

GEOMETRIEERFASSUNG UND -ABBILDUNG IN DER BESTANDSAUFNAHME

Dipl.-Inf. Torsten Thurow, Prof. Dr.-Ing. Dirk Donath,

Dipl.-Inf. Frank Petzold

Professur Informatik in der Architektur

Bauhaus-Universität Weimar

Kurzfassung: *Viele Bauleistungen stehen heute in enger Beziehung zu bestehender Bausubstanz und bedingen damit eine Bauaufnahme. Das Bauaufmaß zur Geometrierekonstruktion bildet in vielen Fällen den Schwerpunkt. Leider weist die derzeitige Unterstützung durch rechnergestützte Aufmaßsysteme starke Defizite auf. Viele mögliche Funktionalitäten der heutigen Systeme werden in der Regel von den Nutzern nicht angenommen, was auf ein „Vorbeiplanen“ an den Wünschen und Ansprüchen des Nutzerkreises hinweist. So bewerten diese anscheinend den Aufwand der 3D-Modellbildung im Verhältnis zu deren späteren Nutzen in beispielsweise automatisch generierten Schnitten als unbefriedigend.*

1. Anforderungen an ein digitales Bauaufmaß

1.1 Informationsreduzierung im Bauaufmaß

Ziel des Bauaufmaßes ist die Erstellung eines geometrischen Abbildes eines Bauwerkes. Die Geometrie des abzubildenden Objektes „identisch“ nachzubilden zu wollen ist nur innerhalb von Grenzen möglich. Vielmehr wird eine Nachmodellierung mit einem gewissen Abstraktionsgrad bzw. einer gewissen Genauigkeit in Wert und Detailliertheit durchgeführt. Diese werden in der Praxis durch die beabsichtigte Nutzung des durch das Bauaufmaß geschaffenen Abbildes und den dafür aufbringbaren Aufwand bestimmt. Es tritt damit eine Informationsreduzierung ein, deren Rahmenbedingungen quasi mit einem Filter vergleichbar sind.

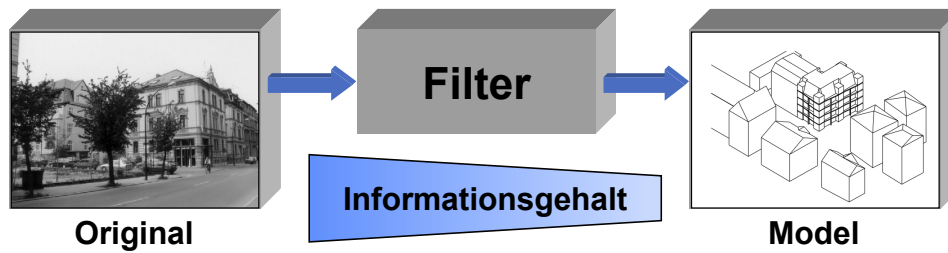


Abb. 1-1: Informationsabnahme

1.2 Geometrierekonstruktion

Bei einem zerstörungsfreien Bauaufmaß werden in der Regel Meßmethoden eingesetzt, welche Informationen von Oberflächen bestimmen, wie etwa Positionen von Punkten auf Oberflächen oder an Kanten. Mit Hilfe dieser Informationen wird versucht, die Geometrie des untersuchten Objektes zu rekonstruieren. Dabei wird von einzelnen Meßwerten auf die teilweise oder gesamte Ausprägungen von einzelnen geometrischen Objekten geschlossen, wie etwa bei der Rekonstruktion einer Oberfläche als Ebene aus drei oder mehr Meßpunkten. Je nach geforderter Genauigkeit und Detailliertheit wird dabei häufig eine Idealisierung der vorgefundenen Geometrieausprägung zu bestimmten Grundprimitiven, wie Rechteck, Quader, Kugel etc. vorgenommen. Eine Idealisierung in dieser Form reduziert durch die mit ihr eingebrachten Nebenbedingungen den nötigen Informationsbedarf durch Messungen und kann damit als wirkungsvolles Werkzeug angesehen werden, solange die Abweichungen zwischen Ideal und Realität für den Nutzungszweck des Abbildes verträglich bleiben.

