

Objekterfassung: Was? – Wie? – Wozu?

Eine Analyse mit Schwerpunkt bei der Bauaufnahme

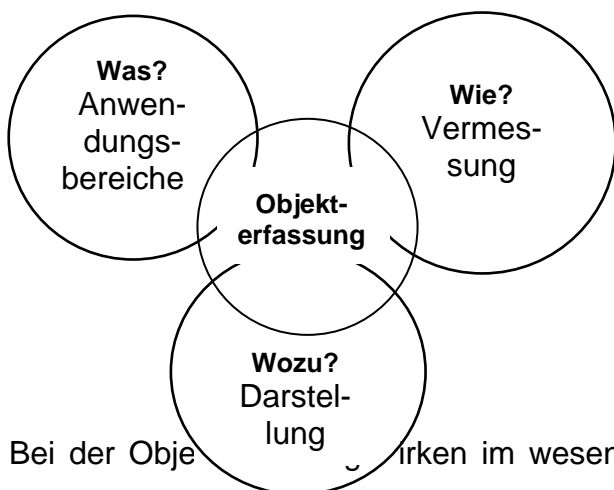
Michael Scherer, Bochum

Keywords: Objekterfassung, Architekturvermessung, Aufnahmeverfahren, Handaufmaß, Photogrammetrie, Laserscannen, Tachymetrie, Bauanalyse, Denkmalpflege, Bauvermessung, Baudokumentation

Summary: When recording the geometric data and image data of objects we may distinguish between three main fields: First, there are different sectors that use surveying, i.g. architecture or facility management. Secondly, the following very different surveying methods are available to extract the various essential parts of the objects: the traditional manual measurement method, photogrammetry, laserscanning and tacheometry. Finally, we expect rather different results from these measurements, for example plans, visualisations, projections. An analysis of these three fields and the interactions between them is given. Reflections about advantages of a better coaction of the diverging fields and about a further sustainability in the use of the data are made.

1. Allgemeine Überlegungen

Die vorliegende Abhandlung ist als Orientierungshilfe gedacht und weniger als Empfehlung, wie bei der Objekterfassung im Einzelnen vorzugehen ist. Objekte sind hier Bauwerke und Bauwerkselemente im weitesten Sinne. Die Erfassung ihrer Geometrie steht im Vordergrund; die Aufnahme von nicht-geometrischen Objekteigenschaften, von



Sachdaten, ist weitgehend ausgeklammert. Es wird versucht, das umfangreiche und unübersichtliche Thema zu strukturieren und zu analysieren.

Abb 1; Wissen aus unterschiedlichen Bereichen als Grundlage zur

Bei der Objekterfassung wirken im wesentlichen fachgerechten Objekterfassung

Abbil-

dung 1): der Anwendungsbereich, in dessen Interesse die Objektaufnahme liegt – z.B. Denkmalpflege, Facility Management usw.), die Ingenieurvermessung einschließlich der Photogrammetrie, da sie die Aufnahmemethoden zur Verfügung stellt, und der Bereich der Darstellung der Ergebnisse, der Modellierung, mit seinen numerischen und visuellen Möglichkeiten. Eine qualifizierte Aussage über optimale Aufnahmemethoden ist kaum möglich, weil eine Vielzahl sehr unterschiedlicher Randbedingungen zu beachten ist. Entsprechend schwierig ist es, subjektive Erfahrungen zu verallgemeinern, die aus der Berührung mit unterschiedlichen Facetten des Gesamtkomplexes gewonnen wurden.

Der heutige Stand der Diskussion zum Thema Objektaufnahme zeigt Parallelen zum Prozess der Klärung und Festigung des Begriffs Ingenieurvermessung in den siebziger Jahren. In allen Teilgebieten tauchen Begriffe auf, die nebeneinander gebraucht werden und nicht klar definiert sind, z.B. maßlich, maßgerecht, maßstäblich oder fromtreu, verformungstreu, verformungsgetreu. Erfahrungsgemäß werden sich Standardbegriffe mit der Zeit von selber herausbilden.

Ausgehend von der Überlegung, was genau zu erfassen ist, über das Wie, also die praktische Messung am Objekt, bis hin zur Darstellung der Ergebnisse und zur Datenverwaltung berührt die Objekterfassung sowohl Hardware als auch Software. Der Bedarf der unterschiedlichen Anwendungsgebiete an den verschiedenartigsten Produkten des Erfassungsprozesses wächst stetig, denn Wünsche, die aus technischen und besonders aus Kostengründen nicht erfüllbar waren, sind aufgrund der Fortschritte auf technischem Gebiet nun realisierbar.

1.1 Von der Idee zum Produkt

In jedem der drei Gebiete (Anwendung, Vermessung, Darstellung) zeigt sich eine anwachsende Vielfalt mit der daraus resultierenden Vielzahl der möglichen Verknüpfungen zwischen verschiedenartigen Objekten, unterschiedlichen vom Auftraggeber nachgefragten Objekteigenschaften, in Frage kommenden Aufnahmemethoden und dem Spektrum möglicher Ergebnispräsentation. Dies macht die Thematik unübersichtlich und komplex.

Die logische Abfolge des Erfassungsprozesses ist in Abbildung 2 dargestellt. Gemäß der

Intention des Auftraggebers werden die aufzunehmenden Besonderheiten des Objekts

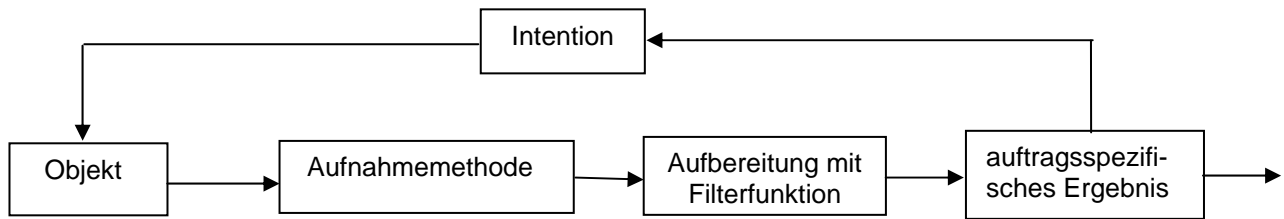


Abbildung 2 Objekterfassung: Von der Idee des Auftraggebers zum Endprodukt

mit einer hard- und softwaremäßig realisierten Aufnahmemethode erfasst, Wesentliches wird extrahiert und schließlich dargestellt. Die Präsentation des Ergebnisses beendet die Kette Objekt –Aufnahmemethode/Instrumentarium – Extraktion – Dokumentation/Darstellung aber nicht: Für den Auftraggeber beginnt dann die eigentliche Arbeit.

