

Digitaler Architekturbestand

Untersuchungen zur computergestützten, schrittweisen
Erfassung und Abbildung der Geometrie von Gebäuden im
Kontext der planungsrelevanten Bauaufnahme

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor-Ingenieur

an der Fakultät Architektur

der

Bauhaus-Universität Weimar

vorgelegt von

Dipl.-Inf. Torsten Thurow

geb. am 03.10.1973

Weimar, 2004

Gutachter

1.
2.
3.

Tag der Disputation:

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich all jenen danken, die mich auf dem Weg zu dieser Arbeit begleitet haben und mich unterstützten, sowohl in fachlicher, wie auch in persönlicher Weise.

Die vorliegende Arbeit entstand an der Professur Informatik in der Architektur der Bauhaus Universität Weimar, die unter Leitung von Prof. Dr.-Ing. Donath nach neuen Wegen beim Einsatz der Computertechnik in der Architektur sucht.

Als wissenschaftlicher Mitarbeiter dieses Bereiches bekam ich die Möglichkeit, mir die notwendigen Grundlagen für diese Dissertation zu erwerben. Dabei konnte ich auf vielen Ideen und Vorarbeiten des Bereiches aufbauen.

Ich möchte mich besonders herzlich bei Herrn Prof. Dr.-Ing. D. Donath bedanken, der mir nicht nur als Mentor zur Seite stand, sondern über vier Jahre lang für das nötige Umfeld und die reichlichen Freiräume sorgte, die zum Entstehen dieser Arbeit nötig waren, mich in inhaltlichen und praktischen Fragen beriet, mit mir diskutierte, mich mit sehr viel Geduld führte und wenn nötig neu motivierte und anspornte. Sowohl sein Ansporn als auch sein kritisches Urteil waren mir sehr hilfreich und wichtig.

Keinesfalls möchte ich aber vergessen, auch meinen Kollegen zu danken, die mir immer hilfreich zur Seite standen. Besonders danken möchte ich dabei Herrn Jun. Prof. Dr.-Ing. F. Petzold und Herrn Prof. Dr.-Ing. U. Weferling für ihre Unterstützung im persönlichen Bereich, für die vielen fachlichen Diskussionen, konstruktiven Kritiken und ganz praktischen Hilfen. Ebenfalls danke ich Herrn Dr.-Ing. F. Gielsdorf, welcher mir als fachlich Fremden immer wieder bei Problemen im Bereich der Ausgleichsrechnung nicht nur ein offenes Ohr schenkte, sondern mit viel Geduld praktische Empfehlungen gab.

Ich danke meinen geliebten Eltern, die sich immer wieder mühten, mich praktisch zu unterstützen. Ich danke meinen Freunden und Geschwistern im Herrn, welche mir in der Zeit der Entstehung dieser Arbeit immer wieder Verständnis und praktische Unterstützung zuteil werden ließen. Sie gaben mir den emotionalen Rückhalt in dieser Zeit, bewiesen immer wieder Verständnis, wenn ich mich zurückzog und namen mich sofort wieder in ihre Mitte auf. Besonders erwähnen möchte ich dabei Familie Voightmann, die mich oftmals wieder aufrichtete, ihre Zeit schenkte, mit mir und für mich betete.

Vorwort

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 Bestandsunterlagen, welche in der Regel nicht mehr vorliegen oder nicht gepflegt wurden. Aufgrund dieser Tatsache muß eine Bauaufnahme durchgeführt werden, die entweder eine Ergänzung, Prüfung oder vollständige Neuanlage der Bestandsunterlagen zum Ziel hat und im Folgenden als planungsrelevante Bauaufnahme bezeichnet wird.

Die Bauaufnahme als Prozeß wird u.a. durch die schrittweise Annäherung des Aufnehmenden an die Bausubstanz geprägt. 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, das Bauaufmaß, in der Regel einen wichtigen Bestandteil der Aufnahme. Die schrittweise Annäherung in der Bauaufnahme betrifft dabei ebenso die Abbildung der 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 wider. Geometrische und nichtgeometrische Informationen sind eng miteinander verknüpft.

Die Praxis der computergestützten Bauaufnahme zeigt, daß die meisten Applikationen Adaptionen der Bauplanung entstammen. Die Applikationen stellen in der Regel Inselösungen dar, welche sich auf ein bestimmtes Aufmaßverfahren, wie Tachymetrie, Photogrammetrie oder Handaufmaß beschränken. Eine durchgängige Unterstützung des Aufnehmenden von der Erstbegehung bis hin zur Übergabe des erstellten Geometriemodells an die betreffenden Fachplaner erfolgt nicht. Die Einbettung und Verknüpfung der Geometrie mit nichtgeometrischen Bauwerksinformationen und -strukturen ist meist ungenügend. Systeme mit statischen Bauwerksmodellen nutzen häufig Geometriemodellierungen, welche durch ihre erzwungene geometrische Vollständigkeit die Abbildung unsicherer oder unbekannter geometrischer Informationen erfordern und somit Informationen vortäuschen, die ungeprüft oder nicht vorhanden sind.

Der Lehrstuhl „Informatik in der Architektur“ der Bauhaus Universität Weimar beschäftigt sich seit Jahren mit der computergestützten Planung im Bestand und veröffentlichte zahlreiche Arbeiten zu verschiedenen Themen dieses Gebietes (siehe beispielsweise [Donath97/2]). In der Arbeit „Computergestützte Bauaufnahme als Grundlage für die Planung im Bestand“ ([Petzold01]) wird ein hypothetisches computergestütztes Bauaufnahmesystem vorgestellt, welches die schrittweise Annäherung des Aufnehmenden an das zu erfassende Bauwerk unterstützt. Ein Hauptmerkmal dieses dynamischen Systems ist der Ansatz des Informationscontainers, welcher in der Lage ist, Informationen unterschiedlichen Charakters abzuspeichern und in Beziehung zu setzen. Der Aufnehmende kann dabei den Informationscontainer nach der Zielvorgabe der Bauaufnahme modifizieren. Die Geometrieerfassung geschieht stufenweise und in direkter Beziehung zu nichtgeometrischen Informationen. Die Modellierung der Geometrie orientiert sich an den real erfassbaren geometrischen Informationen des Originals und den vom Nutzer gegebenenfalls bewußt eingebrachten Vermutungen.

Aufbauend auf den zahlreichen Gedanken und Konzepten des Lehrstuhls beschäftigt sich diese Arbeit mit der computergestützten schrittweisen Erfassung und Abbildung der Geometrie eines aufzunehmenden Gebäudes. Die geometrischen Informationen werden dabei nach dem Ansatz des Informationscontainers von [Petzold01] in bezug zu anderen Sachdaten gebracht. Im Zentrum steht dabei die Bauaufnahme als Vorbereitung des Bauens im Bestand. Aus der Sicht eines Grenzgängers zwischen unterschiedlichen Fachdisziplinen, wie der Architektur, der Informatik und der Geodäsie wird versucht, Lösungsansätze durch die geeignete Verknüpfung von Methoden der verschiedenen Fachdisziplinen aufzuzeigen. Eine vollständige Bearbeitung der aus diesen Kombinationen entstehenden Problemfelder muß den jeweiligen Fachexperten obliegen. Anhand von Prototypen wird jedoch die prinzipielle Umsetzbarkeit bestimmter Ansätze gezeigt.

Die geometrischen Ansätze dieser Arbeit beschränken sich auf planare Oberflächen. Hier besteht die Aufforderung, Konzepte aufzugreifen und auf nichtplanare Oberflächen zu erweitern. Auch werden Fragen des Datenim- und -exportes nicht behandelt.

Die vorliegende Arbeit beschreibt die Vision eines mitwachsenden Geometriemodells für die computergestützte planungsrelevante Bauaufnahme, welches den Aufnehmenden über die verschiedenen Phasen der Bauaufnahme begleitet. Die in jeder Phase gewonnenen Geometrieinformationen sollen in den anschließenden Phasen wiederverwendet, konkretisiert bzw. korrigiert werden. Aufmaßtechniken und Geometriemodell sind dabei eng gekoppelt. Verschiedene Sichten auf der Basis eines gemeinsamen Geometriemodells haben zum Ziel, die Vorteile planarer Abbildungen zu nutzen und doch echte dreidimensionale Geometrieoperationen und -aufmaßtechniken durchführen zu können.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	3
Inhaltsverzeichnis	5
1. Einführung	8
1.1. Einordnung der Arbeit	8
1.2. Aufbau der Arbeit	8
2. Informationsstrukturierung	11
2.1. Der Begriff der Bauaufnahme	11
2.2. Betrachtung der erfaßten Daten	14
2.3. Die Rolle der Geometrie in der Bauaufnahme	16
2.4. Möglichkeiten und Grenzen der Geometrieerfassung	18
3. Informationsgewinnung	21
3.1. Der Prozeß der Bauaufnahme	21
3.2. Relevante Aufmaßtechniken	23
3.2.1. Handaufmaß	23
3.2.2. Tachymetrie	24
3.2.3. Photogrammetrie	26
3.2.4. Laserscanning	30
3.3. Kombination der Aufmaßtechniken	30
3.4. Meßfehler	31
3.5. Modellfehler	33
3.6. Abstraktionen	35
3.7. Verifikation	36
4. Forderungen an ein computergestütztes Aufmaßsystem	39
4.1. Möglichkeiten des Werkzeuges Computer	39
4.2. Bauwerksmodelle	41
4.3. Unterschiede zwischen Planung und Bauaufmaß	42
4.4. Formulierung der Anforderungen an ein computergestütztes Aufmaßsystem	43
4.5. Istzustand - heutige Aufmaßsysteme	48
4.6. Problemstellungen im Detail	51
5. Vision eines mitwachsenden Geometriemodells	53
5.1. Betrachtung der geometrischen Wahrnehmung des Gebäudes	53
5.2. Entwicklung der Beziehung zwischen Geometrie und nichtgeometrischen In- formationen	56
5.3. Geometrie als Attribut	57
5.4. Geometrieerstellung	60
5.5. Geometrieanpassung	62
5.5.1. Genauigkeitsmaße und ihre Beziehungen	62

5.5.2.	Abhängigkeiten zwischen Geometrieerfassung und -abbildung	64
5.5.3.	Formalisierung von Meßwerten und Abstraktionen	64
5.5.4.	Schrittweise Erhöhung der Genauigkeit	65
5.5.5.	Modellierung von Messungen und Abstraktionen durch den Nutzer .	69
5.5.6.	Grenzen des Ansatzes	70
5.6.	Bauteilextraktion	72
5.7.	Prinzip des offenen Aufmaßsystems	73
5.8.	Einwände und Grenzen der Vision	74
6.	Teilmodelle des mitwachsenden Geometriemodells	76
6.1.	Geometriemodell und Sichten	76
6.2.	Die Ausgleichsrechnung	79
6.2.1.	Funktionales Modell	80
6.2.2.	Stochastisches Modell	81
6.2.3.	Ausgleichung nach vermittelnden Beobachtungen	82
6.3.	Abstraktionen	83
6.3.1.	Gruppenbildung	84
6.3.2.	Lokale oder globale Abstraktionen	85
6.3.3.	Setzen und Löschen von Abstraktionen	85
6.3.4.	Besondere Betrachtung einzelner Abstraktionen	86
6.4.	Pseudobeobachtungen	86
6.4.1.	Ausgleichungsebene	89
6.4.2.	Ausgleichungsgerade	90
6.4.3.	Parallelität und Rechtwinkligkeit zwischen Vektoren	91
6.4.4.	Senkrechte und waagerechte Vektoren	93
6.4.5.	Blöcke, Blockkopien und Wiederholungen	94
6.4.6.	Symmetrien	96
6.4.7.	Gleichheiten in Werten und Normierungen	97
6.5.	Anbindung Tachymetrie	98
6.6.	Anbindung Photogrammetrie	100
6.7.	Anbindung Handaufmaß	102
6.7.1.	Entfernungen	103
6.8.	Singularitäten	106
6.9.	Qualitätsbeurteilung	108
6.9.1.	Beurteilung der Genauigkeit	109
6.9.2.	Beurteilung der Zuverlässigkeit	111
6.10.	Dynamisches Bauwerksmodell	112
7.	Zusammenführung der Modelle	115
7.1.	Verbindung von Geometriemodell und Ausgleichungsmodell	115
7.2.	Datenhaltung der Meßwerte	115
7.3.	Ordnungssysteme	117
7.3.1.	Grundelemente	118
7.3.2.	Klassenkonzept	118
7.3.3.	Flächenklassen	119
7.3.4.	Bauteilklassen	121
7.3.5.	Raumklassen	122
7.3.6.	Beziehungen zwischen Flächen, Bauteilen und Raumelementen . . .	123
7.3.7.	Repräsentation	124
7.4.	Beobachter und Waisenkinder	125
7.5.	Detailierung	127

7.6.	Verifikation	129
7.6.1.	Nutzung der automatischen Entzerrung	129
7.6.2.	Punktverifikation mittels motorisierter Tachymeter	130
7.7.	Bauteilextraktion	130
7.8.	Programmtechnische Grundtools und Assistenten	138
8.	Zusammenfassung und Ausblick	140
8.1.	Eigenschaften des vorgestellten Systemkonzeptes	140
8.2.	Nicht verifizierte Aussagen und offene Problemstellungen	143
8.3.	Ausblick	144
A.	Prototypen	148
A.1.	Verschneidealgorithmus	148
A.2.	Handaufmaß98	149
A.3.	Sketch And Messure	149
A.4.	Freak 2000	150
A.5.	Plattform Freak	151
A.5.1.	Verteilte Objekte	151
A.5.2.	Modelle	152
A.5.3.	Server 4	152
A.5.4.	Schnellstartleise	154
A.5.5.	Planarviewer	154
A.5.6.	OpenGLViewer	161
A.5.7.	Tachyassistent	165
A.5.8.	MVS-Viewer	168
A.6.	Beispielszenarien	171
A.6.1.	Kurzbeschreibung des Beispielobjektes	171
A.6.2.	Beispielszenario Handaufmaß	173
A.6.3.	Beispielszenario Tachymetrie	181
B.	Testdateien	190
B.1.	Interaktive Beispiele	190
B.1.1.	Symmetrien und Blockkopien	190
B.1.2.	Gemeinsame Normalenvektoren	191
B.1.3.	Simulation Geometrieabgleich	191
B.2.	Testaufmaße	193
B.2.1.	Handaufmaß Belvederer Allee 1, 2. OG	193
B.2.2.	Tachymeteraufnahme	193
B.2.3.	Kombination von Handaufmaß, Tachymetrie und Photogrammetrie	193
C.	Wissenschaftlicher Lebenslauf	194
D.	Eigene Veröffentlichungen	195
	Abbildungsverzeichnis	200
	Literaturverzeichnis	201
	Copyright-Informationen	207
	Eidesstattliche Erklärung	209

1. Einführung

1.1. Einordnung der Arbeit

Diese Arbeit entstand im Rahmen des Sonderforschungsbereiches 524, „Werkstoffe und Konstruktionen für die Revitalisierung von Bauwerken“ am Lehrstuhl „Informatik in der Architektur“ der Bauhaus Universität Weimar. Sie baut auf den Ideen, Konzepten und Forschungsergebnissen des Lehrstuhls auf (siehe [Donath97/2]) und konkretisiert diese praxisrelevant im Bereich der Geometrie.

Das Problemumfeld der Arbeit ist die computergestützte Bauaufnahme als Vorbereitung der Planung im Bestand, im Folgenden als planungsrelevante Bauaufnahme bezeichnet. Im Zentrum steht die stufenweise Erfassung und Abbildung der Geometrie aufzunehmender Bauwerke, also die Generierung ihrer geometrischen Abbilder. Das geometrische Abbild eines Bauwerkes allein hat nur eine geringe Aussagekraft. Es ist wichtig, daß das geometrische Abbild im engen Zusammenhang mit den übrigen erfaßten Informationen, wie z.B. räumlichen Strukturen und verwendeten Materialien des Bauwerkes steht¹. Die vorliegende Arbeit betrachtet das geometrische Abbild daher nicht isoliert, sondern untersucht auch mögliche Verknüpfungen mit den übrigen erfaßten Informationen über ein Bauwerksmodell.

Die Eigenschaften des geometrischen Abbildes, wie auch der übrigen zu erfassenden Informationen, werden von den Eigenschaften des aufzunehmenden Bauwerkes und von dem spezifischen Verwendungszweck der Bauaufnahme geprägt und können stark variieren. Als Basis der Arbeit dient das Konzept eines dynamischen Bauwerksmodells des Lehrstuhles ([Petzold01]), welches dem Nutzer eine freie, nach seinen Bedürfnissen modellierbare Abbildung der erfaßten Informationen ermöglicht. Des weiteren wurde das Konzept einer schrittweisen Erfassung der Geometrie eines aufzunehmenden Bauwerkes übernommen.

Die vorliegende Arbeit zeigt Lösungen und Lösungsansätze auf, mit denen die angeführten Konzepte im Bereich der Geometrie realisiert werden können. Dazu wurden vorrangig aus den Disziplinen der Informatik und Geodäsie geeignete Methoden für eine Umsetzung gesucht. Einzelne Problemstellungen wurden prototypisch implementiert und getestet.

1.2. Aufbau der Arbeit

Die Arbeit ist wie folgt aufgebaut:

Kapitel 2 widmet sich zunächst dem Begriff der Bauaufnahme. Die Bauaufnahme wird dabei als Abbildung eines Originals in ein Modell betrachtet. Diesen Grundgedanken weiterführend befaßt sich das Kapitel anschließend mit der Analyse, welche Informationen bei einer Bauaufnahme erfaßt und wie diese anschließend strukturiert bzw. verwaltet werden.

Kapitel 3 betrachtet im Unterschied zu Kapitel 2, **wie** die bei einer Bauaufnahme zu gewinnenden Informationen erfaßt werden. Dazu wird einführend der zeitliche Ablauf der

¹Ein Beispiel für die engen Beziehungen zwischen geometrischen und nichtgeometrischen Informationen sind Materialkennzeichnungen mittels standardisierter Schraffuren in Grundrißplänen.

Bauaufnahme aus globaler Sicht betrachtet, um anschließend konkret die Erfassung der Geometrie mittels ausgewählter Aufmaßtechniken zu erläutern. Angeführt werden weiter allgemein mögliche Fehlerquellen einschließlich der Relevanz zur Aufdeckung der Fehler und mögliche Ansätze hierzu.

Das Kapitel 4 betrachtet zunächst die Möglichkeiten der Unterstützung der Bauaufnahme durch den Computer. Hierbei steht die Erfassung der Geometrie wieder im Vordergrund, es wird jedoch auch auf die Abbildung nichtgeometrischer Informationen mittels Bauwerksmodellen hingewiesen. Anschließend werden aus der Sicht der Geometrieerfassung Anforderungen an Systeme für die computergestützte Bauaufnahme aufgestellt und mit kommerziellen Systemen verglichen, wobei deren grundlegende Defizite aufgezeigt werden.

Kapitel 5 untersucht die Erfassung der Geometrie eines Bauwerkes unter verschiedenen Aspekten. Darauf aufbauend wird ein mögliches Konzept eines „mitwachsenden“ Geometriemodells vorgestellt, welches den Aufnehmenden bei der schrittweisen Erfassung der Geometrie unterstützt. Dieses Modell ermöglicht die Kombination verschiedener Aufmaßtechniken und ist eng mit einem Bauwerksmodell zur Abbildung nichtgeometrischer Informationen gekoppelt.

Kapitel 6 betrachtet in isolierter Form Teilmodelle, die in ihrer Gesamtheit das mitwachsende Geometriemodell formen.

Kapitel 7 zeigt auf, wie die in Kapitel 6 in zunächst isolierter Form betrachteten Teilmodelle untereinander in bezug gebracht werden bzw. miteinander arbeiten und so das mitwachsende Geometriemodell aus Kapitel 5 formen.

Kapitel 8 bewertet das konzipierte System anhand der in Kapitel 4 aufgestellten Anforderungen an ein System für die computergestützte Bauaufnahme. Abschließend erfolgt ein Ausblick über einzelne Problematiken, welche im Rahmen dieser Arbeit nicht untersucht wurden und als Anregung für weiterführende Betrachtungen anzusehen sind.

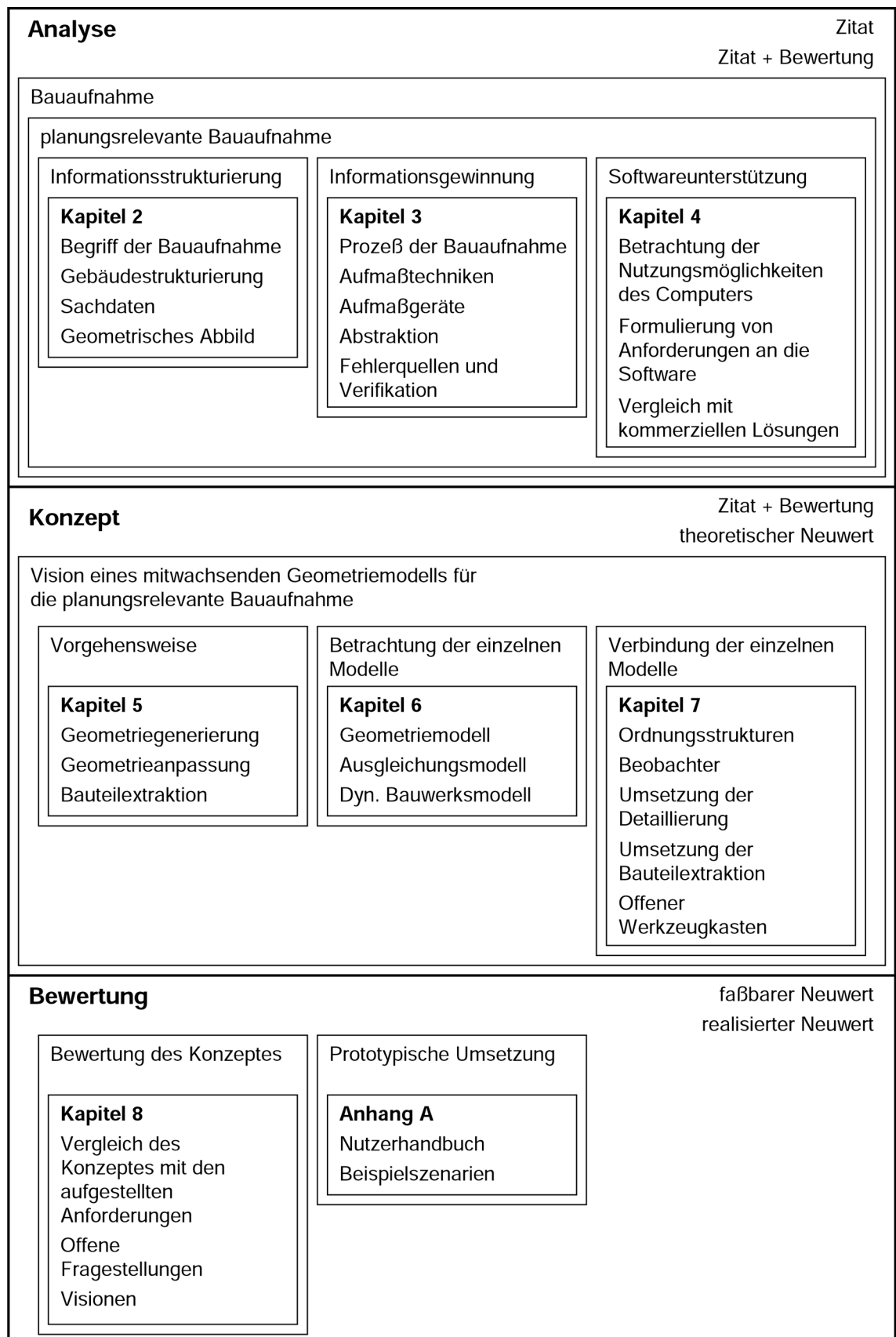


Abb. 1.1.: Schematische Darstellung des Aufbaus der Arbeit

2. Informationsstrukturierung

Das Kapitel beginnt mit einer Analyse der Bauaufnahme. Zunächst wird der Begriff der Bauaufnahme untersucht. Darauf folgend beschäftigt sich das Kapitel mit der Frage, welche Informationen im Rahmen der Bauaufnahme erfaßt und wie diese anschließend strukturiert werden. Diese Betrachtung wird am Ende des Kapitels auf geometrische Informationen fokussiert.

2.1. Der Begriff der Bauaufnahme

Der Begriff der Bauaufnahme wird von [Wangerin92] wie folgt definiert:

„Bauaufnahme ist die Bestands- und Zustandserfassung eines dreidimensionalen Objektes und dessen Wiedergabe in zweidimensionalen maßstabsgerechten Plänen und - soweit zeichnerisch nicht darstellbar - durch die verbale Beschreibung. Damit läßt sich die Bauaufnahme als die Umkehrung des Prozesses beschreiben, der vom architektonischen Entwurf über die Bauausführung zum fertiggestellten, ggf. im Laufe der Zeit veränderten Bauwerk führt.“

[Cramer93] beschreibt die Bauaufnahme als rückwärts gewandten Entwurfsprozeß:

„Bauaufnahme ist vom Grundsatz her ein rückwärts gewandter Entwurfsprozeß. Der Architekt skizzierte zunächst seine Vorstellungen, erdachte Konstruktionssysteme und bestimmte die Materialien, aus denen das Gebäude gebaut werden sollte. Aus allen diesen Angaben entstand zuletzt ein dreidimensionales Bauwerk. . . . Die letzten Feinheiten wurden erst am halbfertigen Bau entschieden und gestaltet; . . . Spätere Generationen von Architekten und Nutzern haben das Gebäude dann um- und ausgebaut. . . . So findet es der Bauaufnehmende vor. Seine Kunst ist es, diesen Prozeß nachzuvollziehen. Aus dem dreidimensionalen Gebäude müssen wieder Pläne werden, die das räumliche Gefüge exakt beschreiben. . . .“

[Wangerin92] und [Cramer93] beschreiben die Bauaufnahme als Umkehrung des Entwurfsprozesses und stellen bei ihren Begriffsklärungen die Geometrie der Objekte bzw. Gebäude bzw. ihre Abbildung in Plänen in den Mittelpunkt. Damit ist dieser Ansatz der Definition unmittelbar an die verwendeten Wiedergabemedien gebunden.

[Weferling01] und [Petzold01] untersuchen die Bauaufnahme als Modellierungsaufgabe und arbeiten dabei mittels der Allgemeinen Modelltheorie. Diese Gedanken reflektierend kann vereinfacht ausgesagt werden, daß die Bauaufnahme der Erzeugung eines zweckorientierten Modells des aufgenommenen Bauwerkes dient. Der Begriff „Modell“ ist dabei nicht als physisches Modell, sondern als Abbild des Originals zu verstehen, unabhängig, ob dieses Abbild als Gesamtheit von Plänen, als Computermodell oder in einer anderen Form vorliegt. Der Vorteil der auf der Modelltheorie aufbauenden Definition liegt in der Losgelöstheit von Wiedergabeformen der erfaßten Informationen und läßt sich sowohl auf die

klassische, wie auch auf die computergestützte Bauaufnahme anwenden. Dabei ist die Rolle des Aufnehmenden zu berücksichtigen, welcher mittels seiner Erfahrungen das zu untersuchende Objekt immer interpretiert, wie auch die Definition von [Cramer93] zum Ausdruck bringt.

Modelle im modelltheoretischen Sinn sind eine ausschnittshafte Abbildung der Realität mit Hilfe formaler oder verbaler Mittel [Venzke01]. Die Abbildung des Realen in ein Modell ist immer mit einem Informationsverlust verbunden (siehe Abbildung 2.1). Das entstandene Modell soll einen bestimmten Zweck erfüllen. Der Informationsverlust bei der Abbildung des Realen in das Modell stellt somit primär kein Problem dar. Ein Problem erwächst dann, wenn das Modell die für seinen Verwendungszweck nötigen Informationen nicht enthält.

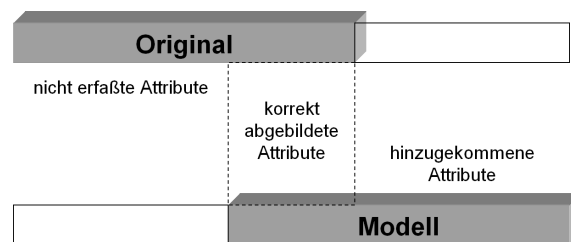


Abb. 2.1.: Modellierungsschema (nach [Weferling01])

Sollte im Fall der Bauaufnahme das entstehende Modell nicht möglichst alle Informationen des Originals enthalten? Diese Fragestellung ist in der Tat nicht so eindeutig beantwortbar, da zwei Fakten zu erwägen sind:

1. Der Prozeß der Bauaufnahme, welcher die Abbildung des Realen in das Modell darstellt, ist mit Kosten verbunden.
2. Die Zielstellung der Bauaufnahme bzw. die Verwendung der bei einer Bauaufnahme gewonnen Informationen können sich während und nach der Bauaufnahme verändern.

Die Erfassung von Informationen ist ein aktiver Prozeß, der mit Kosten im Sinne von Aufwendungen verbunden ist. Die Kosten unterscheiden sich je nach den Anforderungen an die zu erfassenden Daten, nach den gewählten Erfassungsmethoden und nach den Eigenschaften des untersuchten Objektes. So erfordern auf dem Gebiet des Bauaufmaßes höhere Detailliertheit und Genauigkeit auch höhere Kosten (siehe Tabelle 2.1).

Ein Teil der bei einer Bauaufnahme gesammelten Informationen können in ihrer direkt erfaßten Form abgelegt bzw. gespeichert werden. Ist das Ergebnis einer Bauaufnahme beispielsweise ein Raumbuch, so lassen sich erstellte Fotos hier ablegen. Gleiches gilt für ein digitales System bei Nutzung einer Digitalkamera. Andere Informationen hingegen bedürfen einer Auf- bzw. Nachbereitung. Soll beispielsweise als Ergebnis eines tachymetrischen Bauaufmaßes ein Grundrißplan entstehen, so müssen aus den direkt vom Tachymeter gewonnenen Meßdaten über Horizontal- und Vertikalwinkel sowie Distanzen die Absolutkoordinaten des erfaßten Punktes im Zielkoordinatensystem berechnet werden. Die Aufbereitung ist dabei ein aktiver Prozeß, welcher im Folgenden im Sinne einer Abbildung verstanden werden soll.

Eine Kostenbegrenzung und -reduktion verlangen die Eingrenzung des Erfassungsprozesses. Die Schlußfolgerung lautet: „Nicht so viel erfassen, wie möglich, sondern so viel erfassen wie nötig.“ Eine der wesentlichen Aufgaben des Aufnehmenden liegt in der am Zweck der

Stufe	Genauigkeitsstufen	DM/m ³ von bis	DM/m ² von bis
Stufe 1 sehr einfach	einfache Dokumentation M 1:100	2,00 - 6,00	5,00 - 20,00
Stufe 2 einfach	annähernd wirklichkeitsgetreue Dokumentation M 1:50 +/- 10 cm	6,00 - 10,00	20,00 - 35,00
Stufe 3 normal	exaktes verformungsgetreues Aufmaß M 1:50 +/- 2,5 cm	10,00 - 20,00	30,00 - 90,00
Stufe 4 kompliziert	exaktes verformungsgetreues Aufmaß M 1:20 (z.T. 1:10) +/- 2 cm	25,00 - 30,00	70,00 - 110,00

Tab. 2.1.: Genauigkeitsstufen in der Bauaufnahme mit Kostenangabe nach [Schmitz99]

Bauaufnahme orientierten Festlegung, welche Informationen erfaßt und im Modell gespeichert werden. Gleichzeitig ergibt sich die Gefahr einer Kostenerhöhung, wenn bei einer Änderung des Verwendungszwecks des Modells dieses nunmehr neu geforderte Informationen nicht enthält und somit der Erfassungsprozeß neu eröffnet werden muß.

Wie beschrieben wurde obliegt es dem Aufnehmenden, eine Auswahl der zu erfassenden Informationen zu treffen. Dieser Vorgang soll nun als Filterung betrachtet werden. Aus der Menge aller Informationen, welche das Original enthält, werden nur bestimmte Informationen in das Modell übertragen, die übrigen Informationen sind bei dieser Betrachtungsweise herausgefiltert. Dieser Vorgang ist stark von einer Interpretation durch den Aufnehmenden geprägt. Er kann durch sein Hintergrundwissen relevante Informationen erkennen und hervorheben. Das Modell am Ende der Bauaufnahme ist damit kein neutrales Ergebnis eines Abbildungsprozesses, sondern von dem Können, den Erfahrungen und der Persönlichkeit des Aufnehmenden geprägt (siehe Abbildung 2.2). Abbildung 2.3 zeigt dazu eine

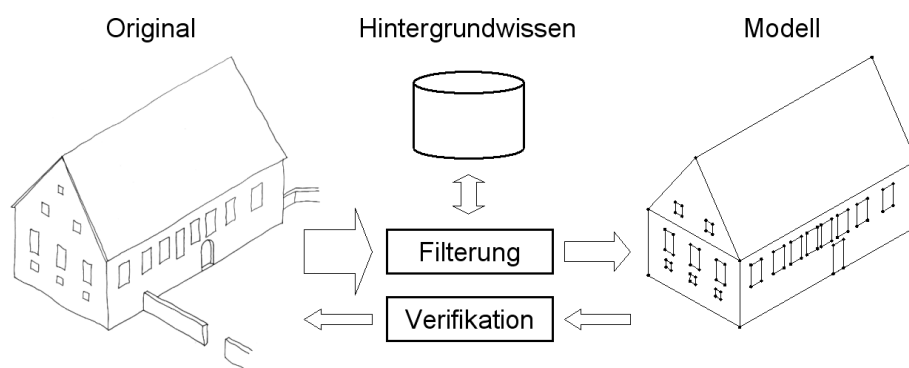


Abb. 2.2.: Informationsfilterung und Hintergrundwissen

für ein Raumbuch erstellte Fotografie und die zugehörige interpretierende Skizze mit Kennzeichnungen. Das Foto hat einen höheren Informationsgehalt, die Skizze enthält dagegen gefilterte und interpretierte Informationen.

Abbildung 2.2 zeigt nicht nur die Abbildung der Realität in das Modell, sondern auch die entgegengesetzte Abbildung, die Abbildung des Modells in die Realität. Diese Abbil-

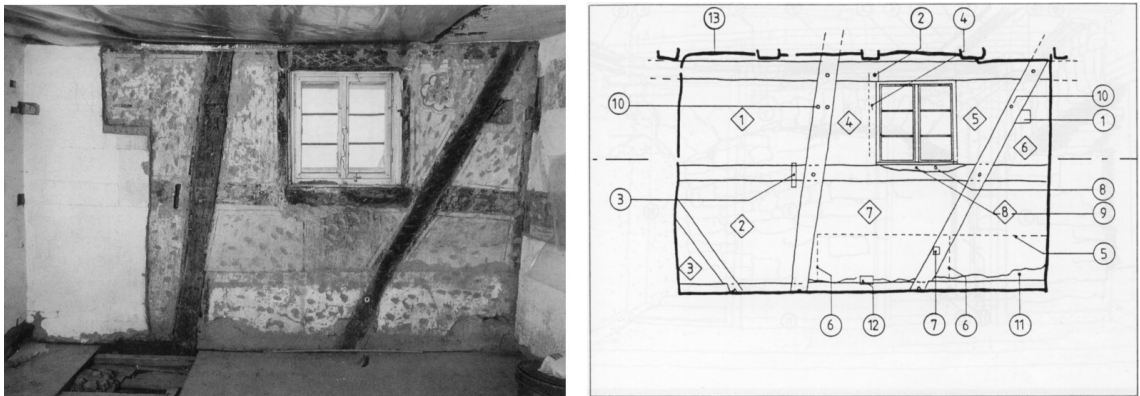


Abb. 2.3.: Foto und interpretierende Skizze (beide [Schmidt89])

derung soll in diesem Zusammenhang als Verifikation verstanden werden. Die Verifikation dient der Überprüfung des Modells unter dem Gesichtspunkt, inwieweit die in dem Modell gespeicherten Informationen mit der Realität übereinstimmen. Überprüfungen dieser Art können vielfältig erfolgen. Als Beispiel sei die Verifikation geometrischer Informationen herausgegriffen. Im Modell können Distanzen abgegriffen und mit der Realität verglichen werden. Motorisierte Tachymeter erlauben die Ausrichtung auf beispielsweise im Computermodell berechneten Eckpunkten von Räumen. Mittels sichtbarer Laser lassen sich diese mit der Realität vergleichen (siehe Abschnitt 7.6.2).

Das Werkzeug Bauaufnahme wird für die verschiedensten Bereiche eingesetzt. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich dabei speziell mit der Bauaufnahme zur Planungsunterstützung für den Neubau im Bestand. Die Voraussetzung für die Planung sind exakte Bestandsunterlagen, welche in der Regel nicht mehr vorliegen oder nicht gepflegt wurden. In diesem Kontext dient die Bauaufnahme der Ergänzung, Prüfung oder vollständigen Neuanlage der Bestandsunterlagen. Sie wird im Folgenden als planungsrelevante Bauaufnahme bezeichnet.

2.2. Betrachtung der erfaßten Daten

Das Werkzeug Bauaufnahme wird wie angeführt für die verschiedensten Bereiche eingesetzt. [Wangerin92] gibt beispielsweise die Einsatzbereiche

- Archäologie,
- Bauforschung, Denkmalpflege,
- Sanierung, Modernisierung und
- objektbezogene Einzelmaßnahmen

an. Die Liste läßt sich beliebig erweitern. Jeder Einsatzbereich gibt der Bauaufnahme eine Zielfunktion vor und bestimmt, welchen individuellen Zweck die Bauaufnahme zu erfüllen hat. Dieser Zweck spiegelt sich in der Auswahl und in der Art (Charakter) der bei der Bauaufnahme gewonnenen Daten wider. Für die Wertbestimmung einer Immobilie kann beispielsweise als ein Ergebnis der Bauaufnahme die Kenntnis der abrechenbaren Mietflächen eines Gebäudes gewünscht werden. Grundrißpläne oder gar ein dreidimensionales CA(A)D-Modell des Gebäudes können wertvolle „Abfallprodukte“ der Aufnahme

sein, erfüllen aber keinesfalls die Zielvorgabe. Der Auftraggeber möchte vor allem Quadratmeterzahlen ermittelt bekommen. Bei Sanierungs- oder Umbaumaßnahmen werden dagegen in der Regel Pläne des für die Planung relevanten Bestandes benötigt. In beiden Fällen werden Geometrieinformationen gefordert. Art und Umfang dieser Informationen sind jedoch sehr unterschiedlich.

Die klassische Bauaufnahme kennt verschiedenste Formen, gewonnene Informationen vom untersuchten Bauwerk abzubilden. Dazu gehören beispielsweise

- Skizzen und Zeichnungen,
- beschreibende Texte,
- dokumentierende Fotografien und
- Tabellen bzw. Fragebögen.

Im Folgenden wird das Raumbuch betrachtet, welches diese Elemente strukturiert zusammenfaßt. [Schmidt89] führt als Bestandteile des Raumbuches an:

- Beschreibungstexte
- Bilddokumentationen
- Befundberichte
- Auswertungspläne usw.

Dabei spricht [Schmidt89] den Beschreibungstexten und Bilddokumentationen die wesentliche Rolle zu. Die geschickte Kombination der unterschiedlichen Wiedergabeformen durch den Aufnehmenden dient der Eingrenzung des Informationsverlustes:

„Die Reduktion des Informationsgehaltes gegenüber der Realität ist ein genuines Problem jeder Bestandserfassung. Man kann zwar die Informationsverluste zu einem gewissen Grad kompensieren, indem man mehrere unterschiedliche Methoden der Dokumentation kombiniert. Wenn sie sich zweckmäßig ergänzen, läßt sich auf diese Weise eine bessere Annäherung an die Wirklichkeit erreichen. Eine absolut getreue und vollständige Erfassung der Realität muß jedoch illusorisch bleiben.“

Die einzelnen Informationen müssen strukturiert und zugeordnet werden, um aus der Menge der einzelnen Informationen mit ihren unterschiedlichen Charakteren ein für den jeweiligen Verwendungszweck nutzbares Ganzes zu schaffen. Als Beispiel zur Zusammenführung aller Informationen wurde das Raumbuch gewählt. Die Bestandteile des Raumbuches werden für die folgenden Betrachtungen gegliedert in:

- Objekte
- Ordnungssystem
- Dokumente

Das Ordnungssystem besteht aus einer strukturierten Menge von Objekten, welche mittels der Dokumente beschrieben werden. Zu den Objekten gehören dabei Räume, Wandoberflächen, Türen, Fenster, Schadstellen usw. Das Raumbuch nutzt als Ordnungsstruktur eine Raumstruktur. Das Gebäude wird in Etagen aufgeteilt, diese wiederum in Räume. Für jeden Raum werden die einzelnen Wandoberflächen aufgenommen, welche wiederum Fenster und Türen enthalten, sowie die Boden- und Deckenoberflächen. Bei einer genauen Betrachtung der Struktur des Raumbuches ist auffällig, daß bestimmte Rohbauteile, wie Wände oder Decken, nicht als einzelne abgeschlossene Bauteilelemente strukturiert werden, sondern daß vielmehr eine Typisierung der Oberflächen der untersuchten Räume erfolgt, es werden die Begriffe Wand-, Decken- und Bodenfläche genutzt. Bauteile wie Fenster und Türen, welche sich leicht identifizieren lassen, werden den Raumboflächen zugeordnet, in denen sich das betreffende Bauteil befindet. Die aufgezeigte Strukturierung wird in Abschnitt 7.3 wieder aufgenommen.

2.3. Die Rolle der Geometrie in der Bauaufnahme

Das Bauwerk ist in seiner Gestalt und Erscheinung wesentlich durch seine Geometrie geprägt. Es besteht physisch aus einzelnen Bauteilen. Der aus der Menge der Bauteile zusammengesetzte Baukörper bildet mit seinen Umgrenzungen räumliche Strukturen. Zur Abbildung von Geometrien stehen unterschiedlichste Werkzeuge mit sehr unterschiedlichen Eigenschaften zur Verfügung. Dazu gehören (ohne Anspruch auf Vollständigkeit):

- Skizzen
- Zeichnungen, wie Grundrisse, Schnitte, Details
- Fotoaufnahmen
- Abdrücke von Oberflächen mittels Knetmasse, Gipsabgüsse
- physische Modelle aus Holz, Pappe, usw.
- computerinterne geometrische Modelle
- definierte geometrische Parameter, beispielsweise Höhe, Breite, Tiefe

Der Begriff der **Skizze** wird unterschiedlich interpretiert. In [Wangerin92] werden Skizzen wie folgt beschrieben:

„Skizzen sind freihändig angefertigte Zeichnungen ohne oder nur mit angenähertem Maßstab. Sie geben einen Überblick über die Proportionen und Größe eines zu erfassenden Objektes oder informieren über eine bestimmte Detailausbildung an einem Bauwerk. Damit handelt es sich nicht um eine Bauaufnahme im strengeren Sinne. Skizzen können jedoch wichtige Ergänzungen einer Bauaufnahme sein.“

Skizzen sind ihrem Charakter nach informal und bedürfen der menschlichen Interpretation. Genau darin liegt aber auch eine ihrer besonderen Stärken. Mit Hilfe von Skizzen lassen sich durch die bewußte Nutzung der Wiedererkennung dargestellter Objekte beim Betrachter fast beliebige Elemente festhalten. Skizzen erheben keinen Anspruch auf maßliche Korrektheit. Der Aufnehmende kann Geometrien in kurzer Zeit ohne Aufmaß abbilden, jedoch sehr wohl einzelne, ihm wichtig erscheinende Maße in der Skizze festhalten.

Im Gegensatz zum künstlerischen Bereich wird im technischen Bereich eine eindeutige Wiedererkennung der abgebildeten Objekte gewünscht, wozu beispielsweise fest definierte Symbole genutzt werden können (siehe DIN 1356-1).

Zeichnungen bilden Geometrien nach festgelegten Abbildungsregeln auf die Ebene ab. Die Abbildung gibt das Original maßlich mit einer bestimmten Genauigkeit wieder. Zeichnungen sind daher an die maßliche Erfassung von Geometrien gebunden. Standardisierte Schraffuren können z.B. Materialangaben abbilden, Zeichenvorschriften ermöglichen die teilweise Abbildung von Höheninformationen. Zeichnungen besitzen einen höheren formalen Charakter als Skizzen.

Fotoaufnahmen sind ihrem Charakter nach informal. In dem kurzen Moment der Fotoaufnahme wird eine hohe Informationsmenge erfaßt, jedoch muß das Foto anschließend vom Betrachter interpretiert werden. Im Abschnitt 3.2.3 werden Techniken der Photogrammetrie aufgezeigt, welche eine Formalisierung der Informationen von Fotoaufnahmen in Form von maßlichen Geometrierekonstruktionen erlauben.

Abdrücke von Oberflächen mittels Knetmasse oder Gipsabdrücke stellen eine ideale Möglichkeit dar, auch komplizierte Oberflächen in ihrer Geometrie auf einfache Weise und dauerhaft mit sehr hoher Genauigkeit festzuhalten.

Physische Modelle können lediglich die Geometrie eines Bauwerkes mit einer gewissen Genauigkeit wiedergeben. Die Erstellung eines Modells erfordert im Vorfeld die maßliche Erfassung des Originals. Der hohe Erstellungsaufwand physischer Modelle, ihre physische Verletzbarkeit, schlechte Genauigkeit im Vergleich zu Plänen, Platzbedarf usw. führen in der planungsrelevanten Bauaufnahme faktisch zur Bedeutungslosigkeit.

Computerinterne geometrische Modelle sind sehr unterschiedlich aufgebaut. Es existieren sowohl zwei-, drei- wie auch höherdimensionale Modelle. Diese Modelle können zeichenorientiert arbeiten, also mittels einfacher geometrischer Grundelemente wie Punkten, Linien, Flächen, Schraffuren usw. klassische Zeichnungen digital umsetzen, wie auch mit bestimmten mathematisch fundierten Modellen dreidimensionale Geometrien abbilden und auf diesen beispielsweise Volumenoperationen erlauben. Produktmodelle erlauben darüber hinaus die Einführung geometrischer Parameter.

Geometrische Parameter sind formal. Sie stellen die spezifischste Form von Geometrieinformationen dar und besitzen somit einen jeweils sehr speziellen und damit eingegrenzten Einsatzbereich.

Geometrische Informationen sind in der Bauaufnahme immer objektbezogen. Beispielsweise werden in Grundrißplänen standardisierte Zeichentechniken eingesetzt, um in den Plänen Objekte wie Fenster, Türen oder Wände identifizieren zu können. In der Regel werden durch Schraffuren auch Materialeigenschaften abgebildet.

Von seiten der Objekte aus betrachtet sind geometrische Informationen unerlässlich. Die jeweilige Art, geometrische Informationen abzubilden, kann dabei sehr verschieden sein. Für ein Fenster ist der Einbauort, die Brüstungshöhe, die Höhe, Breite und Tiefe des Fensters relevant. Gleiches läßt sich auf Türen usw. übertragen.

Der Bezug zwischen Objekt und Geometrie erfolgt im Raumbuch mittels beschrifteter Skizzen und Plänen. Abbildung 2.4 zeigt einen Orientierungsplan. Hier erfolgt durch Bezeichnungen eine Zuordnung der Raumgeometrien zu den einzelnen Räumen.

Die Abbildung 2.5 auf Seite 19 zeigt die Verknüpfung zwischen Objekten, Skizzen, Textbeschreibungen und Fotodokumentationen.

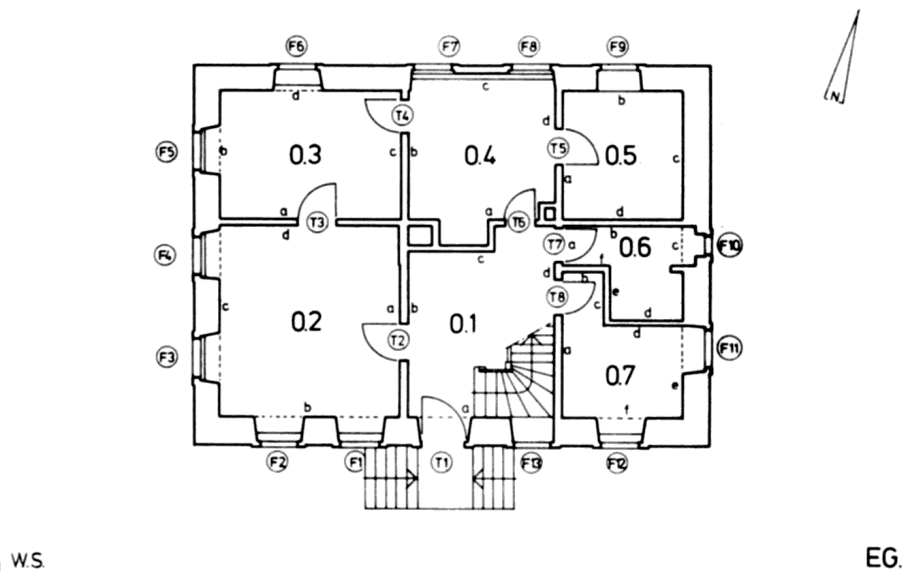


Abb. 2.4.: Orientierungsplan [Schmidt89]

2.4. Möglichkeiten und Grenzen der Geometrieerfassung

Mittels einer zerstörungsfreien oder zerstörungsarmen Bauaufnahme kann der Aufnehmende zunächst nur die wahrnehmbaren Oberflächen des Bauwerkes erfassen. Die Oberflächen formen dabei die einzelnen räumlichen Strukturen, die vom Aufnehmenden klar erkennbar sind ([Petzold01]). Weiter lassen sich bestimmte Bauteile wie Fenster oder Türen sofort identifizieren.

Vorrangig Bauteile des Rohbaus hingegen, also Fundamente, Wände, Decken usw., lassen sich in ihrer genauen geometrischen Ausprägung nur begrenzt erfassen: Nur ein Teil der Oberflächen dieser Bauteile bildet die wahrnehmbare Grenzfläche zwischen Baukörper und Innen- oder Außenraum. Die Grenzflächen zwischen den Bauteilen können nur durch zusätzliche Untersuchungen bzw. mittels noch vorhandener Planungsunterlagen ermittelt oder durch das Hintergrundwissen bestimmter Bauweisen vermutet werden.

Die bisherigen Ausführungen gingen davon aus, daß eine Grenzfläche zwischen Bauteilen existiert. Das muß jedoch nicht der Fall sein. So besitzen viele Stahlbetonbauten einen quasi homogenen Aufbau. Die Begriffe Wand und Decke sind bei diesem Beispiel eher funktional zu sehen, es existieren aber keine einzelnen, mit bestimmten Methoden verbundene Einzelbauteile. Gleiches gilt auch für gemauerte Wandverbände. Die Stabilität der Wandverbindungen wird gerade hier durch die „Verzahnung“ der Einzelwände erreicht (siehe Abbildung 2.6, S. 20). Als letztes Beispiel sei der Übergang tragender Außenmauern zu den Deckenplatten genannt. Die Deckenplatten enden hier vor den Außenkanten der Außenmauern. Es schließt sich eine Wärmedämmung an, vor welcher die Vormauerschale sitzt (siehe Abbildung 2.7, S. 20). Wo endet nun die Geometrie der Außenmauer? Ist die Vormauerschale Bestandteil der oberen, der unteren oder keiner Außenmauer oder sollte hier von einer durchgängigen Außenmauer gesprochen werden? Bestimmte geometrische Grenzen und strukturelle Zuordnungen müssen vom Aufnehmenden gezwungenermaßen definiert und nicht ermittelt werden.

Es erscheint als äußerst riskant, unbekannt geometrische Informationen zur Vervollständigung geometrischer Ausprägungen von Bauteilen anzugeben, es sei denn, der Aufnehmende möchte sie bewußt als vermutet angeben und kennzeichnet sie dementsprechend.

Objekt: Templerhaus Amorbach		Fläche/Teil
Pos.	Bestand	4b/1
	<p><u>Konstruktion:</u> Innenwand, Fachwerk Schwelle, Türpfosten u. Rähm Eiche gebeit Wand A (links der Tür): Einbindung der Zwischenwand in Deckenbalken: Stakungshölzer z. T. in Nuten z. T. in Bohrlöcher. Von Wand a gemessen (-0.00): Stakungsmut bis 27 cm, Bohrloch bei 32 cm, im Bereich unter Unterzug bis Unterzug die Oberfläche un bearbeitet, bei 62 cm zapflochähnliche Vertiefung, in unsauber gearbeitete Stakungsmut übergehend bis 82 cm, bei ca. 92 cm wieder Beginn einer breit abgeschlagenen Nut. Nut über gesamten Türstock hinweglaufend. Dendrochronologische Datierung des abgesägten Unterzuges: 1291 Dendrochronologische Datierung des Stiels unter Unterzug: 1562 Dendrochronologische Datierung des östlichen Türpfosten: 1562 Datierung des Türsturzes 1115 1644</p>	<p>Zustand/Anmerkungen</p> <p>keine konstruktive Einbindung der Wand in Außenwand (4c) erkennbar</p> <p>Verwendung von Bohrlöchern u. Nuten zur Einbindung der Starkhölzer ist ein Hinweis für eine Vorgängerwand unter gleichem Deckenbalken</p> <p>Fachwerkzerfassung siehe unter Oberflächen: F1</p> <p>Bereich A wurde erst 1564 erstellt, bzw. ersetzt. Bereich B vermutl. noch größtenteils von (1388?) und somit die bisher älteste nachgewiesene Innenwand im gesamten Gebäude; wiederholt durchgeführte dendrochronologische Untersuchungen der Schwelle brachten keine Datierung</p> <p>P1 von Bereich B bindet in Außenwand ein, s. auch Raum 8 Wand b</p>
①		
⑭		
⑮		

Raumbuch

Bearbeiter: Brütting / Günther Datum: 11/86

Abb. 2.5.: Beispieleintrag aus dem Raumbuch [Schmidt89]

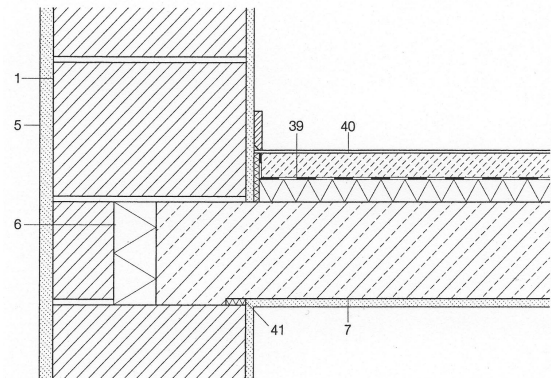
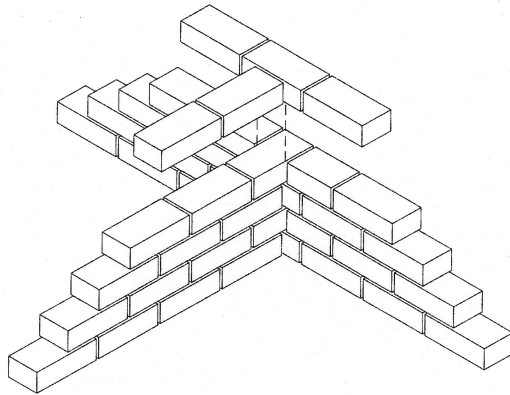


Abb. 2.6.: Mauerwerksverband [Pfeifer01]

Abb. 2.7.: Übergang zwischen Wand und Zwischendecke [Pfeifer01]

Als logische Folge muß es möglich sein, Bauteilen eine nur teilweise bekannte Geometrie zuzuweisen.

Teilweise bekannte Geometrien können je nach Anwendungsfall der Bauaufnahme einen großen Teil oder gar alle gewünschten Zielinformationen liefern. Als Beispiel seien Wanddicken, Deckenstärken oder Schichtenaufbauten genannt. Diese Informationen lassen sich den Bauteilobjekten sehr wohl zuweisen, im Fall der Wanddicken und Deckenstärken sogar aus nur teilweise bekannten Flächenmodellen ableiten. Gleiches gilt für beispielsweise Putz- und Mietflächen, da sich diese lediglich auf die sichtbaren Oberflächen des Baukörpers beziehen.

Der Übergang vom Flächenmodell zu einem vollständig geschlossenem bzw. bestimmten Volumenmodell ist mit großem Aufwand behaftet. Eine vollständige Volumenbeschreibung aller Bauteile sollte schon aus Zeit- und Kostengründen bei einer Bauaufnahme nicht angestrebt werden, wenn der Verwendungszweck dies nicht erfordert. Die Praxis zeigt in Form des Raumbuches und der Mengen von bei Bauaufmaßen entstehenden Grundrissen, daß dies auch nicht nötig und üblich ist.

3. Informationsgewinnung

Das vorliegende Kapitel betrachtet im Unterschied zu Kapitel 2, **wie** die bei einer Bauaufnahme zu gewinnenden Informationen erfaßt werden. Dazu wird einleitend der zeitliche Ablauf der Bauaufnahme aus globaler Sicht betrachtet, um anschließend konkret die Erfassung der Geometrie mittels ausgewählter Aufmaßtechniken zu erläutern. Angeführt werden weiter allgemein mögliche Fehlerquellen einschließlich der Relevanz zur Aufdeckung der Fehler und mögliche Ansätze hierzu.

3.1. Der Prozeß der Bauaufnahme

Zum Verständnis der weiteren Ausführungen soll zwischen der Erfassung und der Speicherung von Informationen bei der Bauaufnahme unterschieden werden. Unter der Speicherung von Informationen soll bei dieser Betrachtung jegliche Form verstanden werden, wie der Aufnehmende die gewonnenen Informationen, gleich welcher Art, als Resultat seiner Arbeit übergibt, sei es als Menge von Plänen, als physisches Modell, als Computermodell usw.

Der Prozeß der Bauaufnahme ist von einer stufenweisen Annäherung des Aufnehmenden an das zu erfassende Bauwerk geprägt, welche sich beispielsweise in Teilprozessen wie Erstbegehung, Bauaufmaß und fachspezifischen Untersuchungen ausdrückt. Im Verlauf der Bauaufnahme werden verschiedenste Informationen ermittelt, wodurch sich ein immer umfangreicheres und genaueres Informationsmodell des Bauwerkes ergibt. Abbildung 3.1 zeigt dazu eine typische Ablaufstrukturierung einer Bauaufnahme, die selbstverständlich nur als grobe Orientierung dienen kann.

Durch grobe, kurze Beschreibungen und bestehende Fotos oder Unterlagen kann sich der Aufnehmende bereits vor dem ersten physischen Kontakt mit dem aufzunehmenden Bauwerk ein erstes Bild verschaffen und auf die Erstbegehung einstellen. Bei der Erstbegehung kann er bereits erste Informationen in Skizzenform festhalten. Der Aufnehmende beginnt

Sichtung bestehender Planungsunterlagen			
Erstbegehung			
Aufnahme vor Ort			
	Baufaufmaß	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			

Abb. 3.1.: Teilprozesse in der Bauaufnahme [Petzold01]

in dieser Phase, das Bauwerk zu strukturieren. Er identifiziert bzw. definiert räumliche Strukturen und Bauteile. Dieser Vorgang ist an dieser Stelle nicht explizit zu verstehen. Auch wenn es dem Aufnehmenden vielleicht nicht direkt bewußt ist, wenn er in einer Skizze eine Tür einzeichnet und vielleicht sogar eine Bemerkung hinzufügt, ist dies bereits das Ergebnis der Identifikation des Bauteils Tür, seiner geometrischen Einordnung mit Hilfe der Skizze und der Zuordnung von Informationen durch textliche Beschreibung.

Liefert die Erstbegehung nur eine teilweise erstellte Gebäudestruktur und nur unvollständige Geometrieinformationen auf Skizzenebene, so ist die Aufgabe des Bauaufmaßes die Konkretisierung der geometrischen Abbildung des Bauwerkes nach dem durch den Verwendungszweck der Bauaufnahme vorgegebenen Detaillierungsgrad, der gewünschten geometrischen Abstraktionsstufe und der maßlichen Genauigkeit. Dabei müssen keinesfalls alle Geometrieinformationen den gleichen Abstraktionsgrad, die gleiche Detailliertheit und Genauigkeit besitzen. Beispielsweise sind auch sehr grobe skizzenhafte Informationen über das Umfeld eines Bauwerks (Straße, Nachbarschaftsgebäude usw.) sehr hilfreich. Auch kann, bedingt durch lokale Umbaumaßnahmen, nur ein Aufmaß bestimmter Gebäudeteile nötig sein, während das übrige Gebäude nur sehr grob festgehalten werden muß. Verschiedene Aufmaßtechniken, die häufig zum Einsatz kommen, werden in Abschnitt 3.2 aufgezeigt.

Die Ergebnisse der Erstbegehung und des Aufmaßes werden im Büro als Datenbasis zur Erstellung des Gebäudeabbildes genutzt. Unter Gebäudeabbild sind dabei alle zusammengestellten Informationen in Form von Grundrißzeichnungen, Schnitten, Skizzen, textlichen Beschreibungen usw. zu verstehen. Gewonnene Erkenntnisse über das Bauwerk können weiterreichende Untersuchungen erfordern, auch durch Fachkräfte beispielsweise der Bauchemie, des Denkmalschutzes, der Statik usw. Durch die erfaßten Informationen kann sich auch die Aufgabenstellung der Bauaufnahme ändern, wodurch die Erfassung weiterer Daten nötig wird (siehe Abbildung 3.2).

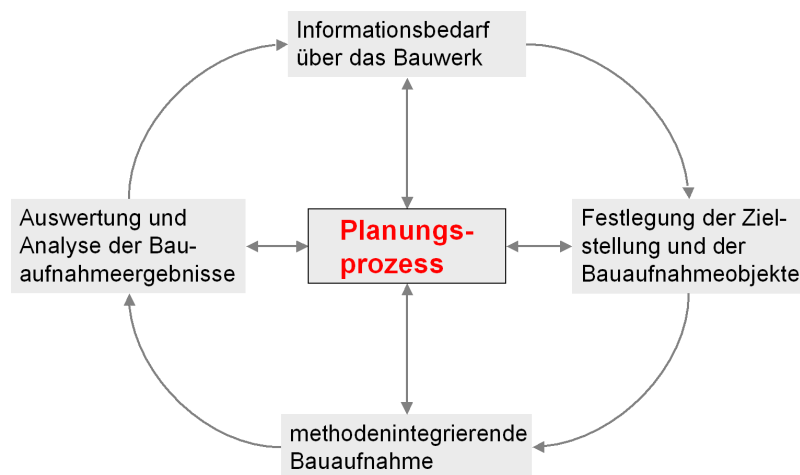


Abb. 3.2.: Bauaufnahme als zyklischer Prozeß [Donath02]

Den Abschluß der Bauaufnahme stellt die Bereitstellung aller aufbereiteten Informationen in geeigneter Form und deren Archivierung dar.

Zusammenfassend kann festgehalten werden: Der Ablauf der Bauaufnahme ist geprägt von einer immer fortschreitenden Detaillierung und Konkretisierung von Informationen. Bereits in der Phase der Erstbegehung werden Objekte, wie Räume, Bauteile, Öffnungen, Schadstellen usw., identifiziert, Ordnungsstrukturen aufgebaut und geometrische Informationen zugeordnet. In den folgenden Phasen kommen weitere Objekte hinzu, werden den

bestehenden Objekten formale und informale Informationen zugeordnet, wird die erfaßte Geometrie ergänzt, detailliert und maßlich konkretisiert.

3.2. Relevante Aufmaßtechniken

Nachdem die Relevanz der Geometrie in der Bauaufnahme erörtert wurde, sollen nun verschiedene Aufmaßtechniken und -methoden betrachtet werden. Mit ihrer Hilfe wird im Bauaufmaß ein maßliches Abbild der Geometrie des aufzunehmenden Bauwerkes generiert. Dieses Abbild kann, je nach Verwendungszweck der aufgenommenen Geometrie, sehr verschieden aussehen. So können die Abbildungen zwei- oder dreidimensional erstellt werden und unterschiedlichen Abstraktionsstufen unterliegen.

Im Folgenden werden die im heutigen Bauaufmaß wesentlichen Aufmaßtechniken Handaufmaß, Tachymetrie und Photogrammetrie betrachtet. Diese allgemein für die Bauaufnahme anerkannten und praxisrelevanten Techniken eignen sich zur maßlichen Erfassung der Innenräume und des Außenkörpers von Gebäuden. Auch die Technik des Laserscannings wird aus Vollständigkeitsgründen mit angeführt, da ein Einsatz dieser Aufmaßtechnik immer häufiger auch im Bereich des Bauaufmaßes diskutiert wird. Weitere mögliche Techniken, wie das lediglich im Außenbereich einsetzbare GPS werden an dieser Stelle nicht betrachtet, da sie für die in dieser Arbeit vorrangig betrachtete Geometriemodellierung des Baukörpers keine praxisrelevante Bedeutung besitzen.

3.2.1. Handaufmaß

Das Handaufmaß stellt die wohl historisch gesehen älteste Methode des Aufmaßes dar. Genutzt werden Hilfsmittel zur Streckenmessung und zur Einmessung der Horizontalen und Vertikalen. Die folgende Gliederung wurde [Petzold01] entnommen:

- Entfernungsmesser, z.B.:
 - Gliedermaßstab (“Zollstock“)
 - Gewebe- und Metallbandmaß
 - Teleskopmaßstab
 - Laserdistanzmesser
- Meßgeräte zum Einmessen der Horizontalen, z.B.:
 - Wasserwaage
 - Schlauchwaage
 - Nivelliergerät
 - Lasernivelliergerät
- Meßgeräte zum Einmessen der Vertikalen, z.B.:
 - Lot an Schnur, Wasserwaage
 - Winkelmesser

Die im Handaufmaß zum Einsatz kommenden Geräte arbeiten alle nach den Grundprinzipien ihrer „Veteranen“, wurden aber in den letzten Jahrzehnten technisch verbessert. Mittels Laserdistanzmesser können auch lange Distanzen zu schwer zugänglichen Punkten

aufgenommen werden (man denke an den Dachbereich). Außerdem ist für die Messung nur eine Person erforderlich. Lasernivelliergeräte ermöglichen das Ablesen der Höhenlinie direkt „am Objekt“. Heutige Präzisionsschlauchwaagen arbeiten mit Genauigkeiten von bis zu 0,01 mm und werden beispielsweise zur Brückenüberwachung eingesetzt.

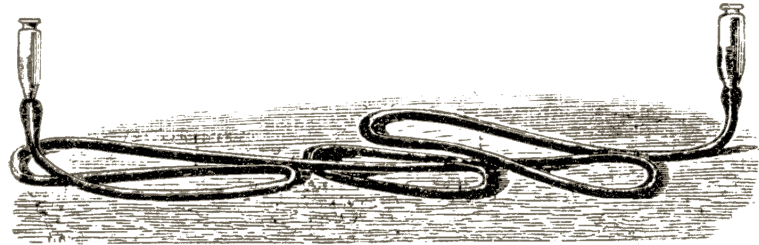


Abb. 3.3.: Schlauchwaage 1910 [Staatsmann10]

Die verschiedenen Aufmaßmethoden des Handaufmaßes können für Geometrieerfassungen mit sehr unterschiedlichen Anforderungen an Abstraktion und Genauigkeit genutzt werden. Für das planungsrelevante Bauaufmaß genügt beispielsweise für sehr viele Räume eine quasi quaderförmige Geometrieabstraktion. In diesen Fällen wird durch das Handaufmaß eine sehr schnelle Erfassung von Länge, Breite und Höhe ermöglicht, wobei vor allem der Laserdistanzmesser ein gut geeignetes Werkzeug darstellt. Aber auch sehr exakte Geometrieerfassungen, wie im Bereich der Denkmalpflege oder Bauforschung, lassen sich mittels Handaufmaß durchführen oder in Verbindung mit anderen Aufmaßstechniken unterstützen. Besonders in der Kombination mit der Tachymetrie kann das ergänzende Handaufmaß Genauigkeiten erreichen, welche nicht wesentlich unter denen einer reinen Tachymetrie liegen. In diesem Fall wird das Handaufmaß genutzt, um beispielsweise Öffnungstiefen usw. zu erfassen.