1.3 Variabilität in Detailliertheit und Genauigkeit

Wie beschrieben wurde, richtet sich die Forderung der Wiedergabegenauigkeit eines geometrischen Objektes in seinem zu erstellenden Abbild nach den Notwendigkeiten dessen späteren Nutzung. Dabei können die geforderten Wiedergabegenauigkeiten stark divergieren. So reichen vielleicht bei der Sanierung eines Gebäudes gröbste Informationen zu dessen Umgebung, während der umzubauende Bereich z.B. mit einer Genauigkeit im Zentimeterbereich wiederzugeben ist. Solche Unterschiede können sich selbst zwischen einzelnen Etagen, Zimmern usw. ergeben.

1.4 Von der Skizze zum maßgerechten Modell

Im Bauaufmaß entsteht das geometrische Abbild meist nicht in einem Schritt. Vielmehr ist eine Entwicklung von diesem zu beobachten. So entstehen meist bei der Erstbegehung erste Skizzen der vorgefundenen Situation, vielleicht sogar mit ersten, groben oder genaueren Maßen, welche auch in die Planung eines anschließenden Aufmaßes einfließen und dort als Vorinformationen dienen können. Es kann somit festgestellt wer

den, das sich ein zunächst grobes geometrisches Abbild im Verlauf der Bauaufnahme zunehmend in Detailliertheit und Maßlichkeit konkretisiert.

1.5 Widersprüche zu klassischen CA(A)D-Systemen

Die vorangegangenen Ausführungen sollten versuchen, einen Kurzüberblick über die Eigenschaften des Prozesses des Bauaufmaßes und seine diesbezüglichen Erfordernisse zu geben. Nun sollen diese Eigenschaften und Forderungen mit aus der Bauplanung übernommenen CA(A)D-Systemen verglichen werden.

Klassische CA(A)D-Systeme, geschaffen für die (Bau)Planung, schaffen ein idealisiertes Modell des Zukünftigen, welches sich später in Genauigkeit und lokalen Ausprägungen vom Modell unterscheiden wird. Das Modell sollte dabei die späteren Abweichungen des Zukünftigen diktieren, auch wenn die Praxis hier leider oft anders aussieht. Anders bei einem Bauaufmaß. Hier entsteht aus ermittelten Meßwerten und Zusatzinformationen ein Abbild des Realen. Das Abbild wird vom Realen bestimmt und sollte in der Lage sein, anzugeben, in wie weit es als Abbild vom Realen abweicht. Es sollte seine Toleranzen in Wert und Detailliertheit kennen.

Unabhängig von Planung oder Aufmaß arbeiten die meisten CA(A)D-Systeme nach dem Top-Down Prinzip. Ausgehend vom wertgetreuen Detail wird das Ganze erstellt. Aber selbst in der Planung wäre oft ein Werkzeug zum Bottom-Up Entwurf wünschenswert, mit welchem vom Groben hineingehend in das einzelne Detail entwickelt werden könnte.

2. Ansätze und Methoden zum digitalen Aufmaß

2.1 OOP Kontra Unikat

Die OOP ist heute eines der wesentlichsten Werkzeuge der Softwaretechnik. Werkzeuge haben ihre Stärken und Schwächen. Es ist festzustellen, dass die in der Wirklichkeit vorzufindenden Geometrieausprägungen selbst gleichartiger Bauteile enormen Variationen unterliegen können. Als Beispiel sei auf Holzbalken im Fachwerkbau verwiesen.

Idealisierungen können, wie im ersten Abschnitt beschrieben, an geeigneter Stelle ein mächtiges Werkzeug darstellen. Sie dürfen jedoch keineswegs zur Eingrenzung und Beschränkung der dem Nutzer gegebenen Möglichkeiten werden. Es wurde daher als Ansatz die Trennung zwischen bauteilspezifischer Klassendefinition und Geometrie vorgenommen.