Soll die Vermessung den Ansprüchen voll genügen, so muss der Geodät lernen, mit den Augen des Auftraggebers zu sehen. Auch muss er oft, um überhaupt beauftragt zu werden, nicht-geometrische Merkmale mit erfassen, selbständig oder im Team: Es interessiert z.B. im Facility Management die Raumausstattung; die Fassadensanierung braucht die Lage der Bewehrung; dem Bauforscher ist die Art des Wechsels im Mauerverband wichtig usw.. Diese Sachdaten werden hier zwar ausgeklammert, man muss aber zumindest um ihre Bedeutung für den Nutzer des Ergebnisses wissen.

Zur Optimierung des Arbeitsablaufes ist die Kette also zunächst umzukehren und zu aller erst zu fragen: Was interessiert den Auftraggeber, wie will er die Information dargeboten haben, was genau ist dann wie aufzunehmen? Dies gilt auch, wenn es sich ausnahmslos um Geometriedaten handelt. Ein Pflichtenheft allein genügt nicht.

1.2 Zum Objektbegriff

Das Objekt lässt sich nicht vollständig mit allen seinen Eigenschaften erfassen, digitalisieren und in den Computer kopieren. Praktisch hat man immer eine Interpretation, Abstraktion und Extraktion bestimmter Eigenschaften, die den Nutzer interessieren und die die Grundlage bilden, um ein ganz nutzerspezifisches Modell zu erstellen. Konkret sind also nur diejenigen Elemente des Objekts aufzunehmen, für die näheres Interesse besteht (vgl. den Hinweis zum „Datensammeln“ in Kap.4). Man arbeitet demnach an definierten

Objektelementen. Erst die Summe aller Elemente würde das Objekt repräsentieren. Das Aussehen des Modells wird also primär durch die Auswahl des Anwenders festgelegt. Das Objekt hat als Pendant auf der Anwenderseite das Modell nach einer Ausdünnung gegenüber dem vollständigen Modell.

Das Objekt kann zu einer größeren Einheit gehören, wo es in einem anderen Zusammenhang ein zu extrahierendes Element sein kann, wie Abb. 3 am Beispiel verdeutlicht.

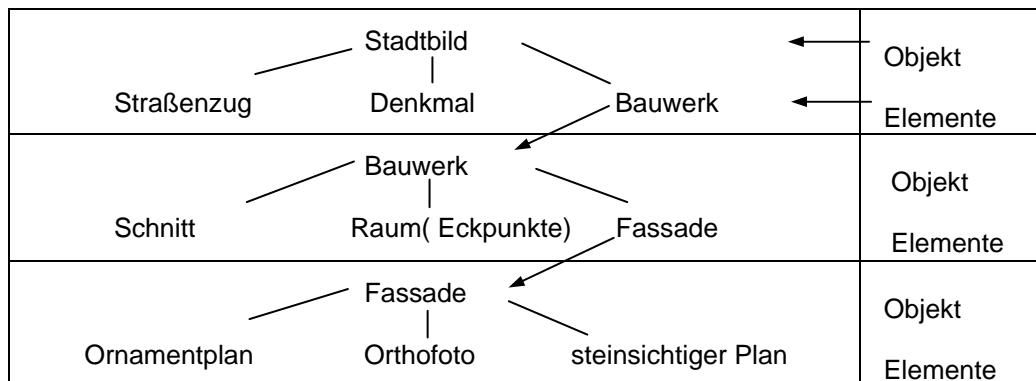


Abb. 3: Beispiel zur Objekthierarchie und zu Elementen einiger Objekte

Der Begriff „Objekt“ läßt sich aus vermessungstechnischer Sicht auch so definieren: Immer dann, wenn zur Ermittlung bzw. zur Darstellung des Ergebnisses ein einheitlicher Raumbezug nötig ist, ein einheitliches Koordinatensystem, kann man von einem Objekt sprechen.

Von Interesse mag auch die Aneinanderfügung bereits modellierter Objekte zu einer übergeordneten Einheit sein. Wie ist der Weg dorthin? Ist direkte Neuaufnahme sinnvoll oder Generalisierung? Auf welche Weise? Wie soll das Ergebnis benutzt werden? Einmalig oder für ein Monitoring? - Wie detailliert, wie genau, wie gründlich, was konkret im einzelnen erfasst werden muss, ist eine Frage der gewünschten und bezahlbaren Darstellungsform. Die Kosten sind der entscheidende Begrenzungsfaktor für Qualität und Detailtreue und damit auch oft für die Dauerhaftigkeit und Langlebigkeit der Ergebnisse (vgl. Kapitel 4). Ausgeklammert werden hier Objekte des Maschinenbaus (Fahrzeug, Flugzeug u.a.), in deren Umfeld Submillimeter-Genauigkeit gefordert ist, ebenso die zugehörigen Aufnahmeverfahren.

2. Anwendungsbereiche

Um das Thema in geordneter Weise anzugehen, wird hier eine Strukturierung anhand der unterschiedlichen Genauigkeitsanforderungen der verschiedenen Anwendungsbereiche vorgenommen. Fünf Gebiete werden betrachtet (Tabelle 1)

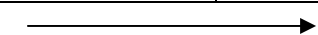
Anwendungs- bereiche	Baudokumenta- tion, Bauanalyse	Denkmalpflege, Architekturaufnah- me	Baufmass, Gebäudebestands - Erfassung	Facility Management	Anlagenbau, Apparatebau
Genau- igkeit	3 mm ... 1 cm	1 cm ... 2 cm	2 cm ... 5 cm	5.cm ... 10 cm	1mm ... 5 cm
	 Richtung abnehmender Genauigkeit				
Schlag- worte	porträtierend, analytisches Auf- maß	formtreu, verfor- mungsgetreu	architektenge- recht, idealisiert	flächengenau	Topologie

Tabelle 1 : Unterschiedliche Anwendungsgebiete

Die verfahrenstypischen Genauigkeiten sind exemplarisch aufgeführt sowie einige Fachbegriffe, die unter anderem diese Genauigkeit charakterisieren. Auf der Genauigkeitsskala befindet sich die – vergleichsweise - hochpräzise Baudokumentation an einem Ende der Skala und das geometrisch wenig exakte Facility Management am anderen Ende. Dazwischen ist Raum für allmähliche Übergänge. Auch ist zu beachten, wann es sich um absolute oder relative Genauigkeiten handelt. Eine Sonderstellung nimmt das große Gebiet der Industrievermessung, der Anlagen-, Apparate- und Leitungsdokumentation wegen der großen Schwankungsbreite der Genauigkeit ein.

