

Geometrieabbildung in der planungsrelevanten Bauaufnahme

Prof. Dr.-Ing. Dirk Donath, Dipl.-Inf. Frank Petzold,
Dipl.-Inf. Ronald Tscherepanow, Dipl.-Inf. Torsten Thurow
Professur Informatik in der Architektur
Bauhaus-Universität Weimar

Zusammenfassung

Im Rahmen des Sonderforschungsbereiches 524 "Konstruktionen und Werkstoffe für die Revitalisierung von Bauwerken"¹ ist das primäre Anliegen des Teilprojektes D2 „Bauplanungsrelevantes digitales Gebäudeaufnahme- und Informationssystem“ die Entwicklung von Methoden und Techniken zur Aufnahme von Bestandsdaten vor Ort oder durch Auswertung vorhandener Dokumentationen und deren direkte Integration in ein Bauwerksmodell [11].

Das Vorhaben erarbeitet Grundlagen zu Aspekten der fachplanerischen Nutzung und der wissenschaftlichen Auswertungen arbeitsmethodischer Vorgehensweisen in der Bestandsaufnahme unter Einbeziehung softwaretechnischer Methoden. Dabei finden Sachverhalte der Strukturierung, die Herausarbeitung von Systematiken der wesentlichen Informations-/Datenmengen, die Ableitung von Methoden zur zerstörungsfreien Erfassung und die Darstellung planungsrelevanter Gebäudeinformationen in digitalen Systemen Berücksichtigung.

In diesem Artikel werden ausgehend von Anforderungen der planungsrelevanten architektonischen Bauaufnahme eine Konzeption und die prototypische Realisierung zur flexiblen geometrischen Erfassung – dem Bauaufmaß – vorgestellt.

Planungsrelevante Bauaufnahme

Die Bauaufnahme dient der Modellbildung durch Erfassung und Wiedergabe eines real existenten Bauwerkes in seinem zum Zeitpunkt der Aufnahme angetroffenen Zustand. Die quasi vollständige Aufnahme ist aufgrund der großen zu ermittelnden Datenmengen und den hierdurch entstehenden Aufwendungen und Kosten nicht möglich [8]. Vielmehr muß eine Auswahl und Abstrahierung der aufzunehmenden Daten, ihrer Repräsentation und die Wahl ihrer Genauigkeit nach den Erfordernissen des jeweiligen Verwendungszweckes der Bauaufnahme erfolgen. So vielfältig die Erfordernisse einer Bauaufnahme ausfallen, so vielfältig sind auch die jeweiligen Forderungen und Auswahlen der aufzunehmenden Daten. In der überwiegenden Mehrheit aller Fälle ist auch die Wiedergabe der vorgefundenen geometrischen Ausprägung des Bauwerkes gewünscht oder erforderlich. Dabei werden unterschiedliche Genauigkeitsanforderungen an verschiedene Bereiche des Bauwerkes gestellt [9] [10]. So reicht vielleicht im Einzelfall eine skizzenhafte Wiedergabe des Umfeldes eines geplanten Ladenbereiches, während die umzunutzenden Bereiche in Ausführungsgenauigkeit zu erfassen sind. Die exakte geometrische Ausprägung eingebauter Bauelemente ist oft nur teilweise bekannt. In der Bauaufnahme muß ein enger Zusammenhang zwischen Geometrie und bauteilorientierter Konstruktion, sowie den verwendeten Ordnungssystemen bestehen. Um diesen Ansprüchen genüge zu tragen, werden entsprechende Aufnahmetechniken, rechnerinterne Abbildungen und Funktionalität zur Interaktion Nutzer - Modell gesucht.

¹ Dieses Projekt wird gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft.

Forderungen an die Geometrieabbildungen in der Bauaufnahme

Forderung: Bauteilorientierte Gliederung

Neben der Ordnung der Gebäude-/Raumstruktur existiert eine Ordnung der Bauteile. Ein darauf aufbauendes Ordnungssystem ist die bauteilorientierte Gliederung. Das Bauwerk wird in dieser Sicht als konstruktive Einheit verschiedenster Bauteile aufgefaßt. Jedes Bauteil besitzt mehrere Eigenschaften. Zu diesen gehören beschreibende (Farbe, Verwitterungszustand, Feuchtegehalt etc.) und funktionale Eigenschaften. Die funktionalen Eigenschaften sind von der Interpretation abhängig, welche Funktion ein vorgefundenes Objekt zu erfüllen hat, und bestimmen damit, welche Art von Bauteil vorliegt. So kann ein Objekt als Stütze aufgefaßt werden, und eine seiner funktionalen Eigenschaften wäre damit der Querschnitt dieser Stütze.

