

Diplomarbeit

Thema: Erfurt, Johannesstraße, südlicher Teil. Computergestützte Techniken in der denkmalpflegerischen Analytik

Handbuch zur

Anwendung Computergestützter Techniken in der denkmalpflegerischen Bauaufnahme und Analytik

Vorgelegt zur Erlangung des akademischen Grades eines Diplom-Ingenieurs
an der Bauhaus-Universität Weimar, Fakultät Architektur
von Marcel Trommer, Matrikelnummer 970960
am 16. September 2002

Betreuung:

Lehrstuhl für Bauaufnahme und
Denkmalpflege in der Architektur
Prof. Dr. phil. Habil. Dr.-Ing.
Hermann Wirth
Dr. Paul Zalewski

Lehrstuhl für Informatik in der
Architektur
Prof. Dr.-Ing. Dirk Donath
Dipl.-Ing. Ulrich Weferling

Inhalt

1	Vorwort	3
2	Bauaufnahme für die Denkmalpflege	4
3	Methoden der denkmalpflegerischen Bauaufnahme	7
3.1	Quellenstudium	7
3.2	Bestandserfassung	10
3.2.1	Räumliche Modelle oder zweidimensionale Plandarstellung	11
3.2.2	Maßstab, Erfassungs- und Darstellungsgenauigkeit	14
3.2.3	Erfassung im übergeordneten Raumbezug	16
3.2.4	Erfassung der internen Raumbezüge	18
3.2.4.1	Handaufmaß	18
3.2.4.2	Digital gestütztes Aufmaß	19
3.2.5	Erfassung der geometrischen Eigenschaften	20
3.2.5.1	Handaufmaß	21
3.2.5.2	Digitales Aufmaß	22
3.2.6	Grenzen der digitale Aufmaßtechniken	25
3.2.7	Analoge und digitale photographische Dokumentation	26
3.2.8	Photogrammetrie	27
3.2.8.1	Entzerrung	28
3.2.8.2	Fachbezogene Auswertung entzerrter Photographien	29
3.2.8.3	Stereophotogrammetrie	30
3.2.8.4	Mehrbildphotogrammetrie	30
3.2.9	Erfassung nichtgeometrischer Eigenschaften	32

4	Digitales Gebäudemodell für denkmalpflegerische Zwecke	33
4.1	Strukturierung von digitalen Modellen für denkmalpflegerische Zwecke	35
4.2	Einbindung inhaltlicher Aussagen zum Bauwerk	38
5	Strategie für eine digital gestützte Bestandsaufnahme	40
5.1	Einordnung in einen externen, übergeordneten Raumbezug	41
5.2	Erfassung interner Raumstrukturen	42
5.3	Erfassung der geometrischen Eigenschaften	43
5.4	Erfassung nichtgeometrischer Eigenschaften	47
6	Schlußbemerkung	48
7	Abbildungen	50
Anhang		69
	Literaturverzeichnis	69
	Abbildungsverzeichnis	70
	Inhaltsverzeichnis CD-Rom	72
	Eidesstattliche Erklärung	73
	Auszüge aus der Bauaufnahme Johannesstraße Erfurt, südlicher Teil	Blatt 1-3
	Bauaufnahme Johannesstraße Erfurt, südlicher Teil	CD-Rom 1 und 2

1 Vorwort

Bei der Auseinandersetzung mit denkmalpflegerischen Aufgaben ist festzustellen, daß heute gängige digitale Arbeitswerkzeuge für Bauplanung und Vermessung kaum Anwendung finden. Das Werkzeug „Computer“ wird hier vorwiegend als Zeichen- und Schreibhilfe verwendet. In der denkmalpflegerischen Bauaufnahme scheint es bisher eher unüblich, den Computer als Werkzeug gleichberechtigt zu Papier und Bleistift zu nutzen, obwohl die auf dem Markt befindliche Technik sehr viel mehr als nur Text- und Bildbearbeitung zuläßt.

Seitens der Computer- und Vermessungstechnik versucht man mit immer genaueren und technisch aufwendigeren Verfahren in das Gebiet der Denkmalpflege vorzudringen und manuelle Techniken durch digitale zu ersetzen. Dabei werden jedoch die Anforderungen der denkmalpflegerischen Arbeit kaum erkannt und berücksichtigt. Die denkmalpflegerische Bauaufnahme und Analytik ist ein Prozeß des Annäherns. Bei der elektronischen Datenerfassung und Bearbeitung kommt es aber weniger zu einem Kontakt mit dem Objekt selbst. Das Bauwerk wird nicht mehr mit den Händen, sondern mit Laserlicht und Mikrowellen abgetastet oder mit Hilfe von Photographien ausgewertet. Bedenken seitens der Denkmalpfleger, bei der Arbeit mit digitalen Werkzeugen den Bezug zum Bauwerk zu verlieren, scheinen daher begründet und lassen sich nicht durch technisch aufwendigere und immer kompliziertere Techniken ausräumen. Deshalb kommt es darauf an, bewährte und finanzierbare technischen Hilfsmittel so in den denkmalpflegerischen Bauaufnahme- und Analyseprozeß zu integrieren, daß der Bauaufnahme-prozeß umfassender und effizienter gestaltet werden kann und trotzdem der Bezug zum Bauwerk gewahrt bleibt oder besser noch verstärkt wird.

Die Denkmalpflege muß sich zukünftig vermehrt mit modernen Werkzeugen und Techniken auseinandersetzen und diese anwenden. Es sind daher zunehmend Fachkräfte notwendig, die neben einem fundierten Fachwissen

auf dem Gebiet der Computer- und Vermessungstechnik auch das nötige Einfühlungsvermögen in denkmalpflegerisch wertvolle Bausubstanz haben.

Die vorliegende Arbeit soll Anregung sein, sowohl die Vorteile klassischer als auch moderner Arbeitstechniken und Werkzeuge zusammen zur Erhaltung wertvoller historischer Bausubstanz einzusetzen. Es geht nicht darum, einseitig die eine oder andere Art der Bauaufnahme zu vertreten und die eine durch die andere ersetzen zu wollen. Es soll vielmehr gezeigt werden, daß Nachteile in der einen und in der anderen Methode durch den Einsatz verschiedenster Techniken ausgeräumt werden und die Möglichkeiten in der denkmalpflegerischen Bauaufnahme und Analyse durch die Kombination verschiedener Arbeitstechniken erweitert werden können.

Dazu wurde im Rahmen dieser Arbeit am Beispiel eines Abschnittes der Johannesstraße in Erfurt untersucht, wo die Stärken und Schwächen einer digital gestützten Bestandserfassung liegen. Besonderes Augenmerk lag dabei auf möglichen Verbindungen computergestützter und klassischer Aufmaßmethoden.

Im vorliegenden Text wird zunächst ein Überblick zu den Aufgaben der denkmalpflegerischen Bauaufnahme gegeben und anschließend näher auf die einzelnen Techniken und deren Stellenwert für die Bauaufnahme eingegangen. Zusätzlich werden die Präsentationsformen der digitalen Bestandsaufnahme auf ihre Tauglichkeit für denkmalpflegerische Zwecke untersucht. Im letzten Teil werden dann Möglichkeiten aufgezeigt, wie verschiedene Bauaufnahmetechniken für die Bestandserfassung historischer Gebäude sinnvoll kombiniert und eingesetzt werden können. Ergänzend werden im Bildteil Beispiele aus der Bauaufnahme einiger Häuser der Johannesstraße in Erfurt aufgeführt, um die Problematik und verschiedene Lösungsmöglichkeiten zu veranschaulichen.

2 Bauaufnahme für die Denkmalpflege

Ziel der Denkmalpflege ist es, historisch wertvolle Bausubstanzen und Strukturen aufzudecken und alles für die Erhaltung derselben zu tun. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, diese gründlich zu dokumentieren und zu

analysieren. Die Bauaufnahme muß dabei verschiedenen Anforderungen gerecht werden, angefangen von der Denkmalerfassung, Stadt- und Ortsbildanalyse bis hin zu Untersuchungen von Material und Gefüge, manchmal auch bis ins mikroskopische Detail.

Um den denkmalpflegerischen Wert eines Bauwerkes zu ermitteln, müssen historiologisch und axiologisch relevante Informationen gesammelt und ausgewertet werden. Dabei werden die Baugestalt und ihr Bezug zu anderen historischen Gebäuden sowie Konstruktion, Gefüge und Material untersucht, auf Mängel und Schäden überprüft und dokumentiert. Das geschieht vor allem in Hinblick auf die Wiederherstellung und Pflege des Denkmals. Mit Hilfe der Bauaufnahme und Analytik wird eine denkmalpflegerische Zielstellung formuliert, der Denkmalwert und die Dringlichkeit denkmalpflegerischer Maßnahmen werden festgelegt und vermittelt (Abb. 1). Da aber die finanziellen Mittel meistens sehr begrenzt sind, kommt es gerade hier darauf an, sehr effektiv und preiswert zu arbeiten, was aber in keinem Fall bedeuten darf, daß Abstriche in der Qualität gemacht werden. Das trifft besonders auf die Bauaufnahme zu, da sie Grundlage für alle weiteren Schritte ist. Sie ist Planungsgrundlage für denkmalpflegerische Maßnahmen, Restaurierung, Sanierung, Umnutzung und Erweiterung. Als Bestandsdokumentation ist sie Arbeitsmittel für die Wissenschaft und wird zur Beurteilung des Denkmalwertes gebraucht. Mit der denkmalpflegerischen Bauaufnahme und Analyse kann das Denkmal als solches erst erkannt, erklärt und gepflegt werden. Berücksichtigt werden kann dabei nur das, was durch die Bauaufnahme dokumentiert wurde. Die Qualität der Bauaufnahme kann dabei einen unmittelbaren Einfluß auf die Qualität der ihr folgenden denkmalpflegerischen Bewertung und Maßnahmen haben ¹.

Neben der Bedeutung für wissenschaftliche, bautechnische und restauratorische Arbeiten ist die Bauaufnahme auch Grundlage für die Öffentlichkeitsarbeit. Letztere ist für eine Vermittlung komplizierter denkmalanalytischer Zusammenhänge und denkmalpflegerischer Werte an

¹ Vgl. W. Schmidt, S. 14-16

ein breites Publikum wichtig und zielt außerdem darauf ab, finanzielle Unterstützungen zu verschaffen und Stiftungsinitiativen anzuregen.

Um eine qualitativ hochwertige Bauaufnahme effektiv und preisgünstig durchführen zu können, muß man dafür verschiedene Methoden kennen und deren Leistungsfähigkeit beurteilen können. Es ist wichtig, für jeden vorzunehmenden Arbeitsschritt das am besten geeignete und effektivste Werkzeug auszuwählen.

Für eine individuelle Behandlung und Beurteilung eines Bauwerkes im Hinblick auf den Denkmalwert, ist eine dementsprechend umfangreiche und genaue Dokumentation anzustreben. Die Vorgehensweise einer Bauaufnahme ist dabei immer wieder neu auf das jeweilige Objekt und die Umstände anzupassen.

Grundsätzlich besteht die denkmalpflegerische Bauaufnahme aus zwei Teilen, dem Quellenstudium und der Dokumentation des Bauwerkes (*Abb. 1*). Das Quellenstudium wird in der Regel der Bauwerksdokumentation vorangestellt. Dies ist aber keine feststehende Bedingung, denn nicht immer können die Quellen rechtzeitig erschlossen werden. Quellenstudium und Bauwerksdokumentation müssen auch als Teilbereiche der denkmalpflegerischen Bauaufnahme und Analyse verstanden werden, die sich gegenseitig bedürfen und in ständiger Wechselwirkung stehen. Einerseits kann das Bauwerk erst durch die Informationen aus den Überlieferungen richtig verstanden und dokumentiert werden und andererseits können die Quellen nur richtig gedeutet und ausgewertet werden, wenn man das Bauwerk kennt.

Bei der Dokumentation des Bauwerkes ist es zweckmäßig, vom Großen ins Kleine, bzw. ins Detail zu gehen. Diese Reihenfolge empfiehlt sich, weil die Detailaufnahme ohne den Blick auf das Ganze für eine Analyse wertlos und auch nicht immer durchführbar ist. Es sind aber auch hier Ausnahmen möglich. Manchmal lassen es die Gegebenheiten nicht zu, daß die genannte Reihenfolge eingehalten wird. Der Bauaufnehmende muß dann entsprechend flexibel sein, um die Dokumentation in einem angemessenen Zeitrahmen durchführen zu können, weil gerade die Zeit eine wichtige Rolle beim Erhalt historischer Bausubstanz spielt.

Im Folgenden werden klassische und moderne, digital gestützte Techniken der Bauaufnahme gegenübergestellt und ihre Eignung für die eine denkmalpflegerische Bauaufnahme untersucht und bewertet.

3 Methoden der denkmalpflegerischen Bauaufnahme

3.1 Quellenstudium

Beim Quellenstudium werden Informationen gesammelt, die Relevanz in der denkmalpflegerischen Analytik besitzen, das heißt Informationen, die unter dem Aspekt der Baugeschichte zusammengefaßt werden können².

Quellen sind alle erdenklichen Arten von Archivgut, Texten, Bildern und Sprachgut. Die wichtigste Quelle ist aber das Bauwerk selbst. Der analytische Umgang mit dem Bauwerk sei aber an dieser Stelle zurückgestellt, da er zu einem späteren Zeitpunkt gesondert erläutert werden soll.

Für die Erschließung der Quellen gibt es verschiedene manuelle und digitale Methoden. Bei der Entscheidung, welche Art zur Informationsgewinnung und –aufarbeitung angewandt werden soll, sind verschiedene Faktoren von Bedeutung. Es muß gründlich überlegt werden, welche Methoden eingesetzt werden können und dürfen. Es ist ebenfalls entscheidend, wie die Informationen am effektivsten herausgearbeitet werden können und wo sie dann hinterlegt und gespeichert werden sollen (*Abb. 2*). Die Art der Wissensspeicherung sollte möglichst mit den Techniken der Verarbeitung und Aufnahme korrespondieren.

Bei der Aufarbeitung von Archivmaterial ist der Entscheidungsspielraum zur Auswahl geeigneter Methoden oft nicht sehr groß. Archivmaterial kann und darf in den meisten Fällen nur eingesehen werden, da die starke Lichteinstrahlung durch Kopiergeräte oder Scanner zu einem beschleunigten Verfall dieser Materialien führen würde. In diesem Fall müssen die Informationen auf klassischem Wege erschlossen werden, das heißt mittels

² siehe auch: J. Cramer; S. 141

Abschriften, Skizzen und gegebenenfalls auch Photographien. Dies ist zwar zeitaufwendiger, hat aber den Vorteil, daß man sich auf das Wesentliche beschränkt und damit im Gegensatz zur Anwendung digitaler Vervielfältigungsgeräte weniger Papier verbraucht. Der mit dem Einsatz moderner Technik einhergehende Papierverbrauch ist sowohl aus wirtschaftlicher als auch aus umweltpolitischer Sicht zu bemängeln. Dieser ist nämlich in der Regel um ein Vielfaches größer. Moderne Vervielfältigungstechniken verleiten geradewegs dazu, mehr Material als erforderlich zu kopieren und zu drucken.

Ist das Material uneingeschränkt zugänglich, sollten neben den klassischen, unbedingt auch digitale Techniken zur Erschließung genutzt werden. Im Bereich der Bauplanung zeichnet sich eindeutig ein Trend zur digitalen Wissensverarbeitung und Datenübertragung ab. Der Einsatz digitaler Technik auf diesem Gebiet ist dabei nicht nur eine Folge einer allgemeinen Tendenz, sondern bringt tatsächlich viele Vorteile mit sich. Digitale Methoden bieten zum Beispiel mehr Möglichkeiten der Wissensstrukturierung und Vernetzung. Bei großen Datenmengen kann damit die Verwaltung wesentlich vereinfacht werden. Zudem lassen sich von den digitalen Daten beliebig viele gleichwertige Kopien für die weitere Bearbeitung anfertigen.

Ein weiterer Vorteil eröffnet sich bei der digitalen Erschließung von Quellen durch die mögliche Weiterbearbeitung mit leistungsfähigen Bildbearbeitungsprogrammen. Mit diesen kann es sogar gelingen, auf dem Original kaum mehr wahrnehmbare Informationen so zu verstärken und hervorzuheben, daß sie wieder gut lesbar werden. Dafür sind technisch hochwertige Digitalisiergeräte notwendig, mit denen es möglich ist, die Dokumente ohne Informationsverluste digitalisieren zu können. Für den Bereich kleinformatiger Vorlagen gibt es bereits sehr preiswerte Scanner, die ein für die digitale Erschließung hinreichendes Auflösungsvermögen bieten, um Dokumente fast verlustfrei digitalisieren zu können. Anders verhält es sich mit großformatigen Plandarstellungen und Bildern. Die dafür notwendigen Geräte zum Digitalisieren sind in der Anschaffung für den Einzelanwender finanziell zu aufwendig. Hier muß dann auf die Angebote spezialisierter Firmen zurückgegriffen werden. Diese besitzen die nötige Technik und können diese

wirtschaftlich effektiv ausnutzen³. Die Genauigkeit der Scannertechnik ist hinreichend gut. Beim Vergleich von ausgedruckt und wieder eingelesenen Plänen mit der Originaldatei sind Fehler in Form von Verzerrungen festzustellen, die im Bereich von Fehlern, die durch den Papierverzug entstehen, liegen. Treten Verzerrungen auf, kann man diese nachträglich anhand von Seiten- und Diagonalmaßen der Originalpläne mit einer Entzerrungssoftware ausbessern. Möglich ist auch die Entzerrung anhand von Maßangaben in Plandarstellungen, wobei aber genau kontrolliert werden muß, ob es dadurch zu Verfälschungen von Informationen kommt.

Werden die Pläne an eine spezialisierte Firma zum Einscannen weitergegeben, muß darauf geachtet werden, daß auch dort mit der nötigen Sorgfalt gearbeitet wird. Die Qualität verschiedener Dienstleister kann sehr unterschiedlich sein. Oftmals werden die Aufträge nur sehr nachlässig ausgeführt und die Vorlagen sehr unsanft behandelt (Abb. 4).

Das Scannen von Dokumenten ist in unterschiedlichen Auflösungen und Farbtiefen möglich, was sich neben der Größe der Vorlagen auch auf den Preis niederschlägt. Entscheidend ist aber, wie gut das Bild weiterverarbeitet werden kann und daß möglichst keine Informationen verloren gehen. Diese beiden Bedingungen verhalten sich zueinander allerdings umgekehrt proportional. Ein mit höchster Auflösung und Farbtiefe gescanntes Bild kann für die Weiterverarbeitung unbrauchbar werden, weil es zu viel Speicherplatz verbraucht und seine Bearbeitung die Systemressourcen des Computers überfordert. Verringert man dagegen Farbtiefe und Auflösung, wird die weitere Bearbeitung und Speicherung des Bildes zwar einfacher, gleichzeitig gehen aber auch Informationen verloren (Abb. 5-7). Es muß demzufolge ein vernünftiger Kompromiß zwischen Informationsgehalt und Größe des Bildes gefunden werden. Das geschieht am besten durch Probieren. Dies ist natürlich im Fall von großformatigen Bildern schwierig, da man auf Dienstleistungen spezialisierter Firmen angewiesen ist. Handelt es sich aber um kleinere Bilder, Zeichnungen und Skizzen, reicht schon ein normaler handelsüblicher Flachbettscanner, um hochwertige Bilddaten zu erstellen.

³ vgl. U. Klein, Kap. 2.1.5

Hier kann der Anwender selbst ohne großen finanziellen Aufwand die beste Methode zur Digitalisierung herausfinden.

Will man die gewonnenen Rasterdaten in eine Vektorgraphik umwandeln, was durchaus Vorteile für die weitere Bearbeitung hat, wird dafür eine spezielle Vektorisierungssoftware gebraucht. Diese funktioniert aber nur gut, wenn die Vorlage ausreichend kontraststark ist (Abb. 8 und 9). Für das Vektorisieren von verschmutzten, vergilbten oder verblichenen Zeichnungen wird für eine Nachbearbeitung sehr viel Zeit benötigt. In diesem Fall ist es sinnvoller, die Pläne im Zeichenprogramm zu hinterlegen und durchzuzeichnen (CAD-Overlay).

3.2 Bestandserfassung

Mit der Bestandserfassung wird ein Gebäude möglichst umfassend und objektiv in seinen Eigenschaften untersucht und beschrieben. Es lassen sich hierbei geometrische und nichtgeometrische Eigenschaften bzw. Sachdaten unterscheiden. Um die gewonnenen Informationen wiedergeben zu können, muß man sich für eine geeignete Darstellungsform entscheiden. Da im Bereich der Denkmalpflege ein Großteil der Informationen geometrischer Art ist, verwendet man hier geometrische Modelle zur Beschreibung. Für Eigenschaften, die nicht mit dem Geometriemodell wiedergegeben werden können, werden die Informationen mit anderen Methoden, wie beispielsweise textlichen Erläuterungen oder photographischen Abbildungen beschrieben und mit den geometrischen Informationen verbunden (Abb. 3).

Die Entscheidung, welche Art der Modellbildung verwendet und wie detailliert das Gebäude wiedergegeben werden soll, hat Konsequenzen für die Methoden der Bestandserfassung und sollte deshalb möglichst im Vorfeld geklärt werden. Wesentliche Entscheidungskriterien sind dabei beispielsweise der Detaillierungsgrad der Gebäudebeschreibung bzw. -wiedergabe sowie die Art der Weitergabe und Präsentation der Ergebnisse.

Bei der Bestandserfassung können sowohl traditionelle händische als auch moderne digitale Methoden angewendet werden. In den folgenden Kapiteln (3.2.1 – 3.2.9) werden verschiedene Erfassungsmethoden und

Darstellungsformen hinsichtlich ihrer Nutzbarkeit in der denkmalpflegerischen Bauaufnahme und Analytik vorgestellt und erläutert.

3.2.1 Räumliche Modelle oder zweidimensionale Plandarstellung

Bauwerke lassen sich sowohl zwei- als auch dreidimensional darstellen. In der denkmalpflegerischen Bauaufnahme und Analytik werden bisher überwiegend zweidimensionale Darstellungen auf Papier verwendet. Zeichnungen sind allgemein verständlich und außerdem mit einfachen Mitteln herstellbar. Mit Plandarstellungen werden einzelnen Sichten auf ein Bauwerk wiedergegeben. Dazu werden die darzustellenden Gebäudeteile gedanklich auf Ebenen projiziert. Möglich sind linien- oder flächenhafte Darstellungen, wobei die Anfertigung von Linienzeichnungen in der Bauaufnahme überwiegt.

Bei der Arbeit mit dreidimensionalen digitalen Geometriemodellen gibt es drei Möglichkeiten der Modellierung, das Drahtmodell, das Flächenmodell und das Volumenmodell.

Die einfachste Form ist die Erzeugung von sogenannten Draht- oder Linienmodellen. Dargestellt werden können Ecken und Kanten zwei- oder dreidimensionaler Geometrien. Flächen können ersatzweise durch Netze oder Gitter dargestellt werden. Da für eine Linie immer nur ein Anfangs- und ein Endpunkt gebraucht wird, läßt sich ein Linienmodell sehr einfach bei der tachymetrischen Bauaufnahme herstellen. Die Punkte werden durch den Tachymeter geliefert und der Computer braucht nur die Anweisung, diese zu verbinden⁴.