Neben der Punktgenauigkeit interessiert die Flächen- oder Formgenauigkeit, d. h. die Qualität einer Oberflächenerfassung. Verfahren hoher Punktgenauigkeit sind nicht unbedingt geeignet, eine Form zu erfassen, wenn sie nicht schnell arbeiten. Der einzelne Messwert darf relativ breit streuen, die Form mag dennoch ausreichend gut erfasst sein (vgl. Scan-Verfahren). Daneben spielen die Güte der Punktdefinition bzw. die Reproduzierbarkeit einer Messung eine Rolle bei der Beurteilung und der Auswahl der Verfahren. Die Theodolit - Industrievermessung, die auf dem räumlichen Vorwärtsschnitt basiert, ist hier ausgeklammert. Man erhält zwar hochgenaue Einzelpunkt- Koordinaten, aber wegen des vergleichsweise großen Aufwandes und geringer Automationsmöglich- keiten kommt die Methode im nicht-industriellen Bereich nur in Sonderfällen zur

Anwendung, zum Beispiel bei der Fassadenvermessung. Ebenfalls ausgeklammert wird die automatisierte Variante, bei der ein Laser-Lichtfleck mit dem Mastertheodolit auf das Objekt projiziert und vom Slave detektiert wird.

In den einzelnen Anwendungsgebieten sind unterschiedliche Objekte zu erfassen und von diesen wiederum unterschiedliche Merkmale, womit wiederum unterschiedliche Genauigkeitsanforderungen verbunden sind. Die Anwendungsbereiche gemäß Tabelle 1 werden im folgenden skizziert, wobei der Schwerpunkt auf der Geometrie liegt.

- **Baudokumentation für Bauforschung und Bauanalyse**

Objekte (Elemente): Bauwerke und Fragmente der Antike, historische Bauwerke, Bauwerke bis in neuere Zeit, Fassaden, Skulpturen, Reliefs

Zweck der Aufnahme: Dokumentation zur Bewahrung, für Restaurierung, Bauforschung, Analyse der Entstehungsgeschichte

Fachrelevante Ergebnisse: Grundrisse, Bauwerksschnitte, Detailschnitte (z.B. durch Kapitelle, Säulen), Fassadenansichten, steinsichtige Pläne, Orthofotos (=aufgerichtete Fotos), detailgetreue 3D-Modelle.

In der Bauanalyse ist das Feld der nicht-geometrischen Attribute besonders groß und vielschichtig.

- **Denkmalpflege/Archäologie**

Objekte und Objektteile: wie bei der Baudokumentation, hier dient die Dokumentation nicht der Analyse, sondern der Archivierung und Konservierung. Damit hat man andere Forderungen an Genauigkeiten und andere Ziele.

Ergebnisse: Grundrisse, Schnitte mit Projektionen, steinsichtige Pläne, Fotos und Orthofotos, insbesondere für Restaurierungen; auch qualitativ hochwertige 3D-Modelle

Auch hier ist die Erfassung der Geometrie nur ein Sektor unter vielen, die von Interesse sind (z.B. Zustand des Objekts, Historie, Fresken, Plastiken). Archivierung und Fortschreibung der Daten führen zum Fernziel "Denkmalinformationssystem, Monitoring".

- **Architekturaufnahme/Bauaufmass**

Objekte: bestehende Bauwerke

Zweck der Aufnahme: Für das Bauen im Bestand werden aktuelle Pläne benötigt, also alte Pläne ergänzt oder neue Pläne erstellt.

Resultate: Grundrisse, Schnitte, Fassadenpläne, in zunehmendem Maße auch 3D Koordinaten zur weiteren Konstruktion mit gängiger Planungssoftware unter Rückgriff auf vorgefertigte Darstellungselemente aus Datenbanken.

- **Industrievermessung**

Objekte: Maschinen und Apparate (praktisch alle Größenordnungen), Anlagen. Klammert man das Gebiet aus, das der hochpräzisen Objekterfassung im Sektor Maschinenbau zuzurechnen ist, verbleiben zwei deutlich separierte Felder: Form- und Positionserfassung im (Sub-) Millimeterbereich einerseits sowie großräumige 3D-Erfassung von Industrieanlagen andererseits.

Ergebnisse: a) sehr detaillierte 3D-Modelle einzelner Aggregate

b) großräumige Visualisierungen zur Erleichterung der Planung, Verdeutlichung von Verfahrensabläufen und topologischen Zusammenhängen.

Die weit klaffenden Genauigkeitsangaben in Tabelle 1 rühren von den zwei divergierenden Bereichen her. Hier wird primär der Sektor der geringeren Genauigkeit tangiert.

- **Facility Management (FM)**

Der Begriff Facility Management (facility ist mit Anlagen, Einrichtungen zu übersetzen) umfasst alle Leistungen in Zusammenhang mit einem Gebäude als zu bewirtschaftendem Objekt. Der Schwerpunkt liegt auf dem Wort Management. FM beinhaltet also die zur Liegenschaftsverwaltung und -bewirtschaftung notwendige Erfassung von Geometrie und Ausstattung als Arbeitsgrundlage. Die Erfassungstätigkeit ist im Vergleich zu den Managementaufgaben in ihrer wirtschaftlichen Bedeutung nachrangig. Dennoch ist das Auftragsvolumen an Vermessungsarbeiten im FM wesentlich größer als der Umfang vermessungstechnischer Arbeiten in den anderen hier angesprochenen Bereichen. Meist sind die Anforderungen an die Qualität der Geometrie sehr gering - Flächenangaben stehen im Vordergrund - mit entsprechend niedrigem Erfassungsaufwand und geringen Ansprüchen an die Ausbildung des Messenden.