Im Bereich des planungsrelevanten Bauaufmaßes verlieren reine händische Verfahren, wie handgestütztes Polygonzug-, Orthogonal-, Einbinde-, Polar- und Meßrasterverfahren, durch den immer weiterschreitenden Einzug der Tachymetrie zunehmend an Bedeutung und werden daher in dieser Arbeit nicht betrachtet.

3.2.2. Tachymetrie

Tachymeter sind für das planungsrelevante Bauaufmaß sehr interessante Werkzeuge. Bereits [Staatsmann10] sah 1910 die Zukunft der Nutzung von Theodoliten für die Bauaufnahme voraus. Dem höheren Aufwand der Standorteinrichtung steht die sehr schnelle und genaue Erfassung von Raumpunktkoordinaten gegenüber, wobei die aufzunehmenden Punkte – neben einigen meßtechnischen Anforderungen – lediglich vom Standort aus sichtbar sein müssen. Die Winkelgenauigkeit von Tachymetern im Bausektor liegt bei mindestens 15 mgon, die Genauigkeit der Distanzmessungen bei mindestens 5 mm. Tachymeter geben bei einem Meßvorgang mindestens drei Meßwerte zurück: Horizontal- und Vertikalwinkel sowie die Distanz (siehe Abbildung 3.5, S. 26). Für genauere Messungen lassen sich auch Werte wie Umgebungstemperatur, Luftdruck, Luftfeuchte usw. abfragen, welche zur Nachkorrektur der Meßwerte herangezogen werden können, aber bei den üblichen Genauigkeitsforderungen im Bauaufmaß im Normalfall keine Rolle spielen.

Besonders reflektorlos arbeitende Tachymeter sind für die Bauaufnahme von großem Interesse. Mit ihrer Hilfe lassen sich auch viele unzugängliche Punkte direkt aufnehmen. Reflektorlos arbeitende Tachymeter nutzen die reflektorlose Distanzmessung mit Hilfe eines Laserstrahls. Durch die Nutzung des Laserstrahls als Meßstrahl wird der Meßwert der

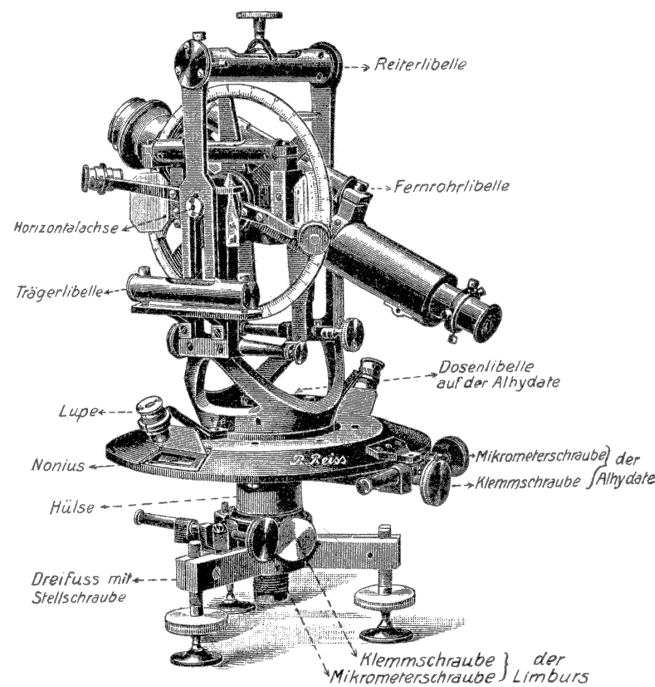


Abb. 3.4.: Repetitionstheodolit [Staatsmann10]

Entfernung durch die optischen Eigenschaften des reflektierenden Materials beeinflusst. Dunkle Flächen reflektieren unter Umständen den Laserstrahl zu schwach für eine Entfernungsmessung. Messungen, beispielsweise auf Styropor, liefern zu große Entfernungswerte, da der Laserstrahl optisch in das Material eindringen kann.

Die Divergenz des Laserstrahls führt zu größeren Abweichungen der Entfernungsmessungen auf unebenen Flächen. Verfahrensbedingt wird in diesen Fällen ein Mittelwert der Entfernung der vom Meßstrahl erfaßten Fläche gemessen.

Eine andere Möglichkeit besteht in der Entfernungsmessung mit Reflektor. Verschiedene Tachymeter, beispielsweise der Firma Leica, können zwischen Entfernungsmessung mit und ohne Reflektor ohne Umbau direkt wechseln. Mit Hilfe eines Reflektors mit Abstandhalter können so zugängliche Eckpunkte und Kanten direkt erfaßt werden. [Kehne88] zeigt zwei entsprechende Konstruktionen für „positive und negative Ecken“.

Tachymeter eignen sich u.a. besonders zur Einrichtung von Aufnahmenetzen, durch welche beispielsweise die Lage von Räumen zueinander bestimmt werden kann. Im Gegensatz zum Geländeaufmaß wird die Bildung geschlossener Polygonzüge innerhalb von Bauwerken entscheidend von deren Raumstrukturen beeinflusst. Zwischen vielen Standorten besteht kein direkter Sichtkontakt. So können beispielsweise nahe beieinander liegende Standorte nicht direkt verbunden werden, wenn Wände oder andere optische Hindernisse dazwischen liegen. Um dennoch geschlossene Polygonzüge zu erhalten, schlagen [Runne92] und [Kehne88] die Nutzung von markierten Objektpunkten vor, welche sich innerhalb und außerhalb des Bauwerkes befinden und von mehreren Standorten aus aufgenommen werden (siehe Abbildung 3.6, S. 27).

Die Photogrammetrie, auf welche im folgenden Abschnitt 3.2.3 eingegangen wird, kann wirkungsvoll mit der Tachymetrie kombiniert werden, indem beispielsweise markierte Paßpunkte tachymetrisch erfaßt werden.

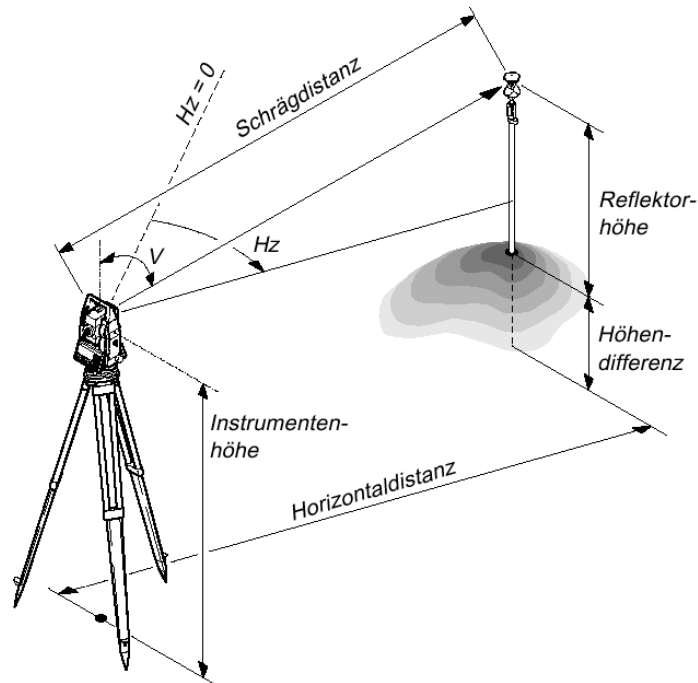


Abb. 3.5.: Grundprinzip Tachymetrie [Leica97]

3.2.3. Photogrammetrie

Mit Hilfe der Photogrammetrie werden Lage und Form von Objekten aus Fotografien rekonstruiert. Sie gehört damit zur Gruppe der berührungsfreien Meßverfahren. [Kraus94] führt als mögliche Ergebnisse der Photogrammetrie auf (Zitat):

- **„Maßzahlen**, nämlich *Koordinaten einzelner Objektpunkte in einem dreidimensionalen Koordinatensystem (digitale Punktbestimmung)*,
- **Zeichnungen** (analog und/oder digital), nämlich *Karten und Pläne mit Grundriß- und Höhenlinien und sonstige graphische Darstellungen der Objekte*,
- **Bilder** (photographisch oder digital), vor allem *entzerrte Photographien (Orthophotos) und daraus hergestellte Luftbildkarten, aber auch Photomontagen und Raumbilder*.“

Die Photogrammetrie zeichnet sich im Vergleich mit anderen Aufmaßmethoden dadurch aus, daß alle Informationen gleichzeitig im Moment der Aufnahme gewonnen werden ([Stoppa03]). Damit ermöglicht die Photogrammetrie eine schnelle Erfassung der Informationen vor Ort, an die sich jedoch eine länger währende Auswertung anschließt. Diese kann ebenfalls vor Ort, jedoch auch örtlich und zeitlich getrennt erfolgen.

In diesem Zusammenhang ist es interessant, daß sich bereits parallel zum Begründer der Photogrammetrie, dem Franzosen Oberst A. Laussedat, A. Meydenbauer in Deutschland mit der Einsetzung der Photogrammetrie für die Bauaufnahme beschäftigte ([Kraus94]).

Bei der photogrammetrischen Aufnahme wird der dreidimensionale Raum nach den Gesetzmäßigkeiten der Zentralprojektion in den R^2 abgebildet. Es kommt zu einem Informationsverlust, welcher durch mehrere Aufnahmen der gleichen Objekte aus unterschiedlichen

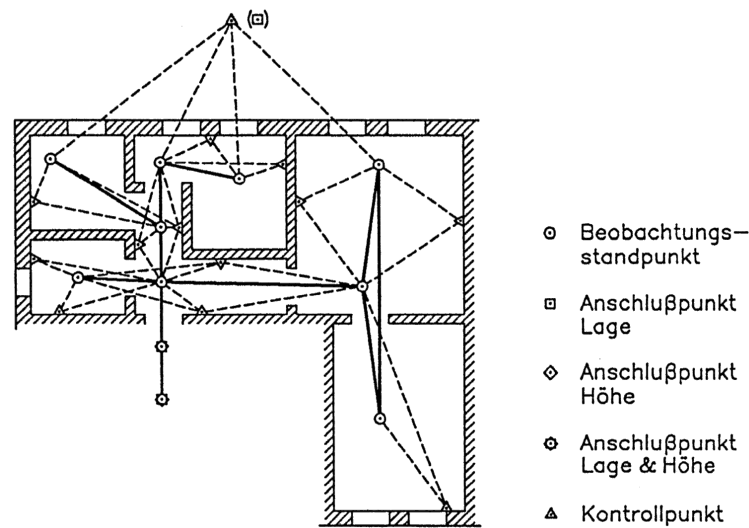


Abb. 3.6.: Aufnahmenetz für eine Wohnung [Runne92]

Positionen (Zwei- oder Mehrbildphotogrammetrie) oder durch zusätzliche Abstraktionen (Einbildphotogrammetrie) kompensiert wird.

Die Photogrammetrie kann zur Gewinnung von formalen und informalen Informationen dienen. Markierte oder markante Punkte können in ihrer relativen oder absoluten Lage bestimmt und so formale Informationen für das Geometrieabbild des Bauwerkes gewonnen werden. Entzerrungen und Abwicklungen liefern informale Informationen. Der Anwender kann mittels dieser Techniken Fassadenansichten, steingerechte Aufnahmen, Ausblühungen usw. dokumentieren (siehe Abbildung 3.8). Das System kann den entzerrten Aufnahmen selbst in der Regel keine Informationen entnehmen. Jedoch können neben der Dokumentation entzerrte Aufnahmen auch der Verifikation dienen (siehe Abschnitt 7.6).

Die verschiedenen photogrammetrischen Auswerteverfahren gehen auf eine Umkehrung bzw. Rekonstruktion des eigentlichen Aufnahmeprinzips zurück, je nach Verfahren mechanisch, optisch oder mathematisch. Aus dem fotografischen Abbild und der Kenntnis des optischen Systems (innere Orientierung) läßt sich für jeden Bildpunkt einer Aufnahme der entsprechende Aufnahmestrahl rekonstruieren. Um die Position des Originalpunktes zu ermitteln, muß der entsprechende Aufnahmestrahl mit einem anderen geometrischen Objekt verschnitten werden. Im Falle der Einbildauswertung werden dazu entweder Punktmengen als in einer Ebene liegend angenommen, so daß ihre entsprechenden Aufnahmestrahlen mit dieser verschnitten werden, oder es wird ein zusätzlich angegebenes Höhenmodell zur Verschnidung mit den Aufnahmestrahlen genutzt. Für die Bauaufnahme ist die erstere Methode von großer Bedeutung. Sie wird bei als planar anzusehenden Oberflächen eingesetzt, wie beispielsweise Fassaden, welche keine oder nur geringe Vorsprünge besitzen.

Wird eine Menge von aufgenommenen Punkten als in einer Ebene liegend angenommen, so können bei Kenntnis der Aufnahmeparameter (Ebenenposition und -ausrichtung zur Kamera, Abbildung im optischen System) die Bildpunkte aus der Aufnahme „entzerrt“ werden. Das Ergebnis der Entzerrung sind keine Punktpositionen im R^3 , sondern wiederum eine Abbildung im R^2 , welche die Position der abgebildeten Punkte in ihrer Originalebene wiedergeben soll. Abbildung 3.8 zeigt die Aufnahme eines Teils der Fassade des Lehrstuhlgebäudes und eine Entzerrung der als planar abstrahierten Fassade. Entzerrte Aufnahmen eignen sich zur Dokumentation von beispielsweise Rissen, Steinfugen,

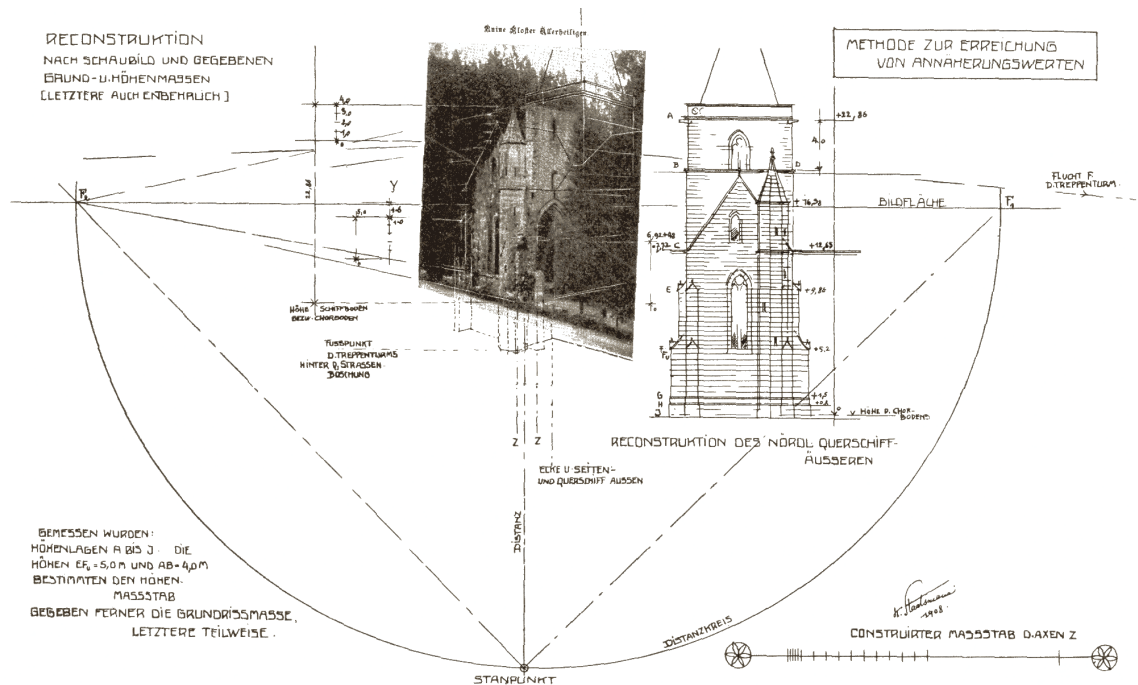


Abb. 3.7.: Rückkonstruktion 1910 [Staatsmann10]

Gemälden usw. Vor allem jedoch können aus entzerrten Bildern geometrische Werte wie Punktpositionen, Entfernungen, Winkel usw. direkt „abgegriffen“ werden.



Abb. 3.8.: Aufnahme einer Fassade des Lehrstuhlgebäudes und eine Entzerrung (InfAR 2003)

Neben einer Ebene lassen sich auch andere geometrische Elemente nutzen, um aus einer einzelnen photogrammetrischen Aufnahme Punktpositionen zu ermitteln. Bei einem Turm wie in Abbildung 3.9 wird beispielsweise als Abstraktion ein Zylinder angenommen. Auch in diesem Fall ist eine Entzerrung möglich. Im Falle eines Zylinders wird dabei von einer Abwicklung gesprochen. Die Verwendung von Zylindern und anderen analytischen Flächen ist jedoch in der Praxis bedeutend schwieriger als die der Ebene.

Neben der Nutzung einfacher geometrischer Primitiven kann auch das CAD-Modell eines Gebäudes für die Einbildauswertung genutzt werden. In diesem Fall werden die Aufnahmestrahlen mit dem CAD-Modell verschnitten. In Kombination mit anderen photogrammetrischen Verfahren lassen sich aus Bildverbänden auf diese Weise das CAD-Modell und



Abb. 3.9.: Abwicklung eines Turms [TU Berlin03/2]

die entzerrten Flächen gemeinsam bestimmen. In den Softwareapplikationen werden die entzerrten Flächen dabei gleichzeitig zur Texturierung des CAD-Modells genutzt (siehe Abbildung 3.10). Eine solche Texturierung ist u.a. zur Verifikation des Auswertungsergebnisses sinnvoll. Der Aufnehmende erkennt, ob Textur und Modell beispielsweise an den Kanten übereinstimmen.



Abb. 3.10.: Mittels der Applikation PhotoModeler erstellte Ansicht der Kirche von Teutleben (InfAR 2003)

Zwei- und Mehrbildauswertung nutzen mehrere Aufnahmen identischer Objekte von unterschiedlichen Positionen aus. Durch die unterschiedlichen Positionen schneiden sich die Abbildungsstrahlen der aufgenommenen Punkte im Raum, wodurch sich deren Position bestimmen läßt¹. Im Falle der Mehrbildauswertung werden analytisch die Aufnahme­strahlen eines Punktes verschnitten. Bei diesem Verfahren ist es notwendig, für den im Raum zu bestimmenden Punkt seine Bildpunkte in den Aufnahmen zu identifizieren. Hierzu können markante Punkte der Gebäudegeometrie wie Eckpunkte oder speziell mit Markern gesetzte Punkte dienen. Die eigentliche Identifikation dieser Punkte bei der Auswertung muß in der Bauaufnahme in der Regel manuell erfolgen, eine automatische Erkennung wird durch verschiedene Einflüsse stark erschwert [Weferling01].

Im Falle der Zweibildauswertung werden zwei verschiedene Grundtechniken angewendet. Die Einschneidephotogrammetrie ist eine Sonderform der Mehrbildauswertung, es wer-

¹Analytisch exakt gesehen kommt es bei der Auswertung durch die meßtechnischen Ungenauigkeiten natürlich nicht zu wirklichen Verschneidungen.

den die Abbildungsstrahlen von jeweils zwei Aufnahmen verschnitten. Für die Bauaufnahme interessant ist die Stereophotogrammetrie. Hier wird das stereoskopische Sehen des Menschen genutzt. Bei der Auswertung an speziellen Auswertegeräten werden jeweils zwei Aufnahmen stereoskopisch eingeblendet. Der Nutzer sieht das aufgenommene Objekt räumlich und kann mittels eines ebenfalls räumlich eingeblendeten Markers Punktpositionen im Raum abgreifen. Diese Technik erlaubt die photogrammetrische Auswertung von beispielsweise sehr unregelmäßigen Geometrien, wie stark verwitterten historischen Mauern, an denen die Identifikation der Bildpunkte einzelner Objektpunkte nur sehr schwer durchzuführen ist, wodurch sich die schon beschriebenen Verfahren nur schwer oder gar nicht einsetzen lassen. Ein Haupthindernisgrund für die Anwendung der Stereophotogrammetrie liegt in dem hohen Preis der Auswertegeräte, jedoch existieren auch hier bereits reine computergestützte Lösungen, beispielsweise mittels Shutterbrillen, so daß langfristig auf eine Kostensenkung zumindest gehofft werden kann.

3.2.4. Laserscanning

Auch oder gerade auf dem Gebiet der Bauaufnahme ist festzustellen, daß Laserscanner zunehmend in den Blickpunkt der Fachszene geraten. Von ihrer prinzipiellen Funktionsweise aus betrachtet können Laserscanner als Weiterentwicklung von motorisierten Tachymetern in Kombination mit der Photogrammetrie gesehen werden. Laserscanner erfassen in kurzer Zeit eine große Menge von Punktkoordinaten nach dem Grundprinzip der reflektorlosen Tachymetrie und sind teilweise auch in der Lage, bei der Erfassung der Einzelpunkte die jeweilige Oberflächenfarbe jedes Meßpunktes zu bestimmen. Der technische Aufbau von Laserscannern unterscheidet sich, bedingt durch die Forderung der Erfassung großer Punktmengen in kurzer Zeit, erheblich von motorisierten Tachymetern. Bisherige Produkte lassen sich in zwei Grundtypen einordnen:

1. Positionsbestimmung durch Polarverfahren mittels Laufzeitmessung
2. Positionsbestimmung durch Vorwärtsschnittberechnung mittels Triangulation

Als Ergebnis des Laserscannings entstehen große Punktmengen. Für die Bauaufnahme ist jedoch nicht nur die Erfassung von Oberflächen relevant, sondern gerade ihre Interpretation und der Bezug zu Raumstrukturen und / oder Bauteilen. Laserscanner erfassen alle Objekte im Aufnahmebereich. Die halbautomatische Reduzierung der Punktmengen und Modellierung verlangt eine hohe Nachbearbeitungszeit der Daten. Laserscanning hat daher vor allem dort eine große Relevanz, wo wegen bestimmter Randbedingungen nur eine sehr kurze Zeit für die unmittelbare Vermessung zur Verfügung steht, beispielsweise in kurzzeitig stillgelegten Reaktorgebäuden. Der reale Aufmaßalltag dagegen sieht anders aus. Aufzunehmende Räume sind nicht geräumt, eventuell müssen sogar bewohnte Gebäude aufgenommen werden. Alle sich hier noch befindenden Objekte werden mitgescannt. Ebenso kann ein Laserscanner nicht zwischen der homogenen Putzoberfläche einer Decke und plötzlichen Schadstellen unterscheiden, an denen sich beispielsweise der Putz gelöst hat. Gebäude stehen selten so frei wie etwa im Falle des Beispielscans in Abbildung 3.11. Fahrzeuge, Bäume, Straßenlaternen u.a. verdecken teilweise die Fassaden und müssen „herausgerechnet“ werden.

3.3. Kombination der Aufmaßtechniken

Die unterschiedlichen Aufmaßtechniken, wie Tachymetrie, Photogrammetrie und Handaufmaß können ihr volles Potential in ihrer Kombination entfalten. Die Tachymetrie ermög-



Abb. 3.11.: Ergebnis eines Laserscans

licht durch sehr genaue Standortnetze, räumliche Geometrien global sehr genau miteinander in Bezug zu bringen. Auch lassen sich mittels der reflektorlosen Tachymetrie schwer zugängliche oder gefahrenverbundene Stellen erfassen.

Das Handaufmaß ermöglicht je nach Aufgabenstellung sowohl die äußerst schnelle wie kostengünstige Erfassung von groben Geometriedaten, wie auch die präzise Erfassung von vor allem kleineren Strukturen und Bauteilen im exakten verformungsgetreuen Aufmaß.

Die Photogrammetrie eignet sich sowohl für die Erfassung größerer Punktmengen z.B. im Fassadenbereich, als auch zur Dokumentation von beispielsweise Wandmalereien mittels Entzerrungstechniken.

Verschiedene geometrische Abstraktionen können zur Reduzierung des Aufmaßaufwandes eingesetzt werden und ermöglichen erst bestimmte Messungen. Letztendlich obliegt es dem Aufnehmenden, je nach Zielstellung des Aufmaßes und der jeweiligen Aufmaßsituation, das jeweils geeignete Werkzeug zu wählen und mit den übrigen sinnvoll zu kombinieren.

3.4. Meßfehler

Ein erheblicher Anteil der Arbeitszeit eines Bauaufmaßes muß in der Regel für die Aufdeckung von Meßfehlern aufgewendet werden. [Niemeier02] klassifiziert Meßfehler nach

- Zuordnungsfehlern,
- völlig falschen Messwerten,
- groben Fehlern - Ausreißern,
- zufälligen Abweichungen - Messungenauigkeiten,
- Truncation Error - Fehler durch Stellenabbruch und
- Modellfehlern.

Die folgenden Gedanken und Erkenntnisse wurden [Niemeier02] entnommen und dem Gegenstand der Arbeit angepaßt bzw. ergänzt.

Völlig falsche Meßwerte im Bereich von $> 20 - 50 \sigma$ entstehen häufig durch Ablesefehler. Der Einzug elektronischer Meßinstrumente, wie reflektorloser Distanzmesser und Tachymeter, Scanner und digitaler Kameras bzw. Meßkammern und die direkte Verbindung dieser mit computergestützten Aufmaßsystemen schließen diese Fehlerquelle praktisch aus. Jedoch können Fehlfunktionen der Geräte auch die angeführte Größenordnung erreichen.

Völlig falsche Meßwerte lassen sich mit statistischen Testverfahren nur bedingt identifizieren. Es empfiehlt sich vielmehr der Einsatz von Plausibilitätstests. Diese sollten am besten bei der Erfassung vor Ort erfolgen, da auf diese Weise aufgedeckte Fehlmessungen sofort wiederholt werden können. Des weiteren können Verifikationsverfahren zur Aufdeckung genutzt werden. Für Plausibilitätstests und Verifikationen kann der Computer eine gute Hilfestellung leisten. Er kann bei der Erfassung von Meßwerten im Hintergrund sofort Plausibilitätstests durchführen. Wird das computerinterne geometrische Abbild des Bauwerkes bei jeder Messung sofort angepaßt, so kann der Aufnehmende nach jeder Messung Original und Abbild vor Ort vergleichen².

Eine große Bedeutung kommt Zuordnungsfehlern zu. In diesem Fall wird ein Meßwert zwar konkret festgehalten, jedoch wird dieser in einen falschen Bezug zur aufzumessenden Geometrie gestellt. Auch Zuordnungsfehler lassen sich mit statistischen Tests nur bedingt identifizieren. Spezifische Plausibilitätstests und Verifikationen sind auch hier mögliche Werkzeuge zur Aufdeckung. Da Zuordnungsfehler jedoch das geometrische Abbild nicht grob verfälschen müssen, ist in vielen Fällen ein nur augenscheinlicher Vergleich von Original und Abbild nicht mehr ausreichend.

Grobe Fehler im Bereich von $> (3 - 5) \sigma$ bis $(20 - 50) \sigma$ können sehr verschiedene Ursachen haben. Es existieren unterschiedliche geodätische Verfahren zur Aufdeckung solcher Fehler. Neue, leistungsfähigere Verfahren werden ständig entwickelt. Der Computer kann bei der Erfassung von Meßwerten im Hintergrund diese Verfahren anwenden und so den Nutzer entlasten.

Zufällige Abweichungen, also Schwankungen der Meßwerte um den „wahren“ Meßwert im Rahmen der Normalverteilung, lassen sich hervorragend durch Anwendung statistisch begründeter geodätischer Modelle der Ausgleichsrechnung reduzieren.

Fehler durch Stellenabbruch stellen einen wesentlichen Aspekt bei der Nutzung computergestützter Aufmaßsysteme dar. Die endliche Darstellung von Zahlen muß beispielsweise bei der computertechnischen Umsetzung von Ausgleichsmodellen beachtet werden. Als Beispiel sei der durch die maximale Rechenschärfe eingeschränkte Wertebereich von Wichtungen zwischen Beobachtungen bzw. Pseudobeobachtungen genannt.

[Niemeier02] definiert Modellfehler wie folgt:

„Modellfehler liegen vor, wenn die physikalischen oder geometrischen Beziehungen zwischen den Meßgrößen und den zu bestimmenden Zufallsvariablen oder Parametern fehlerhaft sind.“

Modellfehler können beispielsweise aus Abstraktionen im geometrischen Abbild herrühren. Da in der vorliegenden Arbeit eine Abstraktion aller Flächen als planare Flächen erfolgt, sind entsprechende Maßnahmen zu ergreifen, um den Modellfehler zu beseitigen oder zu minimieren.

²Diese Vorgehensweise wurde mittels des Prototypen Handaufmaß98 (siehe Abschnitt A.2) und der Experimentalplattform „Freak“ (siehe Abschnitt A.5) mit sehr positivem Ergebnis durchgeführt.

3.5. Modellfehler

Tachymetrie, Photogrammetrie, Laserscanning und andere Meßtechniken liefern als Meßergebnis die Beschreibung der Lage von Punktmengen zueinander. Um höhere geometrische Elemente, wie Kanten oder Oberflächen, zu bilden werden bestimmte geometrische Abhängigkeiten zwischen den Punkten und den höheren geometrischen Elementen vorausgesetzt. Diese vorausgesetzten Abhängigkeiten stellen geometrische Abstraktionen der Geometrie dar³. Die vorliegende Arbeit nutzt zur Abbildung der Geometrie planare Oberflächen. Bei dieser Abstraktion wird davon ausgegangen, daß sich alle Punkte einer Oberfläche in einer gemeinsamen Ebene befinden. Im Aufmaß wird nun beispielsweise eine Wandoberfläche als planare Fläche abstrahiert. Aus dieser Abstraktion ergeben sich jedoch verschiedenste Diskrepanzen zwischen Realität und Modell.

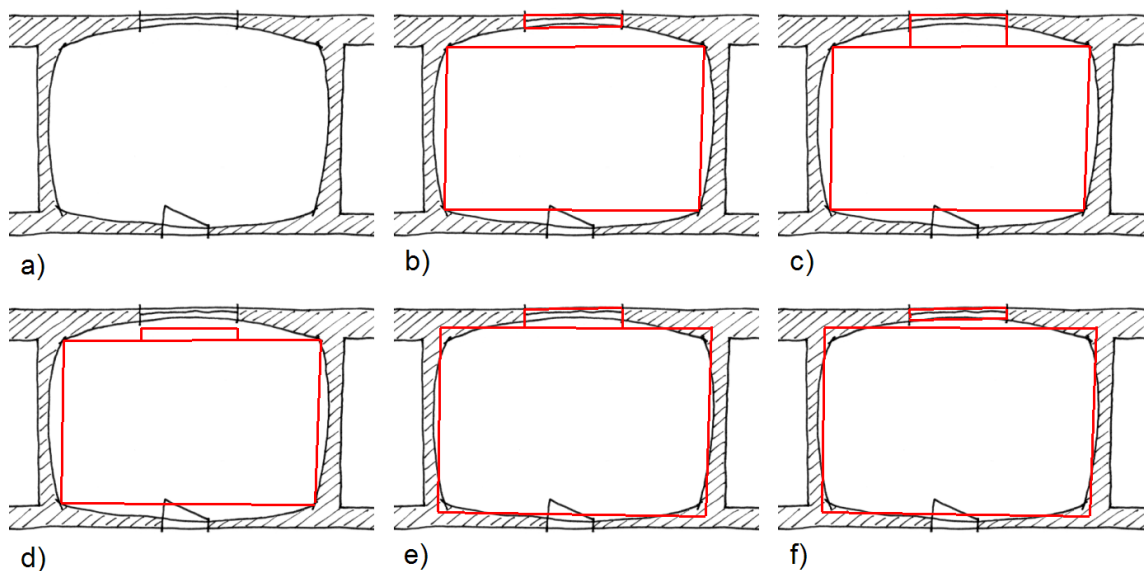


Abb. 3.12.: Modellfehler durch geometrische Abstraktion am Beispiel eines Grundrisses

Abbildung 3.12 zeigt einen Innenraum im Grundriß. Die Oberflächen des Raumes sind nicht absolut planar, werden aber vom Aufnehmenden als solche abstrahiert (in der Darstellung wurde die Krümmung der Oberflächen zugunsten der Übersichtlichkeit bewußt übertrieben). Zu sehen sind unterschiedliche Varianten der Abstraktion. Wie zu erkennen ist, läßt sich eine gute Übereinstimmung zwischen Original und Modell nur partiell erreichen. In dem gezeigten Fall eines Innenraumes kann beispielsweise mittels entsprechender Messungen ein Abbild geschaffen werden, welches besonders gut mit den Eckpunkten und -kanten des Originals übereinstimmt (Teilbilder b, c und d). Eine andere Variante besteht darin, die Messungen so vorzunehmen, daß die Gesamtabweichung zwischen Original und Abbild am geringsten ausfällt, wobei u.a. die ebenen Oberflächen des Abbildes in die gekrümmten Oberflächen des Originals eingepaßt sind (Teilbilder e und f).

Ein besonderes Augenmerk soll an dieser Stelle dem dargestellten Fenster dienen. Je nach Modellierung kann die Geometrieabbildung des Fensters möglichst gut mit dem Original übereinstimmen, sich aber aufgrund der gewählten Abbildung für die Wandoberflächen an einer falschen Position befinden (Teilbild d), oder stärker vom Original abweichen, wobei die Flächen des Fensters den gleichen Abbildungskriterien der übrigen Flächen entsprechen. Im Teilbild f wurden die planaren Flächen wie in den Fällen d und e vermittelnd

³An diesem Punkt wird wiederum klar, daß eine Erfassung der Geometrie eines Bauwerkes über Punktmengen hinaus immer auf Abstraktionen angewiesen ist.

angeordnet, bis auf die Wandflächen, in welche das Fenster eingesetzt wurde. Sie wurde in diesem Fall nach der Geometrie des Fensters angeordnet. Teilbild b zeigt einen weiteren wichtigen Aspekt auf. Hier führt die Abstraktion zu einem inkonsistenten Geometriemodell.

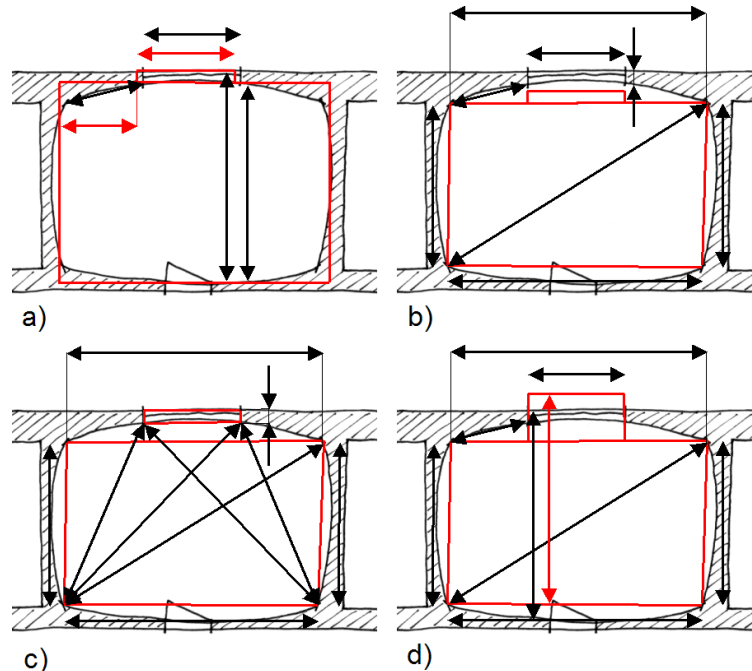


Abb. 3.13.: Modellierung durch Messungen am Beispiel eines Grundrisses

Abbildung 3.13 zeigt verschiedene Varianten zur Erfassung der Geometrie des Raumes mit Hilfe von Distanzmessungen. Die Distanzmessungen am Original wurden durch schwarze Pfeile symbolisiert, ihr Abbild im abstrahierten Geometriemodell rot dargestellt. Zugunsten einer besseren Übersichtlichkeit wurden nur, wo nötig, die Abbilder der Messungen eingetragen. Zu erkennen sind die verschiedenen sich bildenden Abbilder. Der Aufnehmende modelliert dabei das geometrische Abbild allein schon mit der Entscheidung, welche Messungen er wo durchführt, obwohl er die Meßwerte selbst nicht verändert.

Wie gezeigt wurde, müssen Entscheidungen getroffen werden, nach welchen Gesichtspunkten Original und Abbild übereinstimmen sollen. Der Aufnehmende steht in der Verantwortung, durch bewußte Entscheidungen, wo und wie er welche Messungen durchführt, den Modellfehler nach von ihm zu wählenden, auf den Verwendungszweck des Aufmaßes ausgerichteten Kriterien zu minimieren. Die aus der geometrischen Abstraktion erwachsenden Abweichungen zwischen Original und Abbild sind in der Regel wesentlich größer als etwa die Meßgenauigkeiten heutiger Meßgeräte.

In verschiedenen Fällen werden hohe Genauigkeiten in unterschiedlichen Bereichen des gleichen Objektes verlangt. Für einen Fliesenleger muß das geometrische Abbild besonders im Bodenbereich mit dem Original übereinstimmen, ein Fensterbauer benötigt genaue Werte im Bereich der Fensteröffnungen. Können aufgrund der geometrischen Abstraktion die geforderten Genauigkeiten nicht innerhalb eines gemeinsamen Modells gehalten werden, so müssen mehrere jeweils verwendungsgebundene Modelle erstellt werden. In der Praxis drückt sich dies in einer Vielzahl von Plänen aus. Jeder Plan gibt dabei einen Ausschnitt der realen Geometrie wieder. Die Pläne werden meist in bestimmten Schnittebenen erstellt, in denen nach Möglichkeit auch aufgenommen werden sollte. Auf diese Weise besitzen die Pläne innerhalb ihrer Schnittebenen die größte Genauigkeit. Anzumerken ist

dabei die Notwendigkeit, auf die Raumboflächen in den Bereichen der Schnittebenen zuzugreifen zu müssen, was im Rahmen der planungsrelevanten Bauaufnahme oft nur teilweise möglich ist, da beispielsweise in noch bewohnten Gebäuden aufgenommen werden muß und dabei die Raumboflächen oft gerade in den Schnittebenen mit nicht unerheblichen Anteil verdeckt sind.

3.6. Abstraktionen

Wie in Abschnitt 3.5 gezeigt wurde, führen geometrische Abstraktionen zu Modellfehlern, welche je nach Beschaffenheit des abzubildenden Objektes starke Einflüsse auf die Genauigkeit des geometrischen Abbildes haben. Um die Kosten eines Bauaufmaßes zu senken, können und müssen dennoch, wenn die geforderten Genauigkeiten es erlauben, die besonderen geometrischen Eigenschaften von Bauwerken zur Aufmaßreduzierung genutzt werden. Durch eine günstige Auswahl von Abstraktionen, welche gut mit der Geometrie des aufzunehmenden Objektes harmonisieren, kann bei geringen Genauigkeitseinbußen der Erfassungsaufwand stark reduziert werden.

Der größte Teil der anzutreffenden Oberflächen ist planar. Des weiteren verlaufen die meisten Oberflächen waagrecht oder senkrecht und stehen zumeist im rechten Winkel oder parallel zueinander⁴. Diese Eigenschaften werden z.B. für „grobe“ Aufnahmen der Genauigkeitsstufe I genutzt, welche in Anwendungsfällen wie des Facility Management oftmals ausreichend sind. So wird ein nach Einschätzung des Aufnehmenden dafür geeigneter Raum als quaderförmig angesehen und mittels dreier Entfernungsmessungen zur Ermittlung von Länge, Breite und Höhe aufgenommen. Gleiches gilt beispielsweise für die Erfassung von Türen, Fenstern, Öffnungen mit regelmäßiger Geometrie usw.

Die geometrischen Grundelemente planarer Geometrien sind Ebene, Gerade und Punkt. Im Folgenden sollen mögliche Aussagen über die besondere Lage dieser Elemente zueinander gesucht werden.

1. Horizontaler Verlauf

Ebenen und Geraden können trivialerweise horizontal verlaufen. Punkte können sich in einer Höhe befinden, sie können als eine entsprechende Punktmenge angesehen werden.

2. Senkrechter Verlauf

Ebenen und Geraden können senkrecht verlaufen. Punkte können übereinander stehen (Lot) und so eine Punktmenge bilden.

3. Parallelität

Ebenen können zueinander parallel verlaufen. Auch eine Gerade kann zu einer Ebene parallel verlaufen. Geraden können parallel zu Geraden verlaufen.

4. Rechtwinkligkeit

Ebenen können im rechten Winkel auf Ebenen und Geraden im rechten Winkel auf Geraden stoßen. Eine Gerade kann rechtwinklig auf eine Ebene stoßen.

5. Wiederholungen

Geometrieelemente, wie Treppenstufen oder Fenster in Fensterreihen, besitzen identische Merkmale, wie Breite, Tiefe, Höhe, Abstand usw.

⁴Diese Aussagen betreffen natürlich nur den hier vorausgesetzten Abstraktionsgrad.



Abb. 3.14.: Symmetrien und Wiederholungen an einem Bauwerk (Weimar, Wielandplatz 2003)

6. Symmetrie

Geometrielemente stehen so zueinander, daß sich gedanklich eine oder mehrere Spiegelebenen einführen lassen.

Unter der Voraussetzung bestimmter Abstraktionen werden maßliche Angaben von Lagebeziehungen möglich, die sonst nicht definiert werden könnten. Besonders fallen dabei händische Messungen auf. Als Beispiele seien die Abstände zwischen Flächen oder Kanten genannt, bei welchen vorausgesetzt wird, daß die Ebenen bzw. Geraden der Flächen bzw. Kanten parallel zueinander verlaufen. Intuitiv wird dabei in der Regel so gemessen, daß der Gesamtfehler möglichst gering ausfällt, d.h., möglichst in der Mitte.

3.7. Verifikation

Die Bauaufnahme kann als Abbildung eines aufzunehmenden Bauwerkes in ein zweckorientiertes Modell betrachtet werden (siehe Abschnitt 2.1). Um das Modell zu prüfen, Fehler aufzudecken und die Qualität des Modells zu bestimmen, ist ein Vergleich des Modells mit seinem Original vorzunehmen. Dabei sind prinzipiell zwei Herangehensweisen möglich:

1. Elemente des Originals werden in das Modell abgebildet und hier mit anderen abgebildeten Elementen verglichen
2. Elemente des Modells werden zum Original abgebildet und im Original verglichen

Als Beispiel für die erste Vorgehensweise soll die maßliche Erfassung einer Fassade dienen. Die Fassade eines Bauwerkes wird mittels Photogrammetrie, z.B. mit einem Orthophoto erstellt. Im Anschluß werden mittels Tachymetrie einige Punkte, welche bereits mittels der

Photogrammetrie bestimmt wurden, neu erfaßt. Durch einen Vergleich der Punktpositionen, photogrammetrisch oder tachymetrisch erfaßt, lassen sich Fehler im Entzerrungsprozeß aufdecken.

Für die Abbildung von Elementen aus dem Modell in das Original seien zwei Beispiele genannt. Das erste Beispiel entstammt dem Handaufmaß. Ein Raum wurde mittels Distanzmessungen und unter der Annahme senkrechter Wände und rechter Winkel zwischen diesen erfaßt. Als Kontrolle wird im Modell eine Diagonale des Raums abgegriffen und im Raum gemessen.

Als zweites Beispiel sei eine der vielen neuen Möglichkeiten durch heutige Tachymeter genannt. Mittels eines Tachymeters werden auf jeder Wandoberfläche eines Raumes mehrere Oberflächenpunkte bestimmt. Durch die mathematische Verschneidung der erfaßten Oberflächen lassen sich die Eckpunkte des Raumes bestimmen. Ein motorisierter Tachymeter mit sichtbarem Laser kann nun die berechneten Eckpunktpositionen anfahren. Auf diese Weise kann der Nutzer sehr elegant die Qualität des geometrischen Raumabbildes prüfen. Die genannte Vorgehensweise ist mit der Experimentalplattform „Freak“ erprobt worden (siehe Abschnitt 7.6.2).

Verifikationen sind aufgrund der verschiedenen Fehlereinflüsse (siehe Abschnitt 3.4) im Erfassungsprozeß unerlässlich. Ein wesentliches Werkzeug sind Kontrollmessungen. Kontrollmessungen erlauben es, Meßfehler aufzudecken. Dabei sind zwei Fälle zu unterscheiden:

1. Es wird erkannt, daß ein Meßfehler vorliegt.
2. Es wird ermittelt, welche Messung fehlerhaft ist.

[Niemeier02] bezeichnet die beiden Fälle als kontrollierte und zuverlässige Bestimmung. Der Unterschied läßt sich am Beispiel von Streckenmessungen illustrieren (siehe Abbildung 3.15).

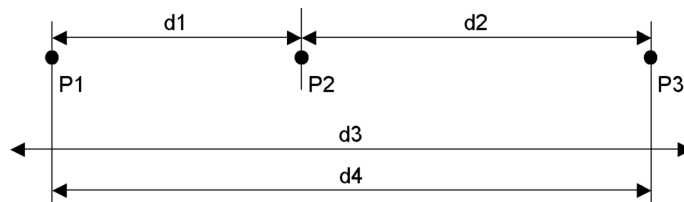


Abb. 3.15.: Kontrollmessungen

Die Entfernung zwischen drei Punkten P1, P2 und P3 wird mittels zweier Distanzmessungen d_1 und d_2 bestimmt. Im Anschluß wird die Entfernung d_3 gemessen und mit dem aus d_1 und d_2 errechneten Abstand zwischen P1 und P3 verglichen. Es wird eine Abweichung festgestellt, welche die zu erwartenden Meßungenauigkeiten in einem relevanten Maß übersteigt. Damit steht fest, daß mindestens eine Messung fehlerhaft ist. Es kann jedoch durch die Messungen d_1 , d_2 und d_3 nicht festgestellt werden, welche Messung fehlerhaft ist.

Die Messung d_3 wird als Messung d_4 wiederholt. Diesmal wird ein anderes Maß ermittelt, welches im Rahmen der zu erwartenden Meßungenauigkeiten mit der errechneten Entfernung von P1 zu P3 übereinstimmt. Damit ist anzunehmen, daß d_3 falsch erfaßt wurde⁵.

⁵Unwahrscheinlicher, aber nicht auszuschließen ist, daß beispielsweise die Messungen d_1 , d_2 und d_4 fehlerhaft sind, beispielsweise durch einen systematischen Fehler, wenn d_1 , d_2 und d_4 mit einem anderen Gerät als d_3 gemessen wurden.

Würde die Messung d4 hingegen die Messung d3 bestätigen, so könnte noch immer nicht festgestellt werden, ob d1, d2 oder gar beide Messungen fehlerhaft sind.

Das Beispiel weist auf einen weiteren Umstand hin: Fehler sollten so früh wie möglich erkannt werden, um bei der Entdeckung von Widersprüchen zwischen den Messungen weitere Kontrollmessungen zur Identifikation der fehlerhaften Messung durchführen zu können. Werden die Messungen vor Ort ausgewertet, so entfällt der Mehraufwand einer späteren Wiederaufnahme von Messungen, die erforderlich wäre, wenn Meßfehler erst im Büro aufgedeckt werden.

Werden mehr Messungen durchgeführt, als zur Rekonstruktion der Geometrie nötig sind, so treten Überbestimmungen auf. Die Geodäsie nutzt bewußt Überbestimmungen zur Genauigkeitssteigerung. Je höher dabei der Grad der Überbestimmung ist, um so höher wird auch die Zuverlässigkeit des geometrischen Abbildes – da Meßfehler aufgedeckt werden können – als auch seine Genauigkeit. Im Beispielfall der Streckenmessungen ist nach der Kontrollmessung d4 eine Überbestimmung gegeben. Günstig erscheint eine Nutzung dieser Überbestimmung, welche durch Methoden der Ausgleichsrechnung möglich wird.

4. Forderungen an ein computergestütztes Aufmaßsystem und Defizitbeschreibung bisheriger Systeme

Nachdem die Bauaufnahme unter verschiedenen Gesichtspunkten in den Kapiteln 2 und 3 untersucht wurde, betrachtet das vorliegende Kapitel zunächst die Möglichkeiten der Unterstützung der Bauaufnahme durch den Computer. Hierbei steht die Erfassung der Geometrie wieder im Vordergrund. Es wird jedoch auch auf die Abbildung nichtgeometrischer Informationen mittels Bauwerksmodellen hingewiesen. Anschließend werden aus der Sicht der Geometrieerfassung Forderungen an Systeme für die computergestützte Bauaufnahme aufgestellt und mit kommerziellen Systemen verglichen, wobei deren grundlegende Defizite aufgezeigt werden.

4.1. Möglichkeiten des Werkzeuges Computer

Der Computer ist weder Wundertierchen noch Allheilmittel, er ist ein Werkzeug unter vielen und muß mit anderen Werkzeugen sinnvoll kombiniert werden. Um die Möglichkeiten und Grenzen des Computers zu beleuchten, werden nun seine Eigenschaften mit denen des Menschen verglichen.

Der Mensch nimmt seine Umwelt interpretierend wahr. Aufgrund seines enormen, in seinem Leben erworbenen Hintergrundwissens ist er beispielsweise bei der Betrachtung eines Bauwerkes sofort in der Lage, relevante Elemente und Strukturen zu erkennen, wie Etagen, Dächer, Keller, Türen, Fenster, Stützen, Schornsteine, Fahrstühle, Fenstergriffe, Türdrücker, Scharniere, Steckdosen, Lichtschalter usw. Die Aufzählung von Beispielen wurde bewußt so lang gewählt, um zu unterstreichen, daß der Umfang des menschlichen Hintergrundwissens bzw. der damit wiedererkennbaren Elemente unermesslich groß ist.

Computer können algorithmisch beschreibbare Aufgaben in für den Menschen unschlagbarer Zeit erfüllen. Bei stupiden Aufgaben „ermüdet“ der Computer nicht. Er ermöglicht damit die Lösung von Aufgaben, welche bedeutenden Mathematikern der letzten Jahrhunderte beispielsweise aufgrund der riesigen Gleichungssysteme verschlossen blieben. Als Beispiel sei die lineare Optimierung genannt, sowie die darauf aufbauende Ausgleichung nach dem v1-Ansatz. Computer können unterschiedlichste Informationen ohne Informationsverlust halten, die Erinnerung verblaßt nicht. Außerdem können Computer riesige Datenmengen in kürzester Zeit nach spezifischen Suchbegriffen und ähnlichem durchsuchen.

Betrachtet man die Unterschiede zwischen Mensch und Computer, so wird schnell klar, daß sich die Vorteile ideal ergänzen. Dem Menschen obliegt die Erkennung bzw. Definition von Elementen und Strukturen, der Computer kann diese archivieren, Suchoperationen bereitstellen, aber auch komplexe mathematische Berechnungen durchführen.

Medienwahl

Skizzen und Zeichnungen lassen sich auf verschiedenen Medien abbilden. Im Folgenden werden die Medien Papier und Computer verglichen. Der Grund liegt dabei in den individuellen Stärken und Schwächen der beiden Medien. Sie sind Werkzeuge wie andere auch. Eine hohe Effizienz kann nur erreicht werden, wenn entsprechend der jeweiligen Rahmenbedingungen das richtige Medium genutzt wird.

Papier ermöglicht den direktesten Kontakt des Bearbeiters zu dem Medium. Skizzen gehen dem Bearbeiter wörtlich „von der Hand“. Der Mensch ist von seiner Kindheit an mit dem Medium vertraut. Der Architekt hat eine extreme Vertrautheit zu Papier.

Auf Papier festgehaltene Informationen sind „robust“. Beschädigungen (Löcher, Risse) oder Verschmutzungen lassen Informationen allmählich verschwinden. Dokumente überdauern Jahrhunderte. Sie können nach langer Zeit wiederverwendet werden, sind nicht nutzlos geworden, weil etwa ein bestimmtes Programm und / oder das für dieses notwendige Betriebssystem nicht mehr existieren.

Papier ist unschlagbar kostengünstig. Es ist aus den genannten Gründen sehr gut für die Archivierung von Informationen und für den rauen Arbeitsbetrieb auf der Baustelle geeignet. Man stelle sich das Bild eines Maurers vor, der mit seinen mörtelverschmierten Händen noch ein paar Längenmaße aus einem Laptop entnehmen möchte.

Der Computer ermöglicht die Speicherung großer Datenmengen mit Daten ganz unterschiedlicher Natur, wie z.B. Audiofiles, Texte, Fotos, Diagramme. Er ist dabei zur Darstellung von Datenmodellen mit unterschiedlichen Sichten befähigt. Im konkreten Bereich der Geometrie besteht keine Beschränkung auf eine 2D-Visualisierung.

Der Computer ermöglicht die direkte Interaktion des Nutzers mit den Datenmodellen. Auch lassen sich komplexe Algorithmen auf den gespeicherten Daten aufsetzen, wie etwa Suchabfragen.

Die Hardwareentwicklung hat heute einen Stand erreicht, der den mobilen Einsatz von Computern auch im Aufmaßbereich sehr vereinfacht. Besonders Tablet-PC's seien an dieser Stelle genannt. Abbildung 4.1 zeigt einen solchen Tablet-PC bei einem Handaufmaß im Einsatz. Durch die Stifteingabe läßt sich der Tablet-PC quasi wie ein Zeichenbrett nutzen. Bei einer direkten Kopplung des PC's mit elektronischen Meßinstrumenten, wie Laserdistanzmessern und Tachymetern, entfällt die manuelle Übertragung von Meßwerten, die Gefahr von Abschreibfehlern wird ausgeschlossen und die mögliche Erfassungsgeschwindigkeit erhöht. Jedoch muß auch klar angeführt werden, daß die derzeitigen technischen Umsetzungen noch starken Beschränkungen unterworfen sind. Die derzeitigen Akkulaufzeiten gebieten den Einsatz von Tablet-PC's, welche einen Akkuwechsel im laufenden Betrieb erlauben. Standard-Tablet-PC's weisen keine hohe Stabilität auf. Durch die notwendige Zwangslüftung ist von einem Einsatz in stark staubiger Umgebung abzuraten. Daher ist der Einsatz robuster Industrievarianten anzuraten. Die Anbindung elektronischer Meßinstrumente kann aufgrund ergonomisch ungünstiger Lösungen der Datenfunkstrecken meist nur kabelgebunden erfolgen.

Medienwechsel

Der Vergleich der beiden Medien Papier und Computer zeigt, daß jedes Medium für bestimmte Bereiche dem anderen vorzuziehen ist. Daher ergibt sich die Relevanz des Medienwechsels. Informationen vom Computer zum Papier zu übertragen ist ein vergleichsweise simples Problem. Informationen vom Papier zum Computer zu übertragen stellt dagegen



Abb. 4.1.: Tablet-PC mit Experimentalplattform bei einem Handaufmaß (InfAR 2003)

je nach Zielvorgabe eine Herausforderung dar. Als Beispiel sei allein schon die automatische Texterkennung genannt. Schon geringere Qualitätsdefizite der Papiervorlage, welche für den Menschen beim Lesen kein Problem darstellen, machen eine automatische Texterkennung immer schwieriger bis unmöglich.

Genauigkeit

Bei auf Papier festgehaltenen Zeichnungen richten sich Meß- und Zeichengenauigkeit nach dem Maßstab der Zeichnung. Der Informationsgehalt wird danach angepaßt, was sich auf dem Papier überhaupt noch darstellen läßt. Eine mittels des Computers erstellte Zeichnung besitzt praktisch keine Begrenzung ihrer Auflösung. Der Maßstab ist frei skalierbar, die Darstellungsgenauigkeit ändert sich mit dem jeweiligen Zoomfaktor.

Maßstab	Abbildungsverhältnis	Meßgenauigkeit	Gesamtfehler nach Zeichengenauigkeit
M 1:100	1 mm $\hat{=}$ 10 cm	1,0 cm	1,0 – 5,0 cm
M 1: 50	1 mm $\hat{=}$ 5 cm	0,5 cm	0,5 – 2,5 cm
M 1: 20	1 mm $\hat{=}$ 2 cm	0,2 cm	0,2 – 1,0 cm
M 1: 10	1 mm $\hat{=}$ 1 cm	0,1 cm	0,1 – 0,5 cm

Abb. 4.2.: Maßstab, Meß- und Darstellungsgenauigkeit [Wangerin92]

4.2. Bauwerksmodelle

Bauwerksmodelle beschreiben ein Bauwerk mittels der strukturierten Abbildung architektonischer, konstruktiver oder anderer Einzelelemente mit Semantik einer Fachsicht, die in ihrer Gesamtheit das Abbild formen.

Bauwerke sind künstlich geschaffene Objekte. Sie werden mit Hilfe unterschiedlicher Bauteile erstellt, welche in ihrer Gesamtheit das Bauwerk formen. Ein Bauwerk wird dabei von unterschiedlichen Fachplanern auf sehr verschiedene Weise interpretiert. Eine Sichtweise ist die der räumlichen Struktur des Bauwerkes. Hier stehen die durch materielle Umschließungen gebildeten Räume mit ihren Verbindungen im Vordergrund. Für den Tragwerksplaner stehen die tragenden Konstruktionen im Vordergrund. Wieder andere Sichten ergeben sich für den Elektriker oder Heizungsplaner. Bei all diesen Sichten stehen die einzelnen Elemente des Bauwerkes mit ihren funktionalen Eigenschaften und Beziehungen zueinander im Vordergrund. Zur Abbildung dieser Elemente dienen Bauwerksmodelle.

Bauwerksmodelle gliedern ein Bauwerk nach fachlichen Aspekten in einzelne Elemente. Jedes der Elemente besitzt eine Semantik. Bauwerksmodelle werden dabei in der Regel als Produktmodelle modelliert, als Beispiel sei das Bauwerksmodell nach IFC 2.0 genannt. Bauwerksmodelle erlauben die Speicherung formaler Informationen, welche sich auf einzelne Elemente des Bauwerkes beziehen.

Zur Modellierung von Bauwerksmodellen ist das objektorientierte Paradigma besonders geeignet. Ein Bauwerksmodell baut auf einzelnen Elementen auf, welche gewisse Eigenschaften besitzen, die einer fachlich generalisierenden Sichtweise entstammen. Ein Ziegel wird unter dem Aspekt seiner geometrischen Einheitsmaße, seiner für Ziegelmauern relevanten physikalischen Eigenschaften wie Druckfestigkeit, Wärmetransport, Wärmedehnung usw. betrachtet. Träger werden nach verschiedenen Kriterien gruppiert, wie nach der Grundform ihres Querschnitts (T-Träger, Doppel-T usw.). Mittels Klassen läßt sich die Semantik der einzelnen Elemente des Bauwerkes modellieren und lassen sich die spezifischen Eigenschaften formen. Die Mechanismen der Generalisierung und Spezialisierung erlauben die Modellierung der Verwandtschaften von Bauteilen.

In einem Bauwerksmodell sind in der Regel zwei primäre Strukturen zu finden:

1. eine Struktur von Bauteilen, welche in ihrem konstruktiven Zusammenhang den Baukörper bilden
2. eine Struktur von räumlichen Objekten, welche zu Einheiten wie Raumgruppen, Etagen, Gebäudeteilen usw. gruppiert werden

Die Strukturen werden im Folgenden als Bauteil- und Raumstruktur bezeichnet. Die beiden Strukturen stehen durch ihre Geometrie in Verbindung. Die Geometrien der einzelnen Bauteile formen die Gestalt des Baukörpers, welcher die einzelnen räumlichen Objekte des Bauwerkes umhüllt und formt [Donath97/2].

4.3. Unterschiede zwischen Planung und Bauaufmaß

Auf den ersten Blick könnte man dem Eindruck erliegen, daß die Ansprüche an ein CA(A)D-System zur Unterstützung der Erfassung eines existenten Bauwerkes mit denen für ein System zur Planung übereinstimmen. Es ergeben sich bei genauerer Betrachtung jedoch tiefgreifende Unterschiede.

Bei der Planung eines Gebäudes gibt der Planer mittels eines CA(A)D-Systems ein Modell des zukünftigen Bauwerkes vor. Dieses Modell bildet dabei die Vorlage des Zukünftigen. Wird das Bauwerk errichtet, so kommt es zu maßlichen Abweichungen vom Modell, da eine Umsetzung nur in gewissen Toleranzen möglich ist. Weiter treten in der Regel auch technische Abweichungen zum Modell auf, weil während der Baurealisierung einerseits Planungsfehler im Modell aufgedeckt werden, Fehler in der Umsetzung stattfinden und daher

Umplanungen den Bau begleiten. Außerdem kommt es abstrakt gesehen zu einer Informationszunahme, da beispielsweise im Modell nicht festgeschrieben wird, wo sich genau jede Befestigungsschraube einer Gipskartonplatte zu befinden hat oder welche Klemme im Verteilerkasten für welchen Stromversorgungskreis zuständig ist.

Die Erfassung und Abbildung eines existierenden Gebäudes während der Bauaufnahme geht gewissermaßen den umgekehrten Weg. Das reale Bauwerk bildet jetzt die Vorlage und besitzt weit mehr Informationen, als überhaupt zu erfassen möglich bzw. sinnvoll ist. Der Aufnehmende muß Festlegungen treffen, welche Informationen des Originals in welcher Abstraktion und mit welcher Genauigkeit bzw. Detailliertheit zu erfassen und im Modell abzubilden sind. Da das Modell nicht mehr die ideale Vorlage bildet, sondern diese Rolle nun dem Bauwerk zufällt, muß das Modell zu den in ihm gespeicherten Informationen Auskunft zu deren Verlässlichkeiten geben können.

Überhaupt stellt die Abbildung der Verlässlichkeit von Informationen im Modell der Bauaufnahme große Probleme dar. Während in der Planung vom Planenden Bauteile und deren Beschaffenheit klar vorgegeben werden und das so entstehende Modell als fester Istzustand charakterisiert werden kann, oder, bildlich gesprochen, klar durchschaubar bleibt, erschließen sich dem Aufnehmenden in der Bauaufnahme zunächst nur die umschließenden Oberflächen des aufzunehmenden Gebäudes. Welche Bauteile mit welchen Begrenzungen und Schäden sich hinter der weiß gestrichenen Rauhfaser tapete befinden, kann in den meisten Fällen lediglich vermutet werden.

4.4. Formulierung der Anforderungen an ein computergestütztes Aufmaßsystem

Nach der Betrachtung der jeweiligen Stärken von Mensch und Computer bzw. dem Vergleich des Computers als Medium mit dem Medium Papier werden nun verschiedene Ansprüche an ein computergestütztes Aufmaßsystem gestellt. Da, wie bereits dargelegt, die im Aufmaß gewonnenen Geometrieinformationen nicht losgelöst sind, sondern die Geometrie immer im Bezug zu anderen bei der Bauaufnahme gewonnenen Informationen stehen sollte, wird die Bauaufnahme bei den folgenden Betrachtungen teilweise einbezogen.

Folgende Anforderungen sind an ein computergestütztes Aufmaßsystem zu stellen:

- durchgängige Unterstützung der Bauaufnahme von der Erstbegehung bis zur Datenübergabe
- Unterstützung der schrittweisen Annäherung an das Bauwerk
- Aufnahme, Verwaltung bzw. Strukturierung von formalen und informalen Daten
- Nutzbarkeit vor Ort
- Möglichkeit der flexiblen Kombination verschiedener Aufmaßtechniken und Methoden
- kein Zwang zu einer bestimmten Vorgehensweise, aber
- Unterstützung des Aufmaßes durch Assistenten¹, welche bestimmte Aufmaßstrategien unterstützen

¹Mit Assistent ist eine programmtechnische Nutzerführung gemeint, wie sie beispielsweise in verschiedenen Desktop-Anwendungen der Firma Microsoft unter dem Begriff „Assistent“ angeboten wird.

- Nutzung ohne Fachwissen möglich
- Kontrolle durch Nutzer mit Fachwissen möglich
- Einfachheit und Flexibilität
- Echtzeit, Robustheit, Fehlertoleranz
- Unterstützung der parallelen Arbeit mehrerer Teams
- Bereitstellung von Verifikationstechniken
- Datenhaltung aller Meßwerte und Möglichkeit der nachträglichen Korrektur (z.B. Reflektorkonstante)

Im Folgenden sollen diese Punkte begründet werden.

Durchgängige Unterstützung der Bauaufnahme von der Erstbegehung bis zur Datenübergabe

Bereits vor der Erstbegehung liegen in der Regel vielfältige Informationen über ein aufzunehmendes Bauwerk vor. Dazu gehören allein schon Sachdaten, wie die Lage des Bauwerkes (z.B. Postanschrift !), Angaben über den Typ des Bauwerkes, verschiedene Dokumente, wie Urkunden, alte Grundrißpläne, Auszüge aus dem Liegenschaftsamt, Fotoaufnahmen usw. Der Computer kann bereits in dieser Phase dazu genutzt werden, diese entsprechenden Daten zu halten und in geeigneter Weise zu strukturieren.

Spätestens bei der Erstbegehung kann das Potential des Werkzeuges Computer sehr gut eingesetzt werden. In dieser Phase werden die räumlichen Strukturen des Bauwerkes erfaßt oder geprüft. Die Geometrie des Bauwerkes wird ausschnittsweise oder vollständig auf Skizzenlevel festgehalten oder mit vorhandenen Plänen verglichen. Die Zuordnung zwischen Geometrie und räumlichen Objekten ist hergestellt, die Zuordnung zwischen Geometrie und Bauteilen beginnt mit der Erkennung offensichtlicher Bauteile, wie Fenster, Türen, offenliegenden Balken usw. Werden diese Informationen bereits zu diesem Zeitpunkt mittels Computer erfaßt, so können sie im weiteren Verlauf der Bauaufnahme weiter verwendet und konkretisiert werden. Auch lassen sich Vorteile des Zeichenmediums Computer im Vergleich zum Papier nutzen, wie z.B. die fehlende Begrenzung des Zeichenbereiches durch das Papierformat, die leichte Modifikation von Geometrie und Sachdaten usw.

Während des Bauaufmaßes ermöglicht der Computer die Detaillierung schon vorhandener geometrischer Abbilder. Meßwerte lassen sich direkt einbinden. Verschiedene mathematische Verfahren können genutzt werden, um beispielsweise Meßfehler aufzudecken. Die bereits erfaßten Daten aus den vorherigen Phasen, wie die räumliche Struktur des Bauwerkes und ihre Verknüpfung zur geometrischen Abbildung werden dabei weiterentwickelt. Das geometrische Abbild muß nicht neu generiert, sondern ergänzt und mit Meßwerten maßlich der Realität angepaßt werden (Prinzip: „Von der Skizze zum Detail“).

Der Computer kann am Ende der Bauaufnahme als Abfragesystem stehen. Er ermöglicht Suchabfragen über großen Datenmengen. Für eine Archivierung, z.B. in Papierform, können die gespeicherten Informationen in nach beliebigen Gesichtspunkten sortierten und aufbereiteten Formen ausgegeben werden. Das erstellte geometrische Modell kann hierbei je nach Verwendungszweck der Bauaufnahme geometrische Parameter wie Längenangaben, Flächenzahlen usw. bereitstellen oder zur Generierung von Grundrissen, Schnitten oder Visualisierungen genutzt werden. [Wender02] untersucht entsprechende Möglichkeiten.

Unterstützung der schrittweisen Annäherung an das Bauwerk

Diese Forderung ist mit der vorangegangenen an die durchgängige Unterstützung der Bauaufnahme von der Erstbegehung bis zur Datenübergabe sehr eng verbunden. Wie in Abschnitt 3.1 aufgezeigt wurde, ist die Bauaufnahme vor allem von einer schrittweisen Verdichtung der Information geprägt. Identifizierte oder definierte Objekte, wie Räume und Bauteile, werden mit Sachdaten ergänzt bzw. die Geometrie detailliert und maßlich konkretisiert. Diese Strategie, vom Groben zum Feinen, ist vom System zu unterstützen.

Aufnahme, Verwaltung bzw. Strukturierung von formalen und informalen Daten

Die bei der Bauaufnahme gesammelten Informationen sind sehr unterschiedlichen Charakters. Die vom System angebotenen Ordnungssysteme müssen daher die Möglichkeit bieten, sowohl formale wie auch informale Daten abzubilden und zu verwalten. Diese Forderung bezieht sich auch auf geometrische Informationen, deren unterschiedlicher Charakter im Abschnitt 2.3 aufgezeigt wurde.