Jede Bauteilklassse besitzt auf Instanzebene ein Vorlage-Geometriemodell. Den Instanzen einer Bauteilklassse werden Kopien dieses Vorlagemodells zugewiesen. Diese Kopien können beliebig verändert und damit der Wirklichkeit bzw. der gewünschten Detailliertheit und Genauigkeit angepaßt werden.

2.2 Verbindung von Geometriemodell und Meßdaten

Um das geometrische Abbild des aufzunehmenden Bauobjektes von der Skizze zum maßgerechten Modell zu überführen, muß es mittels zusätzlicher Informationen konkretisiert werden. Diese Daten können einfließen als:

- Meßwerte aus Tachymetrie, händischem Aufmaß, Photogrammetrie etc.
- Geometrische Bedingungen, welche aus geometrischen Idealisierungen entstammen.

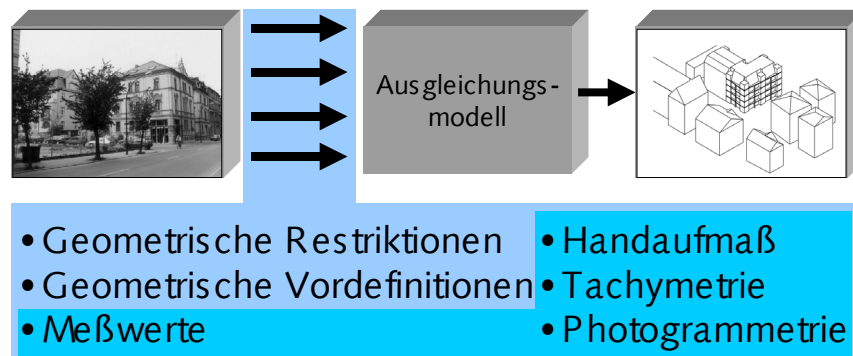


Abb. 2-1: Ausgleichung

Geometrische Bedingungen können dabei als Forderungen nach Rechtwinkligkeit, Parallelität usw. vorliegen, welche vom Nutzer vorgegeben oder bereits in den vorgefertigten Bauteilkatalogen eingetragen sind. Ihre Bedeutung kann verschieden sein. Geometrische Bedingungen in Verbindung mit einer topologischen Struktur erlauben beispielsweise die Definition eines Quaders. Wünscht der Nutzer vor allem ein idealisiertes Abbild, so sind diese Bedingungen auf jeden Fall zu erfüllen und daher den Meßwerten vorzuziehen. Es ist ein Abbild zu suchen, bei welchem die genannten Bedingungen erfüllt werden und das Modell die kleinsten Abweichungen zu den ermittelten Meßwerten aufweist. Ein Problem bildet dabei die Möglichkeit von Widersprüchen zwischen den geforderten Bedingungen. Eine Lösung liegt hier in der Wichtung der Bedingungen, bei der im Falle von Widersprüchen die jeweils untergeordneten Bedingungen ignoriert werden.

Wünscht der Nutzer hingegen ein möglichst wirklichkeitsgetreues Abbild, so sollten die geometrischen Bedingungen den Messungen unterstellt werden. Sie sollten nur in Fällen der Nichteindeutigkeit der Lösungen hinzugezogen werden. Dabei ist zu beachten, das sich auch diese Bedingungen durchaus widersprechen können. Von daher müssen wieder Mechanismen wirken, welche eine Wichtung der Bedeutung der Bedingungen ermöglichen.

Somit läßt sich folgende Gliederung feststellen:

- Zu erfüllende Bedingungen
- Auszugleichende Messungen

- Zusätzlich heranzuziehende Bedingungen

2.3 Prototyp zur Ausgleichung „FREAK 2001“

Als erster Ansatz zur Umsetzung der beschriebenen Herangehensweise wurde ein Prototyp geschrieben, welcher mittels der Ausgleichung vermittelnder Messungen arbeitet. Eingangsgrößen sind n Beobachtungen $L_{1...n}$, u näherungsweise bekannte Unbekannte $X_{(0)1...u}$, sowie n gegebene Beobachtungsgleichungen $\varphi_{1...n}(X)$, welche zusammengeführt werden in der Form:

$$L_n + v_n = \varphi_n(X) \quad (1)$$

in Zukunft in Vektorschreibweise angegeben:

$$L + v = \varphi(X) \quad (1a)$$

Ziel ist dabei die Veränderung der Unbekannten X nach dem Verfahren der kleinsten Fehlerquadrate, jedoch unter Berücksichtigung der Gewichtung P :

$$v^T P v = \min \quad (2)$$

Dazu werden die Beobachtungsgleichungen linearisiert und mit ihnen die Modellmatrix A generiert:

$$A = \begin{bmatrix} \frac{\partial \varphi_1(X)}{\partial X_1} & \frac{\partial \varphi_1(X)}{\partial X_2} & \dots & \frac{\partial \varphi_1(X)}{\partial X_u} \\ \frac{\partial \varphi_2(X)}{\partial X_1} & \frac{\partial \varphi_2(X)}{\partial X_2} & \dots & \frac{\partial \varphi_2(X)}{\partial X_u} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial \varphi_n(X)}{\partial X_1} & \frac{\partial \varphi_n(X)}{\partial X_2} & \dots & \frac{\partial \varphi_n(X)}{\partial X_u} \end{bmatrix} \quad (3a)$$

Dabei wird eine numerische Differenzierung genutzt, um undefinierten Ergebnissen an Extremstellen zu begegnen.

Anschließend erfolgt die Berechnung der Verbesserung der Unbekannten:

$$l = L - \phi(X) \quad (3b)$$

$$N = A^T P A \quad (3c)$$

$$n = A^T P l \quad (3d)$$

$$N x = n \quad (4)$$

Mit Hilfe des Verbesserungsvektors x werden die Unbekannte verändert. Bei vorliegender Konvergenz nähern sich die Unbekannten der optimalen Lösung. Dieser Vorgang wird iterativ wiederholt.

$$X_{m+1} = X_m + x \quad (5)$$

Somit steht in den vorangegangenen Formeln 1-4 das jeweilige X für das aktuelle X_m . In vielen Fällen ist das Gleichungssystem $Nx = n$ (5) durch Datums- und Konfigurationsdefekte singular. Die Geodäsie bietet eine Reihe von Verfahren zur Beseitigung dieser Singularitäten, die aber oft auf entsprechendem Fachwissen der Anwender gründen. In den umgesetzten Prototypen wurden typische Verfahren einbezogen und um die kontinuierliche Regularisierung nach dem Ansatz

$$|Nx - n|^2 + \alpha|x|^2 = \min \quad (6)$$

ergänzt. Auf diese Weise steht dem Nutzer ohne entsprechendem Fachwissen ein geeignetes Werkzeug zur Verfügung. Nach der Regularisierung erfolgt die Berechnung des Verbesserungsvektors x aufgrund dessen Robustheit nach dem modifizierten Cholesky-Verfahren $A = LDL^T$.

Die Wichtung der Bedingungen untereinander und gegenüber den Beobachtungen erfolgt bislang nur simuliert über ihr Gewicht P . Umgesetzt wurden Beobachtungsgleichungen wie:

- Punkte liegen in einer Ebene
 - Punkte liegen auf einer Geraden
 - Ein Punkt liegt auf dem senkrechten Lot eines anderen Punktes
 - Punkte liegen auf gleicher Höhe
 - Es besteht eine Distanz d zwischen zwei Punkten
 - Drei Punkte bilden den Winkel α
 - Vier Punkte bilden zwei Geraden, welche zueinander im Winkel α stehen
 - Horizontalwinkel α liegt zwischen zwei Punkten und einem Offsetwinkel zur x-Achse
 - Vertikalwinkel β liegt zwischen zwei Punkten
 - Projektion eines 3D-Vektors auf eine Ebene (Photogrammetrie)
- usw.