Braucht man Angaben zur Raumausstattung in geometrisch richtiger Lage (z.B. zu Steckdosen, Feuerlöschern) so steigt die Erfassungsqualität und damit der Preis (Stichwort: alle Dienstleistungen aus einer Hand). Oft kommt man aber ganz ohne Flächenangaben aus und geht nur über den Vergleich von Bauwerken anhand statistischer Parameter (Anzahl der Räume, Art der Belegung, Personalstärke, Aufgaben usw.). So sind ganz ohne die Erfassung der Geometrie akzeptable Ergebnisse zu erzielen. Nach Angaben großer Anbieter von Leistungen im Facility Management geschieht dies mit

einer Planungssicherheit von bis zu 95 Prozent. Erst wenn dieser Spielraum ausgeschöpft ist, wird man die restlichen fünf Prozent angehen, um noch Einsparungen z. B. an Energie- oder Reinigungskosten zu erzielen, d.h. die Gewinne des Anbieters zu vergrößern. Dann ist die Geometrie einzubeziehen, spätestens dann, wenn die Software im FM durchgängig mit dreidimensionalen Modellen arbeitet.

Es wird deutlich, dass die Anforderungen an die Erfassung in den fünf charakterisierten Bereichen, in denen die Objektaufnahme von Bedeutung ist, sehr unterschiedlich sind. Ist der Sektor der Aufnahmemethoden entsprechend anpassungsfähig?

3. Aufnahmemethoden

Im Wesentlichen kommen vier Aufnahmeverfahren in Frage: Handaufmaß, Photogrammetrie, polare Einzelpunktaufnahme und Scannen. Entsprechend der Intention, nachhaltig zu erfassen (vgl. Kap. 5), ist der Schwerpunkt also auf die originär dreidimensionale Aufnahme gelegt.

Die elektronische Distanzmessung spielt bei allen Methoden mit Ausnahme der Photogrammetrie eine hervorragende Rolle: Handaufmaß mit Handheld-Distanzmesser, Polarmessung und Scannen benutzen den Laser als Lichtquelle, wobei die typischen Lasereigenschaften – Monochromasie und Kohärenz- von untergeordneter Bedeutung sind. Weil die Faszination des Lasers nach Maimans Erfindung von 1960 immer noch ungebrochen ist, wird von Laser-Scannen gesprochen, obwohl sich das Distanzmessprinzip bei allen drei Methoden gleicht. Hier sei lediglich der Begriff Scan-Verfahren verwandt, um das Wesentliche zu betonen, nämlich das sehr schnelle, punktweise Abtasten des Objekts.

Ein gewichtiger Aspekt beim Vergleich der Verfahren ist der Zeitpunkt der Selektion des Wesentlichen, der Abstraktion: Bei Photogrammetrie und Scannen wird zunächst die ganze Umgebung quasi vollständig erfasst, jedenfalls Punkt neben Punkt; die Filterung zur Extraktion des Wesentlichen erfolgt zu einem späteren Zeitpunkt. Bei Handaufmaß und Tachymetrie sind von vorneherein nur diejenigen Punkte interessant, die zur Beschreibung des Objekts für wichtig erachtet werden. Ort und Zeitpunkt des entscheidenden Extraktionsvorganges sind bei den beiden Gruppen also – im Grundsatz- verschieden. Diese Unterscheidung ist für den Einsatz der Methoden in manchen Bereichen von

vorrangigem Interesse, zum Beispiel bei Baudokumentation, Bauforschung und Denkmalpflege, wo Nuancen geometrischer Besonderheiten nur vor Ort richtig erkannt werden.

Stichworte	Punktextraktion / Filterung		Stichworte
	vor Ort, vor der Messung	a posteriori, im Zuge der Bearbeitung	
Bandmaß, Lot, Handheld-Distanz- messer, Teleskopstab	Handaufmaß	Photogrammetrie	Foto, Réseau- kamera, Digital- kamera, Bündel- blockausgleichung
Totalstation berührungslos, PC-gesteuert	Tachymetrie	Scan-Verfahren	Polarelemente, Punktwolke, Entfernungsbild

Tabelle 2 : Die vier wichtigsten Aufnahmeverfahren

Man spricht von hybriden Verfahren, wenn man das interaktive Zusammenspiel verschiedener Methoden meint, dagegen von Systemen, wenn unterschiedliche Geräte enger kombiniert sind. Die Geräte selbst werden auch als Sensoren bezeichnet, ein Begriff, der angebracht erscheint, wenn man mehr die Gerätehardware meint, die nur mit der nötigsten Software ausgerüstet ist. Die Unterscheidung der Aufnahmemethoden nach Tabelle 2 beruht also auf der Verschiedenartigkeit der Sensoren. Im Folgenden werden die vier Verfahren kurz, vorwiegend tabellarisch charakterisiert.

- **Handaufmaß**

Das Handaufmaß mit Lot, Zollstock, Schnurgerüst, berührungslos arbeitendem Handheld-Distanzmesser oder Bandmaß ist das älteste Verfahren. Das Objekt sollte mit Rücksicht auf die Varianzfortpflanzung nicht zu ausgedehnt sein.

Vorteile	Nachteile	Anwendung	Besonderheiten
schnell einsetzbar, Ergebnisse sofort, preiswertes Instrumentarium,	„Insel“-messungen, ungünstige Varianzfortpflanzung, vergleichsweise aufwändiger Weg zum Plan, kein natürlicher Koordinatenbezug	Facility Management, Bauaufnahme zu Bauanalyse, Ergänzungs- und Kontrollmaße	grafisch basierte Computerunterstützung zur Konstruktion von Plänen unter Nutzung von Redundanz, Teleskopstange, Laserlot

Tabelle 3 : Das Handaufmaß

Das Handaufmaß wird ergänzend in den Einsatzbereichen der drei anderen Verfahren benutzt, besitzt aber noch zwei eigene Domänen: die Aufnahme von Innenräumen, sowohl verformungstreu als auch idealisiert, und das Facility Management. Die Innenraumaufnahme wird allerdings zunehmend tachymetrisch durchgeführt. Die Stärke im FM rührt von den dort niedrigen Genauigkeitsansprüchen und der raschen Erlernbarkeit der Arbeitsweise her. Erfassungsprogramme für rechnergestütztes Handaufmaß bieten Kartierungs- und Koordinierungshilfe, so dass man auf der Grundlage einfacher Skizzen, auch online mit elektronischem Handheld-Distanzmesser, zu brauchbaren Resultaten kommt.