Nutzbarkeit vor Ort

Das computergestützte Aufmaßsystem sollte vor Ort nutzbar sein. Eine zeitliche Trennung von Informationserfassung und Abbildung in den Computer führt zu der Notwendigkeit der Zwischenspeicherung der erfaßten Daten. Tachymetrische Daten lassen sich bei heutigen Tachymetern auf Speicherkarten halten. Eine nachfolgende Einbettung in ein Computersystem kann neben dem Mehraufwand zu Zuordnungsfehlern durch den Nutzer führen. Händische Messungen müssen per Skizze festgehalten werden. Auch hier ergibt sich das Problem der anschließenden Einbettung und Zuordnung der Messungen.

Werden Meßdaten nicht vor Ort in das System integriert, so werden fehlende Messungen und aufgedeckte Meßfehler erst bei der Einpflege der Daten offenbar oder überhaupt nicht erkannt. Gerade vor Ort kann jedoch der Computer durch die Kontrolle von Meßwerten und Aussagen zur Qualität des erstellten Geometrieabbildes großen Nutzen leisten.

Möglichkeit der flexiblen Kombination verschiedener Aufmaßtechniken und Methoden

Das Bauaufmaß ist immer geprägt von dem aufzunehmenden Objekt, dem Verwendungszweck des Aufmaßes und den sich daraus ergebenden Anforderungen an das geometrische Abbild, sowie von den zur Verfügung stehenden Aufmaßgeräten. Jede Aufmaßtechnik und -methode hat ihre spezifischen Stärken und Schwächen. Die sinnvolle Kombination der Aufmaßwerkzeuge ermöglicht eine höhere Effizienz, niedrigere Kosten und qualitativ höherwertige Ergebnisse.

Kein Zwang zu einer bestimmten Vorgehensweise

Wie nachfolgend noch dargestellt wird (Abschnitt 4.5), fordern einige Aufmaßsysteme, vorrangig im Bereich des Handaufmaßes, eine feste Vorgehensweise im Aufmaß. Solche Forderungen sind immer problembehaftet. Als Beispiel wird das Aufmaß eines quaderförmigen Raumes angeführt, also eines Standardraumes. Zweidimensional würde dieser Raum als Viereck aufgenommen werden. Das System verlangt vom Nutzer die Angabe der einzelnen Wandlängen. Abschließend werden die Längen der Diagonalen vom System

gefordert. Wird nun beispielsweise in, wie häufig der Fall, ungeräumten Gebäuden gemessen, so bringt ein einziger Wandschrank in einer Ecke durch die nun unmögliche Erfassung der Länge der Diagonalen das Verfahren zum Erliegen. Der Nutzer hat bei solchen starren Systemen kaum mehr einen Ausweg. Um fortfahren zu können, kann er allenfalls noch Messungen „vortäuschen“.

Unterstützung des Aufmaßes durch Assistenten, welche bestimmte Aufmaßstrategien unterstützen

Ein Vorteil von Systemen, die eine starre Vorgehensweise fordern, ist die Abnahme stupider Interaktionen mit dem Computer. Als Beispiel sei die Aufnahme eines Raumes mittels tachymetrisch erfaßter Oberflächenpunkte genannt. Für alle Flächen des aufzunehmenden Raumes, welche vom Standort des Tachymeters aus günstig erfaßbar sind, sollen mehrere Oberflächenpunkte zur Bestimmung der jeweiligen Flächenebene aufgenommen werden. Hier kann das System den Nutzer unterstützen, indem es selbst nach einer gewissen Sortierung alle relevanten Flächen des Raumes nacheinander zur Aufnahme bestimmt und sich der Nutzer nicht ständig zwischen Tachymeter und Rechner bewegen muß. Diese automatisierten Nutzerführungen sollen im Folgenden als „Assistenten“ bezeichnet werden. Da der Nutzer diese Assistenten jederzeit beenden bzw. wechseln kann, vereinigen sie die Vorteile der Nutzerführung von Systemen mit vorgegebenen Aufmaßstrategien mit der Forderung nach zwangloser Vorgehensweise im Aufmaß.

Nutzung ohne Fachwissen möglich

Wie in Abschnitt 2.1 beschrieben wurde, ist die Abbildung des Bauwerkes bei der Bauaufnahme maßgeblich von der Interpretation des Aufnehmenden geprägt. Mittels seines Hintergrundwissens ist dieser in der Lage, relevante Informationen herauszufiltern. Durch diesen Filterprozeß werden die abgebildeten Informationen besonders betont. Der Aufnehmende hat bei der Erfassung den Verwendungszweck der Aufnahme vor Augen und wird betreffende Befunde mit entsprechenden Bemerkungen versehen, wie etwa „Dach ist einsturzgefährdet, Gutachten einholen“. Damit ist aber verständlich, daß der Aufnehmende der Architekt oder eine von ihm betraute und entsprechend geführte Person sein sollte. Dieser Personenkreis wird in der Regel keine Fachkraft für Geodäsie oder Informatik sein, was in der Systemkonzeption zu berücksichtigen ist.

Kontrolle durch Nutzer mit Fachwissen möglich

Auch wenn von dem typischen Nutzer des Systems kein Fachwissen, beispielsweise der Geodäsie, vorausgesetzt werden kann, sollten dennoch Schnittstellen vorgesehen werden, die es Nutzern mit entsprechend mehr Hintergrundwissen ermöglichen, direkteren Einfluß auf das System zu nehmen.

Einfachheit und Flexibilität

Das System sollte sich im Aufmaß so einfach wie möglich bedienen lassen, um beispielsweise Bedienfehler zu minimieren, den Zeitaufwand zu reduzieren und auch eine Benutzung durch weniger geschulte Nutzer zu ermöglichen und damit den potentiellen Anwenderkreis zu erweitern. Da sich die jeweiligen Aufmaßsituationen nur teilweise vordenken lassen, sollte das System in seiner Anwendbarkeit möglichst flexibel gestaltet werden.

Echtzeit, Robustheit, Fehlertoleranz

Diese Punkte ergeben sich aus den vorher angeführten Forderungen. Um das System vor Ort einsetzen zu können, muß es eine gewisse Schnelligkeit besitzen. Die heutigen Preisforderungen an ein Aufmaß verlangen die zügige Erfassung und Vermessung von Bauwerken. Der Computer darf hier nicht das „bremsende Glied“ darstellen. Ein anderer Punkt ist auch die Nutzerakzeptanz. Manipulationen an der computerinternen Geometrie müssen wie ein Strich auf Papier in Echtzeit möglich sein, da sonst die Konzentration des Nutzers auf das Wesentliche verlorengehen und unter den genannten Zeitengpässen Frustration entstehen kann.

Das System muß, durch den Nutzerkreis verstärkt, auf grobe Fehler „gelassen“ reagieren. Grobe Meßfehler müssen aufgedeckt werden und fehlerhafte Eingaben dürfen nicht zum Zusammenbruch des Systems führen. Damit ist an dieser Stelle nicht etwa nur eine saubere Programmierung gemeint, sondern vielmehr die Gestaltung von Algorithmen. So müssen beispielsweise Ausgleichsalgorithmen eine gewisse Robustheit besitzen und dürfen nicht durch Fehlmessungen kollabieren.

Unterstützung der parallelen Arbeit mehrerer Teams

Vor allem größere Aufmaßprojekte werden heute auch parallel von mehreren Teams bearbeitet. Ein computergestütztes Aufmaßsystem sollte dieser parallelen Arbeitsweise gerecht werden und entweder die gleichzeitige Arbeit der Teams auf einem gemeinsamen Datenmodell ermöglichen oder über entsprechende Mechanismen zur späteren Zusammenführung der Daten verfügen. Aufgrund der heutigen Entwicklungen im Bereich der funkbasierten Datenübertragung, wie beispielsweise WLAN, steht einer parallelen Arbeit mit einem gemeinsamen Datenmodell hardwaretechnisch nichts mehr im Wege.

Bereitstellung von Verifikationstechniken

Die automatische Erkennung von Meßfehlern hat ihre Grenzen. Bestimmte Fehler lassen sich mathematisch nicht aufdecken. Neue Aufmaßgeräte, wie motorisierte Tachymeter, ermöglichen neue Formen des Vergleichs zwischen dem computerinternen Geometriemodell und der realen Geometrie.

Datenhaltung aller Meßwerte und Möglichkeit der nachträglichen Korrektur

Die bei einem Aufmaß gewonnenen Meßwerte werden für die Generierung von Geometriemodellen genutzt, welche bestimmten Abstraktionen bzw. Restriktionen unterworfen sind (siehe Abschnitt 3.6). Im nachhinein, z.B. durch neue Genauigkeitsforderungen, können sich diese Abstraktionen ändern. Werden die gewonnenen Meßwerte gehalten, so können die Nebenbedingungen der Geometrieanpassung jederzeit geändert werden. Auch ist die Vorhaltung der Meßwerte im Falle von Widersprüchen zur Aufdeckung von Meßfehlern wichtig. Durch Überbestimmungen kann die Genauigkeit des Geometriemodells erhöht werden. Nicht zuletzt können die erfaßten Daten z.B. bei Meßserien, in denen eine Reflektor konstante falsch gesetzt wurde, ohne Genauigkeitsverlust gerettet werden.

4.5. Istzustand - heutige Aufmaßsysteme

Im Rahmen seiner Forschungsarbeit innerhalb des SFB 524 untersuchte der Lehrstuhl derzeitige softwaretechnische Unterstützungen der Bauaufnahme, welche in [SFB 524/02] veröffentlicht wurden.

Es wurde festgestellt, daß die derzeitigen Systeme nur Teilbereiche der Bauaufnahme unterstützen und nicht den Gesamtprozeß. Die Systeme unterstützen in erster Linie die geometrische Erfassung des Gebäudes. Dabei lassen sich die Systeme in zwei Gruppen einteilen ([Petzold01]):

- zeichnungs- bzw. schnittorientierte Systeme
- modell- bzw. bauteilorientierte Systeme

Zeichnungs- bzw. schnittorientierte Systeme besitzen kein Bauwerksmodell. Sie ermöglichen zwar teilweise die Zuordnung von Informationen zu den geometrischen Elementen, jedoch lassen sich mit diesem Mittel nur sehr eingeschränkt die bei einer planungsrelevanten Bauaufnahme gewonnenen nichtgeometrischen Informationen abbilden. Eine Unterstützung zur strukturierten Ablage und Verwaltung der nichtgeometrischen Informationen erfolgt nicht.

Weiter wurde festgestellt, daß Systeme mit Bauwerksmodellen je nach Eigenschaft des Bauwerksmodells die **teilweise** Nachbildung des Bestandes ermöglichen, aber statischer Natur sind. Die Systeme sind implizit auf den Neubau zugeschnitten. [Petzold01] schreibt dazu:

„Heutige bauteilorientierte Systeme bieten eine feste Strukturierung in Raum- und Bauteilobjekte sowie deren geometrische Ausprägung an. Eine nutzer- und projektorientierte Anpassung hinsichtlich Strukturierung und geometrischer Ausprägung ist derzeit nicht möglich.“

	Callidus	CASOB	Curamess	CYRAX	Elcovision	ELTheo	ILRIS-3D	MENSI	Maxmess	minCASOB	Minolta	MOBI	MobileCAD	PHDIAS	PhoToPlan	Riegl	Rolleimetric	TachyCAD	TheoCAD	VITRUVIUS	Z+F: Imager 5003	
Handaufmaß									X	X		X	X								X	
Tachymetrie		X				X						X						X	X	X		
Photogrammetrie			X		X							X		X	X		X					
Laserscanning	X			X			X	X			X					X						X

Tab. 4.1.: Kommerzielle Aufmaßsysteme

Tabelle 4.1 zeigt eine Übersicht verschiedener Systeme. Zu erkennen ist, daß die Systeme jeweils Insellösungen für bestimmte Aufmaßtechniken darstellen. Die jeweilige unterstützte Aufmaßtechnik hat dabei großen Einfluß auf die Grundarbeitsweise des Systems.

Systeme, welche die Tachymetrie unterstützen, nutzen oft die vom Tachymeter erfaßten Punktkoordinaten für klassische CA(A)D-Konstruktionsbefehle. Das Tachymeter wird praktisch als eine 3D-Maus benutzt. Diese Technik erzwingt eine Arbeitsweise, in welcher die Geometrie des Gebäudes bei ihrer Erstellung sofort maßlich erfaßt werden muß. Eine Alternative stellt dabei das Aufmaßprogramm Vitruvius dar, welches die kommerzielle

Umsetzung des am Lehrstuhl entstandenen Prototypen GebIS98 darstellt. Das System nutzt den Ansatz „Von der Skizze zum Detail“. Der Nutzer erstellt die jeweilige Gebäudetaxonomie und hält die gebäudebildenden Oberflächen von Fassaden und Räumen zunächst skizzenartig fest. Durch anschließende Messungen mittels Tachymetrie werden die Skizzen maßlich der Realität angepaßt. Diese Vorgehensweise nutzen auch einzelne Aufmaßprogramme, welche das Handaufmaß unterstützen. Im Aufmaß wird dabei oft eine feste Vorgehensweise erzwungen:

„Oft müssen gesamte Bauteile oder Räume in einem fest vorgegebenen Messvorgang erfasst werden, was auf Grund objektbedingter Einschränkungen nicht immer möglich ist.“ ([SFB 524/02])

Gemessen an den in Abschnitt 4.4 formulierten Forderungen an ein computergestütztes Aufmaßsystem ist festzustellen:

Durchgängige Unterstützung der Bauaufnahme von der Erstbegehung bis zur Datenübergabe

Für eine durchgängige Unterstützung der Bauaufnahme sind am ehesten Systeme geeignet, welche ein Bauwerksmodell besitzen und eine geometrische Entwicklung „Von der Skizze zum Detail“ ermöglichen. Aufgrund der in der Regel statischen Bauwerksmodelle und festen Bauteilgliederungen lassen sich Bauwerke nur bedingt in Übereinstimmung mit dem konstruktiven Aufbau bzw. der konstruktiven Gliederung des Originals nachmodellieren.

Unterstützung der schrittweisen Annäherung an das Bauwerk

Systeme, welche ein Bauwerksmodell besitzen und eine geometrische Entwicklung „Von der Skizze zum Detail“ ermöglichen, können sowohl die Frühphase einer Bauaufnahme als auch das Aufmaß vor Ort unterstützen. Problematisch ist dabei, daß die erstellte Skizze nur mit bestimmten Aufmaßtechniken oder festgelegten Verfahren maßlich konkretisiert werden kann. Ein weiteres Problem stellt die in manchen Systemen fehlende Möglichkeit dar, bereits erfaßte Geometrie im nachhinein weiter zu detaillieren.

Aufnahme, Verwaltung bzw. Strukturierung von formalen und informalen Daten

Zeichnungs- bzw. schnittorientierte Systeme ermöglichen teilweise die Zuordnung von Informationen zu den geometrischen Elementen. Die Abbildung der nichtgeometrischen Informationen unterliegt dabei jedoch den bereits genannten Einschränkungen, insbesondere in der Strukturierung der Informationen.

Kommerzielle Systeme mit Bauwerksmodellen ermöglichen die strukturierte Abbildung formaler und informaler Daten. Eine Anpassung der Bauwerksmodelle an die Erfordernisse der jeweiligen Bauaufnahme auf der Nutzerseite ist jedoch nur sehr beschränkt möglich.

Nutzbarkeit vor Ort

Eine Nutzbarkeit der Systeme vor Ort ist in der Regel gegeben.

Möglichkeit der flexiblen Kombination verschiedener Aufmaßtechniken und Methoden

Die meisten Systeme unterstützen nur eine Aufmaßtechnik (siehe Abbildung 4.1). Einige Systeme unterstützen Handaufmaß, Tachymetrie und Photogrammetrie unter einer Oberfläche durch die Integration verschiedener Programmmodule in beispielsweise CA(A)D-Systemen. Die Zusammenführung der Aufmaßtechniken geschieht dabei nach festen Vorgehensweisen über geometrische Elemente, deren Lage bereits fixiert ist, oder durch beispielsweise den In- und Export von Punkttabellen. Der Aufnehmende wird so zu einer manuell konstruktiven Arbeitsweise gezwungen.

Kein Zwang zu einer bestimmten Vorgehensweise

Besonders händische Systeme erzwingen oft die vollständige Erfassung von ganzen Räumen oder Bauteilen in einem fest vorgegebenen Meßvorgang. Die sehr individuellen und nicht vorhersehbaren Aufmaßsituationen können die vorgeschriebene Vorgehensweise praktisch unmöglich machen.

Tachymetrische Systeme arbeiten in der Regel auf der Basis von CA(A)D-Konstruktionsbefehlen. Dieser Ansatz erfordert eine Vorgehensweise, bei welcher das geometrische Abbild von Anfang an maßlich erstellt und anschließend möglichst nicht mehr verändert wird. Gleiches gilt für die Kopplung verschiedener Aufmaßtechniken mittels in ihrer Lage fixierten geometrischen Elementen, wie Punktpositionen. Die Erstellung des geometrischen Abbildes und die maßliche Erfassung des Originals sind nur schwer zeitlich trennbar. Spätere Veränderungen des Abbildes in seiner Maßlichkeit müssen immer auf der Ebene von Konstruktionsbefehlen „von Hand“ erfolgen.

Unterstützung des Aufmaßes durch Assistenten, welche bestimmte Aufmaßstrategien unterstützen

Systeme, welche eine feste Vorgehensweise bei der Geometrieerfassung erzwingen, führen den Nutzer natürlich dementsprechend. Der Nutzer kann jedoch nicht von der erzwungenen Vorgehensweise abweichen.

Nutzung ohne Fachwissen möglich

Für alle im Rahmen der Arbeit untersuchten Aufmaßtechniken sind Systeme für spezielle Teilprozesse verfügbar, die eine Nutzung ohne oder mit wenig Fachwissen ermöglichen.

Kontrolle durch Nutzer mit Fachwissen möglich

Systeme, welche eine Nutzung ohne Fachwissen ermöglichen, besitzen in der Regel keine alternativen „Schnittstellen“, um Nutzern mit Fachwissen, beispielsweise auf dem Gebiet der Geodäsie, erweiterte Operationen zur Verfügung zu stellen.

Einfachheit und Flexibilität

Für alle in dieser Arbeit betrachteten Aufmaßtechniken finden sich einfach zu bedienende Programmsysteme. Da diese jedoch in der Regel nur bestimmte Aufmaßtechniken, -methoden oder Vorgehensweisen unterstützen, ist ihre Flexibilität dementsprechend eingeschränkt (siehe Punkt „Kein Zwang zu einer bestimmten Vorgehensweise“).

Unterstützung der parallelen Arbeit mehrerer Teams

Es ist kein System bekannt, welches die parallele Arbeit mehrerer Teams unterstützt.

Bereitstellung von Verifikationstechniken

Systeme der Photogrammetrie nutzen in der Regel die Ausgleichsrechnung und können auf deren Methoden zur Fehleraufdeckung zurückgreifen. Andere bekannte Systeme nutzen als Verifikationstechniken meist zusätzliche Kontrollmessungen, beispielsweise bei der Einrichtung von Tachymeterstandorten.

Datenhaltung aller Meßwerte und Möglichkeit der nachträglichen Korrektur

Systeme aus dem Bereich der Mehrbildphotogrammetrie speichern funktionsbedingt „Meßwerte“ ab. Gleiches gilt für Systeme der Offline-Tachymetrie. Andere Systeme erlauben teilweise die Protokollierung bestimmter Meßwerte bzw. Punktkoordinaten. Eine Unterstützung der nachträglichen Korrektur von Meßwerten erfolgt jedoch nicht.

4.6. Problemstellungen im Detail

Wie aus dem Vergleich der kommerziellen Aufmaßsysteme und den in Abschnitt 4.4 beschriebenen Forderungen zu erkennen ist, besteht zwischen den Möglichkeiten eines computergestützten Aufmaßsystems und dem Markt eine große Lücke. Die bestehenden Programme unterstützen meist einzelne Aufmaßtechniken und fordern häufig bestimmte Aufmaßstrategien.

Systeme, welche direkt auf AutoCAD oder anderen CA(A)D-Systemen aufsetzen, lassen sich insoweit miteinander kombinieren, daß eine einheitliche Geometriebeschreibung genutzt wird. Die Geometriebeschreibung ist hier allerdings systembedingt eher statischer Natur. Daher eignen sich die Systeme erst für das Bauaufmaß selbst. Eine nachträgliche maßliche Anpassung des Modells durch Hinzufügung von Messungen ist nur manuell konstruktiv möglich.

Eine Kombination mit einem Bauwerksmodell ist über die Kopplung mit Aufsätzen wie Palladio oder ADT möglich, jedoch sind diese Bauwerksmodelle statischer Natur und eher für den Neubau geeignet. Geometrie und Bauwerksmodell sind direkt miteinander verbunden. Eine Erfassung der Geometrie und spätere Aufbereitung zu einem Bauteilmodell wird nicht unterstützt. Möglich ist hier nur der Weg eines manuellen „Überzeichnens“. Bauteilgeometrien müssen vollständig sein, volumenmäßig ungeschlossene Geometriebeschreibungen werden nicht unterstützt.

Verschiedene Handaufmaßsysteme und das für die Tachymetrie eingesetzte Vitruvius unterstützen dynamische Geometrien, welche in der Erstbegehung erstellt und anschließend durch Messungen zu maßlichen Geometrien aufbereitet werden können. Jedoch nutzen diese Systeme Berechnungsmethoden, welche bestimmte Aufmaßstrategien erzwingen.

Ein System, welches das parallele Aufmaß durch mehrere Aufmaßteams direkt unterstützt, ist dem Autor nicht bekannt. Natürlich lassen sich erstellte Geometrien **nach dem Aufmaß** händisch zusammenfassen. Zusammenhänge auf der Ebene der direkten Meßwerte gehen aber dabei verloren.

Die Verwendung heutiger Bauwerksmodelle ist von einem Zwiespalt geprägt. Auf der einen Seite besteht die Notwendigkeit der Nutzung von Bauwerksmodellen, wenn ein Bauwerk

nicht nur in seiner Geometrie abgebildet und diese Abbildung auch mittels des Computers interpretiert werden soll. Auf der anderen Seite beschränkt die jeweilige Struktur eines Bauwerksmodells die Menge der darin abbildbaren Bauwerke.

Um ein allgemeingültiges Bauwerksmodell zu entwerfen, müßten für alle Bauwerke, welche existieren könnten, alle Elemente, in die diese unter verschiedenen fachlichen Aspekten gliedert werden, vorbedacht werden. Weiter müßten alle abzubildenden Informationen über die Beziehungen zwischen den Elementen vorbedacht werden, wie auch die Eigenschaften der Elemente unter den jeweiligen Fachsichten. Weiter kann der Verwendungszweck einer Bauaufnahme oder der Zustand des aufzunehmenden Gebäudes dazu führen, daß weitere Eigenschaften der Elemente beschrieben werden müssen, beispielsweise der Zerstörungsgrad, Angaben zum Feuchtegehalt von Wänden, veranschlagte Reparaturarbeiten usw. Die im Umfeld dieser Arbeit existierende Meinung ist daher, daß dieser Ansatz scheitern muß. Die Untersuchung heutiger Bauwerksmodelle durch den Lehrstuhl hat gezeigt, daß diese für den Altbau nicht geeignet sind (siehe Abschnitt 4.5). Aus diesem Grund verfolgt der Lehrstuhl „Informatik in der Architektur“ den Ansatz eines dynamischen Bauwerksmodells.

Grundansatz des dynamischen Bauwerksmodells ist es, dem Nutzer zu ermöglichen, ein Bauwerksmodell nach seinen Vorstellungen zu verändern bzw. zu erstellen. Dem Nutzer werden zur Unterstützung Basisschemata häufig vorkommender Bauwerksmodelle bereitgestellt, welche vollständig änderbar bleiben. Der Nutzer gliedert das aufzunehmende Bauwerk interpretativ in einzelne Objekte, deren Eigenschaften formal wie informal beschrieben werden können.

5. Vision eines mitwachsenden Geometriemodells für die Bauaufnahme

Wie in Kapitel 4 aufgezeigt wurde, sind die derzeitig verfügbaren Computersysteme nicht in der Lage, den Gesamtprozeß der planungsrelevanten Bauaufnahme zu unterstützen. Im Folgenden wird das Konzept eines mitwachsenden Geometriemodells vorgestellt, welches den Aufnehmenden über die verschiedenen Phasen der Bauaufnahme begleitet. Zum Verständnis des gewählten Ansatzes sind bestimmte Vorüberlegungen vonnöten, die im Folgenden erläutert werden.

Zunächst wird die schrittweise Entwicklung des geometrischen Abbildes betrachtet. Dabei stehen zwei Aspekte im Vordergrund, die Betrachtung der Geometrieentwicklung

1. bezüglich der geometrischen Wahrnehmung des Gebäudes und
2. bezüglich der zunehmenden Detaillierung und Maßlichkeit.

In Abschnitt 2.3 wurde dargestellt, daß geometrische Informationen im Bezug zu den anderen nichtgeometrischen Informationen stehen müssen. Daher wird in den genannten Betrachtungen auch der Bezug des entstehenden geometrischen Abbildes zu einem Bauwerksmodell erörtert, welches in Kapitel 7 weiter konkretisiert wird.

Aus den genannten Betrachtungen wird nachfolgend ein Konzept eines mitwachsenden Geometriemodells für die computergestützte Bauaufnahme aus einer globalen Sichtweise vorgestellt. Das Geometriemodell besteht dabei aus unterschiedlichen Einzelmodellen. Aufbauend auf dem globalen Verständnis des Konzeptes werden diese im Kapitel 6 detailliert betrachtet.

5.1. Betrachtung der Geometrieentwicklung bezüglich der geometrischen Wahrnehmung des Gebäudes

Die folgenden Ausführungen basieren auf Konzepten des Lehrstuhls und wurden unter anderem in [Donath97/1], [Donath97/2], [Donath97/3], [Petzold99], [Donath00], [Petzold01], [Donath02], veröffentlicht.

Der Aufnehmende nimmt ein Gebäude immer aus einer lokalen Sichtweise, sozusagen der Froschperspektive, wahr. Befindet sich der Aufnehmende beispielsweise in einem Raum, so nimmt er zu diesem spezifischen Zeitpunkt diesen einzelnen Raum mit seiner Geometrie wahr. Aus der Summe der bekannten Geometrien der Innenräume und des Außenraumes ergibt sich für den Aufnehmenden ein Bild des Baukörpers, der die Räume des Gebäudes umschließt und somit formt.

Der Baukörper wird für die nachfolgenden Ausführungen als sogenannte BlackBox angesehen. Der Baukörper besteht aus unterschiedlichen Bauteilen, welche diesen in ihrer Gesamtheit formen. In der planungsrelevanten Bauaufnahme sind je nach Verwendungszweck diese Bauteile für die anschließenden Fachplaner von Bedeutung. Der Aufnehmende

kann jedoch bei einer zerstörungsfreien oder -armen Bauaufnahme nur indirekt auf die den Baukörper bildenden Bauteile schließen. Dazu nutzt der Aufnehmende sein Hintergrundwissen über beispielsweise bestimmte konstruktive Lösungen. Bestimmte zu vermutende Konstruktionen lassen sich bereits aus der Kenntnis der Errichtung des Gebäudes ableiten. Weiter läßt sich beispielsweise durch Testklopfen am Klang eine massive Wand von einer Vorsatzschale unterscheiden. Typische Wanddicken weisen auf bestimmte Mauerwerksausführungen hin. Durch kleine, lokale Untersuchungen an vorhandenen Schadstellen, durch Testbohrungen usw. können diese Vermutungen geprüft werden.

Aufbauend auf den durch einzelne Untersuchungen gestützten Vermutungen wird versucht, den Aufbau des Baukörpers, wo erforderlich, zu rekonstruieren. Dies kann je nach Verwendungszweck durchaus nur lokal erforderlich sein. Die einzelnen Bauteile besitzen dabei jeweils eine bestimmte Geometrie. Sowohl die Identität des Bauteils als auch teilweise die Ausprägung der Geometrie entstammen, wie bereits erläutert, aus Vermutungen und Interpretationen des Aufnehmenden aufgrund seines Hintergrundwissens.

Der pauschal wiedergegebene Gedankengang darf keinesfalls allgemeingültig betrachtet werden. Bestimmte Bauteile werden sofort erkannt. Dazu gehören beispielsweise Fenster, Türen, freie Stützen, offene Tragwerkskonstruktionen usw. In diesen Fällen nimmt der Aufnehmende Identität und Geometrie eines Bauteils gleichzeitig wahr. Der Aufnehmende kann dabei oft die Geometrie des Bauteils nur partiell überschauen. Stützen oder Träger verlaufen durch mehrere Etagen bzw. Räume. Fenster und Türen sind in den Rohbaukörper eingesetzt. Nur ein Teil ihrer Oberflächen ist daher direkt wahrnehmbar.

Wie in den Ausführungen gezeigt wurde, kann **prinzipiell** von folgender Reihenfolge ausgegangen werden: Der Aufnehmende nimmt lokal einen einzelnen Raum und seine Geometrie wahr. Aus der Menge der erfaßten Raumeometrien ergibt sich die Geometrie des Baukörpers. Interpretativ und auf Vermutungen und Befunde gestützt wird dieser in einzelne Bauteile und ihre jeweiligen Geometrien zerlegt.

Viele derzeit verbreitete kommerzielle Programme für das Bauaufmaß entstammen Adaptionen von Programmen der Bauplanung. Obwohl hier durchaus andere Konzepte wünschenswert wären und heute anfänglich in CAAD-Systeme einfließen, nutzt die große Masse der Programme im Bereich der Bauplanung Bauteile und Geometrie direkt als Einheit. In der zeitlichen Reihenfolge werden mittels der Bauteile die Räume durch ihre Umschließungen modelliert. Anhand der genannten Überlegungen wird erkennbar, daß ein auf das Bauaufmaß orientiertes System in der Schrittfolge genau entgegengesetzt zu den beschriebenen Systemen der Bauplanung arbeiten muß (siehe Abbildung 5.1)¹.

[Petzold01] führt ein Konzept zur fortschreitenden Modellierung ein, welches mehrere Modelle zur Abbildung der verschiedenen Phasen nutzt. In der vorliegenden Arbeit wird dagegen ein Geometriemodell genutzt, das durch die verschiedenen Phasen fortschreitend verändert wird. Problematiken durch Abgleichungen der Modelle der unterschiedlichen Phasen entfallen somit.

Zur Systematisierung nachfolgender Betrachtungen wird eine Einteilung der Geometrieentwicklung eingeführt in:

- Geometrieentstehung
- Geometrieanpassung
- Bauteilextraktion

¹Einzelne Systeme, wie der Architectural Desktop der Firma Autodesk unterstützen auch einen Top-Down Entwurf und definieren Räume vor der Generierung von Bauteilen.

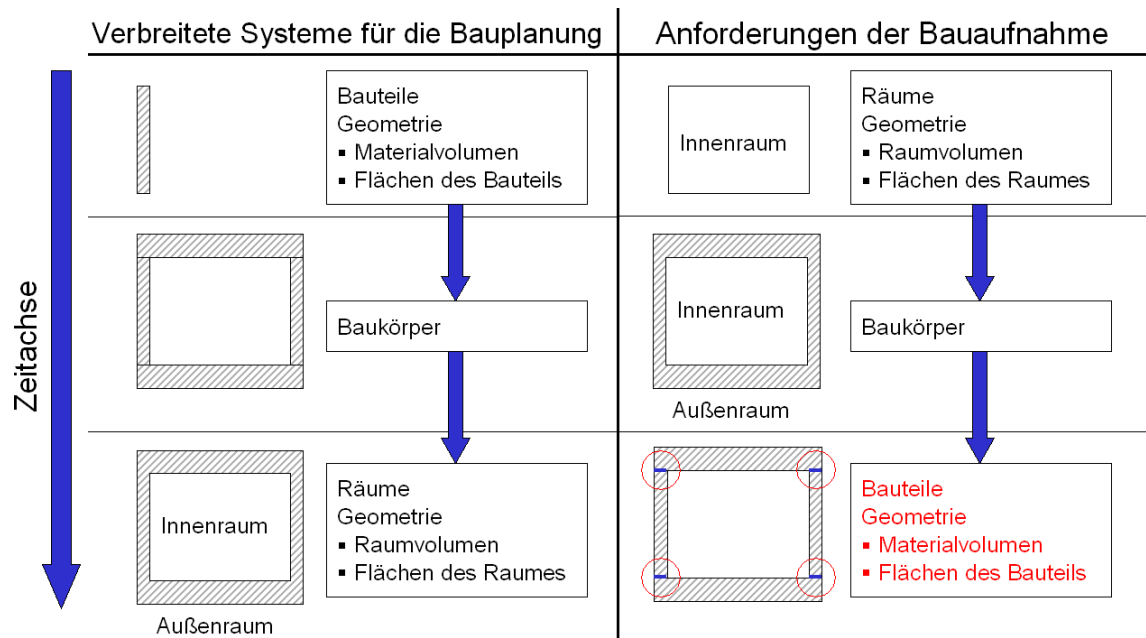


Abb. 5.1.: Vergleich der Geometrieentstehung in der Bauplanung und Bauaufnahme

Die aufgezeigte Reihenfolge der Erfassung der Geometrie hat Auswirkungen auf die Geschlossenheit von Volumina. Bei der Modellierung eines Raumes ist das einzige zu diesem Zeitpunkt eindeutig identifizierbare Volumen das des Raumes selbst. Raum und Geometrie bilden unter diesem Gesichtspunkt eine Einheit. Die topologischen Beziehungen zwischen den Raumboberflächen sind bekannt. Die Gesamtheit der Geometrien der Innenräume und des Außenraumes formen den Baukörper. Die direkte Bestimmung der äußeren Oberflächen des Baukörpers ist dabei nur außerhalb des Erdrreiches möglich. Ein geschlossenes Volumen des Baukörpers läßt sich daher nur mittels Vermutungen modellieren.

Alle Oberflächen des Baukörpers entstammen den ihn bildenden Bauteilen. Von den Volumina der Bauteile, welche in ihrer Gesamtheit den Baukörper bilden, sind nur Teile ihrer Oberflächen als Umgrenzung des Raumes bekannt. Da die Bauteile zum Zeitpunkt der geometrischen Erfassung und Abbildung des Baukörpers in ihrer Identität nicht bekannt sind, muß zu einem späteren Zeitpunkt, bei der Identifikation (oder Vermutung) von Bauteilen, eine Zuordnung der durch die Räume bekannten Oberflächen zu diesen erfolgen.

Die Identifikation von Bauteilen und die Modellierung ihrer Geometrie ist in der Regel auf Vermutungen gestützt. Diese können sich im zeitlichen Ablauf der Bauaufnahme bestätigen oder als falsch erweisen. Daher müssen Geometrie und Identitäten von Bauteilen austauschbar gestaltet werden.

Wie bereits erläutert, sind in der zerstörungsfreien und -armen Bauaufnahme nur die raumbildenden Oberflächen der Bauteile bekannt. Auch müssen Bauteile keine natürlichen Abgrenzungen voneinander besitzen (siehe Abschnitt 2.4). Aus diesem Grund muß die Abbildung der Geometrie der den Baukörper bildenden Bauteile auch unvollständige Geometriemodellierungen zulassen. Auf diese Weise wird es dem Aufnehmenden ermöglicht, die geometrischen Informationen eines Bauteils abzubilden, welche ihm wirklich bekannt sind oder deren Vermutung dem Aufnehmenden durch Befunde oder bekannte Konstruktionen berechtigt erscheinen.

5.2. Entwicklung der Beziehung zwischen Geometrie und nichtgeometrischen Informationen

Geometrische Informationen für sich allein können im Rahmen der planungsrelevanten Bauaufnahme die planungsrelevanten Eigenschaften eines Bauwerkes nicht abbilden. Elemente wie Räume und Bauteile sind auf eine Beschreibung ihrer Geometrie angewiesen. Zwischen geometrischen und nichtgeometrischen Informationen besteht eine enge Beziehung. Im Folgenden wird diese Beziehung aus dem Blickwinkel ihrer Entstehungsgeschichte betrachtet.

Im Abschnitt 5.1 wurde die Geometrieentwicklung systematisiert in die Phasen:

- Geometrieentstehung
- Geometrieanpassung
- Bauteilextraktion

Während der Phase der Geometrieentstehung sind zwei Fälle zu unterscheiden:

- der Aufnehmende bildet die begrenzende Geometrie eines Raumes (grob, nichtmaßlich) ab
- der Aufnehmende bildet die sichtbare Geometrie sofort identifizierbarer Bauteile ab

In beiden Fällen besteht zum Zeitpunkt der Geometrieentstehung ein Bezug zu einem Raum oder einem Bauteil. Die entstehende Geometrie bildet dabei die Oberflächen des Raumes oder des Bauteils ab. Diese Oberflächen besitzen jedoch in der Regel eine Semantik. Der Aufnehmende betrachtet beispielsweise die Oberflächen eines Raumes als Wand-, Decken- und Bodenoberflächen.

Für eine bessere Verständlichkeit werden im Folgenden die Begriffe

- Raumobjekt,
- Bauteilobjekt und
- Flächenobjekt

eingeführt. Diese Begriffe stehen für Elemente in einem Bauwerksmodell, welche dort einzelne Räume, Bauteile und die Semantik von Oberflächen repräsentieren. Für die folgende Betrachtungen werden die Raum-, Bauteil- und Flächenobjekte von dem eigentlichen geometrischen Abbild getrennt betrachtet. Zur Veranschaulichung können auf der einen Seite die genannten Objekte in einem Bauwerksmodell, auf der anderen Seite ihre zugehörigen geometrischen Elemente in einem Geometriemodell betrachtet werden. Zwischen den Objekten des Bauwerksmodells und den Elementen des Geometriemodells bestehen Zuordnungen.

In der Phase der Geometrieentstehung entstehen Raumobjekte bzw. Bauteilobjekte und ihr zugehöriges geometrisches Abbild gleichzeitig. Den Oberflächen des geometrischen Abbildes wird mittels zugewiesener Flächenobjekte Semantik vermittelt.

Im Verlauf der Geometrieanpassung wird das geometrische Abbild der Realität durch Messungen und eine zunehmende Detaillierung der Geometrie immer weiter angepaßt. Bedingt durch die zunehmende Detaillierung entstehen neue Flächen im Geometriemodell, die mit

dem Bauwerksmodell verbunden werden müssen. Dabei sind den neuen Flächen einerseits Flächenobjekte zuzuordnen, um ihnen Semantik zu vermitteln, andererseits müssen die Flächen wieder Raum- oder Bauteilobjekten zugeordnet werden.

In der Phase der Bauteilextraktion wird der geometrisch ermittelte Baukörper in einzelne Bauteile zerlegt. Dabei werden Bauteilobjekte eingeführt, welche die einzelnen Bauteile repräsentieren. Diesen neu eingeführten Bauteilobjekten wird nun schon vorhandene Geometrie zugeordnet. Diese Geometrie definiert in der Regel kein geschlossenes Volumen. Dem Bauteilobjekt wird demzufolge eine unvollständige Geometrie zugewiesen. Die zugewiesenen Geometrielemente existieren vor dem Bauteilobjekt.

Zu erkennen sind zwei verschiedene Einführungen von Bauteilobjekten. Zum einen werden sofort erkennbare Bauteile in der Phase der Geometrieentstehung eingeführt, wobei das repräsentierende Bauteilobjekt zeitgleich mit seiner ihm zugewiesenen Geometrie entsteht. Dieser Vorgang wird im Folgenden als Bauteilimport bezeichnet. Zum anderen werden in der Phase der Bauteilextraktion Bauteilobjekte eingeführt, denen eine bereits vorhandene Geometrie zugewiesen werden muß.

Die Anforderungen an ein Bauwerksmodell in der planungsrelevanten Bauaufnahme verlangen andere Lösungen. Wie in Abschnitt 4.5 beschrieben wurde, werden heutige statische Bauwerksmodelle den Anforderungen der Bauaufnahme nicht gerecht. Als Lösung wird ein dynamisches Bauwerksmodell vorgeschlagen, in welchem der Aufnehmende u.a. eigene Bauteiltypen mit ihren spezifischen Geometrien und nichtgeometrischen Eigenschaften modellieren kann. Der Aufnehmende besitzt jedoch in der Regel keine programmiertechnischen Fähigkeiten. Es muß daher die Möglichkeit einer Modellierung von Bauteiltypen durch den Nutzer realisiert werden, die ohne von ihm vorgegebene Algorithmen arbeitet. Die bisherigen Betrachtungen gingen von isolierten Objekten in einem Bauwerksmodell und zugewiesener Geometrie aus. Viele Bauteile besitzen jedoch als Eigenschaften gewisse geometrische Parameter. Als Beispiel sei die Höhe einer Stütze genannt. Auch diese Parameter müssen sich vom Nutzer ohne programmiertechnische Fähigkeiten modellieren lassen.

An die Modellierung der neuen Bauteiltypen sind dabei folgende Forderungen zu stellen:

1. Die Bauteiltypen eignen sich sowohl für den Bauteilimport als auch für die Bauteilextraktion.
2. Im Falle einer Nutzung zur Bauteilextraktion muß die Möglichkeit bestehen, dem Bauteilobjekt eine unvollständige Geometrie zuzuweisen.
3. Der Nutzer muß die Möglichkeit erhalten, in Bauteiltypen auch geometrische Parameter zu modellieren, ohne Algorithmen erstellen zu müssen.

5.3. Geometrie als Attribut

Zur Verdeutlichung der Überlegungen im Abschnitt 5.1 wurde die Geometrie auf der einen Seite und Raum- bzw. Bauteilobjekte auf der anderen Seite betrachtet. Dabei zeigten sich bereits beispielsweise zeitliche Differenzen in der Entstehung der Geometrie und der ihr zugewiesenen Bauteilobjekte. Tatsächlich gibt es eine Reihe weiterer Gründe, welche für eine Trennung von Geometrie und Raum- bzw. Bauteilobjekten sprechen. Damit soll nicht ausgesagt werden, daß auch eine Lösung der folgenden Problemstellungen ohne Trennung möglich wäre. Jedoch stellt die Trennung eine sehr direkte und einfache Lösungsmöglichkeit dar.

Bauwerksmodelle sind zur Gruppe der Produktmodelle zuzurechnen. Produktmodelle bestehen aus einzelnen Elementen mit bestimmten Eigenschaften, zu denen auch die Geometrie zählen kann. Als ein Beispiel sei ein konkreter Typ einer Stütze genannt, im Folgenden als Stütze_quaderförmig bezeichnet. Die genannte Stütze hat verschiedene Eigenschaften, wie z.B. ihr Material und ihre geometrischen Parameter Breite, Höhe und Tiefe. Weiter besitzt die Stütze eine sie repräsentierende Geometrie. [Anderl03] nimmt hierzu eine Einteilung in Produktdefinition und -repräsentation vor.

Im Falle der Bauaufnahme soll der Aufnehmende die Möglichkeit besitzen, die Geometrie eines beliebigen Objektes nach dem jeweiligen Verwendungszweck erfassen zu können. Der Aufnehmende nimmt eine quaderförmige Stütze auf, die jedoch lokale Schäden besitzt, sowie einen Durchbruch für eine Leitung. Er entscheidet sich für eine sehr detailgetreue Aufnahme und modelliert die Geometrie der Stütze mit dem Durchbruch und einigen Schadstellen. Verständlicherweise besitzt das so beschriebene geometrische Abbild weit mehr Informationen als lediglich die oben genannten geometrischen Parameter. Des Weiteren sollte die Geometrie der Stütze gemäß den in Abschnitt 4.4 beschriebenen Anforderungen an ein computergestütztes Aufmaßsystem mit beliebigen Aufmaßtechniken und nicht mit einer festgeschriebenen Vorgehensweise erfaßbar sein. Genau das wäre der Fall, wenn der Anwender gezwungen wäre, die geometrischen Parameter anzugeben. Eine Möglichkeit zur Realisierung besteht darin, ein detailliertes geometrisches Abbild der Stütze auf beliebige Art und Weise zu erstellen und aus diesem geometrischen Abbild die geometrischen Parameter abzuleiten, sie quasi herauszufiltern.

Ein Ansatz zur Kopplung geometrischer Parameter und repräsentierender Geometrien in Produktmodellen ist der der parametrischen Produktmodellierung. [Lömker03] untersucht dabei die Möglichkeiten dieses Ansatzes, welcher vornehmlich im Maschinen- und Fahrzeugbau sowie in der Luft- und Raumfahrt eingesetzt wird, für die Plausibilität im Planungsprozeß. [Anderl03] beschreibt als Grundelemente der parametrischen Produktmodellierung Parameter und Constraints. Als Parameter wird dabei im allgemeinen eine im Wert veränderliche Größe verstanden. Dazu können geometrische Parameter zählen, wie etwa die Höhe der als Beispiel genannten Stütze, aber auch nichtgeometrische Größen wie z.B. Materialdichten. Constraints hingegen beschreiben funktionale und geometrische Bedingungen und Beziehungen zwischen Parametern und geometrischen Elementen auf der Basis mathematischer Gleichungen und logischer Regeln. Als Beispiele für Constraints, welche die Lage geometrischer Elemente (global und zueinander) beschreiben, führt [Anderl03] auf:

- Fixierung eines Elements
- horizontale und vertikale Lage eines Elements
- Rechtwinkligkeit zwischen zwei Elementen
- tangentialer Übergang zwischen zwei Elementen
- Konzentrizität von zwei Elementen
- Deckungsgleichheit von zwei Elementen

Im Folgenden werden lediglich geometrische Parameter und Constraints betrachtet.

Eine der Aufgaben der parametrischen Produktmodellierung ist die Kopplung der geometrischen Parameter eines Bauteils und der Elemente eines Geometriemodells. Dieses Konzept kann so erweitert werden, daß einer bereits vorhandenen Geometrie ein Bauteil

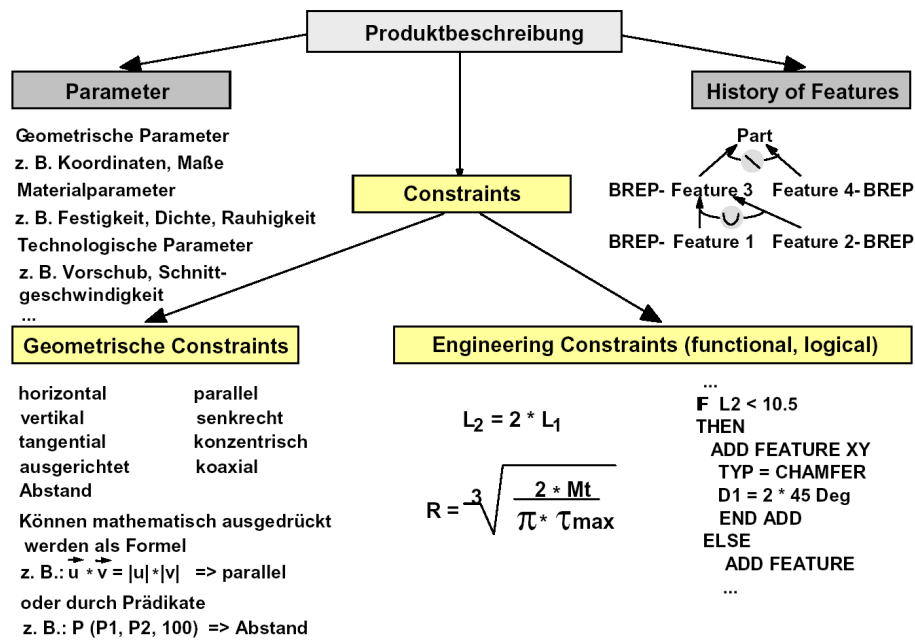


Abb. 5.2.: Parametrische Produktbeschreibung ([Anderl03])

mit seinen geometrischen Parametern nachträglich zugeordnet werden kann (siehe Abschnitt 5.6). Somit wird eine zeitliche Trennung der Entstehung von Geometrie und Bauteil sowie eine wechselnde Zuordnung möglich. Weiter kann der Ansatz der parametrischen Produktmodellierung zur Vereinfachung der nutzerseitigen Erstellung von beispielsweise Bauteiltypen genutzt werden (siehe Abschnitt 7.4).

Ein weiterer Punkt betrifft die Variabilität der Geometrie. Geometrische Parameter sind in der Regel an gewisse geometrische Abstraktionen gebunden. Als Beispiel sei eine Wanddicke genannt. Hier wird in der Regel die Vorstellung des Abstandes zweier parallel verlaufender Begrenzungsebenen zugrunde gelegt. Je mehr ein Bauteil in seiner Geometrie parametrisiert wird, um so stärker wird diese in ihrer Variabilität eingeschränkt.

Besonders Bauteile des Rohbaus, wie Wände, Fundamente, Deckenplatten usw., können in ihrer Geometrie in einer riesigen Vielfalt auftreten. Es wird an dieser Stelle nicht von der Neubauplanung gesprochen, es geht um konkrete existente Objekte, welche über die Jahre auch durch Umbaumaßnahmen u.ä. verändert und angepaßt wurden. Um diese Elemente abbilden zu können, sollte die Variabilität ihres geometrischen Abbildes so groß wie möglich sein. Auf der anderen Seite müssen je nach Verwendungszweck der Bauaufnahme aus dem geometrischen Abbild unterschiedliche geometrische Parameter gewonnen werden. Diese bedingen aber wiederum geometrische Abstraktionen und eine zunehmende Einschränkung der Variabilität des geometrischen Abbildes. Dieser Widerspruch läßt sich durch verschiedene Ansätze mildern. Durch sinnvolle „Umdefinitionen“ der Interpretation geometrischer Parameter, wie z.B. einer Wanddicke, können die zugrunde gelegten geometrischen Abstraktionen wesentlich verringert und realitätsnaher gestaltet werden (als verwandtes Beispiel siehe Abschnitt 6.7.1). Weiter sollte der Nutzer die Möglichkeit erhalten, Parametrisierungen in dem Maß selbst einzuführen, wie dies für den jeweiligen Verwendungszweck der Bauaufnahme vonnöten ist. Die parametrische Modellierung kommt diesem Ansatz entgegen, da bei dem Ansatz der Constraints nicht beschrieben wird, welche Möglichkeiten eine Geometrie in ihrer Variabilität besitzt, sondern, inwieweit sie in ihrer Variabilität eingeschränkt wird. Die Variabilität der Geometrie wird dabei grundlegend nur noch von den Möglichkeiten des verwendeten Geometriemodells beschränkt.

Ein weiterer Vorteil des Ansatzes liegt in der Möglichkeit, geometrische Parameter auch aus geometrisch unvollständigen Beschreibungen eines Bauteils zu gewinnen. Als Beispiel sei wieder auf eine Wanddicke verwiesen. Auch wenn als geometrische Beschreibung einer Wand nur zwei gegenüberliegende Flächen bekannt sind, läßt sich aus diesen die Dicke der Wand ableiten (siehe Abbildung 7.19, S. 134).

Der Ansatz der parametrischen Modellierung wird aus Gründen, welche in Abschnitt 5.5.3 erläutert werden, nicht direkt genutzt, sondern auf die geodätische Ausgleichsrechnung übertragen.

5.4. Geometrieerstellung

Die geometrische Abbildung von Räumen und einzelnen Bauteilen geschieht vornehmlich in den Frühphasen der Bauaufnahme. Die Geometrie von Räumen und Bauteilen wird grob und nicht maßlich festgehalten. Bei einer nicht computergestützten Bauaufnahme hält der Aufnehmende dabei die Geometrie zunächst in Form von Skizzen fest. Dieser Weg erscheint als sehr praktikabel und wird daher in die computergestützte Umsetzung übernommen.

Auf dem Gebiet der skizzenbasierten Generierungen und Manipulationen von Geometriemodellen wurden in den letzten Jahren praxisrelevante Fortschritte erzielt. Als Beispiel sei das kommerzielle Produkt „SketchUp“ genannt. Dieses Tool ermöglicht in den Frühphasen der Bauplanung die skizzenbasierte Geometriegenerierung von Baukörpern für den Vorentwurf bishin zur Präsentationsreife. Abbildung 5.3 zeigt einen komplexen Raum mit mehreren Säulen und Unterzügen, welcher mittels SketchUp in kurzer Zeit skizzenbasiert erstellt wurde. Auf einem Tablet-PC lassen sich mit Tools dieser Art sehr schnell nicht-maßliche 3D-Geometrieabbilder von Gebäudeteilen erstellen. Die Interaktionsmechanismen unterstützen dabei den Weg vom Groben zum Detail. Der Nutzer kann mit primitiven Geometrien beginnen und diese zunehmend detaillieren. Genau dieser Weg entspricht auch der Annäherung des Aufnehmenden an ein Gebäude.

Der beschriebene Ansatz der skizzenbasierten Geometriemodellierung wird oft unter Zuhilfenahme von Constraints ermöglicht. Hierbei kommen zwei Ansätze zur Anwendung:

- der Nutzer steuert explizit Constraints oder
- Constraints werden vom System gesucht² (siehe [Brüderlin03/1] und [Brüderlin03/2])

Für bekannte Bauteile und komplexe Geometrien empfiehlt sich die Möglichkeit der Wiederverwendung vordefinierter Bauteile und Geometrien. Der Nutzer kann dazu entsprechende Kataloge führen, die er um selbst erstellte oder modifizierte Bauteile und Geometrien erweitert. Der Prototyp SAM (Sketch And Measure [Thurow99], siehe Abschnitt A.3) illustriert diese Vorgehensweise. [Petzold01] schlägt dabei die Nutzung von Basisschemata vor, welche bereits häufig verwendete Bauteile enthalten.

Bei der geschilderten Vorgehensweise stellen dabei öffnungsgenerierende Bauteile, wie Fenster und Türen, ein Problem dar. Es liegt in der schrittweisen Abbildung der jeweils vom Aufnehmenden wahrnehmbaren Räume. Zur Veranschaulichung soll ein kleines Beispiel dienen (siehe Abbildung 5.4). Der Aufnehmende betritt einen bestimmten Raum und bildet seine Geometrie im Computer ab. Im Rahmen der Geometrieerstellung werden skizzenbasiert die einzelnen Oberflächen des Raumes abgebildet. Nun möchte der Nutzer eine

²Skizzeninterpretation

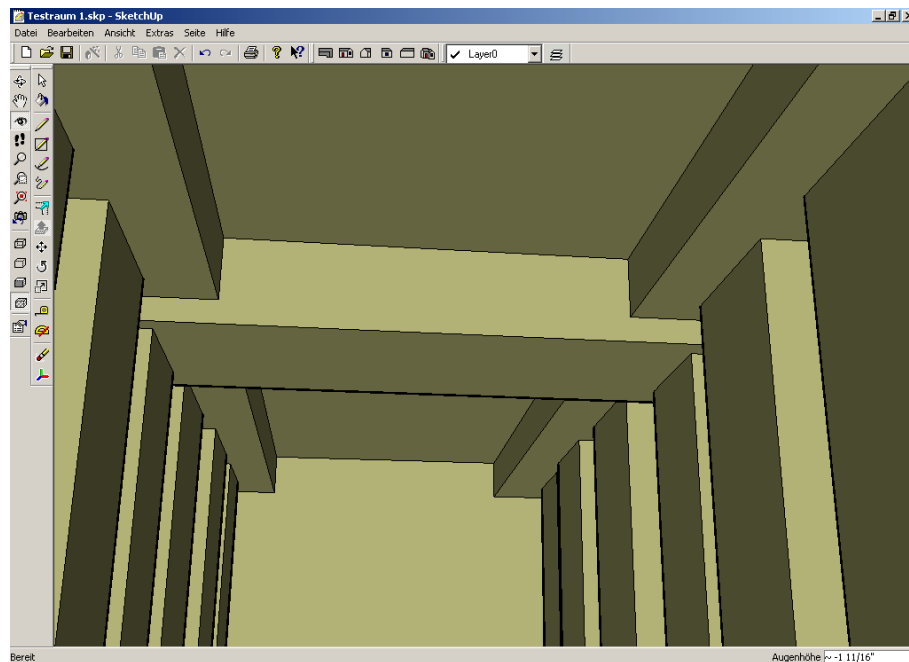


Abb. 5.3.: 3D-Geometrie skizzenbasiert mit SketchUp erstellt

Tür in eine der Oberflächen einfügen. Die Tür führt natürlich zu einem anderen Raum und muß auch dort in eine Oberfläche eingefügt werden. Die Abbildung des zweiten Raumes existiert aber noch nicht. Weiter ist zu bedenken, daß der Nutzer die Möglichkeit besitzen soll, selbst beliebige öffnungsgenerierende Bauteile, wie Türen und Fenster, neu zu erstellen. Die Entwicklung einer diesbezüglichen Vorgehensweise wurde in der vorliegenden Arbeit nicht behandelt.

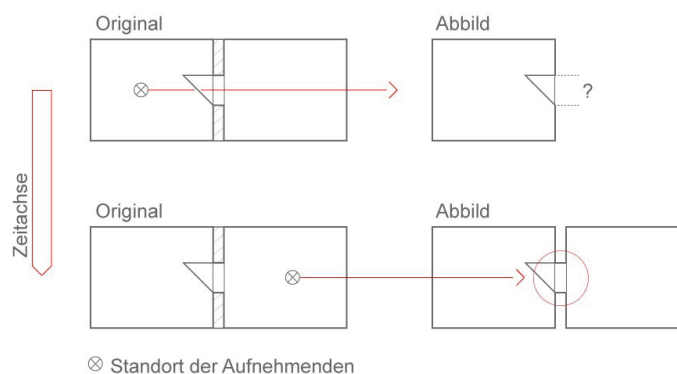


Abb. 5.4.: Problematik Öffnungen

Ein weiteres Problem ergibt sich in der Zuweisung der jeweiligen Semantik zu einzelnen Oberflächen eines Raumes. Abbildung 5.5 zeigt dazu zwei räumliche Geometrien, welche topologisch identisch sind. Im Teilbild 1 sind die Flächen F7, F8 und F9 als Bodenflächen zu bewerten, im Teilbild 2 trifft eher eine Bezeichnung als Wandoberflächen zu. Der Nutzer muß die Möglichkeit besitzen, die Semantik von Oberflächen zu wechseln. Da eine manuelle Zuweisung von Flächenobjekten zu allen Oberflächen sehr zeitaufwendig ist, muß das System bei typischen Geometrien selbst Zuweisungen vornehmen. Es sollte, beispielsweise auf grafische Weise, dem Nutzer mitteilen, welche Zuweisungen getroffen wurden. Der

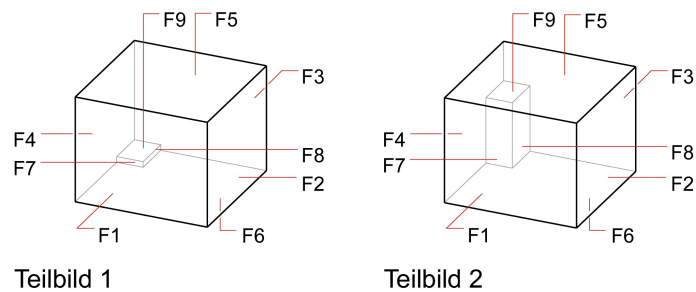


Abb. 5.5.: Problematik Flächensemantik

Nutzer korrigiert diese gegebenenfalls. In problematischen Fällen weist das System den Nutzer auf die Notwendigkeit einer manuellen Zuordnung hin.

Neben der skizzenbasierten Geometrieerstellung sind weitere Verfahren relevant. Als Beispiel sei die automatische Interpretation von eingescannten Plänen durch das Programm hylasFM der Firma Kubit (siehe S. 207) genannt. Das Programm findet neben Wandoberflächen und Bauteilen wie Fenstern und Türen auch vom Nutzer definierte Symbole in den Plänen wieder. Ein anderes Beispiel ist die bekannte Overlay-Technik.

5.5. Geometrieangepassung

Dieser Abschnitt hat die schrittweisen Annäherung des geometrischen Abbildes an sein Original zum Inhalt. Zunächst werden für diesen Prozeß relevante Faktoren gesucht. Anschließend werden diese Faktoren miteinander in Bezug gesetzt. Zum Abschluß wird ein Ansatz zur Automatisierung der Geometrieangepassung gesucht.

5.5.1. Genauigkeitsmaße und ihre Beziehungen

Für die Erfassung und Abbildung der Geometrie eines Bauwerkes müssen folgende Begriffe unterschieden werden (siehe [Weferling01] und [Weferling03]):

- Erfassungsgeneralisierung
- Erfassungsgenauigkeit
- Meßgenauigkeit

Erfassungsgeneralisierung und -genauigkeit sind dabei eng miteinander verknüpft. Je höher die Erfassungsgeneralisierung gewählt wird, um so geringer ist auch die mögliche Erfassungsgenauigkeit. Als Beispiel sei Naturmauerwerk genannt. Wird die Oberfläche einer Natursteinmauer als planare Oberfläche betrachtet, so wird die Erfassungsgenauigkeit von den natürlichen Unebenheiten der Natursteine bestimmt. Die Erfassungsgeneralisierung könnte aber auch, beispielsweise mittels eines Dreiecknetzes oder einer Freiformfläche, wesentlich geringer gewählt werden. In diesem Fall kann die Erfassungsgenauigkeit deutlich erhöht werden.

Für die folgenden Betrachtungen wird eine Oberfläche als eine Menge von unendlich vielen (Oberflächen)punkten betrachtet. Bei der maßlichen Erfassung dieser Punkte sind zwei unterschiedliche Herangehensweisen zu unterscheiden:

1. Es wird die geometrische Lage von Punkten zueinander erfaßt.
2. Es wird die geometrische Lage einer Punktmenge oder von Punktmenge zueinander erfaßt, wobei eine bestimmte geometrische Beziehung zwischen den Einzelpunkten jeder Punktmenge vorausgesetzt wird.

Diese beiden Gruppen sollen im Folgenden genauer erklärt werden. Viele Meßgeräte erfassen die geometrische Lage zwischen Punkten. Mittels eines Zollstocks kann die Distanz zwischen zwei Punkten erfaßt werden. Ein Tachymeter liefert mit jeder Messung Meßgrößen, welche die Lage des erfaßten Oberflächenpunktes zum Standort des Tachymeters beschreiben. Mittels der Mehrbildphotogrammetrie werden die geometrischen Abhängigkeiten zwischen aufgenommenen Oberflächenpunkten und den Kamerastandorten bestimmt.

Andere Meßgeräte bestimmen die Lage einer Punktmenge, setzen aber voraus, daß die Einzelpunkte dieser Punktmenge einer gewissen Abstraktion genügen, sie also eine bestimmte geometrische Beziehung zueinander besitzen. Wird eine Wasserwaage auf eine Fläche aufgesetzt, so werden die Punkte dieser Fläche als in einer Ebene liegend betrachtet.

Um aus der Kenntnis von Einzelpunkten eine Oberfläche rekonstruieren zu können, müssen zwangsweise Annahmen über die geometrischen Beziehungen zwischen den Oberflächenpunkten getroffen werden. Diese Beschreibung ist ein Merkmal der Erfassungsgeneralisierung. Die Beschreibung der geometrischen Beziehungen zwischen den Oberflächenpunkten umfaßt dabei zwei verschiedene Aspekte:

1. In wie kleine Einzelbereiche wird die Oberfläche zerlegt – Detailliertheit?
2. Wie wird ein Einzelbereich beschrieben?

Zur Erläuterung dieser Aspekte sollen zwei Beispiele herangezogen werden. Der Grundriß eines Raumes soll per Handaufmaß mit einer gewissen Genauigkeit erfaßt werden. Dazu werden in der Schnittebene des Grundrisses Oberflächenpunkte des Raumes vermessen. Ist die geforderte Genauigkeit so hoch, daß die erfaßten Punkte einer Wandfläche nicht mehr als Strich abstrahiert werden können, so vermittelt der Aufnehmende zwischen den Einzelpunkten, da der Oberflächenverlauf mathematisch gesehen stetig verläuft. Er zeichnet dabei gewissermaßen eine „Freiformlinie“³. Der Abstand der erfaßten Oberflächenpunkte kennzeichnet die Detailliertheit, die Freiformfläche beschreibt die Lage der Oberflächenpunkte zwischen den Meßpunkten.

Ein Laserscanner erfaßt eine Oberfläche mit einem gewissen Meßraster. Die einzelnen erfaßten Oberflächenpunkte werden zu einem Oberflächennetz, beispielsweise einem Dreiecknetz, verbunden. Der Abstand der erfaßten Oberflächenpunkte kennzeichnet die Detailliertheit, die Ebene jeder Dreiecksfläche beschreibt die Lage der entsprechenden Oberflächenpunkte zwischen den Meßpunkten.

Die genannte Betrachtungsweise, hier zunächst im Mikroskopischen angewendet, läßt sich fließend zum Makroskopischen übertragen. Die meisten Oberflächen von Bauwerken (die Menge aller Bauwerke zusammen betrachtet!) lassen sich bei gröberen Genauigkeitsstufen als planar betrachten. Bei einem sehr kleinen Maßstab können dabei Vorsprünge oder Nischen als nicht vorhanden betrachtet werden. Natürlich muß aber weiterhin in diesem Bereich die Geometrie geschlossen bleiben. Die Oberflächenpunkte in den Bereichen werden als in der gleichen Ebene ihrer globalen Umgebung angenommen.

³Der Begriff Freiformlinie ist an dieser Stelle nicht im wörtlichen, mathematischen Sinne zu verstehen, sondern dient als beschreibender Vergleich.

5.5.2. Abhängigkeiten zwischen Geometrieerfassung und -abbildung

Für die nachfolgenden Betrachtungen werden drei Begriffe eingeführt:

- geometrische Elemente
- Abstraktionen
- Meßwerte

Zu den geometrischen Elementen gehören Oberflächenpunkte und Elemente, welche unter der Annahme gewisser Abstraktionen aus diesen gebildet werden. Bei der Annahme planarer Oberflächen bestehen beispielsweise die weiteren geometrischen Elemente Linie und Polygon.

Auch der Bezug zwischen Meßwerten und geometrischen Elementen wird mittels Abstraktionen geklärt. Als Beispiel sei die Erfassung der Breite eines Fensters genannt. Der Aufnehmende nimmt mittels Zollstock die Breite in mittlerer Fensterhöhe auf. Eigentlich wurde damit die Entfernung zweier Punkte bestimmt. Der Aufnehmende abstrahiert die Leibungen des Fensters als planar und parallel zueinander. Erst aus dieser Abstraktion ergibt sich der Begriff der Breite. Da die Leibungen streng genommen nicht wirklich parallel verlaufen, wird in Mittelhöhe gemessen, wodurch ein Mittelmaß des Abstandes ermittelt wird. Die waagerechte Haltung des Zollstocks resultiert aus der Modellannahme der Normalenvektoren der Oberflächen. Natürlich handelt der Aufnehmende dabei mehr intuitiver Natur und nicht nach diesem abstrakteren Gedankengang.

Die verschiedenen Gedanken zusammenfassend kann ausgesagt werden, daß die geometrischen Elemente, ihre sie bildenden geometrischen Abstraktionen sowie die Meßwerte und ihre durch Abstraktionen gebildeten Bezüge zu den geometrischen Elementen Voraussetzung zur Modellierung des geometrischen, maßlichen Abbildes sind.

$$\begin{aligned} &\text{Geometrische Elemente} + \text{Abstraktionen} + \text{Meßwerte} \\ &= \text{geometrisches, maßliches Abbild} \end{aligned}$$

5.5.3. Formalisierung von Meßwerten und Abstraktionen

Um die Genauigkeit des Abbildes zu erhöhen, sind folgende Angriffspunkte möglich / nötig:

- Erhöhung der Meßgenauigkeit - in diesem Fall wenig geeignet
- Verringerung der Abstraktion des Abbildes und dementsprechende Erhöhung der Anzahl von Messungen
- Erhöhung der Detaillierung des Abbildes und dementsprechende Erhöhung der Anzahl von Messungen

Die wesentlichen Parameter sind demnach die Abnahme der Abstraktion, die Zunahme der Detaillierung und die höhere Anzahl von Messungen.