Die geometrische Ausprägung eines Objektes als solche gehört in die Gruppe der existenziellen Eigenschaften. Sehr oft treten aber auch geometrieabhängige, funktionale Eigenschaften auf, wie etwa die Höhe bzw. der deckenseitige Anschluß einer Stütze. Während die geometrische Ausprägung bei allen funktionalen Interpretationen unverändert bleibt, ändern sich die auftretenden geometrieabhängigen funktionalen Attribute.

Der bauteilorientierten Gliederung liegen die Definition der Bauteilarten und ihrer möglichen Relationen untereinander zugrunde. Diese Definitionen sind im Bauwerksmodell verankert. Zwei Ansätze sind die Definition eines statischen oder eines dynamischen, erweiterbaren Bauwerksmodells. Besonders die statischen Bauwerksmodelle zwingen zu einer Vordefinition der Geometrien ihrer Bauteile, die sich oft nur noch über festgelegte Parameter der Wirklichkeit anpassen lassen. Wünschenswerter ist ein System, das zwar für seine Bauteile vordefinierte Geometrien benutzt, jedoch erlaubt, das diese beliebig verfeinert und für den jeweiligen Verwendungszweck angepaßt werden können. Insbesondere dynamische Bauwerksmodelle profitieren von einer solchen flexibleren Geometrie.

Forderung: Von der Skizze zur Detailaufnahme

Bei der Bauaufnahme wird ein Modell des untersuchten Bauwerkes und seines Umfeldes erstellt, das sich im Laufe der Aufnahme immer weiter der Realität nähert. Dieser Prozeß ist auch in der Geometrieerfassung zu beobachten. Am Anfang stehen meist Skizzen von Erstbegehungen etc., die bereits Informationen wiedergeben. Für die späteren Planungsprozesse relevante Bereiche werden anschließend im Bauaufmaß mit der jeweils nötigen Genauigkeit erfaßt. Dieser Prozeß soll vom Geometriekern unterstützt werden. Durch Ergänzungen der Skizze mit erfolgten Messungen wird deren Ausprägung konkretisiert. Durch den Weg über die Skizze ergeben sich mehrere Vorteile:

- Der Prozeß der Bauaufnahme findet Berücksichtigung.
- Geometrische Ausprägungen und Messungen werden von Anfang an in Relation gebracht.
- Plausibilitätstests können vor Ort durchgeführt werden.
- Skizzenhaft festgehaltene topologische Zusammenhänge werden beim detaillierten Erfassen wiederverwendet und unterstützen dieses.
- Das Umfeld der aufzunehmenden Bereiche wird berücksichtigt. Das Aufmaß ist nicht als solches losgelöst, sondern viel mehr in die Gesamtgeometrie eingebettet.

Diese Vorgehensweise erfordert jedoch auch eine Reihe von Eigenschaften des Geometriekerns. Da sich Punktpositionen und die aufbauenden Flächen verändern, müssen topologische Strukturen gespeichert werden. Auch müssen sich diese Strukturen im Nachhinein verändern und erweitern lassen. Flächen sollten von vornherein die Aufnahme weiterer Punkte als Freiformflächen unterstützen.

Konzepte zur Umsetzung

Umsetzung: Grundlegende Datenstruktur der Objektgeometrie

Die Computergrafik bietet verschiedene Modelle zur Formalisierung einer Geometrie an. Ansatz des hier aufgezeigten Konzeptes sind ein parallel gehaltenes Facettenmodell und ein approximatives Modell [13].