Nachteil des Linienmodells ist, daß der Raum zwischen den Linien nicht definiert ist. Es muß also aus der Geometrie der Kanten ersichtlich sein, ob es sich um einen negativen oder positiven Körper handelt, das heißt, ob es ein Zwischenraum oder ein Körper ist. Daraus ergeben sich gewisse Schwierigkeiten bei der Anfertigung von Schnitten und Rissen aus dem

⁴ vgl. U. Weferling, Kap. 4.3.2

dreidimensionalen Drahtmodell. In einem Drahtmodell gibt es keine verdeckten Linien. Linien, die in einer bestimmten Ansicht durch andere Baukörper verdeckt werden, müssen manuell ausgeblendet werden und Linien, die beim Schneiden von Körpern entstehen, müssen konstruiert werden. Der Aufwand hierfür ist aber nicht so groß und das, was sich zwischen den Linien befindet, ist recht einfach zu erkennen, zumindest dann, wenn man es selbst aufgemessen hat (Abb. 10).

Eine höhere Form des digitalen Modellbaus ist die des Flächenmodells. Darin werden die Flächen, die sich durch die begrenzenden Kanten eines Körpers ergeben, dargestellt. Für die denkmalpflegerische Bauaufnahme ist ein genaues Flächenmodell zu aufwendig, weil die Bauteiloberflächen in sehr viele kleine Flächen aufgelöst werden müßten, um ihre charakteristische Ausprägung hinreichend genau erfassen und darstellen zu können. Es gibt Aufmaßprogramme, die automatisch aus den ermittelten Werten Flächenmodelle erstellen. Dabei wird aber stark vereinfacht, zum Beispiel werden Wände als Ebenen betrachtet und Raumkanten entstehen durch Ebenenschnitt der Wandflächen. Für die denkmalpflegerische Bauaufnahme sind solche Modelle kaum verwendbar, da sie zu stark generalisieren.

Volumenmodelle sind am aufwendigsten und am kompliziertesten in der Herstellung. Da man es in der Denkmalpflege eher mit sehr differenzierten, stark gegliederten und auch deformierten Bauteilen zu tun hat, spielt die Volumenmodellierung in der Bauaufnahme kaum eine Rolle. Es gibt aber Einzelfälle, wo sich ein Volumen besser modellieren läßt als ein Drahtgitter, zum Beispiel bei der Modellierung von Gesimsen aus Stuck. Hier finden sich Analogien zum Herstellungsprozeß. Die Extrusion eines Profils entspricht der Formgebung von Mörtelzügen mittels Schablonen (Abb. 11 und 12).

Volumen- und Flächenmodelle finden ihre Anwendung im Bereich der Visualisierung und Animation. Genauigkeiten und Detaillierungsgrad spielen dabei eine untergeordnete Rolle, entscheidend ist der visuelle Eindruck[§].

[§] vgl. U. Weferling, Kap. 4.3.3.2

Die Entscheidung, ob zwei- oder dreidimensional modelliert wird ist davon abhängig, was als Endprodukt gefordert ist und was am ehesten den Arbeitsprozeß der Bauaufnahme unterstützt.

Derzeit spielt die Arbeit mit dreidimensionalen Modellen in der Denkmalpflege kaum eine Rolle. Gewünscht sind meistens sauber gezeichnete oder gedruckte Plandarstellungen, was in vielen Fällen ausreichend ist. Es ist sicher aus der Gewohnheit heraus einfacher, mit Plandarstellungen umzugehen und sich daraus die räumliche Struktur eines Gebäudes abzuleiten. Ein komplexes 3D-Modell zu überblicken, erfordert Übung. Die Denkweise muß sich erst an die ungewohnte Darstellung anpassen. Selbst wenn der Endnutzer lieber Zeichnungen verwenden möchte, hat die Arbeit mit einem 3D-Modell Vorteile für die Aufmaßtätigkeit. In dem Fall liegt es also in der Hand des Bauaufnehmenden, ob er den Weg über ein dreidimensionales Modell geht und daraus orthogonale Ansichten erstellt oder ob während des Aufmaßes auf Projektionsebenen reduziert wird. Für beides gibt es die entsprechende Software.

Ein Nachteil zweidimensionaler Plandarstellungen ist, daß Bauteile, die vorder Projektions- oder Schnittebene liegen, nicht mit in die Darstellung übernommen werden können. Das heißt, um ein Gebäude umfassend aufnehmen zu können, sind noch mehr Zeichnungen erforderlich. Zudem muß im voraus geklärt werden, wo die Projektions- und Schnittebenen liegen. Der Forderung nach Vollständigkeit einer denkmalpflegerischen Bauaufnahme ist nur mit großem zeichnerischem Aufwand nachzukommen.

Ein digitales dreidimensionales Modell gewährleistet hingegen die Sicht auf alle Teile des Gebäudes und somit eine gleichwertige Betrachtung aller Bauteile. Es ist also für eine möglichst lückenlose Erfassung geeigneter. Werden Plandarstellungen benötigt, lassen sich auch nach dem Bauaufnahme-prozeß noch die entsprechenden Projektions- und Schnittebenen festlegen und daraus Ansichten und Schnittdarstellungen ableiten. Qualitativ hochwertige Pläne lassen sich so aber nur manuell erzeugen. Die automatische Generierung von Rissen und Schnitten funktioniert nicht fehlerfrei, bei Drahtmodellen ohnehin nicht.

Ein weiterer Vorteil des dreidimensionalen Modells zeigt sich bei der Anbindung nichtgeometrischer Informationen. Die Verknüpfung ist überschaubarer weil jedes Objekt im 3D-Modell nur einmal auftaucht. In einem Plansatz muß es dagegen unter Umständen mehrmals gezeichnet werden, wenn es in verschiedenen Ansichten oder Schnitten sichtbar ist.

Trotz der aufgeführten Vorteile wird die digitale dreidimensionale Modellierung in der denkmalpflegerischen Bauaufnahme und Analytik bisher nur in geringem Maße genutzt. Demgegenüber werden in anderen Bereichen der Denkmalpflege, zum Beispiel in der Öffentlichkeitsarbeit und Werbung, Visualisierungen und Animation von 3D-Modellen häufiger verwendet. Diesem Trend liegt die Erkenntnis zugrunde, daß Wissen zur Baugeschichte und denkmalpflegerische Wertvorstellungen durch das neue Medium einfach und verständlich vermittelt und somit denkmalpflegerische Projekte besser präsentiert werden können. Mit berausenden hyperrealistischen 3D-Darstellungen und Filmen läßt sich ein breiteres Publikum ansprechen. Der Anteil von 3D-Visualisierungen könnte zukünftig aber auch in der denkmalpflegerischen Analytik größer werden. Mit 3D-Modellen lassen sich räumliche Bezüge zwischen verschiedenen Befunden leichter verstehensowie Bauphasen und frühere Erscheinungsbilder virtuell rekonstruieren. Die hohen Kosten von 3D-Visualisierungen könnten sich verringern lassen, wenn schon während der Bauaufnahme ein 3D-Modell entsteht und dies nicht nachträglich mühevoll aus Zeichnungen abgeleitet werden muß.

3.2.2 Maßstab, Erfassungs- und Darstellungsgenauigkeit

Für Plandarstellungen auf Papier richtet sich die Genauigkeit nach dem gewählten Maßstab der Darstellungen. Ein größerer Maßstab läßt auf dem Papier eine höhere Genauigkeit und detailliertere Darstellung zu. Die Genauigkeit richtet sich nach der dünnsten darstellbaren Linie. Darstellbar sind 5-6 Linien pro Millimeter, was zum Beispiel für einen Maßstab 1:50 bedeutet, daß bis auf einen Zentimeter genau dokumentiert werden kann.

Die Genauigkeit verschlechtert sich nachfolgend noch durch den Papierverzug.

Diese Überlegungen zur Genauigkeit lassen sich auf ein digitales Modell nicht übertragen. Bei der Erstellung des digitalen Modells werden die aufgemessenen Daten 1:1 übernommen. Die Genauigkeit hängt nur von der akuraten Eingabe der Daten ab, nicht aber von der Darstellung. Man spricht deshalb von der Erfassungs- und Meßgenauigkeit ⁶. Ein digitales Modell sollte daher nicht mit einer Maßstabs-angabe, sondern mit einer Angabe zur Erfassungsgenauigkeit versehen werden. Es ist aber auch ausreichend, die Aufmaßmethoden zu verzeichnen, weil damit auf die mögliche Exaktheit der Maße geschlossen werden kann.

Sollen orthogonale Ansichten aus dem Modell abgeleitet werden, ist es ratsam, eine Maßstabsleiste in wahrer Größe zu zeichnen und an eine geeignete Stelle, parallel zur Projektionsebene zu plazieren. Die Maßstabsleiste wird beim Ausdruck mit skaliert und gibt so immer den richtigen Maßstab an. Der Maßstab für den Ausdruck darf nur im Plotfenster oder Papierbereich angegeben werden, in keinem Fall aber im Modell selbst. Dies kann zu Fehlinterpretationen führen.

Der mögliche Detaillierungsgrad ist von der Erfassungsgenauigkeit und vom Auflösungsvermögen des Meßgerätes abhängig. Es muß an dieser Stelle aber darauf hingewiesen werden, daß das Auflösungsvermögen nicht mit der Genauigkeit gleichzusetzen ist. Eine Einteilung in Genauigkeitsstufen, die Bezug auf die Detailliertheit der Plandarstellung nimmt, sollte deshalb vermieden werden ⁷. Sinnvoller ist eine Unterteilung in Stufen der Detaillierung. Maße werden ohnehin mit der größtmöglichen Genauigkeit der Meßgeräte erfaßt und notiert.

⁶ Vgl. U. Weferling, Kap. 4.1

⁷ In Anbetracht fehlender verbindlicher Festlegung zur Anforderung an die Detaillierung und Exaktheit von Bauaufnahmeplänen, wird oft auf die Unterteilung in Genauigkeitsstufen zurückgegriffen, vgl. dazu U. Klein: Kap. 2.1.7 und U. Weferling: Kap. 3.4

3.2.3 Erfassung im übergeordneten Raumbezug

Für die baugeschichtliche Analyse und eine kunsthistorische Bewertung ist der örtliche Bezug zwischen verschiedenen Bauwerken wichtig. Oftmals lassen sich die Bedeutung bzw. der Wert des jeweiligen Bauwerkes erst durch das Wissen über den Transfer von Technologien und Gestaltungsideen der Baumeister beurteilen. Ein Raumbezug ist ebenfalls für die Inventarisierung, für Stadt- und Ortsbildanalysen und für die Einordnung in einen Bebauungsplan notwendig.

Anhand von feststehenden Objekten, die in einem Lage- und Raumbezug erfaßt sind, wird das aufzunehmende Objekt eingebunden, das heißt die Lagebeziehung wird über mehrere Größen ermittelt.

Die einfachste Möglichkeit ist die Lagebestimmung durch Adressierung (Land, Stadt, Straße, Hausnummer) und die Richtungsbestimmung mit dem Kompaß. Für die Einordnung in Karten reicht es in den meisten Fällen, die Beziehung zu den angrenzenden Gebäuden zu erfassen. Häufig läßt sich das Gebäude schon dadurch in einer Karte an die richtige Stelle schieben und drehen.

Für den Fall, daß mehrere Gebäuden in einem Bezug dargestellt werden müssen, keine angrenzenden Gebäude mit Bezug zu einem übergeordneten Koordinatensystem vorhanden sind oder höhere Genauigkeiten gefordert werden, muß die Lage eines Gebäudes mit Hilfe von eingemessenen Festpunkten in einem übergeordneten Koordinatensystem ermittelt werden. Solche Festpunkte werden von den Landesvermessungsämtern innerhalb trigonometrischer Netze und Nivellementnetze oder durch den Satellitenpositionierungsdienst bestimmt, vermarktet und verwaltet. Beim Landesvermessungsamt sind für jeden Punkt eine Lageskizze und die entsprechenden Koordinaten erhältlich. Unterschieden wird dabei zwischen Höhen- und Lagefestpunkten (Koordinatenfestpunkte) *.

Die Lage zu den Festpunkten wird mit Strecken- und Winkelmessung bestimmt. Um die Lage des Bauwerkes in einem übergeordneten System einordnen zu können, benötigt man mindestens zwei Koordinatenfestpunkte (Lage und

* vgl. Produktverzeichnis des Landesvermessungsamtes

Ausrichtung, Rechts- und Hochwert). Mit einem Tachymeter können die Strecken- und Winkelmessung kombiniert durchgeführt werden. Mit einem Theodoliten können nur Winkel gemessen werden. Ist kein geeignetes Meßgerät zur Distanzmessung verfügbar, können mit dem Theodoliten die Entfernungen über Winkelbeziehungen ermittelt werden (optische Distanzmessung) ⁹. Dieses Verfahren wird in der Praxis kaum noch angewendet, weil es sehr aufwendig und auch fehleranfällig ist.

Einfacher und sicherer ist die Messung mittels Tachymeter oder Totalstation. Diese messen die Entfernung elektrooptisch mittels Impuls- oder Phasenvergleichsverfahren. Die tachymetrische Winkel- und Entfernungsmessung hat neben der hohen Genauigkeit den Vorteil, daß die Daten nicht mehr manuell rechnerisch ausgewertet werden müssen. Die ermittelten Daten können direkt in ein CAD-System eingegeben und dort einer Ausgleichsrechnung unterzogen werden, falls dies nicht schon in einem geräteinternen Rechner des Tachymeters erfolgt ist ¹⁰.

Da mit den Koordinatenfestpunkten meistens keine absolute Höhenangabe verbunden ist, muß der Höhenbezug über einen weiteren Höhenfestpunkt hergestellt werden. Ist der Höhenfestpunkt mehrere hundert Meter entfernt und mit dem Tachymeter nicht direkt einmeßbar, kann die Höhe mittels Nivellement übertragen werden. Ein Nivellement ist effektiv und schnell von zwei Personen durchführbar. Demgegenüber wäre eine Übertragung der Höhen durch tachymetrische Messung zu aufwendig, weil dazu mehrere Festpunkte bestimmt und neue Standpunkte eingerichtet werden müßten.

Anhand der eingemessenen Festpunkte kann ein übergeordnetes Koordinatensystem aufgespannt oder ein fertiges Aufmaß nachträglich in das übergeordnete System eingeordnet werden.

⁹ vgl. B. Witte u. H. Schmidt, Kap. 6.1.1

¹⁰ vgl. U. Weferling, Kap. 5.2.1

3.2.4 Erfassung der internen Raumbezüge

Um Gebäudegruppierungen, Raumstrukturen und die Position von Bauteilen richtig darstellen zu können, müssen die Lagebeziehungen ermittelt werden. Das kann bei wenigen kleinen Objekten über Diagonalmessungen (unverschiebliche Dreiecke) geschehen. Ist eine Vielzahl von Objekten in Beziehung zu setzen oder ist die Raumstruktur stark gegliedert, wird es sinnvoll, ein rechtwinkliges Koordinatensystem einzurichten. Ein lokales Koordinatensystem wird mittels fester Punkte definiert bzw. aufgespannt. Wenn die Lagebeziehungen von den aufzunehmenden Objekten zu den Festpunkten ermittelt sind, hat man auch die Beziehungen der Objekte untereinander bestimmt.

Die möglichen Aufmaßtechniken für die Erfassung von Raumbezügen werden nachfolgend erläutert.

3.2.4.1 Handaufmaß

Stehen nur mechanische Meßgeräte zur Verfügung, muß ein lokales Koordinatensystem mit Hilfe von Fluchtstäben und Schnüren eingerichtet werden. Das Koordinatensystem wird dann durch Meßlinien und durch bekannte, markierte Punkte repräsentiert, die durch Diagonalmessungen oder rechtwinkliges Absetzen mit dem Pentagonprisma ermittelt wurden. Das entstandene Meßsystem ist ein ebenes System. Für Grundrisse wird es horizontal, für Ansichten und Schnitte vertikal ausgerichtet. Für mehrgeschossige Bauwerke wird die Verbindung der verschiedenen Meßsysteme durch lotrechte Schnüre hergestellt. Nachteil der Schnurgerüste ist, daß sie sehr anfällig gegen äußere Einflüsse sind.

Bei größeren Objekten muß durch Strecken- und Winkelmessung mit Maßband und Theodolit ein Festpunktfeld eingerichtet werden. Die Genauigkeit der gemessenen Koordinaten wird durch eine anschließende Ausgleichsrechnung bzw. Netzausgleichung erhöht. Innerhalb des Festpunktfeldes kann man Detailpunkte mit dem Rechtwinkelprisma auf durch das Festpunktfeld definierte Meßlinien aufwinkeln und einmessen

(Orthogonal- und Einbindeverfahren). Der Höhenbezug wird bei größeren Entfernungen mit dem Nivelliergerät hergestellt. Für kleinere Entfernungen reicht eine Schlauchwaage. Diese empfiehlt sich sogar besonders im Fall schwankender Fußböden und ungenügender Sichtverbindungen. Ein optisches Gerät wäre an dieser Stelle nutzlos ¹¹.

Für das manuelle Einrichten von Koordinatensystemen braucht man mindestens drei Personen, um Fluchtstäbe und Schnüre einzurichten und nebenbei noch den Feldriß oder das Feldbuch zu führen. Schnurgerüste können nur in abgesperrten Räumen, auf Straßen oder Plätzen eingerichtet werden, weil sonst die Gefahr besteht, daß die Schnüre durch Passanten oder Nutzer der Räume in ihrer Lage verändert werden und das Meßnetz somit unbrauchbar wäre.

3.2.4.2 Digital gestütztes Aufmaß

Für große Objekte ist es sinnvoll, ein Netz von geodätischen Festpunkten mit Hilfe optischer oder elektrooptischer Geräte einzurichten und die Koordinaten rechnerisch auszugleichen. Für die weiteren Messungen wird dann immer Bezug auf mindestens zwei Festpunkte genommen (Position und Richtung) und somit der lagerichtige Bezug der Messungen sichergestellt. Wenn möglich, führt man die Festpunktbestimmung tachymetrisch aus. Die gewonnenen Meßwerte werden im Gerät selbst oder direkt im CAD-System abgeglichen. Im digitalen Modell werden die Festpunkte durch Punktsignaturen mit den zugehörigen Bezeichnungen repräsentiert ¹².

Für die polygonometrische Punktbestimmung werden zwei Arbeitskräfte benötigt. Unter der Bedingung, daß die Meßgeräte ohne Aufsicht bleiben und Reflektoren mit einem zweiten Stativ aufgestellt werden können, kann der Arbeitsaufwand auch durch eine Person bewältigt werden. Dies ist jedoch zeitaufwendiger, weil bei der Einrichtung der Geräte längere Wege entstehen.

¹¹ vgl. U. Klein, Kap. 2.1.1

¹² vgl. U. Weferling, Kap. 4.2.3.2

Unter Umständen ist es nicht notwendig, ein geodätisches Festpunktfeld einzurichten. Wenn die Entfernungen nicht so groß sind und die Sichtbarkeit gegeben ist, kann man mit dem Tachymeter von dem ersten Standpunkt aus ein Netz von Paßpunkten einrichten, auf das im weiteren Meßverlauf immer wieder Bezug genommen wird. Die Paßpunkte werden vom ersten Standpunkt aus nur durch polares Anhängen ermittelt und sind somit unkontrolliert. Fehler können dadurch unentdeckt verschleppt und addiert werden. Es müssen deshalb genügend Punkte eingemessen werden, damit nachfolgende Stationierungen mit drei bis vier Punkten bestimmt, also ein- bis zweifach überbestimmt werden. Bei einer Onlinedarstellung der Meßergebnisse können fehlerhafte Punkte dann sofort entdeckt werden. Das kommt aber sehr selten vor, weil die Arbeit mit frei angehängten Paßpunkten sehr zuverlässig ist. Wird sehr sorgfältig gearbeitet und immer wieder der Bezug zu den ersten Paßpunkten hergestellt, kann damit eine ausreichende Genauigkeit der nachfolgend ermittelten Punkte erreicht werden. Im weiteren Verlauf eines Aufmaßes wird das Feld aus Festpunkten nach Bedarf weiter verdichtet bis zur Detailaufnahme.

Durch reflektorlose Tachymetrie und die Möglichkeit der Onlinedarstellung der Meßergebnisse auf einem tragbaren Computer ist es möglich, ein solches Meßnetz mit Paßpunkten allein durch eine Person zu realisieren. Weitere Arbeitskräfte zum Positionieren von Reflektoren und zum Führen eines Feldbuches sind nicht erforderlich. Die Einrichtung des Meßnetzes kann auch parallel zur Geometrieerfassung durchgeführt werden.

3.2.5 Erfassung der geometrischen Eigenschaften

Um die Form eines Gebäudes und seinen Bauteilen darstellen zu können, ist es notwendig, die geometrischen Eigenschaften zu erfassen. Für die Darstellung reicht es in den meisten Fällen, die Ecken und Kanten wiederzugeben, die durch die bauteilbegrenzenden Flächen gebildet werden. Für eine Kante wird im Idealfall jeweils nur ein Anfangs- und ein Endpunkt gebraucht, die durch eine gerade Linie verbunden werden. Weicht die Kante dagegen von ihrer Idealform ab, müssen so viele repräsentative Punkte auf der Kante in

ihrer Lage bestimmt werden, daß die Kante in ihrer spezifischen Gestalt exakt wiedergegeben werden kann. Da nun aber nicht unendlich viele Punkte eingemessen werden können, zum Beispiel bei stark zerklüfteten Formen, Ausbrüchen, Verwitterungen, Rissen usw., wird man sich beim Aufmessen auf so viele repräsentative Punkte beschränken, die es möglich machen, den Kantenverlauf mit Hand zu zeichnen, also zu porträtieren ¹³. Geübten Zeichnern gelingt es dabei, die Bauteilgeometrie in verblüffender Genauigkeit zu Papier zu bringen (Abb. 13 und 14). Von sehr großer Wichtigkeit für eine denkmalpflegerische, analytische Auseinandersetzung und Darstellung ist dabei die inhaltliche Aussage, zum Beispiel, ob die Kante eines Steines durch Verwitterung abgerundet oder durch Brandverletzungen gebrochen ist. Eine Genauigkeit bis auf den Millimeter wird dabei nicht gebraucht. Es muß gewährleistet sein, daß Form und Lage des Steines richtig beschrieben werden.

Ein Problem der Geometrieerfassung ist die Beschreibung von kantenlosen Körpern, also von Körpern mit gekrümmten Oberflächen. Hier fällt es schwer, charakteristische Punkte auszuwählen (Abb. 15). Beim Handzeichnen behilft man sich dadurch, daß die Projektion des Körpers auf eine Fläche dargestellt oder eine Schnittdarstellung angefertigt wird. Dadurch entsteht auf dem Papier eine für das Objekt charakteristische Umrißlinie. In einem 3D-Modell müssen an dieser Stelle entweder zweidimensionale Darstellungen (zweifelsfrei als diese identifizierbar) eingeblendet (Abb. 25) oder gekrümmte Flächen mittels engmaschiger Netze beschrieben werden. Für Letzteres muß aber abgewogen werden, ob der erreichbare Informationsgehalt den dafür größeren Mehraufwand rechtfertigt.