Zunächst soll die Frage geklärt werden, wie eine Abstraktion formalisiert werden kann. Als Beispiel dient die Beschreibung einer Menge von Punkten, welche eine Ebene bilden. Die Ebene ist in diesem Beispiel durch einen Punkt P_S (S für Schwerpunkt) und einen

Normalenvektor \vec{n} repräsentiert. Für jeden Punkt P_i der Ebene gilt ein Abstand von 0 zur Ebene:

$$\frac{\vec{n} \cdot (\vec{p}_i - \vec{p}_S)}{|\vec{n}|} = 0 \quad (5.1)$$

Diese Relation wird in der Realität streng gesehen nicht eingehalten. Die wahren Oberflächenpunkte folgen der Beschreibung von Formel 5.1 nur mit einer gewissen Genauigkeit. Um die Differenz zwischen der abstrahierten Ebene und dem realen Oberflächenpunkt P_i zu beschreiben, also eine doch von 0 verschiedene Entfernung, wird die Variable v eingeführt:

$$\frac{\vec{n} \cdot (\vec{p}_i - \vec{p}_S)}{|\vec{n}|} = 0 + v \quad (5.2)$$

Nun wird von einer wirklichen Messung ausgegangen. Der Abstand d zwischen zwei Punkten P_1 und P_2 wurde gemessen:

$$d = |\vec{p}_2 - \vec{p}_1| = \sqrt{(p_{2x} - p_{1x})^2 + (p_{2y} - p_{1y})^2 + (p_{2z} - p_{1z})^2} \quad (5.3)$$

Der Meßwert besitzt eine gewisse Ungenauigkeit, welche mittels der Variablen v beschrieben wird:

$$d + v = |\vec{p}_2 - \vec{p}_1| \quad (5.4)$$

Zu sehen ist die identische Formalisierung von Meßwerten und Abstraktionen. Über den genannten Ansatz können Abstraktionen und Meßwerte beschrieben und abgebildet werden. Der Ansatz entstammt der Geodäsie, es handelt sich um die Beobachtungs- bzw. Verbesserungsgleichung der vermittelnden Ausgleichung von Beobachtungen.

Eine Abstraktion kann, wie gezeigt wurde, mathematisch formuliert werden. Da, wie in Abschnitt 5.1 erläutert, bei der zerstörungsfreien bzw. -armen Bauaufnahme Oberflächen erfaßt werden, sind in der vorliegenden Arbeit Abstraktionen als Funktionen über Punktmengen beschrieben. Werden alle Punkte einer Geometrie als Punktmenge M betrachtet, so können durch das Hinzufügen und Entfernen dieser Funktionen über Teilmengen von M Abstraktionen der Geometrie eingeführt oder entfernt werden.

Der gezeigte Ansatz ist mit dem Ansatz geometrischer Beschreibungen der parametrischen Modellierung vergleichbar. Beide Techniken nutzen als Grundlage die mathematische Beschreibung von Lagebeziehungen von und zwischen geometrischen Elementen. Jedoch sind die Zielstellungen beider Techniken unterschiedlich. Die geodätische Ausgleichsrechnung beruht u.a. auf statistischen Grundlagen von Meßwertschwankungen und nutzt bewußt überbestimmte Systeme zur Genauigkeitssteigerung. Die in diesem Kontext entwickelten Methoden betrachten dabei erfaßte Meßwerte mit ihren Meßfehlern. Die parametrische Modellierung aus dem Bereich der Produktmodelle wird hingegen für den konstruktiven Sektor eingesetzt. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Rekonstruktion des geometrischen Abbildes von Bauwerken, wozu u.a. verschiedene Aufmaßtechniken mit bewußten Überbestimmungen genutzt werden. Die geodätische Ausgleichsrechnung ist daher für die vorliegende Arbeit relevant. Viele Techniken der parametrischen Modellierung lassen sich jedoch auf die geodätische Ausgleichsrechnung übertragen oder finden dort identische Ansätze.

5.5.4. Schrittweise Erhöhung der Genauigkeit

Mit Hilfe von Abstraktionen und hinzugefügten Meßwerten wird das erstellte geometrische Abbild eines Gebäudes schrittweise maßlich der Realität angepaßt. Dies soll im Folgenden

an einem einzelnen Raum illustriert werden. Abbildung 5.6 zeigt das geometrische Abbild eines Raumes, zunächst skizzenbasiert erstellt und nichtmaßlich, welches durch das Einbringen von Meßwerten schrittweise der Realität angepaßt wird. Schritt 1 (Abb. 5.6) zeigt den Raum, wie der Nutzer ihn skizzenbasiert in seiner Geometrie erstellt hat. Das System sucht nach vom Nutzer vorgegebenen Kriterien nach vorhandenen geometrischen Abstraktionen. In diesem Fall vermutet das System Parallelitäten der gegenüberliegenden Seiten, rechte Winkel und eine Ausrichtung parallel zu den Koordinatenachsen. Schritt 2 zeigt das nach den gefundenen Abstraktionen ausgeglichene Abbild.

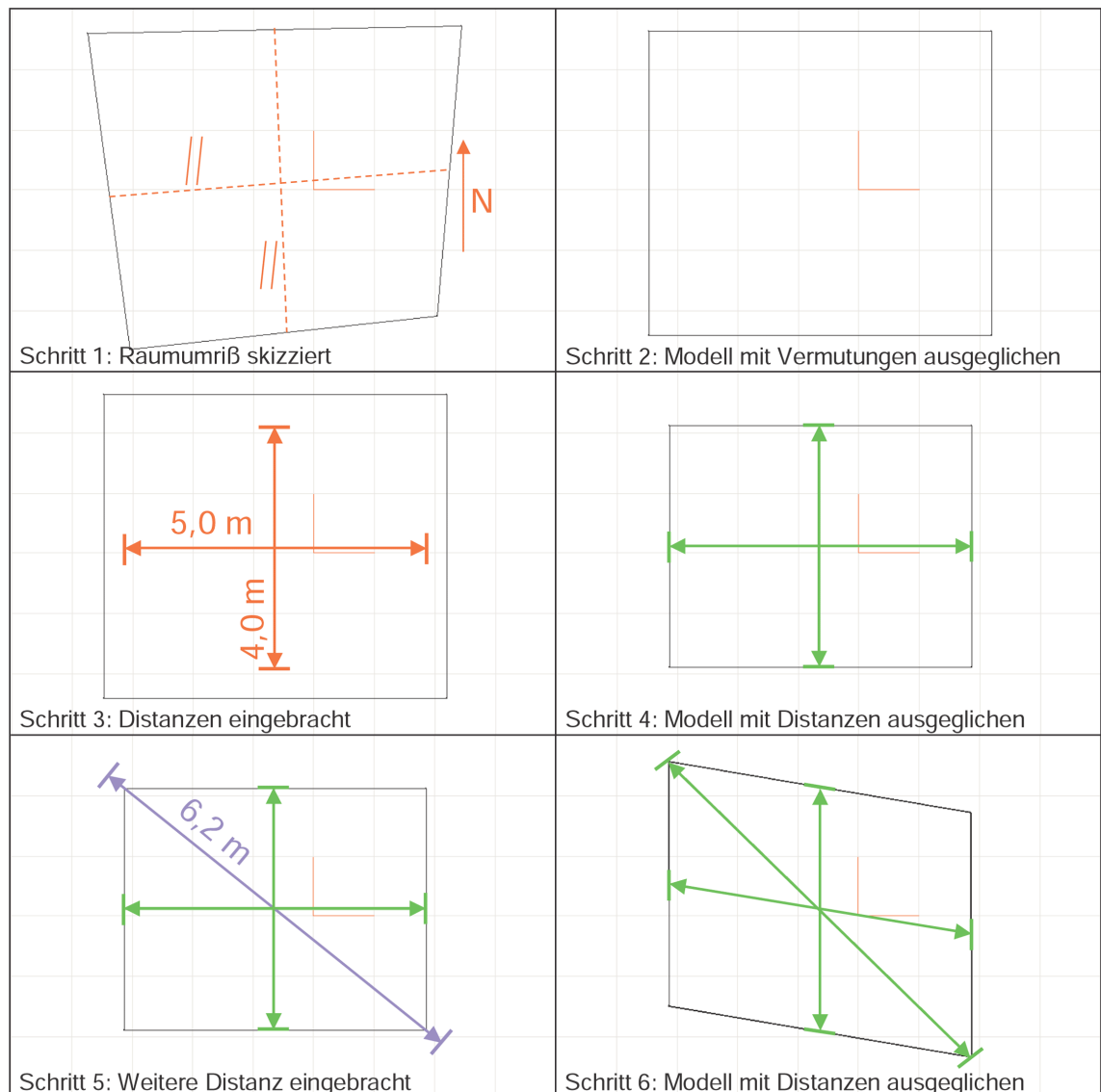


Abb. 5.6.: Schrittweise maßliche Anpassung eines Raumumrisses

Der Nutzer nimmt die Distanz zwischen den gegenüberliegenden Seiten auf (Schritt 3 (Abb. 5.6)). Das System visualisiert farblich die eingetragenen Messungen. Die Farbe der Messungen ist dabei abhängig von der Differenz der wirklich gemessenen Werte im Original und der gleichen Werte, welche im geometrischen Abbild zu finden sind. In Schritt 3 (Abb. 5.6) liegen im geometrischen Abbild die gegenüberliegenden Seiten des Raumes wesentlich weiter auseinander, als in der Realität gemessen wurde. Daher sind die Messungen rot dargestellt. Anschließend paßt das System das geometrische Abbild anhand

der erfaßten Messungen maßlich der Realität an (Schritt 4 (Abb. 5.6)). Aufgrund der Übereinstimmung der gemessenen Entfernungen im Original und nun im Abbild werden die Messungen grün dargestellt. In Schritt 5 (Abb. 5.6) wird eine Diagonalmessung eingeführt, bei welcher der Abstand zweier Eckkanten erfaßt wird. Die Messung widerspricht der bisherigen Annahme der Rechtwinkligkeit des Raumes. Da die Messung im Original einen größeren Betrag besitzt als im Abbild vorliegt, wird diese blau gekennzeichnet. Der Raum wird in diesem Widerspruch nach den Meßwerten verändert, die Abstraktion rechter Winkel wird ignoriert bzw. fallengelassen (Schritt 6 (Abb. 5.6)).

Das Beispiel illustriert, wie bei der schrittweisen Sammlung von Meßwerten das geometrische Abbild schrittweise der Realität angepaßt wird. Das geometrische Abbild kann mittels neu eingebrachter Messungen ständig verändert werden. Dieser Ansatz widerspricht einem konstruktiven Ansatz klassischer CAAD-Systeme, bei welchen eine Raum- oder Bauteilgeometrie direkt und unmittelbar durch den Nutzer mittels geometrischer Operationen modelliert wird. Der Nutzer kontrolliert das geometrische Abbild nicht mehr direkt.

Um so wichtiger ist bei diesem Ansatz, daß der Nutzer subjektiv die Kontrolle über das System behält. Möglich wird dies durch Maßnahmen wie die sofortige geometrische Anpassung der Geometrie nach der Einbringung eines Meßwertes. Fügt der Aufnehmende einen Meßwert ein, so muß sich die betroffene Geometrie, wenn gewünscht, sofort entsprechend ändern. Durch diese Änderungen erhält der Aufnehmende eine Rückkontrolle über die Geometrieänderungen. Erfolgen die Änderungen für den Nutzer erwartungsgemäß, so erhält der Aufnehmende eine gewisse Sicherheit in der Fortschreibung des Aufmaßprozesses. Auch die subjektive Wirkung des „unter Kontrolle behaltens“ des Aufmaßvorgangs dürfte hierbei eine wichtige Rolle spielen. Im Gegensatz dazu ist ein System, welches nur phasenweise Meßwerte sammelt und anschließend in einem Schritt Geometrieänderungen vornimmt, viel weniger nachvollziehbar. Die sofortige Geometrieänderung hat aber auch eine weitere sehr wichtige Funktion. Durch das visuelle Feedback des Geometriemodells können Meßfehler, welche beispielsweise durch Plausibilitätskontrollen nicht aufgedeckt werden können, eventuell sichtbar und **sofort** berichtigt werden. Eine spätere Aufdeckung von Meßfehlern ist immer von der Schwierigkeit geprägt, aus dem vorliegenden Datensatz den oder die fehlerhaften Meßwerte zu identifizieren. Bei bestimmten geometrischen Modellierungen kann jedoch auch eine bewußte Trennung der Datensammlung und anschließenden Ausgleichung von Vorteil sein, insbesondere bei der Anpassung sehr detaillierter Geometrieausschnitte, bei denen einzelne Anpassungen die Lage der Elemente zueinander „durcheinander“ bringen könnten. Der Aufnehmende muß letztendlich selbst entscheiden können, wie er vorgehen möchte.

Der beschriebene Ansatz wird bei Aufmaßsystemen wie Vitruvius oder Systemen des händischen Aufmaßes genutzt. Im Unterschied zu diesen Systemen sollen jedoch beliebige Aufmaßtechniken miteinander verbunden werden. Grundlage dafür ist die mathematische Formalisierung eines jeden Meßwertes. Gleichung 5.3 auf Seite 65 zeigte die mathematische Beschreibung der Distanz zwischen zwei Punkten. Nach dem gleichen Ansatz werden alle Messungen der verwendeten Aufmaßtechniken modelliert. Dabei geben bestimmte Messungen, wie die der Tachymetrie oder Photogrammetrie, nicht Einzelwerte, sondern eine Gruppe von Meßwerten zurück. So lassen sich alle tachymetrischen Aufmaßmethoden letztendlich auf die Messungen von Horizontal- und Vertikalwinkel zuzüglich der Distanzmessung zurückführen. Die Formeln 5.5 und 5.6 beschreiben den Horizontal- und den Vertikalwinkel einer tachymetrischen Messung. Der Punkt P_S steht dabei für den Standort des Tachymeters, P_i für den aufgenommenen Meßpunkt⁴.

$$d + v = |\vec{p}_i - \vec{p}_S|$$

⁴Eine genaue Betrachtung der Gleichungen erfolgt in Abschnitt 6.5.

$$Hz + v = \arctan2(p_{i_y} - p_{S_y}, p_{i_x} - p_{S_x}) - o + \nu \quad (5.5)$$

$$V + v = \arccos\left(\frac{p_{i_z} - p_{S_z}}{|\vec{p}_i - \vec{p}_S|}\right) + \nu \quad (5.6)$$

Durch die Kombination der unterschiedlichen Aufmaßtechniken und -methoden ergeben sich unterschiedliche Gleichungssysteme, welche aufzulösen sind. Dazu sind zwei Grundansätze denkbar:

1. eine analytische Auflösung der Gleichungssysteme
2. eine numerische Auflösung der Gleichungssysteme

Beide Techniken werden im Bereich der parametrischen Modellierung genutzt. Die Ausgleichsrechnung führt hingegen unterschiedliche, nichtlineare Gleichungen zusammen, indem diese linearisiert werden. Im vorliegenden Konzept wird die Ausgleichsrechnung genutzt, um Messungen verschiedener Aufmaßtechniken und -methoden sowie Abstraktionen miteinander zu vereinigen und Überbestimmungen aufzulösen (Abbildung 5.7). Der Ansatz bedingt jedoch das Vorhandensein von Näherungswerten beispielsweise für Variablen, welche zur Geometriebeschreibung genutzt werden.

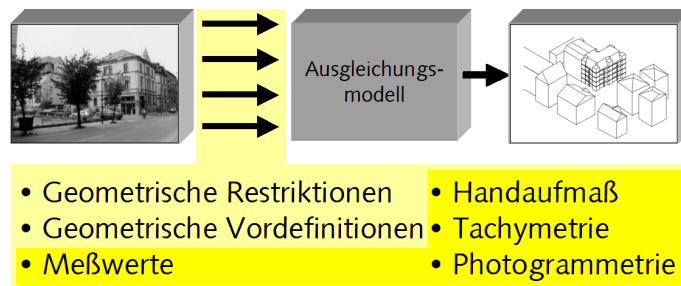


Abb. 5.7.: Zielstellung Ausgleichsrechnung

Die Nutzung von Näherungswerten zur Berechnung der Geometrie ist nicht nur aufgrund des gewählten Verfahrens der Linearisierung wesentlich. Messungen besitzen in ihrer Kombination oft mehrere geometrische Lösungen. Das folgende Beispiel soll dies verdeutlichen.

In einem dreidimensionalen Raum sind drei Fixpunkte mit unterschiedlichen Positionen gegeben. Nun soll die Lage eines vierten Punktes mittels Entfernungsmessung zu den drei Fixpunkten bestimmt werden. Nur mit der Kenntnis der drei Entfernungen ergeben sich aber zwei mögliche Lagen des vierten Punktes. Um diese Mehrdeutigkeit anschaulich zu machen, wurde sie in Abbildung 5.8 für den zweidimensionalen Raum illustriert. Im R^2 läßt sich die Lage eines Punktes durch die Kenntnis seiner Entfernungen zu zwei Fixpunkten bestimmen. Die Punkte P_1 und P_2 sind in diesem Fall Fixpunkte, die Lage von P_3 soll mittels der Distanzen zu P_1 und P_2 bestimmt werden. Zu sehen sind zwei mögliche Lagen von P_3 .

Mit Hilfe von Näherungswerten ausreichender Genauigkeit gibt der Nutzer automatisch die entsprechende Lösung vor. An dieser Stelle muß aber auch angeführt werden, daß ungünstige Netzwerke dazu führen können, daß die Ausgleichsrechnung von der eigentlichen Lösung „wegiteriert“. Eine ständige Manipulationsmöglichkeit der Geometrie durch den Nutzer ist daher zu fordern.

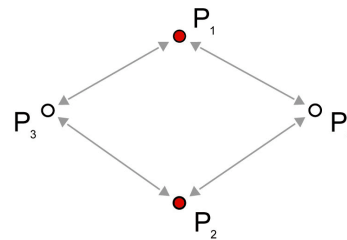
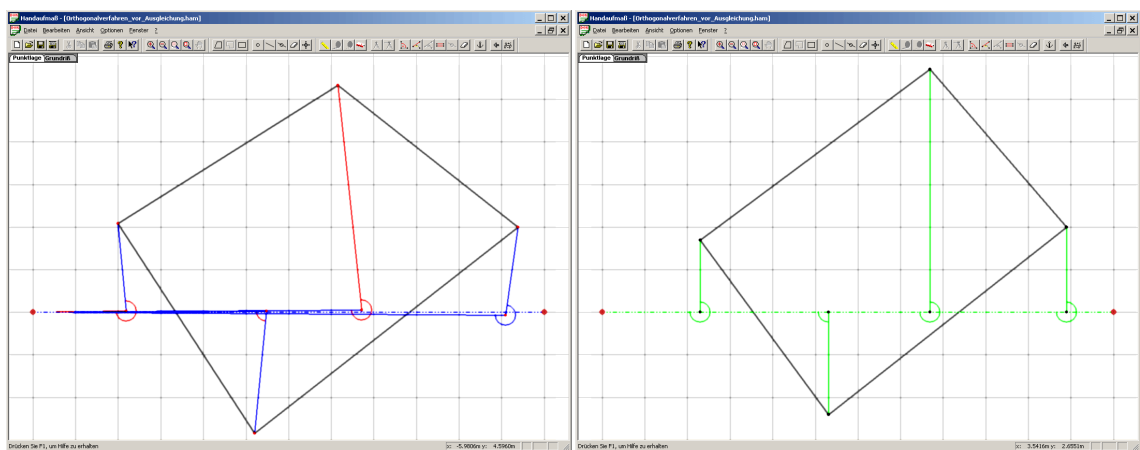


Abb. 5.8.: Mehrdeutigkeiten bei reinen Meßwerten

5.5.5. Modellierung von Messungen und Abstraktionen durch den Nutzer

Nachdem gezeigt wurde, wie der Computer unterschiedliche Messungen und Abstraktionen zusammenführen kann, ist zu zeigen, wie der Nutzer die Messungen dem Rechner überhaupt vermitteln kann. Systeme wie Vitruvius oder Lösungen im Sektor des Handaufmaßes arbeiten dazu grafisch orientiert mit Hilfe des skizzenbasiert erstellten geometrischen Abbildes. Der Aufnehmende modelliert die Aufmaßsituation nach. Diese Kommunikationsform eignet sich hervorragend zur Umsetzung des beschriebenen Ansatzes. Dem Nutzer wird über die Oberfläche der Applikationen die Möglichkeit gegeben, geometrische Elemente mit verschiedensten Messungen und Abstraktionen zu verknüpfen. Dazu gehören beispielsweise Distanzen zwischen Punkten, Kanten und Flächen, Winkelmessungen, Parallelitäten, Ablotungen usw., welche in den Abschnitten 6.3 bis 6.6 näher beschrieben werden. Die Abbildungen 5.9 und 5.10 zeigen als Beispiele am Prototypen Handaufmaß98 (siehe Abschnitt A.2 und [Thurrow97]), wie mit dieser Methode beispielsweise händische Aufmaße mittels Orthogonalverfahren und Einbindeverfahren modelliert werden können. Zu sehen ist links die skizzenbasierte Modellierung der Aufmaßsituation und rechts die maßliche Rekonstruktion des geometrischen Abbildes.



Teilbild 1: Erzeugte Skizze

Teilbild 2: Ausgeglichene Skizze

Abb. 5.9.: Beispiel für die Anwendung des Orthogonalverfahrens vor und nach Ausgleichung

In der Regel wird in der Phase der Geometrieerstellung die Geometrie des Bauwerkes abstrakter wahrgenommen und modelliert. Während der Aufnahme vor Ort fallen geometrische Details auf, welche in den früheren Phasen im Rahmen der Geometrieerstellung nicht modelliert wurden. Daher besteht die Notwendigkeit einer nachträglichen Detaillierung des geometrischen Abbildes. Problematisch an der Detaillierung sind jedoch bereits

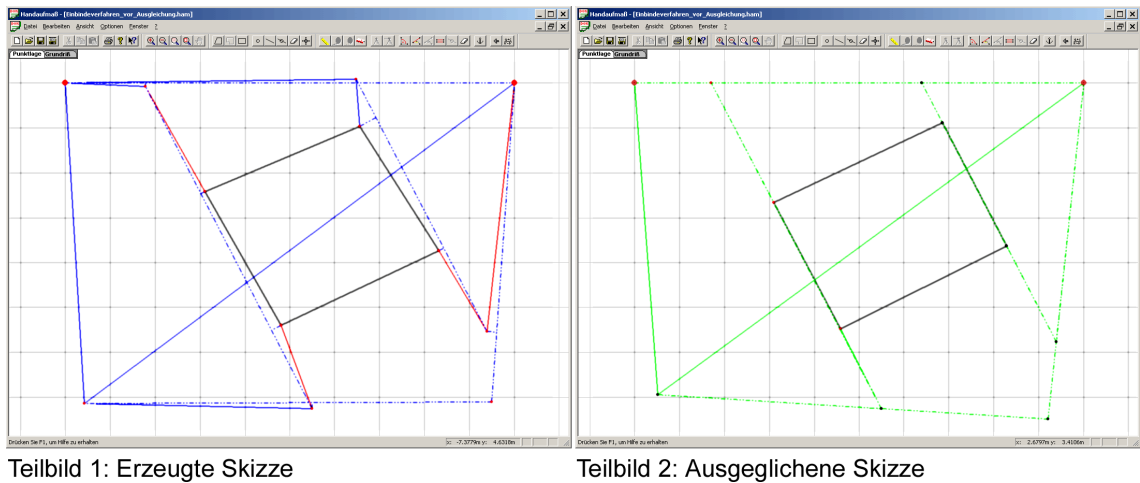


Abb. 5.10.: Beispiel für die Anwendung des Einbindeverfahrens vor und nach Ausgleichung

mit den geometrischen Elementen verknüpfte Daten, z.B. bereits erfasste Messungen oder Sachdaten. Es sind in diesem Fall Umstrukturierungen nötig, bereits erfasste Daten müssen „umgegangen“ werden. Abschnitt 7.5 geht auf diese Problematik näher ein.

Bei den bisherigen Betrachtungen wurde davon ausgegangen, daß der Nutzer das geometrische Abbild beispielsweise eines Raumes zunächst skizzenbasiert erstellt und anschließend detailliert und maßlich erfaßt hat. Diese Vorgehensweise darf jedoch nicht erzwungen werden. Insbesondere bei komplexen Geometrien kann der Nutzer durchaus eine andere Vorgehensweise wünschen, beispielsweise die geometrische Erstellung von Elementen und ihr Aufmaß in einem Schritt. Als Beispiel wird an dieser Stelle das Handaufmaß gewählt. Abbildung 5.11 zeigt ein mögliches Aufmaß eines Raumes. Zu sehen ist, wie die Abbildung einer jeden Wandoberfläche mit der Messung ihrer jeweiligen Länge einher geht. Diese Vorgehensweise ist stark an eine konstruktive Geometriemodellierung angelehnt. In jedem Einzelschritt werden geometrische Elemente erzeugt und gleichzeitig mit Meßwerten versehen. Bis zur Schließung der Raumumgrenzung ist die Geometrie dabei inkonsistent! Eine echte Geometrieconstruction liegt in dem gezeigten Beispiel allerdings nicht vor. Bis zu Schritt 1b wurde die geometrische Abstraktion rechter Winkel zugrunde gelegt, im Schritt 1c aber durch eine Diagonalmessung verworfen und die Gesamtgeometrie korrigiert.

Die genannte Vorgehensweise ist als ein Spezialfall des Ansatzes von der Skizze zum Modell anzusehen. Alle angegebenen Meßwerte bezogen sich stets auf geometrische Elemente, welche im jeweiligen Schritt vor dem Meßwert selbst modelliert wurden. Abweichend ist jedoch die während der Erstellung der Geometrie auftretende Inkonsistenz, welche in einer implementativen Umsetzung entsprechend zu berücksichtigen ist und weitere Bedingungen an die Eigenschaften des zugrundeliegenden Geometriemodells stellt.

Daß die bei der genannten Vorgehensweise entstehende Geometrie keineswegs unveränderlich ist, zeigt Schritt 1c. Das Alternativbeispiel 2a bis 2e macht deutlich, daß auch die Vorgehensweise der Erfassung keinesfalls eindeutig ausfallen muß.

5.5.6. Grenzen des Ansatzes

Die Einführung von Abstraktionen und ihre automatische Erkennung kann insbesondere das Handaufmaß wesentlich vereinfachen. Jedoch zeigt sich hier auch ein besonderer Nachteil des Verfahrens. Treten im geometrischen Abbild Widersprüche zwischen Abstraktionen

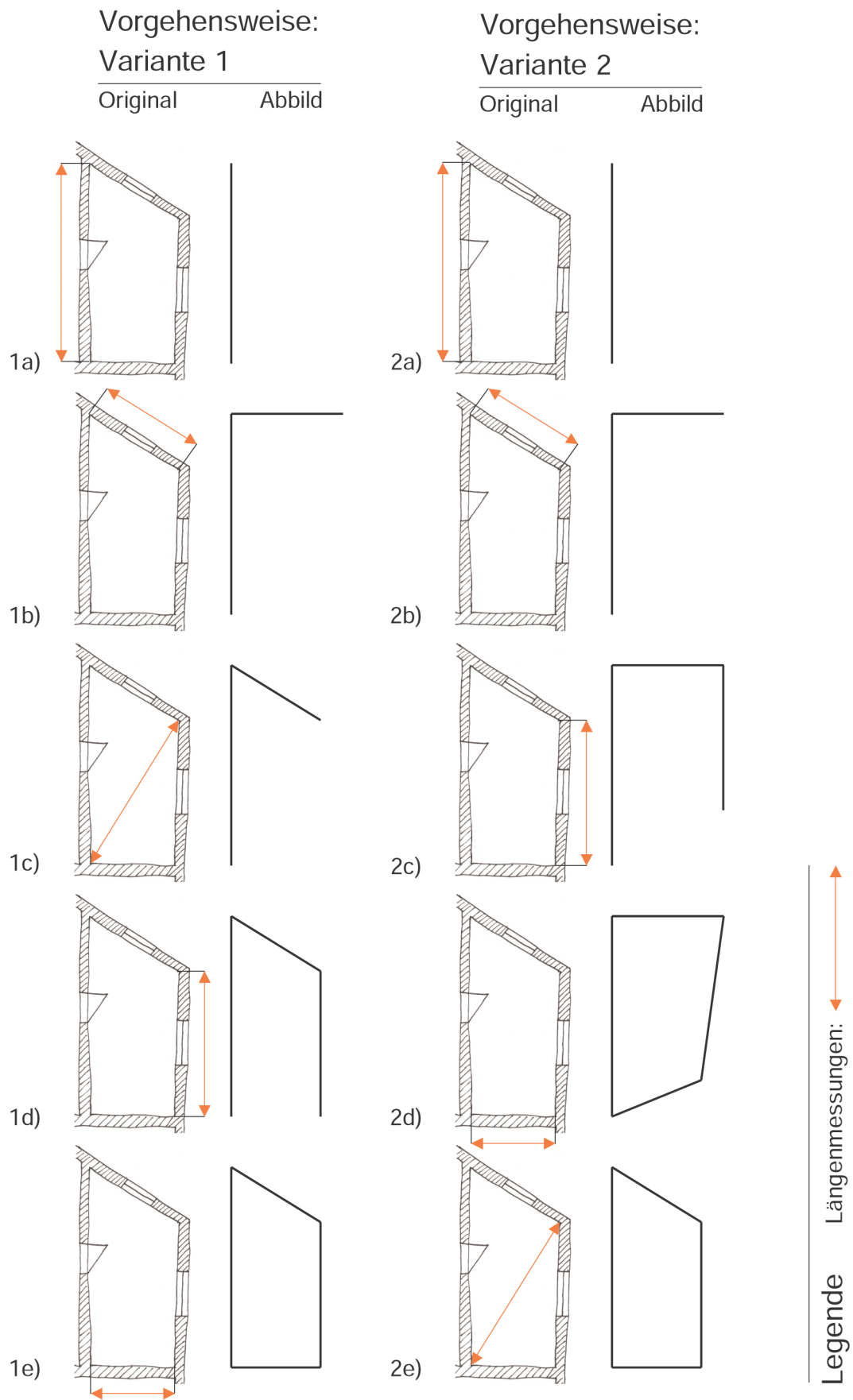


Abb. 5.11.: Geometrieerstellung und -aufmaß in jeweils einem Schritt

und Meßwerten auf, so können diese sehr leicht zu Verschmierungen führen. Auch erweisen sich die sehr unterschiedlich gewichtete Beobachtungen u.a. numerisch als problematisch. Der Ansatz sollte daher so weiterentwickelt werden, das Beobachtungen in mehreren Stufen als quasi Haupt- und Nebenbedingungen gruppiert werden können.

Wie gezeigt wurde, ist die Aufdeckung von Widersprüchen zwischen Abstraktionen elementar. Andere Ansätze beschreiben Abstraktionen nicht mittels Pseudobeobachtungen, sondern beispielsweise mit Hilfe von Datenstrukturen (siehe [Gielsdorf02]). Dieser Ansatz erlaubt eine deutliche Reduktion der Unbekannten und damit der Gleichungssysteme sowie eine exakte Einhaltung der mittels der Datenstrukturen beschriebenen Abstraktionen. Das Problem der Erkennung von Abstraktionen bleibt dabei genauso bestehen.

5.6. Bauteilextraktion

In den vergangenen Kapiteln wurde gezeigt, wie schrittweise ein geometrisches Abbild eines Bauwerkes erzeugt werden kann. Das geometrische Abbild wurde dabei während der Geometrierstellung bereits mit Raumobjekten verbunden. Auch besitzen die Oberflächen des geometrischen Abbildes durch Flächenobjekte eine Semantik. Über die Raumobjekte können räumlichen Volumen Informationen zugewiesen werden, über die Flächenobjekte den einzelnen Flächen des geometrischen Abbildes.

Das geometrische Abbild formt in seiner Summe die Oberfläche des Baukörpers. Sein innerer Aufbau muß daher vom Aufnehmenden indirekt erschlossen werden. Der Aufnehmende generiert Bauteilobjekte, welche die konstruktiven Elemente des Baukörpers repräsentieren. Dabei sind unterschiedliche Problematiken zu bedenken:

1. Bauteile müssen zueinander keine klar abgegrenzte Geometrie besitzen. Auch läßt sich die Geometrie einzelner Bauteile des Baukörpers nicht zuverlässig klären. Es muß daher möglich sein, die Geometrie von Bauteilen auch unvollständig abzubilden.
2. Der Aufnehmende muß die Möglichkeit besitzen, den Baukörper in einzelne Volumen zu unterteilen, wenn er bekannte, vermutete oder definierte Bauteilgrenzen oder Materialübergänge abbilden will.
3. Das Wissen über den konstruktiven Aufbau des Baukörpers ist von Interpretationen und Vermutungen des Aufnehmenden geprägt. Diese können sich im Verlauf der Bauaufnahme bestätigen oder als falsch erweisen. In diesem Fall sollte eine Neuordnung eines Bauteilobjektes zur Geometrie möglich sein, wie auch eine Korrektur der Geometrie. Diese Anforderungen bestehen auch durch eine fortschreitend detailliertere Betrachtungsweise des Bauwerkes. Durch diese wächst der Anspruch der Detaillierung der Geometrie wie auch ihrer Formalisierung durch geometrische Parameter.

U.a. in Abschnitt 4.6 wurde erläutert, daß der Nutzer im Rahmen einer planungsrelevanten Bauaufnahme auch die Möglichkeit besitzen muß, selbst Bauteiltypen zu erstellen und zu modifizieren. Die Eigenschaften der Bauteiltypen sind dabei vom Verwendungszweck der Bauaufnahme, den Eigenschaften des aufzunehmenden Bauwerkes und der persönlichen Prägung des Aufnehmenden abhängig. Aufgrund der oben aufgestellten Forderungen muß es möglich sein, den einzelnen Bauteilen der nutzerseitig erstellten Bauteiltypen eine sehr variable, auch unvollständige Geometrie, welche bereits existent ist, zuzuordnen. Bei dieser Zuordnung müssen geometrische Parameter der Bauteile schon existenten Geometrieelementen zugeordnet werden. Diese Zuordnung muß nutzerseitig so einfach wie möglich

erfolgen. Auch hier ist zu beachten, daß Algorithmen, welche die Zuordnung unterstützen, mit nutzerseitig erstellten Bauteiltypen arbeiten müssen, die zur Zeit der Erstellung der Algorithmen noch nicht bekannt sind.

5.7. Prinzip des offenen Aufmaßsystems

Ein Bauaufmaß kann nicht in eine starre Vorgehensweise „gezwängt“ werden. Es ist, bedingt durch die quasi unendliche Vielfalt der möglichen anzutreffenden Aufmaßobjekte und -situationen sowie dem jeweiligen individuellen Zweck der Bauaufnahme und der dadurch unterschiedlichen Anforderungen an die zu erfassenden Daten, zu bezweifeln, daß alle möglichen konkreten Aufmaßszenarien vorzudenken sind.

Ebenfalls werden die Aufmaßgeräte ständig weiterentwickelt. Auch wenn eher selten neue Aufmaßtechniken für die Bauaufnahme verfügbar werden, wächst die Menge möglicher Aufmaßmethoden und Verifikationstechniken. Als Beispiel seien die Entwicklungen von reflektorlos arbeitenden, teilweise motorisierten Tachymetern und von digitalen Meßkamern (Photogrammetrie) genannt.

Ein weiterer Punkt ist die Erweiterung der Nutzerunterstützung durch Assistenten, welche die Bearbeitung sehr spezifischer Aufgabenstellungen unterstützen. Monolithische Systeme sind diesen Ansprüchen nicht gewachsen. Alle erdenklichen Problemfelder müßten hier vorgedacht und umgesetzt werden.

Aus diesen Gründen wird vom Lehrstuhl die Forderung nach einem offenen, erweiterbaren Aufmaßsystem gestellt [Donath03]. Dieses System besteht aus einer Menge von erweiterbaren Werkzeugen, den Tools, welche auf einer gemeinsamen Plattform integriert werden. [Petzold01] stellt in seiner Arbeit ein hypothetisches System vor, das diesem Ansatz entspricht. Das Konzept geht u.a. von einer Menge von Tools aus, welche jeweils einen bestimmten Aspekt der Bauaufnahme unterstützen.

Die verschiedenen Tools arbeiten auf einer gemeinsamen Datenbasis. Sie dient der Verwaltung und persistenten Speicherung der Daten. Die Tools greifen auf identische Daten gleichzeitig zu. Abbildung 5.12 zeigt dazu verschiedene Tools, welche gleichzeitig mit einem Gebäudemodell arbeiten. Zu sehen ist unter anderem die unterschiedliche Visualisierung der Gebäudegeometrie. Sie wird von verschiedenen Tools sowohl grundrißorientiert als auch durch Zentralperspektive dargestellt.

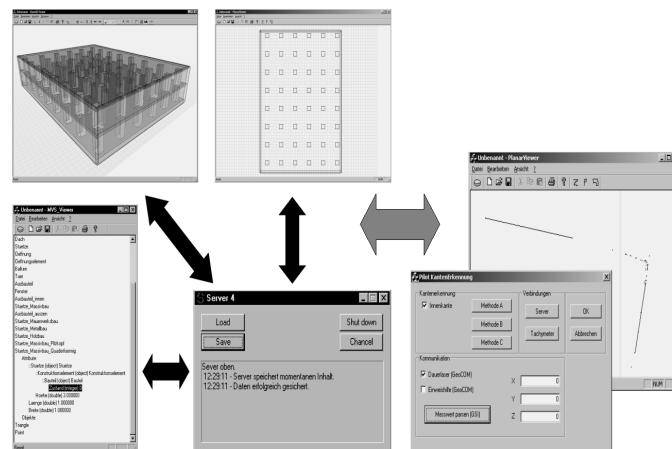


Abb. 5.12.: Verschiedene Tools mit gemeinsamer Datenbasis

Die verschiedenen Tools dienen der Bereitstellung von Werkzeugen, welche den Nutzer in allen Phasen der Bauaufnahme, von der Erstbegehung bis zum Übergang in die Planungsphase, begleiten können. Sie setzen auf verschiedenen Modellen auf, die eng miteinander verzahnt sind. Neue Tools können dabei auch neue Modelle einbringen. Die grundlegendsten Modelle sind dabei:

- Modellverwaltungssystem
- Ausgleichungsmodell
- Geometriemodell

Mit ihrer Hilfe wird es ermöglicht, Objekte und Ordnungsstrukturen nutzerspezifisch zur Laufzeit zu generieren und zu modifizieren sowie mit Dokumenten und geometrischen Informationen zu verbinden. Im folgenden Kapitel werden die Modelle einzeln betrachtet. Kapitel 7 zeigt anschließend ihre Verzahnung miteinander auf.

5.8. Einwände und Grenzen der Vision

Ein Kritikpunkt kommerzieller Lösungen war die Notwendigkeit, bei der Modellierung von Räumen die sie begrenzenden Bauteile generieren zu müssen. Bei dem beschriebenen Ansatz beginnt der Nutzer jedoch mit der Modellierung der Geometrie von Räumen und gliedert, falls nötig, den durch die Menge der Räume und des Äußeren sich ergebenden Baukörper in Bauteile. Nun können aber bestimmte Bauteile, wie Stützen, Fenster, Türen, bestimmte Träger usw., sofort vom Aufnehmenden erkannt werden. Wird dem Aufnehmenden nun nicht wieder eine bestimmte Vorgehensweise aufgedrängt: die vom Raum zum Bauteil? Dazu kann ausgesagt werden, daß der Aufnehmende mit der Modellierung der Geometrie von Räumen starten kann. Er kann aber auch erkannte Bauteile direkt modellieren bzw. einbringen.

Die Anpassung der Geometrie erfolgt bei dem beschriebenen Ansatz indirekt über die Ausgleichungsrechnung, die das geometrische Abbild des Bauwerkes beim Einfügen einer Messung, beispielsweise in einem einzelnen Raum, global verändert. Die Gefahr solcher globalen Veränderungen ist bekannt. Wird dem Aufnehmenden auf diese Weise nicht eine bestimmte Arbeitsweise aufgezwungen, auch dann, wenn er keine globalen Geometrieänderungen wünscht? Dazu kann ausgesagt werden, daß dies nur bedingt zutrifft. Der Nutzer kann die Geometrie auch direkt manipulieren, also Punkte, Kanten, Flächen bewegen. Durch ein konstruktives Tool, welches nach der klassischen Geometriemodellierung von CA(A)D-Anwendungen arbeitet, kann der Nutzer die Geometrie direkt ohne Meßwerte modellieren. Eine solche direkt erstellte Geometrie kann anschließend als Block behandelt werden, welcher durch ihn einbeziehende Messungen global nur verschoben und ausgerichtet wird, sich in seiner Geometrie jedoch nur bedingt verändert⁵. Sie kann auch völlig „eingefroren“ und so von jeglicher Veränderung ausgenommen werden.

Wird dem Aufnehmenden eine bestimmte Aufmaßstrategie aufgezwungen? Dazu kann geantwortet werden: Im Vordergrund des beschriebenen Ansatzes liegt gerade die Absicht, den Aufnehmenden selbst die Vorgehensweise bestimmen zu lassen. Dazu einige Beispiele: Der Aufnehmende **kann** bei einer Erstbegehung einzelne Räume oder das gesamte Gebäude auf Skizzenlevel modellieren und später während des Aufmaßes maßlich anpassen.

⁵Die bedingten Änderungen resultieren aus Gewichtungen von Pseudobeobachtungen, welche die Geometrie des Blocks in sich erhalten.

Er kann aber auch während des Aufmaßes in der Art raumweise vorgehen, daß er jeden Raum einzeln skizziert und sofort einmißt. Welche Aufmaßtechnik er einsetzt, ist ihm überlassen. Er kann die Geometrie von Räumen vollständig, überbestimmt oder unterbestimmt einmessen. Er kann Messungen beliebig einfügen, es wird keine Aufmaßstrategie vorgeschrieben. Er kann Messungen jederzeit ergänzen. Auch in einer bereits maßlich ausgeglichenen Umgebung können jederzeit neue Räume oder Bauteile hinzugefügt und / oder vermessen werden.

6. Teilmodelle des mitwachsenden Geometriemodells

Nachdem in Kapitel 5 das Konzept eines mitwachsenden Geometriemodells für die computergestützte Bauaufnahme aus globaler Sicht vorgestellt wurde, betrachtet dieses Kapitel in detaillierter, isolierter Form Teilmodelle, welche in ihrer Gesamtheit das mitwachsende Geometriemodell formen. Diese Teilmodelle sind:

- Geometriemodell
- Ausgleichungsmodell
- dynamisches Bauwerksmodell

6.1. Geometriemodell und Sichten

Zu den Aufgabenstellungen des Geometriemodells gehört die Haltung des geometrischen Abbildes des aufzunehmenden Bauwerkes und die Bereitstellung der nötigen geometrischen Operationen, um dieses Abbild schrittweise modellieren zu können. Das verwendete Geometriemodell bestimmt damit, welche Eigenschaften das geometrische Abbild überhaupt besitzen kann und welche geometrischen Operationen auf diesem auszuführen sind. Die Informatik hat in ihrer Entwicklung eine Vielzahl unterschiedlicher Geometriemodelle hervorgebracht. In vielen Fällen sind diese Modelle den jeweiligen Erfordernissen der Zielapplikationen angepaßt.

Die vorliegende Arbeit geht von der dreidimensionalen Abbildung eines Gebäudes aus. Die Gruppe der dreidimensionalen Modelle kann in Linien-, Flächen- und Volumenmodelle eingeteilt werden. Der Bereich der Volumenmodelle wird von [Grätz89] untergliedert in BRep- (Boundary Representation), CSG- (Constructive Solids Geometry), Hybrid- und Zellmodelle, sowie andere Modelle. BRep-Modelle beschreiben ein Volumen mit Hilfe seiner Grenzflächen. CSG-Modelle nutzen eine feste, vordefinierte Menge an Grundkörpern, wie Kugel, Quader, Zylinder usw., um aus diesen durch Volumenoperationen neue Formen zusammensetzen. Zellmodelle können quasi als Übertragung des Pixelmodells in den Raum verstanden werden. Es wird eine kleine Raumeinheit eingeführt, Voxel genannt. Ein Volumen besteht aus einer Menge dieser Voxel. Der Raum wird dabei quasi gerastert. Der Begriff der hybriden Modelle wird hingegen für unterschiedliche Modelle verwendet, welche verschiedene Repräsentationen miteinander verknüpfen ([Anderl03]).

Das zerstörungsarme bzw. -freie Bauaufmaß bezieht seine Informationen in erster Linie über die sichtbaren Oberflächen des Bauwerkes. Die Gesamtheit aller sichtbaren Oberflächen definiert das Volumen des Baukörpers, welches sich durch das Hinzufügen von Trennflächen in die Volumen der einzelnen Bauteile gliedern läßt. Die Einzelvolumen werden mittels der bekannten oder vom Nutzer festgelegten Flächen bestimmt. Aus dieser Grundüberlegung heraus erscheint die Verwendung von BRep-Modellen besonders geeig-

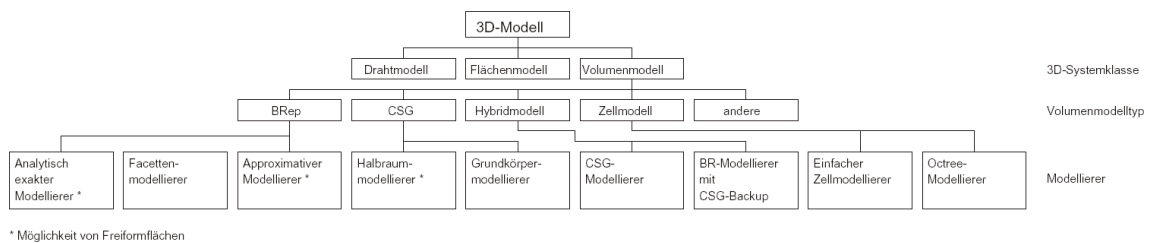


Abb. 6.1.: Überblick über 3D-Modelle (nach [Grätz89])

net, da diese Volumen über ihre Grenzflächen definieren und ein Wechsel zwischen Flächen- und Volumenmodell sehr einfach zu realisieren ist¹.

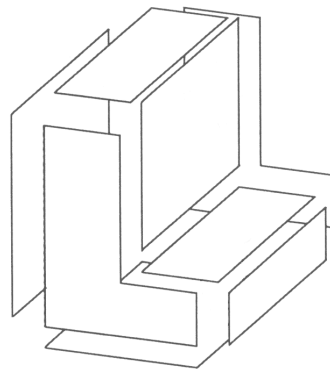


Abb. 6.2.: Facettenmodell

Im Gegensatz zur Bauplanung findet der Aufnehmende keine perfekten geometrischen Grundelemente wie Kugel, Quader oder Zylinder vor. Vielmehr ist jede geometrische Ausprägung genau betrachtet individuell. Bedingt durch das Wissen und die Erfahrungen des Aufnehmenden wählt dieser, bewußt oder unbewußt, eine dem jeweiligen Objekt angemessene Abstraktionsstufe. Unter normalen Umständen würde der Aufnehmende beispielsweise einen Hohllochziegel geometrisch als Quader abstrahieren, da er weiß, daß funktionsbedingt kleine Formschwankungen und die inneren Röhren keiner Abbildung bedürfen. Auch findet sich in der Realität keine hundertprozentig planare Oberfläche, obwohl in der absoluten Mehrheit der Fälle die vorgefundenen Flächen als solche abstrahiert werden können und sollen.

In anderen Fällen ist eine Modellierung als Freiform erforderlich. Man denke hierbei besonders an den Altbau. Aber auch moderne Bauwerke, insbesondere Stahlbetonkonstruktionen, ließen sich besonders gut mit Freiformflächen approximieren.

[Grätz89] untergliedert BRep-Modelle nach analytischen, approximativen und facettierten BRep-Modellen. Analytische BRep-Modelle arbeiten mit einer Menge von analytischen Flächen. Facettenmodelle nutzen lediglich planare Oberflächen, approximative Modelle genau eine Art von Freiformflächen.

Die Verwendung eines approximativen Modells wäre zunächst besonders wünschenswert. Eine planare Oberfläche läßt sich auch mit einer Freiformfläche sehr einfach modellie-

¹Hinzu kommt der Umstand, daß die Einzelflächen des Flächenmodells von anderen Modellen referenziert werden. Würde die Modellierung der Volumen nicht direkt auf diesen Flächen aufbauen, müßten die Verweise auf die Flächen entsprechend intelligent „umgehen“ werden.

ren. Zusätzlich kann das Modell jedoch auch jede andere Oberflächenform, die überhaupt vorkommen könnte, approximieren. Durch die Verwendung nur einer Art von Freiformflächen ist die Komplexität des Modells wesentlich einfacher als beispielsweise bei einem analytischen Modell. Schwieriger ist hingegen die Umsetzung von beispielsweise Volumenoperationen.

Die vorliegende Arbeit betrachtet zunächst nur die Verwendung eines Facettenmodellers, welcher vornehmlich für die Abbildung von Geometrien mit planaren Oberflächen geeignet ist, gleichwohl diese Einschränkung nur als „sicheres Umfeld der ersten Schritte“ verstanden werden kann (siehe Abbildung 6.2). Der Facettenmodeller bildet alle Oberflächen aus (ebenen) Polygonen. Die Oberflächen werden jedoch die überwiegende Zeit nur in einem Flächenmodell gehalten. Der Facettenmodeller dient nur zur Definition von Volumen, wenn diese tatsächlich vom Nutzer definiert werden.

Aus Gründen, welche im Abschnitt 7.3.6 erläutert werden, ist es erforderlich, die Oberflächen des Modellers beliebig zerlegen zu können. Im Beispiel des Facettenmodellers bedeutet dies, daß jedes Polygon in beliebig viele Polygone zerlegbar sein muß.

In vielen Fällen der Bauaufnahme werden als Ergebnis des Bauaufmaßes Grundrißpläne gewünscht bzw. sind in erster Linie 2D-Informationen gefordert. Sollte daher nicht ein 2D-Geometriemodell genutzt oder gar zeichenorientiert vorgegangen werden? Diese Frage ist schwer zu beantworten. Die Verwendung eines 3D-Geometriemodells, welches nur mit 2D-Geometrieinformationen gefüllt wird, bietet verschiedene Vorteile, die in der vorliegenden Arbeit zu einer Entscheidung zugunsten eines 3D-Geometriemodells führten. Der Nutzer kann beispielsweise 3D-Aufmaßtechniken, wie die Tachymetrie, „sauber“ in das Modell abbilden. Aber auch wenn das Modell tatsächlich mit reinen 2D-Informationen gefüllt wird, besteht für die Zukunft die Möglichkeit, dieses durch Hinzufügung von Informationen auch dreidimensional maßlich anzupassen. Problematisch dagegen ist die Frage der Darstellung nicht vorhandener Informationen. Der Nutzer sieht ein Geometriemodell, welches aber nur im Zweidimensionalen mit der Realität übereinstimmt. Genau das ist dem Modell aber in der Regel nicht anzusehen. Es spiegelt das Vorhandensein von mehr geometrischen Informationen vor, als es der Fall ist. Dieses Problem ist eng verwandt mit einem Problem der Genauigkeitskontrolle durch den Nutzer in Abschnitt 6.9. Im Rahmen dieser Arbeit wird dennoch der Einsatz eines 3D-Geometriemodells favorisiert, da dieses auch in späteren Phasen für ein 3D-Aufmaß weiterentwickelt werden kann und sich, wie erwähnt, Messungen sehr realitätsnah abbilden lassen.

Die Akzeptanz für dreidimensionales Arbeiten ist in Architekturreisen sehr gering. Der Mehraufwand dreidimensionaler Geometrieerstellung erscheint der Zielgruppe im Vergleich zum erreichten Nutzen als ungünstig, die Handhabung zu kompliziert. Ein Ausweg aus diesem Widerspruch wird in der Nutzung von Sichten gesehen. Als Sichten sind in diesem Abschnitt die Repräsentationen des computerinternen Geometriemodells und ihre Interaktionsmechanismen zu verstehen.

Grundrißorientierte Sichten auf ein Bauwerk lassen dieses auf anschauliche Art und Weise erkennen. Nicht umsonst nutzen beispielsweise Computerspiele mit dreidimensionalen Welten häufig Übersichtskarten. Die Navigation und Interaktion auf diesen sind besonders einfach. 3D-Darstellungen ermöglichen dagegen kompliziertere räumliche Manipulationen, etwa das Einfügen bestimmter Öffnungen oder das Kippen von Flächen. Abbildung 6.3 zeigt zwei Tools der Experimentalplattform Freak (Abschnitt A.5), welche die Geometrie eines Bauwerks grundrißorientiert und mittels Zentralperspektive darstellen.

Daß eine Interaktion über eine grundrißorientierte Sicht prinzipiell kein Problem darstellt, sei an dieser Stelle nur kurz angeführt (siehe [Donath88]). Die Generierung von z.B. Raumumgrenzungen ist sehr einfach. Der Nutzer gibt einen geschlossenen Polygonzug vor. Mit

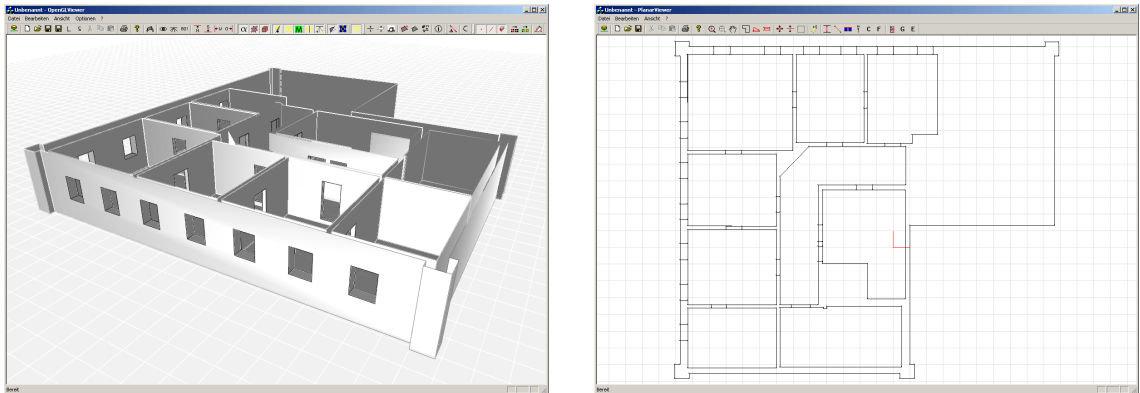


Abb. 6.3.: 3D-Sicht und grundrißorientierte Sicht (Plattform Freak, siehe S. 151)

Hilfe von Standardvorgaben für den unteren und oberen Abschluß können alle den Raum begrenzenden Flächen generiert werden. Verschiebeoperationen können beispielsweise so gestaltet werden, daß in einem Fangbereich alle Objekte gleichen Typs, egal, welche Höhenlage sie besitzen, gleichzeitig manipuliert werden. Auf diese Weise erfolgen die indirekten Manipulationen im 3D-Geometriemodell für den Anwender über seine grundrißorientierte Sicht sehr erwartungstreu. Das Zusammenwirken der Sichten kann mittels der Tools „PlanarViewer“ und „OpenGLViewer“ der Experimentalplattform „Freak“ (siehe Abschnitt A.5) erprobt werden.

6.2. Die Ausgleichsrechnung

Die Ausgleichsrechnung, in der Literatur auch unter dem Begriff Ausgleichsrechnung zu finden, dient der Lösung überbestimmter Gleichungssysteme. Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf Ausgleichsmodelle der Geodäsie. [Luhmann00] beschreibt die Aufgabe dieser Modelle wie folgt:

„Im allgemeinen besteht die Aufgabe darin, aus einer Anzahl beobachteter (z.B. gemessener) Größen eine Anzahl unbekannter Parameter zu bestimmen, die in einem funktionalen Zusammenhang mit den Beobachtungen stehen. Liegen mehr Beobachtungen vor als zur Bestimmung der Unbekannten notwendig sind, kann keine eindeutige Lösung mehr bestimmt werden und es erfolgt eine Schätzung der Parameter in funktionalen und stochastischen Modellen.“

Der klassische Ansatz der Ausgleichung ist die Methode der kleinsten Fehlerquadrate, der v^2 -Ansatz. Dieser Ansatz läßt sich direkt aus der Statistik ableiten und liefert für Meßwerte, welche lediglich zufälligen Abweichungen unterworfen sind, ideale Ergebnisse. Problematisch für den v^2 -Ansatz sind dagegen Ausreißer in den Beobachtungen, welche zu „Verschmierungen“ führen. Es erweist sich als schwierig, einen v^2 -Ansatz robust zu gestalten.

Durch den Computer werden für den Menschen zu rechenintensive Ansätze möglich. Zu diesen gehört u.a. die v^1 -Ausgleichung ([Kampmann89]). Der v^1 -Ansatz zeichnet sich durch seine Robustheit aus und erreicht mittels Simplex-Algorithmus auf Computern optimale Berechnungszeiten. Da auf dem Gebiet des v^1 -Ansatzes jedoch noch viel Entwicklungsarbeit nötig ist – und auch aktuell erfolgt – orientieren sich die folgenden Ausführungen

an dem klassischen v^2 -Ansatz. Für eine praktische Umsetzung sollte auf jeden Fall eine v^1 -Ausgleichung gewählt und entsprechende Weiterentwicklung getätigt werden.

Zunächst sind die Begriffe der funktionalen und stochastischen Modelle zu klären. Die im Folgenden aufgeführten Notationen und Gleichungssysteme sind [Luhmann00] entnommen.

6.2.1. Funktionales Modell

Das *funktionale Modell* beschreibt den Zusammenhang zwischen einer Menge von Beobachtungen (z.B. Meßwerten) und / oder Bedingungen mit einer Menge von Unbekannten. Der Zusammenhang zwischen Beobachtungen und Unbekannten wird in der Modellmatrix, allgemein als A-Matrix gekennzeichnet, beschrieben, während die Beziehungen zwischen Bedingungen und Unbekannten in der B-Matrix modelliert werden.

Die Beobachtungen werden in Form von Verbesserungsgleichungen² modelliert, deren Form je nach Ausgleichungsmodell variiert. Die folgenden Erläuterungen erfolgen anhand der Form der Verbesserungsgleichungen nach dem Modell der vermittelnden Ausgleichungen. Gegeben ist dabei ein Beobachtungsvektor L mit n Beobachtungen in der Form:

$$L = (L_1, L_2, \dots, L_n)^T \quad (6.1)$$

Gesucht werden u Unbekannte, zusammengefaßt als Beobachtungsvektor X :

$$X = (X_1, X_2, \dots, X_u)^T \quad (6.2)$$

Das funktionale Modell beschreibt den Zusammenhang zwischen den „wahren“ Werten der Beobachtungen \tilde{L} und den „wahren“ Werten der Unbekannten \tilde{X} in Form von n Funktionen, die in dem Funktionenvektor φ zusammengefaßt werden:

$$\tilde{L} = \varphi(\tilde{X}) = \begin{bmatrix} \varphi_1(\tilde{X}) \\ \varphi_2(\tilde{X}) \\ \vdots \\ \varphi_n(\tilde{X}) \end{bmatrix} \quad (6.3)$$

Die wahren Werte der Beobachtungen sind in der Regel nicht bekannt und werden durch die tatsächlichen Beobachtungen L und die Verbesserungen v ersetzt. Ebenso lassen sich nicht die wahren Unbekannten ermitteln, sondern die geschätzten (ausgeglichenen) Unbekannten \hat{X} :

$$\hat{L} = L + v = \varphi(\hat{X}) \quad (6.4)$$

Die meisten Ausgleichungsverfahren arbeiten erst mit bereits hinreichend genau gegebenen Näherungswerten der Unbekannten zuverlässig. Die Differenz zwischen den gegebenen Näherungswerten X^0 und den zu ermittelnden geschätzten Unbekannten \hat{X} wird als Vektor \hat{x} bezeichnet:

$$\hat{X} = X^0 + \hat{x} \quad (6.5)$$

²Je nach Literatur wird auch der Begriff Beobachtungsgleichung benutzt.

Aus den Näherungswerten X^0 der Unbekannten lassen sich Näherungswerte der Beobachtungen errechnen:

$$L_{n,1}^0 = \varphi(X^0) \quad (6.6)$$

Die Differenz zwischen den Näherungswerten der Beobachtungen und den tatsächlichen Beobachtungen wird als *gekürzte Beobachtungen* l bezeichnet:

$$l_{n,1} = L - L^0 \quad (6.7)$$

Hauptziel der Ausgleichsrechnung ist die Berechnung der ausgeglichenen Unbekannten \hat{X} . Die unterschiedlichen Ausgleichsverfahren arbeiten dabei nicht direkt mit den meist nichtlinearen Funktionen des Funktionenvektors φ . Die Funktionen werden linearisiert. Die Linearisierung bedingt, daß zur zuverlässigen Arbeit der Verfahren die Näherungswerte der Unbekannten hinreichend genau gegeben sein müssen, also \hat{x} hinreichend klein ausfällt. Zur Linearisierung der Funktionen wird die Taylorsche Reihe angewendet, aber nach dem ersten Glied abgebrochen. Den Zusammenhang zeigt das Gleichungssystem:

$$\begin{aligned} L_{n,1} + v &= \varphi(X^0) + \left(\frac{\partial \varphi(X^0)}{\partial X} \right)_0 \cdot (\hat{X} - X^0) \\ &= L^0 + \left(\frac{\partial \varphi(X^0)}{\partial X} \right)_0 \cdot \hat{x} \end{aligned} \quad (6.8)$$

Die linearisierten Funktionen werden in der Modellmatrix A abgelegt. Die Modellmatrix wird in der Literatur auch als Koeffizienten- oder Designmatrix bezeichnet. Jede Zeile i der Modellmatrix enthält den Gradienten der Funktion $\varphi_i(X^0)$. Die Dimension der Modellmatrix beträgt also $n \times u$:

$$A_{n,u} = \left(\frac{\partial \varphi(X^0)}{\partial X} \right)_0 = \begin{bmatrix} \left(\frac{\partial \varphi_1(X^0)}{\partial X_1} \right)_0 & \left(\frac{\partial \varphi_1(X^0)}{\partial X_2} \right)_0 & \dots & \left(\frac{\partial \varphi_1(X^0)}{\partial X_u} \right)_0 \\ \left(\frac{\partial \varphi_2(X^0)}{\partial X_1} \right)_0 & \left(\frac{\partial \varphi_2(X^0)}{\partial X_2} \right)_0 & \dots & \left(\frac{\partial \varphi_2(X^0)}{\partial X_u} \right)_0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \left(\frac{\partial \varphi_n(X^0)}{\partial X_1} \right)_0 & \left(\frac{\partial \varphi_n(X^0)}{\partial X_2} \right)_0 & \dots & \left(\frac{\partial \varphi_n(X^0)}{\partial X_u} \right)_0 \end{bmatrix} \quad (6.9)$$

Mit Hilfe der Modellmatrix lassen sich die linearisierten Verbesserungsgleichungen wie folgt beschreiben:

$$\hat{l}_{n,1} = l_{n,1} + v_{n,1} = A_{n,u} \cdot \hat{x}_{u,1} \quad (6.10)$$

6.2.2. Stochastisches Modell

Das stochastische Modell bildet Genauigkeitsaussagen der Beobachtungen und die statistischen Wechselwirkungen (Korrelationen) zwischen den Beobachtungen in der sogenannten Kovarianzmatrix \sum_{ll} bzw. in der Kofaktormatrix Q_{ll} ab. Es wird dabei zwischen korrelierten und nicht korrelierten Beobachtungen unterschieden. Da eine automatische Bestimmung von Korrelationen zwischen Beobachtungen kein triviales Problem darstellt, werden innerhalb dieser Arbeit alle Beobachtungen als nicht korreliert modelliert. Durch diesen Modellfehler erwachsen Genauigkeitseinbußen, jedoch dient die Ausgleichsrechnung im Rahmen dieser Arbeit nur an zweiter Stelle der Genauigkeitssteigerung durch

Überbestimmungen. An erster Stelle ist sie das Werkzeug zur Zusammenführung unterschiedlicher Aufmaßtechniken und Abstraktionen.

Im Falle nicht korrelierter Beobachtungen ist die Kofaktormatrix sehr einfach aufgebaut:

$$Q_{ll} = \begin{bmatrix} \sigma_1^2/\sigma_0^2 & & & 0 \\ & \sigma_2^2/\sigma_0^2 & & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & \sigma_n^2/\sigma_0^2 \end{bmatrix} \quad (6.11)$$

Die Gewichtsmatrix P ist formal gegeben als Inverse der Kofaktormatrix ([Niemeier02]):

$$P_{n,n} = Q_{ll}^{-1} = \begin{bmatrix} \sigma_0^2/\sigma_1^2 & & & 0 \\ & \sigma_0^2/\sigma_2^2 & & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & \sigma_0^2/\sigma_n^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_{11} & & & 0 \\ & p_{22} & & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & p_{nn} \end{bmatrix} \quad (6.12)$$

6.2.3. Ausgleichung nach vermittelnden Beobachtungen

Für die vorliegende Arbeit wurde die Ausgleichung nach vermittelnden Beobachtungen, speziell das Gauß-Markov-Modell (Ausgleichung nach vermittelnden Beobachtungen, Beobachtungen mit Kovarianzinformationen), gewählt. Mittels dieses Modells werden aus der Menge der Beobachtungen direkt die Unbekannten errechnet. Bedingungen werden als fiktive Beobachtungen modelliert und lassen sich mit Hilfe ihrer Gewichte gegeneinander priorisieren. Auch können Bedingungen mittels Umgewichtung sowohl über Beobachtungen von Meßwerten priorisiert werden, wie auch als Nebenbedingungen für ansonsten unterbestimmte Systeme.

Das Ausgleichungsmodell arbeitet nach dem Prinzip der kleinsten Fehlerquadrate. Minimiert wird nach der Ausgleichungsforderung $v^T P v \rightarrow \min$ (Herleitung siehe [Niemeier02]). Diese Ausgleichungsforderung bezogen auf den Ansatz 6.10 ergibt das Gleichungssystem

$$\hat{x} = (A^T P A)^{-1} A^T P l \quad (6.13)$$

Dieses Gleichungssystem wird nun zusammengefaßt zu der Normalgleichungsmatrix $N = A^T P A$ und der „rechten Seite“ $n = A^T P l$:

$$\hat{x} = N^{-1} n \quad (6.14)$$

Die Ausgleichungsrechnung wird „klassisch“ zur Berechnung bewußt überbestimmter Gleichungssysteme genutzt, um durch Überbestimmungen Genauigkeitssteigerungen zu erreichen. Es liegen mehr Beobachtungen vor, als Unbekannte zu berechnen sind. Die Normalgleichungsmatrix N ist symmetrisch, wenn regulär, dann positiv definit und dünn besetzt. Diese Eigenschaften sind zur numerischen Lösung des Gleichungssystems besonders günstig. Die Inversion einer Matrix bedarf eines höheren Berechnungsaufwandes als die direkte Lösung des Gleichungssystems. Daher wird das Gleichungssystem umgeformt zu

$$\begin{matrix} N & \hat{x} & = & n \\ u,u & u,1 & & u,1 \end{matrix} \quad (6.15)$$

Die Normalgleichungsmatrix ist mit einer Größe von $u \times u$ kleiner als bei anderen Ausgleichungsmodellen³. Bei dem vorgestellten Ansatz steht die Berechnung der Unbekannten im Mittelpunkt. Aus den genannten Gründen wurde dieses Modell gewählt.

³Man beachte an dieser Stelle $n > u$!

Die Nutzung der Ausgleichsrechnung in dem vorgeschlagenen System liegt primär in der Vereinigung verschiedener Aufmaßtechniken und geometrischer Abstraktionen zur Minimierung des Aufmaßaufwandes bzw. zur Beeinflussung der Zielgeometrie. Die frühe Erstellung des Geometriemodells und nur schrittweise Ergänzung durch Meßwerte führt dazu, daß die Normalgleichungsmatrix N bei diesem Ansatz normalerweise singulär ausfällt. Die Regularisierung durch z.B. die Einbringung von geometrischen Abstraktionen wird in den Abschnitten 6.3 und 6.8 behandelt.