- **Photogrammetrie**

Die Nahbereichsphotogrammetrie ist in allen Gebieten der Objektaufnahme zu Hause. (Tabelle 4). Zwei Bereiche graduell unterschiedlichen Anspruchsniveaus sind zu unterscheiden: Einbildphotogrammetrie, verknüpft mit den Schlagworten " Entzerrung, Orthofoto, Aufrichten " und Mehrbildphotogrammetrie mit den Begriffen " Stereobild, Bildverband, Bündelblockausgleichung u.a.". Eine solche Unterscheidung ist z.B. für

Vorteile	Nachteile	Anwendungen	Ergänzungen
Zeitaufwand vor Ort gering, preiswerte Ausrüstung, visualisierungsfreundlich, in Sonderfällen Erfassung von bewegten Objekten (Kameraset stationär)	Passpunkte, Referenzierung braucht Textur (Kontrast), Auswertung i.a. a posteriori, Schnittbildung u.U. schwierig, gute Ausleuchtung erforderlich	Architektur, Denkmalpflege, Bauforschung, Industrievermessung, Fassadenaufnahme, Visualisierung	Digitale Photogrammetrie, Matching ermöglicht Automation, Online-Anwendungen, Panoramaerstellung

Tabelle 4 : Photogrammetrie

den Architekten, der Baudokumentation betreibt, von Interesse. Bisher gab sich der Nichtfachmann i.a. mit Einzelbildauswertung zufrieden, also der Entzerrung von Photos weitgehend ebener Flächen. Dies ändert sich rapide, seit es leistungsstarke semiprofessionelle bzw. Software für den Amateurbereich zur Koordinatenbestimmung und zur Modellbildung gibt (z.B. Photomodeler der Fa. RSI).

- **Scan - Verfahren**

Die hier interessanten Methoden –der Bereich der Industrievermessung wurde eingangs ausgeklammert- arbeiten auf sehr unterschiedliche Art und Weise mit unterschiedlichen Anwendungsschwerpunkten. Hier werden drei Bereiche unterschieden, die sich im Einzelfall sehr stark überlappen können: der –auch- großräumige Bereich, der Bereich mittlerer Entfernung und der Nahbereich. In allen dreien ergibt sich über die Nutzung der gemessenen Geometrie hinaus ein erweitertes Anwendungsspektrum, wenn die Intensität des reflektierten Signals mit aufgezeichnet wird. Dann ist für eine Modellbildung nämlich gleich eine Textur verfügbar. Für eine fotorealistische Textur braucht man zusätzliche Bildinformation, bei manchen Produkten parallel aufgezeichnete Videobilder.

- a) Polare Messverfahren (großräumig einsetzbar)**

Diese Methoden haben die polare tachymetrische Punktbestimmung zum Vorbild, bei der Horizontalwinkel, Vertikalwinkel und Strecke gemessen werden. Der distanzmessende Strahl wird 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 (z.B. Callidus oder Riegl LMS–Z 210). Manche Geräte sind hierbei auf einen Sektor beschränkt; ermöglichen also kein Rundumscannen (z.B. Cyrax der Fa. Cyra/Leica). Als Ergebnis erhält man eine Wolke polarer Objektkoordinaten, zunächst ohne exakten Bezug zum Objekt. Wenig informative Werbung suggeriert einen fast automatischen Übergang von der Aufnahme zum vielfältig einsetzbaren Endprodukt; tatsächlich ist der manuelle Bearbeitungsaufwand aber noch sehr hoch.

Die Genauigkeit ist durch verschiedene Faktoren bestimmt, insbesondere durch zufällige und systematische Abweichungen bei der schnellen Distanzmessung, bei der über den Strahlquerschnitt endlicher Ausdehnung integriert wird. Vorteilhaft ist die hohe Erfassungsgeschwindigkeit von bis zu 1000 Punkten pro Sekunde. Verlässliche

Genauigkeitsangaben für den einzelnen Messwert gibt es nicht; Genauigkeitsangaben für einen extrahierten Punkt sind wegen der vielen unterschiedlichen Einflussparameter nur eingeschränkt möglich (eher im cm-Bereich). Um unterschiedliche Standpunkt-Koordinatensysteme aneinander zu fügen, werden häufig kugelförmige Referenzpunkte gescannt. Eine Übersicht über den sich rasch ändernden Markt findet man in (GIM 2001).

Vorteile	Nachteile	Anwendungen	Besonderheiten
sehr schnell, Kontrolle der Punktwolke in situ, keine Beleuchtungsprobleme	aufwändige Extraktion der objektrelevanten Punkte, Geräte voluminös, teuer	Anlagenerfassung, Bauaufnahme, FM, Formerfassung	trotz geringer Einzelpunktgenauigkeit gute Flächenerfassung, weil eine große Anzahl von Punkten vorliegt, geeignet zur Bestimmung ausgleichender Formen

Tabelle 5 : Polare Scan-Methoden mittlerer und größerer Reichweite (bis ca. 80 m)

b) Triangulations-Messverfahren (naher bis mittlerer Entfernungsbereich)

Diese Variante der Scanner arbeitet nach dem Triangulationsprinzip mit einer Basis fester Länge in Standpunkt. Ein Laserlichtfleck wird von einem Ende der Basis auf das Objekt projiziert und die Lage des reflektierten Lichtflecks meist auf einer CCD-Zeile am anderen Basisende detektiert (Prinzip des parallaktischen Dreiecks mit der Basis im Standpunkt). Die hohe Lagegenauigkeit im Nahbereich (Submillimeter) nimmt verfahrenstypisch überproportional zur Entfernung ab (auf z.B. ca. 3 mm bei 10 m). Um den kleinen Lichtfleck zu detektieren, braucht man ausreichende Signalintensität bzw. Kontrast. Entscheidend sind also die Reflexionseigenschaften und die Umgebungshelligkeit (Nachtarbeit beim Einsatz im Freien). Über Drehbewegungen um die Basis und Strahlableitung kann ein auf einige Dekagrade begrenzter Raumsektor ohne erneute Ausrichtung des Gerätes überstrichen werden. Das Resultat des Scannens ist eine Punktwolke wie unter a). Die Problematik des Matchings (Referenzierung), d.h. der Aneinanderfügen der Koordinatensysteme verschiedener Standpunkte wird auf unterschiedliche Weise gelöst (Beispiel: SOISIC Scanner der Fa. MENSI).