3.2.5.1 Handaufmaß

Unter Handaufmaß ist die Erfassung der Bauteilform und Lage mit einfachen Werkzeugen wie Maßband und Schnurlot zu verstehen ¹⁴. Dabei werden die

¹³ vgl. J. Cramer, S. 95

¹⁴ vgl. U. Weferling, Kap. 5.1

Maße immer auf eine Ebene projiziert. Maße können nur direkt abgenommen werden, wenn diese parallel zur Projektionsfläche oder Schnittebene liegen. Alle anderen Maße müssen auf eine Projektions- oder Schnittfläche mit rechtwinkligen Beziehungen oder Dreiecksmessung übertragen werden¹³. Die Auswahl der abzunehmenden Maße ist eng an die Darstellung auf Papier gebunden.

Für ein Handaufmaß werden zwei bis drei Personen benötigt, um Meßwerkzeuge anhalten und das Feldbuch führen zu können. Ersetzt man die mechanischen Werkzeuge durch elektronische Meßgeräte wie Elektronischen Distanzmesser (EDM), Laserlot und Laserwasserwaage, kann der personelle Aufwand noch minimiert werden. Es reichen dann ein bis zwei Arbeitskräfte, um die Meßgeräte zu bedienen und das Feldbuch zu führen.

Für eine denkmalpflegerische Bauaufnahme ist es von Vorteil, wenn die Risse vor Ort auf einen robusten Zeichenuntergrund gebracht werden. Fehlen beim Zeichnen Informationen, können diese sofort am Objekt eingeholt werden. Fehlerhafte Einträge im Feldbuch können sofort aufgedeckt und geklärt werden. Der Zeichner kommt damit nicht in Versuchung, die fehlende Informationen durch Generalisierung bzw. falsche Annahmen auszugleichen¹⁴.

3.2.5.2 Digitales Aufmaß

Die mit elektronischen Meßgeräten ermittelten Werte werden entweder manuell über die Tastatur oder automatisch in digitaler Form durch elektronische Datenübertragung (online) an ein CAD-System weitergegeben. Für ein digitales Aufmaß gibt es mehrere Möglichkeiten, die im folgendem beschrieben werden.

1. Streckenmessung mit elektronischem Distanzmesser: Mit einem Distanzmesser können einfache Gebäuderisse schnell und effektiv durch ein

¹³ vgl. J. Cramer, S. 22 u. S. 95

¹⁴ vgl. J. Cramer, S. 53

bis zwei Arbeitskräfte aufgenommen werden. Mit einer geeigneten Software wird der entsprechende Riß skizziert und Schritt für Schritt durch Streckenmessungen kontrolliert und verbessert. Lagebeziehungen werden durch Dreiecksmessungen hergestellt.

2. Winkelmessung mit elektrooptischem Theodolit und Distanzmesser: Die mit dem elektrooptischen Theodoliten ermittelten Horizontal- und Vertikalwinkel sowie die mit dem Distanzmesser ermittelten Entfernungen können ebenfalls an ein CAD-System übergeben und dort ausgewertet werden. Zur Vereinfachung des Meßvorganges wird der EDM am Zielfernrohr des Theodoliten angebracht. Diese Meßanordnung ist inzwischen technisch überholt. Aus der Kombination von Theodolit und EDM ist der Tachymeter bzw. die Totalstation entwickelt worden ¹⁷.

3. Kombinierte Winkel- und Streckenmessung mit Tachymeter oder Totalstation und Reflektor: Bei der elektronischen Distanzmessung wird vom Gerät ein Meßstrahl gesendet und durch einen Reflektor zurückgeworfen. Die Länge des Weges, den der Meßstrahl zurücklegt, wird durch Laufzeitmessung ermittelt. Um einen Punkt zu erfassen, muß also ein Reflektor aufgehoben werden ¹⁸. Das bedeutet wiederum, daß mindestens zwei Arbeitskräfte gebraucht werden, eine die den Tachymeter und einen eventuell angeschlossenen Computer bedient und eine Person, die den Reflektor auf die zu messenden Punkte aufhält. Die Genauigkeit ist davon abhängig, wie exakt der Reflektor über dem Punkt positioniert wird. Mit dieser Aufmaßtechnik können nur Punkte aufgemessen werden, die zugänglich sind.

4. Reflektorlose Tachymetrie: Durch eine Verbesserung der elektronischen Distanzmessung ist es möglich geworden, den von natürlichen Materialien reflektierten Anteil des Meßstrahles auszuwerten. Dadurch entfällt das Aufhalten eines Reflektors bei kleineren Geräten bis zu einer Entfernung von 60-80 Metern (Abb. 16).

Mit einem reflektorlos arbeitenden Tachymeter ist es möglich, alle sichtbaren Bauteilformen in kurzer Zeit zu erfassen. Die Lagebeziehung wird mit

¹⁷ vgl. B. Witte u. H. Schmitt, Kap. 8.4.3.1

¹⁸ vgl. B. Witte u. H. Schmitt, Kap. 6.2

Paßpunkten gewährleistet, mit deren Hilfe die Position und die Ausrichtung des Gerätes im Bezugssystem bestimmt wird. Je nach Möglichkeit werden die gemessenen Punkte notiert und in einer Punktskizze eingezeichnet oder im Gerät gespeichert und später an ein CAD-System übergeben. Im Idealfall werden die Punktkoordinaten direkt über eine Schnittstelle (also online über ein Datenkabel) an das mobile CAD-System übertragen und erscheinen im digitalen Modell (Abb.: 17). Werden die Koordinaten als Anfangs- und Endpunkte von Linien definiert, entsteht ein dreidimensionales Linienmodell. Dabei sind die Punkte im Modell eindeutige Abbildungen der gewählten Punkte am Bauwerk, die verbindenden Linien mehr oder weniger idealisierte Darstellungen von Bauteilkanten. Je geringer der Abstand zwischen den Punkten ist, desto genauer wird die Darstellung der Objektgeometrie (Abb.: 18). Ein wesentlicher Vorteil der reflektorlosen Tachymetrie mit gleichzeitiger Modellierung im CAD-System ist der geringe personelle Aufwand. Der Arbeitsablauf ist durchaus von einer Person zu realisieren und bei sorgfältiger Arbeit kann eine hohe Genauigkeit erreicht werden. Mit der Online-Darstellung der Meßergebnisse können grobe Fehler sofort ausgeschlossen werden. Geringere Meßwertabweichungen können nur durch Doppelmessungen oder Kontrollmessungen mit Distanzmesser oder Maßband aufgedeckt werden. Es ist deshalb empfehlenswert, zum Beispiel die Gebäudehauptmaße durch Messung von verschiedenen Standpunkten aus doppelt zu bestimmen. Falsche Einstellungen am Gerät können auch durch den Vergleich mit einer mittels Bandmaß gemessenen Länge aufgedeckt werden.

Weitere Vorteile bei der gleichzeitigen Erstellung eines digitalen Modells sind die Möglichkeit der direkten Eingabe von manuell ausgeführten Ergänzungsmessungen, die Aufnahme von nichtgeometrischen Eigenschaften in das Modell und die sofortige Verknüpfung von digital erfaßten Bilddaten. Werden die mit Hand aufgemessenen Daten auch sofort in das CAD-System eingegeben, können diese, äquivalent zum maßstäblichen Zeichnen vor Ort, sofort auf ihre Plausibilität hin überprüft

werden. Grobe Fehler fallen hier im Gegensatz zu einer vermaßten Skizze sofort auf ¹⁹.

3.2.6 Grenzen der digitale Aufmaßtechniken

Auch die modernste Technik hat natürlich ihre Grenzen. Um daraus resultierende Probleme kompensieren zu können, muß man die Grenzen und ihre Ursachen genau kennen.

Ein wesentlicher Faktor ist dabei die Abhängigkeit vom Wetter. Bei Regen oder zu starker Sonneneinstrahlung wird der Meßstrahl durch Regentropfen oder durch starke Temperaturunterschiede der Luftschichten abgelenkt. Die ermittelten Meßwerte wären somit fehlerhaft ²⁰.

Ein weiteres großes Problem sind Objekte, die die Sicht behindern. Steht zum Beispiel ein Baum vor einer Fassade, kann diese mit einem Meßstrahl nicht komplett abgetastet werden. In diesem Fall muß auf andere Aufmaßtechniken zurückgegriffen und damit ergänzt werden.

Bei der Arbeit mit historischer Bausubstanz trifft man oft auf einen unstabilen, schwankenden Untergrund, zum Beispiel schwingende Holzdecken. Das kann für die Aufmaßarbeit mit dem Tachymeter zum Problem werden, da dieser auf die kleinste Erschütterung oder Lageveränderung mit mehr oder weniger großen Meßfehlern reagiert. Für diesen Fall gibt es jedoch Abhilfe. Zum einen kann das Meßgerät auf einer Konsole befestigt werden, die an einen Balken oder an eine Wand montiert oder geklemmt wird ²¹. Zum anderen ist der Einsatz eines motorgetriebenen Gerätes möglich, das aus der Ferne gesteuert werden kann ²².

Bei kleinteiligen, hochdetaillierten Bauteilen oder Strukturen stößt man an die Grenzen der tachymetrischen Bauaufnahme. Durch gesetzliche Regelungen zum Arbeitsschutz ist vorgeschrieben, daß ein Laserstrahl nicht zu stark

¹⁹ vgl. U. Weferling, Kap. 5.2.2 u 5.2.3

²⁰ Das beste Wetter zum Aufmessen mit elektrooptischen Geräten ist ein leicht bedeckter Himmel und ein leichter Wind, der die Luftschichten gut durchmischt.

²¹ vgl. B. Witte u. H. Schmidt, Kap. 11.2.2.3

²² vgl. U. Weferling, Kap 5.2.2

gebündelt werden darf. Das bedeutet für die Tachymetrie, daß nicht punktgenau gearbeitet werden kann, sondern durch den Meßstrahl ein Meßfleck entsteht. Alles, was innerhalb des Meßfleckes liegt, reflektiert den Meßstrahl und hat somit Einfluß auf den Meßwert. Dadurch werden positive Kanten zu lang und negative Kanten zu kurz gemessen (Abb.: 20). Abweichungen entstehen ebenfalls beim schrägen Auftreffen des Meßstrahles ²³. Derartige Ungenauigkeiten machen sich besonders im Bereich kleiner aufzunehmender Geometrien bemerkbar. So erscheinen zum Beispiel parallele Linien eines Gewölbegrates oder eines Maßwerkes im Modell nicht parallel, weil die Meßpunkte immer wenige Millimeter von dem zu messenden Punkt abweichen. Diese Meßfehler werden aber erst bei einer Darstellung ab Maßstab 1:25 sichtbar (Abb. 19).

3.2.7 Analoge und digitale photographische Dokumentation

Die Photodokumentation sollte andere Dokumentationsformen und Beschreibungen sinnvoll ergänzen. Sie kann sie nicht ersetzen. Bei der photographischen Abbildung werden große Informationsmengen in großer Dichte unstrukturiert wiedergegeben. Deshalb muß sich der Ausführende auf wichtige Teilbereiche konzentrieren und die Aufnahmebedingungen so einrichten, daß wichtige Informationen hervorgehoben werden. Der Informationsgehalt ist von der optimalen Einstellung und Positionierung der Kamera sowie von den Lichtverhältnissen zum Aufnahmezeitpunkt abhängig. Es lassen sich durch die Aufnahmebedingungen also bewußt Informationen eines Photos hervorheben oder verwischen ²⁴ (Abb. 21).

Bei der Auswahl der Kamera muß den Erfordernissen entsprechend ein vernünftiger Kompromiß zwischen Format und Preis gefunden werden. Kameras für großformatiges Filmmaterial sind sehr teuer, können aber wesentlich mehr Details wiedergeben. Formate unterhalb des Kleinbildformaten sind für eine Photodokumentation wenig geeignet ²⁵.

²³ vgl. K. Petke, Kap. 2.2.7-2.2.9

²⁴ vgl. U. Klein, Kap. 2.2 ; W. Schmidt, S. 58-63, 70-73

²⁵ vgl. U. Klein, Kap. 2.2.1

In der Photographie ist die Arbeit mit Filmmaterial immer noch die erste Wahl, wenn es um eine hohe Abbildungsqualität und genaue Detailwiedergabe geht. Die Digitalkamera sollte nur dann zum Einsatz kommen, wenn die Forderung besteht, in kürzester Zeit ein Abbild in digitaler Form herzustellen. Hierbei kann der aufzunehmende Bereich in mehrere Aufnahmen unterteilt werden, um die entsprechende Detailtiefe zu erreichen.

Die Wahl des Filmmaterials hängt davon ab, in welcher Form die Bilder weiterverarbeitet und archiviert werden sollen. Für alle Filmmaterialien gilt, daß eine feine Körnung die beste Auflösung bringt. Schwarzweißfilme und Abzüge haben neben einer großen Detailtiefe auch die längste Haltbarkeit und sind deshalb am besten für Dokumentationen mit Papierabzügen geeignet ²⁴. Für die digitale Weiterbearbeitung sind Diapositive am besten geeignet. Diese können feine Details besser wiedergeben, weil die Farb- und Kontrastspanne größer ist. Zur Digitalisierung gibt es entsprechende Diascanner. Papierabzüge von Farbnegativfilmen eignen sich weniger, weil die Farb- und Kontrastspanne geringer ist. Bei zu starken Kontrasten neigen Farbphotos eher zum Überzeichnen, wodurch wichtige Informationen verlorengehen können.

Aus photographischen Dokumentationen lassen sich viele inhaltliche Informationen ableiten, aber keine Geometriedaten. Diese werden mehr oder weniger, bedingt durch die Gesetzmäßigkeiten einer Zentralprojektion, verzerrt wiedergegeben. Um aus Photographien ebenfalls Maße eines Bauwerkes ableiten zu können, bedient man sich verschiedener photogrammetrischer Meßverfahren.

3.2.8 Photogrammetrie

Die Photogrammetrie ist ein indirektes Verfahren zur Bestimmung geometrischer Eigenschaften. Anstelle des Objektes selbst wird dessen Abbild in Form eines Photos vermessen. Das hat den Vorteil, daß auch dann noch ein Aufmaß durchgeführt werden kann, wenn Bauteile wie zum Beispiel Fassaden

²⁴ vgl. U. Klein, Kap. 2.2.1

nicht mit anderen Mitteln erreichbar sind oder nicht eingerüstet werden können. Einen großen Stellenwert hat die Photogrammetrie bei der Rekonstruktion von verlorengegangener Bausubstanz anhand alter Photographien²⁷.

Voraussetzung für die photogrammetrische Bildauswertung sind hochwertige photographische Aufnahmen und ein geodätisches Meßnetz, welches durch Paßpunkte repräsentiert wird. Zur Festlegung von Paßpunkten gibt es zwei Möglichkeiten. Es müssen entweder natürliche Punkte am Gebäude ausgewählt oder Paßmarken angebracht werden. Mit Paßmarken läßt sich eine höhere Präzision erreichen. Auf natürliche Punkte muß dann zurückgegriffen werden, wenn die betreffenden Bereiche nicht zugänglich sind oder aus restauratorischen Gründen nicht mit Paßmarken versehen werden können. In einzelnen Fällen kann es aber auch genügen, Referenzmaße zu bestimmen²⁸.

Für die photogrammetrische Auswertung gibt es verschiedene Verfahren, die in den folgenden Kapiteln erläutert werden.

3.2.8.1 Entzerrung

Bei der Entzerrung von Photographien wird die zentralperspektivische Darstellung in eine Parallelprojektion umgewandelt. Die einzelnen Bildpunkte werden dabei so verschoben, daß eine orthogonale Ansicht entsteht. Dabei können aber immer nur Bereiche eines Gebäudes entzerrt werden, die sich auf einer definierten Ebene befinden. Geometrien, die nicht auf der Entzerrungsebene liegen, werden verzerrt dargestellt und sollten im entzerrten Bild möglichst gelöscht werden, weil sonst fehlerhafte Interpretationen entstehen können²⁹.

Für stark in die Tiefe gegliederte Bauteile ist die Bildentzerrung nicht geeignet, da der Aufwand für eine Auflösung in sehr viele Ebenen zu hoch wird und außerdem zu viele Bereiche durch andere Bauteile verdeckt werden.

²⁷ vgl. J. Cramer, S.108 ; U. Klein, Kap. 2.1.2

²⁸ vgl. U. Weferling, Kap. 5.3.1

²⁹ vgl. U. Klein, S. 25-27

Die Genauigkeit ist im wesentlichen von der verwendeten Kamera, der Aufnahmesituation und der sorgfältigen Auswahl der Paßpunkte abhängig. Beim Anfertigen der Meßbilder sollte auf eine große Brennweite und eine parallele Ausrichtung der Filmebene zu der zu entzerrenden Ebene geachtet werden, weil das Bild dann einer Parallelprojektion näher kommt und nicht so stark verzerrt ist. Außerdem kann dadurch die Zuverlässigkeit der gewonnenen Maße stark erhöht werden ³⁰ (Abb. 22 und 23).

Mit der digitalen Entzerrung von eingescannten Photos lassen sich mit wenig Aufwand für einfache ebene Objekte planähnliche, maßstabsgetreue Bilder erstellen. Für stark gegliederte Bauteile wird der Aufwand einer Entzerrung größer. Es müssen zunächst die entzerrbaren Bereiche einzeln ausgewertet werden. Danach können sie in einem dreidimensionalen Modell wieder zusammengesetzt werden.

3.2.8.2 Fachbezogene Auswertung entzerrter Photographien

Die durch die Entzerrung erstellten Orthophotos können im CAD-System oder per Handzeichnung ausgewertet werden. Bei beiden Auswertungsmethoden wird über das Orthophoto eine Folie oder ein Layer gelegt, auf der dann die Informationen „durchgezeichnet“ werden (Abb. 24). Digital ist die Auswertung sowohl mit Bildbearbeitungsprogrammen als auch mit Zeichen- oder CAD-Programmen möglich. Durch die Verwendung eines drucksensitiven Stiftes mit Graphiktablett anstelle einer Maus als Zeichengerät, kann die Arbeit noch erleichtert werden. Im Bereich der Graphik- und Layoutprogramme gibt es auch Anwendungen, die während der Eingabe aus freihand erstellten Linien Vektordaten in Form sogenannter Splines erzeugen. Damit lassen sich anhand entzerrter Photographien zweidimensionale CAD-Teilmodelle erstellen.

Die Auswertung von entzerrten Photos ist relativ einfach und auch nicht sehr zeitaufwendig. Ebene Strukturen wie zum Beispiel Mauerwerk oder Fachwerk können bei guter Qualität der Photos sehr detailliert wiedergegeben werden.

³⁰ vgl. U. Weferling, Kap. 5.3.2.1 S. 90

Dabei können Anforderungen für einfache Fassadenabwicklungen bis hin zur Untersuchung von Oberflächenbearbeitungen erfüllt werden.

3.2.8.3 Stereophotogrammetrie

Stereophotogrammetrie ist ein Verfahren, mit dem man dreidimensionale Objekte wie zum Beispiel Stuckfassaden abbilden kann. Ein Vorteil der Stereoauswertung ist, daß auch kantenlose Objekte, also gekrümmte Oberflächen ausgemessen werden können. Zur Herstellung von photographischen Abbildungen für die Stereobildauswertung sind spezielle Photoapparate (Meßkammern) erforderlich, deren optische Fehler bekannt sind und mit denen großformatiges Filmmaterial belichtet werden kann. Ein auswertbares Bildpaar entsteht, indem zwei Bilder rechtwinklig in gleichem Abstand vom Objekt mit einem bestimmten Basisabstand aufgenommen werden. Bei der stereoskopischen Betrachtung des Bildpaares entsteht ein räumlicher Eindruck vom Objekt. Mit einer Meßmarke ist es möglich, die Oberfläche „abzutasten“. Bei mechanischen Geräten wird die Bewegung der Meßmarke maßstäblich auf eine Zeichenunterlage übertragen, wodurch eine zweidimensionale Plandarstellung entsteht. Mit digitalen Geräten können dagegen sowohl zweidimensionale Darstellungen als auch dreidimensionale CAD-Modelle erstellt werden.

Die Stereophotogrammetrie ist zwar sehr genau, aufgrund des notwendigen Geräteinsatzes aber sehr aufwendig. Außerdem ist sie bei beengter Aufnahmesituation nicht anwendbar, weil für eine stereophotographische Aufnahme ein Mindestabstand zum Objekt benötigt wird²¹.

3.2.8.4 Mehrbildphotogrammetrie

Für die Mehrbildphotogrammetrie werden mehrere Bilder vom Objekt aus unterschiedlichen Richtungen gemacht. Die Bilder müssen sich dabei in ihrem Bildinhalt teilweise überlappen.

²¹ vgl. U. Klein, Kap. 2.1.2, S. 28-33

Für die Aufnahmen benötigt man Photoapparate (Teilmeßkammern), deren innere Orientierung (Kamerakonstante bzw. Brennweite, Bildhauptpunktlage und Bildverzeichnung) und deren optische Fehler bekannt sind. Professionelle Apparate sind mit einer vor der Filmebene liegenden Glasplatte mit Paßkreuzen (Reseaukreuze) ausgestattet. Damit ist es möglich, Verzerrungen, die infolge von Krümmungen des Filmmaterials entstehen, in der Auswertung zu berücksichtigen. Die Verzerrungen können mit der sogenannten Reseau-Transformation beseitigt werden.

Zur Auswertung der Photos müssen diese in einem übergeordneten Koordinatensystem orientiert werden. Benötigt werden dazu Punkte, die eindeutig in mehreren Bildern identifiziert werden können (homologe Punkte) und Paßpunkte am Objekt, deren Koordinaten bekannt sind. Sind die Bilder orientiert, können die Koordinaten von den in den Photos gemessenen Punkten durch die Bildstrahlenverfolgung und Verschneidung (Vorwärtseinschneiden) bestimmt werden. Bei der Auswertung am PC und mit einer geeigneten Software kann ein digitales Punkt- oder Linienmodell erstellt werden³².

Die Mehrbildphotogrammetrie kann dank nutzerfreundlicher Softwarelösungen auch von nicht photogrammetrisch gebildeten Personen durchgeführt werden.

Der Arbeitsaufwand in der Modellierung ist ziemlich hoch, da jeder zu erfassende Punkt mindestens in zwei, besser noch in drei Bildern gefunden und markiert werden muß³³. Die technischen Geräte sind relativ preiswert zu erwerben und durch eine Arbeitskraft zu bedienen. Es muß aber bedacht werden, daß für eine photogrammetrische Auswertung zusätzlich Paßpunkte oder Referenzmaße eingemessen werden müssen. Dadurch kann unter Umständen ein größerer Aufwand entstehen.

³² vgl. U. Klein, Kap. 2.1.2, S.33-36

³³ vgl. U. Weferling, Kap. 5.3.4.1, S.105

3.2.9 Erfassung nichtgeometrischer Eigenschaften

Physikalische, chemische, materialtechnische Eigenschaften sowie Gefügestrukturen, Tragverhalten, Standsicherheit, Schäden und Mängel sollten, insofern sie vom Bauaufnehmenden beurteilt werden können, direkt vor Ort parallel zur Erfassung der geometrischen Eigenschaften untersucht und aufgezeichnet werden. Es empfiehlt sich auch, historiologisch relevante Informationen möglichst parallel zum Aufmaß zu notieren. Durch die gleichzeitige Bearbeitung kann sichergestellt werden, daß beim Aufmaß alle für die denkmalpflegerische Analytik wichtigen geometrischen Eigenschaften erfaßt werden.