6.3. Abstraktionen

Die Geometrie von Bauwerken weist in den allermeisten Fällen eine Vielzahl von Eigenschaften auf, welche zu deren Erfassung und Abbildung beitragen können. Solche häufig anzutreffenden Eigenschaften sind (ohne Anspruch auf Vollständigkeit):

- planare Oberflächen
- horizontaler oder senkrechter Verlauf von Oberflächen oder Kanten
- mehrere Oberflächen liegen in einer Ebene
- Parallelitäten
- rechte Winkel
- Symmetrien
- Wiederholungen
- Gleichheiten in Distanzen, Neigungen usw.

Des weiteren lassen sich durch Abstraktionen die Lagebeziehungen der einzelnen Elemente von vordefinierten Geometrien beschreiben.

Geometrische Abstraktionen beschreiben besondere Lagebeziehungen geometrischer Elemente global oder zueinander. Eine globale Lagebeschreibung wäre beispielsweise die Beschreibung eines senkrecht stehenden Polygons. Modelliert werden kann diese Abstraktion mit der Einführung einer Pseudobeobachtung im Ausgleichsmodell, welche den Normalenvektor als horizontal verlaufend beschreibt und somit die Bewegungsmöglichkeiten der Ebene wie gewünscht einschränkt.

Viele geometrische Abstraktionen beruhen auf besonderen Lagebeziehungen der geometrischen Elemente zueinander. Als Beispiel dient ein Quader. Von den einzelnen Oberflächen des Quaders verlaufen die jeweils gegenüberliegenden parallel. Außerdem stoßen benachbarte Flächen im rechten Winkel aufeinander. Diese besonderen Lagebeziehungen lassen sich ebenfalls mittels Pseudobeobachtungen modellieren. Im Falle der parallel verlaufenden Oberflächen werden deren Ebenen über ihre Normalenvektoren parallel gesetzt. Die Rechtwinkligkeiten lassen sich über rechte Winkel der Normalenvektoren beschreiben.

Warum wurden zur Beschreibung der Abstraktionen Pseudobeobachtungen genutzt? Wäre es beispielsweise im Falle der gegenüberliegenden Oberflächen nicht besser gewesen, den Ebenen der Oberflächen einen gemeinsamen Normalenvektor zuzuweisen? Die Verwendung von Pseudobeobachtungen hat zum Ziel, daß diese, wenn gewünscht, sehr viel niedriger oder höher gewichtet werden können als Beobachtungen echter Messungen. Widersprechen Messungen einer per Pseudobeobachtung modellierten Parallelität zweier Ebenen, so soll

mit Hilfe der Gewichtung entschieden werden, ob die Geometrie der Abstraktion oder den Meßwerten entspricht. Auch sollen verschiedene Abstraktionen gegeneinander gewichtet werden. Die bisherigen Grenzen des Ansatzes wurden in Abschnitt 5.5.6 gezeigt.

6.3.1. Gruppenbildung

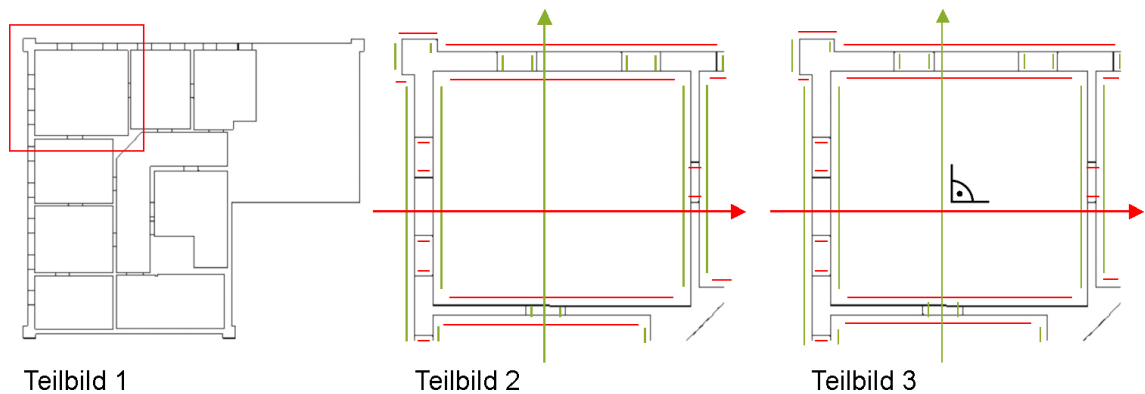


Abb. 6.4.: Gruppierungen

Im Beispiel des Quaders wurden jeweils zwei gegenüberliegende Oberflächen als parallel beschrieben. Abbildung 6.4 zeigt im Teilbild 1 die grundrißorientierte Darstellung eines Gebäudes. Wie absolut typisch für Gebäude sind sofort eine Menge von Oberflächen zu sehen, die zueinander parallel verlaufen. Gesucht wird ein Weg, diese Parallelität zu beschreiben. Teilbild 2 (Abb. 6.4) zeigt einen im Teilbild 1 (Abb. 6.4) markierten Ausschnitt.

Zu sehen sind zwei Mengen von Oberflächen, welche mit einer gewissen Toleranz zueinander parallel verlaufen. Eine direkte Beschreibung der Parallelität von jeweils zwei Oberflächen der Menge führt zu keinem Erfolg. In diesem Fall müßte die Parallelität jeder Oberfläche mit jeder anderen modelliert werden, was zu einer explosionsartigen Zunahme von Pseudobeobachtungen führen würde. Bei einer Menge von n parallelen Oberflächen würden sich auf jeden Normalenvektor $n - 1$ Pseudobeobachtungen beziehen. Damit würde aber auch mit der Anzahl paralleler Oberflächen der Einfluß der Abstraktion gegenüber Meßwerten und anderen Abstraktionen immer mehr zunehmen.

Für Problemstellungen dieser und ähnlicher Art wird die Gruppenbildung eingeführt. Aus der Menge aller Oberflächen, um genauer zu sein, aus der Menge der die Oberflächen abbildenden Polygone, werden mit einer gewissen Toleranz alle Polygone herausgesucht, deren Normalenvektoren zueinander parallel verlaufen. Alle diese Polygone werden zu jeweils einer Gruppe verbunden, der Ebenengruppe. Eine Ebenengruppe besitzt einen eigenen Richtungsvektor. Alle Polygone einer Ebenengruppe erhalten des weiteren eine Pseudobeobachtung, welche die Parallelität ihres Normalenvektors zum Richtungsvektor der Ebenengruppe beschreibt. Im Teilbild 2 (Abb. 6.4) ist diese Gruppierung farbig markiert. Eine Ebenengruppe ist rot, eine andere grün dargestellt. Der vorgestellte Ansatz benötigt lediglich eine Pseudobeobachtung für jedes Polygon.

Aufbauend auf Gruppen lassen sich weitere Eigenschaften modellieren. In Teilbild 3 (Abb. 6.4) ist eine Vielzahl von Oberflächen zu sehen, welche im rechten Winkel **aufeinander** stoßen. In jedem dieser Fälle ließe sich der rechte Winkel über die Normalenvektoren der Ebenen der Polygone beschreiben. Eine andere Sichtweise ist die, daß eine Menge von Oberflächen **zueinander** rechtwinklig liegt. Es liegen die Polygone der einen Ebenengruppe rechtwinklig zu den Polygonen der zweiten Ebenengruppe. Diese Rechtwinkligkeit kann

mit einer Pseudobeobachtung zwischen den Normalenvektoren der beiden Ebenengruppen modelliert werden (siehe Teilbild 3 (Abb. 6.4)).

Eine andere Anwendung von Gruppenbildungen ist die Modellierung mehrerer Oberflächen, welche in einer Ebene liegen. Ein solcher Fall ist beispielsweise bei einer Menge von Wandoberflächen von Innenräumen gegeben, welche einer Wand gleichbleibender Dicke angehören. In diesem Fall könnte für alle Oberflächen eine gemeinsame Ebene eingeführt werden. Besser erscheint jedoch die Beschreibung mehrerer Ebenen, jede für eine Oberfläche, welche wiederum in einer Ebene liegen. Mit dieser Modellierung lassen sich beispielsweise Widersprüche zu Messungen besser aufdecken. Ein jedes Polygon kann bei entsprechender Gewichtung durch Meßwerte aus der gemeinsamen Ebene der übrigen Polygone herausbewegt werden. Innerhalb des Polygons behält jedoch die Beschreibung der Punktlagen zu dessen Ebene weiterhin Gültigkeit.

Zur Systematisierung wird folgende Gruppenbildung eingeführt:

- Strecke
- Gerade
- Geradengruppe (alle Geraden, die parallele Richtungsvektoren besitzen)
- Polygon
- Ebene
- Ebenengruppe (alle Ebenen, die parallele Normalenvektoren besitzen)

Die Gruppenbildung ist wie folgt zu verstehen: mehrere Strecken können auf einer Geraden liegen, mehrere Geraden können parallel zueinander in einer Geradengruppe liegen. Mehrere Polygone können in einer Ebene liegen, mehrere Ebenen können parallel zueinander in einer Ebenengruppe liegen.

6.3.2. Lokale oder globale Abstraktionen

In Abschnitt 6.3 wurde die Beschreibung der geometrischen Abstraktion eines Quaders erläutert. Es wurde beschrieben, wie die geometrischen Elemente des Quaders zueinander liegen. Alle Beschreibungen galten dabei innerhalb des Quaders. In Abschnitt 6.3.1 wurde gezeigt, wie die Lagebeziehungen geometrischer Elemente in einer globalen Sichtweise modelliert werden können. Beide Formen der Modellierung sind zur Abstraktion der Geometrie eines Gebäudes wichtig. Lokale Abstraktionen können vor allem zur Modellierung von Bauteilen mit bekannter Geometrie, wie offen liegenden Stützen, eine große Rolle spielen und **je nach den Eigenschaften der Bauteilgeometrie** stark gewichtet sein⁴. Globale Abstraktionen betreffen in erster Linie die Oberflächen des Baukörpers und sind in der Regel sehr schwach gewichtet.

6.3.3. Setzen und Löschen von Abstraktionen

In Abbildung 6.4, Teilbild 2 sind jeweils sehr viele Oberflächen zu sehen, die einer Ebenengruppe zugeordnet wurden. Dabei handelt es sich um einen kleineren Ausschnitt des

⁴Eine mathematisch exakte Abstraktion konnte in Fällen von Widersprüchen der Abstraktionen zu Meßwerten auch mit einer starken Gewichtung nicht erzwungen werden. In diesen Fällen sollte die Abstraktion über Datenstrukturen (siehe [Gielsdorf02]) modelliert werden.

Gebäudes, der auch nur zweidimensional betrachtet wird. Es ist offenkundig, daß eine Zuordnung wie die gezeigte nicht manuell erfolgen kann.

Eine automatische Gruppierung ist sehr einfach zu realisieren. Das System prüft anhand von Toleranzen, welche der Nutzer vorgeben kann, die Parallelität zwischen Oberflächen und bildet Ebenengruppen, prüft die Ebenengruppen auf Rechtwinkligkeit zueinander, prüft einzelne Oberflächen auf senkrechten oder horizontalen Verlauf usw. Zu beachten ist dabei jedoch, daß die Abstraktionen, die das System einführt, Vermutungen sind, welche auf der besonderen Lage der geometrischen Elemente beruhen. Sie sollten daher sehr schwach gewichtet werden. Meßwerte können dadurch die geometrischen Elemente entgegen der auf Vermutungen eingebrachten Abstraktionen bewegen. Durch zyklisches Löschen und Neusetzen der Abstraktionen werden Vermutungen, welche sich durch die Einführung weiterer Meßwerte als falsch erwiesen haben, wieder entfernt. Auch dabei müssen die vom Nutzer vorgegebenen Toleranzen als Kriterium genutzt werden, da durch die schwache Gewichtung der Abstraktionen die Standardabweichungen auch falsch vermuteter Abstraktionen sehr gering ausfallen.

6.3.4. Besondere Betrachtung einzelner Abstraktionen

Horizontale und vertikale Flächen

Der horizontale und vertikale Verlauf einer Fläche kann sich sowohl auf die einzelnen Flächen als auch auf die Ausrichtung von Ebenengruppen beziehen. Die Wahl ist von den Gegebenheiten des jeweiligen Objektes abhängig, als Beispiel sei ein Gebäude genannt, welches sich gesetzt hat und in dem eine gleichmäßige Schiefelage der Oberflächen zu beobachten ist.

Ausrichtung des Gebäudes

Eine wichtige Abstraktion stellt die Ausrichtung eines Gebäudes dar. Der Nutzer kann sie sowohl auf eine einzelne Oberfläche beziehen als auch global modellieren. Die Modellierung kann dabei über einen durch die Ausrichtung festgelegten Richtungsvektor erfolgen, zu dem der Normalenvektor einer oder mehrerer Ebenen oder Ebenengruppen im rechten Winkel gesetzt wird. Der rechte Winkel wird mittels einer Pseudobeobachtung beschrieben.

6.4. Pseudobeobachtungen

Alle nachfolgenden geometrischen Betrachtungen beziehen sich als Basis auf ein kartesisches Koordinatensystem, rechtsdrehend, wobei die z-Achse die Zenitachse darstellt.

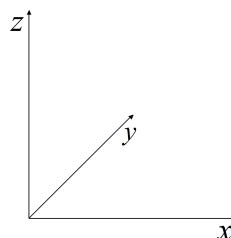


Abb. 6.5.: Koordinatensystem dieser Arbeit

Im Folgenden werden wesentliche Verbesserungsgleichungen für Pseudobeobachtungen zusammengetragen, welche der Modellierung geometrischer Abstraktionen dienen.

Bei der prototypischen Umsetzung des Ausgleichungsmodells wurden auch stärkere Widersprüche im Modell zugelassen, welche in einer praxisrelevanten Umsetzung zusätzlich durch Vortests reduzierbar sind. Bedingt durch die zugelassenen Widersprüche und die verwendete numerische Differentiation wurden die Verbesserungsgleichungen bewußt robust modelliert, um durch geringere Linearisierungsfehler Oszillationen zu vermeiden und eine bessere Konvergenz des Modells zu erreichen⁵. Dabei wurde in manchen Fällen ein Kompromiß zwischen der erstrebten, möglichst realitätsnahen Modellierung von Verbesserungsgleichungen und der Qualität ihrer Linearisierung eingegangen.

Für die weiteren Überlegungen sind vor allem Winkelbeziehungen zwischen Vektoren zu betrachten. Der Winkel zwischen zwei Vektoren im Raum kann nur im Bereich von 0 bis π liegen. Dieser Bereich stimmt mit dem Wertebereich des arccos überein. Er ist zur Cosinusfunktion invers, der Cosinus zwischen zwei Vektoren im Raum läßt sich sehr einfach mittels des inneren Produktes bestimmen:

$$\begin{aligned}
 \vec{v}_1 \cdot \vec{v}_2 &= |\vec{v}_1| |\vec{v}_2| \cos \sphericalangle (\vec{v}_1, \vec{v}_2) \\
 \cos \sphericalangle (\vec{v}_1, \vec{v}_2) &= \frac{\vec{v}_1 \cdot \vec{v}_2}{|\vec{v}_1| |\vec{v}_2|} \\
 &= \frac{x_1 x_2 + y_1 y_2 + z_1 z_2}{\sqrt{x_1^2 + y_1^2 + z_1^2} \sqrt{x_2^2 + y_2^2 + z_2^2}} \\
 \cos \sphericalangle (\vec{v}_1, \vec{v}_2) &= \frac{x_1 x_2 + y_1 y_2 + z_1 z_2}{\sqrt{(x_1^2 + y_1^2 + z_1^2) (x_2^2 + y_2^2 + z_2^2)}} \quad (6.16)
 \end{aligned}$$

Eine Anwendung des beschriebenen Ansatzes liegt in der Beschreibung von Rechtwinkligkeiten zwischen Vektoren.

Für andere Aufgabenstellungen, wie die Beschreibung von Parallelitäten, ist eine Eingrenzung des Winkelbereiches zwischen zwei Vektoren auf den Bereich zwischen 0 und $\frac{\pi}{2}$ von Vorteil. Für diesen Fall scheint zunächst die Arcussinus-Funktion geeignet zu sein, welche einen Wertebereich von $-\frac{\pi}{2}$ bis $\frac{\pi}{2}$ besitzt. Sie ist zur Sinusfunktion invers. Der Sinus zwischen zwei Vektoren läßt sich über das Kreuzprodukt bestimmen:

$$\begin{aligned}
 |\vec{v}_1 \times \vec{v}_2| &= |\vec{v}_1| |\vec{v}_2| \sin \sphericalangle (\vec{v}_1, \vec{v}_2) \\
 \sin \sphericalangle (\vec{v}_1, \vec{v}_2) &= \frac{|\vec{v}_1 \times \vec{v}_2|}{|\vec{v}_1| |\vec{v}_2|} \\
 &= \frac{\sqrt{(x_1 y_2 - y_1 x_2)^2 + (y_1 z_2 - z_1 y_2)^2 + (z_1 x_2 - x_1 z_2)^2}}{\sqrt{x_1^2 + y_1^2 + z_1^2} \sqrt{x_2^2 + y_2^2 + z_2^2}} \\
 \sin \sphericalangle (\vec{v}_1, \vec{v}_2) &= \sqrt{\frac{(x_1 y_2 - y_1 x_2)^2 + (y_1 z_2 - z_1 y_2)^2 + (z_1 x_2 - x_1 z_2)^2}{(x_1^2 + y_1^2 + z_1^2) (x_2^2 + y_2^2 + z_2^2)}} \quad (6.17)
 \end{aligned}$$

Der beschriebene Ansatz erwies sich in der prototypischen Umsetzung als wenig robust. Ursache war der Umstand, daß das angestrebte Optimum der Beobachtung mit der Extremstelle der Verbesserungsgleichung zusammenfällt. Der Gradient der Verbesserungsgleichung wird bei einer Annäherung an die Extremwertstelle immer kleiner, der Einfluß

⁵In manchen Fällen konnte erst durch eine Umdefinition der Verbesserungsgleichung eine Konvergenz in Systemen mit Widersprüchen erreicht werden.

widersprechender Beobachtungen steigt. Aus diesem Grund wurde eine sehr pragmatische Ersatzlösung gewählt:

$$\left. \begin{array}{l} 0 = \frac{x_1}{|v_1|} - \frac{x_2}{|v_2|} \\ 0 = \frac{y_1}{|v_1|} - \frac{y_2}{|v_2|} \\ 0 = \frac{z_1}{|v_1|} - \frac{z_2}{|v_2|} \end{array} \right\} \text{wenn } \cos \sphericalangle (v_1, v_2) \geq 0$$

$$\left. \begin{array}{l} 0 = \frac{x_1}{|v_1|} + \frac{x_2}{|v_2|} \\ 0 = \frac{y_1}{|v_1|} + \frac{y_2}{|v_2|} \\ 0 = \frac{z_1}{|v_1|} + \frac{z_2}{|v_2|} \end{array} \right\} \text{wenn } \cos \sphericalangle (v_1, v_2) < 0 \quad (6.18)$$

Gleiches gilt es bei anderen Problemen, wie dem Vergleich von Ortsvektoren zu beachten. Auf diese Problematik wird in den später folgenden Verbesserungsgleichungen gesondert eingegangen.

In der Geodäsie wird bei bestimmten Berechnungen häufig auf eine erweiterte Variante der Arcustangens-Funktion zurückgegriffen. Die Arcustangens-Funktion ist im Bereich von $-\frac{\pi}{2}$ bis $\frac{\pi}{2}$ eindeutig definiert. Diese Funktion wird häufig genutzt, um von einem gegebenen Punkt im R^2 dessen Richtungswinkel zu bestimmen. Die relative Position des Punktes zum Koordinatenursprung sei an dieser Stelle mit Δx und Δy bezeichnet. Der Richtungswinkel α (mathematische Orientierung) ließe sich nun bestimmen mittels

$$\alpha = \arctan \left(\frac{\Delta y}{\Delta x} \right). \quad (6.19)$$

Die Funktion ist für $\Delta x = 0$ nicht bestimmt. Weiter kann durch den Wertebereich von \arctan nicht zwischen den Quadranten I und III bzw. II und IV unterschieden werden. In der Geodäsie und Informatik wird daher mit einer erweiterten Variante der Arcustangens-Funktion gearbeitet.

Die erweiterte Variante der Arcustangens-Funktion, im Folgenden `arctan2` genannt, wird nicht über dem Quotienten $\Delta x/\Delta y$ eingesetzt, sondern übernimmt Δx und Δy als eigenständige Parameter. Für die Sonderfälle von $\Delta x = 0$ gibt die Funktion bei $\Delta y \neq 0$ gültige Funktionswerte zurück. Für den Fall $\Delta x = 0$ und $\Delta y = 0$ gibt es keine geometrische Deutung des Winkels α , da in diesem Fall der Punkt direkt im Koordinatenursprung liegt. In den übrigen Fällen werden die Vorzeichen von Δx und Δy genutzt, um den Wertebereich der Funktion auf 0 bis 2π zu erweitern (siehe Tabelle 6.1). Bei Implementierungen mit Hilfe der Programmiersprache C kann die Funktion `atan2` genutzt werden.

Quadrant	Δy	Δx	<code>arctan2</code>
I	≥ 0	> 0	$\arctan(\Delta y/\Delta x)$
II	≥ 0	< 0	$2\pi + \arctan(\Delta y/\Delta x)$
III	< 0	< 0	$\pi + \arctan(\Delta y/\Delta x)$
IV	< 0	> 0	$\pi + \arctan(\Delta y/\Delta x)$
	> 0	$= 0$	$\pi/2$
	< 0	$= 0$	$(3/2)\pi$
	$= 0$	$= 0$	nicht definiert

Tab. 6.1.: Definition von `arctan2`, frei nach [Gelhaus97]

Bei der Vorstellung der Abstraktionen im Abschnitt 6.3 wurden eine Vielzahl möglicher geometrischer Beschreibungen und Abstraktionen aufgeführt. Dazu gehören:

- planare Oberflächen
- der horizontale Verlauf von Boden- und Deckenoberflächen
- die senkrechte Ausrichtung von Wandoberflächen
- Parallelitäten von Boden-, Decken- und Wandoberflächen
- rechte Winkel zwischen Oberflächen
- der Fang mehrerer Punkte auf einer Geraden
- der parallele Verlauf von Geraden
- rechte Winkel zwischen Geraden
- das Lot über einer Menge von Punkten

6.4.1. Ausgleichungsebene

Die meisten Oberflächen im Bauwesen können als planar betrachtet werden. Alle Oberflächenpunkte liegen (mit einer gewissen Toleranz) in einer Ebene. Eine Ebene läßt sich über mindestens drei Punkte bestimmen. Die meisten Ebenen verlaufen waagrecht oder senkrecht. Bei waagerechten Ebenen reicht die Kenntnis eines Punktes zur Definition der Ebene, bei senkrechten Ebenen die Kenntnis zweier Punkte.

Die Bindung einer Menge von Punkten zu einer Ebene im Ausgleichungsmodell läßt sich über eine Ausgleichungsebene realisieren. Eine Ausgleichungsebene wird so durch eine Punktwolke gelegt, daß die Summe der Abstände der Punkte zur Ausgleichungsebene minimal ausfällt. Diese Forderung ist allerdings unter Umständen nicht eindeutig. So lassen sich durch die Eckpunkte eines Würfels drei Ausgleichungsebenen legen, welche alle die genannte Forderung erfüllen (siehe Abbildung 6.6).

Eine Ebene kann auf verschiedene Weise analytisch formuliert werden. [Müller99] vergleicht verschiedene analytische Beschreibungen. Im Gegensatz zu [Müller99] wird in dieser Arbeit zur Definition einer Ebene ein Punkt P_S , welcher in dieser liegt, und ihr Normalenvektor \vec{n} genutzt, da sich andere Beobachtungen auf diese beziehen. Als Punkt der Ebene wird der geometrische Schwerpunkt der Punktmenge, durch welche die Ausgleichungsebene gelegt wird, gewählt:

$$\vec{n} \cdot (\vec{p}_i - \vec{p}_S) = 0 \quad (6.20)$$

$$0 + v = \frac{\vec{n} \cdot (\vec{p}_i - \vec{p}_S)}{|\vec{n}|} \quad (6.21)$$

Zur Normalisierung von \vec{n} nach $|\vec{n}| = 1$ und zur Beschreibung des geometrischen Schwerpunkts P_S werden weitere Pseudobeobachtungen genutzt, die aufgrund ihrer allgemeinen Relevanz am Ende des Abschnittes (siehe Punkt 6.4.7) separat behandelt werden.

Zur Generierung einer Ausgleichungsebene müssen zunächst Näherungswerte für \vec{n} ermittelt werden. Alle Punkte P_i , $i = 0 \dots n$ werden in der Matrix A zusammengefaßt:

$$A = (\vec{p}_0, \vec{p}_1, \dots, \vec{p}_x) = \begin{pmatrix} p_{0x} & p_{1x} & \dots & p_{nx} \\ p_{0y} & p_{1y} & \dots & p_{ny} \\ p_{0z} & p_{1z} & \dots & p_{nz} \end{pmatrix} \quad (6.22)$$

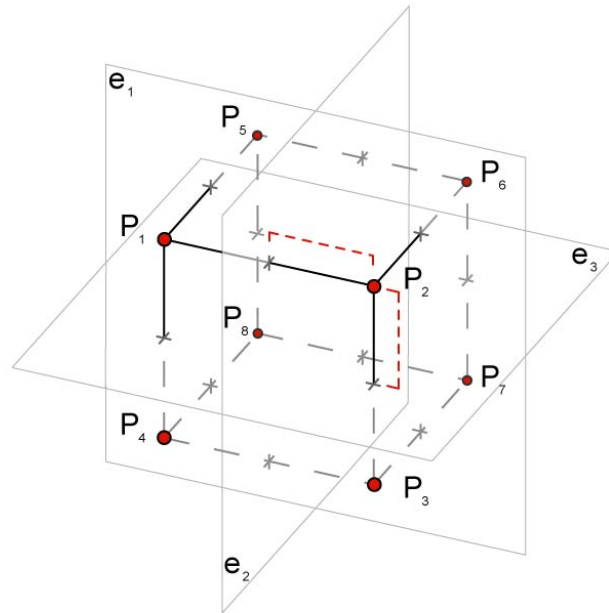


Abb. 6.6.: Ausgleichungsebenen über die Eckpunkte eines Würfels

Mit Hilfe der Matrix A wird die Matrix $K = AA^T$ berechnet. Der kleinste Eigenvektor von K stellt den Normalenvektor der Ausgleichungsebene dar. In der prototypischen Implementation der Plattform „Freak“ wird zur Berechnung des kleinsten Eigenvektors das Jakobi-Verfahren genutzt. Problematisch an dem Ansatz ist der genannte Umstand, daß eine Punktwolke nicht genau eine Ausgleichungsebene besitzen muß.

6.4.2. Ausgleichungsgerade

Die Ausgleichungsgerade dient zur „Bindung“ einer Menge von Punkten auf eine Gerade. Die Anwendungsfälle für diese Beobachtung sind vielfältig. Da planare Flächen den Hauptanteil der inneren und äußeren Bauwerksoberflächen bilden, stellen Linien die häufigste Kantenform dar. Mit Hilfe der Ausgleichungsgeraden lassen sich nun beispielsweise Eckpunkte auf eine solche Kante „zwingen“. Eine andere Anwendung liegt in der Modellierung von Fluchtlinien usw.

[Müller99] nimmt eine umfangreiche Betrachtung unterschiedlicher Modellierungsmöglichkeiten von Ausgleichungsgeraden vor. Wird als Basis der Geradenbeschreibung die Punkt-Richtungsgleichung $g = \vec{p} + \lambda\vec{r}$ zugrunde gelegt, so liegen Unterbestimmungen vor, welche zu reduzieren sind. Die Punkt-Richtungsgerade besitzt sechs Parameter, diese sind untereinander abhängig. Der Richtungsvektor \vec{r} läßt sich beliebig skalieren und der Ursprungspunkt P beliebig auf der Geraden bewegen. Zur Reduzierung dieser Unterbestimmtheit führt [Müller99] zwei mögliche Ansätze an, die er ausführlich betrachtet:

1. Ersatz von Parametern durch Funktionen über den übrigen Parametern
2. Formulierung zusätzlicher Normierungsbedingungen zwischen den Parametern

Die Gleichungen 6.23 und 6.24 ([Müller99]) zeigen eine mögliche Ersetzung von Parametern durch Funktionen. Dabei wird zur eindeutigen Beschreibung der Lage des Ursprungspunktes die Rechtwinkligkeit seines Ortsvektors \vec{p} zum Richtungsvektor \vec{r} gefordert:

$$\vec{r} = \begin{pmatrix} \cos \varphi \sin \theta \\ \sin \varphi \sin \theta \\ \cos \theta \end{pmatrix} \quad (6.23)$$

$$p_z = -\frac{p_x r_x + p_y r_y}{r_z} \quad \text{wegen} \quad \vec{p} \cdot \vec{r} = 0 \quad (6.24)$$

Für die Testimplementierung wurde der Ansatz über die Formulierung von Bedingungsgleichungen genutzt, um die Unbekannten des Ursprungspunktes und des Richtungsvektors auch in anderen Beobachtungen nutzen zu können, beispielsweise zur Formulierung von Winkeln zwischen den Geraden über die schon beschriebenen Beobachtungen zwischen Vektoren. Dazu wurden folgende Bedingungen eingeführt:

$$|\vec{r}| = 1 \quad (6.25)$$

$$\vec{p} \cdot \vec{r} = 0 \quad (6.26)$$

6.4.3. Parallelität und Rechtwinkligkeit zwischen Vektoren

Die Parallelität von Vektoren kann genutzt werden, um beispielsweise die Parallelität einer Gruppe von Ebenen oder Geraden zu modellieren. Gezeigt wird die Modellierung der Parallelität einer Menge von Ebenen, wie sie z.B. zur Modellierung einer Ebenengruppe dienen kann, ohne daß alle Ebenen einen datentechnisch gemeinsamen Normalenvektor nutzen⁶.

Wenn die Parallelität von zwei Vektoren \vec{n}_1 und \vec{n}_2 so definiert wird, daß sie auch im Falle von $\vec{n}_2 = -1 \vec{n}_1$ erfüllt ist, so liegt der Winkel α zwischen den Vektoren im Bereich von $-\frac{\pi}{2}$ bis $\frac{\pi}{2}$ (siehe Abbildung 6.7).

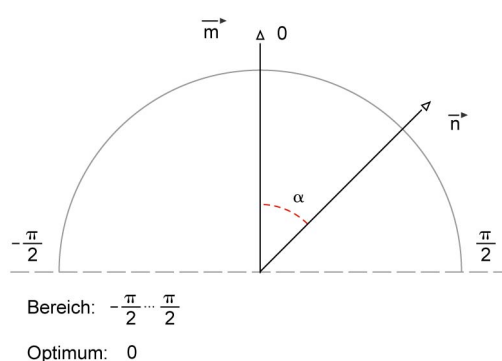


Abb. 6.7.: Parallelität zwischen Vektoren

Es sei nun eine Menge von Ebenen $e_1 \dots e_n$ gegeben. Jede Ebene besitzt einen Normalenvektor \vec{n} . Damit sind die Normalenvektoren $\vec{n}_1 \dots \vec{n}_n$ gegeben. Für die Gruppe wird ein weiterer Normalenvektor \vec{m} eingeführt. Der Initialwert des Vektors kann verschiedentlich gewählt werden, beispielsweise kann er zu Beginn den Wert einer der übrigen Normalenvektoren erhalten. Des weiteren werden für jede Ebene e_a aus $e_1 \dots e_n$ neue Beobachtungen

⁶Eine solche Vorgehensweise kann z.B. nützlich sein, um die Vermutung einer Parallelität zu prüfen oder zu bewerten.

eingeführt, welche die Parallelität zwischen dem Normalenvektor \vec{n}_a der Ebene und dem Normalenvektor \vec{m} der Gruppe beschreiben. Eine Beobachtung nach der Form

$$0 + v = \arcsin \left(\frac{|\vec{n}_a \times \vec{m}|}{|\vec{n}_a| |\vec{m}|} \right) \quad (6.27)$$

liefert aus den zu Beginn dieses Abschnittes genannten Gründen keine zufriedenstellenden Werte. Bessere Resultate lassen sich mit der Ersatzfunktion

$$0 + v = |\vec{n}_a \times \vec{m}|^2 = (y_a z_m - z_a y_m)^2 + (z_a x_m - x_a z_m)^2 + (x_a y_m - y_a x_m)^2 \quad (6.28)$$

realisieren. Bei besonders schwacher Gewichtung ließ sich mit der folgenden Variante eine besonders gute Konvergenz erreichen:

$$\left. \begin{array}{l} 0 + v = \frac{x_a}{|\vec{n}_a|} - \frac{x_m}{|\vec{m}|} \\ 0 + v = \frac{y_a}{|\vec{n}_a|} - \frac{y_m}{|\vec{m}|} \\ 0 + v = \frac{z_a}{|\vec{n}_a|} - \frac{z_m}{|\vec{m}|} \\ 0 + v = \frac{x_a}{|\vec{n}_a|} + \frac{x_m}{|\vec{m}|} \\ 0 + v = \frac{y_a}{|\vec{n}_a|} + \frac{y_m}{|\vec{m}|} \\ 0 + v = \frac{z_a}{|\vec{n}_a|} + \frac{z_m}{|\vec{m}|} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{wenn } \cos \angle (\vec{n}_a, \vec{m}) \geq 0 \\ \\ \\ \text{wenn } \cos \angle (\vec{n}_a, \vec{m}) < 0 \end{array} \quad (6.29)$$

Die Rechtwinkligkeit zwischen Vektoren kann vielfältig genutzt werden, z.B., um die Rechtwinkligkeit zwischen Ebenen, Ebenengruppen, Geraden oder Geradengruppen zu beschreiben. Im Fall der Ebenen würden die Normalenvektoren, im Fall der Geraden die Richtungsvektoren herangezogen. Betrachtet wird die Rechtwinkligkeit zwischen jeweils zwei Vektoren⁷. Wie Abbildung 6.8 zeigt, kann der Winkel α zwischen den Vektoren im Bereich von 0 bis π liegen, wobei die Rechtwinkligkeit mit $\alpha = \frac{\pi}{2}$ erfüllt ist.

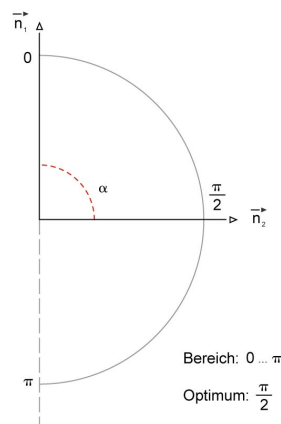


Abb. 6.8.: Rechtwinkligkeit zwischen zwei Vektoren

Aus diesen Betrachtungen resultierend eignet sich als Beschreibung der Rechtwinkligkeit die Formel:

$$\frac{\pi}{2} + v = \arccos \left(\frac{\vec{n}_1 \cdot \vec{n}_2}{|\vec{n}_1| |\vec{n}_2|} \right) \quad (6.30)$$

⁷Es kann auch eine Rechtwinkligkeit zwischen drei Vektoren definiert werden.

6.4.4. Senkrechte und waagerechte Vektoren

Die Beobachtung eines senkrechten Vektors kann genutzt werden, um beispielsweise den senkrechten Verlauf einer Geraden (Lot !) oder den horizontalen Verlauf einer Ebene oder einer Ebenengruppe zu modellieren (siehe Abbildung 6.9). Dazu werden, wie schon beschrieben, die Richtungs- bzw. Normalenvektoren herangezogen.

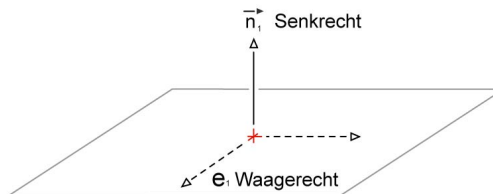


Abb. 6.9.: Waagrecht verlaufende Ebene

Wird nicht eine bestimmte Orientierung des Vektors gefordert, also bestimmt, ob der Vektor „nach oben oder unten zeigt“, so kann eine Beschreibung der Parallelität zu einem fest eingeführten senkrechten Vektor $\vec{s} = (0; 0; 1)^T$ genutzt werden. Die direkte Variante

$$\begin{aligned} 0 + v &= \arcsin \left(\frac{|\vec{n} \times \vec{s}|}{|\vec{n}| |\vec{s}|} \right) \\ \vec{s} &= (0; 0; 1)^T \\ 0 + v &= \arcsin \left(\sqrt{\frac{n_x^2 + n_y^2}{n_x^2 + n_y^2 + n_z^2}} \right) \end{aligned} \quad (6.31)$$

läßt sich aus den bereits mehrfach genannten Gründen nicht direkt nutzen. Möglich sind die Ersatzfunktionen:

$$0 + v = n_x^2 + n_y^2 \quad (6.32)$$

oder:

$$\begin{aligned} 0 + v &= \frac{n_x}{|\vec{n}|} \\ 0 + v &= \frac{n_y}{|\vec{n}|} \end{aligned} \quad (6.33)$$

Die Beobachtung waagerechter Vektoren kann genutzt werden, um beispielsweise den waagerechten Verlauf einer Geraden (Nivelliergerät) oder den senkrechten Verlauf einer Ebene oder Ebenengruppe zu modellieren (siehe Abbildung 6.10). Analog der Beschreibung der Rechtwinkligkeit zwischen Vektoren kann in diesem Fall der waagerechte Verlauf eines Vektors \vec{n} als Rechtwinkligkeit zu einem senkrechten Vektor $\vec{s} = (0; 0; 1)^T$ definiert werden:

$$\begin{aligned} \frac{\pi}{2} + v &= \arccos \left(\frac{\vec{n} \cdot \vec{s}}{|\vec{n}| |\vec{s}|} \right) \\ \vec{s} &= (0; 0; 1) \\ \frac{\pi}{2} + v &= \arccos \left(\frac{n_z}{\sqrt{n_x^2 + n_y^2 + n_z^2}} \right) \end{aligned} \quad (6.34)$$

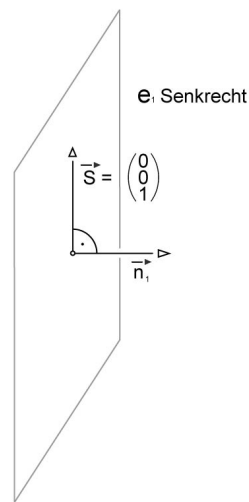


Abb. 6.10.: Senkrecht verlaufende Ebene

6.4.5. Blöcke, Blockkopien und Wiederholungen

Der Begriff Block wurde an dieser Stelle genutzt, um an den gleichnamigen Begriff im Bereich der CA(A)D-Systeme zu erinnern. Gemeint ist das „Einfrieren“ einer Menge von Punkten in ihren Lagen zueinander. Da alle geometrischen Elemente, wie Linien, Polygone und Volumen auf den Punkten aufbauen, wird so ein geometrisches Objekt in seiner Form „eingefroren“. Diese Funktion hat mehrere Aufgaben. Zum einen ermöglicht sie die stufenweise Ausgleiche, das heißt, das lokale Ausgleichen kleiner, präziser geometrischer Elemente und deren anschließende Einpassung in eine größere, ungenauere geometrische Umgebung. Zum anderen ist ein Import statischer Geometriebeschreibungen aus Fremdapplikationen möglich.

Grundlage weiterer Überlegungen ist folgender Ansatz: Ein Körper besitzt bezüglich der Bewegungen im Raum sechs Freiheitsgrade. Er kann mittels Translation und Rotation bewegt werden. Aus der Kombination von Translation und Rotation ergibt sich jede beliebige Lageänderung.

Bei der vorliegenden Geometriebeschreibung müssen die Lageänderungen von Körpern durch die Lageänderungen ihrer Punkte beschrieben werden. Es wird daher im Folgenden die Punktmenge M_p eines zu bewegenden Körpers betrachtet. Die Lage der Punkte dieser Punktmenge soll zueinander nicht verändert werden. Es stellt sich die Frage, wie die Lage der Punkte zueinander fest beschrieben werden kann.

Es wird folgender Ansatz vorgeschlagen: Die Punktmenge besitzt ein lokales Koordinatensystem. Dieses Koordinatensystem wird im globalen Koordinatensystem eingepaßt bzw. bewegt. Dazu stellt sich die Frage, wo der Ursprung des Koordinatensystems liegen soll. Eine Möglichkeit besteht darin, den Schwerpunkt der Punktmenge als Koordinatenursprung zu definieren. Die Transformation eines Punktes vom lokalen zum globalen Koordinatensystem läßt sich mit Hilfe einer Rotationsmatrix R und eines Translationsvektors \vec{t} beschreiben. Die Rotationsmatrix läßt sich analog Abschnitt 6.6 mittels Winkelangaben oder algebraischer Funktionen beschreiben (nach [Luhmann00]).

[Luhmann00] beschreibt als Vorteile der algebraischen Funktionen u.a. das schnellere Konvergenzverhalten und das Fehlen von singulären Stellen durch Mehrdeutigkeiten. Im Fall der Blockkopien ist des weiteren von Vorteil, daß bei einer Umsetzung mit algebraischen

Funktionen keine Näherungswerte benötigt werden. Daher ist in diesem Fall die Nutzung der algebraischen Funktionen unbedingt anzuraten. Die Rotationsmatrix wird wie folgt aufgebaut ([Luhmann00]):

$$R^T = \begin{pmatrix} d^2 + a^2 - b^2 - c^2 & 2(ab - cd) & 2(ac + bd) \\ 2(ab + cd) & d^2 - a^2 + b^2 - c^2 & 2(bc - ad) \\ 2(ac - bd) & 2(bc + ad) & d^2 - a^2 - b^2 + c^2 \end{pmatrix} \quad (6.35)$$

Dabei ist m wie folgt zu normieren:

$$m = a^2 + b^2 + c^2 + d^2 = 1 \quad (6.36)$$

Die Projektion jedes Punktes P_i der Punktmenge in das globale Koordinatensystem lautet:

$$\vec{p}'_i = R\vec{p}_i + \vec{t} \quad (6.37)$$

Auf diesen Gedanken aufbauend wird folgende Vorgehensweise vorgeschlagen: Von einer einzupassenden Punktmenge M_p wird eine Kopie erzeugt. Zugunsten einer besseren Anschaulichkeit wird im Folgenden die Originalpunktmenge mit M'_p und die Kopie mit M_p bezeichnet. Das Original besitzt einen Schwerpunkt $P_{S'}$, die Kopie den Schwerpunkt P_S . Die Abbildung der Punktkoordinaten zwischen Original und Kopie läßt sich für jeden Punkt P'_i und seine Kopie P_i formulieren als:

$$\vec{p}'_i = R(\vec{p}_i - \vec{p}_S) + \vec{p}_{S'} \quad (6.38)$$

Die Kopie der Punktmenge wird fixiert. Das Original verbleibt mit seinen Punktkoordinaten als Unbekannte im Ausgleichsmodell. Aus der Projektion zwischen Original und Kopie werden Pseudobeobachtungen der Punktkoordinaten der Originalpunkte modelliert:

$$\begin{aligned} t_{i_x} &= r_{11}(p_{i_x} - p_{S_x}) + r_{12}(p_{i_y} - p_{S_y}) + r_{13}(p_{i_z} - p_{S_z}) + p'_{S_x} \\ t_{i_y} &= r_{21}(p_{i_x} - p_{S_x}) + r_{22}(p_{i_y} - p_{S_y}) + r_{23}(p_{i_z} - p_{S_z}) + p'_{S_y} \\ t_{i_z} &= r_{31}(p_{i_x} - p_{S_x}) + r_{32}(p_{i_y} - p_{S_y}) + r_{33}(p_{i_z} - p_{S_z}) + p'_{S_z} \end{aligned} \quad (6.39)$$

Der Vergleich zwischen dem errechneten Vektor \vec{t}_i und der Punktposition \vec{p}'_i wurde zugunsten einer wesentlich besseren Konvergenz nicht über eine Verbesserungsgleichung $0 + v = |\vec{p}'_i - \vec{t}_i|$ oder $0 + v = (p'_{i_x} - t_{i_x})^2 + (p'_{i_y} - t_{i_y})^2 + (p'_{i_z} - t_{i_z})^2$, sondern über drei Verbesserungsgleichungen

$$\begin{aligned} 0 + v &= t_{i_x} - p'_{i_x} \\ 0 + v &= t_{i_y} - p'_{i_y} \\ 0 + v &= t_{i_z} - p'_{i_z} \end{aligned} \quad (6.40)$$

modelliert.

Blockkopien sind eine Fortführung des Konzeptes der Blöcke und dienen beispielsweise zur Realisierung von Referenzgeometrien. Voraussetzung für die Beobachtung sind eine Referenzgeometrie, eine oder mehrere Kopien dieser Geometrie und die Kenntnis aller Zugehörigkeiten zwischen den Punkten der Referenzgeometrie und ihren Kopien. In diesem Fall können für alle Blockkopien die Bedingungen nach Gleichung 6.39 modelliert werden.

Fenster und Treppenstufen sind Beispiele für Wiederholungen. Eine Menge zusammengehöriger Geometrielemente ist identisch aufgebaut und unterliegt den gleichen Bedingungen. Die Modellierung kann anhand der Vorgehensweise von Blockkopien erfolgen.

6.4.6. Symmetrien

Symmetrien sind an Bauwerken häufig zu finden. Zunächst soll der Begriff der Symmetrie im Raum näher betrachtet werden. Im R^2 wird zwischen der Achsensymmetrie und der Drehsymmetrie unterschieden. Sie entsprechen im Raum der Ebenensymmetrie und der Rotationssymmetrie. Betrachtet wird im Folgenden die Ebenensymmetrie.

Gibt es eine Ebene, so daß eine Figur im Raum unter Spiegelung an dieser Ebene in sich selbst überführt wird, so nennt man die Figur ebenensymmetrisch (siehe Abbildung 6.11).

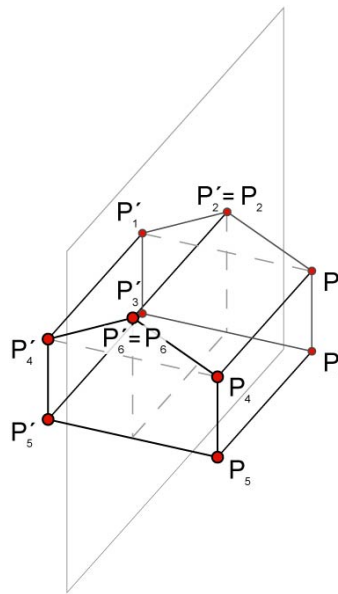


Abb. 6.11.: Ebenensymmetrie

Symmetrien lassen sich ähnlich der Vorgehensweise von Blöcken über ihre Einzelpunkte modellieren. Jeweils zwei Punkte stehen als Punktpaar symmetrisch zueinander. Eine beide Punkte verbindende Strecke muß dabei parallel zum Normalenvektor der Spiegelebene verlaufen, wobei der Mittelpunkt der Strecke in der Spiegelebene liegen muß. Aus diesem Ansatz lassen sich verschiedene Pseudobeobachtungen zur Modellierung von Symmetrien ableiten. Eine Möglichkeit besteht darin, die beiden Punkte auf die Spiegelebene abzuloten. Die Lotpunkte müssen dabei identisch sein, ebenfalls die Entfernung der Punkte von der Spiegelebene. Zur Definition der Ebene wird die Gleichung 6.21 auf Seite 89 genutzt.

$$0 + v = \frac{(\vec{p}_i - \vec{p}_S) \cdot \vec{n}}{|\vec{n}|} + \frac{(\vec{p}'_i - \vec{p}_S) \cdot \vec{n}}{|\vec{n}|} \quad (6.41)$$

$$0 + v = \left| \vec{p}_i + \frac{(\vec{p}_i - \vec{p}_S) \cdot \vec{n}}{|\vec{p}_i - \vec{p}_S| |\vec{n}|} \vec{n} - \vec{p}'_i + \frac{(\vec{p}'_i - \vec{p}_S) \cdot \vec{n}}{|\vec{p}'_i - \vec{p}_S| |\vec{n}|} \vec{n} \right| \quad (6.42)$$

Eine andere Möglichkeit besteht in der Berechnung \vec{t} der gespiegelten Position eines Punktes P_i und deren Positionsvergleich mit der wahren Position von P'_i :

$$\vec{t} = \vec{p}_i + \frac{2|\vec{p}_S - \vec{p}_i| \cos \angle(\vec{p}_S - \vec{p}_i, \vec{n})}{|\vec{n}|} \vec{n} \quad (6.43)$$

$$\begin{aligned}
0 + v &= t_{i_x} - p'_{i_x} \\
0 + v &= t_{i_y} - p'_{i_y} \\
0 + v &= t_{i_z} - p'_{i_z}
\end{aligned}
\tag{6.44}$$

6.4.7. Gleichheiten in Werten und Normierungen

An den Fassaden von Gebäuden lassen sich besonders gut Gleichheiten in Entfernungen beobachten. Aber auch andere Gleichheiten sind möglich, etwa die gleiche Neigung von unterschiedlichen Dachflächen. Gleiche Neigungen von Flächen sind nicht identisch zu Forderungen nach Parallelität oder Symmetrie (siehe Abbildung 6.12)! Trivialerweise lassen sich die Gleichheiten von zwei Meßwerten l_1 und l_2 mittels der folgenden Gleichung darstellen:

$$0 + v = l_2 - l_1 \tag{6.45}$$

Soll die Gleichheit einer Gruppe von Meßwerten gefordert werden, so wird der Mittelwert l_m der Gruppe gebildet und anschließend wird für jeden Meßwert l_a der Gruppe die Beobachtung $0 + v = l_m - l_a$ eingeführt.

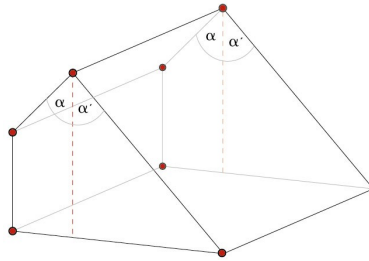


Abb. 6.12.: Winkel mit gleichem Betrag

Bestimmte Beobachtungen, wie die Gruppierung einer Menge von Ebenen, nutzen Richtungsvektoren. Diese Vektoren müssen normiert werden, um einer kritischen Verkleinerung oder Vergrößerung durch die iterativen Verbesserungen entgegenzuwirken. Die Normierung der Vektoren sollte, unter anderem, um Oszillationseffekte zu vermeiden, nicht analytisch vor oder nach einem einzelnen Iterationszyklus geschehen, sondern als Pseudobeobachtung mit in das Ausgleichungsmodell eingeführt werden. Lautet der Richtungsvektor \vec{r} , so lautet die Verbesserung:

$$1 + v = \sqrt{r_x^2 + r_y^2 + r_z^2} \tag{6.46}$$

oder

$$1 + v = r_x^2 + r_y^2 + r_z^2 \tag{6.47}$$

Bestimmte Beobachtungen, wie die Ausgleichungsebene, nutzen den geometrischen Schwerpunkt einer Punktmenge. Der geometrische Schwerpunkt P_S kann mittels Pseudobeobachtungen beschrieben und mit den übrigen Beobachtungen des Ausgleichungsmodells verbessert werden. Dazu wird der theoretische Schwerpunkt $P_{S'}$ berechnet und mit den Unbekannten von P_S verglichen. Der Vergleich sollte nicht über die Distanz $0 + v = |\vec{p}_S - \vec{p}_{S'}|$ erfolgen, da hier die Extremstelle der Verbesserungsgleichung mit dem Optimum zusammenfällt. Besser gestaltet sich eine Beschreibung über die einzelnen Koordinatenanteile, wie bereits mehrfach gezeigt:

$$\begin{aligned}
0 + v &= p_{S_x} - p_{S'_x} \\
0 + v &= p_{S_y} - p_{S'_y} \\
0 + v &= p_{S_z} - p_{S'_z}
\end{aligned}
\tag{6.48}$$

6.5. Anbindung Tachymetrie

Die wichtigsten Meßwerte von Tachymetern sind Horizontal- und Vertikalwinkel, sowie die Distanz. Es sind demzufolge drei Typen von Verbesserungsgleichungen zu formulieren, und zwar für

- den Horizontalwinkel,
- den Vertikalwinkel und
- die Distanz.

Tachymeter messen einen Horizontalwinkel im Bereich von 0 bis 2π (400 gon). Es ist dabei möglich, am Tachymeter eine Horizontalausrichtung für den Winkel 0 vorzugeben. Ansonsten wird der Horizontalwinkel bezogen auf die Geräte-x-Achse gemessen. Die Geräte-x-Achse entspricht im kartesischen Koordinatensystem der y-Achse. Der Horizontalwinkel des Tachymeters ist rechtsdrehend, besitzt also den entgegengesetzten Drehsinn des mathematischen Winkels. Der Vertikalwinkel wird meist im Bezug zur Zenitachse gemessen. Er kann ebenfalls zwischen 0 und 2π liegen. Ist der Vertikalwinkel größer als π , so wird vom „Durchschlagen“ gesprochen. Das Fernrohr ist praktisch umgedreht. Es besteht daher eine enge Kopplung zwischen Horizontal- und Vertikalwinkel.

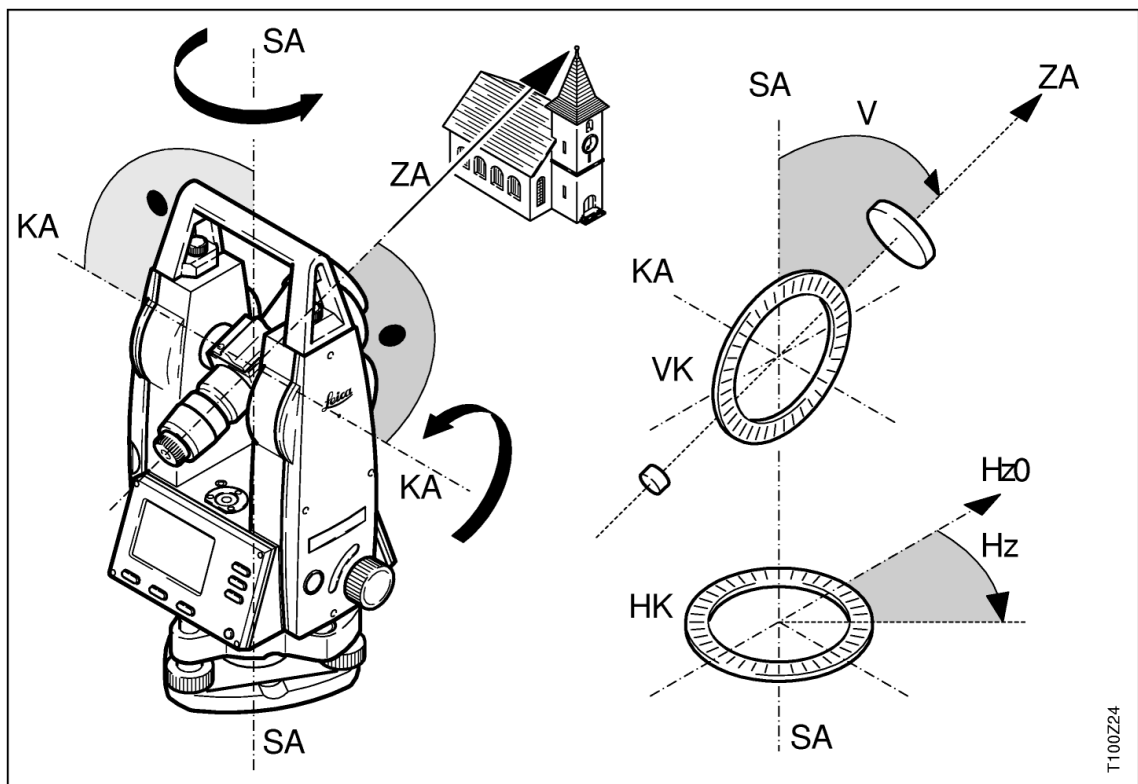


Abb. 6.13.: Winkel am Tachymeter [Leica01/2]

Zunächst wird die Verbesserungsgleichung des Horizontalwinkels betrachtet. Es wird die Gleichung 6.49 vorgeschlagen:

$$Hz = \arctan2(p_{M_x} - p_{T_x}, p_{M_y} - p_{T_y}) - o + \nu \quad (6.49)$$

Dabei steht P_M für einen aufgenommenen Punkt, P_T für den Tachymeterstandort, o für den Offset des Horizontalwinkels, also den Winkel zwischen der Nullachse des Tachymeters und der x-Achse des globalen Koordinatensystems, und ν für die Berichtigung des Horizontalwinkels im Falle des „Durchschlagens“ des Fernrohres, also für Stellung 2. In diesem Fall wird ν auf π gesetzt, ansonsten gilt $\nu = 0$. Das Durchschlagen wird erkannt, wenn die Beobachtung des Vertikalwinkels, normiert auf den Bereich 0 bis 2π , größer π ist. Die Funktion $\arctan 2$ stellt, wie in Abschnitt 6.4 beschrieben, eine Sonderfunktion der Winkelfunktion \arctan dar, welche einen Wertebereich von $-\pi$ bis π besitzt. Neben dem größeren Wertebereich ist sie auch deswegen einer Variante wie

$$Hz = \arctan \left(\frac{p_{M_x} - p_{T_x}}{p_{M_y} - p_{T_y}} \right) - o + \nu \quad (6.50)$$

vorzuziehen, da diese für den Fall $p_{M_y} = p_{T_y}$ nicht definiert wäre. Es ist abschließend eine Normierung des Wertebereiches von $-\pi$ bis π auf 0 bis 2π zu empfehlen.

Für die Verbesserungsgleichung des Vertikalwinkels wird die Variante 6.51 vorgeschlagen:

$$V = \arccos \left(\frac{p_{M_z} - p_{T_z}}{|\vec{p}_M - \vec{p}_T|} \right) + \nu \quad (6.51)$$

Die Winkelfunktion \arccos hat dabei einen Wertebereich von 0 bis π . Auch hier kann der Beobachtungswert des Vertikalwinkels zur Unterscheidung der Stellungen 1 und 2 dienen. In Stellung 2 wird ν auf π gesetzt, ansonsten beträgt $\nu = 0$. Abschließend sollte der Wertebereich wieder auf den Bereich 0 bis π gesetzt werden. Die Verbesserungsgleichung des Vertikalwinkels hat vor allem Einfluß auf die z-Koordinaten des Meßpunktes und / oder des Tachymeterstandortes. Daher ist die Berücksichtigung der Stellung 2 bei der Verbesserungsgleichung des Vertikalwinkels eigentlich nicht erforderlich, erscheint aber beispielsweise für Informationszwecke im Dialog mit dem Nutzer als vorteilhaft.

Die Verbesserungsgleichung der Distanzmessung erfolgt analog der Distanzbeschreibung im Handaufmaß nach Gleichung 6.52:

$$d = |\vec{p}_M - \vec{p}_T| \quad (6.52)$$

Viele moderne Tachymeter erlauben sowohl die reflektorbasierte, wie auch die reflektorlose Distanzmessung. Die reflektorlose Tachymetrie eignet sich besonders gut zur Erfassung von Punktpositionen an schwer zugänglichen Stellen. Auch erfolgt die Erfassung mehrerer Meßpunkte wesentlich schneller. Die Erfassung kann von einer Person allein erfolgen, da kein Reflektor „angehalten“ werden muß. Die Genauigkeit der reflektorlosen Distanzmessung ist allerdings bis heute geringer als die der reflektorbasierten Messung. Diese eignet sich beispielsweise zur direkten Erfassung anderer Standorte. Aufgrund der unterschiedlichen Genauigkeiten der Meßmethoden sollten die Genauigkeiten der Distanzmessungen für jede Messung einzeln vergeben werden.

Mit Hilfe der beschriebenen Beobachtungen können in Kombination mit anderen Beobachtungen oder Pseudobeobachtungen beliebige tachymetrische Messungen abgebildet werden. Als Beispiel sei ein Tachymeter über einer Marke am Boden stationiert. Dies kann mit Hilfe einer Pseudobeobachtung für ein Lot modelliert werden (siehe Gleichung 6.58, S. 103). Die Höhe des Tachymeters kann in diesem Fall als Entfernung zweier Punkte oder als Höhendifferenz (siehe Gleichung 6.57, S. 103) modelliert werden.

Der Aufbau von beispielsweise Polygonnetzen erfolgt durch das Hinzufügen der Beobachtungen der tachymetrischen Messungen zwischen den Standorten der Tachymeter. Analog ist bei der Erfassung von beispielsweise Eckpunkten zu verfahren. Werden durch das Erfassen mehrerer Oberflächenpunkte deren Ebenen bestimmt, so wird bei jeder Messung ein neuer Punkt erstellt und der betreffenden Ebene durch eine Pseudobeobachtung nach Gleichung 6.21 auf Seite 89 zugeordnet. Die Aufzählung läßt sich beliebig erweitern.

6.6. Anbindung Photogrammetrie

Während einer fotografischen Aufnahme werden 3D-Objekte auf den zweidimensionalen Film projiziert. Es kommt also zu einem Informationsverlust. Daher sind mehrere Aufnahmen der gleichen 3D-Objekte zu deren Rekonstruktion und/oder Nebenbedingungen erforderlich. Vereinfacht, ohne genauere Berücksichtigung des Linsensystems und optischer Luftbrechungen, kann das Grundprinzip der Photogrammetrie so verstanden werden: Als theoretisches Modell wird der Vorgang der Aufnahme umgekehrt. Von der auf Film festgehaltenen 2D-Abbildung eines Raumpunktes kann ein Strahl durch den Brennpunkt der Kamera generiert werden, welcher den abgebildeten Raumpunkt durchläuft. Um die Position des Raumpunktes zu finden, gibt es mehrere Ansätze. An dieser Stelle werden nur rechnerische Verfahren betrachtet. Die analoge Auswertung mittels des räumlichen Sehvermögens des Menschen stellt jedoch keinen Konflikt zu dem beschriebenen Ansatz dar und ließe sich, auf etwas indirektem Weg, auch einbinden⁸.

Den rechnerischen Ansätzen ist, direkt oder indirekt⁹ gemeinsam, daß der Projektionsstrahl mit einem anderen geometrischen Objekt verschnitten wird. Wurde beispielsweise eine als Ebene abstrahierbare Fassade aufgenommen, so werden die Strahlen mit dieser Ebene verschnitten. Bei Verfahren mit mehr als einer Aufnahme werden die verschiedenen Projektionsstrahlen von unterschiedlichen Aufnahmen identischer aufgenommener Punkte miteinander verschnitten. Ist ein Punkt auf mehr als zwei Aufnahmen sichtbar, so entsteht zur Berechnung seiner Position ein überbestimmtes Gleichungssystem. Eine Möglichkeit der Berechnung der Position dieses Punktes liegt in der Nutzung der Bündelblockausgleichung.

Die Bündelblockausgleichung ist aus verschiedenen Gründen besonders geeignet, um die Photogrammetrie in das vorgestellte Konzept einzubinden¹⁰. Die Bündelblockausgleichung nutzt die Ausgleichsrechnung und modelliert den Abbildungsprozeß der Aufnahme optisch sehr realitätsnah als Beobachtungen. Sie läßt sich damit ideal mit anderen Beobachtungen kombinieren. In Kombination mit den anderen, z.B. in diesem Abschnitt behandelten Beobachtungen, lassen sich vielfältige Kombinationen zur Orientierung der Aufnahmen erreichen, wie auch zur Bestimmung der aufgenommenen Raumpunkte. Als Beispiel sei die Pseudobeobachtung einer Ebenendefinition genannt. Durch die Kombination von der Beobachtung eines aufgenommenen Punktes und dessen Einbeziehung in eine Ebenendefinition wird die Lage dieses Punktes nach dem Prinzip des Orthophotos bestimmt. Die automatische Orientierung von Aufnahmen durch mittels anderer Beobachtungen bekannter Raumpunkte sei an dieser Stelle nur erwähnt.

Die Abbildung eines Raumpunktes auf eine Aufnahme ist von verschiedenen Parametern abhängig. Zu diesen gehören:

- trivialerweise die Position des Raumpunktes
- die Position des Aufnahmestandortes und die Orientierung des optischen Systems
- das physikalische Modell der Projektion und die mit diesem verbundenen Parameter, wie etwa die Brennweite

Betrachtet wird im Folgenden die einfachste Form eines Modells der Projektion, eine Zentralprojektion ohne Berücksichtigung von optischen Verzerrungen usw. Zunächst stellt sich

⁸Z.B. Einbindung als abgegriffene Punktwolke.

⁹Mit direkt bzw. indirekt ist an dieser Stelle gemeint, daß die Berechnung der Raumpunkte nicht direkt über eine Schnittpunktberechnung erfolgen muß. Entsprechende Ansätze lassen sich jedoch modellseitig immer wieder auf den Grundansatz des Verschnittes des Projektionsstrahls zurückführen.

¹⁰Weitere Vorteile siehe [Kraus94].

die Frage der Parametrisierung der Orientierung des optischen Systems. Dieses wird analog der Problemstellung der Blöcke aus Abschnitt 6.4.5 (siehe S. 94) mittels einer Rotationsmatrix R und einer Translation dargestellt. Für die Translation wird der Ortsvector \vec{p}_c genutzt, welcher die Position der Kamera im Raum angibt.

