelle enthält einige Adressen zum Themenkomplex Bildentzerrung und zur Erstellung von 3D-Modellen.

Anbieter	Produktname	Geometrie tachymetrisch/ Einzelstrecken	Bündel-Block- Ausgleichung	Einzelbild- entzerrung	Internet-fähiges Modell (VRML)
<a href="http://www.elcovision.com">www.elcovision.com</a>	Elcovision		X	X	
<a href="http://www.fokus-gmbh-leipzig.de">www.fokus-gmbh-leipzig.de</a>	metigo	X	X	X	
<a href="http://www.ingenieurteam2.com">www.ingenieurteam2.com</a>	Mobi	X		X	
<a href="http://www.phocad.de">www.phocad.de</a>	PHIDIAS	X	X	X	X
<a href="http://www.kubit.de">www.kubit.de</a>	PhoToPlan	X	X	X	
<a href="http://www.rsi.gmbh.de">www.rsi.gmbh.de</a>	PhotoModeler		X	X	X
<a href="http://www.rolleimetric.de">www.rolleimetric.de</a>	Rolleimetric		X	X	
<a href="http://www.ruhr-uni-bochum.de/geodaesie">www.ruhr-uni-bochum.de/ geodaesie</a>	TOTAL	X		X	X

Der Geodät als Auftragnehmer für Architektur- und Bauvermessung darf sich dem Aufgabenfeld Visualisierung mit seinem wachsenden Auftragspotenzial nicht verschließen; er darf sich nicht auf die Erfassung der Geometrie zurückziehen.