Zur Anwendung dürfen nur solche Untersuchungsmethoden kommen, die keinen Schaden in der Bausubstanz verursachen, also zerstörungsfreie Verfahren. Wenn sich bestimmte Eigenschaften nicht bildlich beschreiben lassen, muß eine sprachliche Beschreibung erfolgen. Selbstverständlich ist, daß die jeweiligen Ton-, oder Textaufzeichnungen und Bilder einen eindeutigen Bezug zum jeweiligen Objekt bekommen. Das geschieht entweder durch Beschreibung der Zugehörigkeit oder durch Codierung. Die Codierung wird aus wichtigen Daten wie Haus-, Raum-, Bauteil- und Befundnummern sowie dem Datum zusammengesetzt.

Für die Erfassung nichtgeometrischer Eigenschaften hat sich die Führung eines Raumbuches bewährt. Darin werden die inhaltlichen Aussagen, geordnet nach der Raumstruktur eines Bauwerkes, niedergeschrieben ³⁴.

In einem digitalen Modell ist die Struktur eines Raumbuches nicht notwendig, da die Informationen zwangsweise an der richtigen Stelle erscheinen, wenn sie eindeutig mit einem Objekt verknüpft wurden ³⁵.

³⁴ vgl. W. Schmidt, S.44-47

³⁵ siehe dazu auch Kapitel 5

4 Digitales Gebäudemodell für denkmalpflegerische Zwecke

In den vorangegangenen Kapiteln wurde bereits deutlich, daß sich alle im Laufe des Bauaufnahmeprozesses gesammelten Informationen im digitalen Gebäudemodell zusammenfassen lassen. Es können bildliche und sprachliche Informationen sowie mit manuellen Techniken erfaßte Sachverhalte integriert werden. Das bedeutet, daß das digitale Gebäudemodell über ein einfaches digitales Geometriemodell hinaus geht und demnach als „erweitertes digitales Modell“ bezeichnet werden kann. Es eröffnet Möglichkeiten einer sinnvollen Verbindung händischer und digitaler Bauaufnahmefethoden. Hieraus ergeben sich viele Vorteile für die denkmalpflegerische Bauaufnahme und Analytik.

Die dreidimensionale Modellierung ermöglicht im Gegensatz zur traditionellen Darstellung auf Papier eine gleichberechtigte Sicht und somit auch Darstellung aller Gebäudeteile ³⁶. Ein mit der zeichnerischen Darstellung einhergehender Informationsverlust, der bei der Reduzierung der Geometriebeschreibung auf zwei Dimensionen entsteht, kann bei der dreidimensionalen Modellierung vermieden werden.

Für nachfolgende Bearbeiter liegt der Vorteil eines digitalen Gebäudemodells darin, daß alle Informationen zusammenhängend vorliegen und sich so alle nötigen Informationen aus dem Modell herausfiltern lassen. Der Nutzer des Modells hat damit die Gewähr, daß alle Informationen den richtigen Objekten zugeordnet sind.

Bei der Betrachtung des Modells besteht die Möglichkeit, nicht benötigte Informationen auszublenden. Dadurch läßt sich ein digitales Modell besser überblicken. Voraussetzung dafür ist aber, daß das Modell entsprechend strukturiert ist ³⁷.

Ein weiterer Vorteil des digitalen Gebäudemodells besteht in der direkten Anbindung digitaler Techniken bei der Bauaufnahme. Mit elektronischen

³⁶ siehe dazu auch Kapitel 3.2.1

³⁷ siehe dazu Kap. 4.1

Hilfsmitteln erfaßte Informationen müssen nicht auf Papier zwischengelagert, sondern können direkt an ein CAD-System weitergegeben werden.

Neben der Frage der inhaltlichen Strukturierung eines digitalen Gebäudemodells muß auch das Problem der Größe des Modells gelöst werden. Durch die Vielzahl von Informationen und durch eine hohe Komplexität des aufzunehmenden Gebäudes kann die Datenmenge schnell unüberschaubar werden und in der Folge auf keinen Datenträger mehr passen. Durch eine sinnvolle Datenstruktur kann das Problem aber umgangen werden^{**}.

Eine weitere Fragestellung, mit der man sich bei der Anwendung digitaler Gebäudemodelle auseinandersetzen muß, ist die Konsistenz und die Archivierung der Daten. Im Gegensatz zur kurzlebigen Welt der Informatik geht es in der Denkmalpflege um sehr große Zeiträume. Das gesammelte Wissen soll für die Nachfahren bewahrt werden, das heißt, man erwartet eigentlich eine unendliche Lebensdauer. Letztlich muß sich die digitale Wissensspeicherung mit den Jahrhunderte alten Überlieferungen auf Papier und Pergament messen lassen. Bisherige Speichermedien waren nach einigen Jahren überholt, technisch veraltet. Für digitale Modelle braucht man einen Datenträger, der in vielen Jahren noch lesbar ist und auf dem die Dateien im Verband erhalten bleiben. Der zur Zeit gebräuchlichste Datenträger ist die Compact Disc (CD). Diese verspricht eine lange Lebensdauer und bietet schon eine beachtliche Speicherkapazität. Über die Haltbarkeit gibt es aber unterschiedliche Aussagen. So sind zum Beispiel viele CD's nicht UV-lichtbeständig. Es ist abzusehen, daß auch die CD schon in wenigen Jahren einem leistungsfähigerem Medium weichen wird.

Unter den gegebenen technischen Bedingungen muß man sich darauf einstellen, daß der Datenbestand von Zeit zu Zeit auf ein neueres Speichermedium übertragen werden muß, um ihn für die Zukunft zu erhalten und lesbar zu machen. Eine andere Möglichkeit wäre die Erhaltung und Pflege entsprechender Lesegeräte, was aber durch die Hersteller nicht unterstützt wird.

^{**} siehe dazu Kap. 5

Neben der Haltbarkeit von Datenträgern ist auch noch zu berücksichtigen, daß die Datenformate von Zeit zu Zeit überholt werden. Seitens der Softwareentwickler muß also sichergestellt werden, das zukünftige Programme noch in der Lage sind, die Daten zu entschlüsseln, anderenfalls wird es wohl unumgänglich sein, die Daten von Zeit zu Zeit zu übersetzen, was dann zukünftig sicherlich eine Hauptaufgabe von Archivaren sein wird.³⁷

4.1 Strukturierung von digitalen Modellen für denkmalpflegerische

Zwecke ⁴⁰

Das digitale Gebäudemodell als Ergebnis einer denkmalpflegerischen Bauaufnahme soll im Idealfall eine vollständige, objektive wissenschaftliche Dokumentation sein. Es stellt für die nachfolgende denkmalpflegerische Analytik und für den Planungsprozeß eine umfassende Informationsquelle und ein praktisches Arbeitsinstrument dar. Deshalb ist es unbedingt notwendig, daß das Wissen in einem Modell übersichtlich und strukturiert abgelegt wird. Die Struktur muß möglichst einfach zu erkennen sein und mit dem Gebäude korrespondieren. *„Nur solche Informationen, über die man schnell und unkompliziert verfügen kann, fließen erfahrungsgemäß in die Überlegungen zur Erhaltung eines historischen Gebäudes ein. Material, das nicht auch gleichzeitig gebrauchsfertige Information ist, wird im Planungsprozeß kaum verwertet.“ ⁴¹*

Für eine strukturierte, zusammenhängende Dokumentation bedient man sich in der Bauaufnahme der Darstellung in einem Raumbuch. Für die Erstellung von Raumbüchern wird deshalb ein Ordnungssystem eingeführt, das aus der Raumstruktur des Bauwerkes abgeleitet wird. Die einzelnen Einträge des Raumbuches repräsentieren bestimmte Bestandteile des Bauwerkes und

³⁷ vgl. U. Klein, Kap. 5

⁴⁰ Die hier vorgestellten Lösungen beziehen sich auf die Möglichkeiten, die die CADSoftware AutoCad bietet. Diese dürften sich aber durchaus auch auf andere Programme übertragen lassen.

⁴¹ W. Schmidt, S.43

müssen mit Codes versehen werden, um den Bezug zum jeweiligen Bauteil sicherzustellen⁴².

Wenn ein digitales Modell zur Verfügung steht, muß kein Ordnungssystem eingeführt werden. Das Modell selbst ist dann das Ordnungssystem. Da es sich um ein Abbild des Gebäudes handelt, erfüllt es selbstverständlich die Forderung einer Korrespondenz zum Bauwerk. Werden die Befunde dem jeweiligen Bauteil zugeordnet und mit diesem verknüpft, unterliegen die eingebrachten Informationen automatisch einem Ordnungsprinzip, nämlich dem der Gebäudestruktur selbst.

Wer schon einmal einen Blick auf ein dreidimensionales, digitales Gebäudemodell werfen konnte, weiß, daß man es hier mit einem scheinbar unübersichtlichen Wirrwarr von Informationen zu tun hat. Um in so einem Modell die jeweils relevanten Informationen herausfiltern zu können, muß die Möglichkeit bestehen, die für den Moment nicht benötigten Informationen auszublenden. Dafür wird ein digitales Modell in Layer (Schichten) zerlegt, vergleichbar mit der Trennung in verschiedene Folien beim Drucken von mehrfarbigen Bildern. Im digitalen Modell bedeutet das eine Zerlegung in dreidimensionale Schichten. Die Layer lassen sich ein- und ausblenden. Ihre verschiedenen Bedeutungen können durch unterschiedliche Farben, Linienarten und Stärken hervorgehoben werden. Jedem Layer wird ein eindeutiger Name zugeordnet und in einer Liste erfaßt. Die Liste der Layer bekommt damit auch die Bedeutung einer Legende.

Eine sinnvolle Layerstrukturierung im Hinblick auf die Restaurierung oder Sanierung eines Gebäudes wäre zum Beispiel die Trennung der Bauteile nach Gewerken. Dann würden Fenster und Türen einem Layer, Mauerwerk oder Fachwerk einem anderen Layer zugewiesen werden usw. Zusätzlich könnten dann noch Unterscheidungen zu den Geschossen getroffen werden. Im genannten Beispiel würde das bedeuten, daß der „Fenster und Türen – Layer“ nochmals in mehrere Layer nach Geschossen aufgeteilt wird. Das heißt, es entsteht ein Layer für die Fenster im Erdgeschoß, ein zweiter für die Fenster im ersten Obergeschoß usw. Bei weiteren Unterteilungen sollte berücksichtigt

⁴² vgl. U. Klein, Kap. 3.1

werden, daß die Liste der Layer sehr lang werden kann dadurch und schlecht zu überblicken ist.

Nachteil der Layer- oder Ebenenstruktur ist die fehlende Möglichkeit einer hierarchischen Gliederung. Die Layer können nur gleichwertig in einer Liste geführt werden. Es ist aber möglich, für diese Liste Filter zu definieren und sich damit nur bestimmte Gruppen von Layern anzeigen zu lassen.

Die einzige Möglichkeit, eine hierarchische Gliederung des Modells zu realisieren, ist die Aufspaltung in Teilmodelle. Ein Teilmodell stellt in diesem Fall eine Untergruppe dar, die im übergeordneten Modell als „externe Referenz“ verknüpft ist. Das hat zusätzlich noch Vorteile für die Speicherung auf transportable und archivierbare Datenträger. Ist nämlich das Gesamtmodell für einen Datenträger zu groß, kann es in einer bestimmten Hierarchie in Teilmodelle zerlegt werden. Diese Teilmodelle, zum Beispiel Häuser eines Straßenzuges, können dann jeweils auf einem Datenträger abgespeichert werden. Ruft man beispielsweise das übergeordnete Modell „Straße“ auf, erscheinen in diesem auch die anderen Teilmodelle, vorausgesetzt, sie werden an dem vordefinierten Ort wiedergefunden. Das heißt, bei der Arbeit mit mehreren Modellen muß der Nutzer in der Lage sein, die jeweilige Datei- und Ordnerstruktur wieder aufzubauen. Für den Urheber ist es nur möglich, die Dateiverknüpfungen für jeweils einen Datenträger richtig zu übergeben.

Die Größe eines Teilmodells hängt davon ab, ob es als geschlossene Einheit mit seinen erweiternden Informationen auf einen Datenträger paßt. So kann zum Beispiel ein sehr einfaches Drahtmodell durch die Erweiterung mit qualitativ hochwertigen entzerrten Photos sehr schnell die Kapazität einer CD übersteigen. Für diesen Fall muß überlegt werden, wie das Modell sinnvoll in weitere Teilmodelle gegliedert werden kann. Es sollten auf keinen Fall Kompromisse hinsichtlich der Qualität gemacht werden, um den Datenbestand des Modells auf einen Datenträger speichern zu können. Dadurch können wichtige Informationen verloren gehen.

4.2 Einbindung inhaltlicher Aussagen zum Bauwerk

Bei konventionellen Bauaufnahmen werden zusätzliche Informationen auf den Plandarstellungen untergebracht. Das können textliche Anmerkungen sein, aber auch Photos und ergänzende Detailzeichnungen. Für eine Erweiterung von Plandarstellungen mit Bildern und Texten ist der verfügbare Platz auf dem Papier aber sehr eingeschränkt.

Für umfangreichere Dokumentationen wird deshalb die Erweiterung der Plandarstellung mit zusätzlichen Dokumenten notwendig. Die praktikabelste Methode ist hierbei die Führung eines Raumbuches. Darin werden die Befunde geordnet aufgeführt, beschrieben und illustriert.

Im digitalen Modell werden die zusätzlichen Informationen direkt mit dem jeweiligen Objekt verbunden ⁴³. Dafür stehen meist mehrere Möglichkeiten zur Verfügung. Die einfachste ist die Erstellung von Textfeldern. Der Platz hierfür ist je nach Darstellung aber sehr eingeschränkt, zumal im Voraus nicht unbedingt klar ist, in welchem Maßstab das Modell letztlich betrachtet wird. Die Auswahl der Schriftgröße ist dadurch sehr schwierig. Die nächste Möglichkeit ist die Darstellung bestimmter Informationen durch unterschiedliche Linienarten und -breiten sowie die Zuweisung von Farben. Dabei muß beachtet werden, daß sich diese deutlich voneinander unterscheiden.

Wenn diese beiden Möglichkeiten nicht ausreichen, um alle Informationen zum Modell unterzubringen, muß man diese durch Verknüpfungen an die entsprechenden Objekte anhängen. Das können dann entweder Einträge einer Datenbank oder separate Dateien mit textlichen, bildlichen oder akustischen Informationen sein.

Bei der Arbeit mit Datenbanken werden attributive Eigenschaften in Form einer Tabelle gespeichert. Jede Zeile dieser Tabelle steht dabei für ein Objekt. Der Eintrag einer Zeile wird im CAD-System mit einem oder mehreren Objekten des Modells verknüpft. Die Verwendung von Datenbanken hat den Vorteil, daß gezielte Abfragen gestellt werden können, das heißt, es lassen sich nach bestimmten Kriterien Objekte mit gleichen Eigenschaften

⁴³ siehe dazu auch Kap. 4.1

auswählen, anzeigen oder auflisten. Möglich ist auch, sich zu Objekten, die im Modell markiert oder selektiert wurden, die entsprechenden Attribute in der Tabelle anzeigen zu lassen ⁴⁴ (Abb. 26). Nachteilig für die denkmalpflegerische Bauaufnahme ist, daß die Einträge einer Tabelle kurz und eindeutig sein müssen. Da seitens der Software in jeder Spalte einer Zeile nur eine begrenzte Anzahl Zeichen zulässig sind, ist die Datenbank für längere Beschreibungen nicht geeignet. Die Forderung nach eindeutigen Eintragungen kann ebenfalls nicht immer erfüllt werden, da oftmals nur vage Informationen vorliegen. Mit ungenauen Beschreibungen lassen sich aber keine Abfragen gestalten. Würde man zum Beispiel nach einer Auswahl von Bauteilen fragen, die zwischen „1600“ und „1700“ eingebaut wurden, würden nur die Einträge erscheinen, die in Form einer vierstelligen Zahl zwischen „1600“ und „1700“ registriert sind. Einträge, die von dieser Form abweichen, wie zum Beispiel „17. Jahrhundert“ oder „um 1650“ würden nicht angezeigt werden.

Wenn eine Datenbank angelegt werden soll, muß bedacht werden, daß der Umgang damit relativ kompliziert ist. Selbst die Oberfläche von Standardprogrammen für die Arbeit mit Datenbanken ist für den Anwender nur schwer zu durchschauen. Dem Urheber der Datenbank mag das vielleicht nicht so erscheinen, aber nur wenige Nutzer werden über das nötige Wissen zum Umgang mit Datenbanken verfügen.

Eine sehr nutzerfreundliche Variante ist die Verknüpfung der Daten mittels sogenannter Hyperlinks. Dabei werden Objekte im digitalen Modell mit den Adressen von extern vorliegenden Daten versehen. Aktiviert man den Hyperlink, wird die Datei, auf die er verweist mit einem geeigneten Programm geöffnet. Es sind also alle Arten von Dateien möglich. Sichergestellt werden muß nur, daß der zukünftige Nutzer über ein entsprechendes Programm verfügt, das die Datei öffnen kann. Beschränkt man sich dabei auf die gebräuchlichsten Dateitypen, sollte es für den Nutzer kein Problem sein, die Inhalte zu verwenden. Der Nachteil gegenüber der Arbeit mit einer Datenbank ist die fehlende Möglichkeit, Abfragen zu gestalten.

⁴⁴ vgl. U. Weferling, Kap. 4.3.2.2

Da die Verwendung von Hyperlinks relativ einfach ist, eignet sich diese Art der Informationsverknüpfung auch hervorragend für die Arbeit mit einem CAD-System vor Ort. Möchte man einem Objekt eine ausführliche Beschreibung hinzufügen, erstellt man dafür eine Textdatei und bindet sie an das Objekt im Modell. Auch vor Ort aufgenommene digitale Photographien können durch Onlineübertragung sofort integriert werden. Um den Arbeitsaufwand vor Ort zu verringern, kann man sich auch eine Vorlage, entsprechend dem Musterblatt eines Raumbuches erstellen. Ein positiver Nebeneffekt wäre dabei, daß wichtige Informationen ähnlich wie in einem auszufüllenden Formular abgefragt werden.

5 Strategie für eine digital gestützte Bestandsaufnahme

Mit den beschriebenen Methoden der Bestandserfassung ist es möglich, bestimmte Teilbereiche des historischen Bestandes eines Bauwerkes zu dokumentieren und wiederzugeben. Mit keiner Methode allein ist man in der Lage, ein vollständiges Bild des Originales zu erzeugen. Deshalb ist es unbedingt notwendig, mehrere Techniken der Bestandserfassung zu kombinieren, damit das Bauwerk so umfassend wie möglich dokumentiert werden kann ⁴⁵ (Abb. 31).

Die finanziellen Mittel für eine Bauaufnahme sind in den meisten Fällen sehr begrenzt. Zudem gibt es eine große Zahl historischer Gebäude, deren Bestand noch erfaßt werden muß, wogegen die Zahl fachkundiger Bearbeiter eher gering ist. Folglich bleibt in der Regel für eine Bauaufnahme nicht viel Zeit ⁴⁶. Der Bauaufnahme prozeß muß demzufolge gut geplant und vorbereitet werden, damit er auch unter verschärften zeitlichen und wirtschaftlichen Bedingungen durchführbar ist.

Um aus der Vielzahl von Bauaufnahmemethoden die richtige Zusammenstellung zu finden, muß die Aufgabenstellung „Bestandserfassung“ in Teilaufgaben zerlegt werden. Eine Möglichkeit ist zum Beispiel die

⁴⁵ vgl. W. Schmidt, S.13

⁴⁶ vgl. W. Schmidt, S. 16

Erarbeitung eines Aufgabenkataloges in Form eines Leistungsverzeichnisses, das später auch als Basis für die Kostenermittlung genutzt werden kann (Abb. 28). In dem Verzeichnis werden die einzelnen Teilaufgaben, nach Kategorien geordnet, aufgelistet. Mögliche Kategorien sind die Einordnung in einen übergeordneten Raumbezug, die Erfassung der inneren Raumstruktur, die Erfassung der Bauteilgeometrien und die Erfassung nichtgeometrischer Informationen, also Sachdaten. Mit der systematischen Zusammenstellung der Teilaufgaben wird sichergestellt, daß für alle Bereiche und Bauteile eines Gebäudes eine passende Aufmaßmethode gesucht und festgelegt wird und der zeitliche und gerätetechnische Aufwand abgeschätzt werden kann. Die möglichen Teilgebiete der Bestandsaufnahme sind in Hinblick auf die erforderlichen Erfassungsmethoden in der Übersicht 4 (Abb. 27), bezogen auf unterschiedliche Ergebnisse, zusammengestellt. Unter Berücksichtigung des Zieles der Bestandsaufnahme wurden jeder Kategorie die entsprechenden Aufmaßmethoden zugeordnet. Anhand der Tabelle können für die jeweiligen Teilaufgaben die möglichen Aufmaßtechniken entnommen werden.

5.1 Einordnung in einen externen, übergeordneten Raumbezug

Für die Einordnung in einen externen, übergeordneten Raumbezug muß festgelegt werden, ob das zu erstellende Gebäudemodell nur mit einem Nordpfeil versehen oder ob der Anschluß an ein Landeskoordinatensystem gebraucht wird. Weiterhin ist zu klären, ob der Auftraggeber absolute Höhenangaben benötigt oder ob es reicht, einen relativen Höhenbezug einzurichten, bei dem zum Beispiel die Geländeoberkante oder die Eingangsschwelle als Bezugshöhe Null festgelegt wird.

In jedem Fall empfiehlt es sich, bei der Einrichtung eines Meßnetzes die Herstellung eines übergeordneten Raumbezuges einzubeziehen. Wird das Bezugssystem gleich zu Beginn der Bestandserfassung an ein übergeordnetes System angeschlossen, werden Irritationen vermieden, die bei der nachträglichen Anpassung des Modells an ein übergeordnetes System entstehen.

5.2 Erfassung interner Raumstrukturen

Bei der Erfassung interner Raumbezüge spielt die Größe und die innere Struktur des Bauwerkes eine wichtige Rolle. In Übersicht 4 (Abb. 28) werden dazu vier, für die Bauaufnahmemethoden relevante Kategorien unterschieden. Die Entscheidung, welche Aufmaßmethoden für die jeweilige Kategorie einsetzbar sind, richtet sich nach der für den Zweck der Dokumentation geforderten Erfassungsgenauigkeit.

1. Für einfache Raumstrukturen in kleinen Gebäuden sind in der Regel nicht viele Messungen notwendig, um die Struktur zu erfassen. Die Messungen können mit einfachen mechanischen Meßgeräten hinreichend exakt ausgeführt werden, solange sie in der Reichweite des Gerätes liegen, beim Bandmaß sind es zum Beispiel fünfzig Meter. Der Einsatz technisch aufwendigerer Methoden lohnt sich nur, wenn damit auch die geometrischen Eigenschaften erfaßt werden oder eine dreidimensionale Aufnahme des Gebäudes erfolgen soll.