Die Rotationsmatrix R kann über Winkelfunktionen (siehe Gleichung 6.53) oder über algebraische Funktionen (siehe Gleichung 6.35, S. 95) aufgestellt werden. Aus den bereits in Abschnitt 6.4.5 genannten Gründen sollte der Lösung mittels algebraischer Funktionen der Vorzug gegeben werden. Bei einer Lösung mit Hilfe von Winkelfunktionen muß die Orientierung der Kamera grob vorgegeben werden, beispielsweise über skizzenbasierte Interaktionen. Die Rotationsmatrix R entsteht dabei als eine Abfolge von drei Einzeldrehungen, deren Reihenfolge den Aufbau von R bestimmt. Gleichung 6.53 ([Kraus94]) zeigt einen möglichen Aufbau von R . Abbildung 6.14 zeigt die zugehörige Interpretation der Winkel ω, ϕ und κ mit Hilfe eines Kardangehänges.

$$R_{\omega\phi\kappa} = \begin{pmatrix} \cos\phi \cos\kappa & \cos\phi \sin\kappa & \sin\phi \\ \cos\omega \sin\kappa + \sin\omega \sin\phi \cos\kappa & \cos\omega \cos\kappa - \sin\omega \sin\phi \sin\kappa & -\sin\omega \cos\phi \\ \sin\omega \sin\kappa - \cos\omega \sin\phi \cos\kappa & \sin\omega \cos\kappa + \cos\omega \sin\phi \sin\kappa & \cos\omega \cos\phi \end{pmatrix} \quad (6.53)$$

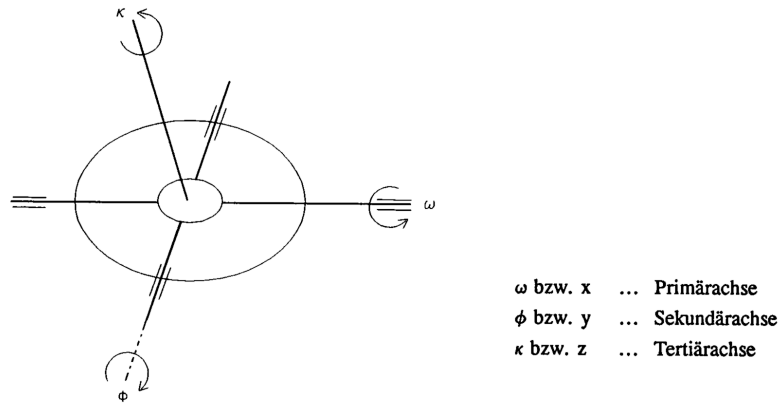


Abb. 6.14.: Drehungen um die Achsen in einem Kardangehänge [Kraus94]

Abbildung 6.15 zeigt die mathematische Modellierung der Zentralprojektion im lokalen Koordinatensystem der Kamera. Die Beziehung zwischen Raumpunkt P_i und seiner Abbildung wird mit Hilfe eines Beobachtungspaares modelliert, dabei geben ξ und η die Koordinaten der Punktabbildung im zweidimensionalen Koordinatensystem der Abbildung an. Zu beachten ist insbesondere, daß die z-Achse des lokalen Koordinatensystems nach hinten verläuft (rechtsdrehendes Koordinatensystem, siehe Abbildung 6.5, S. 86).

$$\vec{p}'_i = R(\vec{p}_i - \vec{p}_c) \quad (6.54)$$

$$\begin{aligned} \xi &= \xi_0 + c \frac{p'_{ix}}{p'_{iz}} \\ &= \xi_0 + c \frac{r_{11}(p_{ix} - p_{Cx}) + r_{21}(p_{iy} - p_{Cy}) + r_{31}(p_{iz} - p_{Cz})}{r_{13}(p_{ix} - p_{Cx}) + r_{23}(p_{iy} - p_{Cy}) + r_{33}(p_{iz} - p_{Cz})} \end{aligned} \quad (6.55)$$

$$\begin{aligned} \eta &= \eta_0 + c \frac{p'_{iy}}{p'_{iz}} \\ &= \eta_0 + c \frac{r_{12}(p_{ix} - p_{Cx}) + r_{22}(p_{iy} - p_{Cy}) + r_{32}(p_{iz} - p_{Cz})}{r_{13}(p_{ix} - p_{Cx}) + r_{23}(p_{iy} - p_{Cy}) + r_{33}(p_{iz} - p_{Cz})} \end{aligned} \quad (6.56)$$

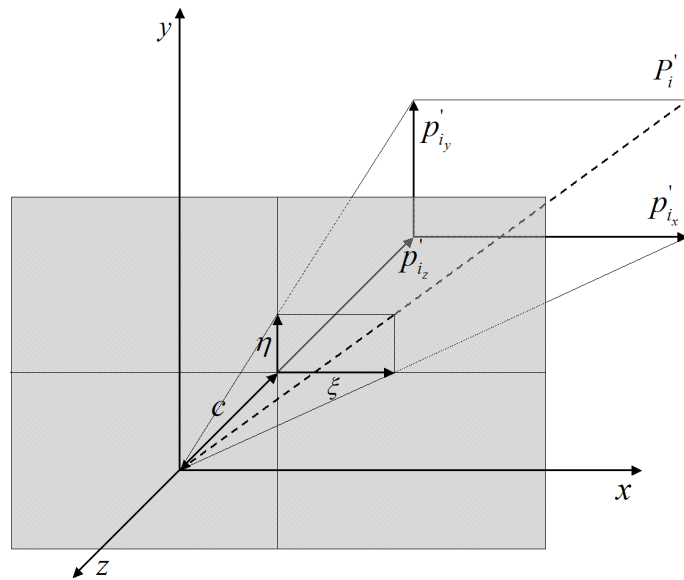


Abb. 6.15.: Zentralprojektion

6.7. Anbindung Handaufmaß

Im Gegensatz zu Tachymetrie und Photogrammetrie stützt sich das Handaufmaß auf eine Fülle unterschiedlicher Geräte, welche vor allem in ihrer Kombination zur Erfassung von Geometrien genutzt werden. Gerade daher kann hier die Nutzung der Ausgleichsrechnung zur Verbindung unterschiedlichster Beobachtungen einen wichtigen Dienst leisten. Weiter nutzt das Handaufmaß geometrische Abstraktionen in einem weit höherem Maß als beispielsweise die Tachymetrie. Als Beispiel sei die Erfassung eines Fensters genannt: Es wird die Breite, Höhe und Tiefe des Fensters aufgenommen, wobei die jeweilig gegenüberliegenden Flächen als parallel liegend abstrahiert werden.

Abschnitt 3.2.1 listete drei Gruppen von Werkzeugen und Meßgeräten auf:

- Entfernungsmesser, z.B. Laserdistanzmesser
- Meßgeräte zum Einmessen der Horizontalen, z.B. Lasernivelliergerät
- Meßgeräte zum Einmessen der Vertikalen, z.B. Lot an Schnur, Wasserwaage

Ebenfalls wurden die Werkzeuge Teleskopmaßstab, Schlauchwaage und Winkelmesser genannt. Bereits an der kleinen Auswahl an Geräten sind zwei Gruppen erkennbar:

1. Geräte und Werkzeuge, welche helfen, Elemente in einer bestimmten geometrischen Lage einzurichten oder diese anzuzeigen, ohne einen Meßwert zu liefern
2. Geräte, welche mittels Meßwert die geometrische Lage von Elementen zueinander beschreiben

Als Beispiel sei ein Lot und ein Laserdistanzmesser genannt. Mittels eines Lotes kann beispielsweise ein Punkt auf eine Fläche abgelotet oder ein Tachymeter über einer markierten Bodenmarke ausgerichtet werden. Das Lot gibt jedoch keinen Meßwert zurück. Der Laserdistanzmesser hingegen bestimmt die Entfernung zwischen sich und einem seinen Laser reflektierenden, als Punkt annehmbaren Oberflächenbereich.

Im Folgenden werden verschiedene Beobachtungen und Pseudobeobachtungen vorgestellt, mit welchen Aufmaßsituationen der verschiedenen Geräte des Handaufmaßes, auch in Kombination mit anderen Aufmaßtechniken (!), nachmodelliert werden können.

Höhenunterschiede

Mit Hilfe der Gleichung:

$$d + v = p_{2z} - p_{1z} \quad (6.57)$$

lassen sich Höhenunterschiede zwischen Punkten P_1 und P_2 modellieren. Damit lassen sich gemessene Höhenunterschiede an Nivellierlatten, Schlauchwaagen oder Teleskopmaßstäben abbilden. Wird $d = 0$ gesetzt, so ergibt sich eine Möglichkeit, mittels Nivelliergerät oder Wasserwaage auf gleiche Höhe ausgerichtete Punkte in ihrer Lage zueinander festzulegen. Problematisch an letzterem Fall erscheint der zunehmende Einfluß von Winkelfehlern bei größeren horizontalen Entfernungen von P_1 und P_2 , so daß hier die Verwendung eines Vertikalwinkels vorteilhafter erscheint. Anhand dieses Beispiels wird wieder das Anliegen des Ansatzes deutlich, mittels Verbesserungsgleichungen Messungen möglichst realitätsnah nachzubilden.

Horizontaler Abstand und Lot

Der horizontale Abstand zweier Punkte läßt sich beschreiben als:

$$d + v = \sqrt{(p_{2x} - p_{1x})^2 + (p_{2y} - p_{1y})^2} \quad (6.58)$$

In Kombination mit Gleichung 6.57 können beispielsweise Absteckungen nachmodelliert werden. Wird $d = 0$ gesetzt, so ergibt sich die Beschreibung eines Lotes.

6.7.1. Entfernungen

Das Handaufmaß zeichnet sich u.a. durch eine große Anzahl von Entfernungsmessungen aus, welche vom Aufnehmenden unter verschiedenen Abstraktionen vorgenommen werden. Obwohl in der Regel immer eine Entfernungsmessung zwischen zwei Punkten erfolgt, wird die aufgenommene Entfernung sehr verschieden interpretiert, beispielsweise als Entfernung parallel angenommener Flächen oder Kanten, als Entfernung eines Punktes zu seinem abgeloteten Fußpunkt auf einer Fläche oder Sehne usw. Nachfolgend findet sich eine Zusammenstellung unterschiedlicher Entfernunginterpretationen. Dabei ergeben sich z.T. Problematiken, da vom Aufnehmenden abstrahierte Parallelitäten in der Realität nicht wirklich gegeben sind. Dies betrifft insbesondere die Entfernungen zwischen parallel angenommenen Flächen und Kanten, welche darum ausführlicher behandelt werden.

Abstand eines Punktes zu einem anderen Punkt

Der Abstand eines Punktes P_1 zu einem Punkt P_2 läßt sich trivial beschreiben als

$$d + v = |\vec{p}_2 - \vec{p}_1|. \quad (6.59)$$

Abstand eines Punktes zu einer Strecke

Der Abstand eines Punktes P_1 zu einer Strecke, welche aus den Punkten P_2 und P_3 gebildet wird, läßt sich beschreiben als

$$d + v = \frac{|(\vec{p}_2 - \vec{p}_1) \times (\vec{p}_3 - \vec{p}_1)|}{|\vec{p}_3 - \vec{p}_2|}. \quad (6.60)$$

Abstand eines Punktes zu einer Geraden

Der Abstand eines Punktes P_1 zu einer Geraden, welche aus einem Punkt P_2 und einem Richtungsvektor \vec{n} gebildet wird, läßt sich analog der Formel 6.60 beschreiben als

$$d + v = \frac{|(\vec{p}_2 - \vec{p}_1) \times \vec{n}|}{|\vec{n}|}. \quad (6.61)$$

Abstand eines Punktes zu einem Polygon bzw. zu einer Ebene

Zur Berechnung des Abstandes eines Punktes P_1 zu einem Polygon wird dessen repräsentierende Ebene genutzt. Jedes Polygon muß einer solchen Ebene zugeordnet sein. Wie in Abschnitt 6.4.1 erläutert, wurde für die Darstellung einer Ebene der geometrische Schwerpunkt P_S und der Normalenvektor \vec{n} genutzt. Der Normalenvektor wird über eine Pseudobeobachtung normalisiert. Da aber auch diese einer gewissen Gewichtung unterliegt, sollte im Rahmen der Berechnung \vec{n} nicht als normalisiert vorausgesetzt werden. Der Abstand des Punktes P_1 zur Ebene des Polygons läßt sich demnach beschreiben als

$$d + v = \frac{(\vec{p}_1 - \vec{p}_S) \cdot \vec{n}}{|\vec{n}|}. \quad (6.62)$$

Abstand zwischen zwei Strecken

Der Abstand zwischen zwei Strecken ist trivial zu definieren, wenn die Strecken in zwei parallelen Geraden liegen. Dieser Idealzustand tritt absolut genau betrachtet in der Realität nie auf. Das geometrische Abbild eines Bauwerkes im Geometriemodell besitzt jedoch einen gewissen Abstraktionsgrad, bei welchem viele Geraden absolut parallel liegen oder nur unwesentlich davon abweichen.

Schon bei geringen Abweichungen von einer Parallelität würde eine Abstandsformel zwischen Geraden viel zu kleine Werte liefern, bestenfalls sogar den Abstand 0, da sich die Geraden der Strecken in weiter Entfernung sehr nahe kommen oder schneiden. Das Problem tritt bei dem hier vorgestellten Ansatz vielfältig auf:

- Die Parallelität von Oberflächen in einer Oberflächengruppe wird mit Pseudobeobachtungen definiert. Daher kann eine exakte Parallelität nicht vorausgesetzt werden.
- Will der Nutzer keine idealisierte Geometrie mit Rechtwinkligkeiten usw., sondern ein verformungsgetreues Modell, so ließen sich durch eine ebenfalls nicht mehr voraussetzbare Parallelität keine Streckenabstände nach dem beschriebenen Prinzip als Beobachtungen einbringen.
- Gleiche Probleme treten auch bei der Verbindung von Tachymetrie bzw. Photogrammetrie und Handaufmaß auf.

Aus den genannten Gründen soll eine Definition des Abstandes zwischen zwei Strecken gesucht werden, welche sehr gut mit dem Idealfall der Parallelität übereinstimmt. Abbildung 6.16 zeigt dazu zwei „nicht völlig parallele“ Strecken, zwischen denen eine Distanz angegeben werden soll, unter der Abstraktion, die Strecken wären parallel. In diesem Fall ließen sich unterschiedliche Distanzen angeben, wie d_1 , welche die kleinste, d_2 , welche die größte, und d_3 , welche die mittlere Entfernung der Strecken angibt. Bei einer Wahl für d_3 fällt der Gesamtfehler der Abstände über alle Punkte der Strecken am geringsten aus (farbig markierte Flächen). Je nach Aufgabenstellung kann demnach die kleinste, größte oder mittlere Entfernung bezüglich der Punkte einer Geraden zurückgegeben werden.

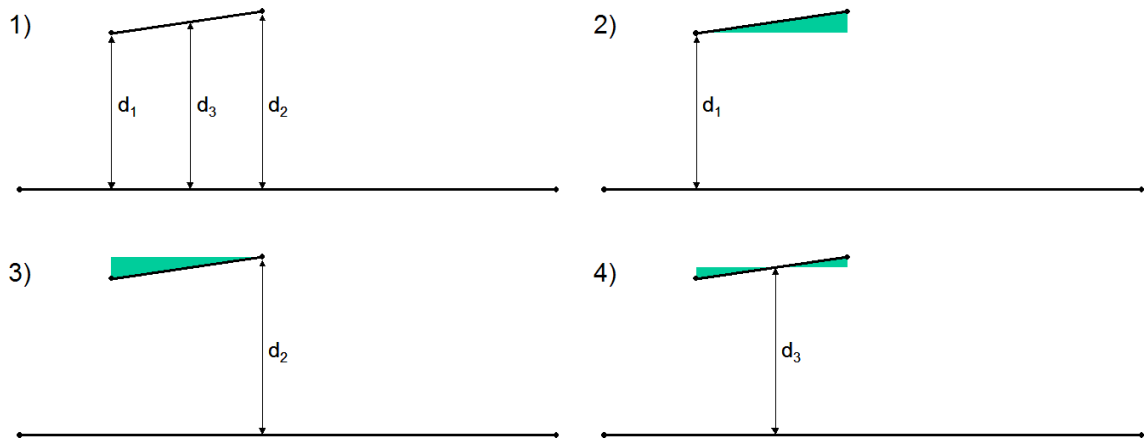


Abb. 6.16.: Verschiedene Distanzen zwischen nicht parallelen Strecken

Von den genannten Fällen wird beispielhaft im Folgenden der Fall betrachtet, daß eine möglichst mittlere Entfernung zurückgegeben wird. Gleichung 6.63 zeigt eine einfache Möglichkeit der Modellierung:

$$d + v = \min \left(\frac{\left(\frac{p_3 + p_4}{2} - p_1 \right) \times (p_2 - p_1)}{|p_2 - p_1|}, \frac{\left(\frac{p_1 + p_2}{2} - p_3 \right) \times (p_4 - p_3)}{|p_4 - p_3|} \right) \quad (6.63)$$

Abstand zwischen einer Strecke und einem Polygon bzw. einer Ebene

Der Abstand zwischen einer Strecke und einem Polygon läßt sich beschreiben als das Mittel der Entfernungen der Endpunkte P_1 und P_2 der Strecke zur Ebene des Polygons, welche über den geometrischen Schwerpunkt P_S und den Normalenvektor \vec{n} gebildet wird:

$$d + v = \frac{(\vec{p}_1 + \vec{p}_2 - \vec{p}_S) \cdot \vec{n}}{2 |\vec{n}|} \quad (6.64)$$

Abstand zwischen zwei Polygonen

Der Abstand zwischen zwei Polygonen ist trivial zu definieren, wenn die Polygone in zwei parallelen Ebenen liegen. Aus bereits im Abschnitt 6.7.1 genannten Gründen sind aber auch Polygone zu berücksichtigen, die nicht völlig parallel liegen. Für diesen Fall sollte eine Definition des Abstandes zwischen zwei Polygonen gesucht werden, welche gut mit dem Idealfall der Parallelität übereinstimmt.

Es wurde folgende Lösung gewählt (siehe Abbildung 6.17): Von beiden Polygonen (Polygon1 und Polygon2) werden die geometrischen Schwerpunkte (Schwerpunkt 1 und Schwerpunkt 2) berechnet. Nun wird eines der Polygone gedanklich so verschoben, daß die geometrischen Schwerpunkte beider Polygone die gleiche Position besitzen. Über der Punktmenge beider Polygone wird eine Ausgleichungsebene generiert. Diese wird ebenfalls in den gemeinsamen Schwerpunkt beider Polygone verschoben. Der geometrische Schwerpunkt des gedanklich verschobenen Polygons wird von seiner tatsächlichen Lage auf die Ausgleichungsebene abgelotet. Die Entfernung des Lotes (d) wird als Maß der Entfernung der Polygone voneinander definiert. Jedes der beiden Polygone kann für die Verschiebung genutzt werden, die entsprechenden Werte sind identisch (siehe Fall a und b).

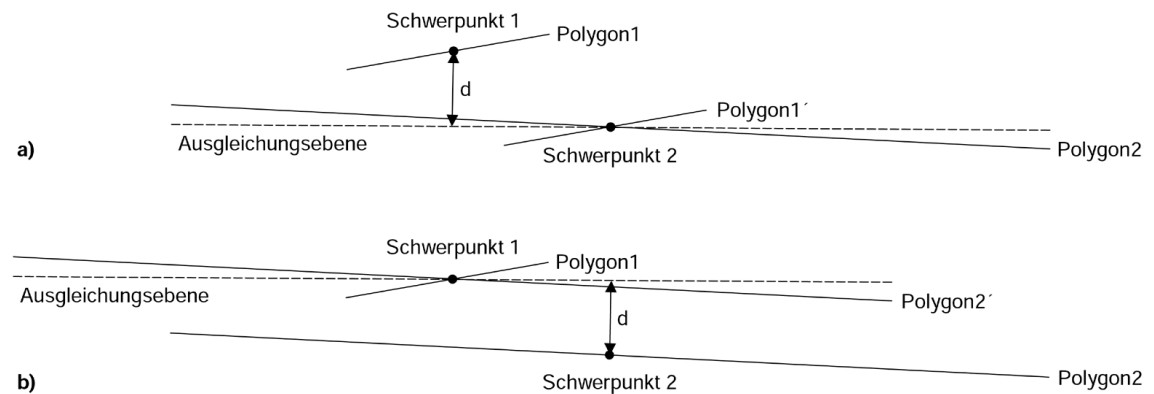


Abb. 6.17.: Abstand zwischen zwei Polygonen

6.8. Singularitäten

Der beschriebene Ansatz „Von der Skizze zum Detail“ führt dazu, daß das funktionale Modell in der Regel unterbestimmt ist (siehe Abschnitt 6.2.3). Dieser Zustand kann bis zum Abschluß des Bauaufmaßes erhalten bleiben. Als Beispiel sei eine 2D-Aufnahme eines Gebäudes genannt. Durch die fehlenden Höheninformationen bleibt die Geometrie bewußt unterbestimmt. Während der Phase des Aufmaßes selbst treten weitere Unterbestimmungen auf, da die schon aus der Skizzenphase vorhandene Geometrie keine Beobachtungen bzw. nur Pseudobeobachtungen durch Abstraktionen besitzt und somit zwangsweise sogenannte Datums- und Konfigurationsdefekte auftreten.

Unter Datumsdefekten wird dabei verstanden, daß die Lage von Punkten in einem Netz untereinander durch Beobachtungen beschrieben ist („*innere Geometrie*“), jedoch die Lage und Orientierung im Koordinatensystem nicht festgelegt wurde. Konfigurationsdefekte stellen dagegen Unterbestimmungen der Lage der Punkte zueinander innerhalb des Netzes dar, also eine unterbestimmte innere Geometrie (siehe Abbildung 6.18).

Bedingt durch den Ansatz „Von der Skizze zum Detail“ müssen folgende Ansprüche an das System gestellt werden:

- Das System muß das geometrische Modell bei der Einfügung von Beobachtungen ungeachtet vorliegender Singularitäten anpassen können.
- Das System muß dem Nutzer geeignete Werkzeuge anbieten, die diesen in die Lage versetzen, Singularitäten auf einfache Art zu erkennen und zu beseitigen.

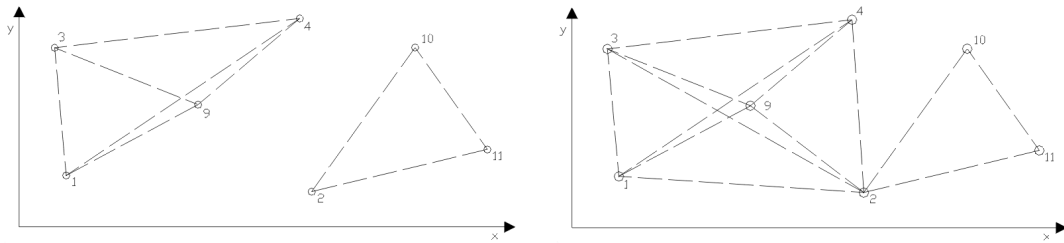


Abb. 6.18.: Konfigurationsdefekte in Netzen

Zunächst sollen an dieser Stelle einige grundsätzliche Betrachtungen erfolgen. Welche geometrischen Veränderungen sind bei einem singulären System **prinzipiell** gewünscht? Abbildung 6.19 zeigt dazu einen Raum, dessen Geometrie skizzenbasiert eingegeben wurde. Im Folgenden wurden vom System Pseudobeobachtungen eingebracht, die gegenüberliegende Oberflächen des Raumes parallel setzen und die Rechtwinkligkeiten zwischen den entsprechenden Oberflächen beschreiben. Wie zu sehen ist, kann diejenige Veränderung der Geometrie als optimal betrachtet werden, bei welcher die geringste Veränderung vorstatten geht. Das bedeutet, die Verbesserungen der Punktlagen sollten minimal ausfallen. Gleiches läßt sich auf die Verbesserungen der übrigen Unbekannten übertragen. Damit ist die prinzipielle Nebenbedingung $\|x\| = \min$ gegeben.

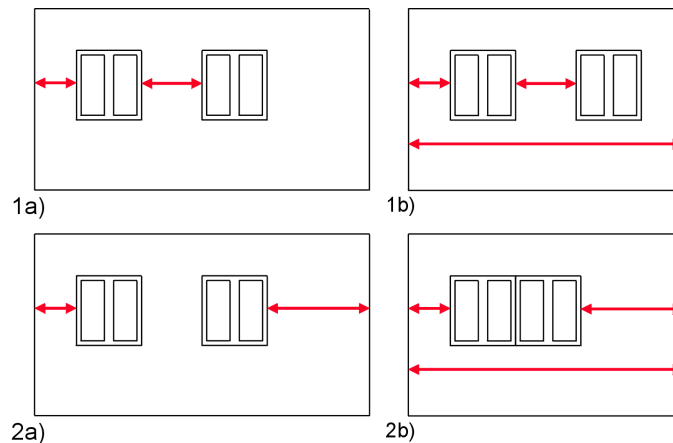


Abb. 6.19.: Veränderungen an der Geometrie durch neue Beobachtungen

Wie läßt sich eine solche Regularisierung realisieren? In der Geodäsie werden verschiedene Verfahren zur Regularisierung eingesetzt, welche jedoch in der Regel nur Datumsdefekte berücksichtigen. Ein allgemeingültiges Regularisierungsverfahren ist die Spektralzerlegung. Dabei wird eine singuläre Normalgleichungsmatrix N in ihre Eigenwerte und Eigenvektoren zerlegt. Dazu werden die Matrizen D und H eingeführt. Die Spektralmatrix D ist eine Diagonalmatrix und enthält auf dieser die Eigenwerte von N . Die Modalmatrix H nimmt die auf 1 normierten, zugehörigen Eigenvektoren von N auf. Mit Hilfe der Spektralmatrix D und der Modalmatrix H läßt sich die Normalgleichungsmatrix N zerlegen als ([Niemeier02]):

$$N = HDH^T \quad (6.65)$$

Besitzt die singuläre Normalgleichungsmatrix N einen Rangdefekt d , so ergeben sich d Eigenwerte zu 0. Aus ihren zugehörigen Eigenvektoren läßt sich die (u, d) -Matrix G formen, für die gilt ([Niemeier02]):

$$\begin{bmatrix} N & G \\ G^T & 0 \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} Q_{XX} & G(G^T G)^{-1} \\ (G^T G)^{-1} G^T & 0 \end{bmatrix} \quad (6.66)$$

Dabei ist Q_{XX} die Pseudoinverse (N^+) von N , für welche definitionsmäßig gefordert wird, daß bei $x = N^+n$ die Nebenbedingung $\|x\| = \min$ gilt. Ungünstig bei dieser Lösung ist der numerisch hohe Berechnungsaufwand der Eigenwerte und -vektoren.

Die Geodäsie hält weitere Verfahren zur Regularisierung bereit, welche jedoch in der Regel nur der Beseitigung von Datumsdefekten dienen. Viele dieser Verfahren nutzen dabei ebenfalls die sogenannte „Ränderung“ der Normalgleichungsmatrix N nach Gleichung 6.66. Dazu gehören beispielsweise die Teil- oder Gesamtpurminimierung. Bei diesen Verfahren wird die Matrix G mit wesentlich geringerem Berechnungsaufwand generiert. Die Verfahren dienen der Beseitigung von Datumsdefekten, wobei sie die Positionen der einzelnen Punkte des Netzes zu dessen Orientierung nutzen. Gleichung 6.67 zeigt den Aufbau der Matrix G bei Verwendung der Gesamtpurminimierung:

$$G^T = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & \dots & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 & 0 & 1 \\ 0 & -z_1 & y_1 & \dots & 0 & -z_n & y_n \\ z_1 & 0 & -x_1 & \dots & z_n & 0 & -x_n \\ -y_1 & x_1 & 0 & \dots & -y_n & x_n & 0 \\ x_1 & y_1 & z_1 & \dots & x_n & y_n & z_n \end{pmatrix} \quad (6.67)$$

Für die Implementierung des Prototypen wurde der Ansatz der kontinuierlichen Regularisierung $\|Nx - n\|^2 + \alpha \|x\|^2 = \min$ genutzt. Eine Umsetzung zur Bestimmung einer verallgemeinerten Inversen N_α^- , welche die genannte Bedingung erfüllt, ist

$$N_\alpha^- = (N + \alpha I)^{-1}. \quad (6.68)$$

Wie zu erkennen ist, muß lediglich α auf jedes Element der Diagonalen von N addiert werden, wodurch N in jedem Fall regulär ist (N ist im singulären Fall positiv indefinit!). Der Ansatz liefert jedoch nur bei einem sehr kleinen α für x zufriedenstellende Ergebnisse. Die resultierenden Gleichungssysteme ließen sich nur noch mit einem stabilen direkten Löser berechnen (Cholesky-Verfahren mit modifizierter Cholesky-Zerlegung LDL^T).

6.9. Qualitätsbeurteilung

Der beschriebene Ansatz eines mitwachsenden Geometriemodells entstand auch aus der Forderung, daß der Aufnehmende die Aufmaßtechniken frei wählen und kombinieren kann, wobei er den Aufmaßvorgang selbst bestimmt. Das System zwingt dem Aufnehmenden keine bestimmte Verfahrensweise auf. Durch diese Freiheit erwächst jedoch auch die Verantwortung für den Aufnehmenden, selbst für Kontrollmessungen und andere Methoden zur Aufdeckung von Meßfehlern zu sorgen.

Da der Ansatz gerade davon ausgeht, ein beispielsweise während der Erstbegehung erstelltes Geometriemodell zu einem späteren Zeitpunkt, während des Bauaufmaßes, maßlich der Realität in einer gewissen Genauigkeit anzupassen, befinden sich im Geometriemodell

in der Regel geometrische Elemente mit sehr unterschiedlicher Genauigkeit. Bestimmte Elemente wurden bereits aufgemessen, andere nicht, bestimmte Elemente müssen nicht aufgemessen werden, da sie mehr informellen Charakters sind (Umgebung als grobes Modell usw.).

Die Genauigkeit eines Computergeometriemodells läßt sich diesem nur sehr bedingt und bei sehr geringen Genauigkeiten ansehen. Ein Beispiel dafür sind sehr schräg stehende Oberflächen im Modell, obwohl der aufgenommene Raum dem Aufnehmenden wie üblich als Quader erscheint. In der Regel liefert der bloße Anblick des Modells kaum Aussagen auf seine Verlässlichkeit. Der beschriebene Ansatz eines mitwachsenden Geometriemodells führt zu einer allmählichen Genauigkeitssteigerung des Modells durch das Hinzufügen von Messungen bzw. der sie abbildenden Beobachtungen. Des weiteren können große Genauigkeitssprünge innerhalb des Modells auftreten. Aus den genannten Gründen muß das System dem Aufnehmenden Werkzeuge zur Verfügung stellen, die ihm eine einfache, aber effektive Kontrolle über die zum jeweiligen Zeitpunkt gegebene Genauigkeit und Zuverlässigkeit des geometrischen Abbildes ermöglicht.

Die Geodäsie bietet in den von ihr bereits weitentwickelten Ausgleichungsmodellen mathematische Methoden zur Beurteilung der Qualitäten von Netzen. [Niemeier02] führt dazu zwei Kategorien von Qualität auf:

- *„Die **Genauigkeit** der Koordinaten oder Unbekannten drückt aus, wie präzise diese Werte bestimmt werden, wenn und nur wenn die funktionalen Beziehungen zwischen Messgrößen und den zu schätzenden Parametern korrekt sind und die a priori Annahmen über die Standardabweichungen und Korrelationen der Messgrößen zutreffen. Die Genauigkeit kennzeichnet somit die Qualität des Entwurfs. ...*
- *Die **Zuverlässigkeit** bezieht sich auf die im Ausgleichungsmodell enthaltenen Kontrollmöglichkeiten für Beobachtungen und deren Auswirkung auf die Parameter. ... Zuverlässigkeitsmaße sagen etwas über den Schutz vor groben Fehlern und weiteren Effekten aus und sind damit eher interne geodätische Kriterien.“*

In bezug zu dem in dieser Arbeit vorgestellten Ansatz bedeutet dies, daß die Genauigkeit Aussagen liefert, inwieweit das erstellte geometrische Abbild eines Gebäudes mit diesem maßlich übereinstimmt, während die Zuverlässigkeit ein Maß für die Zuverlässigkeit der eingebrachten Messungen durch Überbestimmungen (siehe Abschnitt 3.7) ist. Beide Aspekte sind bei dem beschriebenen Ansatz von großer Bedeutung.

6.9.1. Beurteilung der Genauigkeit

In der geodätischen Ausgleichungsrechnung wurden verschiedene Kriterien für die Genauigkeiten der Unbekannten erarbeitet. Alle Kriterien nutzen dabei die Kofaktormatrix Q_{XX} , welche die Inverse der Normalgleichungsmatrix N darstellt (siehe Abschnitt 6.8). Aus diesem Zusammenhang wird bereits eine Problematik erkennbar. Die Berechnung einer Inversen ist rechenintensiv und wird, wenn möglich, vermieden. Das Gleichungssystem $Nx = n$ sollte daher auch direkt aufgelöst werden und nicht über die Inverse $x = N^{-1}n$. Da die Kofaktormatrix Q_{XX} jedoch Grundlage für die Genauigkeitskriterien der Unbekannten ist, sollten Genauigkeitstests, soweit es möglich ist, in ihrer Häufigkeit reduziert werden.

[Niemeier02] teilt die Genauigkeitskriterien in zwei Gruppen, die der lokalen und die der globalen Genauigkeitskriterien. Im Falle der lokalen Genauigkeitskriterien werden nur sehr

kleine Ausschnitte der Kofaktormatrix Q_{XX} genutzt. Zur Gruppe der lokalen Genauigkeitskriterien gehören unterschiedliche Varianten von Fehler- bzw. Konfidenzellipsen, welche auf anschauliche Weise die Genauigkeits- bzw. Wahrscheinlichkeitsbereiche von Unbekannten, vornehmlich Punktkoordinaten, visualisieren. Neben der Visualisierung der globalen Genauigkeitsbereiche sind auch Relativgenauigkeiten zwischen Punkten als relative Fehler- bzw. Konfidenzellipsen darstellbar.

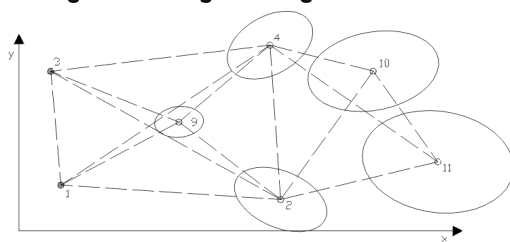
Als Beispiel für die Anwendung von lokalen und globalen Genauigkeitsaussagen sei eine Frühphase des Modells genannt. Das Geometriemodell wurde skizzenbasiert generiert, es enthält beispielsweise eine Etage. Nun wird ein Raum dieser Etage aufgenommen. Das Geometriemodell des aufgenommenen Raumes besitzt eine gewisse, durch den Abstraktionsgrad der Geometrie sowie die verwendeten Aufmaßmethoden und Geräte bestimmte Genauigkeit. Die übrige Geometrie besitzt eine Genauigkeit, die mehr als Status zu verstehen ist. Ihre Maßlichkeit ist vom Status Skizze.

Ein zweiter Raum wurde aufgenommen. Es lassen sich wieder Aussagen über die Genauigkeit des Geometriemodells des zweiten Raumes treffen. Jedoch konnten die Positionen der Räume zueinander nicht vermessen werden. Dieser hier konstruierte, theoretische Fall ist durchaus praxisorientiert. Ein fehlender Schlüssel an einem Aufmaßtag usw. kann dazu führen, daß bestimmte Bereiche eines Gebäudes in sich aufgenommen werden können. Die Verbindung der Bereiche muß jedoch zu einem späteren Zeitpunkt erfolgen.

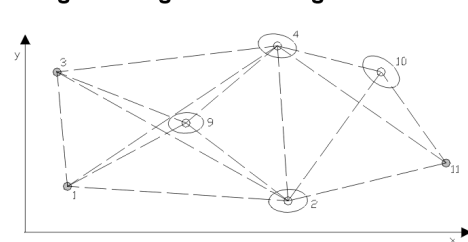
An dem Beispiel der zwei Räume ist folgendes sehr anschaulich zu erkennen: Die Räume besitzen beide in sich eine gewisse Genauigkeit, eine lokale Genauigkeit. Global gesehen ist aber ihre Lage völlig unklar. Auch wenn ein Gebäude vollständig aufgenommen wurde, bestehen Unterschiede zwischen lokalen Genauigkeiten und „der“ globalen Genauigkeit.

Problematisch erweist sich die Abhängigkeit der verwendeten Regularisierungsmethoden auf die Fehler- und Konfidenzellipsen. Abbildung 6.20 zeigt dazu die Fehlerellipsen eines Netzes, welches mit verschiedenen Methoden zur Beseitigung von Datumsdefekten reguliert wurde. Bisher ist es im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht gelungen, den Ansatz der Fehlerellipsen brauchbar einzusetzen.

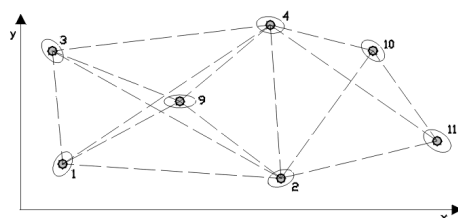
Zwangsfreie Ausgleichung



Ausgleichung unter Zwang



Freie Ausgleichung: Gesamtpurminimierung



Freie Ausgleichung: Teilspurminimierung

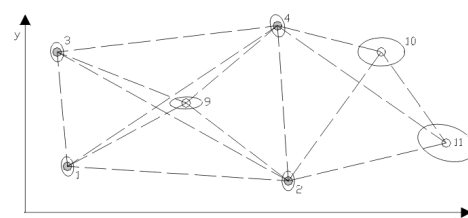


Abb. 6.20.: Verfahren zur Beseitigung von Datumsdefekten (nach [Pelzer85])

6.9.2. Beurteilung der Zuverlässigkeit

Wie in Abschnitt 3.7 beschrieben wurde, ist es u.a. aufgrund der zu Fehlern neigenden menschlichen Natur anzuraten, die erfolgten Messungen auf ihre Korrektheit zu prüfen. Ein geeignetes Mittel dazu sind Kontrollmessungen. Kontrollmessungen dienen nicht mehr der Modellierung einer Geometrie im Modell. Statt dessen wird mit ihrer Hilfe die Übereinstimmung der bestimmten geometrischen Elemente in ihrer Lage zueinander zwischen dem Modell und der Realität verglichen.

Eine andere Herangehensweise ergibt sich, wenn die im Vorfeld als Kontrollmessung genutzte zusätzliche Messung den bereits erfolgten als gleichberechtigte Messung hinzugefügt wird. Ein geometrisches Objekt wird somit bewußt überbestimmt erfaßt. Diese Überbestimmung führt beispielsweise, wenn sie korrekt erfolgt, zu einer Genauigkeitssteigerung des geometrischen Abbildes. Weiter lassen sich jedoch auf diese Weise, wie auch im Falle der Kontrollmessungen, Meßfehler aufdecken. Zuverlässigkeitsmaße können dabei genutzt werden, um einerseits Aussagen über die zugrundeliegende Überbestimmung zu treffen, also beispielsweise, ob eine solche auch vorliegt, andererseits um auf Meßfehler hinzuweisen.

Eine einfache Methode, den Aufnehmenden bei der Entdeckung von Meßfehlern zu unterstützen, ist die Bewertung von Differenzen zwischen den in der Realität erfolgten Messungen und deren korrespondierenden theoretischen Messungen im Modell. Zur Verdeutlichung soll eine Distanzmessung betrachtet werden. Eine Distanzmessung zwischen zwei Punkten mittels eines Bandmaßes ergibt eine bestimmte Entfernung. Aus der Kenntnis der mit Hilfe eines Bandmaßes erreichbaren Genauigkeiten und zusätzlichen Einflüssen wie der Abstraktion der Geometrie (siehe Abschnitt 6.4) kann eingeschätzt werden, inwieweit die gemessene Distanz zwischen den Punkten in der Realität und im Modell übereinstimmen muß.

Diesen Umstand ausnutzend wird eine einfache Visualisierung der Wahrscheinlichkeit der Messungen zwischen Modell und Realität vorgeschlagen. Diese Abweichung wird durch Farben visualisiert. Die Abbildung 6.21 zeigt einen Raum, welcher überbestimmt aufgemessen wurde. Teilbild 1 zeigt den Raum mit „korrekten“ Meßwerten erfaßt. In Teilbild 2 wurde bewußt ein grober Meßfehler in Form einer um 20 cm zu langen Distanz eingebracht. In Teilbild 3 wirkt sich der Fehler aufgrund der Verschmierungeffekte der v_2 -Ausgleichung auf alle Messungen aus. Eine frühzeitige Entdeckung von Meßfehlern ist daher immer anzustreben. Das gezeigte Verfahren eignet sich jedoch nur bei bereits hinreichend genau bestimmten Geometrien. Meßfehler, welche besonders in den Frühphasen des Aufmaßes unerkannt übernommen wurden, lassen sich nur noch durch ihre verschmierende Wirkung aufdecken, und auch nur dann, wenn sie hinreichend groß sind.

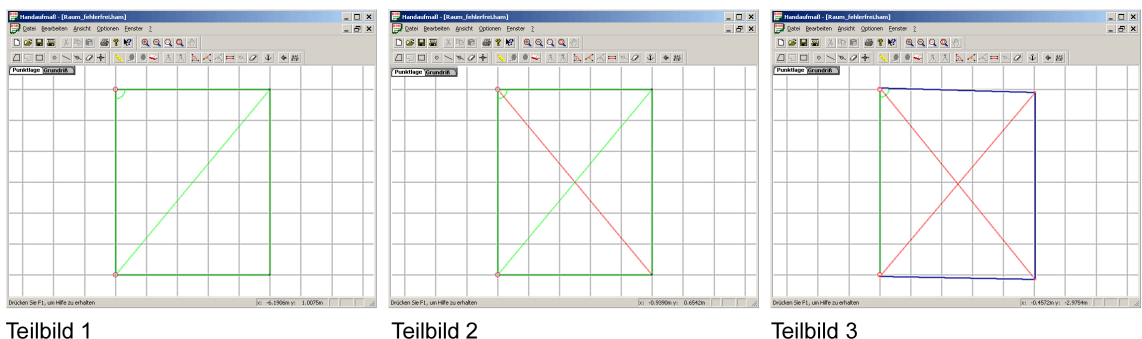


Abb. 6.21.: Farbliche Aufdeckung von groben Meßfehlern

Selbstverständlich kann mittels der beschriebenen Methode nur auf die erfolgten Meßfehler (oder Modellfehler !) hingewiesen werden.

6.10. Dynamisches Bauwerksmodell

Wie in Abschnitt 4.6 gezeigt, ist ein statisches Bauwerksmodell den Erfordernissen in der planungsrelevanten Bauaufnahme nicht gewachsen. Aus diesem Grund verfolgt der Lehrstuhl den Ansatz des dynamischen Bauwerksmodells ([SFB 524/02], [SFB 524/03]). Zur Erläuterung dieses Ansatzes wird auf die in Abschnitt 2.2 beschriebenen „Basics“ eines Raumbuches zurückgegriffen. Diese sind:

- Objekte
- Ordnungssystem
- Dokumente

Objekte können dabei sein:

- räumliche Elemente, wie Gebäude, Gebäudefügel, Etagen, Raumgruppen, Räume
- Bauteile, wie Wände, Fenster, Türen, Zwischendecken, Träger
- bestimmte geometrische Elemente, denen im architektonischen Sinne Semantik zugeordnet wird, wie die Wand-, Boden- und Deckenfläche eines Innenraumes
- weitere identifizierbare Objekte im weitesten Sinn, wie beispielsweise Schadstellen, Risse, markierte Meßpunkte, Beschriftungen, Elemente der Gebäudetechnik usw.

Zwischen den einzelnen Objekten bestehen unterschiedlichste Beziehungen. So bilden räumliche Objekte eine Gebäudestruktur vom Gebäude bis zum einzelnen Raum. Zwischen den einzelnen Räumen bestehen Beziehungen der Begehbarkeit. Bauteile besitzen konstruktive Beziehungen unterschiedlicher Art. Als Beispiel sei genannt, welche Wände auf Decken stehen und auf diese ihre Last abtragen und umgekehrt.

Dokumente beschreiben die einzelnen Objekte. Zu diesen Beschreibungen gehören Textbeschreibungen, Skizzen, Fotoaufnahmen, Gutachten, Grundrisse, Urkunden usw.

Ein Bauwerksmodell auf der Grundlage des objektorientierten Paradigmas ist sehr gut geeignet, sowohl Objekte, als auch ihre Ordnungssysteme und beschreibenden Dokumente abzubilden. Für die Abbildung der erfaßten bzw. identifizierten Objekte werden auf der Grundlage der Generalisierung und Spezialisierung Klassen und Vererbungshierarchien eingeführt, durch welche die Objekte durch den Computer interpretierbare Semantik erhalten. Durch Assoziationen lassen sich unterschiedliche Ordnungsstrukturen aufbauen und Relationen zwischen Instanzen und Dokumenten abbilden. Des weiteren lassen sich über Attribute der Klassen für den Computer interpretierbare Merkmale der Objekte abbilden. Das beschriebene Konzept ist genau das eines Produktmodells.

Problematisch an dem beschriebenen Ansatz ist, daß die zu erfassenden Merkmale und Beziehungen zwischen den zu erfassenden Objekten bei der Bauaufnahme sehr stark variieren können. Als Lösungsansatz wird daher von der Umfeldforschung (Teilprojekt D2 des SFB 524) ein dynamisches Bauwerksmodell vorgeschlagen, welches vom Nutzer selbst an die jeweiligen Erfordernisse der Bauaufnahme angepaßt werden kann. Als Grundlage wird das objektorientierte Paradigma mit Hilfe eines Modellverwaltungssystems aus der

programmiertechnischen Ebene auf Nutzerebene übertragen. Der Nutzer kann selbst zur Laufzeit des Systems Klassen erstellen und verändern.

Die Übertragung der Modellierung des Bauwerksmodells an den Nutzer wirft verschiedene Problemstellungen auf. Einige der Problemstellungen werden an dieser Stelle herausgegriffen:

A Verständnisproblematik

Die Hauptnutzer eines computergestützten Systems für die planungsrelevante Bauaufnahme, welche in erster Linie Architekten und andere Fachkräfte im Baubereich darstellen, besitzen in der Regel keine Programmierkenntnisse. Das Verständnis des objektorientierten Paradigmas stellt daher eine nicht zu unterschätzende Schwelle dar.

B Vordefinierte Algorithmen

Das dynamische Bauwerksmodell kann selbstverständlich nur Bestandteil eines durch Programmierer erstellten Computersystems sein. Dem Nutzer ist es nicht zuzumuten, für jede erstellte Klasse eigene Methoden, beispielsweise für ihre geometrische Repräsentation und Manipulationsmöglichkeiten, zu erstellen. Das Computersystem muß daher mit den im dynamischen Bauwerksmodell modellierten Klassen zumindest grundlegend interagieren können. Die dazu dienenden Algorithmen sind im Computersystem vorgegeben, werden also von den Programmierern vor dem Zeitpunkt erstellt, an dem der Nutzer des Systems seine Bauwerksmodelle modifiziert. Damit geben aber die bereits erstellten Algorithmen bereits bestimmte Eigenschaften der später beispielsweise neu eingeführten Klassen des Bauwerksmodells vor, welche eingehalten werden müssen, solange die neu erstellten Klassen mit den vorhandenen Algorithmen zusammenarbeiten sollen.

Hier wird ersichtlich, daß bei der Anwendung des dynamischen Bauwerksmodells ein Konflikt zwischen der Freiheit der Modellierung des Bauwerksmodells und der Möglichkeit seiner Interpretation durch „vorgefertigte“ Algorithmen besteht. In diesem Konflikt gilt es, einen entsprechenden Kompromiß zu finden. Dies ist nicht Zielsetzung dieser Arbeit. Die Arbeit beschreibt in ihren Lösungsansätzen Strukturen, welche als fest vorgegeben angenommen werden, sowie Möglichkeiten, gewisse geometrische Eigenschaften zu modellieren, die vom System ausgewertet werden können, ohne daß die Notwendigkeit besteht, für nutzerdefinierte Klassen neue Algorithmen einzubringen. Konkrete datentechnische Modellierungen werden nur zur besseren Illustration als Beispiele eingebracht. Die Arbeit hat nicht die konkrete Modellierung eines Systems zur Zielstellung, zeigt aber mögliche Konzepte zur Realisierung eines solchen auf.

Für die weiteren Ausführungen werden folgende Voraussetzungen an das dynamische Bauwerksmodell gestellt:

- Es können jederzeit Klassen generiert werden.
- Innerhalb der Klassen können Attribute erstellt und modifiziert werden.
- Der Typ der Attribute kann gewissen Grunddatentypen, aber auch vom Nutzer erstellten Klassen, sowie Referenzen auf Instanzen innerhalb des dynamischen Bauwerksmodells entsprechen.

Zur Kopplung des dynamischen Bauwerksmodells und des Gesamtsystems mit seinen vordefinierten Algorithmen wird das Konzept der Stellvertreter eingeführt. Stellvertreter sind

Instanzen innerhalb des dynamischen Bauwerksmodells, deren Klassen, im Folgenden als Stellvertreterklassen bezeichnet, durch vordefinierte Algorithmen generiert werden und eine eingeschränkte Dynamik besitzen. Folgende Eigenschaften der Stellvertreterklassen werden als unveränderlich festgelegt:

1. der Klassenname

Diese Einschränkung gilt, um vordefinierten Klassen die Identifikation von Stellvertretern zu ermöglichen.

2. eine vorgegebene Menge an Attributen

Die vorgegebenen Attribute werden von vordefinierten Algorithmen ausgewertet. Sie werden über ihren Namen identifiziert und zu ihrer Interpretation wird ein bestimmter Attributtyp vorausgesetzt.

Als praktisches Beispiel eines Stellvertreters wird der Stellvertreter für einen Punkt gewählt. Dieser Stellvertreter steht für einen Punkt eines dreidimensionalen Geometriemodells, welches selbst nicht Bestandteil des dynamischen Bauwerksmodells ist, sondern klassisch fest programmiert wurde. Bei Änderungen der Positionen des Punktes im Geometriemodell werden die neuen Koordinaten in seinen Stellvertreter übertragen. Bei Änderungen der Koordinaten im Stellvertreter durch den Nutzer wird die neue Position in das Geometriemodell übertragen.

Die Zuordnung eines Stellvertreters zu dem durch ihn repräsentierten Element, welches selbst nicht Bestandteil des dynamischen Bauwerksmodells ist, muß über vordefinierte Algorithmen erfolgen. Im Beispiel des Stellvertreters eines Punktes kann dies ein Dialog sein, der die Selektion eines Punktes in einer Geometrieansicht fordert.

7. Zusammenführung der Modelle

Das Kapitel zeigt auf, wie die in Kapitel 6 in zunächst isolierter Form betrachteten Teilmodelle untereinander in Bezug gebracht werden bzw. miteinander arbeiten und so das mitwachsende Geometriemodell aus Kapitel 5 formen.

7.1. Verbindung von Geometriemodell und Ausgleichungsmodell

Die vorliegende Arbeit beschränkt sich bei der Abbildung von Oberflächen auf planare Flächen. Alle Punkte einer planaren Fläche liegen in einer Ebene. Wie in Abschnitt 5.5.3 erläutert, werden Abstraktionen über Verbesserungsgleichungen beschrieben. Die allen weiteren Überlegungen zugrundeliegende Pseudobeobachtung einer Ebene wurde ebenfalls in Abschnitt 5.5.3 eingeführt und lautet:

$$\frac{\vec{n} \cdot (\vec{p}_i - \vec{p}_S)}{|\vec{n}|} = 0 + v \quad (7.1)$$

Für jeden Punkt, der einer Ebene zuzuordnen ist, wird eine solche Pseudobeobachtung in das Ausgleichungsmodell eingebracht, wobei die jeweilige Ebene durch ihren Normalenvektor \vec{n} und einen in der Ebene liegenden Punkt P_S beschrieben ist.

Werden zwei nicht parallele Ebenen miteinander verschritten, so bilden sie eine Gerade. Ein Punkt, welcher auf dieser Schnittgeraden liegt, gehört beiden die Gerade bildenden Ebenen an. Mittels Gleichung 7.1 läßt sich dies modellieren, indem für den Punkt zwei Pseudobeobachtungen eingeführt werden, für jede der beiden Ebenen eine. Analog kann ein Schnittpunkt dreier Ebenen durch drei Pseudobeobachtungen modelliert werden. Mit jeder Pseudobeobachtung wird der mögliche „Aufenthaltsraum“ des Punktes verkleinert.

Für jedes Polygon des Geometriemodells wird eine Ausgleichungsebene eingeführt. Die topologischen Beziehungen des Geometriemodells werden auf das Ausgleichungsmodell übertragen. Eckpunkte, welche im Geometriemodell mehreren Polygonen (Surfaces) angehören, erhalten auch jeweils Pseudobeobachtungen, welche die Eckpunkte den Ebenen der Polygone zurechnen.

Mittels Gleichung 7.1 lassen sich Ebenen natürlich weitere Punkte zuordnen, z.B. Meßpunkte. Auf diese Weise kann beispielsweise die Ebene eines Polygons tachymetrisch bestimmt werden. Werden alle Ebenen der Polygone, welche beispielsweise die Oberflächen eines Innenraumes abbilden, tachymetrisch erfaßt, so sind auch die Eckpunkte der Polygone in ihrer Position bestimmt, da sie den unterschiedlichen erfaßten Ebenen durch ihre Pseudobeobachtungen zugeordnet wurden, also in diesen liegen.

7.2. Datenhaltung der Meßwerte

Der beschriebene Ansatz der Geometrieangepassung geht von einer Speicherung aller Messungen in möglichst direkter Form aus. Wie im Ansatz von [Gielsdorf02] werden die Meßwerte als die Geometrie überbestimmendes System dauerhaft gehalten. Mit Hilfe der Ausgleichungsrechnung werden die Meßwerte und Abstraktionen zusammengefaßt und das

geometrische Abbild angepaßt. Die Messungen können fortlaufend ergänzt, Abstraktionen gesetzt oder gelöscht werden. Aufbauend auf den dauerhaft gespeicherten Meßwerten kann das geometrische Abbild durch beispielsweise die Veränderung von Abstraktionen jeweils verändert werden (siehe Abbildung 7.1).

Mittels bewußter Überbestimmungen können die einzelnen Messungen überprüft und Meßfehler gesucht werden. Werden Meßfehler entdeckt, so lassen sich die betroffenen Messungen entfernen oder korrigieren. Der letztere Punkt ist besonders bei systematischen Fehlern in Meßserien interessant. Als Beispiel sei eine falsch gesetzte Reflektorkonstante bei einer Meßserie mittels Tachymeter genannt.

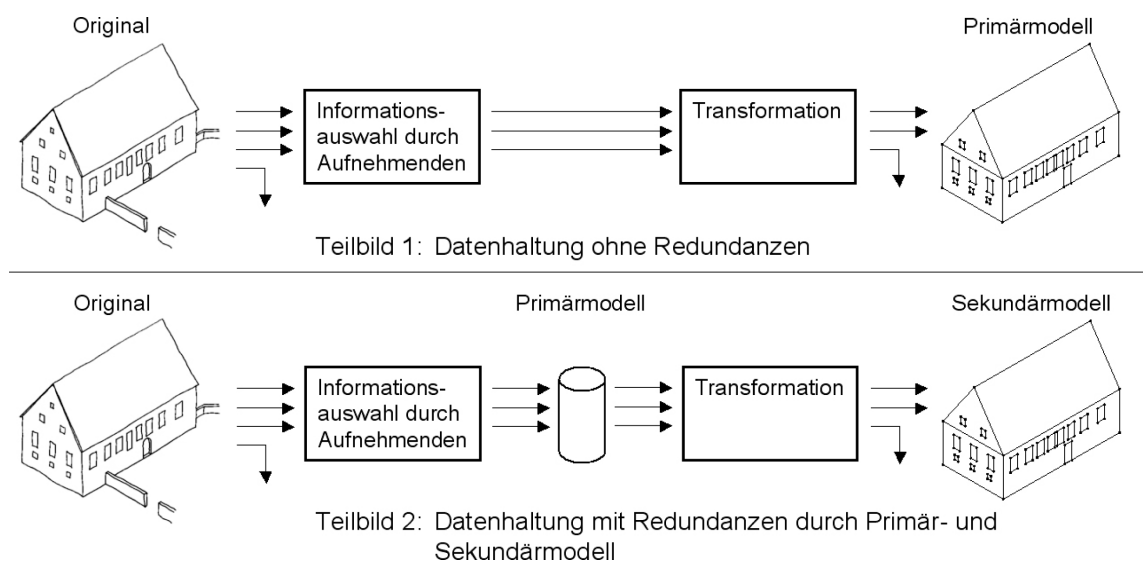


Abb. 7.1.: Datenhaltung Meßwerte

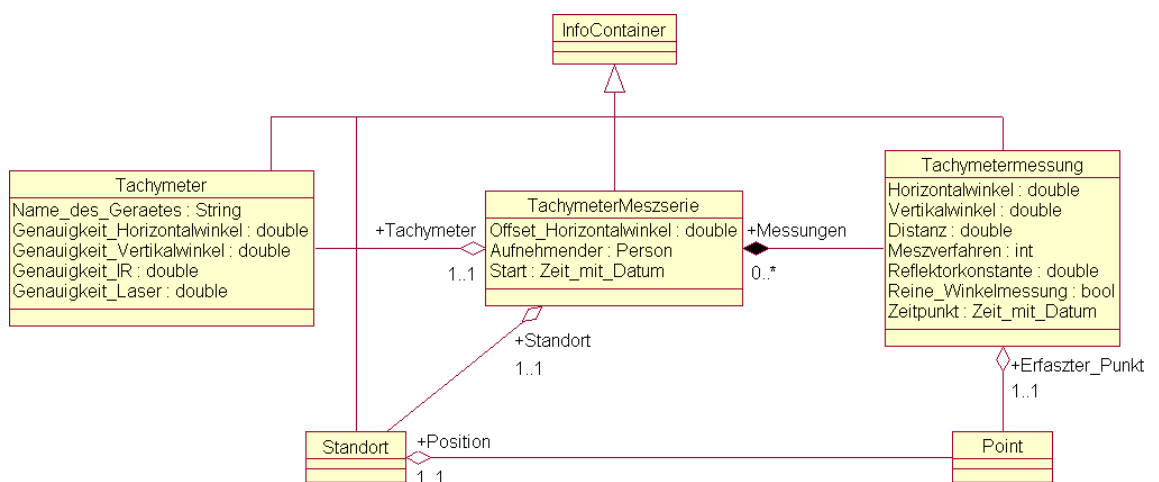


Abb. 7.2.: Datenhaltung tachymetrischer Messungen

Abbildung 7.2 zeigt eine mögliche Variante der Strukturierung tachymetrischer Daten. Eine Modellierung der Struktur im dynamischen Bauwerksmodell erlaubt dem Nutzer, eine solche Struktur um für ihn relevante Informationen zu ergänzen, während das System die Grundstruktur zur Speicherung der Meßwerte nutzt und bei der Geometrieangepassung ausliest. Im Beispiel sind die Klassen Standort, Tachymeter, Tachymetermeßserie, Tachy-

metermessung, Point und InfoContainer zu sehen. Eine Meßserie findet an einem Standort mit einem Tachymeter und einer Ausrichtung des Ursprungs für den Horizontalwinkel statt. Jede konkrete Messung speichert ihren Zeitpunkt, den gemessenen Horizontal- und Vertikalwinkel, sowie die Distanz. Hinzu kommen Informationen, ob mit Infrarot oder sichtbarem Laser die Distanz gemessen wurde oder nur die Winkelwerte verwertet werden sollen. Durch die Klasse InfoContainer erben die Klassen Standort, Tachymeter, Tachymetermeßserie und Tachymetermessung die Fähigkeit, vom Nutzer um weitere Kommentare oder andere verknüpfte Informationen und Dokumente erweitert zu werden.

Nach gleichem Schema sollten auch die Messungen anderer Aufmaßtechniken strukturiert abgelegt werden. Auf diese Weise werden die Messungen nachvollziehbar und prüfbar.

7.3. Ordnungssysteme

Ein geometrisches Modell eines aufgenommenen Bauwerkes ist in der Regel für sich allein nicht in der Lage, die für den jeweiligen Verwendungszweck der Bauaufnahme nötigen Informationen speichern zu können. Vielmehr beziehen sich geometrische Informationen auf bestimmte Objekte. Diese Objekte besitzen neben geometrischen eine ganze Reihe von nichtgeometrischen Informationen, welche sehr unterschiedlichen Charakters sein können.

In Abschnitt 2.2 wurden die Grundelemente der klassischen Bauaufnahme, Objekte, Ordnungsstrukturen und Dokumente aufgezeigt. Nur in enger Wechselbeziehung zu diesen Grundelementen können geometrische Informationen optimal genutzt werden. Sie formen in ihrer Gesamtheit ein Bauwerksmodell. Gängig für die Modellierung eines Bauwerksmodells ist die Nutzung des objektorientierten Paradigmas.

Das objektorientierte Paradigma wird heute geradezu als Allheilmittel zur IT-mäßigen Abbildung realer Vorlagen angesehen. Das Paradigma geht dabei von den Grundelementen Klasse und Objekt aus. Verschiedene Sprachen, wie Java oder C++ unterstützen dieses Paradigma auf der Ebene der Programmiersprache. Klasse und Objekt sind hier Begriffe während der Programmerstellung, das fertige Programm kennt diese Begriffe nicht. Der Nutzer kommt mit den vom Programmierer genutzten Klassen und Objekten nicht direkt in Berührung. Er kann auch keine neuen Klassen erstellen.

Das objektorientierte Paradigma läßt sich aber genauso gut auf Nutzerseite einsetzen, beispielsweise in der objektorientierten Nutzerführung. Der Nutzer selektiert ein Objekt und wählt danach eine der Methoden, die von dem Objekt angeboten werden. Auf programmiertechnischer Seite kann eine solche Applikation auch mit Programmiersprachen erstellt werden, welche nicht objektorientiert sind, etwa mit Basic. Das Paradigma drückt sich hier nur in der Oberfläche aus. In den letzten Jahren wurde viel Arbeit in die Erstellung universeller Bauwerksmodelle investiert. Die meisten dieser Bauwerksmodelle haben den Neubau als Zielvorgabe. Bis heute ist kein allumfassendes Bauwerksmodell entstanden und wird wahrscheinlich auch nicht entstehen. Zu unterschiedlich und vielseitig fällt Architektur in der Realität aus.

Der Lehrstuhl „Informatik in der Architektur“ arbeitet an dem Versuch, dem Nutzer die Möglichkeit zu geben, sein eigenes Bauwerksmodell zu erstellen oder zu modifizieren ([SFB 524/03]). Dazu muß er in der Lage sein, selber neue Bauteilklassen und ihre Instanzen generieren zu können. Zu diesem Zweck wird ein Modellverwaltungssystem genutzt.

Im Folgenden wird der Ansatz eines dynamischen Bauwerksmodells vorgestellt, welches in enger Wechselwirkung mit der in den bisherigen Abschnitten aufgezeigten geometrischen Abbildung steht.

7.3.1. Grundelemente

Geometrisch gesehen ist ein Gebäude ein einziges Volumen mit vielen Hohlräumen, welche die räumlichen Elemente darstellen¹. Die räumlichen Elemente werden dabei sowohl durch die Oberflächen der Hohlräume wie auch durch imaginäre Trennungen begrenzt. Eine solche imaginäre Trennung kann beispielsweise ein Absperrband sein.

Aus menschlicher Sicht wird ein Gebäude oder Gebäudekomplex in der Regel in räumlichen Strukturen wahrgenommen. Es wird in Etagen, Raumgruppen, Räume, Treppenhäuser usw. eingeteilt. Mittels dieser Struktur werden Örtlichkeiten im Gebäude beschrieben: „Ich arbeite im Westflügel, dritter Stock, Raum 305, der befindet sich zwei Zimmer links vom Fahrstuhl“.

Eine andere Form zur Gliederung von Gebäuden kann über die Bauteile erfolgen. Auf den ersten Blick werden Bauteile wie Fenster und Türen wahrgenommen. Die größte Menge der Bauteile, wie Träger in Decken und Böden, Leitungen für Wasser, Gas, Strom usw. bleibt dem Betrachter aber verborgen. Bauteile sind materiell. Sie bestehen aus bestimmten Materialien oder Materialverbänden (z.B. ein Stahlbetonträger) oder wurden aus Bauelementen zusammengefügt (beispielsweise ein Fenster).

Ausgehend von diesen Überlegungen werden drei Grundelemente eingeführt:

- Flächen
- Bauteile
- Raumelemente

7.3.2. Klassenkonzept

Das objektorientierte Paradigma stellt eine Idealisierung der Realität dar. Alle Instanzen der Klassen sind 100%ige Abbilder der Klassen. Repräsentieren die Instanzen auch Geometrien, so werden in der Regel diese Geometrien durch Methoden der Instanzen generiert und modifiziert. In der Realität bestehen jedoch oft unerwartete geometrische Unterschiede zwischen formal gleichen Bauteilen. Als Beispiel sei eine größere Gruppe formal gleicher Stützen genannt. Die Stützen erhielten teilweise Durchführungen für Kabelkanäle und Einschnitte an sehr engen Stellen. Halterungen wurden angeschweißt, Seitenarme teilweise gekürzt bzw. umgearbeitet. Gehören diese modifizierten Stützen nun zu ihrer ursprünglichen Stützenklasse? Dieses Beispiel soll verdeutlichen, daß die Frage, wann Bauteile noch derselben Bauteilklasse angehören und wann nicht mehr, geometrisch gar nicht so einfach zu entscheiden ist.

An dieser Stelle soll das objektorientierte Paradigma an mehreren Stellen „aufgeweicht“ werden. Mittels des Ansatzes der parametrischen Produktmodellierung (siehe Abschnitt 5.3) werden Elemente eines Bauwerksmodells, wie Räume und Bauteile, und ihre Geometrien gegenseitig zugeordnet. Die Zuordnungen erlauben eine zeitliche Trennung der Entstehung von Elementen des Bauwerksmodells und der Geometrie, sowie Neuuzuordnungen. Mechanismen, welche an die parametrische Produktmodellierung angelehnt sind und im Abschnitt 7.4 erläutert werden, erlauben die Kopplung von Geometrien und nutzerseitig einführbaren geometrischen Parametern, wie Länge, Breite, Höhe, aber auch Winkeln usw. Die Geometrie wird unter dieser Sichtweise quasi zu einem Attribut.

¹von nicht zugänglichen oder sehr kleinen „Hohlräumen“ abgesehen

Es wurden die Grundelemente Fläche, Bauteil und Raumelement festgelegt. Jeder dieser Grundtypen läßt sich vielfältig differenzieren. Für jedes Grundelement wird eine Basisklasse eingeführt. Für ein besseres Verständnis, insbesondere für eine gute Unterscheidbarkeit zwischen Klassen und Instanzen, werden die Bezeichnungen

- Flächenklassen und Flächenobjekte,
- Bauteilklassen und Bauteilobjekte und
- Raumklassen und Raumobjekte

eingeführt.

Durch Vererbung lassen sich aus den Basisklassen nutzerspezifische Klassen generieren, welche, nutzerseitig mit Attributen versehen, formale Informationen aufnehmen können. Weiter lassen sich aber auch informale Informationen ablegen.

Eine Form, informale Informationen zu speichern, ist die Zuordnung von Dokumenten zu den Instanzen der hier beschriebenen Klassen. Mittels geeigneter Ordnungsstrukturen können diese Dokumente weiter nach gewissen Gesichtspunkten sortiert werden. Da diese Mechanismen nicht dem Kern dieser Arbeit entsprechen, sei an dieser Stelle auf [Petzold01] verwiesen.

Im Folgenden werden die verschiedenen Klassen, ihre Instanzen und die Beziehungen zwischen ihnen und dem Geometriemodell näher betrachtet.

7.3.3. Flächenklassen

Flächenklassen ermöglichen die Zuordnung von Informationen zu Oberflächen, weisen diesen eine Semantik zu und ermöglichen die Gruppierung von Oberflächen nach vom Nutzer gewählten Gesichtspunkten. Mögliche Flächenklassen sind beispielsweise:

- Fassadenflächen
- Wandoberflächen
- Deckenoberflächen
- Bodenoberflächen

Interessanterweise werden diese Begriffe in leicht anderer Form in der Praxis laufend benutzt. Im Raumbuch werden die „Wände“ jedes Raumes erfaßt, eigentlich sind an dieser Stelle jedoch die Wandoberflächen gemeint. Es wird von Decken und Böden gesprochen, jedoch sind damit in vielen Fällen nicht die Bauteile, sondern deren untere und obere Oberflächen gemeint. Gleiches gilt für den Begriff der Fassade.

Um der Zielgruppe des Systems, dem Nutzer aus dem Bereich der Architektur, den Umgang mit dem System nicht durch Begriffswirren zu erschweren, sollten in der praktischen Umsetzung anstatt der obigen, im Rahmen dieser Arbeit genutzten Begriffe besser die dem Nutzer verständlicheren Bezeichnungen Fassade, Wand, Decke usw. benutzt werden, auch wenn diese bezogen auf die hier dargelegten Betrachtungen unexakt erscheinen. Was nutzt eine formal exakte Klassenbezeichnung, wenn sie für den Nutzer verwirrend wirkt?

Bild 7.3 dient der Verdeutlichung dieser Beziehungen. Zu sehen sind die direkt erfaßbaren Oberflächen. In ihrer Gesamtheit umschließen die Flächen ein zusammenhängendes Volumen. Dieses Volumen wird aus der Gesamtheit der Einzelvolumen aller Bauteile gebildet.

Um die geometrische Ausprägung der Bauteilvolumen festzulegen, muß das materielle Gesamtvolumen des Bauwerkes zerlegt werden. Dies geschieht wieder durch Flächen. Diese bilden keinen Übergang zwischen dem Bauwerksmaterial und der Luft, sondern trennen materielle Volumen. Sie werden daher im Folgenden als materielle Trennflächen bezeichnet.