Bei dem BRep-Modell wird ein Volumen über seine begrenzenden Oberflächen definiert. Diese Oberflächen wiederum lassen sich im einfachsten Fall als Polygone oder Freiformflächen über einer Menge von Eckpunkten bilden. Das Volumen ist daher mathematisch betrachtet abhängig:

- von der Menge der Punkte und der über ihnen definierten Polygone bzw. Freiformflächen
- von den Positionen der Punkte

Geometrische Formen lassen sich auch allgemein ohne Kenntnis der genauen Punktpositionen, sondern durch die zwischen ihnen bestehenden Beziehungen beschreiben. Ein Quadrat unterscheidet sich beispielsweise von einem Rechteck durch die Forderung, daß alle Seiten gleich lang sind. Wird jedoch ein geometrisches Objekt in eine Umwelt eingefügt, so müssen die Punkte des Objektes klare Positionen erhalten. Bei neuen, komplexeren Objekten ist es schwierig, alle möglichen Parametergruppen zu finden, die das reale Objekt hinreichend beschreiben. Ein anderer Weg ist die Nutzung von Defaultpositionen der Punkte. Jeder Punkt erhält schon in der Beschreibung der Geometrie eine Position, die nach dem Einfügen in eine reale Umwelt geändert werden kann. Während des Einfügens kann die Lage, Größe und Orientierung des Objektes in der Umwelt mittels Koordinatentransformation geändert werden.

Nach diesem Beispiel soll nun die praktische Umsetzung betrachtet werden. Das entwickelte System bietet eine feste, vorgegebene Menge von Primitiven. Solche Primitive sind (Auszug):

- Punkte im 3D
- Polygone (definiert über eine Menge von Punkten)
- Fixierung eines Punktes an eine Position im 3D
- Distanz zwischen zwei Punkten
- Winkel zwischen drei Punkten
- Punkte liegen in einer Ebene
- Horizontalwinkel zwischen zwei Punkten

Alle diese Primitive konkretisieren die Beziehungen zwischen den Positionen von Punkten und die über ihnen gebildeten Flächen. Ebenfalls werden den Punkten Defaultpositionen zugewiesen. Auf diese Weise wird eine geometrische Form erstellt. Diese kann nun ihrerseits wie eine Primitive zur Bildung neuer geometrischer Formen genutzt werden. Dazu müssen Primitive und geometrische Formen mit- und untereinander verbunden werden. Die so vordefinierten geometrischen Formen werden Bauteilarten zugeordnet.

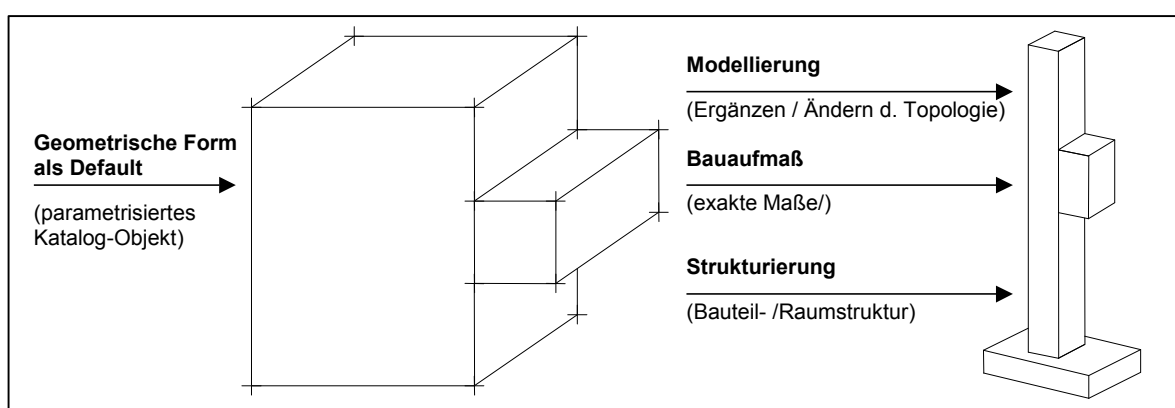


Bild 1: vordefinierte und aufgenommene Geometrie

In einem Prototypen wurden die grundlegenden Datenstrukturen und Operationen implementiert und getestet. Mittels eines 3D-Editors können hier neue Formen generiert und konstruktiv kombiniert werden (Bild 4).

Umsetzung: Formgebende und formnehmende Geometrie und Öffnungen

Im Baugeschehen werden unterschiedlichste Bauteile zusammengefügt. Ihre Geometrie wird dabei aufeinander abgestimmt. Wird beispielsweise Stahlbeton gegossen, so fließt der Beton um den Stahl, paßt sich also dessen Geometrie an. Um ein Fenster in eine Wand einsetzen zu können, muß sich dort eine Öffnung befinden. Die Grundgeometrie der Wand wird hier geändert.

