

Vision eines mitwachsenden Geometriemodells für die computergestützte Bauaufnahme

Dipl.Inf. Torsten Thurow
Juniorprof. Dr.Ing. Frank Petzold
Dr.Ing. Ulrich Weferling

thurow@informatik.uni-weimar.de
petzold@fossi.uni-weimar.de
weferling@archit.uni-weimar.de

Bauhaus-Universität Weimar
Professur Informatik in der Architektur

Einleitung

Mit den steigenden Anforderungen an Bauwerke ist auch für Planungsaufgaben im Baubereich eine zunehmende Komplexität zu verzeichnen. Dies gilt sowohl für den Neubau, als auch besonders für den Altbau, der durch unsichere Kenngrößen besondere Schwierigkeiten an die Planung stellt. Zur Bewältigung dieser Planungsaufgaben gebietet sich die fachliche Unterstützung durch digitale Systeme und Werkzeuge. Entsprechende Systeme, die den Planer unterstützen existieren nicht oder nur unzureichend.

Die digitale Unterstützung der Planung ist Forschungs- und Arbeitsschwerpunkt der Professur Informatik in der Architektur (InfAR) der Bauhaus-Universität Weimar. Seit 1998 ist diese Forschungsarbeit in den Sonderforschungsbereich 524 'Werkzeuge und Konstruktionen für die Revitalisierung von Altbauten' durch ein eigenes Teilprojekt (D2) integriert. Die Installation einer Juniorprofessur 'Architekturinformatik' 2002 verstärkt die Bearbeitung in Forschung und Praxis.

Die in dem Tagungsband vorgestellten Arbeiten 'Architekturplanung im Bestand', 'Neue Techniken in der Bestandserfassung', 'Das Bauwerk als Informationscontainer in den frühen Phasen der Bauaufnahme', 'Plausibilität im Planungsprozess - Digitale Planungshilfen für die Revitalisierung von Gebäuden', 'Computernetzwerke als Integrations- und Planungswerkzeuge', und 'Integrated Planning Support System for Low-Income Housing' sind weitere Bausteine des Forschungsgebietes und stehen in unmittelbarem Zusammenhang zum hier präsentierten Thema.

In dem nachfolgenden Beitrag wird EIN Schwerpunkt aus diesem Forschungskomplex „Planen und Bauen im Bestand“ näher diskutiert.

Die aktuelle Situation im Bauwesen ist dadurch geprägt, daß der überwiegende Teil an Bauleistungen in enger Beziehung zu der bestehenden Bausubstanz realisiert wird. Die Voraussetzung für die Planung sind exakte Planungsunterlagen. In der Regel stellen diese, falls sie überhaupt vorliegen, jedoch nur eine ungenaue und/oder unvollständige Basis für alle weiteren Untersuchungen dar. Aufgrund dieser Tatsache muß eine Bestandsaufnahme durchgeführt werden, die entweder eine Ergänzung, Prüfung oder vollständige Neuanlage der Planungsunterlagen zum Ziel hat.

Obwohl Umfang und Ablauf einer Bauaufnahme sehr stark von ihrem Verwendungszweck und der zu erfassenden Bausubstanz abhängig sind, bildet die Abbildung der Geometrie der Bausubstanz in der Regel einen wichtigen Bestandteil der Aufnahme. Die Bauaufnahme als Prozeß wird dabei u.a. durch die schrittweise Annäherung des Aufnehmenden an die

Bausubstanz geprägt. Diese schrittweise Annäherung betrifft ebenso die Geometrie der Bausubstanz und spiegelt sich in der klassischen Bauaufnahme in den verschiedenen Skizzen und Zeichnungen von der Erstbegehung bis zu den maßhaltigen Lageplänen, Grundrissen, Schnitten und Detailstudien wieder.

Die Autoren haben die Vision eines mitwachsenden Geometriemodells für die computergestützte Bauaufnahme, welches den Aufnehmenden von der Erstbegehung an begleitet. Die bei jeder Phase der Bauaufnahme gewonnenen Geometrieinformationen sollen in den anschließenden Phasen wiederverwendet, konkretisiert bzw. korrigiert werden. Aufmaßstechniken und Geometriemodell sind dabei eng gekoppelt. Verschiedene Sichten auf ein gemeinsames Geometriemodell haben zum Ziel, den Nutzer die Vorteile planarer Abbildungen nutzen zu lassen, ohne die dreidimensionale Übersicht zu verlieren oder entsprechende räumliche Manipulationen zu missen. Das Geometriemodell ist dabei in ein dynamisches Bauwerksmodell eingebettet.

Der folgende Beitrag bezieht sich auf die Bauaufnahme mit folgenden Vorgaben:

- die Bauaufnahme dient der Vorbereitung der Bauplanung im Bestand
- es wird (zunächst) nur eine Genauigkeitsstufe (im Bereich von +/- 10 cm) unterstützt
- die Geometrieabbildung des aufzunehmenden Bauwerkes beruht ausschließlich auf ebenen Oberflächen

Grundlagen

Die Bauaufnahme als Modellabbildung

Die Bauaufnahme als Vorbereitung des Bauens im Bestand dient der Bereitstellung der für die Planung nötigen Bestandsinformationen. Sie kann als Abbildung des vorhandenen Bestandes in ein verwendungsspezifisches Modell betrachtet werden¹ (siehe Abbildung 1). Der Abbildungsprozeß ist mit Kosten verbunden. Die Kosten richten sich nach den verwendungsspezifischen Vorgaben an die im Modell abgebildeten Informationen und den eingesetzten Techniken ihrer Ermittlung. Beispielsweise unterscheiden sich die Kosten der Ermittlung geometrischer Informationen je nach geforderter Genauigkeit und Detailliertheit, aber auch nach den eingesetzten Aufmaßstechniken und -methoden.