2. In großen Gebäuden reicht die Reichweite mechanischer Meßgeräte nicht aus. Für eine genauere Bestandserfassung müssen Verfahren mit optischen oder elektrooptischen Meßinstrumenten eingesetzt werden. Außerdem ist es notwendig, ein Meßnetz einzurichten. Nur für einfache Zwecke, wie zum Beispiel bei der Herstellung von Übersichtsplänen und für die Denkmalerfassung bzw. Inventarisierung können hier bei unkomplizierten Raumstrukturen additive Verfahren mit einfachen Meßgeräten eingesetzt werden.

3. Komplizierte Raumstrukturen in kleinen Gebäuden lassen sich in der Regel noch mit einfachen Meßwerkzeugen ermitteln. Es muß jedoch in jedem Fall ein Koordinatensystem eingerichtet werden. Die Anwendung additiver Meßverfahren würde bei komplizierten Raumstrukturen unweigerlich zu groben Fehlern führen.

4. Große Gebäude mit komplexen Raumstrukturen und Gebäudeensembles lassen sich mit mechanischen Meßwerkzeugen nicht exakt aufmessen. Es kommen hierfür nur optische und elektrooptische Geräte in Betracht. Daneben wäre auch die Vermessung mit GPS (Global Positioning System)

denkbar, aber nur unter Verwendung von Korrekturdaten, die man zum Beispiel über den Satellitenpositionierungsdienst der Landesvermessungsämter beziehen kann.

Zu Beginn jeder Bestandserfassung sollte zunächst eine Bleistiftskizze angefertigt werden, in der ein Meßnetz entworfen wird. Die Anforderungen an das Bezugsnetz ergeben sich aus der Aufgabe und den gewählten Methoden. Bei der Anwendung manueller Aufmaßmethoden werden mehrere rechtwinklige Meßnetze eingerichtet und untereinander in Bezug gebracht. Bei digital gestützten Methoden ist es notwendig, ein Festpunktnetz anzulegen, das während des Aufmaßes nach Bedarf verdichtet werden kann. Ein Netz aus Festpunkten kann aber auch als Grundlage für ein Handaufmaß eingerichtet werden. Für größere Objekte ist die Einrichtung eines geodätischen Festpunktnetzes ohnehin Bedingung für ein denkmalpflegegerechtes Handaufmaß. Dabei ist zu berücksichtigen, daß auf Ebenen projiziert wird. Es muß deshalb vorher geklärt werden, wo Schnitt- und Projektionsebenen liegen. Das Meßnetz ist dann darauf auszurichten.

5.3 Erfassung der geometrischen Eigenschaften

Um Teilaufgaben für die Erfassung der Bauteilgeometrien formulieren zu können, muß das aufzunehmende Bauwerk gedanklich in Teilbereiche untergliedert werden, die jeweils durch eine Bauaufnahmemethode oder durch eine Kombination von Methoden erfaßt werden können. In Übersicht 4 ([Abb. 28](#)) werden hierzu vier Kategorien bzw. Schwierigkeitsstufen unterschieden.

1. Ebene flächige Bauteile und ebene Strukturen lassen sich am einfachsten erfassen. Eine sehr schnelle und gleichzeitig sehr exakte Methode für eine analytische Bauaufnahme ist die Kombination von Tachymetrie, Einbildauswertung und porträtierendem Zeichnen. Mit dem Tachymeter werden die Hauptbauteilkanten eingemessen. Alle dazwischen liegenden Informationen können porträtierend gezeichnet werden. Um die richtige Größe und Lage zu gewährleisten, kann ein entzerrtes Photo untergelegt werden ([Abb. 24](#)). Die sogenannte Overlay-Methode kann sowohl analog mit

Bleistift und Papier als auch digital mit der Maus oder mit einem Graphiktablett und drucksensitiven Stift als Eingabegerät ausgeführt werden. Separat angefertigte Einbildauswertungen können nachträglich in das digitale Modell eingefügt werden (Abb. 25).

Werden für die denkmalpflegerische Auseinandersetzung entzerrte Photographien verwendet, ist es ratsam, die Auswertung so bald wie möglich nach der Aufnahme der Photos durchzuführen, da sich die Bausubstanz unter Umständen schnell verändern kann oder ganz verschwindet. In dem Fall wäre es nicht mehr möglich, Informationen, die sich nicht aus dem Photo ableiten lassen, nachträglich einzuholen. Eine Auswertung von Photographien sollte möglichst im Vergleich und in direkter Auseinandersetzung mit dem Original erfolgen (Abb. 29 und 30).

2. Für ebene Bauteile mit differenzierten Ebenen gelten die vorangegangenen Ausführungen gleichermaßen. Der Aufwand einer photogrammetrischen Bestandserfassung wird aber mit zunehmender Zahl der Ebenen immer größer. Für einfache Zwecke wie Ortsbildanalyse oder Denkmalerfassung kann ein einfaches Handaufmaß mittels additiver Messung oder Diagonalmessung unter Annahme einfacher Winkelbeziehungen angefertigt werden.

3. Für erhabene und reliefartige Bauteile ist es auch für Bauaufnahmen mit einfachen Anforderungen unabdingbar, ein Bezugssystem einzurichten. Einfache additive Aufmaßmethoden sind nicht mehr durchführbar, weil es nicht möglich ist, die Meßwerkzeuge ohne Hilfsmittel parallel zur Abbildungsebene auszurichten und Maße richtig abzulesen. Besonders empfehlenswert ist der Einsatz der reflektorlosen Tachymetrie mit gleichzeitiger Modellierung im CAD-System, da hierbei dreidimensionale Geometrien in kurzer Zeit sehr exakt und sicher bestimmt werden können. Bei einem Aufmaß mit mechanischen Meßwerkzeugen ist der Aufwand wesentlich höher, weil alle in die Tiefe gestaffelten Meßpunkte vor Ort senkrecht in eine gedachte Projektions- oder Schnittebene übertragen werden müssen.

Entscheidet man sich für die Geometrieerfassung mittels Tachymetrie, sollten aber dennoch mechanische Meßinstrumente, wie zum Beispiel der Gliedermaßstab griffbereit zur Verfügung stehen. Wie bereits aufgeführt, stößt die Tachymetrie bei kleinteiligen Geometrien an ihre Grenzen. Daher ist es

unabdingbar, ergänzende und kontrollierende Messungen mit Hand durchzuführen. Es ist auch zu bedenken, daß oftmals Bereiche durch andere Bauteile verschattet oder zum Beispiel durch Pflanzen verdeckt werden und deshalb nicht mit optisch arbeitenden Geräten erfaßt werden können.

Für einfache Zwecke, zum Beispiel Fassadenabwicklungen, kann die Einbildauswertung auch für reliefartige Bauteile genutzt werden. Dabei ist aber darauf zu achten, daß photographische Aufnahmen mit geringem Verzug, also mit langen Brennweiten und mit senkrechter Blickrichtung auf das Bauteil, verwendet werden.

Der Einsatz von 3D-Laserscannern, Stereo- und Mehrbildphotogrammetrie kann wegen der sehr hohen Anschaffungskosten derzeit nur von Spezialisten praktiziert werden. Deshalb müssen im Bedarfsfall, die entsprechenden Teilaufgaben an spezialisierte Betriebe und Institutionen abgegeben werden. Dabei ist eine enge fachliche Zusammenarbeit zu gewährleisten, damit alle für die denkmalpflegerische Analytik relevanten Informationen herausgearbeitet werden können ⁴⁷.

4. Komplizierte plastische Bauteile und Plastiken können dreidimensional nur mit einem Laser-Scanner oder durch Stereo- und Mehrbildphotogrammetrie mit vertretbarem Aufwand erfaßt werden. Eine Einschränkung muß allerdings noch für die Mehrbildphotogrammetrie gemacht werden. Da die Mehrbildmessung an eindeutig in den Photos identifizierbare Punkte gebunden ist, können damit gekrümmte glatte Oberflächen nicht vermessen werden.

Für zweidimensionale Plandarstellungen reicht die Erfassung durch porträtierendes Zeichnen, unterstützt durch händisch oder tachymetrisch aufgemessene Stützpunkte. Für analytische Zwecke muß das Meßnetz so verdichtet werden, daß mit dem porträtierenden Zeichnen eine ausreichend genaue Darstellung angefertigt werden kann.

Für jede genannte Kategorie sind verschiedene Aufmaßmethoden möglich. Aus diesen ist nach weiteren Kriterien eine passende herauszufiltern. Für jeden

⁴⁷ vgl. U. Weferling, Kap. 6.1

Einzelfall muß geprüft werden, welche Methode wirtschaftlich durchführbar und unter den örtlichen Gegebenheiten anwendbar ist. Entscheidend kann zum Beispiel sein, ob ein Stromanschluß, genügend Platz und fester Untergrund vorhanden sind, um technische Geräte aufzustellen und inwieweit die aufzumessenden Bereiche zugänglich sind. Ebenfalls muß geklärt werden, ob die nötigen Geräte und das erforderliche Fachwissen verfügbar sind bzw. inwieweit Geräte erst beschafft und sich Fachkenntnisse angeeignet werden müssen. Entscheidet man sich für die Einführung einer neuen Technik für die Bestandserfassung, ist zu bedenken, daß die Aneignung des nötigen Fachwissens einen gewissen Zeitraum beansprucht.

Ein weiteres, entscheidendes Kriterium bei der Auswahl einer geeigneten Methode ist die Form der Präsentation des Ergebnisses. Wichtig ist hier, daß durch die jeweilige Erfassungsmethode die Daten möglichst schon in der Form geliefert werden, wie sie in das Endergebnis einfließen sollen.

Für die Präsentation der Bauaufnahme in Form eines dreidimensionalen digitalen Gebäudemodells ist es demnach sinnvoll, von Anfang an digitale Aufmaßmethoden anzuwenden. Ihr Einsatz ist nicht nur zeitsparend, sondern stellt gleichzeitig eine wesentliche Arbeitserleichterung dar. Wird im Gegensatz hierzu bei der Erstellung eines digitalen Gebäudemodells ein Handaufmaß zugrunde gelegt, muß in der Folge neben einem vielfach höherem Zeitaufwand auch mit qualitativen Einbußen gerechnet werden. Bei einem Handaufmaß gehen durch die Reduzierung der Daten auf eine zweidimensionale Ebene Einzelheiten verloren. In den Rissen und Schnitten fehlen dann die für eine exakte Herleitung eines dreidimensionalen Modells notwendigen Daten ⁴³. Somit ist das entstehende Modell unvollständig und muß an den betreffenden Stellen durch Vermutungen über den eigentlichen Zustand ergänzt werden, wodurch das Ergebnis aber mit größter Wahrscheinlichkeit verfälscht wird. Nachteilig ist außerdem, daß die Datenerfassung mittels manueller Aufmaßmethoden ebenso wie die Umwandlung von Zeichnungen in digitale Daten sehr viel Zeit beansprucht. Folglich sollte für die Erstellung eines digitalen Modells nur dann auf

⁴³ siehe dazu auch Kap. 3.2.1

mechanische Aufmaßmethoden bzw. Werkzeuge zurückgegriffen werden, wenn es die Umstände oder Anforderungen verlangen und digitale Methoden nicht angewandt werden können.

Soll das Ergebnis der Bauaufnahme in Form von Zeichnungen präsentiert werden, ist die Auswahl der entsprechenden Aufmaßmethoden weniger problematisch. Sowohl mit manuellen als auch mit digitalen Aufmaßmethoden können ausreichend viele Informationen erfaßt werden, um qualitativ hochwertige Zeichnungen anzufertigen. Jedoch muß der Aufwand gegen den Nutzen abgewogen werden. Es würde sich beispielsweise kaum lohnen, für die einfache Fassadenabwicklung eines kleinen Wohnhauses die Ausrüstung für eine tachymetrische Bauaufnahme zu beschaffen.

5.4 Erfassung nichtgeometrischer Eigenschaften

Bei der Auswahl geeigneter Methoden für die Erfassung von Sachdaten wird man sich zweckmäßigerweise ebenfalls nach der Form des gewünschten Ergebnisses richten.

Soll ein Raumbuch angefertigt werden, kann und darf ausschließlich das Raumbuch zum Aufzeichnen der Informationen verwendet werden. Die Verwendung anderer Informationsträger, wie zum Beispiel einzelner Skizzenblätter, erhöht die Gefahr eines Informationsverlustes durch das Abhandenkommen von Aufzeichnungen.

Wird ein digitales Gebäudemodell erstellt, tritt dieses an die Stelle des Raumbuches. Die Aufzeichnungen sollten nach Möglichkeit vor Ort mit den richtigen Geometrieobjekten des Modells verknüpft werden. Dazu müssen sämtliche Informationen digitalisiert werden. Textliche Beschreibungen können bequem über die Tastatur des tragbaren Computers eingegeben, Handskizzen mit einem drucksensitiven Stift über ein Digitalisiertablett aufgezeichnet und Photographien mit einer Digitalkamera online zum Computersystem übertragen werden. Es ist ebenfalls möglich, sprachliche Informationen über ein angeschlossenes oder geräteinternes Mikrofon mit

dem Computer aufzuzeichnen und mit dem digitalen Modell zu verknüpfen. Voraussetzung für die Anwendung dieser Techniken ist, daß die Geräte entsprechend robust und handlich sind, denn während einer Bauaufnahme in historischen Gebäuden lassen sich in den meisten Fällen Verschmutzungen und eine erhöhte mechanische Belastung der Geräte nicht vermeiden.

Ist die Anfertigung einzelner Handskizzen und Aufzeichnungen auf Papier unumgänglich, dann müssen diese mit der nötigen Sorgfalt aufbewahrt, registriert und bezeichnet werden. Im Modell muß für die jeweilige Skizze eine Bemerkung oder ein Verweis angebracht werden, damit bei einer späteren Einarbeitung der Informationen nichts übersehen wird.

6 Schlußbemerkung

In den Ausführungen wurde gezeigt, daß in der digitalen Vermessungstechnik ein großes Potential für die denkmalpflegerische Bauaufnahme liegt. Durch die Kombination verschiedener Bauaufnahmemethoden kann dem Ideal einer vollständigen Erfassung eines Bauwerkes näher gekommen werden. Die Möglichkeiten der computergestützten Bauaufnahme sind vielfältig und können ein großes Aufgabenfeld abdecken. Damit dieses Potential richtig ausgenutzt werden kann, ist es notwendig, daß der Bauaufnehmende über ein fundiertes Wissen sowohl auf dem Gebiet der Denkmalpflege als auch auf dem der Vermessungstechnik verfügt. Er sollte in der Lage sein, händische und digitale Aufmaßmethoden zusammen im Sinne der denkmalpflegerischen Bestandserfassung und Analyse einzusetzen. Die computergestützten Techniken müssen dabei jederzeit einen Eingriff oder Ergänzungen mit manuellen Methoden zulassen.

Die Beurteilung der Anwendbarkeit verschiedener Bauaufnahmemethoden in Bezug auf denkmalpflegerische Zwecke setzt die Kenntnis über die verschiedenen Teilaufgaben einer denkmalpflegerischen Bauaufnahme voraus. Für diese muß unter Berücksichtigung technischer und wirtschaftlicher Anforderungen die jeweils optimalste Erfassungsmethode bzw. Methodenkombination gefunden werden.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde anhand ausgewählter Beispiele eine Strategie entwickelt und vorgestellt, mit der die Entscheidung für die richtige Bauaufnahmemethode bzw. Methodenkombination erleichtert werden soll. Die dafür vorgenommene Gegenüberstellung traditioneller und digitaler Bauaufnahmemethoden macht deutlich, daß computergestützte Techniken in der denkmalpflegerischen Bauaufnahme und Analytik durchaus eine wichtige Rolle spielen können und müssen. Die wichtigsten Argumente hierfür sind die höhere Effektivität, Qualität und die Einsparung von Arbeitskräften. Eine Sicherheit dafür kann die Computertechnik allein aber nicht geben. Selbst eine noch so hoch entwickelte Technik kann nur so gut sein, wie sie angewendet wird. Entscheidend für die Qualität eines Aufmaßes ist also zum einen die Qualität und Leistungsfähigkeit der benutzten Werkzeuge, zum anderen deren korrekte und exakte Verwendung sowie die fachlich richtige Auswahl der zu erfassenden Informationen.

Trotz der genannten Vorteile in der denkmalpflegerischen Auseinandersetzung mit historischer Bausubstanz bestehen nach wie vor Vorbehalte gegenüber der Anwendung computergestützter Techniken. Diese begründen sich vor allem aus einer zu großen Erwartungshaltung an die Leistungsfähigkeit der Computertechnik und dadurch auch an die damit befaßten Personen. Die überzogenen Ansprüche entstehen aus der Annahme, daß die Computertechnik durch automatisierte Abläufe alles von selbst erledigt. Diese Vorbehalte lassen sich nur schwer ausräumen. Demgegenüber sind die seitens der Denkmalpfleger und Bauforscher geäußerten Bedenken, daß man sich mit den digitalen Techniken zu sehr vom Bauwerk entfernt, leichter zu widerlegen. Durch den Einsatz moderner Technik kann ein Aufmaß viel effizienter durchgeführt werden und läßt dabei mehr Zeit für tiefgründigere analytische Betrachtungen. Digitale Aufmaßtechniken sind demzufolge bei richtiger Verwendung eher ein Garant für eine Annäherung und für eine intensivere Auseinandersetzung mit dem Bauwerk.

7 Abbildungen

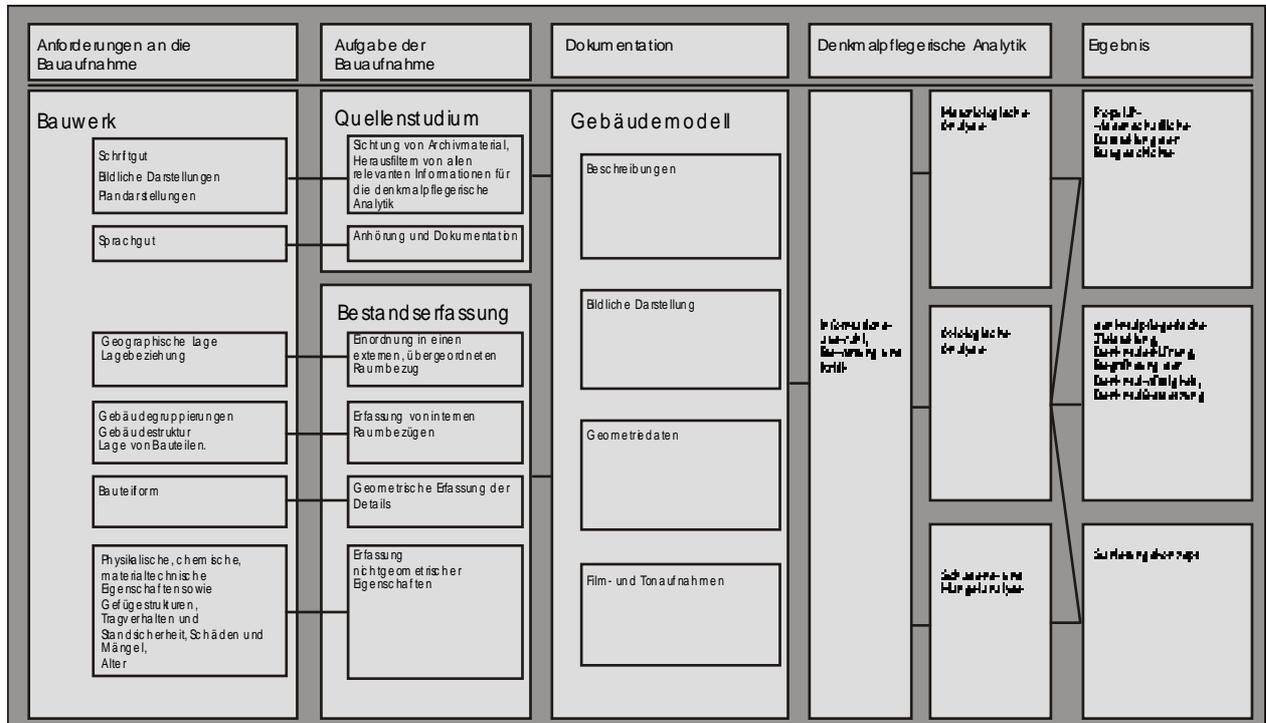


Abb. 1: Übersicht 1 zur Bauaufnahme und denkmalpflegerischen Analytik

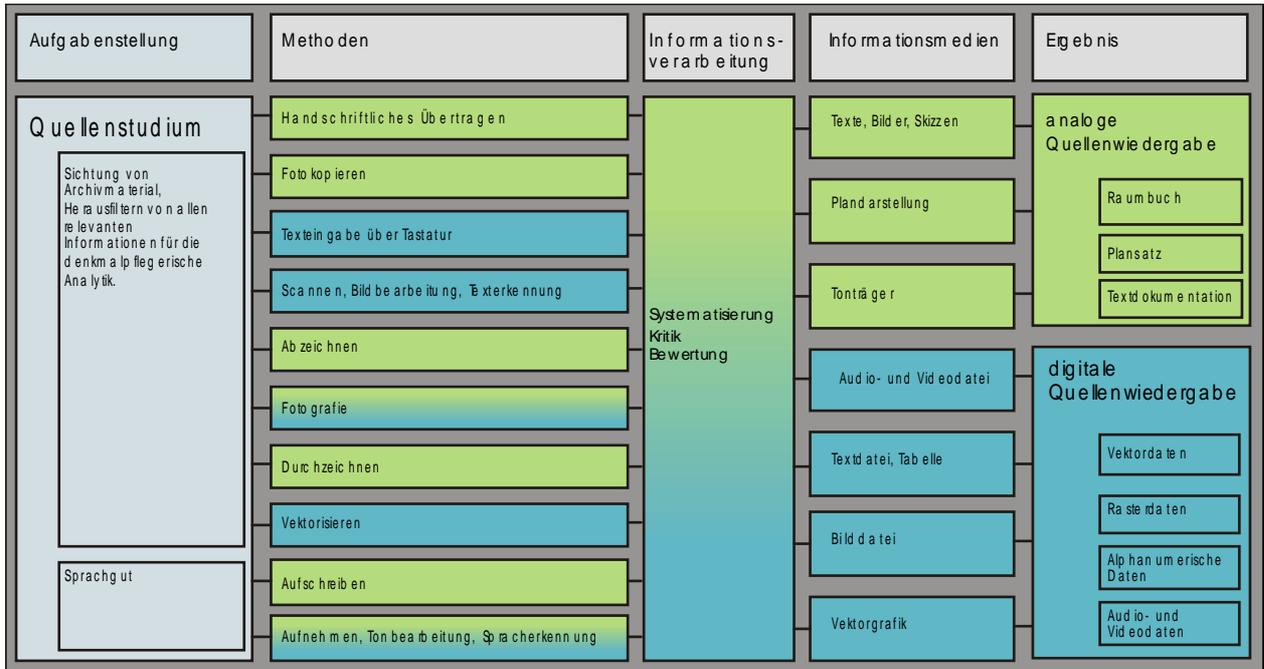


Abb. 2: Übersicht 2 zu Methoden, Informationsmedien und Ergebnissen des Quellenstudiums in der denkmalpflegerischen Bauaufnahme