Die Abb. 2-2 zeigt dazu ein Büro, welches mittels Kombination von Tachymetrie und Photogrammetrie aufgenommen wurde. Links ist das Büro zunächst nur skizzenhaft wiedergegeben. Rechts ist das Ergebnis der Ausgleichung mit den ermittelten Meßwerten zu sehen.

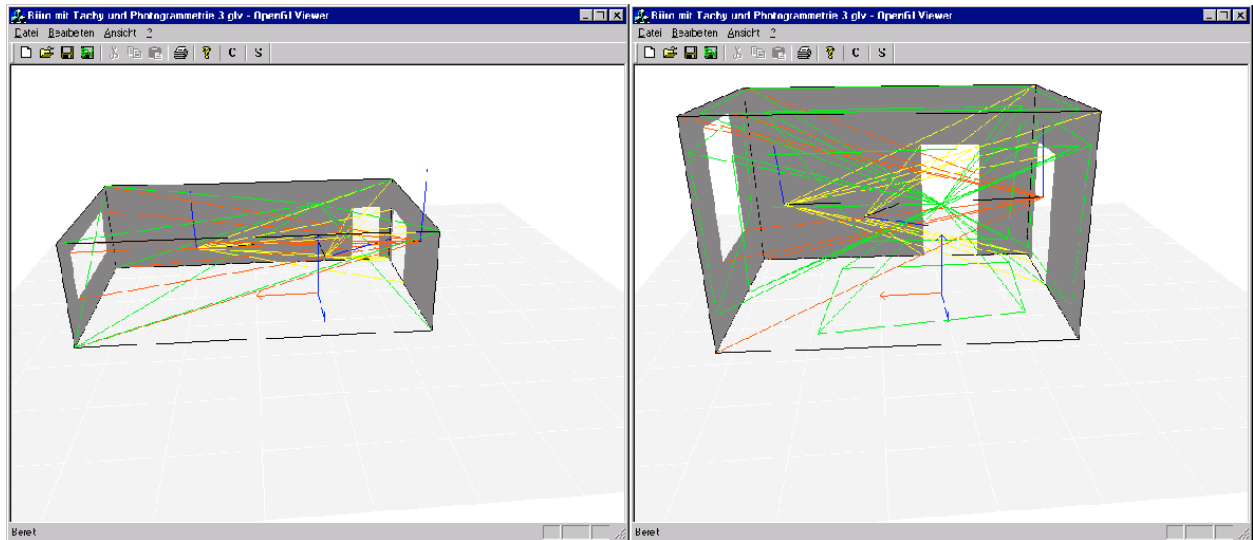


Abb. 2-2: Ausgleichung eines Büros

3. Vision eines digitalen Aufmaßsystems - Ausblick

Grundidee des Ansatzes ist der Weg von der Skizze zum maßgerechten Modell (siehe Abb.3-1: Von der Skizze zum Modell). Bei der Erstbegehung wird beispielsweise eine Raumkuptatur in 2D skizziert, zum 3D-Skizze modifiziert und um Bauteile aus dem Bauteilkatalog ergänzt. Das entstandene, nicht maßgetreue Modell wird über Meßwerte konkretisiert und gibt Auskunft über seine Maßgenauigkeiten.