Zur Reduzierung des Erfassungsaufwandes und der entstehenden Kosten sind somit mögliche Angriffspunkte:

- Die Orientierung der Modelleigenschaften an dem jeweiligen Verwendungszweck
- Die individuelle Auswahl und Kombination von Erfassungsmethoden anhand der jeweiligen Rahmenbedingungen und die individuelle Anpassung der zu erfassenden und abzubildenden Daten

¹ Siehe Petzold01 und Weferling01

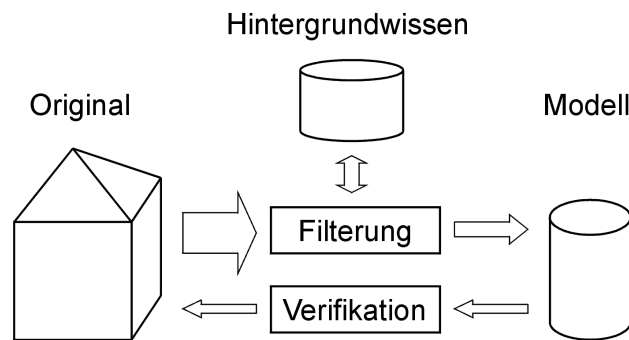


Abbildung 1: Abbildung Bauaufnahme

In Anlehnung an das Raumbuch [Schmidt89] lassen sich als Bestandteile des Modells aufführen

- Objekte
- Dokumente
- Ordnungsstrukturen

Unter Objekten sind dabei alle identifizierbaren Elemente wie Räume bzw. räumliche Objekte, Oberflächen, wie Wandoberflächen, Decken und Böden, Bauteile wie Fenster, Türen usw., sowie abstraktere Elemente wie Schadstellen etc. zu verstehen. Zur Beschreibung der Objekte werden diese mit Dokumenten verknüpft. Zu den Dokumenten zählen Textbeschreibungen, Fotos, Skizzen, Pläne usw. Mittels Ordnungsstrukturen werden die Objekte miteinander in Bezug gesetzt. Die Hauptordnungsstruktur ist dabei die Raumtaxonomie eines Gebäudes.

Das Bauaufmaß als geometrischer Teil der Bauaufnahme

Räume, Bauteile, Schadstellen und viele andere Objekte besitzen geometrische Eigenschaften. Objekte, welche keine geometrischen Eigenschaften besitzen, sind absolute Ausnahmerecheinungen.

Geometrische Eigenschaften haben sehr unterschiedliche Charaktere und lassen sich ebenso unterschiedlich angeben. So lassen sich als Eigenschaften eines Objektes, je nach seiner Art, beispielsweise Lage, Form, Höhe, Volumen oder Fläche nennen. Eine Lagebeschreibung kann verbal in der Form „Hauptgebäude Musterstraße 4, dritte Etage, Raum 105“ , oder formal als Koordinaten oder in anderer Weise geschehen. Die Angaben unterscheiden sich u.a. in ihrer Schärfe.

Das Bauaufmaß dient der Erstellung eines maßlichen Abbildes der Geometrie des untersuchten Bauwerkes. Im Rahmen einer zerstörungsfreien oder –armen Bauaufnahme sind dabei in der Regel² nur die sichtbaren Oberflächen des Bauwerkes erfassbar. Diese sind aber die Grenzflächen des Baukörpers, mit denen seine materielle Ausprägung vom Außenraum und von den Innenräumen abgetrennt wird. Die konkrete geometrische Ausprägung einzelner Bauteile, wie Wände, welche in ihrer Gesamtheit den Baukörper bilden und formen, kann oft entweder nur vermutet oder aber per Definition vom Aufnehmenden festgelegt werden. Für derartige Vermutungen bzw. Entscheidungen ist

² Ausnahme beispielsweise Ultraschall

jedoch ein globaler Überblick über das Bauwerk von Nöten, welcher u.U. erst zu einem späteren Zeitpunkt bestehen kann als die Identifikation einzelner Bauteile selbst.

Zu der maßlichen Erfassung der Oberflächen stehen unterschiedliche Aufmaßtechniken und –methoden zur Verfügung. Zu den wesentlichsten Aufmaßtechniken zählen die Autoren dabei das Handaufmaß, die Tachymetrie und die Photogrammetrie.

Als Ergebnis einer Bauaufnahme können sehr unterschiedliche Daten gefordert werden, beispielsweise:

- Pläne in Form von Grundrißplänen und Schnitten
- Flächen- oder Massenzahlen, z.B. Mietflächen
- Bauteilobjekte mit ihren geometrischen Parametern, z.B. Fenster mit Tiefe, Breite, Höhe

Alle diese geometrischen Daten stehen immer in Bezug zu bestimmten Objekten. Eine von Objekten losgelöste Geometrieabbildung ist in den meisten Fällen unzureichend !

Das geometrische Abbild eines Bauwerkes kann unterschiedlichen Abstraktionsstufen unterworfen sein, beispielsweise können Oberflächen als planar, horizontal oder vertikal verlaufend und im rechten Winkel aufeinandertreffend, abstrahiert werden. Höhere Abstraktionsstufen verringern den nötigen geometrischen Informationsbedarf zur Modellierung des Abbildes und damit den Aufmaßaufwand, bedingen aber größere Abweichungen zur Realität.

In der Regel muß das geometrische Abbild nur bestimmte geometrische Informationen enthalten. In vielen Fällen werden beispielsweise nur teilweise Höheninformationen benötigt. Ebenfalls können die Forderungen nach Abstraktionsstufe, Detailliertheit und Genauigkeit innerhalb eines aufzunehmenden Objektes lokal unterschiedlich ausfallen. Am Häufigsten dürften die Forderungen nach Grundrißplänen und geometrischen Parametern von Bauteilen, wie Länge, Breite und Höhe bei Fenstern stehen.

Entstehungsprozeß des Abbildes

Eine Bauaufnahme geschieht in der Regel in mehreren Phasen (siehe Abbildung 2). Während der Sichtung bestehender Planungsunterlagen und der Erstbegehung identifiziert oder definiert der Aufnehmende bereits relevante Objekte und ordnet ihnen Informationen zu. Beispielsweise erkennt der Aufnehmende vor dem ersten Kontakt zu einem Gebäude anhand von Fotos grob den Gebäudetyp und kann Vermutungen über den Erfassungsaufwand treffen. Während der Erstbegehung kann bereits eine Raumtaxonomie entstehen, geometrische Informationen können mittels Skizzen festgehalten werden.