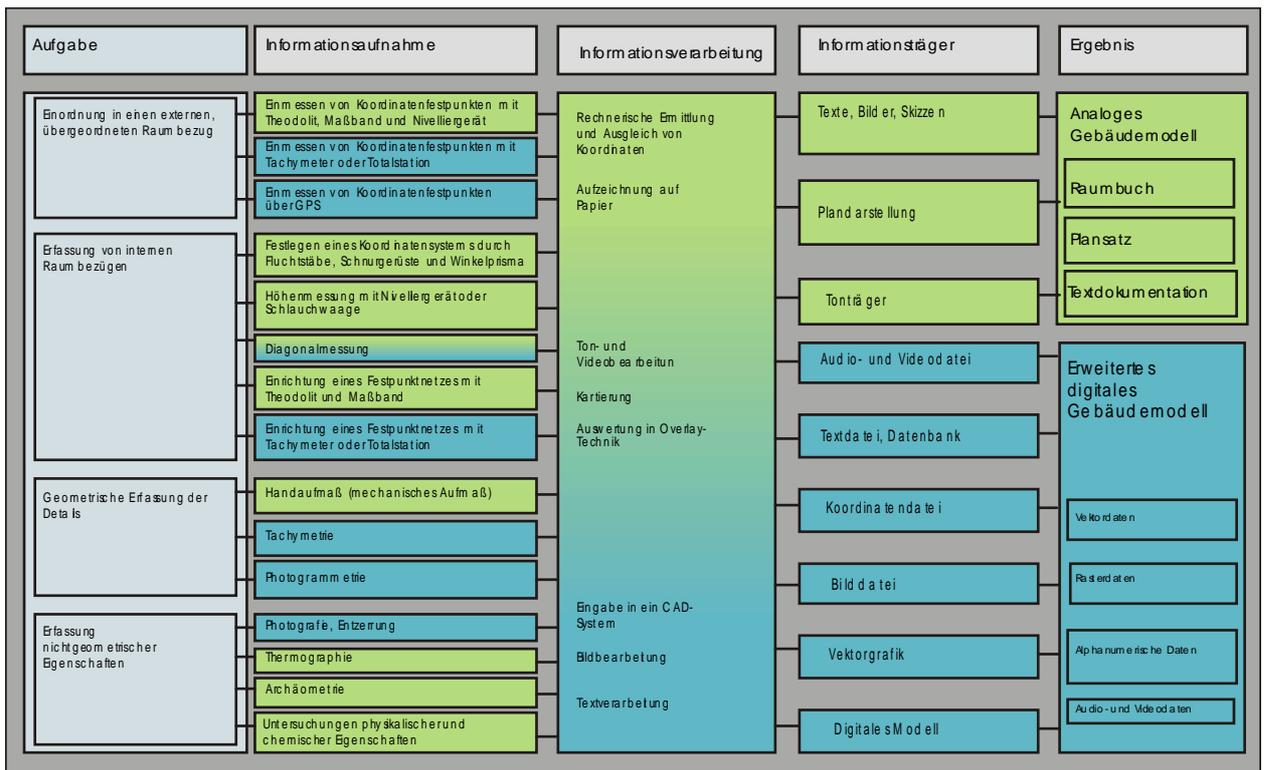


Abb. 3: Übersicht 3 zu den Aufgaben, Methoden, Informationsträgern und den Ergebnissen der Bestandserfassung

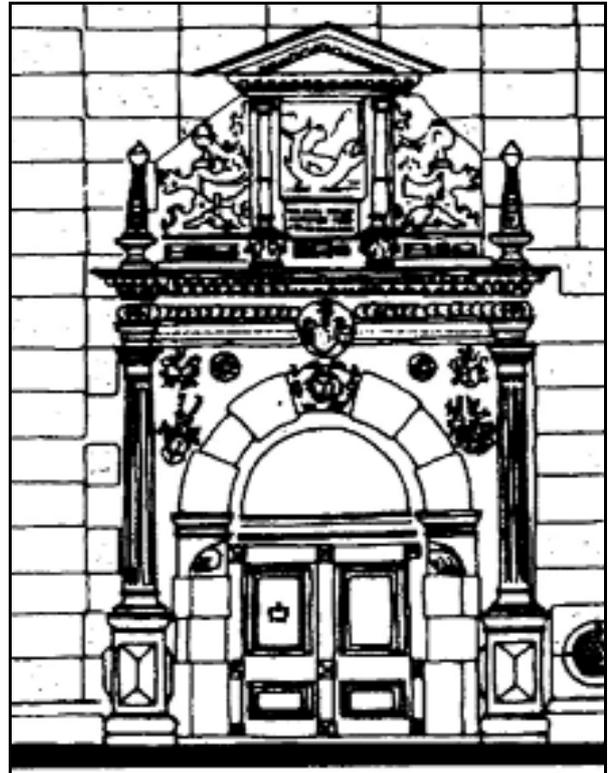
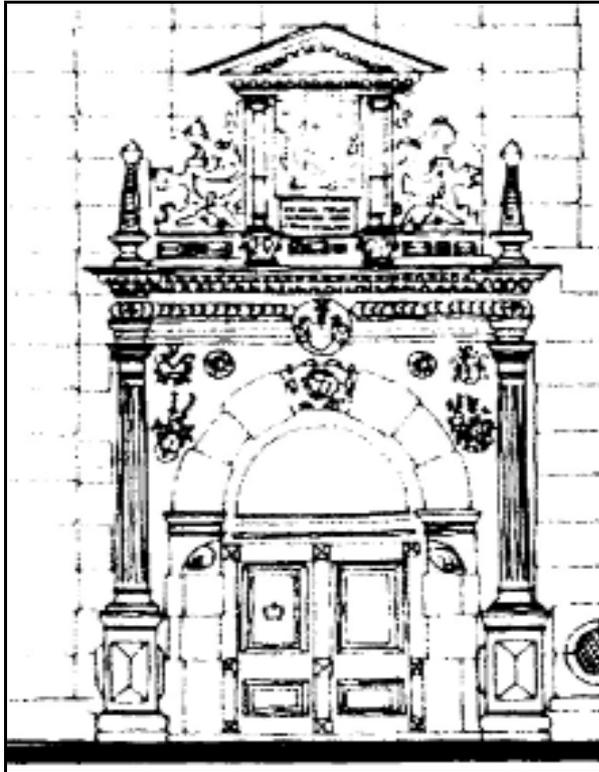


Abb. 5, 6 und 7: Vergleich zwischen Schwarzweißscans (oben) und einem Graustufenscan (unten). Vorlage war eine Tuschezeichnung auf Transparent. Das Graustufenbild enthält deutlich mehr Informationen. Beim Schwarzweißscannen entsteht ein Informationsverlust wenn sich die Zeichenelemente nicht stark genug vom Untergrund unterscheiden. Ältere vergilbte und verschmutzte Zeichnungen auf Transparentpapier eignen sich weniger für Schwarzweißscans, da das Transparentpapier zu viel Licht schluckt und der Scanner schlechter zwischen Zeichnung und Hintergrund unterscheiden kann. Je nach dem, ob die Grauwerte als Schwarz oder Weiß erkannt werden, wird das Bild lückenhaft (oben links) oder es „läuft“ zu (oben rechts).

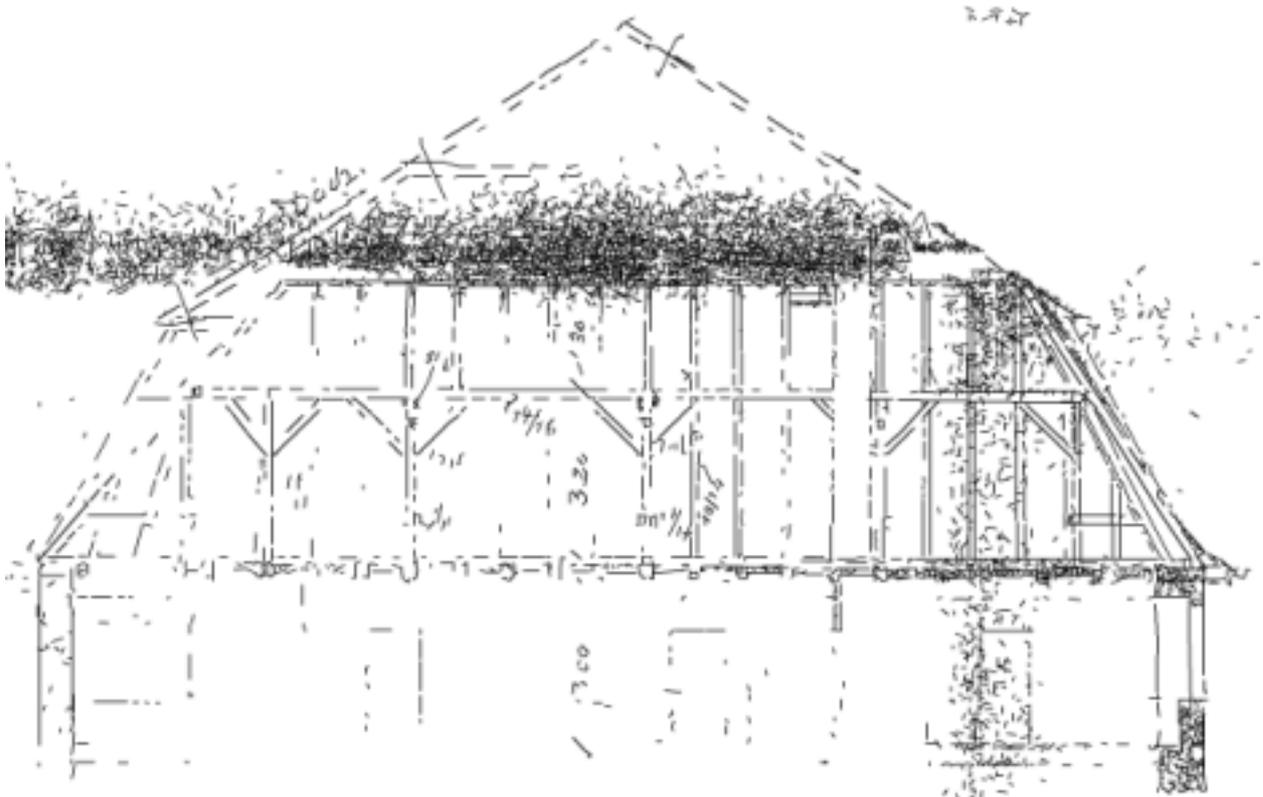
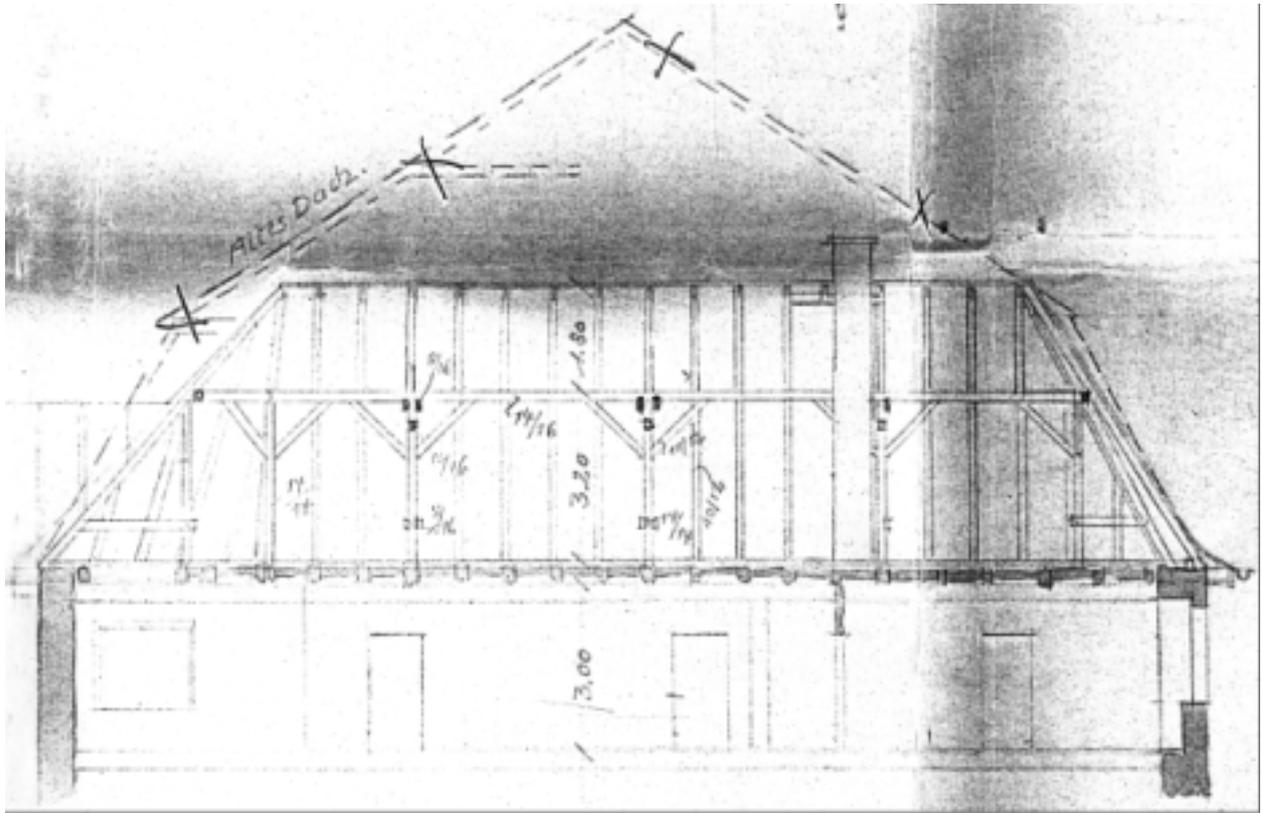


Abb. 8 und 9: Vektorisierung einer älteren Plandarstellung. Der Plan ist wegen seiner vielen Grauwerte (Verschmutzung) schlecht für eine automatische Verarbeitung geeignet. Das Ergebnis der Vektorisierung ist sehr Lückenhaft. Außerdem können die geometrischen Formen nicht richtig erkannt werden. Die Nacharbeitung dieses Planes wäre sehr zeitaufwendig. Effektiver wäre das Durchzeichnen auf eine Folie bzw. einen Layer.(Overlay)

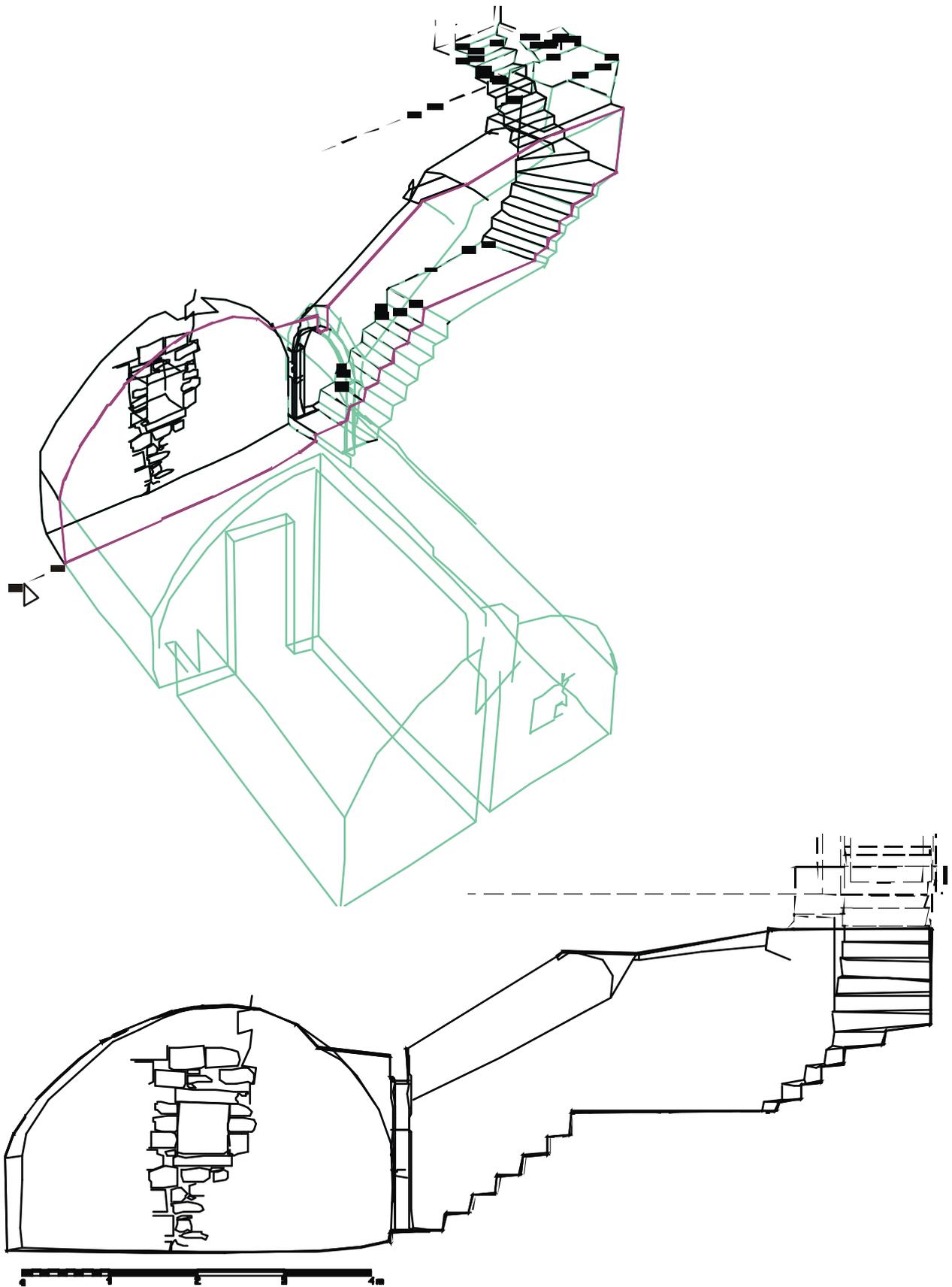


Abb. 10: Konstruktion eines Schnittes aus einem dreidimensionalen Drahtmodell. Die entstehende Schnittlinie muß konstruktiv ermittelt werden, falls sie nicht eingemessen wurde. Nicht sichtbare Linien werden ausgeblendet und die verdeckten Bauteilkanten werden gestrichelt. Ist die Schnittebene schon während der Aufmaarbeiten bekannt, können entsprechende Punkte im Verlauf der Linie eingemessen werden.

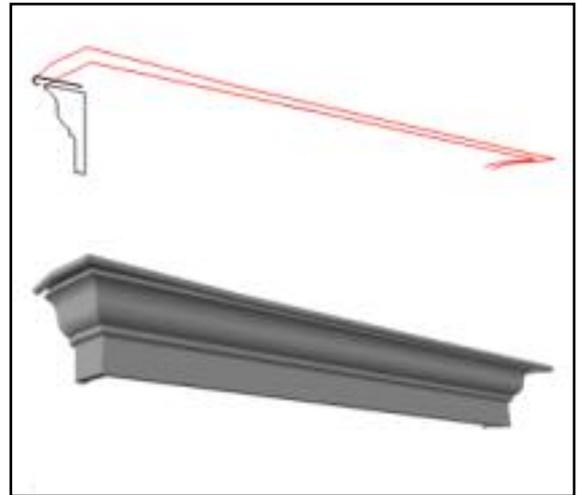
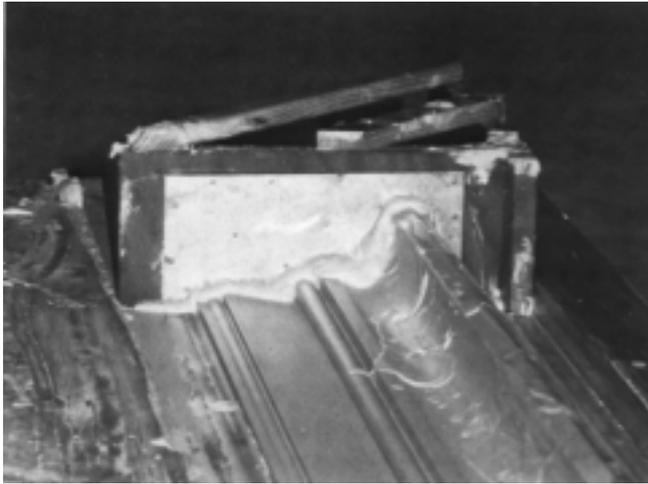


Abb. 11 u. 12: Analogie zwischen Herstellungsprozeß und digitaler Modellierung von Stuckgesimsen. Das linke Bild zeigt die Herstellung eines Gesimses als Mörtelzug mittels einer Schablone. Das rechte Bild zeigt das aufgemessene Profil und jeweils eine Längskante eines Gesimses mit seiner Zinkblechabdeckung. Wird das Profil entlang der Kante verschoben (extrudiert) entsteht daraus das Volumenmodell des Gesimses.

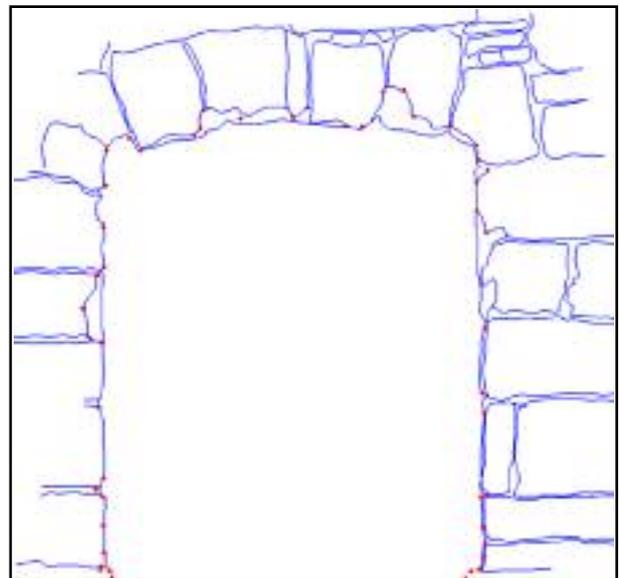
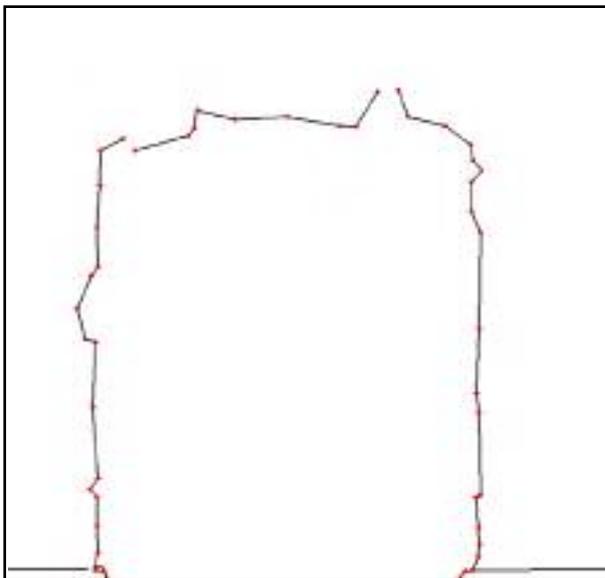


Abb. 13 u. 14: Porträtierendes Zeichnen von stark verwitterten Kanten. Tachymetrisch wurden einige Punkte eingemessen (links). Das daraus resultierende Linienmodell gibt die Gestalt der Kante unzureichend wieder. Für eine detailliertere Darstellung wird der Kantenverlauf zwischen den tachymetrisch eingemessenen Punkten porträtierend, freihand gezeichnet. In diesem Fall wurde mit einem drucksensitiven Stift und einem Grafiktablett im CAD-Programm gezeichnet. Zur Unterstützung wurde ein entzerrtes Photo hinterlegt.