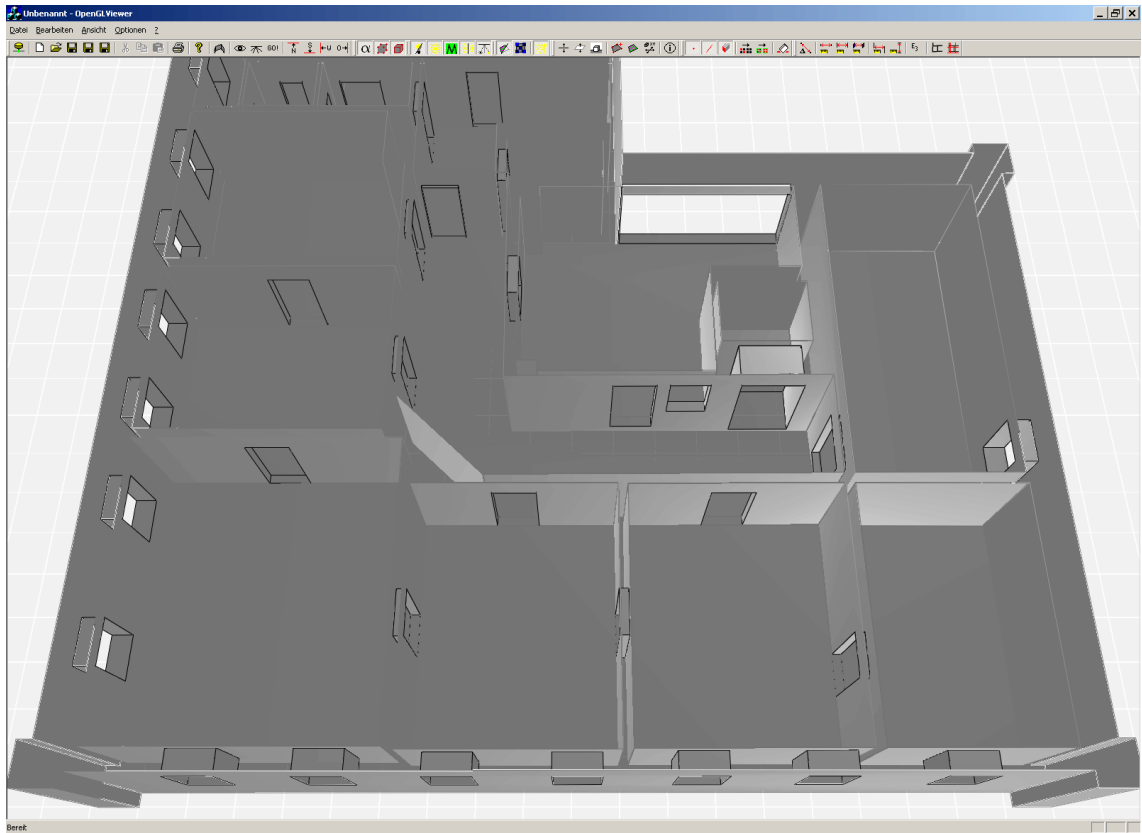


Abb. 7.3.: Flächenmodell Belvederer Allee 1, 2. OG, erstellt mittels der Plattform Freak (siehe S. 151)

Neben den Übergängen zwischen Luftraum und Bauwerksmaterial sowie zwischen Material und Material sind auch Trennflächen zwischen Luftraum und Luftraum sinnvoll, beispielsweise zur Definition geschlossener Raumvolumen. Solche Flächen können z.B. dazu dienen, einen Flur gegenüber einem Treppenhaus abzutrennen und so eindeutig definierte Raumvolumen zu schaffen, auch wenn Raumobjekte nicht durch Bauteile getrennt sind (siehe Abbildung 7.4).

Flächenobjekte dienen auch der Bildung von Oberflächengruppen. So können mehrere Flächen, welche in ihrer Gesamtheit eine Fassade modellieren, gruppiert und einem Flächenobjekt vom Typ Fassade zugeordnet werden. Ebenfalls spielt die Möglichkeit einer Gruppierung im Verlauf der Detaillierung (siehe die Abschnitte 5.5.5 und 7.5) eine große Rolle. Eine Fläche, welcher bereits unterschiedliche Informationen zugewiesen wurden, kann im zeitlichen Verlauf der Aufnahme weiter detailliert werden, so daß aus ihr eine Menge neuer Flächen entstehen. Ein Ansatz zur Lösung dieser Problematik besteht darin, Flächenobjekten zu ermöglichen, entweder eine konkrete Fläche des Geometriemodells zu referenzieren (Polygon) oder eine Gruppe anderer Flächenobjekte. Diese Vorgehensweise führt allerdings zu Redundanzen und begünstigt Widersprüche. Abschnitt 7.5 geht auf diese Problematik näher ein.

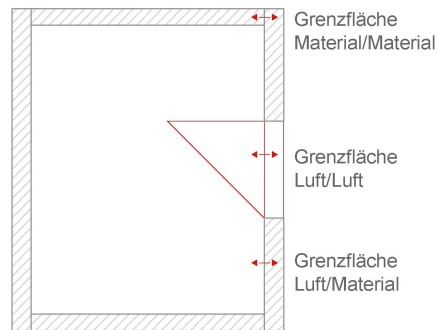


Abb. 7.4.: Grundformen der Grenzflächen

7.3.4. Bauteilklassen

Bauteilklassen dienen der Abbildung der das Gebäude bildenden konstruktiven Elemente. Bauteilklassen können z.B. Türen, Fenster, Öffnungen, Träger, Stützen usw. darstellen. Bauteile besitzen verschiedene Eigenschaften, wie Funktion, Material, Kenngrößen und Geometrie. Beispielsweise besitzt eine Stütze immer eine Höhe. Verschiedene Bauteilarten bilden Bauteilgruppen, wie z.B. Stützen, zu denen runde, quaderförmige, komplexe Stützen usw. gehören können.

Bestimmte Bauteile besitzen in der Regel eine relativ festgeschriebene Geometrie. Als Beispiel sei ein T-Träger genannt. Gleiches läßt sich über spezielle Türen, Fenster, andere Träger usw. aussagen. Andere Bauteile variieren in ihren Formen sehr stark, etwa Wände, Zwischendecken oder Fundamente. Es erscheint daher sinnvoll, bestimmten Bauteilklassen Defaultgeometrien mitzugeben, welche bei einer Instanziierung eines Bauteilobjektes als Vorlage genutzt werden können, während Defaultgeometrien bei anderen Bauteilklassen eventuell keinen Nutzen bringen. Besonders bei Bauteilen des Rohbaus ist es schwierig, Defaultgeometrien zu bestimmen.

Bauteile lassen sich in bestimmten Fällen direkt erkennen, etwa, wenn sie offen liegen. In anderen Fällen lassen sie sich nur vermuten. Vermutungen können bei der fortschreitenden Aufnahme des Bauwerkes erhärtet oder widerlegt werden. Aus diesem Grund sollte sich im Bauwerksmodell ohne großen Aufwand ein Bauteilobjekt einer bestimmten Bauteilkategorie durch ein neues Bauteilobjekt einer anderen Bauteilkategorie ersetzen lassen.

In der Regel läßt sich die Geometrie von Bauteilen nur partiell wahrnehmen. Befindet sich der Aufnehmende in einem Raum, so kann er beispielsweise von einer freiliegenden Stütze nur ihre Oberfläche innerhalb des Raumes erkennen. Der Verlauf der Stütze durch die weiteren Etagen ist aus dieser lokalen Sicht nicht erkennbar.

Bauteile besitzen nicht immer eine eindeutige Volumenbegrenzung. So bestehen durch die Verzahnung des Mauerwerks keine klaren Abgrenzungen zwischen den einzelnen Wänden. Die Einführung solcher Abgrenzungen wäre immer willkürlich und rein definitiv. Es bestehen mehrere Möglichkeiten, vorgefundene Wandverbände in einzelne Wände zu gliedern, und unterschiedliche Betrachter nehmen auch unterschiedliche Gliederungen vor (siehe Abbildung 7.5). Eine reale Trennfläche besteht nur an bestimmten Übergangsstellen durch das Mauern im Verband. Das Volumen jeder einzelnen Wand ist daher unterbestimmt. Mittels dieser unterbestimmten Geometrie kann der Aufnehmende jedoch das abbilden, was er wirklich erfassen konnte. Das Modell enthält somit nicht mehr Informationen, als erfaßt wurden.

Aus der unterbestimmten Geometrie lassen sich bereits verschiedene geometrische Parameter ableiten. So kann auch die Wanddicke einer unterbestimmten Wand angegeben werden. Weiter sind bestimmte Volumenangaben möglich. Sind die Grenzflächen bei realen Materialübergängen, beispielsweise von Hohllochziegeln auf Stahlbeton modelliert, so kann durchaus das Volumen vom Ziegelmauerwerk bestimmt werden. Die Möglichkeit einer Abstrahierung von einer Wand zu beispielsweise einem Quader muß hingegen nicht gegeben sein.

Verlangen die Fachplaner klar abgeschlossene Volumen, so ist auch dies möglich. In diesem Fall sollte von einer konkreten Bauteilklasse eine Unterklasse mittels Vererbung spezialisiert werden, welche die von den Fachplanern gewünschten geometrischen Parameter enthält. Als Beispiel sei eine Bauteilklasse Wand mit den geometrischen Parametern Höhe, Länge, Dicke genannt. Der Aufnehmende tauscht in einem solchen Fall das ursprüngliche Bauteilobjekt der Basisklasse gegen ein zu instanziiertes Bauteilobjekt der spezialisierten Klasse aus. Natürlich muß der Aufnehmende nun die Geometrie der Wand geschlossen modellieren, also die Geometrie des aufgenommenen Baukörpers um Trennflächen erweitern. Wichtig ist dabei auch der rechtliche Aspekt dieser Vorgehensweise. Wer verantwortet die vorgenommene, eher willkürliche Unterteilung?

Viele Bauteile sind nur teilweise sichtbar, so daß dem Betrachter auch nur ein Teil ihrer geometrischen Ausprägung bekannt ist (siehe Abschnitt 2.4).

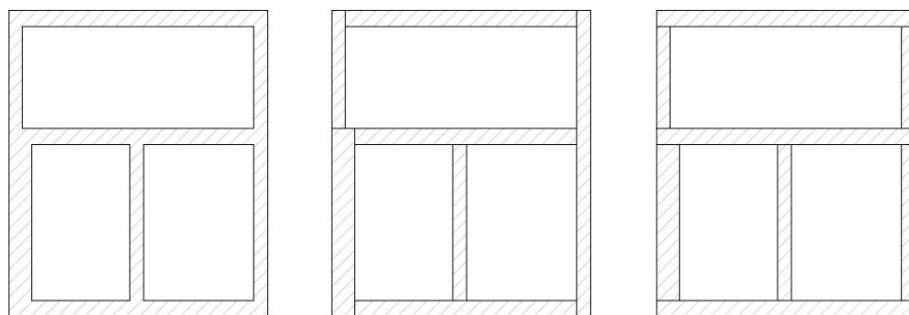


Abb. 7.5.: Alternative Wanddefinitionen

7.3.5. Raumklassen

Raumklassen ermöglichen den Aufbau einer Raumstruktur, beispielsweise vom Gebäude, über seine Etagen, Flure bis zum einzelnen Raum. Im Folgenden werden alle Räume und raumähnlichen Objekte, sowie Gruppen dieser, wie Flure, Etagen, Raumgruppen, Treppenaufgänge usw., im realen Bauwerk als räumliche Elemente bezeichnet. Ihr jeweiliger Typ, also der Typ Etage, der Typ Treppenaufgang usw. werden im Folgenden als Raumtyp bezeichnet.

Typische Eigenschaften von Raumobjekten sind ihre Rauminhalte, verschiedene Flächenmaße, wie die Brutto- und Netto-Grundfläche, der Verwendungszweck der räumlichen Einheit usw. (siehe DIN 277). Neben diesen eher geometrisch einzuordnenden Größen sind auch topologische Informationen, wie z.B. bestehende Verbindungen zwischen den Räumen, wesentlich.

Eine Raumstruktur ergibt sich durch den Aufbau einer netzartigen Struktur aus einer Menge von Raumobjekten. Einem Raumobjekt werden andere Raumobjekte zugeordnet, diese Zuordnung ist stark von den jeweiligen Typen der Raumobjekte geprägt. Einem

Raumobjekt vom Typ „Gebäude“ können beispielsweise Raumobjekte vom Typ „Etage“ zugeordnet werden. Der umgekehrte Fall tritt dagegen nie ein oder ist zumindest eine absolute Ausnahmesituation. In [Thurow99] sind Vorschläge enthalten, wie die Zuordnung von Raumobjekten geregelt werden kann.

7.3.6. Beziehungen zwischen Flächen, Bauteilen und Raumelementen

Alle Oberflächen eines Bauwerkes entstammen von Bauteilen. Die Summe ihrer materiellen Ausprägungen bildet die geometrische Ausprägung des Baukörpers. Eine Oberfläche eines Bauteils kann mehrere räumliche Elemente begrenzen. Andererseits kann eine Oberfläche eines Raumes aus den Oberflächen mehrerer Bauteile bestehen. Diesen Zusammenhang illustriert Abbildung 7.6. Eine der Oberflächen von Wand 1 (rot markiert) bildet teilweise Oberflächen von Raum 1 und 2 (blau markiert). Eine der Oberflächen von Raum 3 (blau markiert) wird hingegen von den Oberflächen von Wand 1 (rot markiert) und 2 (gelb markiert) gebildet. Die Oberflächen von räumlichen Objekten sind damit Teilflächen der Summe von offen liegenden Teilflächen von Bauteilen.

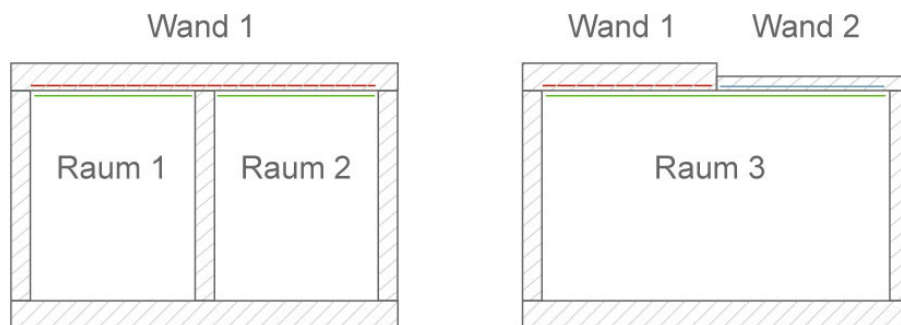


Abb. 7.6.: Oberflächen von Räumen und Bauteilen

Zwischen den Oberflächen von Bauteilen und Räumen besteht demnach eine n-zu-m-Beziehung. Es wird folgende Zuordnung vorgeschlagen: Im Abschnitt 6.1 wurde bereits gefordert, daß das eingesetzte Geometriemodell die beliebige Zerteilung seiner Oberflächen zuläßt. Die Oberflächen des Geometriemodells werden so zerlegt, daß Raumoberflächen und Bauteiloberflächen aus Mengen dieser zerlegten Flächen des Geometriemodells gebildet werden können. Aus den Beziehungen der Raum- und Bauteilflächen lassen sich aufbauend auch die Beziehungen zwischen Räumen und Bauteilen klären. [Donath97/2] erläutert, daß die Beziehungen durch die von Bauteilen gebildeten Oberflächen der Räume geschaffen werden. Zur Verdeutlichung wird ein einfaches Beispiel in Abbildung 7.7 eingeführt. Zur Vereinfachung des Beispiels wurde von einer vollständigen Geometriebeschreibung der Wände ausgegangen.

Das Beispiel zeigt die Zerlegung der Oberflächen in kleinste Elemente, aus denen sich die Oberflächen der Räume und Bauteile zusammensetzen lassen. So bilden die Flächen F24, F5, F13, F9 und F14 zusammen eine Oberfläche der Wand 1, sie liegen alle in einer Ebene. Die Fläche F5 stellt aber auch eine Oberfläche des Raumes 1, die Fläche F9 des Raumes 2 dar. Über diese Relation lassen sich Raum- und Bauteilobjekte über ihre Oberflächen verknüpfen. Wand 1 wird in diesem Fall Raum 1 und Raum 2 zugeordnet. Auf die gleiche Weise können z.B. auch benachbarte Bauteile erkannt werden.

Mit der genannten Vorgehensweise lassen sich weiterführende topologische Beziehungen ableiten, beispielsweise Verbindungen zwischen Räumen. Über die Oberflächen sind Bauteile

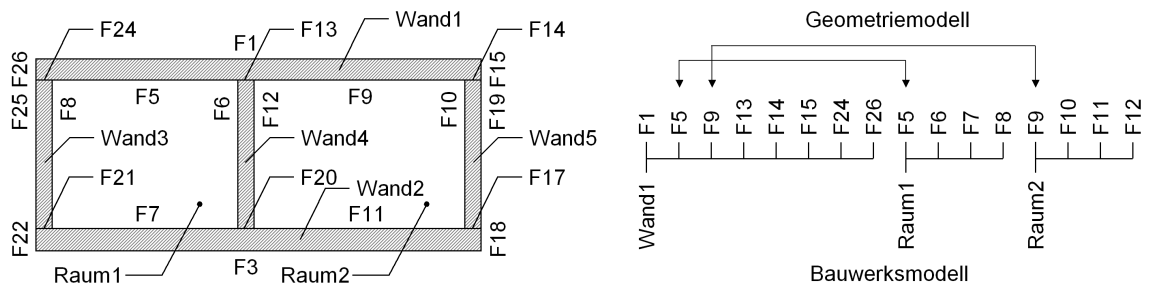


Abb. 7.7.: Beziehungen zwischen Räumen, Bauteilen und Flächen

wie Türen den durch sie verbundenen Räumen zugewiesen. Mit Hilfe dieser topologischen Informationen lassen sich beispielsweise Verbindungsgraphen der Räume aufbauen.

7.3.7. Repräsentation

Die Zielgruppe des in dieser Arbeit beschriebenen Systems sind Architekten bzw. Mitarbeiter von Architekturbüros. Bei diesem Nutzerkreis ist ein Verständnis des objektorientierten Paradigmas nicht vorauszusetzen. Es kann dem Nutzerkreis jedoch bedingt zugemutet werden, sich in das objektorientierte Paradigma einzuarbeiten.

Einen Fragebogen auszufüllen bedarf nicht eines informationstechnischen Verständnisses. Dagegen stellt bereits das Grundverständnis der OOP, Klasse und Objekt, eine hohe Hürde dar. Der Autor machte selber die Erfahrung in einem Programmier-Seminar für Architekturstudenten, daß für das Durchdringen der Begriffe Klasse und Objekt etliche Stunden und viele praktische Aufgaben aufgebracht werden mußten und dennoch der Erfolg mehr als bescheiden ausfiel.

Warum also einen objektorientierten Ansatz wählen, wenn doch Fragebögen auch eine strukturierte und qualitativ hohe Erfassung der Daten ermöglichen? Der Unterschied liegt in der automatischen Verwertbarkeit der Daten. Liegen die erfaßten Daten in einer formalisierten Form vor, so können Algorithmen auf diesen aufsetzen. Als Beispiel seien Suchabfragen genannt: Suche alle Wände, welche mit Hohllochziegeln gemauert wurden. Nun kann eingewendet werden, daß diese Aufgaben ja auch mit klassischen relationalen Datenbanken ebenso erfüllbar sind. Genau das ist auch richtig! Und hier offenbart sich auch die enge Verbundenheit von Fragebogen und OOP.

Für verschiedene anzutreffende Objekte werden unterschiedliche Fragebögen erarbeitet. Die Fragebögen sind für bestimmte Typen von Objekten gefertigt, oder anders gesagt, für die Klassen der anzutreffenden Objekte. Damit ist der Bereich der objektorientierten Modellierung beschränkt. Würden die Fragebögen mittels relationaler Datenbanken modelliert, so würde für jeden Typ von Objekt eine neue Tabelle generiert. Genau diese Vorgehensweise wird auch zur Kopplung der OOP mit relationalen Datenbanken beschränkt. Die OOP bringt lediglich zusätzliche Anforderungen an die Generierung und Modifikation der Tabellen mit sich. Beispielsweise müssen alle Attribute einer Basisklasse auch in den abgeleiteten Klassen vorhanden sein. Dies bedingt in den zugeordneten Tabellen, daß alle Felder der Tabelle einer Basisklasse auch in den Tabellen der abgeleiteten Klassen vorhanden sein müssen.

Um den Nutzer mit einer objektorientierten Datenstruktur arbeiten zu lassen, ist die nutzergerechte Gestaltung der Nutzer-System-Schnittstelle wesentlich. Eine mögliche Herangehensweise liegt hierbei in der Nutzung von Abfrageschablonen, wie sie beispielsweise

von der Datenbankanwendung Access bekannt sind. Dazu werden zwei Nutzergruppen eingeführt: ein Administrator und ein Aufnehmender. Der Administrator kann nicht nur Klassen generieren und modifizieren, sondern auch Abfrageschablonen erstellen. Bei einer solchen Abfrageschablone können z.B. auch Grafiken angegeben werden, um beispielsweise den Bezug von bestimmten Maßen zu verdeutlichen. Der Nutzer kommt auf diese Weise nur mit den praktisch bewährten Fragebögen in Berührung, nur diesmal in digitaler Form. Eine andere Möglichkeit sieht [Petzold01] in einer für die Zielgruppe aufgearbeiteten Form von Case-Tools. Diese Form der Unterstützung würde den Administrator selbst betreffen.

7.4. Beobachter und Waisenkinder

Beobachter dienen der Kopplung geometrischer Parameter von Bauteilen mit ihnen zugewiesenen allgemeingültigen Geometriemodellen. Grundlage für die Einführung von Beobachtern ist die Kopplung zwischen Flächen- oder BRep-Modell und Ausgleichungsmodell.

Um die Arbeitsweise eines Beobachters zu erläutern, wird wieder das Beispiel der quaderförmigen Stütze aufgegriffen. In Abbildung 7.21 wird eine Vererbungshierarchie für Stützenklassen angegeben, darunter die Klasse „Stuetze_quaderfoermig“. Diese Klasse besitzt drei Attribute („Breite“, „Tiefe“, „Hoehe“) des Typs Beobachter. Abbildung 7.8 zeigt die Klassenbeschreibung des Beobachters. Ein Beobachter ist ein Stellvertreter für ein Objekt vom Typ Visitor, welcher Bestandteil des Geometriemodells ist. Der Visitor wertet die Attribute seines Stellvertreters aus bzw. setzt in diesen Werte. Innerhalb des Ausgleichungsmodells benutzt der Visitor Pseudobeobachtungen, um geometrische Werte aus dem Geometriemodell auszulesen oder als Beobachtung zu setzen. Im Fall der Beispielstütze soll dazu das Attribut „Hoehe“ näher betrachtet werden.

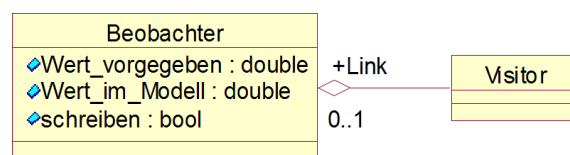


Abb. 7.8.: Klassenbeschreibung Beobachter

Das Attribut „Hoehe“ beschreibt im konkreten Fall der Beispielstütze die Entfernung der (Kontakt)flächen F1 und F2. Zu diesem Zweck wird im Ausgleichungsmodell eine Pseudobeobachtung eingeführt, die den Abstand zweier Punktmengen beschreibt. Als Punkte werden die Punkte der Flächen F1 und F2 genutzt.

Die eingeführte Beobachtung kann nun zwei Aufgaben erfüllen. Zum einen kann sie die Distanz der beiden Punktmengen und damit die Höhe der Stütze auslesen, zum anderen die Entfernung der Punktmengen als Pseudobeobachtung im Ausgleichungsmodell beschreiben. Das Visitor-Objekt steuert diese Vorgänge. Bei entsprechenden Veränderungen im Geometriemodell fragt das Visitor-Objekt von der Pseudobeobachtung die Entfernung der Punktmengen ab und schreibt diese in das Attribut „Wert_im_Modell“ seines Stellvertreters im Bauwerksmodell. Ist im Stellvertreter das Attribut „schreiben“ gesetzt, so übernimmt das Visitor-Objekt aus dem Attribut „Wert_vorgegeben“ einen Beobachtungswert und setzt diesen Wert in der Pseudobeobachtung des Ausgleichungsmodells. Im konkreten Beispiel kann der Nutzer so eine bestimmte Höhe der Stütze vorschreiben. Ist das Attribut „schreiben“ nicht gesetzt, so wird die Pseudobeobachtung im Ausgleichungsmodell deaktiviert, so daß sie auch weiterhin die Entfernung der Punktmengen auslesen kann, jedoch selbst keine Entfernung mehr beschreibt.

Wieso wurde als Pseudobeobachtung die Entfernung zweier Punktmenge gewählt, und nicht etwa die Entfernung zweier Flächen? Der Grund liegt in der möglichen Nutzung der Defaultgeometrie der Stütze zur Bauteilextraktion. In diesem Fall können den Kontaktflächen F1 und F2 durchaus mehrere Flächen zugeordnet werden. Daher muß die Pseudobeobachtung auch den Abstand von zwei Flächengruppen beschreiben können, was in diesem Fall über die Punkte der Flächengruppen erfolgt.

Im bisherigen Beispiel wurde lediglich die Entfernung zweier Punktmenge zur Gewinnung geometrischer Parameter, wie der Höhe, Breite und Tiefe von Stützen, eingesetzt. Die Möglichkeiten einer Parametrisierung gehen aber weit darüber hinaus. Prinzipiell läßt sich alles parametrisieren, was mittels einer Pseudobeobachtung beschreibbar ist. Dazu gehören verschiedenste Abstände, wie beispielsweise zwischen Punkten und Kanten, Höhendifferenzen, verschiedenste Winkelangaben, Positionsangaben usw. Abbildung 7.9 zeigt Beispiele für erweiterte Fensterattribute. Im Teilbild 1 ist die Modellierung einer Brüstungshöhe eines Fensters zu sehen. Hierbei wird eine Beobachtung genutzt, welche ein Abstandsmaß des Fußbodens zur Fensterleibung zurückgibt. Problematisch an dieser Parametrisierung ist, daß zum Zeitpunkt der Geometriemodellierung der Defaultgeometrie des Fensters der Fußboden kein Bestandteil der Defaultgeometrie ist. Dies ist ein Beispiel für die Notwendigkeit des Ansatzes von „Waisenkindern“, welcher nachfolgend erläutert wird. Das Teilbild 2 zeigt die Modellierung eines Fensterbogens auf der Basis einer Facettierung. In diesem Fall wird eine Gruppe von Beobachtungen eingesetzt, welche jeweils einen identischen Abstand des geometrischen Schwerpunktes jeder Teilfläche des Bogens mit einem Punkt P1 modellieren.

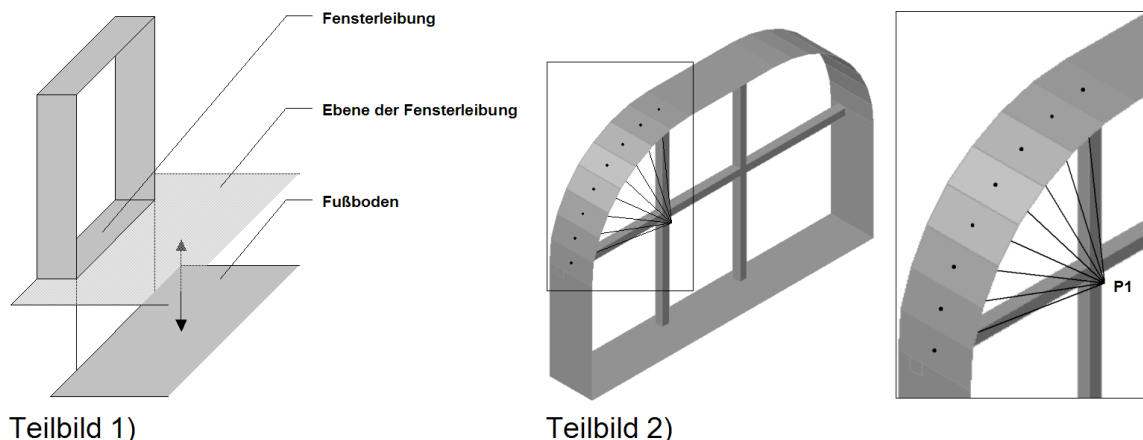


Abb. 7.9.: Beispiele für Fensterparameter

In Abbildung 7.21 wurde die Vererbungshierarchie von Stützenklassen aufgezeigt. In dieser Vererbungshierarchie findet sich eine Klasse „Stuetze“, welche die Basisklasse aller möglichen Stützensausprägungen darstellt. Die Klasse „Stuetze“ besitzt dabei u.a. eine Eigenschaft *Hoehe*, die alle Stützenklassen besitzen sollen. Diese Eigenschaft wird durch ein Attribut des Typs *Beobachter* modelliert.

Die Defaultgeometrie von Stützenklassen kann sehr unterschiedlich aussehen. Eine Defaultgeometrie für alle möglichen Stützenklassen zu erstellen erscheint illusorisch. In diesem Fall wird das Prinzip des Waisenkindes eingeführt. Das zu dem Stellvertreter „Hoehe“ gehörende Visitor-Objekt verweist auf keine Pseudobeobachtung, sondern bleibt ungebunden. Erbende Klassen, die eine Kopie des Visitor-Objektes übernehmen, können anschließend der jeweiligen spezifischen Defaultgeometrie entsprechend die Höhe der spezialisierten Stützenklasse durch geeignete Pseudobeobachtungen modellieren.

Ein anderes Beispiel für die Anwendung des Prinzips der Waisenkinder ist die Modellierung einer Brüstungshöhe in Abbildung 7.9, Teilbild 1. Zum Zeitpunkt der Modellierung der Defaultgeometrie des Fensters ist natürlich noch keine Bodenfläche modelliert, da diese keinen Bestandteil des Fensters darstellt. In diesem Fall liegt eine Lösungsmöglichkeit wieder darin, das Visitor-Objekt der Brüstungshöhe ungebunden zu lassen und den Typ der nachfolgend zuzuordnenden Pseudobeobachtung bereits festzulegen, so daß bei der Einfügung eines Fensterobjektes das System bereits in Kenntnis ist, daß zur Modellierung der Pseudobeobachtung eine Fläche gesucht bzw. durch den Nutzer angegeben werden muß. Eine andere Variante, ohne Waisenkinder, besteht in der Einführung einer Stellvertreterfläche für den Boden in Form einer Kontaktfläche.

Waisenkinder besitzen auch in Fällen unterbestimmter Geometrien eine wichtige Funktion. Nicht immer sind dem Aufnehmenden alle nötigen Oberflächen zur Parametrisierung eines Bauteils bekannt. Als Beispiel sei ein Unterzug genannt, bei welchem der Aufnehmende, beispielsweise durch abgehängte Zwischendecken, nicht den oberen Abschluß erkennen kann. In diesen Fällen müssen einzelne Visitor-Objekte ungebunden bleiben. Das Attribut „Wert_im_Modell“ der zugehörigen Beobachterobjekte wird in diesem Fall auf den spezifischen Wert „unbekannt“ gesetzt.

7.5. Detaillierung

Bereits bei der skizzenhaften Abbildung der Geometrie von beispielsweise Räumen abstrahiert der Beobachter komplexere Raumgeometrien. Abbildung 7.10 zeigt dazu die grundrißorientierten Skizzen eines Raumes zu zwei verschiedenen Zeitpunkten.

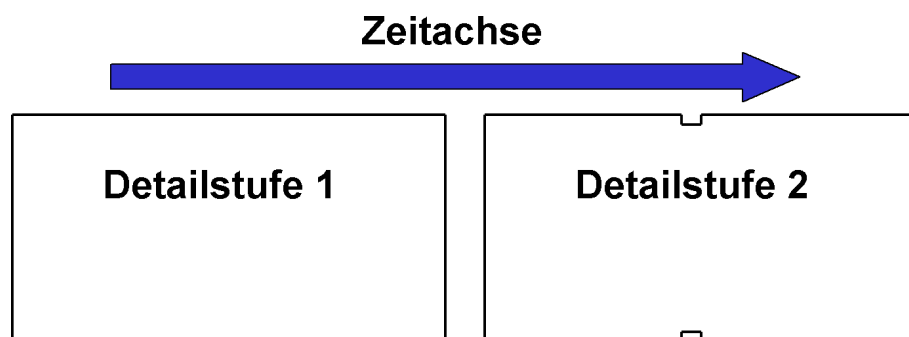


Abb. 7.10.: Detaillierung an einem Raum

Anfänglich, z.B. im Rahmen einer Erstbegehung, wurde die Geometrie des Raumes als quaderförmig empfunden bzw. abstrahiert (Detailstufe 1). In einer späteren Phase, bei der maßlichen Erfassung, beschäftigt sich der Aufnehmende sehr intensiv mit der Geometrie des Raumes. Die bisherige Darstellung wird mit mehr Details versehen, beispielsweise mit der Ergänzung von Vorsprüngen (Detailstufe 2). Bei der zunehmenden Detaillierung der Geometrie wird die Topologie ständig erweitert.

Abbildung 7.11 zeigt dies am Beispiel der Einbringung eines der Vorsprünge von Abbildung 7.10.

In der Abbildung 7.11 werden die Oberflächen zugunsten einer besseren Übersichtlichkeit als Kanten betrachtet. Die Kanten wurden mit F1 bis F6, die Punkte mit P1 bis P6 bezeichnet. Bei der zunehmenden Detaillierung von Detailstufe 1 zu Detailstufe 2 wurde die frühere Kante F1 „um einen Vorsprung ergänzt“. Genaugenommen ist die Kante F1, welche durch die Punkte P1 und P2 gebildet wurde, nicht mehr existent. In der Raumumgrenzung

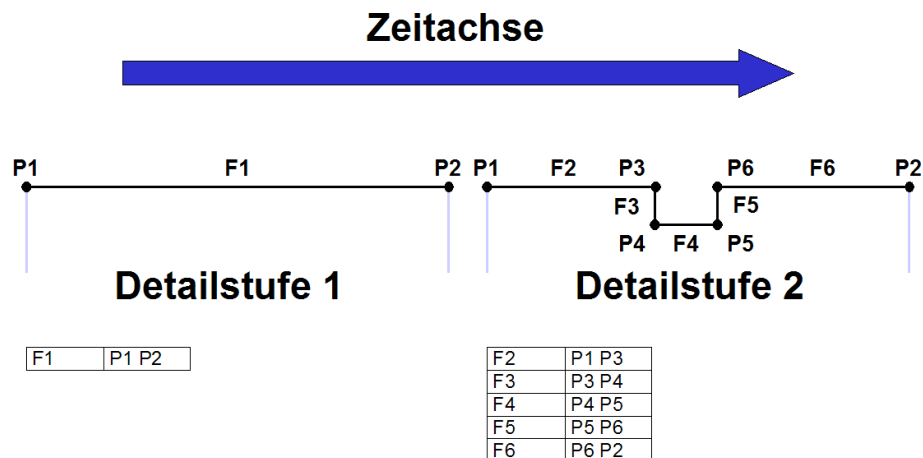


Abb. 7.11.: Detaillierung topologisch betrachtet

wurde F1 durch die Kanten F2 bis F6 ersetzt. Die gleichen Problematiken treten bei einer Übertragung des Problems in den R^3 auf. Aus der Ersetzung von F1 durch F2 bis F6 ergibt sich die Frage, wie mit Daten umzugehen ist, welche sich auf F1 bezogen bzw. mit dieser in Relation standen. Zu diesen Daten gehören beispielsweise:

- Messungen und geometrische Abstraktionen, welche sich mit auf F1 bezogen haben
- Sachinformationen und Dokumente, welche mit F1 verbunden wurden

Diese beiden Gruppen von Daten sollen nun etwas genauer betrachtet werden.

Jede Fläche des Geometriemodells besitzt eine Ausgleichungsebene. Mittels der Ausgleichungsebene wird beispielsweise die Lage aller Eckpunkte der Fläche als in einer Ebene liegend beschrieben. Auch werden indirekt über die Ausgleichungsebene Messungen wie die Entfernung von zwei als parallel betrachteten Oberflächen modelliert, wie auch Winkel, Parallelitäten, horizontale und vertikale Ausrichtungen. Sowohl Messungen als auch geometrische Abstraktionen werden durch Beobachtungen beschrieben.

Manche der Beobachtungen, so z.B. Messungen, wurden vom Nutzer explizit angegeben. Andere entstammen Vermutungen des Systems, sind also die Umsetzung der geometrischen Filter.

Trivialerweise müssen die Beobachtungen, welche durch Vermutungen des Systems gesetzt wurden, nach dem Löschen einer Fläche nur gelöscht und über den neu entstandenen Flächen Beobachtungen durch neue Vermutungen gesetzt werden. Vom Nutzer angegebene Beobachtungen dagegen müssen entweder gelöscht oder einer der neu entstandenen Flächen neu zugeordnet werden. Dieser Vorgang muß vom Nutzer kontrolliert werden, das System kann den Nutzer jedoch mittels Vorschlägen unterstützen. So kann aus der geometrischen Lage der Flächen F2 und F6 vermutet werden, daß sich Messungen, welche F1 zugeordnet wurden, auf eine von ihnen beziehen sollen. Noch stärker ist diese Möglichkeit bei Messungen gegeben, welche sich über Meßpunkte auf die Flächen beziehen, wie beispielsweise im Falle der Tachymetrie. Dennoch sollte auch hier nach einer Vorschlagsunterbreitung durch das System der Nutzer die Neuuzuordnung kontrollieren und gegebenenfalls ändern können.

Bei Sachinformationen und Dokumenten ist eine etwas andere Problematik gegeben. Als Beispiel kann eine Angabe des Oberflächenmaterials angeführt werden. Der Nutzer legt als Sachinformation ab, ob eine Putz-, Holz- oder Betonoberfläche vorliegt. Diese Information,

welche sich zunächst auf F1 bezog, kann selbstverständlich nun auch für alle Flächen F2 bis F6 zutreffen, muß es allerdings nicht. Gleiches gilt für Dokumente, die F1 zugeordnet wurden.

Ein Lösungsansatz liegt dabei in der Nutzung von Gruppenbildungen. Wie in Abschnitt 7.3.6 erläutert, kann ein Flächenobjekt nicht nur auf eine einzelne Oberfläche des Geometriemodells verweisen, sondern auch auf eine Gruppe von Flächenobjekten. Auf diese Weise können Informationen über den Detaillierungsvorgang „gerettet“ werden. Weiterhin lassen sich Informationen abbilden, welche sich auf mehrere Oberflächen beziehen. Abbildung 7.12 zeigt eine komplexe Gruppenbildung am Beispiel einer Wand.

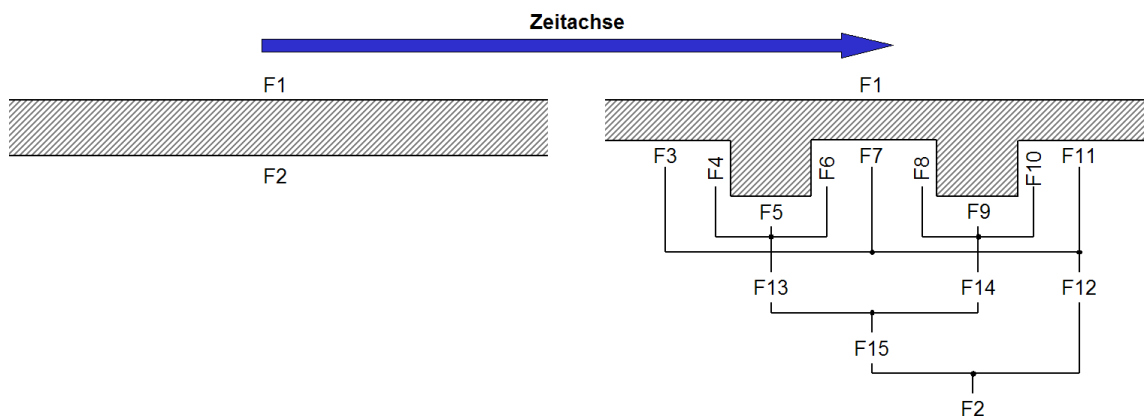


Abb. 7.12.: Komplexe Gruppenbildung

Problematisch an der geschilderten Gruppenbildung ist die Bildung von Redundanzen und Widersprüchen. Eigenschaften, welche einer Gruppe zugeordnet werden, können auch einzelnen Elementen der Gruppe zugeordnet sein. Die Eigenschaft eines einzelnen Elementes kann denen der Gruppe widersprechen. Betreffend dieser Problemstellungen besteht erheblicher Klärungsbedarf, der aber nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist.

7.6. Verifikation

Dieser Abschnitt beschäftigt sich mit Möglichkeiten, das computerinterne Geometriemodell mit der Realität zu vergleichen.

7.6.1. Nutzung der automatischen Entzerrung

Entzerrte photogrammetrische Aufnahmen sind für eine Verifikation des geometrischen Abbildes geeignet. Das Grundprinzip ist einfach: Vollständig orientierte photogrammetrische Aufnahmen werden entzerrt und als Textur auf das computerinterne Geometriemodell projiziert.

Die beschriebene Methode der Geometrieüberprüfung ist bildlich gesprochen vergleichbar mit einer Gegenkontrolle einer mathematischen Aufgabe, bei welcher ein bestimmter gesuchter Wert über zwei verschiedene Rechenwege bestimmt wird. Die Gegenkontrolle verlangt am Ende der beiden Berechnungen identische bzw. sehr ähnliche Ergebnisse. Analog verhält sich dieser Test. Resultierend aus diesem Ansatz ist auch das Ergebnis bei groben Abweichungen. Es ist unklar, auf welcher Seite die Abweichungen zu begründen sind. Aber auch bei Übereinstimmung können verdeckte Fehler vorliegen. Die Methode

ist daher eine zusätzliche Möglichkeit der Aufdeckung von Fehlern, garantiert aber keine Fehlerfreiheit.

Positiv an dem beschriebenen Verfahren ist, daß seine Anwendung dem Aufnehmenden keine zusätzlichen Kosten bereiten dürfte². Diese Annahme wird wie folgt begründet:

Der beschriebene Ansatz geht von ohnehin genutzten photogrammetrischen Aufnahmen aus. Sind diese vollständig orientiert, so fehlen für eine Entzerrung nur die Zuordnungen zu den Oberflächen des computerinternen Geometriemodells. Und genau dies läßt sich automatisch bewerkstelligen, im beschriebenen Ansatz sogar sehr einfach, da der verwendete Facettenmodeller ja nur planare Oberflächen nutzt. Für jede vollständig orientierte Aufnahme werden die vom Kamerastandort aus sichtbaren Oberflächen, oder genauer, die sichtbaren Polygone ermittelt. Die polygonbildenden Eckpunkte werden anschließend zum Kamerastandort hin auf die Einzelaufnahme projiziert. Auf diese Weise können auf der Aufnahme die einzelnen, jeweils auf die Polygone des Geometriemodells zu entzerrenden Bildbereiche bestimmt werden. Natürlich müssen weitere Problemstellungen berücksichtigt werden, wie z.B. die Mehrfachprojektion verschiedener Aufnahmen auf ein Polygon usw. (siehe auch Anhang B.2.3, S. 193).

7.6.2. Punktverifikation mittels motorisierter Tachymeter

Motorisierte Tachymeter mit sichtbarem Laser eignen sich für eine direkte Rückkontrolle des geometrischen Abbildes am Original. Das Grundprinzip ist sehr einfach. Der Nutzer wählt Punkte im computerinternen Geometriemodell aus, die anschließend vom motorisierten Tachymeter angefahren werden. Mittels des sichtbaren Laserstrahls kann der Nutzer nun beispielsweise Raumeckpunkte im Geometriemodell mit den realen Raumecken vergleichen (siehe Abbildungen 7.13 und 7.14).

Bei praktischen Tests zeigte sich die Stärke dieser Verifikation auch oder gerade an händisch erfaßten 2D-Geometrien. Nachdem ein Geometrieabbild eines Teils von Arbeitsräumen der Bauhaus Universität (Lehrstuhl InfAR) mittels Laserhandaufmaß erstellt wurde, wurde in einem der Räume ein Tachymeter aufgebaut und mit Hilfe einiger aufgenommener Wandoberflächenpunkte im computerinternen Geometriemodell positioniert und orientiert. Anschließende Kontrollmessungen von Öffnungen zeigten nicht nur die praktikable Genauigkeit des computergestützten Handaufmaßes auf, sondern führten des weiteren zur Aufdeckung eines visuell nicht aufgefallenen Meßfehlers, der aus der fehlerhaften Zuordnung in das Geometriemodell herrührte und statistisch nicht aufdeckbar gewesen wäre.

7.7. Bauteilextraktion

Wie bereits in Abschnitt 5.2 erläutert, ist unter dem Begriff der Bauteilextraktion die Zergliederung eines vorher in seiner Geometrie bestimmten Baukörpers in seine ihn bildenden Bauteile zu verstehen. Im Rahmen der zerstörungsarmen bzw. -freien Bauaufnahme ist der Aufbau des Baukörpers selbst nicht direkt bestimmbar, da nur die sichtbaren Oberflächen des Baukörpers direkt zu erfassen sind. In diesem Zusammenhang kann er als eine Blackbox angesehen werden. Der Aufnehmende kann jedoch, gestützt auf sein Hintergrundwissen über beispielsweise eingesetzte Baukonstruktionen, auch im historischen Bezug, Einheitsdicken von Mauerwerken usw. Vermutungen über den Aufbau des Baukörpers aufstellen, welche lokal, beispielsweise durch offene Schadstellen, Probebohrungen, Klopftests auf massive Wände oder Vorwand-Installationen usw. geprüft werden können.

²dürfte, da dieser Ansatz noch nicht implementiert und daher nicht getestet wurde

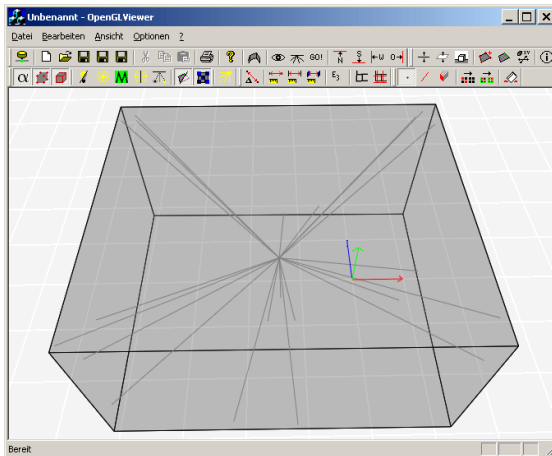


Abb. 7.13.: Geometriemodell des Raumes
und selektierter Eckpunkt



Abb. 7.14.: Vom Motortachy angefahrne
und mittels Laser gekennzeichnete
Punktposition aus dem
Geometriemodell

Vielfach besitzen die einzelnen Bauteile des Baukörpers keine streng abgeschlossene Geometrie. Als Beispiel sei die Verzahnung von Mauern im Mauerwerksverband oder Decken-/Wandübergänge in Stahlbetonkonstruktionen genannt. Oft können hier klare Geometriegrenzen bestenfalls nach funktionalen Gesichtspunkten definiert werden. In der Denkweise des Architekten werden solche Trennungen in der Regel nicht vorgenommen, wie z.B. an Grundrißplänen zu erkennen ist. So werden Mauerwerke nur bei Materialübergängen untergliedert, oder wenn in der Realität entsprechende konstruktive Trennungen, wie Fugen, bestehen.

Die bei der beschriebenen Bauteilextraktion gewonnenen Informationen sind vage und lassen sich oft nur unvollständig bestimmen. Besonders Bauteile des Rohbaus sind in ihrer Geometrie zueinander materiell nicht abgegrenzt, eine eindeutige Abgrenzung wäre allenfalls per Definition des Aufnehmenden möglich und hätte eher willkürlichen Charakter.

Aus den genannten Gründen wird folgender Ansatz gewählt: Die Identität und die geometrische Beschreibung von Bauteilen werden implementativ getrennt und statt dessen über Relationen hergestellt. Der Nutzer erhält die Möglichkeit, im Bauwerksmodell Bauteilklassen zur Ablage formaler Informationen oder als Bezugspunkt für die Verknüpfung mit Dokumenten zu erstellen bzw. zu modifizieren. Den Objekten einer Bauteilkategorie werden über Relationen bekannte Oberflächen bzw. Volumenbeschreibungen zugewiesen. Die Geometrien der Bauteile können so beliebig verändert, die Objekte selbst unter Beibehaltung der Geometrie getauscht werden. Der Aufnehmende kann einem Bauteil genau die geometrischen Informationen zuweisen, die ihm bekannt sind. Das können lediglich einzelne Flächen, aber auch abgeschlossene Volumen sein. Um dennoch zu ermöglichen, daß Bauteile geometrische Parameter, wie etwa Breite, Höhe, Tiefe besitzen, werden Beobachterobjekte eingeführt, welche zu einem späteren Zeitpunkt erläutert werden. Beobachterobjekte bilden geometrische Größen aus dem Geometriemodell des Baukörpers in geometrische Parameter der Bauteilobjekte ab.

Durch die Trennung von Bauteil und Geometrie ergeben sich zwei miteinander in Beziehung stehende Modelle. Zum einen ein allgemeingültiges Geometriemodell, welches ohne bauteilspezifische Einschränkungen die von ihm unterstützten Geometrieoperationen bereitstellt, zum anderen ein Bauwerksmodell, das unter anderem Bauteile enthält, die auf Elemente des Geometriemodells verweisen. Im Folgenden werden diese Bauteile näher betrachtet.

Eines der Grundkonzepte des objektorientierten Paradigmas ist die Generalisierung bzw. Spezialisierung. Durch Vererbungshierarchien von Bauteilklassen kann der Aufnehmende Generalisierungen bezüglich der Geometrie variieren. Dieses Konzept kann auch genutzt werden, um vage Informationen über ein Bauteil stufenweise abzubilden. Die Konzepte werden am Beispiel einer Wand illustriert. Abbildung 7.15 zeigt einen Bereich des erfaßten Baukörpers im Grundriß, welcher als Wand beschrieben werden soll.

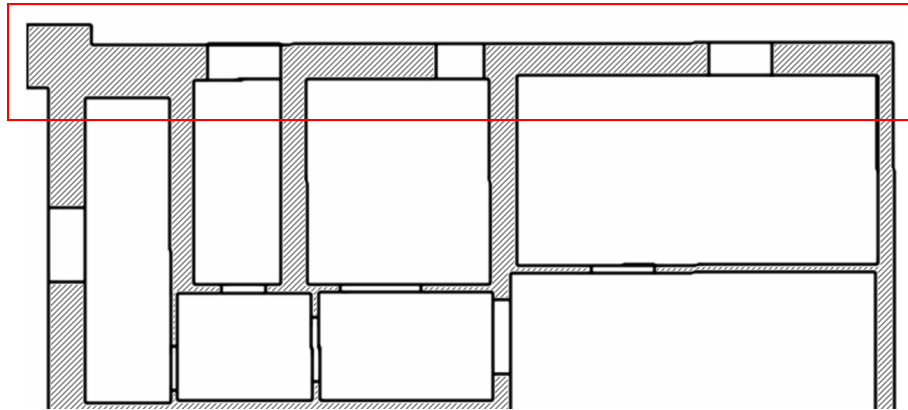


Abb. 7.15.: Ausgewählte Beispielwand

Eine mögliche Form der geometrischen Beschreibung ist die Gruppierung aller Oberflächen der Wand, zu sehen in Abbildung 7.16. Diese Form der Darstellung hat den Vorteil, daß sie nur die dem Aufnehmenden bekannten Oberflächen des Baukörpers zur Darstellung der Wandgeometrie nutzt.

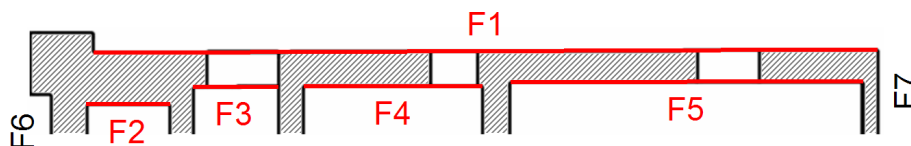


Abb. 7.16.: Flächenzuordnung

Im vorliegenden Fall wurden die Flächen F1 bis F5 zur Darstellung der Wand genutzt. Abbildung 7.17 zeigt eine Flächenzuordnung über zwei Etagen. Gut zu erkennen ist dabei, daß die Abbildung keinen Aufschluß über die konstruktive Verbindung von Bauelementen liefert. So ist aus Ausschnitt 1 nicht zu entnehmen, ob die abgebildete Wand aus zwei Einzelwänden besteht (W1 und W2), eine unterhalb und eine oberhalb der Geschoßdecke, oder durchgängig gemauert wurde (W1). Dazu sind zwei mögliche konstruktive Varianten 1 und 2 dargestellt, gesichert bekannt sind die jeweils rot dargestellten Flächen.

Die gezeigte Methode der Flächenzuordnung erlaubt eine Unterteilung der Wand in verschiedene Bereiche. Jedem Bereich läßt sich dabei durch eine Kombination von zwei Einzelflächen eine Teilgeometrie zuweisen. In dem gezeigten Beispielfall sind für jede Etage fünf Einzelbereiche definierbar, $F1 \times F2$ bis $F1 \times F5$.

Bisher wurden Geometrie und Bauteil nur mittels Relationen verbunden. Bestimmte geometrische Größen lassen sich jedoch als Eigenschaften von Bauteilen betrachten und sollten daher in den Bauteilen als geometrische Parameter enthalten sein. Als Beispiel sei eine Wanddicke genannt.

Geometrische Parameter verlangen in der Regel eine gewisse Abstraktion der Geometrie. Um eine Wanddicke anzugeben, wird davon ausgegangen, daß eine Wand zwei parallel

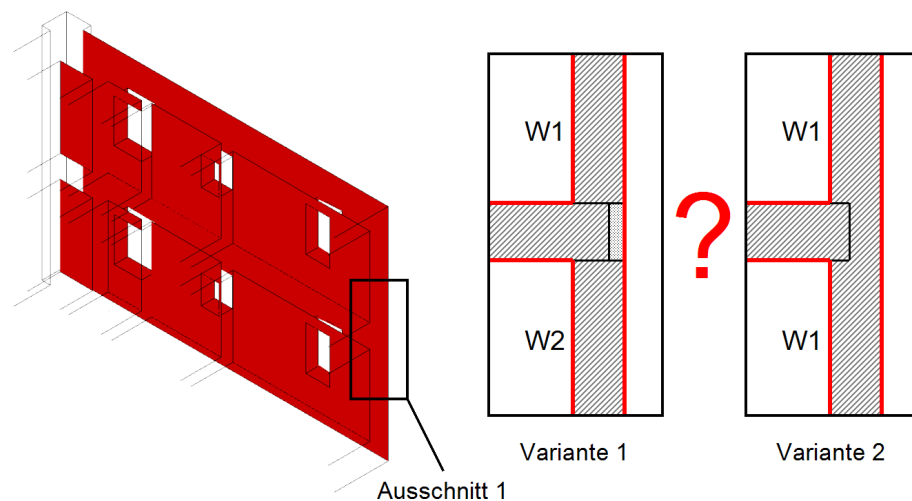


Abb. 7.17.: Flächenzuordnung aus 3D-Sicht

zueinander verlaufende Oberflächen besitzt, deren Abstand die Wanddicke angibt. Nur eine Teilmenge der in der Realität anzutreffenden Wände besitzt eine entsprechende Geometrie. Nur für diese Teilmenge ist die Modellierung des Parameters Wanddicke daher sinnvoll. Mit der Einführung des geometrischen Parameters Wanddicke wird eine Spezialisierung im Sinne der OOP durchgeführt. Abbildung 7.18 zeigt die Spezialisierung der Wandklasse durch Vererbung.

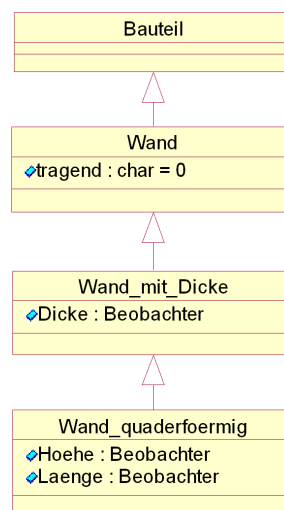


Abb. 7.18.: Vererbungshierarchie Wand

Eine Abstraktion der Geometrie schränkt die Menge darstellbarer Geometrien zunehmend ein. Die allgemeingültigste Darstellung von Geometrie erfolgt in dem beschriebenen Ansatz durch das vom Bauwerksmodell getrennte Geometriemodell. Die Abstraktion einer im Geometriemodell beschriebenen Bauteilgeometrie in geometrische Parameter ist mit einem Informationsverlust behaftet. Primäres Datenmodell der Geometrie sollte daher das separierte Geometriemodell darstellen.

Um aus dem Geometriemodell geometrische Parameter als Eigenschaften der Bauteilobjekte zu gewinnen, werden Beobachter eingeführt. Beobachter erlauben die Modellierung der bidirektionalen Kopplung von geometrischen Parametern und des Geometriemodells

auf für den Nutzer einfache Weise, ohne daß dieser Algorithmen in das System einbringen muß. Auf Nutzerseite kann die Modellierung quasi als Baukastensystem visualisiert werden.

Abbildung 7.19 zeigt wieder die schon beschriebene Beispielwand. Diesmal wird die Geometrie einem Objekt einer spezialisierten Wandklasse „Wand_mit_Dicke“ zugewiesen, welche auch eine Wanddicke enthält. Zur Umsetzung der Wanddicke werden zwei Ausgleichsebenen E1 und E2 eingeführt. Jeder Ausgleichsebene werden eine oder mehrere Flächen zugeordnet, im beschriebenen Beispielfall der Ebene E1 die Fläche F1 und der Ebene E2 die Flächen F3 bis F5. Die Fläche F2 wird aufgrund ihrer grob von E2 entfernten Lage nicht berücksichtigt. Aus einem Abstandsmaß der Ebenen E1 und E2 unter Berücksichtigung der zugewiesenen Flächen wird die Dicke der Wand auch bei nicht absoluter Parallelität der Ebenen ermittelt.

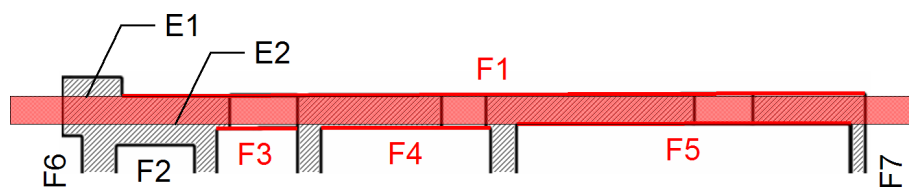


Abb. 7.19.: Einführung einer Wanddicke

Eine weitere Möglichkeit der Geometrieabstraktion ist die Betrachtung der Wandgeometrie als Quader, aus welchem die geometrischen Parameter Wandlänge, Wandhöhe und Wanddicke ermittelbar sind. In Abbildung 7.20 ist die Vorgehensweise planar dargestellt. Statt zweier Ebenen werden sechs Ebenen, welche einen Quader einschließen, eingeführt. In der planaren Abbildung sind dabei lediglich die Ebenen E1 bis E4 angegeben bzw. ist der eingeschlossene Quader abgebildet. E3 enthält die Fläche F6, E4 die Fläche F7. Auf diese Weise kann die Länge und Breite der Wand abgefaßt werden. Auf den Raum übertragen gilt gleiches für die Höhe durch die zusätzlichen hier nicht abgebildeten Ebenen. Die ermittelten Werte werden in eine Instanz der Klasse „Wand_quaderfoermig“ abgebildet.

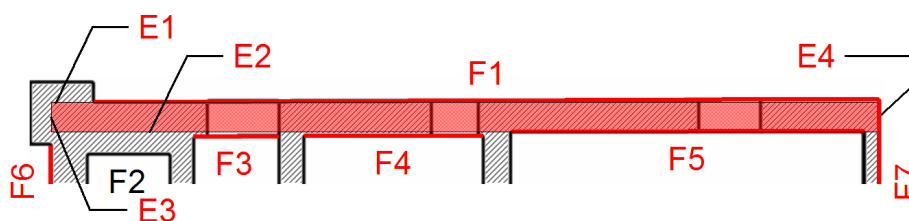


Abb. 7.20.: Einführung von Wandlänge und Wanddicke

Wie bereits in Abschnitt 6.10 erläutert, ist ein wesentlicher Ansatz des Konzeptes die Bereitstellung von Werkzeugen zur Modifikation des Bauwerksmodells durch den Nutzer. Um die beschriebenen Methoden zur geometrischen Parametrisierung anwenden zu können, muß dem Nutzer die Möglichkeit gegeben werden, selbst Abstraktionen wie die am Beispiel der Wand gezeigten für von ihm erstellte oder modifizierte Klassen modellieren zu können. Des weiteren muß die Verknüpfung von Geometrie und Bauteil, also die Zuordnung beispielsweise von Ausgleichsebenen und Flächen, ohne großen Arbeitsaufwand erfolgen können. Dazu dient das Konzept der Defaultgeometrien.

Defaultgeometrien erlauben es dem Nutzer, Bauteilklassen Grundgeometrien zuzuordnen, welche anschließend genutzt werden können, um Bauteile mitsamt ihrer Geometrie als Bau-

steine einzuführen oder um auf eine einfache Weise Flächengruppen eines erfaßten Baukörpers einem Bauteilobjekt zuzuweisen. Als Beispiel dient eine quaderförmige Stütze, welche von einem Nutzer modelliert wird. Abbildung 7.21 zeigt eine mögliche Vererbungshierarchie für Stützenklassen im Bauwerksmodell. Im Mittelpunkt der folgenden Betrachtungen steht dabei die vom Nutzer generierte Klasse „Stuetze_quaderfoermig“. Die Klasse erbt von der Klasse „Stuetze“ die Eigenschaft „Hoehe“. In der Abbildung wurde diese Eigenschaft zugunsten einer besseren Übersicht in der Klasse „Stuetze_quaderfoermig“ noch einmal angegeben. Weiter besitzt die Klasse die Eigenschaften „Breite“ und „Tiefe“. Der Nutzer erstellt des weiteren eine Defaultgeometrie für die Klasse „Stuetze_quaderfoermig“, welche dieser über einen Verweis zugeordnet wird. In die Defaultgeometrie bringt der Nutzer verschiedene Beobachtungsobjekte ein und verbindet diese mit den Eigenschaften „Hoehe“, „Breite“ und „Tiefe“. Weiter definiert der Nutzer zwei Oberflächen der Stütze als Kontaktflächen.

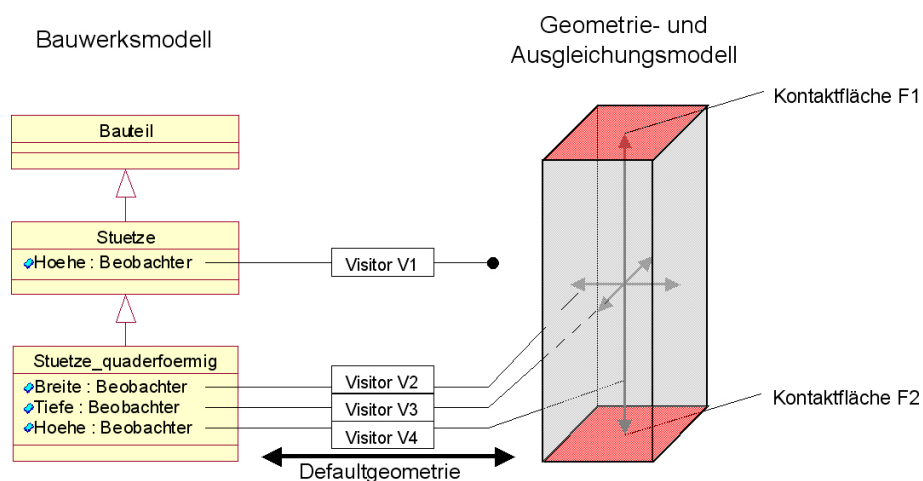


Abb. 7.21.: Defaultgeometrie am Beispiel einer Stütze

Wird von der Klasse „Stuetze_quaderfoermig“ ein Objekt instanziiert, so wird von der Defaultgeometrie eine Kopie erzeugt und dem neuen Objekt zugeordnet. Auch die Beziehungen zwischen Eigenschaften der Klasse und Beobachtern in der Geometrie werden in der Kopie übernommen. Für die Verknüpfung der Geometrie des Bauteilobjektes und der bereits aufgenommenen Geometrie des Baukörpers sind nun zwei Fälle zu unterscheiden:

1. Die Geometrie des Bauteilobjektes dient der geometrischen Erweiterung der Bauwerksgeometrie.
2. Die Geometrie des Bauteilobjektes dient der Zuordnung bereits vorhandener geometrischer Elemente der Bauwerksgeometrie zu dem Bauteilobjekt.

Beide Fälle werden im Folgenden einzeln behandelt. Abbildung 7.22 zeigt beide Fälle. Im Fall 1, welcher vornehmlich in den frühen Phasen der Modellierung des geometrischen Abbildes des Gebäudes stattfindet, hat der Aufnehmende die Möglichkeit, mittels von ihm übernommenen bzw. modifizierten Bauteilkatalogen Bauteile, welche bereits identifizierbar sind, in das Bauwerksmodell einzubringen. Der Aufnehmende wählt eine Bauteilkategorie aus, von der ein Bauteilobjekt instanziiert wird. Von der Defaultgeometrie der Bauteilkategorie wird eine Kopie generiert und mit dem Bauteilobjekt verbunden. Der Nutzer positioniert die Geometrie des Bauteils grob im Geometrieabbild des Bauwerkes bzw. verändert die

Geometrie durch Dehnen, Strecken usw. Mit Hilfe der Kontaktflächen des Bauteils erfolgt eine einfache Verbindung dieser Flächen mit den bereits existierenden Flächen des Geometrieabbildes des Bauwerkes.

Eine andere Vorgehensweise ergibt sich, wenn ein bereits erfaßtes Geometriemodell des Baukörpers eines Bauwerkes in Bauteile untergliedert werden soll. Abbildung 7.22 zeigt auch diesen zweiten Fall. Wieder wird ein Bauteilobjekt einer vom Nutzer gewählten Bauteilklasse instanziiert und einer Kopie der Defaultgeometrie der Bauteilklasse zugeordnet. In diesem Fall jedoch werden alle Flächen der Bauteilgeometrie als Kontaktflächen genutzt, um diesen Flächen des Geometriemodells des Baukörpers zuzuordnen. Je nach Wunsch des Nutzers können dabei entweder lediglich die Flächen des Baukörpers bestehen bleiben oder um Flächen der Bauteilgeometrie ergänzt werden.

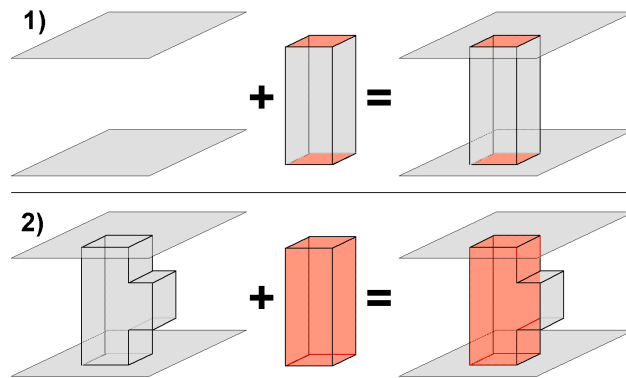


Abb. 7.22.: Einbringung der Defaultgeometrie

Eine weitere Vorgehensweise besteht in der Einführung von Trennflächen, welche das Volumen des Baukörpers zerlegen. Eine solche Vorgehensweise sollte vermieden werden, da die eingeführten Trennflächen im allgemeinen nicht konstruktiv begründbar sind. Jedoch kann das Einführen von Trennflächen im Einzelfall sehr wohl nützlich sein, um beispielsweise unterschiedliche Materialien abzugrenzen. Betrachtet werden soll dazu ein sehr einfacher Baukörper, welcher zwei Räume umschließt (siehe Abbildung 7.23).