Während des Bauaufmaßes erfolgt die maßliche Erfassung von Objekten wie Räumen und Bauteilen. Die gewonnenen Meßdaten des Bauaufmaßes, wie auch andere im Rahmen der Aufnahme vor Ort gewonnene Daten, werden im Büro aufbereitet und zusammengefaßt bzw. zugeordnet. Die Erfassung und Abbildung von Daten kann dabei zyklisch erfolgen. Den vorläufigen Abschluß der Bauaufnahme bildet die Übergabe und Archivierung der erfaßten Daten, welche in ihrer Summe das Abbild des Bauwerkes bilden.

Sichtung bestehender Planungsunterlagen			
Erstbegehung			
Aufnahme vor Ort			
	Bauaufmaß	Baubeschreibung	Fotodokumentation
Aufbereitung im Büro bzw. vor Ort			
	planungsgerechte Aufbereitung der aufgenommenen Daten		
Fortschreibung der Daten im Büro			
	Quellenstudium	Zuordnung weiterer Informationen wie z.B. gutachterliche Daten	
Präsentation und Dokumentation			

Abbildung 2: Phasen einer Bauaufnahme

Vision eines mitwachsenden Geometriemodells

Der Computer bietet vielfältige Möglichkeiten, den Aufnehmenden während der Bauaufnahme zu unterstützen. Speziell wird in diesem Artikel die mögliche Unterstützung des Bauaufmaßes betrachtet.

Das Bauaufmaß ist, wie in den bisherigen Ausführungen erläutert, von einer schrittweisen Erfassung aller Bauwerksdaten geprägt, deren Auswahl und Art der Abbildung konkret auf den jeweiligen Verwendungszweck zugeschnitten sein sollte.

Bisherige computergestützte Aufmaßsysteme entstammen oft Adaptionen der Bauplanung oder stellen Insellösungen dar, welche auf zum Teil sehr hohem Niveau einzelne Aufmaßtechniken und –methoden unterstützen, aber kein durch die verschiedenen Phasen der Bauaufnahme hindurchführendes System formen und auch nicht oder nur indirekt³ die Kombination unterschiedlicher Aufmaßtechniken unterstützen.

Die Professur „Informatik in der Architektur“ arbeitet seit Jahren an neuen Herangehensweisen für die computergestützte Bauaufnahme. Ein Forschungsthema ist dabei die Konzeption eines Computersystems für die Bauaufnahme als Vorbereitung des Bauens im Bestand, welches den Aufnehmenden von der Erstbegehung bis zur Datenübergabe begleitet.

Im Folgenden wird ein Ansatz der Unterstützung des computergestützten Bauaufmaßes betrachtet, welcher sich konkret an folgende Forderungen aus der Praxis richtet:

- Die Erfassung des Bauwerkes geschieht in mehreren Stufen
- Die Erfassung erfolgt mit Hilfe unterschiedlicher Aufmaßtechniken und –methoden
- Geometrie und Bauwerksmodell müssen eng miteinander verknüpft sein
- Nur die Oberflächen des Baukörpers lassen sich unmittelbar erkennen, die Geometrie einzelner Bauteile kann nur teilweise bzw. unvollständig bekannt sein
- Geometrische Informationen werden als Zielergebnis in unterschiedlicher Form benötigt, beispielsweise als bauteilspezifische Geometrieparameter

³ Selbstverständlich besitzen die Systeme Import- und Exportfunktionen. Die Kombination verschiedener Systeme erweist sich jedoch auf diesem Weg als schwierig und kann nicht als homogenes System gewertet werden. Außerdem obliegt dem Aufnehmenden selbst die unmittelbare Zusammenführung der Einzeldaten.