Vorteile	Nachteile	Anwendungsbereiche	Besonderheiten
hohe Genauigkeit im Nahbereich, hohe Punktdichte, vor Ort - Kontrolle	geringe Lichtstärke, Kontrastprobleme, mit der Entfernung überproportional abnehmende Genauigkeit	Erstellung von 3D-Modellen von Industrieanlagen, Apparaten, Skulpturen, Reliefs, Architekturdetails, Verformungen	Visualisierung auch von komplexen Objektstrukturen durch Verknüpfung mit Bildern, z.T. automatisiert

Tabelle 6 : Scan-Verfahren hoher Genauigkeit für den mittleren und den nahen Bereich

c) Handscanner (Nahbereich)

Die Scanner für die flexible Aufnahme im Nahbereich, d.h. mit einem Aktionsradius bei ca. 1m, weisen eine außerordentlich große Vielfalt an Funktionsvarianten auf. Die hier interessantesten 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 im Allgemeinen nach dem Triangulationsprinzip. Man hat verschiedenartige Verfahren zur Lokalisierung von Aufnahmeort und Abtastrichtung. (Beispiel: HLS-Handheld Laser Scanner der Fa. RSI).

Vorteile	Nachteile	Anwendungsbereiche	Besonderheiten
Millimeter- bis Submillimeter-Genauigkeit, hohe Punktdichte, z.T. extrem schnell, computerkontrollierte Aufnahme, Freihandscannen, schnelle Verfügbarkeit des Modells	Bei Magnetorientierung darf das Objekt kein Metall enthalten. Aktionsradius aller Verfahren sehr beschränkt, teuer	Apparate-, Gerätebau, Skulpturen, Reliefs, Architekturdetails, Verformungen, Archäologie, viele weitere, hier nicht relevante Anwendungsbereiche	sehr unterschiedliche Messverfahren, vieles in Entwicklung, Matching und Aufnahmemethoden teils materialabhängig

Tabelle 7 : Scan-Methoden für den Nahbereich

• Tachymetrie

Die tachymetrische Objektaufnahme beruht auf der polaren Einzelpunkterfassung und wurde seit dem Aufkommen der Totalstation stetig weiter entwickelt. Im hier anstehenden Kontext wird nur auf die reflektorlose, also berührungslose, Messmethodik eingegangen. Die Einzelpunktgenauigkeit ist mit wenigen Millimetern vergleichsweise sehr gut und homogen, praktisch unabhängig von der Objektgröße. Die Möglichkeit, reflektorlos mit PC-

Steuerung zu messen, hat die Anwendungs- und Automationsmöglichkeiten erheblich gesteigert (zur Entwicklung des Geräteprototyps und des Steuerungsprogramms an der Ruhr-Universität Bochum s. Scherer 1999)

Vorteile	Nachteile	Anwendungsbereiche	Besonderheiten
hohe absolute Punktgenauigkeit, u.a. automatisierte Erfassung von Eck-, Kantenpunkten, Schnitten und Profilen, universell einsetzbares, verbreitetes geodätisches Standard-Instrumentarium, Kontrolle von Vollständigkeit und Genauigkeit vor Ort	bei großen Punktmengen langsam, zur Aufnahme kleiner Objekte u. U. zu ungenau	Architekturerrfassung Denkmalpflege, Archäologie Bauforschung, Baudokumentation, Fassadenaufnahme Facility Management	Visualisierung in Verbindung mit Bilderfassung, insbesondere Einzelbildaufnahme automatisierbar, Kombination mit Kameras, flexible Adaption an Spezialaufgaben

Tabelle 8 : Reflektorlose, computergesteuerte Tachymetrie

Im Vergleich der besprochenen vier Methoden untereinander zeigen überall Stärken und Schwächen, die sehr unterschiedlich verteilt sind; darüber hinaus sind die Verfahrensweisen an sich außerordentlich verschieden. Gerade letzteres wird wohl der Grund dafür sein, warum es offensichtlich so schwer fällt, zwischen den Verfahren zu wechseln oder unterschiedliche Methoden nebeneinander zu verwenden. In den Anwendungsbereichen hoher Genauigkeit kommt hinzu, dass Nutzer aus der Baudokumentation, die der strikt porträtierenden Schule angehören, praktisch nur die vor Ort interpretierenden Verfahren Handaufmaß und Tachymetrie akzeptieren.

Will man optimale Ergebnisse erzielen, so wird man kaum mit einer einzigen Methode auskommen. Die Kombination der Verfahren liefert aber nicht nur die besten Ergebnisse; das enge Zusammenwirken der Methoden birgt neue erweiterte Operationsmöglichkeiten. Besonders die Kombination photogrammetrischer Elemente mit tachymetrischen Methoden eröffnet interessante Perspektiven, denn die Photogrammetrie arbeitet flächendeckend (vgl. Tabelle 2) und benötigt ohnehin Passpunkte. Die Tachymetrie ist dagegen von Haus aus vorzüglich zur Erfassung einzelner markanter Punkte oder Profile prädestiniert, die gerade die Charakteristika des Bauwerks beschreiben. Über das Programmsystem TOTAL, das Elemente beider Verfahren kombiniert, teils automatisiert und damit neue Möglichkeiten eröffnet, wurde mehrfach berichtet (Einsatz in der Fassadenvermessung: Juretzko, Scherer 2000 , Verwendung im Tunnel- und Leitungsbau:

Scherer 2000, Baudokumentation und Bauanalyse: Scherer 2001). Das System, basierend auf einer berührungslos messenden, PC-steuerbaren Totalstation, integriert ansatzweise wesentliche Elemente aus den hier näher behandelten Bereichen Tachymetrie, Photogrammetrie und Scannen.