Bei Bauteilen, die im gleichen geometrischen Raum aufeinandertreffen, müssen ihre räumlichen Ausdehnungen so begrenzt werden, daß sie sich nur noch berühren bzw. mit einem (Fugen-) Abstand ihre Form wahren. Dabei sind drei Fälle zu unterscheiden:

- Die Geometrie des einen Bauteils wird so verkleinert, daß sie das andere Bauteil nur noch berührt (Volumensubtraktion) [7].
- Eine Grenzfläche wird bestimmt, an der die Ausdehnung beider Bauteile endet. Sie bildet also die Grenzfläche der Bauteile.
- Die Geometrien verschmelzen und bilden ein neues Bauteil.

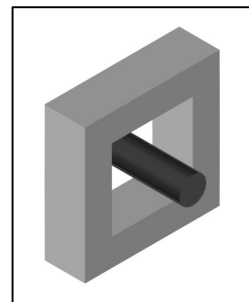


Bild 2: formgebende und formnehmende Situationen

Komplizierter ist das Aufeinandertreffen vieler Bauteile im selben geometrischen Raum. Dazu als Beispiel ein Wanddurchbruch: In eine Wand wurde eine Öffnung gebracht, durch welche Rohrleitungen verlaufen. In diesem Fall paßt sich die Wand der Geometrie der Öffnung an, ist somit formnehmend. Dagegen nimmt die Öffnung keinen Einfluß auf die durchlaufenden Rohrleitungen. Öffnungen gelten als formgebend für die Bauteile, in die sie eingesetzt werden. Diese Beziehung wird im Geometriemodell berücksichtigt (Bild 2).

Umsetzung: Mathekern

Die Autoren schlagen folgende Vorgehensweise bei der Aufnahme eines Gebäudes vor:

- Erstbegehung: Wiedergabe der vorgefundenen Geometrie, skizzenhaft ohne genaue Maßangaben
- Flächenaufmaß: Übergabe aller durchgeführten Messungen, wie Abstände, an das System
- Konstruktive Gliederung

Der Mathekern hat dabei zu untersuchen, ob mit den schon erfolgten Messungen die exakte Geometrie des Bauwerkes bestimmbar ist. Wenn nicht, sind durch den Nutzer weitere Messungen am Bauwerk vorzunehmen. Reichen die Messungen aus, so bestimmt der Mathekern die sich ergebende Geometrie.

Eine Hauptforderung für die Konzeption des Systems ist die möglichst große Freiheit des Anwenders. In diesem Fall folgt daraus, daß das System dem Nutzer kein festes Vorgehen aufzwingen darf. Der Nutzer entscheidet, welche Messungen er vornimmt, gleich welcher Art.

Aus der begründeten freien Vorgehensweise ergibt sich, daß der Mathekern mit einer Fülle unterschiedlicher Messungen am Bauwerk zurechtkommen muß. Solche Messungen sind beispielsweise:

- Distanz zwischen zwei Punkten (Gliedermaßstab)
- Winkel zwischen drei Punkten (Winkellehre)
- Winkel zwischen zwei Geraden oder Ebenen
- Horizontal- und Vertikalwinkel eines Theodoliten

Mit Hilfe dieser Messungen lassen sich mathematische Beziehungen zwischen Punkten aufstellen, durch welche die Lage der Punkte bestimmt werden soll. Wertvoll für die Lagebestimmung sind aber noch weitere mögliche Aussagen, wie z.B.:

- Punkte liegen auf einer Höhe (Wasserwaage)
- Punkte liegen übereinander (Lot)
- Punkt hat eine genaue Position (Meßpunkt im Vermessungsnetz oder GPS)
- Punkt liegt auf einer gedachten Sehne zwischen zwei anderen Punkten
- Punkt läßt sich von einem anderen Punkt aus mit einem bestimmten Vertikalwinkel anpeilen (Theodolit)

Die Liste ließe sich beliebig erweitern.

Aus der Fülle aller erfolgten Messungen bestimmt der Mathekern die wirkliche Lage der Punkte. Dazu ist eine Menge unterschiedlichster Formeln zusammenzuführen. Hinzu kommt die Problematik der möglichen Unter- und Überbestimmungen. Daneben treten grundsätzlich immer Meßtoleranzen auf. Durch eine bewußte Überbestimmung der Punktlagen kann jedoch die Genauigkeit der Angaben gesteigert werden.