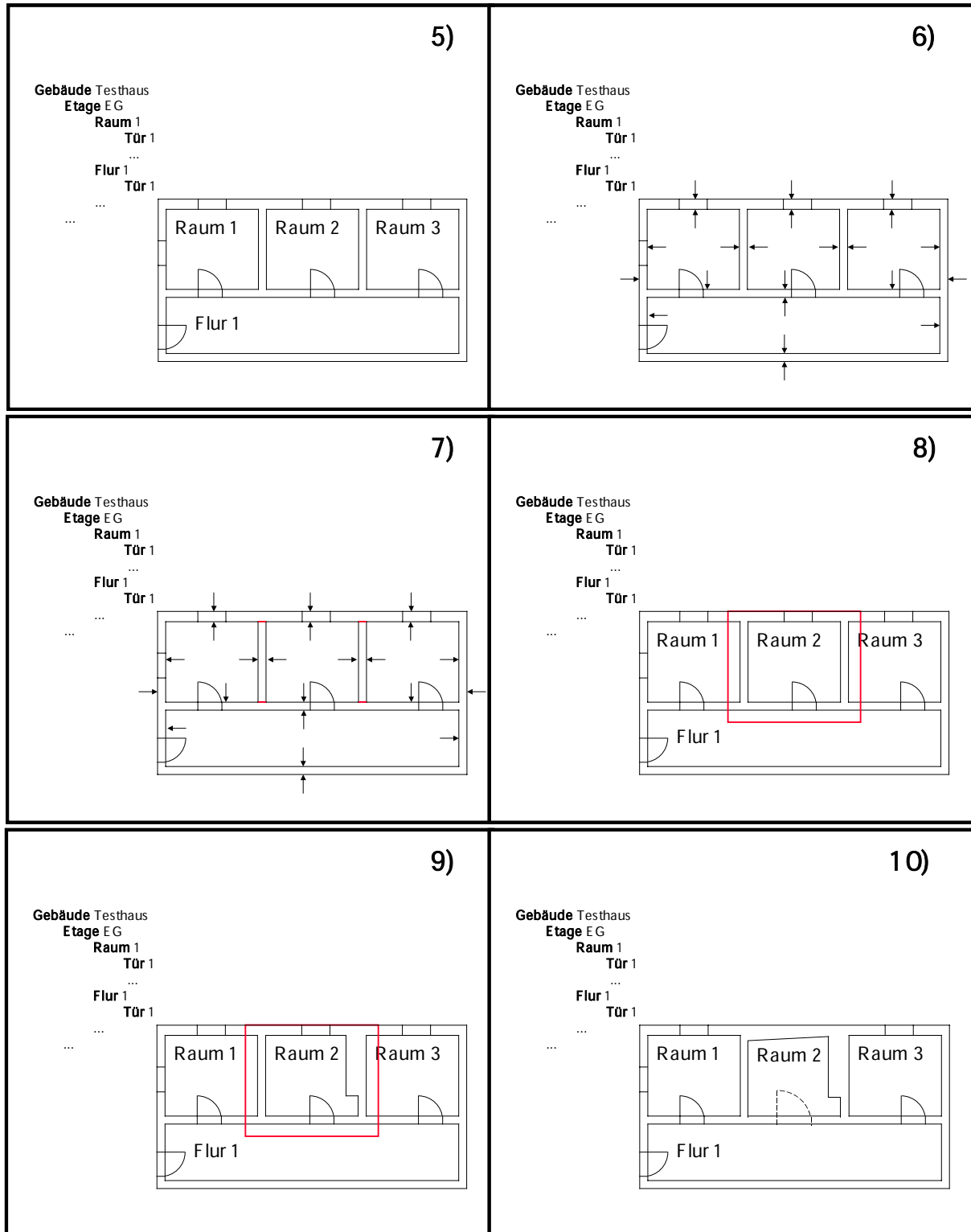


Abbildung 3: Beispiel Vorgehensweise

Vorgehensweise

Das von den Autoren vorgeschlagene System soll den Nutzer zu keiner bestimmten Vorgehensweise zwingen. Um die durchgängige Unterstützung des Systems von der Erstbegehung bis zur Datenübergabe zu erläutern, wird an dieser Stelle eine mögliche Vorgehensweise herausgegriffen, welche nicht als bindend zu betrachten ist. Es handelt sich dabei um den Ansatz „Von der Skizze zum Detail“.

Im Rahmen einer Erstbegehung beginnt der Aufnehmende mit der Erstellung des Bauwerksmodells (siehe Abbildung 3, Teilbild 1). Weiter hält der Aufnehmende in dieser Phase vorgefundene Raumgeometrien fest. Mittels skizzenbasierter Eingabe wird dabei ein Geometriemodell erstellt, welches maßlich nur sehr grob mit der Realität übereinstimmt. Instanzen von Klassen des dynamischen Bauwerksmodells und das Geometriemodell werden dabei miteinander in Beziehung gesetzt. Teilbild 2 zeigt die Zuordnung von Oberflächen zu dem entsprechenden Raumobjekt. Die Teilbilder 3 bis 5 zeigen die weitere Entwicklung des Bauwerksmodells und des Geometriemodells.

Bereits aus der skizzenbasierten Geometrieingabe ist für alle Oberflächen bekannt, auf welcher Seite jeder Fläche der Baukörper und auf welcher Seite der Innen- oder Außenraum liegt. Das Ergebnis der Eingabe ist ein Flächenmodell, welches das Gesamtvolumen des Baukörpers von den Innen- und Außenräumen trennt (Teilbild 6).

Nur wenige Bauteile, wie Fenster und Türen sind direkt erkennbar. Vor allem Bauteile des Rohbaus sind direkt nur schwer zu identifizieren. Hier ist das Hintergrundwissen des Aufnehmenden über häufig anzutreffende Baukonstruktionen gefragt, um Bauteile zu identifizieren bzw. zu vermuten. Da nur Teile der Oberflächen dieser Bauteile Raumboberflächen bilden, lassen sich die Geometrien der Bauteile nur teilweise direkt bestimmen. Es ist daher erforderlich, die Geometrie von Bauteilen entweder nur teilweise abzubilden oder durch Vermutungen oder Definitionen zu vervollständigen.

Um eine vollständige Geometrie von Bauteilen zu gewinnen, ist es erforderlich, das entstandene Flächenmodell nach Teilbild 6 durch die Einbringung von Trennflächen zu untergliedern (Teilbild 7, Trennflächen sind rot markiert). Auf diese Weise ergeben sich abgeschlossene Einzelvolumen der Bauteile, der Dualismus zwischen Flächen- und Volumenmodell wird hier deutlich.

Das bisherige Teilergebnis besteht aus einem Bauwerksmodell und einem Flächen- / Volumenmodell des Bauwerkes, die miteinander verbunden sind. Das Geometriemodell ist maßlich sehr grob auf der Genauigkeitsstufe einer Skizze.

Während der Bauaufnahme vor Ort erfolgt das Zuordnen relevanter Informationen zu dem Bauwerksmodell. Das Bauaufmaß als Bestandteil der Bauaufnahme vor Ort hat die weitere Detaillierung des Geometriemodells und vor allem seine maßliche Erfassung zur Aufgabe. Teilbild 8 zeigt einen einzelnen Raum, welcher in Teilbild 9 geometrisch weiter detailliert wurde. Für die maßliche Erfassung werden mittels unterschiedlicher Aufmaßtechniken und –methoden Meßdaten gewonnen, mittels derer das System die maßliche Ausprägung des Geometriemodells der Realität nähert (Teilbild 10).

Verknüpfung zwischen dynamischen Bauwerksmodell und Geometrie

Zur Modellierung des Bauwerksmodells und seiner Verknüpfung mit dem Geometriemodell werden drei Grundklassen eingeführt:

- Flächenklassen

- Raumklassen
- Bauteilklassen

Flächenklassen dienen der unmittelbaren Klassifikation und Gruppierung von Oberflächen, sowie der Zuordnung von Informationen zu diesen. Eine Instanz einer Flächenklasse kann dabei auf Polygone des Geometriemodells verweisen, wie auch auf andere Instanzen von Flächenklassen.

Raumklassen und Bauteilklassen dienen der Modellierung des Bauwerkmodells. Raumklassen repräsentieren dabei räumliche Elemente wie Räume, Etagen, Gebäudeflügel usw. Bauteilklassen stehen dagegen für die materiellen Bauteile an sich, welche in ihrer Gesamtheit den Baukörper bilden, der wiederum die räumlichen Elemente formt.

Maßliche Anpassung des Geometriemodells

Die Autoren fordern ein Aufmaßsystem, welches dem Aufnehmenden die beliebige Kombination von verschiedenen Aufmaßtechniken und -methoden erlaubt. Verschiedene Abstraktionsstufen der Geometrie erlauben dabei die Reduktion des Aufmaßaufwandes.