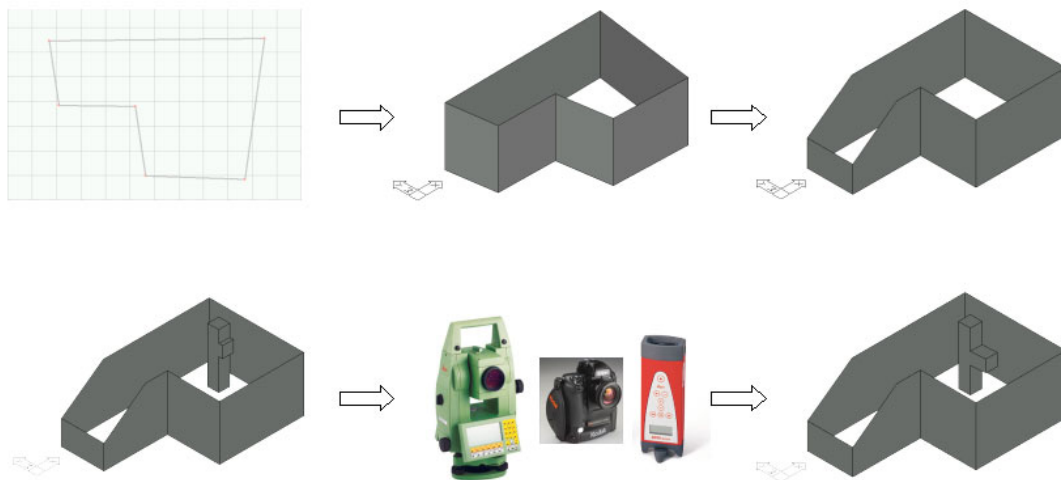


Abb.3-1: Von der Skizze zum Modell

Nachdem das Problem der maßgerechten Anpassung der 3D-Skizze und Lösungsansätze aufgezeigt wurde, richtet sich die Aufmerksamkeit auf die 3D-Interaktion. So wird momentan an einem skizzenbasierten 3D-Editor gearbeitet. Des weiteren werden geeignete Kontrollmechanismen, wie Plausibilitätstests, gesucht.

Ein Ansatz sind dabei AR / VR-Techniken. Das computergenerierte 3D-Modell wird auf eine halbdurchlässige, getrackte Brille projiziert und überlagert sich so mit der Realität. Abweichungen an Kanten etc. sollen so sichtbar gemacht werden. Andere Ansätze erfolgen über die Nutzung von motorgetriebenen Tachymetern mit sichtbarem Laserstrahl. So können diese bei Plausibilitätstests automatisch Kanten anfahren. Mittels des sichtbaren Laserstrahls können nun wieder Modell und Realität verglichen werden.

Weiter wird das System um verknüpfte formale oder multimediale Daten erweitert. Auch hier werden AR / VR-Techniken eine große Rolle spielen. So werden beim Betrachten bestimmter Szenarien Zusatzinformationen eingeblendet etc. Ebenfalls wird der Informationszugriff über Auskunftsmodule im Web ergänzt.

Literatur

- [1] D. Donath, J. Beetz, K. Grether, E. Kruijff, F. Petzold, H. Seichter: Cooling Factory, a concrete project to test new architectural applications for augmented reality. In: Proc. EUROIMAGE International Conference on Augmented, Virtual Environments and Three – Dimensional Imaging, Venetia Giagourta et al., 2001
- [2] D. Donath, M. Liedtke, F. Petzold: Aktuelle Geräte und IT – Unterstützung in der architektonischen Bestandsaufnahme - Grenzen, Möglichkeiten & Visionen. In: L. Hempel, (Hrsg.): IKM2000 proceeding, Weimar, 2000
- [3] D. Donath, M. Liedtke, F. Petzold, T. Thurow: Gemetrierfassung und -abbildung in der Bestandsaufnahme. In: J. Hanff, E. Kasperek, M. Ruess, G. Schutte, (Hrsg.): Forum Bauinformatik 2000 – Junge Wissenschaftler forsche. Fortschr.-Ber. VDI Reihe 4 Nr. 163, VDI Verlag, Düsseldorf, 2000
- [4] D. Donath, F. Petzold, R. Tscherepanow, T. Thurow: Geometrieabbildung in der planungsrelevanten Bauaufnahme. In: L. Hempel, (Hrsg.) IKM2000 proceeding CD-ROM Ausgabe, Weimar, 2000
- [5] J. Müller: Homogenisierung dreidimensionaler Szenarien nach der Methode der kleinsten Quadrate. Geodätisches Institut der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, Aachen, 1999
- [6] F. Petzold: Flexmes – ein System zur flexiblen und strukturierten Erfassung von Bausubstanz; Anforderungen und Konzeption. In: T. Kuhn, H. Katz, (Hrsg.): 11. Forum Bauinformatik Darmstadt `99. Fortschr.-Ber. VDI-Reihe 4 Nr. 156, VDI Verlag, Düsseldorf, 1999