Grundsätzlich bietet die Geodäsie die Grundlagen zur Lösung der genannten Probleme [14] [15]. Alle geometrischen Objekte im System werden durch Punkte und die zwischen ihnen existierenden Relationen beschrieben. Sind alle Punktpositionen gefunden, so läßt sich auch die Geometrie aller Objekte rekonstruieren. Des weiteren muß auch die Genauigkeit der gefundenen Punktposition bekannt sein. Nur wenn diese eine durch den Nutzer festgelegte Genauigkeit erfüllen, kann die Geometrieerfassung beendet werden. Dieser Ansatz ist in einem Prototypen ebenegebunden umgesetzt [4].

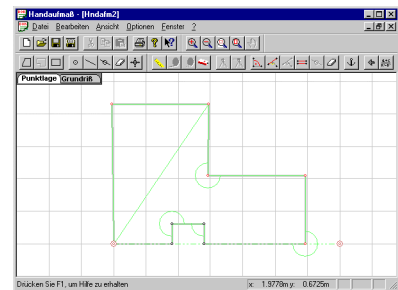


Bild 3: Handaufmaß198

Umsetzung: Neue Aufmaßtechniken

Die ständige Weiterentwicklung von Geräten der Vermessungstechnik ermöglicht neue Aufmaßtechniken. Eine wichtige Entwicklung ist dabei der Schritt vom schnittorientierten zum raumorientierten Aufmaß. Hier lassen sich besonders die Möglichkeiten von Totalstationen oder Scannern nutzen. Diese Geräte bedingen aber auch andere Aufmaßmethoden. So wurde ein Algorithmus entwickelt, welcher aus auf den Wandoberflächen aufgenommenen Punkten die ursprüngliche Raumausprägung rekonstruiert [5]. Des weiteren wird auf den Beitrag [6] verwiesen.

Umsetzung: Bauwerksmodell

Gegenwärtig wird in kommerziellen Programmen durch ein „fest verdrahtetes“ Ordnungssystem die Grundstruktur gebildet. Der Anwender hat nicht die Möglichkeit, Modellierungstechnologien zur Bildung von Ordnungssystemen zu definieren. Maximal können Attribute bzw. informale Daten zur Laufzeit angefügt werden. Die Autoren vertreten hingegen die These, das mit einem statischen Bauwerksmodell nicht alle im Bauwesen anzutreffenden Bauwerke wiedergegeben werden können. Hierzu ist bei [1] zu finden: *„Zu einem echten Werkzeug für Konstrukteure (Architekten und Bauingenieure – Anmerkung der Autoren) könnte der objektorientierte Aufbau erst dann werden, wenn diese die Möglichkeit erhalten, neue Klassen und Objekte interaktiv zu erzeugen ... Wie solche Möglichkeiten realisiert werden*

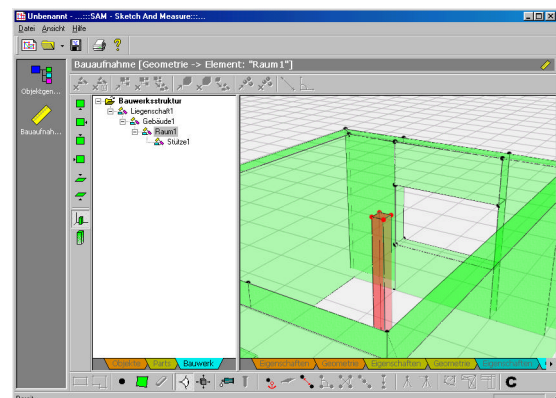


Bild 4 : Prototyp SAM

können, ohne daß die Konstrukteure vertiefte Programmierkenntnisse benötigen, ist weitgehend offen.“

Verfolgt wird der Ansatz eines dynamischen Bauwerkmodelles. In diesem können jederzeit neue Bauteilarten generiert werden. Diesen werden flexibel erstellbare und änderbare Geometrien und Attribute zugeordnet. Die Vorteile der Fehlerfilterung von nicht sinnvollen Beziehungen zwischen Bauteilarten wird dabei beibehalten. Auch hier ist es möglich, beispielsweise zu verbieten, das ein Gebäude einem Raum zugeordnet wird.