Zur Verbindung unterschiedlicher Aufmaßtechniken, -methoden und geometrischen Abstraktionsstufen wird ein Modell der Ausgleichsrechnung verwendet. Bei der Nutzung des Ausgleichsmodells geht es dabei erst an zweiter Stelle um eine Genauigkeitssteigerung im Falle von Überbestimmungen. Im Zentrum steht die Nutzung der Linearisierung zur Vereinigung der mathematischen Modellierungen von Meßwerten und geometrischen Restriktionen.

Als Beispiel für die Modellierung von Meßwerten seien die Beschreibung der Entfernung zwischen zwei Punkten, wie im Handaufmaß, sowie eines Horizontalwinkels und eines Vertikalwinkels, wie in der Tachymetrie, gegeben:

$$D = \sqrt{(P2_x - P1_x)^2 + (P2_y - P1_y)^2 + (P2_z - P1_z)^2}$$

$$Hz = \arctan 2 \left(\frac{PM_x - PT_x, PM_y - PT_y}{PM_z - PT_z} \right) - o + v$$

$$V = \arccos \left(\frac{PM_z - PT_z}{\|PM - PT\|} \right) + v$$

Arctan2 beschreibt dabei eine dem arctan ähnliche Funktion, welche auch für den Fall $PM_y = PT_y$ definiert ist. Als Beschreibung für geometrischen Restriktion sei die Modellierung eines Polygon genannt, welches senkrecht verläuft. Dazu wird der Normalenvektor n des Polygons genutzt:

$$\frac{\pi}{2} = \arccos \left(\frac{n_z}{\|n\|} \right)$$

Eine direkte analytische Verbindung der verschiedenen Gleichungssysteme, die oben genannten sind nur ein kleiner Ausschnitt, würden eine ungeheure Vielzahl an möglichen Kombinationsmöglichkeiten bedeuten. Die Verbindung der Gleichungssysteme durch ihre Linearisierung stellt hingegen eine sehr einfache Form der Zusammenführung dar.

Aufgrund der in diesem Modell klein ausfallenden Normalgleichungsmatrix N wurde die Ausgleichung nach vermittelnden Beobachtungen gewählt. Geometrische Restriktionen

werden als Pseudobeobachtungen formuliert. Die Gewichtung der Pseudobeobachtungen erlaubt eine Priorisierung zwischen Beobachtungen und Pseudobeobachtungen, welche je nach Wunsch des Aufnehmenden als strenge Restriktionen oder als Nebenbedingungen im Falle von Unterbestimmungen dienen sollen.

Das Ausgleichsmodell wird mit dem Geometriemodell in erster Linie über Punkte verbunden, deren Koordinaten als Unbekannte in das Ausgleichsmodell eingefügt werden. Meßwerte der Tachymetrie, der Photogrammetrie und des Handaufmaßes, sowie geometrische Restriktionen werden als Beobachtungen dauerhaft gehalten. Auf diese Weise kann das Modell zu jedem Zeitpunkt um weitere Messungen ergänzt werden, welche in Kombination mit den bisherigen Messungen zu einer Genauigkeitssteigerung beitragen. In der Zukunft sollen die vorgehaltenen Beobachtungen außerdem der Aufdeckung von Meßfehlern und der groben Genauigkeitsvorhersage des Geometriemodells dienen.

Als Näherungswerte der Unbekannten, welche im Wesentlichen die Koordinaten von Punkten des Geometriemodells sind, dienen deren skizzenbasiert angegebenen Positionen. Obwohl diese Näherungswerte nur sehr grob ausfallen, ergeben sich keine Probleme im Ausgleichsprozeß.

Die Beobachtungen werden alle als unkorreliert modelliert, da eine automatische Modellierung der Abhängigkeiten zwischen den Beobachtungen von den Autoren als schwierig angesehen wird. Es sei an dieser Stelle noch einmal darauf hingewiesen, das die Ausgleichung in diesem Konzept nur sekundär der Genauigkeitssteigerung dient.

Für die automatische Beseitigung von Datums- und Konfigurationsdefekten wählten die Autoren zunächst einen sehr pragmatischen Ansatz mittels einer kontinuierlichen Regularisierung. Als Nebenbedingung wird dabei gesetzt:

$$\min \left(\|N\mathbf{x} - \mathbf{n}\|^2 + \alpha \|\mathbf{x}\|^2 \right)$$

Diese Nebenbedingung hat die angenehme Erscheinung, stark ausschlagenden Verbesserungen \mathbf{x} entgegenzuwirken. Sie läßt sich leicht umsetzen als:

$$N' = N + \alpha I$$

wobei mit I die Identitätsmatrix bezeichnet wird.

Auf numerischer Seite wurde für die Generierung der Matrizen sowie für die auf ihnen durchzuführenden Rechenoperationen eine Bibliothek für dünn besetzte Matrizen erstellt. Die Auflösung des Zielgleichungssystems $N\mathbf{x} = \mathbf{n}$ erfolgt mittels eines modifizierten Cholesky-Verfahrens über einer Skyline-Matrix.

Nutzung von geometrischen Filtern

Durch den Einsatz von geometrischen Nebenbedingungen, wie Rechtwinkligkeiten und Parallelität von Oberflächen sowie deren senkrechten oder waagerechten Verlauf bzw. Fang mehrerer Oberflächen in einer Ebene läßt sich zu ungunsten der Genauigkeit der Aufmaßaufwand, vor allem bei der Verwendung des Handaufmaßes, maßgeblich reduzieren. Zur Unterstützung werden von den Autoren Werkzeuge eingeführt, die im Folgenden als Filter bezeichnet werden.

Filter dienen dazu, im Geometriemodell nach bestimmten geometrischen Restriktionen zu suchen und diese, falls gegeben, als Nebenbedingungen im Ausgleichsmodell zu

formulieren. Weiter löschen Filter auch von ihnen gesetzte Nebenbedingungen, wenn diese sich bei der Fortschreibung des Geometriemodells als nicht gegeben herausstellen.