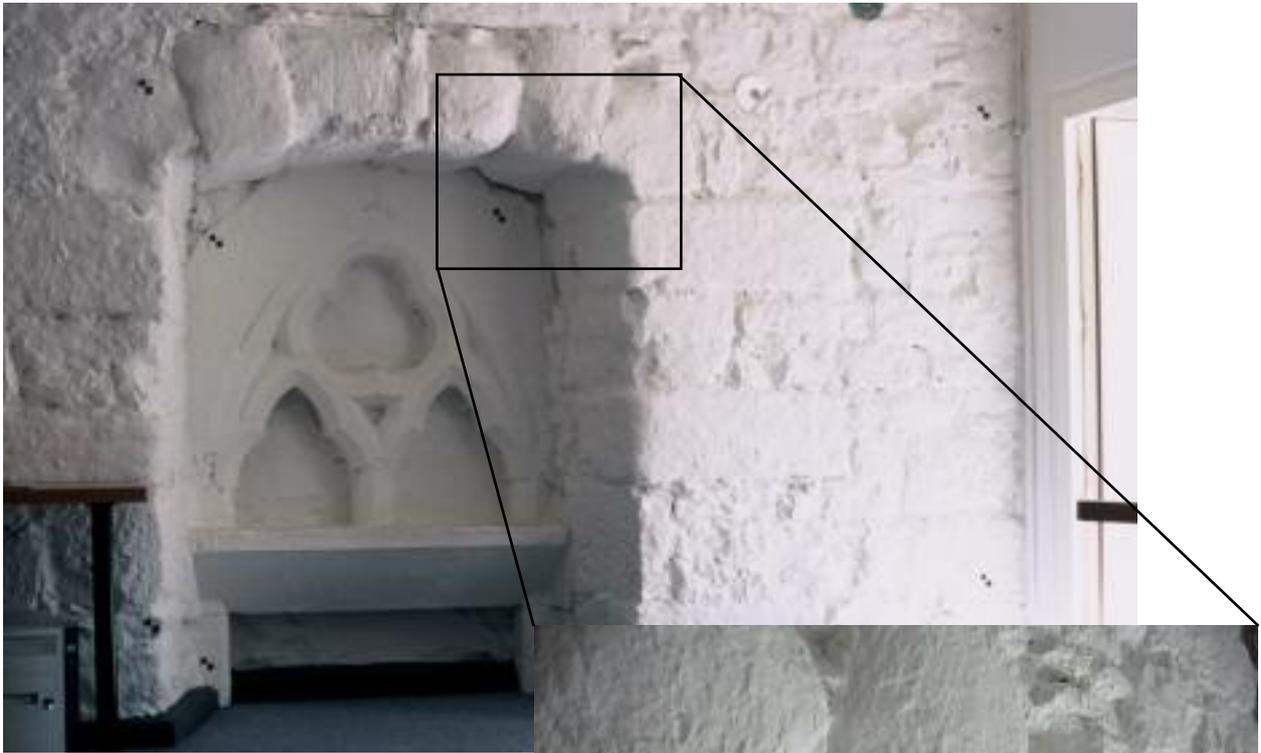
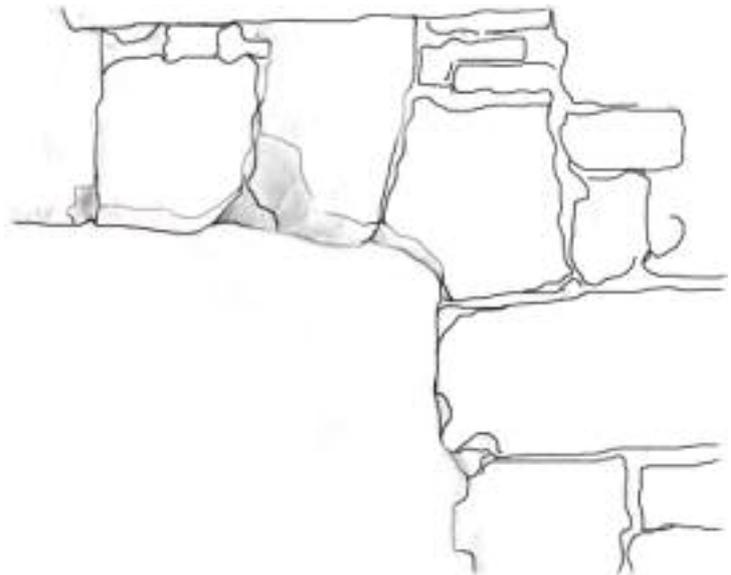
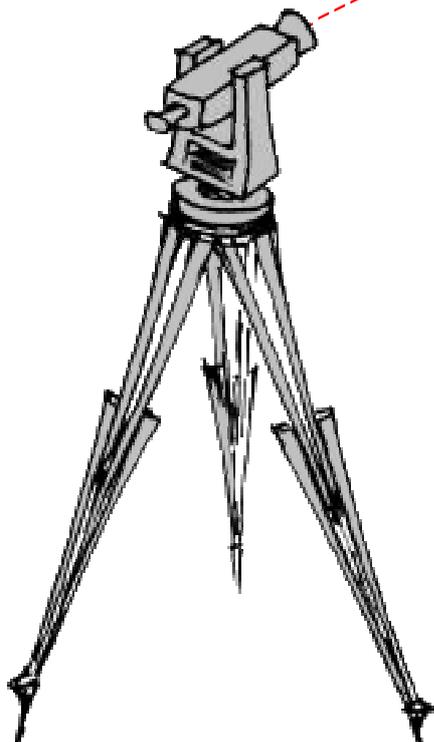


Abb. 15 Punktauswahl an gekrümmten Oberflächen. Die mit dem Meßstrahl zu erfassenden Punkte müssen so gewählt werden, daß die Umrißlinie des Steines anhand der gemessenen Punkte nachgezeichnet werden kann, oder es wird eine Photogrammetrische Auswertung angefertigt.



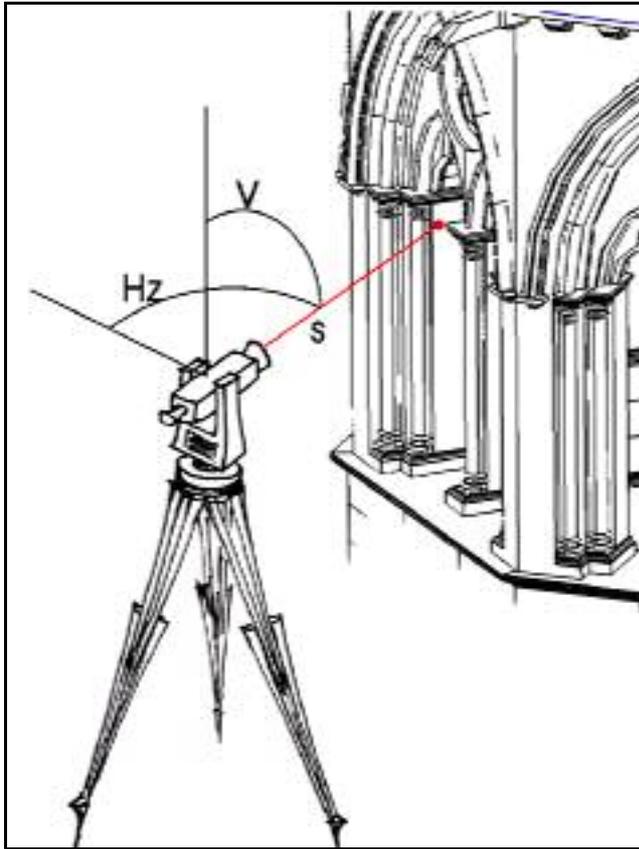


Abb. 16: Reflektorlose Tachymetrie. Durch den von der Bauteiloberfläche reflektierten Meßstrahl, kann die Distanz zum Gerätestandpunkt mittels Laufzeitmessung ermittelt werden. Gleichzeitig werden Horizontal- und Vertikalwinkel der Ziehlachse registriert. Der erfaßte Punkt wird somit eindeutig in einem Koordinatensystem bestimmt.



Abb. 17: Onlineübertragung der Meßwerte. Durch die Übertragung der Meßwerte an ein CAD-System, können die erfaßten Bauteilgeometrien sofort sichtbar gemacht werden. Grobe Fehler und Lücken in der Erfassung können dadurch vermieden werden.

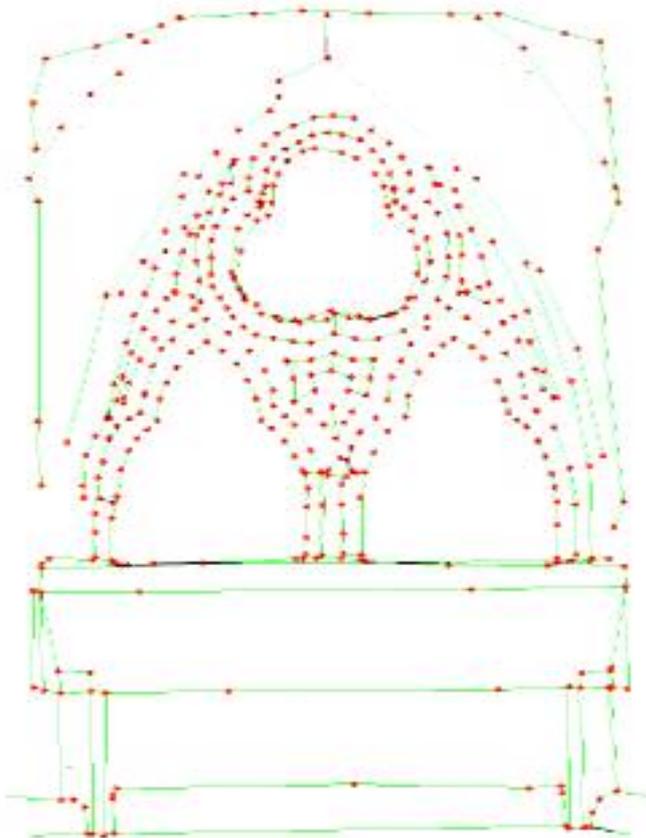


Abb. 18: Meßpunkt wolke. Für kleinteilige komplexere Geometrien müssen sehr viele Meßpunkte aufgenommen werden. Für eine größere Detaildichte sollte abgewogen werden ob eine Erfassung durch eine photogrammetrische Auswertung oder ein Handaufmaß mit weniger Aufwand verbunden ist.

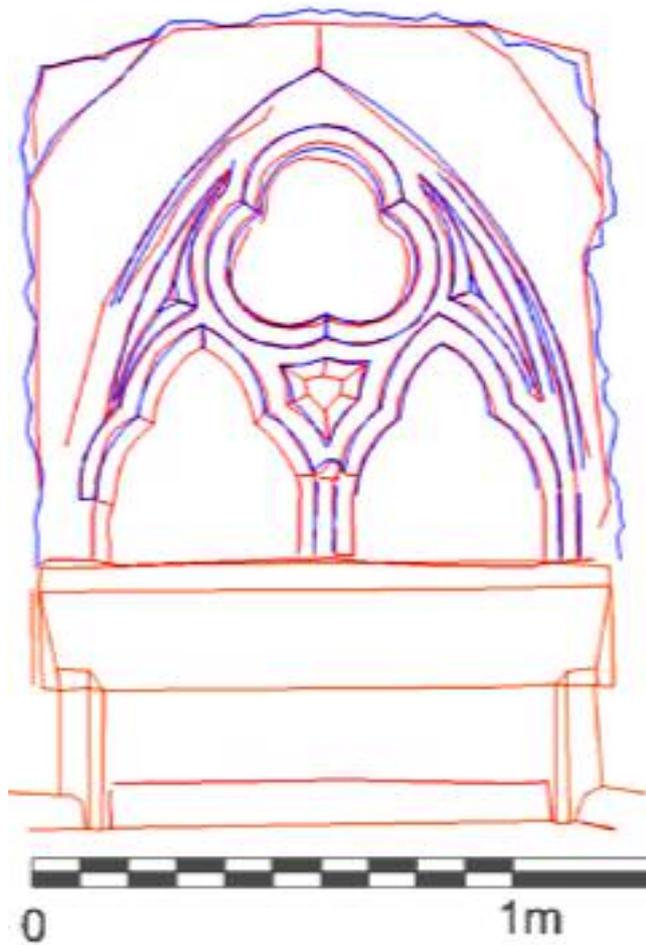


Abb. 19: Vergleich einer tachymetrischen Erfassung des Maßwerkes (rot) und der Auswertung einer entzerrten Fotografie (blau). Bei der Erfassung kleiner Geometrien mit dem Tachymeter, werden kleine Meßfehler im Millimeterbereich deutlich. Punkte auf Bauteilkanten können nicht auf den Millimeter genau vermessen werden. Es kommt zu kleineren Abweichungen, die aber erst bei einer Darstellung ab Maßstab ab 1:25 erkennbar werden.

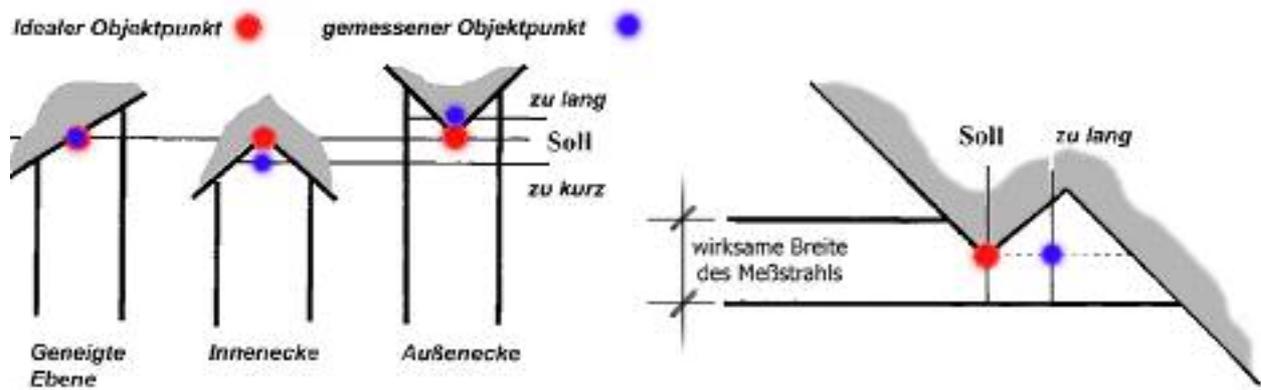


Abb. 20: Abweichung der Meßwerte durch die Breite des Meßstahles



Abb. 21: Digitale Nachbearbeitung von entzerrten Fotos. Die unverputzte Wand wurde weiß gefüncht. Dadurch ist die Mauerwerksstruktur nur sehr schlecht zu erkennen (linkes Bild). Im rechten Bild wurden Kontrast, Helligkeit und Farbwerte so verändert, daß sich die Steinstruktur wesentlich einfacher erschließen läßt. Voraussetzung ist natürlich die richtige Ausleuchtung bei der Aufnahme der Meßbilder.



Abb. 22 u. 23: Beeinflussung der Abbildungsfehler entzerrter Bilder durch unterschiedliche Aufnahmewinkel. Die Fenster im linken Bild befinden sich im Erdgeschoß, liegen also etwa in Augenhöhe. Tachymetrisch erstelltes Linienmodell und entzerrte Fotografie sind hier nahezu deckungsgleich. Die Fenster im rechten Bild befinden sich im 1. Obergeschoß. An der Verdachung der Fenster kann man gut sehen, daß Objekte, die nicht in der Entzerrungsebene des Orthofotos liegen, deutlich versetzt abgebildet werden.

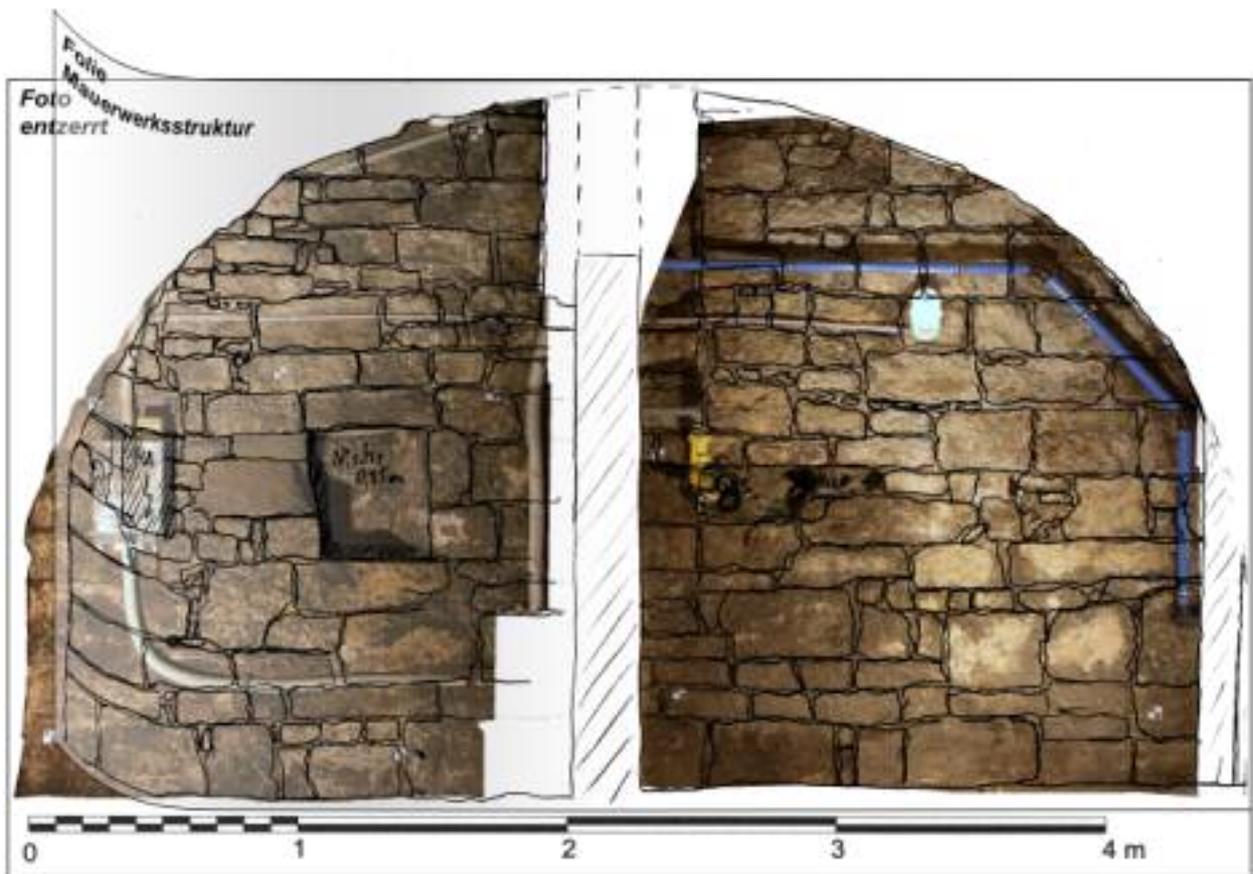


Abb. 24: Einbildauswertung mit Overlay-Technik. Über dem entzerrten Foto liegt eine Folie, auf der die Steinstruktur durchgezeichnet wird. Diese Methode kann mit einem Ausdruck und einer darüber gespannten beschreibbaren Folie oder mit einem Zeichen-, CAD- oder Bildbearbeitungssoftware durchgeführt werden. Die Umrißlinie der Schildwand und die Paßpunkte für die Entzerrung des Fotos wurden tachymetrisch eingemessen. Die Schildwand wurde mit einer Digitalkamera in vier Teilbereichen fotografiert um einen höheren Informationsgehalt der Bilder zu erreichen.

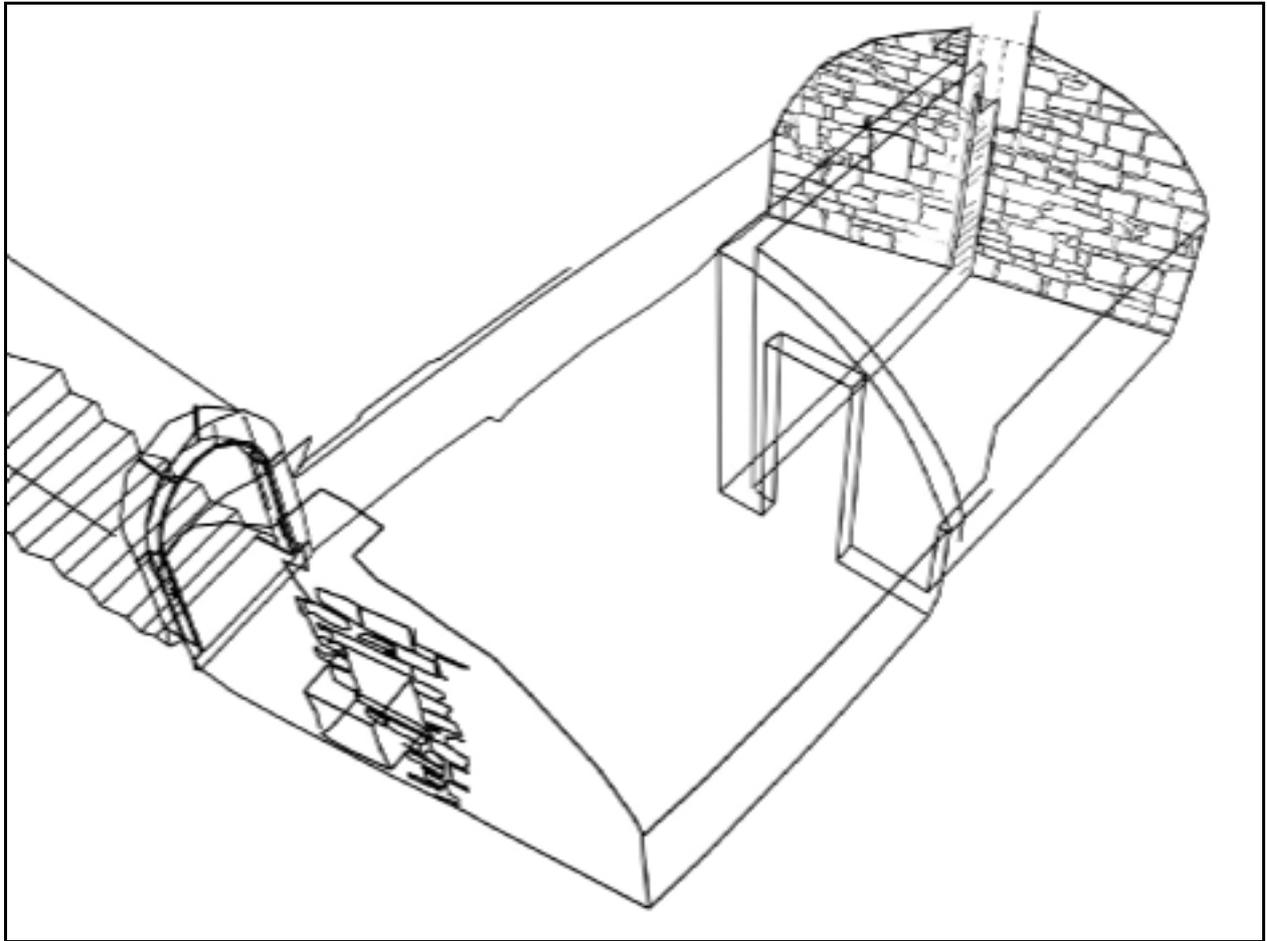


Abb. 25: Einfügung der Einbildauswertung in das CAD-Modell. Die Zeichnung wurde dazu eingescannt und vektorisiert.