4. Nutzerspezifische Ergebnisse

Im Spektrum der Möglichkeiten zur Präsentation der Ergebnisse der Objekterfassung lassen sich einerseits mehr traditionelle, andererseits eher moderne Resultate unterscheiden:

- traditionell: Grundriss , Aufriss, Ansicht in Form einer Zeichnung, Projektion, Flächenangaben
- modern: 3D-Koordinaten-Datei, 3D-Modell, Drahtmodell, Visualisierung, Explosionszeichnung, Panorama. Den numerischen zieht man vorwiegend visuell präsentierte Ergebnisse vor (Tabelle 9).

Primär numerische Darstellung	Primär visuelle Darstellung	
Numerische Daten	Strichzeichnung	flächenbelegte Visualisierung
Koordinaten, Maße, Flächen	Grundriss/Aufriss, Projektion, Fassadenbild, steingerechter Plan,	Panorama , 3 D-Modellierung mit Textur/Rendering, fotorealistisch
Alphanumerische Daten	Gittermodell, z.B. als Dreiecks-	Bewegung im Modell
Attributliste	vermaschung	geführt/frei

Tabelle 9 : Auszug aus der Vielfalt der vom Nutzer gewünschten Ergebnisse

Mit zunehmender Rechnerleistung wurden die traditionellen Präsentationsformen um die 3D-Modellierung erweitert. Gemessen am Aufwand hat man unterschiedliche Visualisierungsmethoden: von vergleichsweise sehr einfacher Vorgehensweise mit vorgefertigten Grundstrukturen (Quader, Kegel, Kugel) über die Auflösung von Konturoberflächen durch (Dreiecks)-Vermaschungen bis hin zu Modellierungen mit flexiblen, zweifach gekrümmten Oberflächen (z.B. auf der Grundlage von NURBS = Non-Uniform Rational B-Splines).

Ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal ist die Behandlung von Bruchkanten des Objekts. Objekte ohne scharfe Kanten- zum Beispiel Skulpturen -können automatisch ver-

mascht werden. Dann eignen sich besonders die entsprechend hoch auflösenden Scan-Methoden zur Aufnahme. Ansonsten müssen Kanten, also gerade die Charakteristika zur Beschreibung der Objektgeometrie, in einem gesonderten Arbeitsgang nachher - oder bei den sofort extrahierenden Methoden - im Zuge der Aufnahme - ermittelt werden.

Die Rendering zur fotorealistischen Präsentation, d.h. die Belegung des Koordinatenmodells (Draht-, Gittermodell) mit Textur geschieht mit Bildern des Objekts, ein Vorgang, der die Referenzierung identischer Punkte im Foto und im Drahtmodell verlangt, der aber unter Umständen in automatisierter Form in den Arbeitsprozess integriert werden kann. Fotorealistische Modelle erfreuen sich wegen der vergleichsweise naturgetreuen Wiedergabe zunehmender Beliebtheit. Tabelle 10 gibt einige Anwendungsbeispiele für die 3D-Modellierung, entweder Modelle der realen Umwelt oder rein virtuelle Modelle.

virtuelles Modell eines realen Bauwerks, also von bestehender Bausubstanz (fotorealistisch)	virtuelles Modell eines nicht existierenden Bauwerks, z.B. von historischer oder geplanter Bausubstanz
virtueller Rundgang (vorausberechnet oder frei), Grundlage zur Raumgestaltung, Werbung im Fremdenverkehr, Rahmen für ein Informationssystem, Grundlage zu Umplanung und zur Beurteilung von Veränderungen	Planungs-, Entscheidungshilfe mit realistischer Begehung zur Beurteilung des künftigen Erscheinungsbildes, Rekonstruktionshilfe in der Baugeschichte, "Geschichte erleben"

Tabelle 10 : Modelle realer und virtueller Bausubstanz für Animation und Simulation

Im allgemeinen wird der Aufwand für Aufnahme und Modellierung umso höher, je natur- und detailgetreuer eine Visualisierung, ein 3D-Modell, ist. Eine Kostensenkung auf dem Weg zum Modell kann nur durch eine weitgehende Automatisierung aller Arbeitsschritte erreicht werden. Dies erfordert Anstrengungen zur Verknüpfung der verschiedenartigsten Software von der Aufnahme bis zur Präsentation.

Wie bereits anfangs gesagt, wird sich die Aufnahme am gewünschten Resultat orientieren (vgl. Abbildung 2). Dies trifft im Allgemeinen tatsächlich - leider- zu: Im Facility Management reicht der grobe Grundriss zusammen mit einigen beschreibenden Angaben als bauwerkseitiger Eingangsdatensatz in das FM-Verwaltungssystem aus. Bei Wechsel der

Gebäude-Verwaltung gehen die Daten häufig verloren und werden später erneut erhoben. Steht eine Baumaßnahme an, sind Pläne fällig, also eine weitere, diesmal genauere (Teil-)Aufnahme. Nicht anders in der Denkmalpflege oder der Bauforschung: keine klaren Vorgaben zur Archivierung, Inselaufnahmen, Einzelfotos ohne Bezug usw. mit daraus resultierendem langfristig erhöhtem Aufwand.

Dies ist die Regel, nicht die Ausnahme. Informationsverlust und Neuaufnahme sind an der Tagesordnung. Häufig klappt es also zwischen dem, was der Auftraggeber, der "Nutzer der Erfassung", unmittelbar als Ergebnis haben möchte und dem, was ökonomisch wesentlich sinnvoller wäre. Das Gebot der Nachhaltigkeit wird allzu häufig nicht beachtet.

Während bei den traditionellen Darstellungsformen die numerischen noch klar zu trennen waren von den grafischen - heute noch weitgehend so in der Bauanalyse- haben inzwischen alle, sowohl die zahlenmäßigen als auch die visuellen Objektrepräsentationen, eine rein digitale Basis. Die digitale Grundstruktur umfasst alle Informationen, auch semantische, verbale und Bildinformationen. Alle Sachdaten lassen sich über die Geometrie auf Koordinatenbasis ordnen. Diese durchgehende Digitalisierung hat den Vorteil

- a) großer Objektivität (z.B. nicht abhängig vom Abbildungsmaßstab) und
- b) beliebiger Reproduzierbarkeit.

Damit lassen sich die Objektdaten jederzeit in neuem Zusammenhang wieder verwenden und fortführen. Sie eignen sich also hervorragend zum sukzessiven Aufbau eines Gebäudeinformationssystems (GebIS) bzw. Denkmalinformationssystems (MIS-Monument Information System) als Grundlage eines umfassenden Monitoring-Systems (vgl. Gebäudeinformationssystem 1995).