Abbildung 4 zeigt zwei Beispiele für geometrische Nebenbedingungen. Teilbild 1 zeigt einen Ausschnitt im Grundriß eines Gebäudes. Teilbild 2 zeigt eine Menge von Oberflächen, welche jeweils als parallel gesetzt werden. Die Parallelsetzung wird dabei mittels der Einführung eines Normalvektors für alle entsprechenden Oberflächen modelliert. Die Normalvektoren der Oberflächen einer Gruppe werden mittels schwach gesetzter Pseudobeobachtung parallel zum gemeinsamen Normalvektor gesetzt. Teilbild 3 zeigt die Modellierung von globalen Rechtwinkligkeiten. In diesem Fall werden zwei Normalvektoren von zwei Oberflächengruppen mittels Pseudobeobachtung rechtwinklig gesetzt.

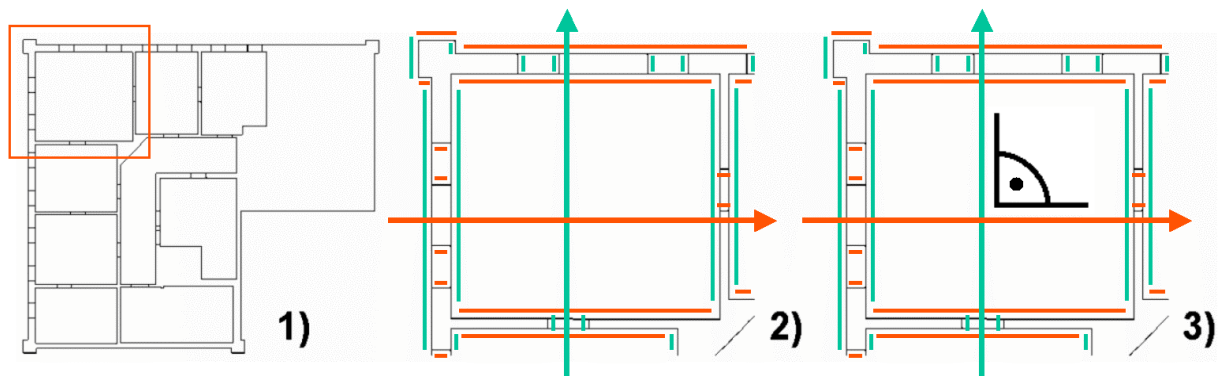


Abbildung 4: Geometrische Nebenbedingungen

Parametrisierung des Geometriemodells

Wie in Abschnitt „Das Bauaufmaß als geometrischer Teil der Bauaufnahme“ erläutert, werden als ein Ergebnis des Bauaufmaßes oft bauteilspezifische Geometrieparameter benötigt, wie etwa Länge, Breite, Höhe. In Abschnitt „Basisansatz“ wurde bereits beschrieben, das die Autoren einen Ansatz gewählt haben, bei welchem die Geometrie eines Objektes diesem quasi als Attribut „angehängt“ wird. Die Klassen der Objekte besitzen keine Methoden zur Erzeugung oder Manipulation der Geometrien. Dennoch ist eine Kopplung zwischen Parametern in den Objekten und den Geometrien möglich.

Um eine Kopplung zwischen Geometriemodell und Objekt zu erreichen, werden im Geometrie- bzw. Ausgleichsmodell besondere Beobachtungen eingeführt, welche eine doppelte Funktion erfahren. Als Leseobjekte „greifen“ sie im Geometrie- bzw. Ausgleichsmodell bestimmte geometrische Werte ab und schreiben diese in Attribute der mit der Geometrie verbundenen Objekte. Als Schreibobjekte bilden sie Attributwerte der Objekte als Beobachtungen im Ausgleichsmodell ab.

Abbildung 5 zeigt die Verknüpfung einer Klasse Stütze_1 und eines Geometriemodells am Beispiel des Attributes Höhe. In diesem Fall wurde eine Kopplung über mehrerer Lese- / Schreibobjekte vorgenommen. Bei einem Lesezugriff wird der Mittelwert der Leseattribute übertragen, bei einem Schreibzugriff fungieren alle Lese- / Schreibobjekte als Beobachtungen im Ausgleichsmodell.