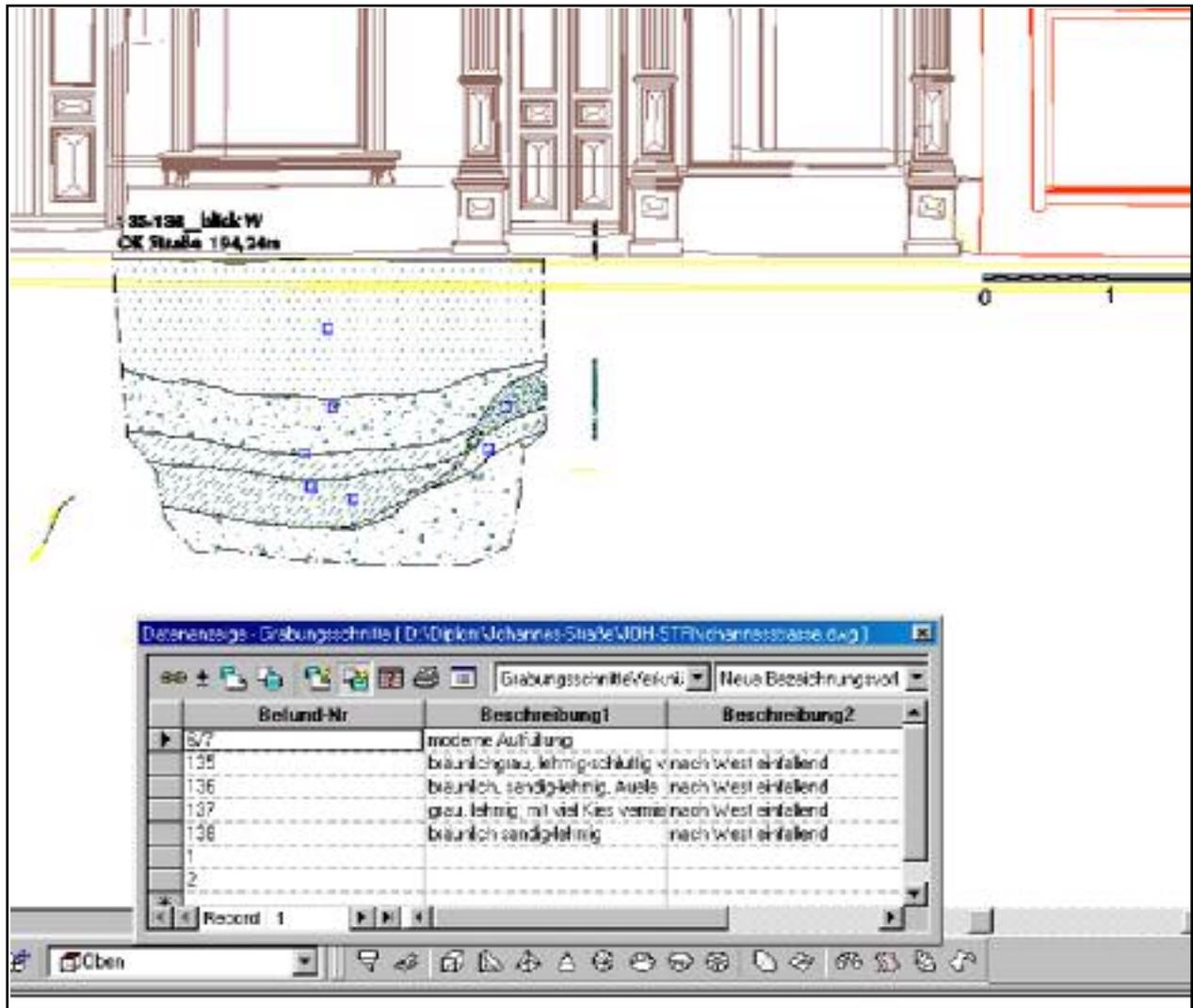


Abb. 26: Datenbankanzeige (Bildschirmausschnitt). Die Bezeichnungen und Beschreibungen für die Ausgewählten Zeichenobjekte (Schichten eines archäologischen Grabungsschnittes) werden aus einer Datenbank gelesen und angezeigt. Umgedreht können auch Eintragungen in der Datenbank ausgewählt werden. Die entsprechenden Zeichenobjekte werden dann automatisch indiziert.

Nächste Seite : Abb. 27: Übersicht 4 zur Auswahl der Vermessungsmethoden

		Stadt- und Raumplanung, Ortsbildanalyse, Denkmalinventarisierung	Einfache denkmalpflegerisches Aufmaß, Planungsgrundlage	Analytisches Aufmaß
Einkürzung in einem externen, übergeordneten Raumbezug	Nordrichtung (magnetisch Nord)	Einflichten und Abstecken mit Kompaß		
	Bezug zur Nachbarbebauung	Diagonalmessung		
		Strecken- und Winkelmessung mit Theodolit und Maßband oder Distanzmeßgerät		
		Tachymetrie		
	Herstellung eines Höhenbezuges	Nivellament		
	Bezug zum Landeskoordinatensystem	Strecken- und Winkelmessung mit Theodolit, Maßband und Nivelliergerät		
		Tachymetrie		
		GPS		
Erfassung von internen Raumbezug	Einfache Raumbeziehung, kleine Bauwerke	Additives Messen		
		Diagonalmessung		
		Festlegen eines Koordinatensystems durch Fluchstäbe, Schnurgerüste und Winkelprisma		
		Höhenmessung mit Nivelliergerät		
		Einrichtung eines Festpunktnetzes mit Theodolit und Maßband		
		Einrichtung eines Festpunktnetzes mit Tachymeter		
	Einfache Raumstrukturen, große Bauwerke	Additives Messen		
		Festlegen eines Koordinatensystems durch Fluchstäbe, Schnurgerüste und Winkelprisma		
		Höhenmessung mit Nivelliergerät		
		Einrichtung eines Festpunktnetzes mit Theodolit und Maßband		
		Einrichtung eines Festpunktnetzes mit Tachymeter		
	Komplizierte Raumstrukturen kleiner Gebäude	Festlegen eines Koordinatensystems durch Fluchstäbe, Schnurgerüste und Winkelprisma		
		Höhenmessung mit Nivelliergerät		
		Einrichtung eines Festpunktnetzes mit Theodolit und Maßband		
		Einrichtung eines Festpunktnetzes mit Tachymeter oder Totalstation		
	Komplizierte Raumstrukturen große Gebäude, Gebäudekomplexe	Höhenmessung mit Nivelliergerät		
		Einrichtung eines Festpunktnetzes mit Theodolit und Maßband		
		Einrichtung eines Festpunktnetzes mit Tachymeter oder Totalstation		

Geometrische Erfassung der Details	Ebene flächige Bauteile Ebene Strukturen	Handaufmaß additiv		
		Handaufmaß Diagonalmessung		
		Handaufmaß mit Schnurgerüst		
		Portätierendes Zeichnen		
		Tachymetrie mit Reflektor		
		Reflektorse Tachymetrie		
		Einblauswertung		
			Stereophotogrammetrie	
		Mehrbildphotogrammetrie		
	Flächige Bauteile mit differenzierten Ebenen	Handaufmaß additiv		
		Handaufmaß		
		Handaufmaß mit Schnurgerüst		
		Portätierendes Zeichnen		
		Tachymetrie mit Reflektor		
		Reflektorse Tachymetrie		
		Einblauswertung		
			Stereophotogrammetrie	
		Mehrbildphotogrammetrie		
	Ein Ebene, reliefartige Bauteile	Handaufmaß mit Schnurgerüst		
Portätierendes Zeichnen				
Reflektorse Tachymetrie				
Einblauswertung				
		Stereophotogrammetrie		
Mehrbildphotogrammetrie				
3D-Laser-Scanner				
Komplizierte plastische Bauteile und freistehende Platten	Portätierendes Zeichnen			
	Reflektorse Tachymetrie			
		Stereophotogrammetrie		
	Mehrbildphotogrammetrie			
	3D-Laser-Scanner			

Bauaufnahme des Kellers Johannesstraße 8 in Erfurt einschließlich Kellerzugang und Gebäudeumriß		
Zweck: Kellerkataster und historiologische Analyse		
Stromanschluß vorhanden, Gebäude begehbar, fester Untergrund		
1.	Einordnung in einen übergeordneten Raumbezug	
1.1.	Anschluß an Koordinatenfestpunkte des Landeskoordinatensystems	
1.1.1.	Festpunktkoordinaten und Festpunktbeschreibung vom Katasteramt beschaffen	2h
1.1.2.	Einmessen der Festpunkte mit Tachymeter	2h
1.2.	Anschluß an einen Höhenfestpunkt	
1.2.1.	Höhenfestpunktbeschreibung und Werte vom Katasteramt beschaffen	
1.2.2.	Übertragung der Bezugshöhe durch Nivellement	2x2h
2.	Erfassung der internen Raumbezüge	
2.3.	Tachymetrische Einrichtung eines Meßnetzes (Paßpunkte)	4h
3.	Geometrieerfassung	
3.1.	ebene flächenhafte Bauteile:	
3.1.1.	Wände, Fußböden: tachymetrische Erfassung	6h
3.1.2.	Steingerechtes Aufmaß der Schildwände	
3.1.2.1.	tachymetrische Bestimmung der Paßpunkte	0,5h
3.1.2.2.	Fotografische Aufnahmen	0,5h
3.1.2.3.	Entzerrung + Ausdruck	1h
3.1.2.4.	Einbildauswertung mit Analyse vor Ort	1h
		$\Sigma=21h$

Abb. 28: Beispiel eines Aufgabenkatalogs für eine Bestandserfassung

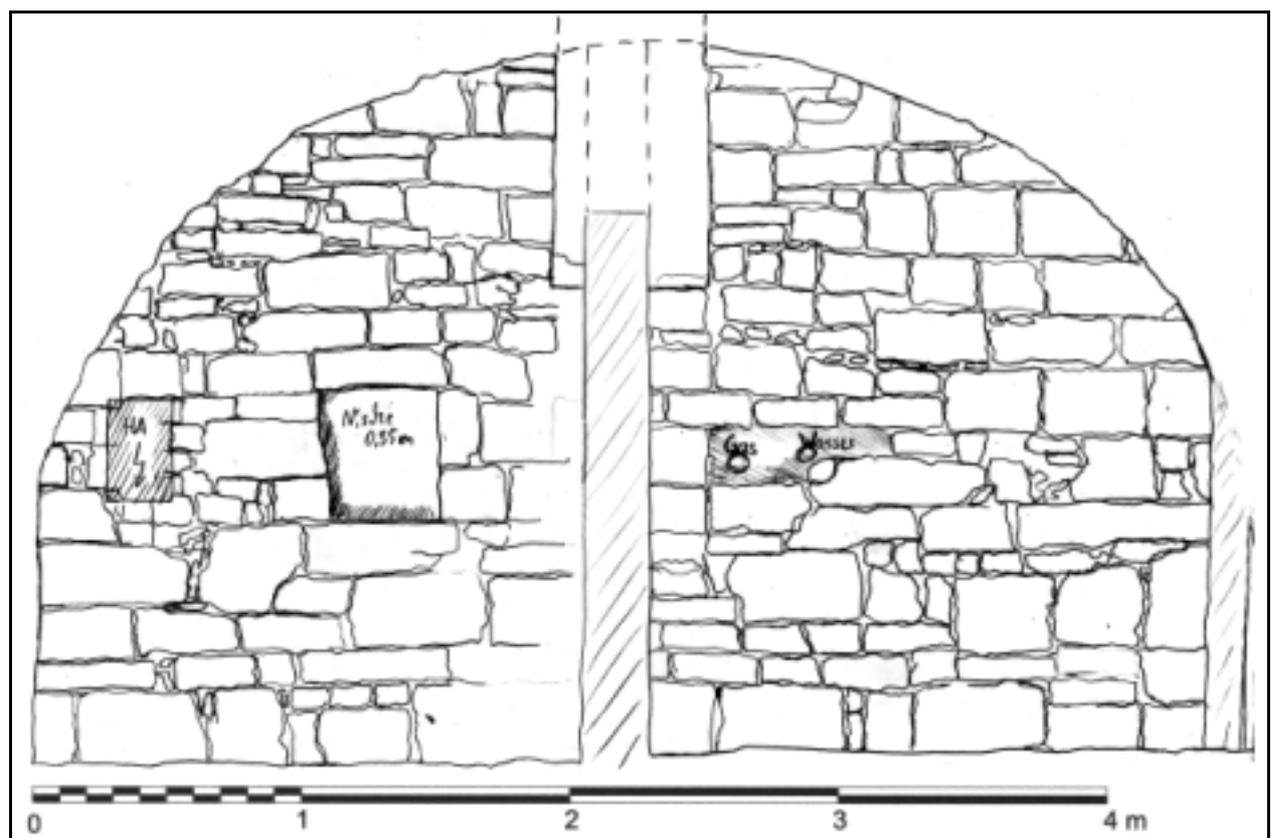
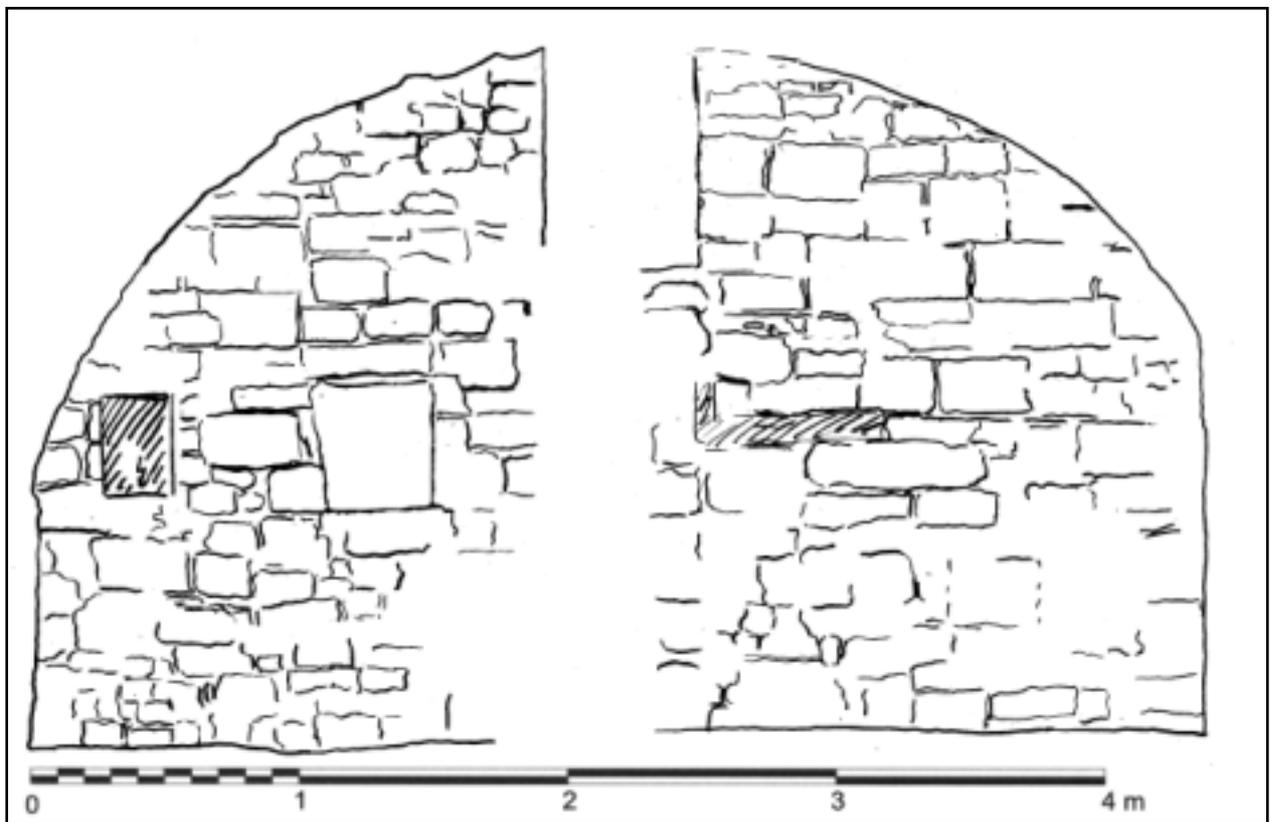


Abb. 29 u. 30: Vergleich von zwei Einbildauswertungen. Die obere wurde nur mit Hilfe des entzerrten Fotos angefertigt. Die untere Zeichnung wurde vor Ort, im direkten Vergleich mit dem Original erstellt. Durch vergleichende analytischen Beobachtung von Original und entzerrtem Bild konnte die Steinstruktur in kürzester Zeit (max.1h), maßstäblich richtig gezeichnet werden. Mit mechanischen Meßwerkzeugen oder mit dem Tachymeter hätte ein steingerechtes Aufmaß nicht in so kurzer Zeit angefertigt werden können. Durch die sehr intensive Auseinandersetzung und genaue zeichnerische Wiedergabe entsteht ein sehr detaillierte Darstellung mit hohem Aussagewert.



Abb. 31: Verbindung von tachymetrisch aufgenommenen Informationen mit entzerrten Fotos. Das tachymetrische Aufmaß wird durch die entzerrten Bilder in sinnvoller Weise ergänzt. Zusätzlich zu den geometrischen Formen wurde so der Zustand der Fassade dokumentiert. An den Fotos läßt sich auch erkennen, das sich hinter dem Putz eine Fachwerkkonstruktion verbirgt.

Anhang

Literaturverzeichnis

Cramer, Johannes: *Handbuch der Bauaufnahme – Aufmaß und Befund*. 2. Auflage, Deutsche Verlags-Anstalt GmbH, Stuttgart München 1993

<http://www.thueringen.de/vermessung>, recherchiert Juni 2002

Klein, Ulrich: *Bauaufnahme und Dokumentation*. Hrsg.: Manfred Gerner, Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart München 2001

Petke, Kristin: *Einsatz der reflektorlosen Tachymetrie bei der Aufmessung historischer Gebäude*. Diplomarbeit an der Technischen Universität Dresden, Fakultät Forst-, Geo-, und Hydrowissenschaften, Geodätisches Institut, Lehrstuhl für Ingenieurgeodäsie, Dresden 2000

Schmidt, Wolf: *Das Raumbuch als Instrument denkmalpflegerischer Bestandsaufnahme und Sanierungsplanung*. Arbeitsheft 44 des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege, München 1989

Weferling, Ulrich: *Bauaufnahme als Modellierungsaufgabe*. An der Fakultät für Architektur, Bauingenieurwesen und Stadtplanung der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus vorgelegte Dissertation

Witte, Bertold und Schmidt, Hubert: *Vermessungskunde und Grundlagen der Statistik für das Bauwesen*. 2. Auflage, Verlag Konrad Wittwer, Stuttgart 1991

Abbildungsverzeichnis

Abb. 4-7 : Baugenehmigungs- und Ausführungsplanung zum Ausbau des Hauses zum „Stockfisch“, Architekt : Olaf Lange, 1992/94

Abb. 8 u. 9 : Plan zum Neubau eines Dachstuhls Johannesstraße 166 im Jahre 1930 aus den Bauakten des Bauordnungsamtes Erfurt

Abb. 10 : aus der Bestandsaufnahme des Kellers der Johannesstraße 8 in Erfurt, Juli 2002

Abb. 11 : aus *Der Stukkateur*. Siegfried Leixner, Adolf Raddatz, Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart 1995, S. 224

Abb. 13- 15 : aus der Bestandsaufnahme Futterstraße 20 in Erfurt, linke Fensternische der nördlichen Hauswand im 1. Obergeschoß, Juni 2002

Abb. 18 u. 19 : aus der Bestandsaufnahme Futterstraße 20 in Erfurt, linkes gotisches Fenster in der nördlichen Hauswand im 1. Obergeschoß, Juni 2002

Abb. 20 : nach einer Abbildung aus *Geodätische Verfahren für das digitale Gebäudeaufmaß*. Script zur Vorlesung Vermessungskunde, Prof. Dr.-Ing.. W. Schwarz (Bauhaus-Universität Weimar, Lehrstuhl für Vermessungskunde der Fakultät Bauingenieurwesen), S.30

Abb. 21 : aus der Bestandserfassung Futterstraße 20 in Erfurt, Ausschnitt der westlichen Giebelwand im 1. Obergeschoß, Juni 2002

Abb. 22 u. 23 : aus der Bestandserfassung der straßenseitigen Fassade der Johannesstraße 9 in Erfurt, Juni 2002

Abb. 24 u. 25 : aus der Bestandserfassung des Kellers der Johannesstraße 8 in Erfurt, Analytische Zeichnung der östlichen Schildwand, Juli 2002

Abb. 26 : Grabungsschnitt vor der Johannesstraße 8 in Erfurt, (Befundnummer 135-138
Blick nach West, Landesamt für archäologische Denkmalpflege, 05.05.2001)

Abb. 29 u. 30 : aus der Bestandserfassung des Kellers der Johannesstraße 8 in Erfurt,
analytische Zeichnung der östlichen Schildwand, Juli 2002

Abb. 31 : Bestandserfassung der straßenseitigen Fassade der Johannesstraße 9 in
Erfurt, Mai 2002

Inhaltsverzeichnis CD-Rom

CD_1		
	html-seite	Internetseite (index.html)
	Fut_20	- Gebäudemodell Futterstraße 20 (Fut_20.dwg) - Rekonstruktion der Matthiaekirche (Fut_20_hist.dwg)
	Joh_08	- Gebäudemodell Johannesstraße 8 (Joh_08.dwg)
	Joh_09	- Fassadenmodell Johannesstraße 9 (Joh_09.dwg) - Quellen
	Joh_10	- Fassadenmodell Johannesstraße 10-12 (Joh_10.dwg) - Quellen
CD_2		
	Joh_166	- Gebäudemodell Johannesstraße 166 (Joh_166.dwg) - Baualterskartierung Johannesstraße 166 (Joh_166_hist.dwg)
	Joh_168	- Gebäudemodell Johannesstraße 168 (Joh_168.dwg) - Baualterskartierung Johannesstraße 168 (Joh_168_hist.dwg) - Übersicht zur axiologischen Analyse
	Joh_169	- Gebäudemodell Johannesstraße 169 (Joh_169.dwg) - Baualterskartierung Johannesstraße 169 (Joh_169_hist.dwg) - Animation zu den Bauphasen Johannesstraße 169 (Stockfisch.avi) - Quellen
	Joh_Str	- Gesamtmodell des aufgenommenen Teils der Johannesstraße (johannesstrasse.dwg) - Baualterskartierung des aufgenommenen

Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere, die vorliegende Diplomarbeit eigenständig und ohne fremde Hilfe angefertigt zu haben und daß außer den angegebenen keine weiteren Hilfsmittel verwendet wurden.

Erfurt, den 16. September 2002

Marcel Trommer.