Vor diesem Hintergrund wäre es langfristig betrachtet bei vergleichsweise geringen Kosten im Sinne der Ökonomie wünschenswert

- a) möglichst viele Informationen zu sammeln und geordnet abzulegen für den späteren Gebrauch (vgl. neuere Versuche zur Vorgehensweise in der Denkmalpflege). Dies betrifft den *Inhalt* beim Aufbau eines Informationssystems,
- b) die Aufnahme von vorne herein so anzulegen, dass bei späterem Bedarf eine problemlose Ergänzung möglich ist. Voraussetzung hierfür ist es, sich auf ein bauwerkseigenes Passpunktfeld zu stützen, am besten auf jederzeit identifizierbare

natürliche Punkte. Versuche, auf diese Art in der Denkmalpflege vorzugehen, führten zu ermutigenden Ergebnissen. Dieser zweite Aspekt betrifft die *Datengewinnung*.

Auch Tendenzen in der Visualisierung scheinen diese Forderungen nach Datenbanken und deren Fortführung zu unterstützen: Der Trend zu immer größerer Detailtreue erzwingt nämlich auf die Dauer

- a) mehr Koordinatenstützung,
- b) fotorealistische Darstellung.

Wie man die Forderungen nach Nachhaltigkeit auf breiter Basis realisieren kann, steht dahin, sicherlich nicht ohne gewissen Druck seitens des Gesetzgebers. Die staatliche Denkmalpflege sollte vorangehen; auch im Umfeld des FM-Bereiches (Eigentümer, Verwalter) insbesondere öffentlicher Immobilien ist anzusetzen. Entsprechende Gesetze, wie sie in anderen Ländern bestehen, sind überfällig. Hier könnte die Datenpflege der Bereiche Kataster, Kartographie/Geoinformationswesen vorbildhaft sein, die die Aufbereitung, Aktualisierung und Bereitstellung von analogen und digitalen topographisch - kartographischen Informationen sowie die Weiterentwicklung der hierzu notwendigen Verfahren umfasst.

5. Fazit

Der Themenbereich ist umfangreich und komplex, so dass hier nur ein Teil, mit Schwerpunkt auf Aspekten der Geometrie, angerissen werden konnte. Die folgenden Punkte treten hervor:

1. Die Zuordnung von Objekten zu bestimmten Aufnahmeverfahren oder Darstellungsweisen ist kaum möglich.
2. Die Messverfahren bestehen nebeneinander und werden derzeit i.a. nicht kombiniert eingesetzt. Integration und Synthese der Aufnahmemethoden müssen verbessert werden.
3. Eine qualitativ hochwertige, rationelle Objektaufnahme bedarf fundierter Kenntnisse und Erfahrungen mit allen Methoden; man darf sich nicht auf spezielle Verfahren beschränken.
4. Die Synthese der Methoden setzt Synergieeffekte frei.

5. Der Auftraggeber möchte Ergebnisse aus einer Hand, nicht von unterschiedlichen Anbietern.
6. Als Arbeitsgebiet für den Geodäten ist die Objektaufnahme in dem hier beschriebenen Umfang ein Feld, das ausgedehnt genug scheint, um ein Spezialgebiet mit eigener Vertiefungsrichtung zu bilden, ähnlich den Ausbildungsgängen zu FM oder GIS.
7. Da sich Registrierung und Fortführung der Grundlagendateien erst langfristig ökonomisch auswirken, bedarf ein auf Nachhaltigkeit abzielendes Konzept gesetzlicher Grundlagen.
8. Das geometrische Grundkonzept bei einer Bauwerksaufnahme sollte stets so aussehen, dass man im Hintergrund den Aufbau eines Informationssystem anvisiert.
9. Auch bei Neubauten sind die Pflege und Fortführung der Bauwerksunterlagen zur Pflicht zu machen.
10. Im Interesse langfristiger Datennutzung ist es notwendig, dass alle Pogrammsysteme, auch im Facility Management, mit 3D-Modellen arbeiten.
11. Der Ausbau von Informationssystemen zu Monitoring-Systemen muss außer der Fortschreibung der geometrischen Daten auch die Fortschreibung und Analyse aller nicht-geometrischen Daten umfassen. Die Detektion von Veränderungen –von Geometrie- und Sachdaten- wird so quasi als Nebenprodukt ermöglicht.

Einige zukünftige Entwicklungen sind bereits jetzt abzusehen, besonders auf Seiten der digitalen Bildverarbeitung, Visualisierung und der Messtechnik. Neue Methoden der Distanzmessung führen zu einer erheblichen Zunahme der Messgeschwindigkeit beziehungsweise der Messsicherheit (automatische Plausibilitätsprüfungen bei hochfrequent variablen Modulationsfrequenzen). Auf Seiten der Bilderkennung wird schnelles automatisches Matching/Stitching außerordentlich schnelle Online-Vermessung ermöglichen. Alle diese technischen Entwicklungen dürften die Verschmelzung von Scannen, tachmetrischer Polarmessung und digitaler Photogrammetrie mit automatischer fotorealistischer 3D-Modellbildung begünstigen.

Literatur

Gebäudeinformationssysteme, Redaktion B. Schrader, Schriftenreihe des Deutschen Vereins für Vermessungswesen, Band 19, 1995

Gim International magazine for geomatics, GITC, Niederlande, January 2001, Seite 49 – 51

Juretzko, M., Scherer, M.: Ein System zur hochgenauen polaren Fassadenvermessung, Ingenieurvermessung 2000, XIII. International Course on Engineering Surveying, München 2000,

Scherer, M.: - Ein System zur Erfassung geometrischer und bildhafter Daten von Bauwerken. Vermessungswesen und Raumordnung, S. 285 - 298, Dümmler Verlag Bonn, 1999

- Cavity measurement and position determination in the construction of man-entry common ducts, 6. Internationaler Kongress Leitungsbau 2000, Hamburg, Verlag Hamburg Messe- und Congress-GmbH.2000, S. 528 - 537

- Ein System zur berührungslosen Erfassung geometrischer und bildhafter Bauwerksdaten, Seminar "Vom Handaufmaß bis High Tech – Aufnahmeverfahren in der historischen Bauforschung", Interdisziplinäres Kolloquium, Cottbus2000, im Druck