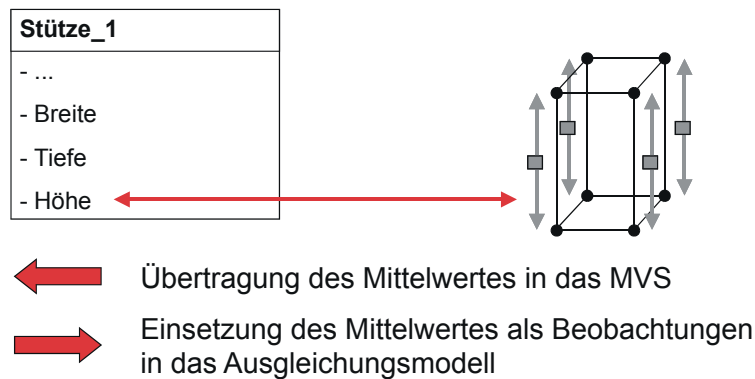


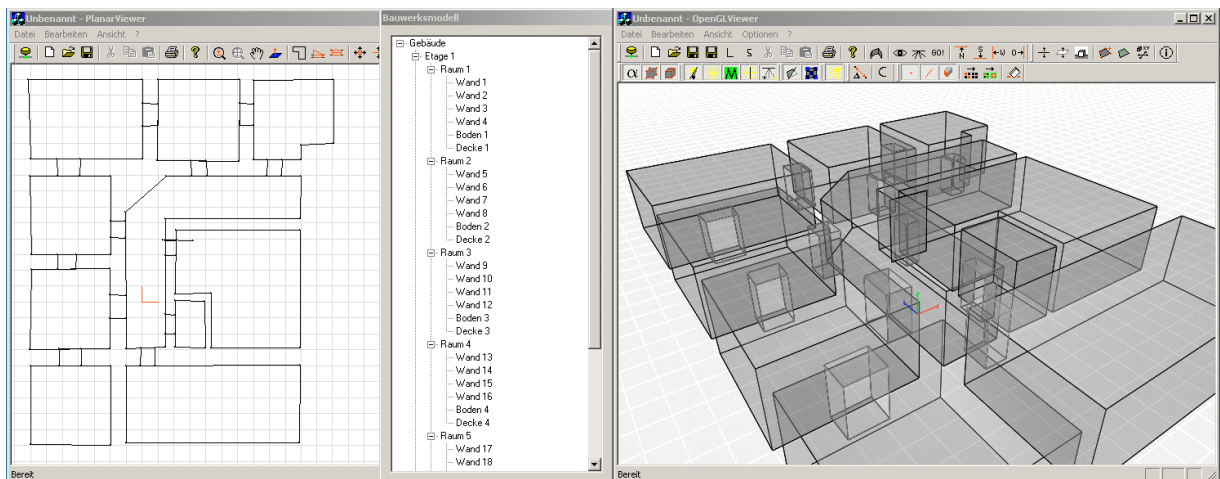
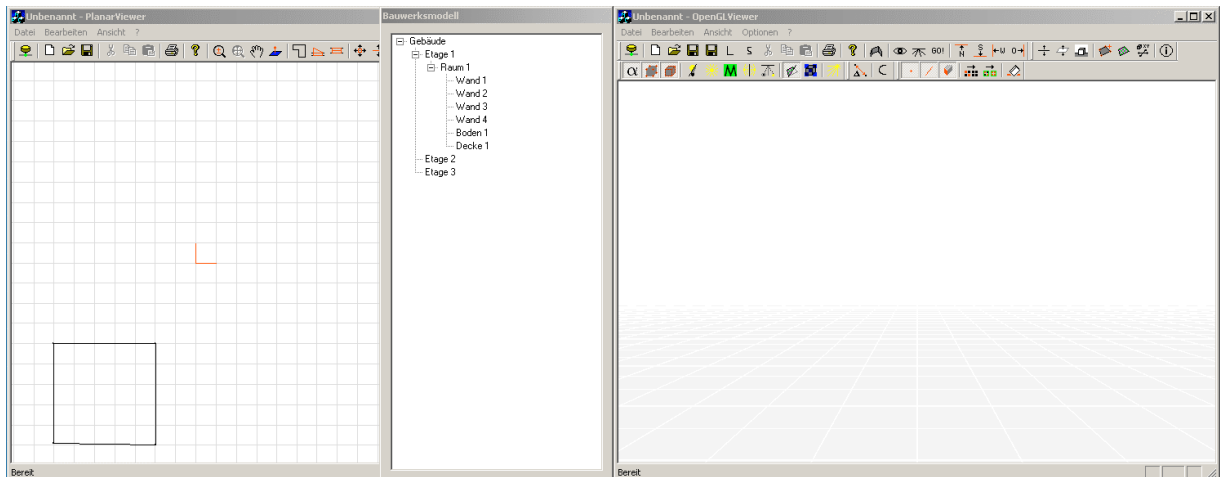
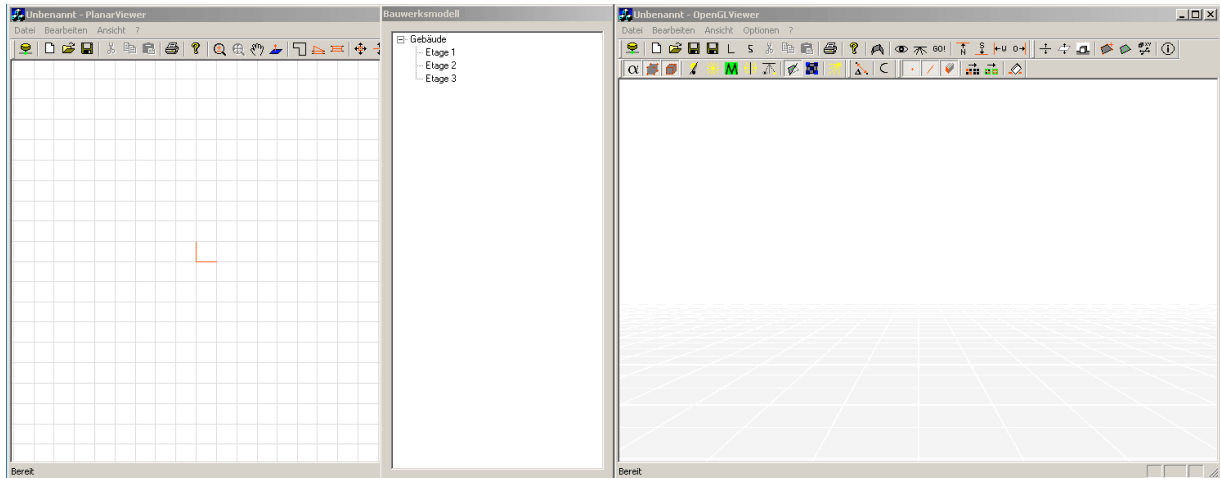
Abbildung 5: Kopplung von Objekten und Geometriemodell

Evaluierung mit Hilfe der Experimentalplattform

Ausgesuchte Punkte des Konzeptes wurden und werden implementiert. Abbildung 6 zeigt einzelne Applikationen der Experimentalplattform, welche zusammen auf einer gemeinsamen Datenbasis arbeiten.

Teilbild 1 zeigt den Beginn der Erstellung eines Bauwerksmodells im Rahmen der Erstbegehung. In Teilbild 2 ist die skizzenartige Generierung der Geometrie eines Raumes mit den zugehörigen Flächenobjekten im Bauwerksmodell zu sehen. Teilbild 3 zeigt eine gesamte Etage, welche mittels dieses Vorgehen auf Skizzenlevel generiert wurde. In Teilbild 4 wurden verschiedene Filter gesetzt, darunter Parallelitäten, Rechtwinkligkeiten, vertikal verlaufende Oberflächen und die Gesamtausrichtung des Grundrisses nach Norden. Teilbild 5 zeigt die teilweise Füllung des Ausgleichungsmodells mit Meßwerten. Der rot markierte Bereich ist dabei durch das Einfügen von Entfernungsmessungen bereits maßlich erfaßt.

Ebenfalls prototypisch implementiert wurde die Anbindung der Tachymetrie. Besonders hervorzuheben ist dabei die Dynamik in der Kopplung zwischen Tachymetrie und Handaufmaß. Der Einsatz eines motorisierten Tachymeters mit sichtbarem Laser wird darüber hinaus auch für die Verifikation des Geometriemodells genutzt. So kann der Nutzer beispielsweise im Geometriemodell gewählte Punkte vom Tachymeter anfahren lassen. Dank des sichtbaren Laserstrahls ist ein direkter Vergleich mit der realen Geometrie des Bauwerkes möglich.