Im Laufe der Arbeit entstanden mehrere Prototypen, die jeweilige Ausschnitte dieses Ansatzes zeigen. Die Erzeugung und Verwaltung dynamischer Attribute wurde in der Arbeit „Variable Attribute“[2] demonstriert. Der Prototyp „SAM“[3] erlaubt die Generierung neuer Bauteilarten mit variablen Attributen, flexibler Geometrie und einem einfachen Bauwerksmodell, jedoch ohne Fehlerfilterung (Bild 4).

Ausblick

Die vorgestellten Arbeiten ordnen sich in die Untersuchungen zu informationstechnischen Methoden, wie die Datenerfassung, die Modell- und Informationsstrukturierung, Objekttechnologien und Kommunikationstechnologien, für die Anforderung der Bauaufnahme ein. Parallel dazu werden Methoden, Technologien und Geräten in der Bestandsaufnahme hinsichtlich der Eignung für die Erfassung planungsrelevanter Daten untersucht.

Nach Abschluß der Untersuchungen zu informationstechnischen Methoden sowie Methoden, Technologien und Geräten in der Bestandsaufnahme erfolgt die Konzeption eines Systems zur Unterstützung eines planungsrelevanten Bauaufnahmeprozesses. Die im Konzept als kritische angesehene Teilaspekte werden prototypisch implementiert. Innerhalb der Forschungsarbeit werden diese überprüft und verifiziert.

Weitere Informationen stehen auf der Webseite

<http://www.uni-weimar.de/architektur/InfAR/forschung/GebIS/index.html>
zur Verfügung.

Quellen:

- [1] Heinecke, A.M.; Fleßner, H.C. **Auswirkung des Objektorientierten Modellierers auf die Arbeit des Konstrukteurs und die Gestaltung der Benutzeroberfläche.** in: IKM Abstrakt, pp. 45-50, HAB Weimar, 1994.
- [2] Tscherepanow, R. **Variable Attribute.** <http://www.uni-weimar.de/architektur/InfAR/forschung/GebIS/va/va.html>, 1997.
- [3] Tscherepanow, R.; Thurow, T. **Konzeption eines flexiblen, bauteilorientierten, tachymetrischen Aufmaßsystems.** <http://www.uni-weimar.de/architektur/InfAR/forschung/GebIS/sam2000/sam2000.html>, 2000.
- [4] Thurow, T. **Handaufmaß98.** <http://www.uni-weimar.de/architektur/InfAR/forschung/GebIS/hand98/hand98.html>, 1999.
- [5] Thurow, T. **Verschneidealgorithmus.** <http://www.uni-weimar.de/architektur/InfAR/forschung/GebIS/>, 1996.
- [6] Donath, D.; Liedtke, M.; Petzold, F. **Rechnergestützte tachymetrische Bestandsaufnahme - Grenzen, Möglichkeiten & Visionen.** in: IKM Abstrakt, Bauhaus-Universität Weimar, 2000.
- [7] Eshete, T. **Grundlagen zur Methodik der Verschneidung stahlbautypischer Körper in einem CAD-System.** Bauhaus-Universität Weimar, 1996.
- [8] Cramer, J. **Handbuch der Bauaufnahme - Aufmaß und Befund.** Deutsche Verlags-Anstalt Stuttgart, 1993.
- [9] Wagnerin, G. **Bauaufnahme - Grundlagen, Methoden, Darstellung.** Vieweg Verlag Braunschweig, 1992.
- [10] Eckstein, G. **Empfehlungen für Baudokumentationen – Bauaufnahme – Bauuntersuchung.** Landesamt Baden-Württemberg Arbeitsheft 7, Konrad Theiss Verlag GmbH, Stuttgart, 1999.
- [11] **Sonderforschungsbereich 524 - Gesamtdarstellung des SFB 524.** <http://www.uni-weimar.de/~sfb/gesamt.html>, 2000.
- [12] Donath, D.; Grützmacher, A.; Petzold F.; b.a.u.werk; Meye H.G. **Abschlußbericht zum Forschungsprojekt GEBIS 1997.** 1997.
- [13] Grätz, J. **Handbuch der 3D-CAD-Technik - Modellierung mit 3D-Volumensystemen.** Siemens Aktiengesellschaft, Berlin, München, 1989.
- [14] Wolf, H. **Ausgleichsrechnung: 1.Band, Formeln zur praktischen Anwendung.** Dümmler, Bonn, 1994.
- [15] Reißmann, G. **Die Ausgleichsrechnung.** VEB Verlag für Bauwesen, Berlin, 1980.