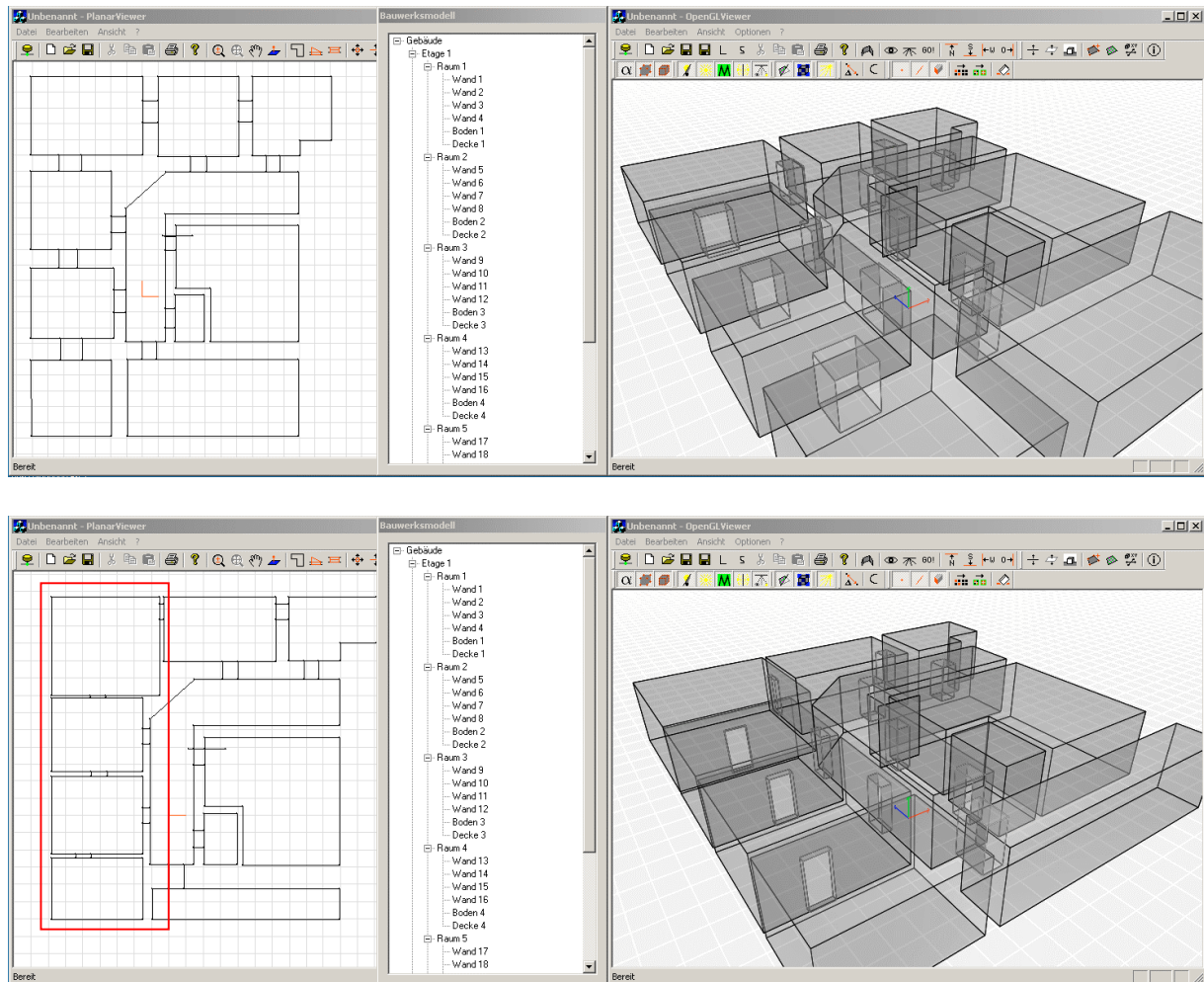


Abbildung 6: Experimentalplattform

Ausblick

Das verwendete Ausgleichsmodell auf Grundlage einer v2-Ausgleichung kann nur sehr begrenzt durch spezielle Verfahren der Forderung nach Robustheit entgegen kommen. Hier bestehen vor allem Hoffnungen auf die Entwicklungen der v1-Ausgleichung. Weiter verlangt der verwendete Ansatz „Von der Skizze zum Detail“ für den Nutzer Werkzeuge zur Kontrolle der Zuverlässigkeit des Geometriemodells. Auch sind Möglichkeiten zu suchen, den vorgestellten Ansatz auf nicht ebene Oberflächen zu erweitern.

Ein besonderes Merkmal des vorgestellten Ansatzes liegt in der Verbindung unterschiedlicher Aufmaßtechniken und –methoden. Der Einsatz von Aufmaßassistenten für bestimmte Aufmaßmethoden, welche sich jederzeit wechseln lassen, vereinfacht die Handhabung des Systems, ohne den Nutzer zu einer bestimmten Vorgehensweise zu zwingen.

Die Autoren verfolgen einen Ansatz des „erweiterbaren Werkzeugkastens“ [Petzold01], bei welchem verschiedene Applikationen auf einer gemeinsamen Datenbasis aufsetzen. Der Einsatz von beispielsweise WLAN könnte genutzt werden, um die parallele Arbeit mehrerer

Aufmaßteams zu unterstützen. Auskunftsmodule können der elektronischen Abfrage der gespeicherten Daten dienen.

Referenzen

- Niemeier02 Niemeier, W.: *Ausgleichsrechnung*. De Gruyter Lehrbuch, Berlin, 2002
Petzold01 Petzold, F.: *Computergestützte Bauaufnahme als Grundlage für die Planung im Bestand*, Dissertation an die Bauhaus Universität Weimar, Weimar, 2001
Schmidt89 Schmidt, W.: *Das Raumbuch*, Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, München, 1989
Weferling01 Weferling, U.: *Bauaufnahme als Modellierungsaufgabe*, Dissertation an die Brandenburgische Technische Universität Cottbus, Cottbus, 2001