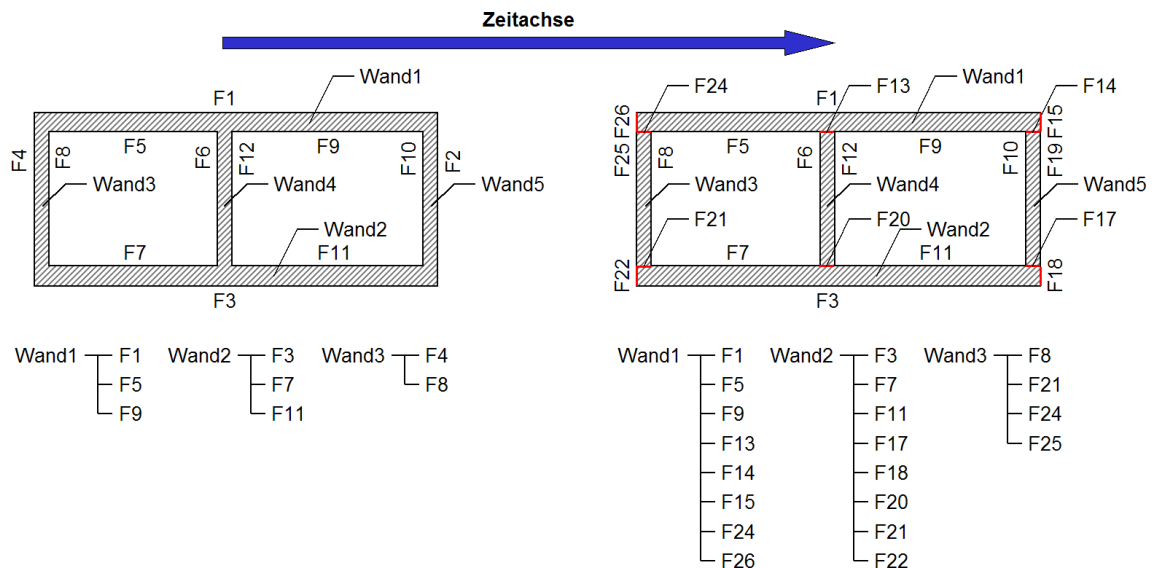


Abb. 7.23.: Zerlegung eines Baukörpers

Zunächst wurde die Gesamtgeometrie des Baukörpers ermittelt, die nun in einzelne, in ihrem Volumen klar bestimmte Wände zerlegt werden soll. Die gezeigte Methode kann auch als ein Spezialfall der Detaillierung betrachtet werden. Sie wirft die gleichen Probleme auf. Durch die Einführung von Trennflächen werden je nach Einführung andere Flächen zerlegt. Im gezeigten Beispiel erfolgt z.B. durch die Einführung der Trennflächen F14 und F17 eine Zerlegung der Oberfläche F2 in die Teilflächen F15, F18 und F19. Abbildung 7.24 zeigt den zeitlichen Ablauf der Zerlegung. Um Informationen, welche F2 zugewiesen wurden, nach der Zerlegung den entstandenen Teilflächen zuordnen zu können, ist auch hier, identisch zum Fall der Detaillierung, die Gruppenbildung nutzbar. Wie Abbildung 7.24 zeigt, würden sich jedoch ohne zusätzliche Strategien hierbei sehr tiefe Bäume bilden, deren Struktur von ihrer Entstehungsgeschichte abhängig ist, und nicht das Ergebnis einer nutzergewollten Systematik darstellt. Es sind daher Strategien erforderlich, um die entstehenden Baumstrukturen wieder zu reduzieren. Diese Strategien sind jedoch nicht Inhalt der vorliegenden Arbeit.

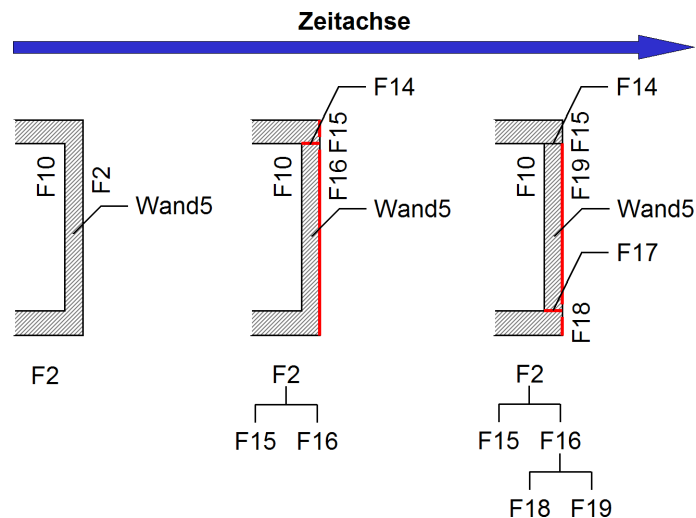


Abb. 7.24.: Problemstellung der Gruppenbildung

Mit Hilfe der gezeigten Techniken wird der Nutzer in die Lage versetzt, für ein aufzunehmendes Bauwerk ein nach seinen Ansprüchen spezifisches Bauwerksmodell zu erstellen und mit Hilfe der Generalisierung bzw. Spezialisierung geometrische Informationen auf unterschiedlichen Abstraktionsgraden abzubilden. Der Nutzer hat dabei die Möglichkeit, die Informationen abzubilden, welche ihm wirklich bekannt sind. Ein Zwang des Systems, Bauteilobjekten beispielsweise vollständige Volumenbeschreibungen zuzuordnen, welche in der Realität oft nicht gesichert bestimmbar sind, besteht nicht. Bedacht werden muß jedoch auch, daß diese Form einerseits die individuelle Abbildung gesicherten Wissens erlaubt, aber beispielsweise eine spätere automatische Auswertung des Bauwerksmodells erschwert wird, da Bauteile geometrische Informationen auf sehr unterschiedlichem Level besitzen können. Auch müssen Bauteilen nie Volumenbeschreibungen zugeordnet werden, wodurch bestimmte konstruktive Aussagen nicht geklärt werden, beispielsweise ob eine Wand auf einer Deckenplatte steht oder eine Decke eingehangen wurde. Der Nutzer hat jedoch die Möglichkeit, genau diese Angaben abzubilden, wenn dies vom Fachplaner gefordert und vom Aufnehmenden mit dem entsprechenden Aufwand ermittelt wurde. Damit besteht aber auch eine höhere Sicherheit in der Verwendung des Bauwerksmodells, da der Fachplaner bei allen abgebildeten Informationen von gesicherten Informationen ausgehen

kann. Durch diesen Umstand wird es des weiteren möglich, fehlende Informationen bei der Verwendung des Modells durch den Fachplaner aufzudecken.

Der beschriebene Ansatz muß um Algorithmen und Volumenoperationen erweitert werden, welche beispielsweise das Einsetzen, Auswechseln und Löschen von nutzerdefinierten Öffnungen und Öffnungselementen, wie Fenster und Türen, erlauben (siehe auch [Thurow99]). Diese Operationen bedürfen weiterer Konzepte und sind nicht Inhalt der vorliegenden Arbeit.

7.8. Programmtechnische Grundtools und Assistenten

Nachdem die grundsätzlich nötigen Komponenten des Systems erläutert wurden, widmet sich dieser Abschnitt der tatsächlichen Schnittstelle Mensch-Maschine. Vorgeschlagen wird ein offenes System, das aus einer Menge von erweiterbaren Tools besteht. Der Vorteil dieses Ansatzes liegt in der ständigen Erweiterbarkeit und in der Übersichtlichkeit des Systems. Dem zweiten Punkt, der Übersichtlichkeit, widmet sich dieser Abschnitt.

In Abschnitt 3.2 wurden verschiedene Aufmaßtechniken und -methoden vorgestellt, welche beliebig miteinander zu kombinieren sind. Weiter wurde in Abschnitt 6.1 gezeigt, daß es von Vorteil ist, verschiedene Sichten anzubieten, beispielsweise 2D- und 3D-Sichten auf das zugrundeliegende Geometriemodell. Unter der Voraussetzung von Abschnitt 4.4, daß keine feste Vorgehensweise in der Erstellung des Bauwerksmodells, des Geometriemodells und im Aufmaß gefordert bzw. erzwungen wird, ergibt sich eine riesige Menge von Kombinationsmöglichkeiten, die von einem monolithischen System nur mit Hilfe zahlreicher Optionen zu unterstützen sind.

Ein Vorteil „starrer“ Aufmaßprogramme, wie etwa aus dem Bereich des computergestützten Handaufmaßes, muß durch die Forderung nach der Freiheit des Nutzers, das Vorgehen bei der Bauaufnahme selbst vorzugeben, nicht aufgegeben werden. Stellvertretend für spezielle Aufmaßmethoden wird das Konzept der Aufmaßassistenten eingeführt. Der Nutzer kann einen Assistenten zur Unterstützung von Aufmaßserien mit einer festen, wiederkehrenden Abfolgen von Einzelschritten aufrufen, aber auch jederzeit wieder beenden und die Aufmaßstrategie ändern.

Als Beispiel eines Aufmaßassistenten sei ein Assistent für die Unterstützung der tachymetrischen Aufnahme von Räumen mit planaren Oberflächen mittels Polarverfahren angeführt. Eine mögliche Umsetzung dieses Assistenten wird im folgenden sehr detailliert erläutert und steht beispielhaft für die Umsetzung anderer Assistenten:

Nach dem Start des Assistenten erwartet dieser die Angabe des Gerätestandortes des Tachymeters. Dieser Standort kann wiederum durch verschiedenste Vorgehensweisen erstellt worden sein und soll daher an dieser Stelle einfach als gegeben angenommen werden. Nachdem der Standort angegeben wurde, erfolgt eine sehr grobe Ausrichtung des Tachymeters nach Norden. Der Assistent schaltet, wenn vorhanden, den sichtbaren Laserstrahl des Tachymeters ein, orientiert diesen grob nach Norden und löst eine Messung am Tachymeter aus. Anschließend eröffnet der Assistent das Aufmaß selbst. Er selektiert für den Nutzer sichtbar sämtliche vom Gerätestandort aus sichtbaren Oberflächen der Reihe nach im Uhrzeigersinn. Jeweils nur eine Oberfläche wird selektiert. Der Nutzer kann vom Tachymeter aus für jede Oberfläche beliebig viele Oberflächenpunkte aufnehmen, indem er am Tachymeter selbst die Einzelmessungen auslöst. Mittels einer vom Assistenten am Tachymeter überwachten Taste kann zur nächsten aufzunehmenden Oberfläche gewechselt werden.

Es ist klar, daß die Menge solcher spezifischer Assistenten immer begrenzt und in der Regel im Bezug zu den Möglichkeiten unvollständig ausfallen wird. Jedoch ergibt sich durch

das erweiterbare System gerade die Möglichkeit für Dritthersteller, sich auf die Erstellung spezieller Tools zu konzentrieren. Auch der Hersteller des Grundsystems ist in der Lage, sein Angebot von Tools ständig zu erweitern. Statt immer neuer Releases ist so eine individuelle Systemzusammenstellung und -aufrüstung für den Kunden möglich. Dennoch, das System bleibt lückenhaft. Für diese Fälle müssen sehr allgemeine Tools eingeführt werden, welche zu Ungunsten der Einfachheit und der Nutzerführung sehr allgemeine Operationen erlauben. Als Beispiel solcher Tools sei ein CAD-ähnlicher Universal-Geometrieditor genannt. Gleiches gilt für Tools zur administrativen Verwaltung von nutzerspezifischen Raum- und Bauteilklassen sowie -objekten usw.

Grundtools erlauben die Unterstützung von Aufgaben durch das System, die von den individuellen Assistenten nicht abgedeckt werden. Sie sind aber wesentlich komplexer und schwieriger in der Handhabung. Wird der Nutzer solche Grundtools akzeptieren bzw. mit ihnen zurechtkommen? Für die Antwort „ja“ sprechen zwei Gründe:

1. Es wird davon ausgegangen, daß der Nutzer ein System sehr wohl annehmen wird, das in der Menge der Anwendungsfälle eine sehr einfache Unterstützung bietet, also sehr produktiv ist, und in schwierigen Einzelfällen dennoch einsetzbar bleibt, wenn auch mit größerem Aufwand. Es wird weiter davon ausgegangen, daß der Nutzer den Mehraufwand im Verhältnis zu der in der Regel erfolgenden nutzerfreundlichen Unterstützung sieht.
2. Das durch Assistenten, welche Standardfälle gut unterstützen, erworbene Systemverständnis erleichtert den Zugang zu speziellen Tools. In der Regel wird die Notwendigkeit der Nutzung eines Standardtools erst nach der längeren Nutzung von Assistenten erforderlich werden.

Basierend auf den Forschungen, Analysen, Konzepten und Untersuchungen zu dem bauteilbezogenen und planungsorientierten Vorgehen wurden Methoden und programmtechnische Tools geschaffen, welche zur Nachweisführung der Aussagen dienen.

8. Zusammenfassung und Ausblick

8.1. Eigenschaften des vorgestellten Systemkonzeptes

Zusammenfassend kann über das vorgestellte Systemkonzept im Vergleich mit den Anforderungen an ein computergestütztes Aufmaßsystem festgestellt werden: Das Systemkonzept unterstützt den Aufnehmenden über mehrere Stufen der Bauaufnahme. Es basiert auf dem in [Petzold01] vorgestellten Konzept eines Informationscontainers zur Abbildung formaler wie informaler Informationen mittels eines durch den Nutzer gestaltbaren Bauwerkmodells in Form von Objekten, Dokumenten, Relationen und Geometrieabbildungen. Dieses wurde um Konzepte zur schrittweisen Erfassung und Abbildung des geometrischen Abbildes eines Gebäudes erweitert. Ausgesuchte Problematiken wurden prototypisch implementiert. Die in der schrittweisen Annäherung an das Bauwerk erfolgende Informationsverdichtung wird durch verschiedene Ansätze unterstützt:

- für informale Daten:
 - Ablage von Dokumenten und deren Zuordnung zu durch die Dokumente beschriebenen Objekten des Bauwerksmodells
- für formale Daten:
 - Modellierung und Spezialisierung von Klassen des Bauwerksmodells zur strukturierten, formalisierten Abbildung von Informationen
 - Aufbau einer Raumstruktur
 - Einführung von Bauteilen durch Bauteilimport und -extraktion
 - Ableitung geometrischer Parameter
- für geometrische Abbildungen:
 - fortschreitende Erfassung, Abbildung und Auswertung von Meßwerten
 - abnehmende Abstraktion der erfaßten Geometrie
 - zunehmende Detaillierung der erfaßten Geometrie

Das System schreibt dem Nutzer keine feste Vorgehensweise in der Erfassung von Informationen vor und läßt einen weiten Rahmen zur Modellierung der Struktur zur Abbildung der Informationen zu.

Das Systemkonzept basiert auf der Unterstützung des Aufnehmenden bei der Erfassung und Abbildung von Meßwerten vor Ort durch Plausibilitätstests, Verifikationswerkzeuge sowie Werkzeuge zur Beurteilung der Zuverlässigkeit und Genauigkeit der erfaßten Geometrie, erlaubt aber auch eine Bearbeitung im Büro. Es wird keine feste Vorgehensweise zur Erfassung der Meßwerte verlangt. Aufmaßassistenten können den Aufnehmenden auf seinen Wunsch hin unterstützen. Unterschiedliche Aufmaßtechniken lassen sich beliebig kombinieren. Die erfaßten Meßwerte werden in möglichst unveränderter Weise gespeichert. Geometrische Abstraktionen können jederzeit eingeführt oder entfernt werden. Unterschiedliche Sichten erlauben unterschiedlich komplexe Betrachtungsweisen des internen

Abbildes des Gebäudes und ermöglichen die Arbeit von Nutzern mit unterschiedlichem Fachwissen auf einem identischen Datenbestand. Das Konzept des offenen Werkzeugkastens erlaubt die ständige Erweiterbarkeit des Systems um neue Werkzeuge und erlaubt auch für die Zukunft die Integration neuer Aufmaßtechniken und -methoden.

Durchgängige Unterstützung der Bauaufnahme von der Erstbegehung bis zur Datenübergabe

Das der vorliegenden Arbeit zugrundeliegende Konzept hat eine durchgängige Unterstützung der Bauaufnahme über alle Phasen zum Ziel. Die vorliegende Arbeit zeigt für den Bereich der Geometrie Lösungsansätze, die eine Generierung und anschließende maßliche Anpassung des geometrischen Abbildes eines Gebäudes unterstützen. Weiter bietet die Arbeit Vorschläge zur bauteilbezogenen Parametrisierung und Zerlegung des geometrischen Abbildes an. Diese Konzepte dienen der Unterstützung einer fortschreitenden Erfassung geometrischer Informationen von der Erstbegehung bis zur Datenaufbereitung. Fragen der Aufbereitung der erfaßten Informationen für die Fachplaner waren nicht Gegenstand der Arbeit.

Unterstützung der schrittweisen Annäherung an das Bauwerk

Die schrittweise Annäherung an das Bauwerk ist Ausgangspunkt der Systemkonzeption in Kapitel 5 gewesen. Das System unterstützt eine schrittweise Erfassung der Geometrie über die Stufen der Geometriegenerierung, ihrer fortschreitenden Annäherung an das Original in Maßlichkeit und Detailliertheit sowie die Interpretation des Aufbaus des Baukörpers aus einer globalen Sicht auf diesen.

Aufnahme, Verwaltung bzw. Strukturierung von formalen und informalen Daten

Für die vorliegende Arbeit wurden Rahmenkonzepte der Forschung im Teilthema D2 „Bestandsorientierte Unterstützung der Planung“ am SFB 524 zur Thematik eines dynamischen Bauwerksmodells genutzt. Sie ermöglichen die Aufnahme und Verwaltung von formalen und informalen Daten. Das Bauwerksmodell kann dabei durch den Nutzer zur Laufzeit an die jeweiligen Erfordernisse der Bauaufnahme angepaßt werden.

Nutzbarkeit vor Ort

Das vorgestellte System ist für den Einsatz vor Ort konzipiert und wurde im Rahmen von Prototypen auch in einem Testaufmaß vor Ort eingesetzt. Hierbei kam ein Tablet-PC zum Einsatz (siehe auch Abschnitt 4.1).

Möglichkeit der flexiblen Kombination verschiedener Aufmaßtechniken und Methoden

Die zugrundeliegende Ausgleichsrechnung ermöglicht die Zusammenführung unterschiedlichster Aufmaßtechniken. Die vorliegende Arbeit betrachtete das Handaufmaß, die Tachymetrie und die Photogrammetrie. Der Ansatz läßt sich jedoch beliebig erweitern.

Kein Zwang zu einer bestimmten Vorgehensweise

Das System erlaubt dem Aufnehmenden eine sehr direkte Nachmodellierung der eigentlichen Aufmaßsituation. Dem Nutzer wird dabei keine Vorgehensweise vorgeschrieben.

Unterstützung des Aufmaßes durch Assistenten, welche bestimmte Aufmaßstrategien unterstützen

Die Unterstützung des Aufmaßes durch Assistenten wurde in der vorliegenden Arbeit nicht detailliert ausgearbeitet, ist aber möglich.

Nutzung ohne Fachwissen möglich

Insbesondere die im Anhang A.2, A.4 und A.5 aufgeführten Prototypen können vermitteln, daß zumindest die Erzeugung und maßliche Anpassung des geometrischen Abbildes mit unterschiedlichen Aufmaßtechniken auch durch Nutzer ohne geodätisches Fachwissen möglich ist. Problematisch erscheint jedoch die noch fehlende Robustheit des Systems, welche für eine Nutzung ohne Fachwissen unabdingbar ist.

Kontrolle durch Nutzer mit Fachwissen möglich

Der Ansatz des offenen Werkzeugkastens ermöglicht es, jederzeit neue Werkzeuge in das System einzubringen, welche auf die gemeinsam gehaltenen Daten zugreifen können. Zu diesen Werkzeugen können auch Applikationen zählen, welche sich direkt an den Nutzerkreis, beispielsweise der Vermesser, richten. Die direkte Haltung der Meßwerte ermöglicht diesem Nutzerkreis den nur mit Fachwissen möglichen Einsatz geodätischer Techniken.

Einfachheit und Flexibilität

Das System erlaubt dem Aufnehmenden eine sehr direkte Nachmodellierung der eigentlichen Aufmaßsituation. Die zugrundeliegende Ausgleichsrechnung ermöglicht die Zusammenführung unterschiedlichster Meßwerte und eine sehr hohe Flexibilität in der Anwendung verschiedener Aufmaßtechniken sowie ihrer Kombination.

Echtzeit, Robustheit, Fehlertoleranz

Die nötige Rechenzeit zur Auflösung der im Rahmen der v2-Ausgleichung entstehenden Gleichungssysteme wächst mit der Größe des Geometriemodells überproportional. Es sind daher effektive Gleichungslöser und andere numerische Optimierungstechniken einzusetzen. Auch sind lokal begrenzte Ausgleichungen denkbar. Auf jeden Fall stellt die Forderung nach kurzen Reaktionszeiten des Systems bei der Verwendung des gezeigten Ansatzes ein zu berücksichtigendes Problem dar. Gleiches gilt für die geforderte Robustheit und Fehlertoleranz des Systems. Hier könnte die Verwendung einer v1-Ausgleichung weiter führen.

Unterstützung der parallelen Arbeit mehrerer Teams

Die vorliegende Arbeit betrachtete nicht eine mögliche Parallelisierung¹. In der Informatik finden entsprechende Techniken Anwendung, beispielsweise auf dem Sektor der Datenbanken, welche entsprechend übertragen werden müßten (siehe Abschnitt 8.3).

Bereitstellung von Verifikationstechniken

Durch die direkte Haltung der erfaßten Meßwerte und bewußte Überbestimmungen sind verschiedene Verifikationstechniken aus dem Bereich der Geodäsie einsetzbar (siehe auch Abschnitt 6.9.2). Weitere Möglichkeiten wurden in Abschnitt 7.6 erörtert.

Datenhaltung aller Meßwerte und Möglichkeit der nachträglichen Korrektur

Das System hält alle Meßwerte in möglichst direkter Form. Fehlmessungen können somit nach ihrer Aufdeckung entfernt oder korrigiert werden.

8.2. Nicht verifizierte Aussagen und offene Problemstellungen

In der vorliegenden Arbeit wurde ein hypothetisches computergestütztes System für die planungsrelevante Bauaufnahme vorgestellt. Es wurden verschiedene Lösungsansätze aufgezeigt und einzelne Aspekte prototypisch implementiert und erprobt. Für eine praxistaugliche Umsetzung des Gesamtsystems ist die Aufbereitung der gezeigten Lösungsansätze durch Fachkräfte der entsprechenden Fachdisziplinen erforderlich.

Als ein grundsätzliches Problem stellte sich die strenge Modellierung mit stark gewichteten Abstraktionen heraus. Auch mit einer sehr hohen Gewichtung konnten keine strengen Geometrien erzwungen werden. In diesen Fällen sollte eine Modellierung der Abstraktionen über andere Ansätze, wie über die zugrundeliegenden Datenstrukturen (siehe [Gielsdorf02]) erfolgen. Abstraktionen sollten nicht gegeneinander gewichtet werden, da diese Vorgehensweise zur „Verschmierung“ der Abstraktionen führt. Wünschenswert wäre eine diskrete Staffellung in Gruppen, wobei eine untergeordnete Gruppe eine übergeordnete nur als Nebenbedingung bei Unterbestimmungen ergänzt.

Eine strenge realitätsnahe Modellierung von Verbesserungsgleichungen konnte insbesondere bei Beobachtungen nicht vorgenommen werden, bei welchen das Optimum der Beobachtung mit einer Extremwertstelle zusammenfiel. Hier mußten Ersatzfunktionen eingeführt werden, welche zum Teil zu einem wesentlich besseren Konvergenzverhalten führten.

Die in Abschnitt 6.4.5 beschriebenen Blockkopien und Symmetrien konvergieren bei groben Näherungswerten und fehlenden ergänzenden Beobachtungen eventuell zu einem Punkt.

Der Ansatz der Bauteilextraktion ist bisher ausschließlich theoretisch erörtert worden. Eine prototypische Umsetzung steht noch aus. Weiter muß das Konzept für Öffnungen und Öffnungselemente erweitert werden, da bei diesen die Geometrie des Baukörpers mit der von Öffnungen verschnitten werden muß. Es sind Ansätze erforderlich, welche mittels vordefinierter Algorithmen das Einsetzen, Ändern und Löschen von nutzerdefinierten Öffnungen und Öffnungselementen, wie Türen und Fenster, in den Baukörper ermöglichen.

¹Die im Rahmen der vorliegenden Arbeit entstandene Experimentalplattform Freak 2001 erlaubt die Arbeit mehrerer Tools auf verschiedenen Rechnern mit einem gemeinsamen Datenbestand, jedoch kein gleichzeitiges Arbeiten. Die dazu genutzten Konzepte waren nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeit.

Die Problematik der Informationszuordnung im Falle von geometrischen Detaillierungen bedarf weiterer theoretischer Betrachtungen.

Für den vorgeschlagenen Ansatz der Gruppenbildung zur Unterstützung der Detaillierung muß ein Konzept ausgearbeitet werden, welches insbesondere den geschilderten Problemen redundanter Informationszuordnungen, möglichen Widersprüchen in den Informationen zwischen einzelnen Elementen und ihren Gruppen sowie im zeitlichen Ablauf entstehenden tiefen Bäumen entgegen wirkt. Auch müssen Fragen der Neuordnung von beispielsweise Beobachtungen ausgearbeitet werden.

8.3. Ausblick

Im Verlauf der Entstehung dieser Arbeit wurden unterschiedliche Ideen und Visionen aufgegriffen, welche das vorgestellte Konzept für den Nutzer markant bereichern würden. Eine nähere Betrachtung dieser Punkte würde den Rahmen der Arbeit sprengen und bedarf teilweise der Bearbeitung durch die jeweiligen Fachkräfte. Im Folgenden werden die verschiedenen Ansätze und Visionen stichpunktartig festgehalten. Sie sind als Anregung für eine praktische Umsetzung bzw. für weitere Forschungsarbeiten zu sehen.

Parallele Datenerfassung

Besonders die Phase der Aufnahme vor Ort² wird bei größeren Projekten in vielen Fällen von mehreren Teams parallel durchgeführt. An ein computergestütztes Aufmaßsystem für den Einsatz vor Ort steht daher die Forderung, parallele Arbeit zu unterstützen. Hardwareseitig ist dabei insbesondere die Entwicklung von Wireless LAN interessant. Es ermöglicht die drahtlose Kommunikation mehrerer Rechner. Aufbauend auf dieser Technik erscheint es hardwaremäßig eventuell möglich und bei der derzeitigen Marktsituation auch kostengünstig, mehrere Aufmaßteams mit WLAN-ausgestatteten Laptops parallel auf einer gemeinsamen Datenbasis arbeiten zu lassen. Die Reichweite von WLAN in Gebäuden variiert stark. Als grober Richtwert kann von 20 bis 50 Metern ausgegangen werden, unter ungünstigen Verhältnissen kann die Reichweite aber auch wesentlich kürzer ausfallen. Die softwareseitig entstehenden Problematiken des parallelen Datenzugriffs sind als Standardforderungen in der Datenbanktechnik bekannt.

Wenn eine parallele Arbeit auf einer gemeinsamen Datenbasis beispielsweise objektbedingt nicht möglich ist, sollten Synchronisationsmechanismen zur Zusammenführung unabhängig voneinander fortgeschriebener Datenbestände vorhanden sein.

Versionierung

Die aus dem Bereich der Datenbanken bekannten Techniken der Versionierung sollten für das vorgeschlagene System angewendet werden, um den Erfassungsprozeß im nachhinein nachvollziehbar zu gestalten.

Behandlung der zeitlich versetzten Wahrnehmung von Öffnungsseiten

Wie in Abschnitt 5.4 erläutert, werden bei einer schrittweisen Erfassung von Gebäuden von Raum zu Raum Öffnungen wie Türen, Fenster usw. zunächst nur von einer Seite wahrgenommen. Daher sind Mechanismen einzuführen, mit welchen der Nutzer in die Lage

²siehe Abschnitt 3.1

versetzt wird, auf einfache Art und Weise zunächst einzelne Öffnungsseiten anzulegen und aus diesen später die vollständigen Öffnungen zu rekonstruieren.

Eingabeformulare

Wie in Abschnitt 7.3.7 beschrieben, sollten durch administrative Nutzer Eingabeformulare erstellbar sein, welche die Datenerfassung vor Ort unterstützen und zu erfassende Parameter z.B. grafisch vermitteln. Systeme aus beispielsweise dem Bereich der Datenbanken und der Tabellenkalkulation können dabei als Vorbild dienen.

Genauigkeitskontrollen

Wie in Abschnitt 6.9.1 erläutert, sind Fehler- und Konfidenzellipsen besonders aufgrund ihrer visuellen Verständlichkeit ein sehr interessantes Mittel, dem Anwender einen Überblick über die Genauigkeiten im geometrischen Abbild zu vermitteln. Problematisch erweisen sich jedoch die Abhängigkeit der verwendeten Regularisierungsmethoden und die Gewichtung der Abstraktionen, beispielsweise der Ebene, auf die Fehler- und Konfidenzellipsen. Hier besteht die Notwendigkeit weitergehender Untersuchungen.

Einsatz einer v1-Ausgleichung

Für die Modellierung und Zusammenführung von Messungen und geometrischen Abstraktionen wurde die Ausgleichsrechnung in Form der vermittelnden Ausgleichung von unkorrelierten Meßwerten mittels eines v2-Ansatzes genutzt. Den positiven Eigenschaften der Erwartungstreue steht die Problematik der Verschmierungen und daraus resultierender Effekte beispielsweise auf die Robustheit des Ansatzes entgegen.

Wie in Abschnitt 4.4 erläutert, muß der Anwender das vorgestellte System vor Ort nutzen können. Außerdem muß das System beispielsweise auf die Einbringung neuer Meßwerte sofort reagieren können. Der Nutzer muß sehen können, wie das System auf die neuen Meßwerte reagiert, um z.B. Meßfehler so frühzeitig wie möglich aufdecken und korrigieren zu können.

Je größer ein Projekt ist und je mehr geometrische Elemente das geometrische Abbild formen, um so größer werden die aufzulösenden Gleichungen des Ausgleichungsmodells. Die benötigte Rechenzeit wächst stark überproportional. Ab gewissen Modellgrößen nimmt die Reaktionszeit des Systems dramatisch zu. Diese Effekte widersprechen einem Einsatz vor Ort. Es ist daher erforderlich, Ansätze wie die der robusten v1-Ausgleichung mit gleichzeitiger Reduzierung der Rechenzeiten oder robuste v2-Lösungen unter Einsatz spezieller numerischer Werkzeuge zur Reduktion der Berechnungszeiten der Gleichungssysteme sowie Netzzerlegungen mit lokal begrenzten Ausgleichungen einzusetzen.

Gruppenweises Ausgleichen

Wie beschrieben, muß der überproportional wachsenden Rechenzeit des Systems begegnet werden. Dies ist ein Grund für eine gruppenweise Ausgleichung. Der Nutzer kann selbst Gruppen definieren und diesen geometrische Elemente zuordnen. Mittels dieser Gruppierung kann er beispielsweise beim Aufmaß jeweils nur einen Raum, eine Raumgruppe, eine Etage usw. ausgleichen lassen. Somit besitzt das System beim Einsatz vor Ort kurze Reaktionszeiten. Später, beispielsweise im Büro, eventuell sogar unter Nutzung eines Clusters

aus mehreren Bürorechnern, kann „über Nacht“ das gesamte Projekt global berechnet werden.

Als ein anderes Beispiel sei eine Gruppe von Meßmarken genannt, welche nur markierte Marken enthält, deren Lage zueinander mittels tachymetrischer Messungen sehr genau ermittelt wurde und die als Referenz für weitere Messungen dient. Mit Hilfe der Gruppierung kann das Netz der Meßmarken untereinander ausgeglichen und anschließend eingefroren werden. Spannungen aufbauender Netze wirken sich nicht auf die Meßmarken aus.

Ortsgebundene ergänzende Informationen

Bereits während der Erstbegehung erkennt der Aufnehmende vielfache ortsgebundene Informationen, welche für die Fachplaner relevant sind, sich aber nicht in die Kategorie der Raum-, Bauteil- oder Flächenklassen einteilen lassen. Als Beispiel sei ein Putzschaden an einer Wandoberfläche genannt. Der Putzschaden betrifft einen bestimmten Bereich der Wandoberfläche. Dieser Bereich läßt sich bereits während der Erstbegehung skizzenhaft festhalten, ohne daß er eingemessen werden muß.

Während des Bauaufmaßes wird das geometrische Abbild der Realität angepaßt. Es wird dabei zunehmend detailliert und maßlich verändert. Um skizzenbasiert modellierte, ortsgebundene Informationen über die verschiedenen Phasen der Bauaufnahme zu erhalten, besteht ein Ansatz darin, ihre relative Lage im Geometriemodell bei dessen Änderungen zu erhalten. Insbesondere wäre eine solche Möglichkeit auch interessant, um beispielsweise auch abstrahierte Messungen, wie erfaßte Flächendistanzen, realitätsnaher und nachvollziehbarer visualisieren zu können.

Geometrische Verwandtschaften

Geometrische Verwandtschaften dienen der Unterstützung von Zuweisungen geometrischer Elemente. Ein entsprechendes Konzept wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht erstellt. Die nachstehenden Ausführungen sollen jedoch als Anregung dienen. Ein Anwendungsbeispiel für Geometrische Verwandtschaften stellt die geometrische Spezialisierung eines Fensters im Verlauf der Bauaufnahme dar. In einer anfänglichen gröberen Erfassung wurde das Fenster lediglich als quaderförmige Öffnung abstrahiert und einer Instanz einer sehr generalisierten Fensterklasse zugeordnet. Später wurde die Geometrie des Fensters detailliert und die bisherige Instanz der Fensterklasse gegen eine neue Instanz einer spezialisierteren Fensterklasse getauscht (siehe Abbildung 8.1).

Um den Tausch der Fenstergeometrien zu unterstützen, werden Identifizierer eingeführt, die es ermöglichen, geometrische Elemente unterschiedlicher Geometrien einander zuzuweisen. Im Fall der Fenster würden die gleichen Identifizierer für die Punkte P1 bis P4 und P9 bis P12 eingeführt. Nach dem gleichen Prinzip lassen sich die Flächen F1 und F2, wie auch die Loops L1, L2, L3 und L4 je gegenseitig zuordnen. Auf diese Weise können halbautomatische Algorithmen den Nutzer bei einem Wechsel der Geometrien unterstützen. Identifizierer können des weiteren eine wichtige Hilfe darstellen, um mehrere Geometrien mittels Blockkopien miteinander abzugleichen. Auch bei dieser Vorgehensweise ergibt sich bei der Erzeugung der Blockkopien das Problem der Bildung der jeweilig zusammengehörigen Punktpaare.

Bauteilextraktion und Gruppenbildung

Der Ansatz der Bauteilextraktion wurde, wie in Abschnitt 8.2 beschrieben, bisher ausschließlich theoretisch erörtert. Eine prototypische Verifizierung ist innerhalb der zweiten

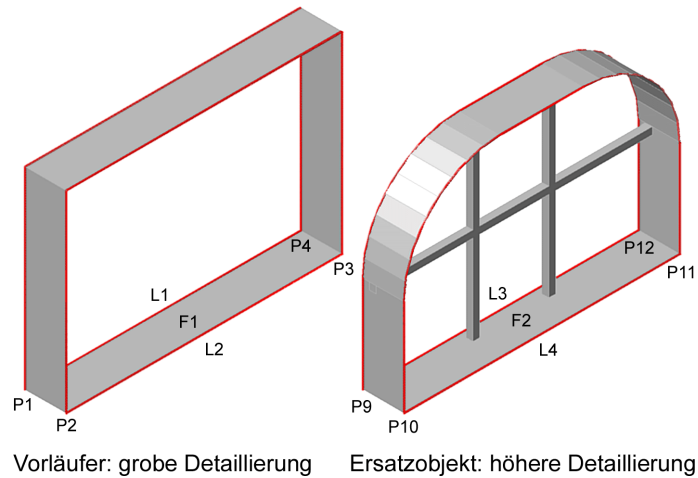


Abb. 8.1.: Geometriedetaillierung bei Bauteilabstraktionen

Förderperiode des Sonderforschungsbereiches 524 geplant. Gleiches gilt für die konzeptionelle Ausarbeitung des vorgeschlagenen Ansatzes zur Gruppenbildung im Falle von Detaillierungen. Auch muß der Ansatz der Bauteilextraktion für Öffnungen und Öffnungselemente, wie Türen und Fenster, so erweitert werden, daß es ermöglicht wird, mittels vordefinierter Algorithmen nutzerdefinierte Öffnungen und Öffnungselemente in den Baukörper einzusetzen, zu ändern, auszutauschen und zu löschen.

A. Prototypen

Im Folgenden wird eine Reihe von Prototypen aufgeführt, die im Rahmen der Forschung zu der vorliegenden Arbeit und der Arbeit des SFB 524 sowie zu vorangegangenen Forschungsaufgaben am Lehrstuhl „Informatik in der Architektur“ durch den Autor entstanden sind und bestimmte Aspekte des aufgezeigten Systems verdeutlichen oder vorgestellte Lösungsansätze verifizieren. Die Prototypen und einige zugehörige Testdateien befinden sich auf der beiliegenden CD.

A.1. Verschneidealgorithmus

Der Prototyp „Verschneidealgorithmus“ ([Thurow97]) illustriert die Möglichkeiten, Raumhüllen halbautomatisch aus tachymetrisch erfaßten Oberflächenpunkten zu rekonstruieren. Der Algorithmus setzt planare Oberflächen voraus. Zugrunde liegt ein Regelwerk, das hauptsächlich auf logischen Gesetzmäßigkeiten der Lage der jeweils sichtbaren Seite von Oberflächen zueinander basiert. Der Algorithmus baut auf der Basis dieses Regelwerkes Variantenbäume auf, in welche alle möglichen Raumhüllen einsortiert werden, welche aufgrund der verfügbaren tachymetrischen Messungen vorgelegen haben könnten. In der Regel liegt nur eine Variante vor, das heißt, der Algorithmus findet selbständig die der Realität entsprechende Raumhülle, oder es liegen sehr wenige Varianten vor. Im Dialog mit dem Nutzer wird im Falle mehrerer Varianten aus dem Variantenbaum die der Realität entsprechende Raumhülle gesucht.

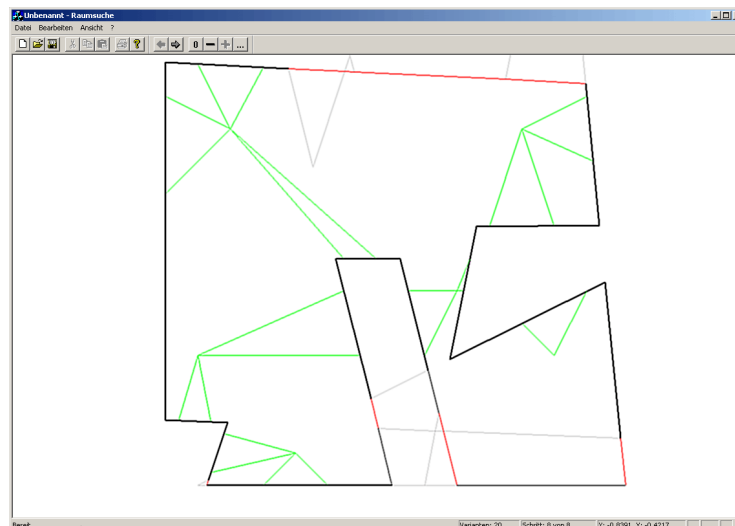


Abb. A.1.: Prototyp Verschneidealgorithmus

A.2. Handaufmaß98

Der Prototyp Handaufmaß illustriert die Umsetzung des Konzeptes „Von der Skizze zum Detail“ am Beispiel des Handaufmaßes. Grundansatz war die Nutzung der Ausgleichsrechnung nach v^2 -Norm. Der Prototyp arbeitet mittels verschiedener Beobachtungen, wie Längendistanzen, Winkelangaben oder Punktausrichtungen auf über Punktpaaren definierten Sehnen. Der zugrundeliegende Ausgleichskern arbeitet im 3D, der Prototyp selbst ist 2D-orientiert. Die Umsetzung der Ausgleichsrechnung ist sehr proprietär. Die numerische Umsetzung ohne FastSolver und Unterstützung dünn besetzter Matrizen führt bei relativ kleinen Netzen zu nichthinnehmbaren Rechenzeiten. Die Modellierung der Verbesserungsgleichungen sind nicht robust gestaltet und anfällig für Oszillationen. Sehr anschaulich dagegen wird die Möglichkeit der Qualitäts- bzw. Genauigkeitskontrolle für den Nutzer, sowie die Möglichkeit der Kombination unterschiedlicher Meßarten, auch mit den geometrischen Hilfskonstruktionen Sehne, Lot und rechter Winkel, dargestellt. Ebenfalls kann der Prototyp verschiedene Anregungen geben, wie eine Oberfläche gestaltet werden kann, um dem Nutzer eine Nachmodellierung der Aufmaßsituation zu ermöglichen. Die Kopplung zwischen Ausgleichskern und Geometrie geschieht über Punkte, deren Koordinaten im Ausgleichskern als Unbekannte behandelt werden.

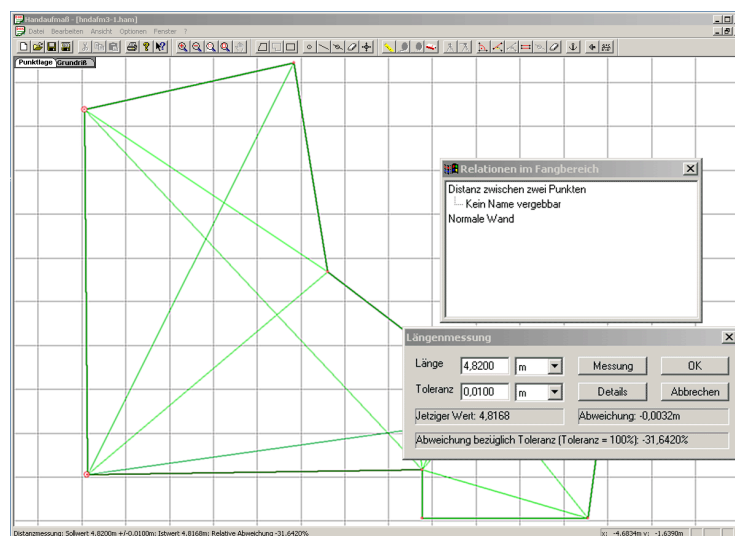


Abb. A.2.: Prototyp Handaufmaß98

A.3. Sketch And Measure

Sketch And Measure (SAM) ist ein Prototyp, welcher von Herrn Ronald Tscherepanow und dem Autor entwickelt wurde (siehe [Thurow99]). Er illustriert den Ansatz eines durch den Nutzer anpaßbaren Bauaufmaßsystems. Der Prototyp führt zwei Grundmodi ein: einen Konfigurations- und einen Aufmaßmodus, zwischen denen ständig gewechselt werden kann. Im Konfigurationsmodus kann der Nutzer Raum- und Bauteilklassen mit variablen Attributen generieren sowie modifizieren. Der Prototyp zeigt ebenfalls den Ansatz der Geometrie als Attribut, unterstützt jedoch keine Geometrieparametrisierung. Im Aufmaßmodus kann der Nutzer mittels der von ihm definierten bzw. modifizierten Raum- und Bauteilklassen ein Bauwerksmodell generieren und mit Attributen füllen. Der Wert des Prototyps liegt in der Illustration, wie ein zukünftiges computergestütztes Aufmaßsystem aus der Nutzer-

sicht konzipiert sein könnte. Die zugrundeliegenden Techniken der Geometriemodellierung und Ausgleichsrechnung hingegen sind für eine echte Anwendung völlig ungenügend.

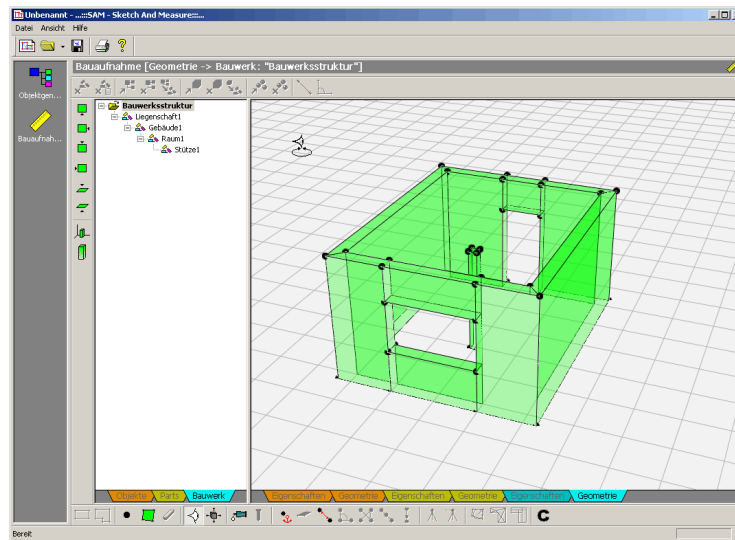


Abb. A.3.: Prototyp SAM

A.4. Freak 2000

Der im Rahmen des SFB 524 „Werkstoffe und Konstruktionen zur Revitalisierung von Bauwerken“ entstandene Prototyp arbeitet auf einem im Gegensatz zu „Sketch And Measure“ neu implementierten Ausgleichskern. Gleichungssysteme werden über einen FastSolver gelöst. Der Prototyp demonstriert die Zusammenführung von Handaufmaß, Tachymetrie und Photogrammetrie (siehe [Thurow01]). Die Ergebnisse belegen wegen Unzulänglichkeiten in der numerischen Umsetzung noch keine Praxistauglichkeit, demonstrieren aber bereits die prinzipielle Machbarkeit des Ansatzes.

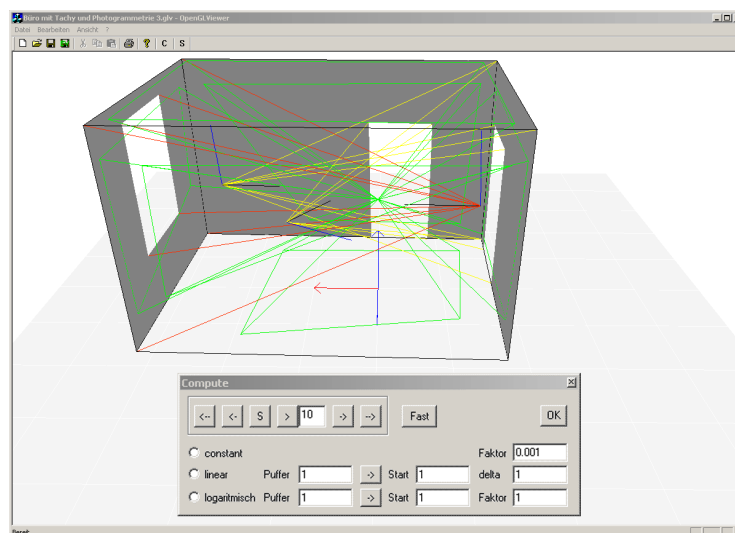


Abb. A.4.: Prototyp Freak 2000

A.5. Plattform Freak

Die Plattform Freak ist eine Experimentalplattform (siehe [Thurow03/1], [Thurow03/2]), in welcher verschiedene Aspekte der vorliegenden Arbeit prototypisch umgesetzt wurden. Zugrunde liegt dabei der Ansatz des erweiterbaren Werkzeugkastens, das bedeutet, mehrere Applikationen arbeiten als aus Nutzersicht spezifisch gesehene Werkzeuge auf einem gemeinsamen Datenmodell, welches von einem Server verwaltet wird. Obwohl die Zielstellung der Plattform vorrangig in der Bauaufnahme lag, entstanden mittlerweile die ersten zwei Planungstools, welche ebenfalls die Plattform Freak nutzen.

Nachfolgend wird der Aufbau der Plattform Freak und die auf ihr umgesetzten Konzepte erläutert. Im Anschluß werden ausgewählte Szenarien, welche auf der Plattform ausgeführt wurden, dargestellt.

A.5.1. Verteilte Objekte

Die Experimentalplattform nutzt einen Server-Client-Ansatz. Ein Server dient der Verwaltung und persistenten Speicherung der von Clients genutzten Daten. Die Kommunikation zwischen Server und Clients erfolgt mittels TCP/IP. Die Clients können auf verschiedenen Rechnern arbeiten. Die Clients nutzen als spezifische Tools gemeinsame Datenmodelle. Zur Realisierung von schnellen Geometrieoperationen, -visualisierungen usw. wurde bewußt auf den Standardeinsatz verteilter Objekte durch netzübertragene Methodenaufrufe verzichtet. Statt dessen nutzt die Plattform einen Ansatz, bei welchem alle Clients die Inhalte der von ihnen genutzten Objektinhalte lokal halten und nur bei Bedarf Änderungsnachrichten über veränderte Objektinhalte senden bzw. empfangen. Dieser Ansatz erscheint besonders geeignet, wenn die Clients sehr oft auf den Inhalt der verteilten Objekte zugreifen müssen und sich der Inhalt eines verteilten Objektes nur selten ändert. Genau diese Bedingungen liegen bei der Experimentalplattform vor. Ein Konfliktmanagement wurde bei der derzeitigen Implementation nicht realisiert. Applikationen, die gemeinsame Datenmodelle nutzen, sollten daher nicht parallel Veränderungen an den Modellen vornehmen.

Der für den Server- / Clientansatz zugrundeliegende Server, „Server 4“ genannt, generiert bei seinem Start einen global eindeutigen Identifizierer in Form eines 32-Bit Integers. In der aktuellen Implementation wird dabei lediglich auf die UNIX-Zeit zurückgegriffen, so daß sich zwei gleichzeitig gestartete Server nur unterscheiden lassen, wenn zwischen ihren Startzeiten nach der jeweiligen Systemuhr mehr als eine Sekunde Differenz liegt. Aufbauend auf diesem 32-Bit Identifizierer kann jeder Server global eindeutige 64-Bit Identifizierer vergeben. Verteilte Objekte werden mit Hilfe dieser Identifizierer rechnerübergreifend gekennzeichnet.

Der Server hält zwei Tabellen, eine Index- und eine Namenstabelle. Die Indextabelle weist einem Identifizierer, welcher den jeweiligen Schlüssel darstellt, einen beliebig langen Binarstring zu. In solchen Binarstrings wird unter anderem der Inhalt verteilter Objekte in gestreamter Form abgelegt. Die Namenstabelle nutzt Textstrings als Schlüssel und weist ihnen Identifizierer zu. Mit ihrer Hilfe werden beispielsweise die Identifizierer bestimmter Modelle über deren Modellnamen wiedergefunden.

Neben der Datenhaltung verteilter Objekte dient der Server auch zur Kommunikation zwischen den Clients. Nach einem einfachen Ansatz können Clients dazu Nachrichtentypen einrichten. Jeder Client kann eine Nachricht beliebigen Typs versenden, welche darauf vom Server an die übrigen Clients „reflektiert“ wird. Über solche Nachrichten werden unter anderem Änderungen an den Inhalten bestimmter verteilter Objekte übertragen.

Die derzeitige Implementation erfolgte mittels Microsoft Visual C++ 6.0 (SP5) unter Windows NT 4.0 bzw. Windows 2000 und greift hauptsächlich auf die STL zurück. Um einen Datenaustausch mittels STL-Containern auch über DLL-Grenzen zu ermöglichen, wurde die dazu ungeeignete Microsoft-Implementation(!) gegen STLport ausgetauscht.

A.5.2. Modelle

Aufbauend auf verteilten Objekten werden Modelle erstellt. Ein Modell besteht aus einem Modellverwaltungsobjekt und einer Menge von dem Modell zugerechneten Objekten unterschiedlicher Klassen. Als Beispiel sei ein Geometriemodell genannt. Es besteht aus Objekten, welche Punkte, Linien, Kanten, Polygone, Körper oder Mengen von Geometrie-elementen repräsentieren.

Die Architektur der Experimentalplattform ermöglicht es, mit neuen Clients auch neue Modelle einzubringen. Derzeit enthält die Experimentalplattform u.a. folgende Modelle:

- ein Ausgleichungsmodell nach dem Ansatz der vermittelnden Beobachtungen
- ein Geometriemodell in Form eines Flächenmodells, welches in seiner Datenstruktur an einen Facettenmodeller (BRep mit nur planaren Oberflächen) angelehnt ist
- ein Modellverwaltungssystem zur Generierung, Modifikation und Löschung nutzer-spezifischer Klassen und Objekte zur Laufzeit

Daneben enthält sie weitere Modelle für die Kommunikation via Chat und Skizzenboard, zwei spezielle Planungstools usw.

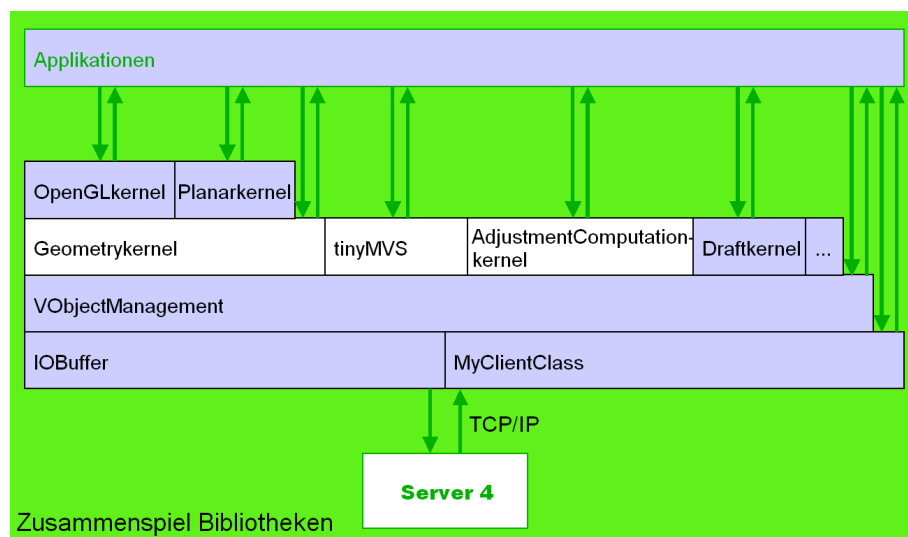


Abb. A.5.: Bibliotheken in Freak

A.5.3. Server 4

Wie im Abschnitt A.5.1 erläutert, dient der Server zur

- Generierung weltweit eindeutiger Identifizierer,

- persistenten Speicherung der Daten der Clients und
- Verteilung (Reflektion) clientspezifischer Nachrichten.

Die Kommunikation zwischen Clients und Server erfolgt über TCP/IP, der Server nutzt dabei zwei Ports für die Kommunikation mit den Clients. Der Port 4011 wird für den Zugriff der Clients auf die im Server gehaltenen Daten genutzt, während Port 4012 für den Nachrichtenverkehr zwischen den Clients dient.

Nach dem Start des Servers erscheint die GUI nach Abbildung A.6.

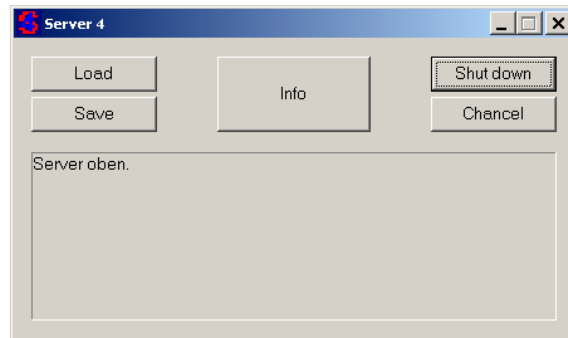


Abb. A.6.: GUI Server 4

Zu sehen sind unterschiedliche Buttons und ein Messagefenster. Im Folgenden werden die unterschiedlichen **mittels der GUI erreichbaren** Funktionen des Servers erläutert. Sollte jedoch auf der gleichen Maschine bereits ein Server laufen, so erscheint statt der GUI ein Messagefenster, nach dessen Bestätigung die zweite Instanz des Servers terminiert.

Load und Save

Load und Save dienen zum Laden und Speichern des gesamten (!) Dateninhaltes des Servers. Alle von verschiedenen Clients generierten Daten werden so in einer Datei abgelegt. Für den Datenaustausch muß lediglich diese eine Datei weitergegeben werden. Server 4 vergibt seinen Dateien standardmäßig die Dateiendung „dbk“. Eine Besonderheit ist bei dem Laden von Dateien zu beachten. Server 4 unterstützt das Laden mehrerer Dateien. Bei dem Ladevorgang wird der vorhandene Datenbestand um die in der Datei abgelegten Daten ergänzt. Bei Konflikten in der Index- oder Namenstabelle werden die vorhandenen Einträge mit den gerade geladenen überschrieben. Soll der gesamte Inhalt des Servers gelöscht werden, so ist derzeit ein Neustart des Servers notwendig.

Während des Lade- oder Speichervorgangs sind die Verbindungen zu den Clients blockiert, es treten somit keine Zugriffskonflikte auf.

Shut down und Cancel

Shut down und Cancel stellen zwei unterschiedliche Mechanismen zur Beendigung des Servers dar. Shut down arbeitet mit jedem verbundenen Client eine spezielle Abmeldeprozedur ab. Im Fehlerfall (Prototypen!) kann es dabei zur Blockierung des Servers kommen. In diesem Fall kann die GUI bereits geschlossen sein, während der Prozeß blockiert noch im Hintergrund liegt. Der Server muß dann mittels Taskmanager „gekillt“ werden. Cancel führt zu einer harten Beendigung des Servers. Es wird keine Abmeldeprozedur durchgeführt. Der Server terminiert „augenblicklich“.

A.5.4. Schnellstartleiste

Die Experimentalplattform besteht aus einer Menge einzelner Tools, welche als ausführbare Dateien in einem gemeinsamen Verzeichnis liegen. Um die Tools einfacher starten zu können, wurde ein spezielles Tool „Schnellstartleiste“ implementiert. Dieses Tool bleibt beständig im Vordergrund. Wird das Tool beendet, so speichert es seine aktuelle Bildschirmposition ab und nimmt diese bei einem neuen Start wieder ein.

Das Tool besitzt eine Reihe von Buttons, welche die auf ihnen jeweils benannten und häufig benötigten Tools starten. Der Button „Anderes Tool“ ermöglicht mittels eines Filedialogs aber auch die Auswahl von Tools, die keinem Button zugeordnet wurden.



Abb. A.7.: Schnellstartleiste

A.5.5. Planarviewer

Der Planarviewer ist ein Universaltool für die Bauaufnahme, welches mittels einer grundrißorientierten Sicht auf die Geometrie eines Bauwerkes arbeitet. Diese grundrißorientierte Sicht ermöglicht sehr einfache Interaktionen mit dem zugrundeliegenden 3D-Geometriemodell und hilft so bei der Beschleunigung von 2D-Aufmaßen. Für 3D-Aufmaße oder -modellierungen steht das nachfolgend beschriebene Tool OpenGLViewer zur Verfügung (siehe Abschnitt A.5.5). Planarviewer und OpenGLViewer illustrieren bei einer parallelen Nutzung den Vorteil der jeweiligen Werkzeugwahl bei dem Ansatz des erweiterbaren Werkzeugkastens.

Nach dem Start des Planarviewers erscheint die Oberfläche nach Abbildung A.8.

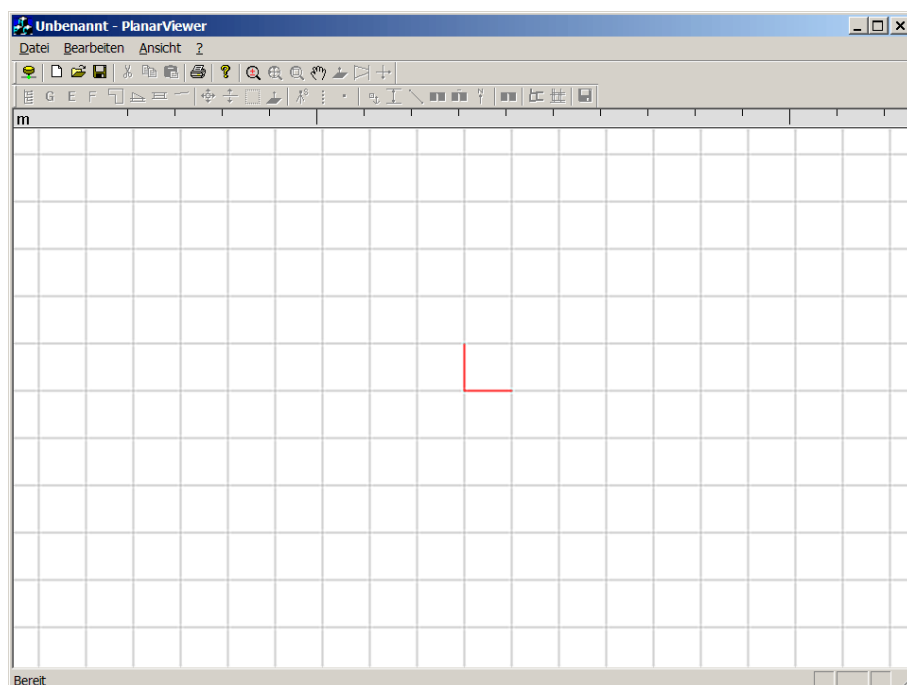


Abb. A.8.: GUI PlanarViewer nach dem Start

Die Oberfläche ist nach typischem Anwendungslayout in Hauptrahmen mit System- und Statusleiste, einer Toolbar und dem Hauptfenster untergliedert. Das Hauptfenster stellt ein Ein-Meter-Raster des Geometriemodells dar. Der Koordinatenursprung ist mit zwei roten Einmeterlinien gekennzeichnet. Ein Lineal dient zum Größenvergleich bei Darstellungen des Geometriemodells mit unterschiedlichen Maßstäben.



Mittels des Icons „Mit Server verbinden“ wird ein in allen Clients einheitlicher Verbindungsdialog aufgerufen (siehe Abbildung A.9).

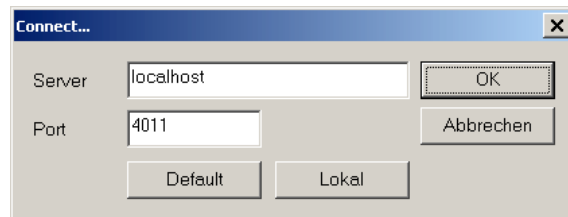


Abb. A.9.: Dialog zur Verbindung mit dem Server

Mittels des Dialoges können die Netzwerkadresse eines Rechners, auf dem ein Server 4 läuft, sowie die Ports des Servers angegeben werden. Die Angabe der Netzwerkadresse kann mittels IP-Nummer oder DNS-Namen erfolgen. Für die Ports wird nur der erste Port angegeben, es wird vorausgesetzt, daß der zweite Port dem ersten unmittelbar folgt. Standardmäßig startet der Dialog mit der Rechneradresse „localhost“, da angenommen wird, daß der Server auf dem gleichen Rechner läuft. Diesen Eintrag liefert auch der Button „Lokal“. Der Button „Default“ trägt als Netzwerkadresse einen Rechner der Professur „Informatik in der Architektur“ ein.

Nach dem Verbinden mit dem Server werden alle Icons für Bearbeitungsfunktionen eingeblendet (siehe Abbildung A.10).

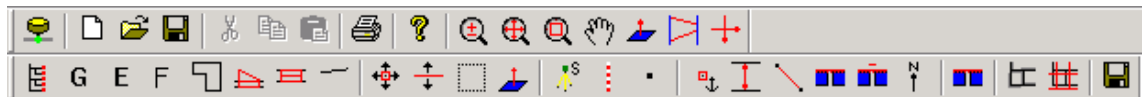


Abb. A.10.: Toolbar PlanarViewer

Über viele der Icons werden bestimmte Mausmodi erzeugt. Ein Mausmodus ist ein Objekt, welches Nutzerinteraktionen mittels der Maus auf eine bestimmte Weise interpretiert und dementsprechend die Applikation steuert. Zur Verwaltung der Mausmodi dient ein Stack. Jeweils der oberste Mausmodus des Stacks steuert die Applikation und gibt an, wie Mausinteraktionen zu interpretieren sind. Viele Icons generieren neue Mausmodi, die jeweils auf den Stack gelegt werden und die Steuerung der Applikation übernehmen, bis sie sich selbst terminieren, vom Stack genommen werden und somit die Steuerung an den nun obersten Mausmodus des Stacks übergeben. Die meisten Mausmodi wurden so implementiert, daß sie einen Klick der rechten Maustaste als Befehl zur Selbstterminierung interpretieren.



Das Icon „Zoom“ dient zur Änderung des Darstellungsmaßstabes. Durch dieses Icon wird ein entsprechender Mausmodus auf den Mausmodusstack gelegt. Bei gedrückter linker Maustaste wird der Zoomfaktor bei einer Mausbewegung nach oben vergrößert, bei einer Mausbewegung nach unten verkleinert. Das Lineal wechselt je nach Zoomfaktor seine Einheitendarstellung. Die links eingeblendete Einheit bezieht sich dabei auf den Abstand von zwei Teilstrichen. Die Teilstriche sind nach dem Koordinatenursprung ausgerichtet. Jeder zehnte Teilstrich ist verlängert dargestellt. Ein Drücken der rechten Maustaste führt zur Beendigung des Mausmodus.



Das Icon „Zoom Alles“ ändert den sichtbaren Modellausschnitt so, daß alle im Geometriemodell befindlichen Elemente im View sichtbar werden.



Das Icon „Zoom Fenster“ startet einen Mausmodus, mit welchem der darzustellende Geometriebereich durch das Aufziehen eines Rechtecks gewählt werden kann. Der Mausmodus wird mit der rechten Maustaste beendet.



Das Icon „Pan“ startet einen Mausmodus, mit dem der darzustellende Geometriebereich verschoben werden kann. Auch dieser Mausmodus wird mit der rechten Maustaste beendet.



Das Icon „Normalenvektor sichtbar / unsichtbar“ dient zum Ein- und Ausschalten einer Visualisierung aller Normalenvektoren der Polygone des Geometriemodells. Die Normalenvektoren sind normiert auf den Betrag 1 und haben ihren Ursprung im geometrischen Schwerpunkt der Polygone.



Das Icon „Distanzmessungen sichtbar / unsichtbar“ dient zum Ein- oder Ausschalten einer Visualisierung aller Distanzmessungen zwischen Kanten und Flächen. Die Messungen werden dabei als Linien dargestellt. Da die ursprünglichen Positionen, an denen die Werte erfaßt wurden, nicht gespeichert sind, verlaufen die Linien zwischen den Mittelpunkten der Kanten bzw. zwischen den geometrischen Schwerpunkten der Polygone. Die Farbe der Linien gibt Auskunft über die Differenz zwischen den erfaßten Meßwerten und den augenblicklichen Distanzen im Modell. Grüne Linien bedeuten eine im Rahmen der Meßtoleranz liegende Differenz zwischen Meßwert und Modell. Ist die Distanz im Modell wesentlich größer als der erfaßte Meßwert, so wird die Linie mit dem Maß der Differenz zunehmend roter. Ist sie wesentlich kleiner als der erfaßte Meßwert, so wird die Linie mit dem Maß der Differenz zunehmend blauer.



Das Icon „Normalen von Ebenengruppen sichtbar / unsichtbar“ dient zum Ein- oder Ausschalten einer Visualisierung der Normalenvektoren aller Ebenengruppen.



Das Icon „Bauwerksmodell“ setzt einen Dialog in den Vordergrund, welcher die Struktur des aktuellen Bauwerkmodells als Baum visualisiert, und aktualisiert den Inhalt der Ansicht. Über den Dialog können die verschiedenen Objekte der Gebäudestruktur angewählt, ihr Inhalt gelesen oder verändert werden. Da das Gebäudemodell nicht einem Baum, sondern einem Netzwerk entspricht, befinden sich Objekte mehrfach in der Baumdarstellung, an allen Stellen, an denen auf die Objekte referenziert wurde.



Die Icons „Gebäude“ und „Etagé“ dienen der Erzeugung von Raumobjekten der Raumklassen Gebäude und Etagé. In dem vorliegenden Prototyp wurde die Instanziierung zunächst fest an diese Raumklassen gebunden, in einer „realen“ Anwendung muß hier die Auswahl von abgeleiteten Klassen sowie die nutzerseitige Zuordnung von Icons zu Raumklassen ermöglicht werden.





Das Icon „Fassade“ erzeugt die äußere Fassade des Gebäudes. Es wird ein Flächenobjekt der Flächenklasse „Fassade“ erzeugt. Ein neu generierter Mausmodus ermöglicht dem Nutzer die skizzenhafte Nachbildung der Fassadengeometrie. Mittels linker Maustaste wird der Startpunkt der Fassade gesetzt. Dabei werden im Geometriemodell zwei Punkte auf den Höhen von -0,2 m und 3,2 m gesetzt und mit einer Linie verbunden. Bei jedem weiteren linken Mausklick wird eine weitere Linie erzeugt und aus dieser und der vorherigen ein rechteckiges Polygon gebildet. Mit der rechten Maustaste wird die Fassade geschlossen und der Mausmodus beendet.



Das Icon „Raum“ erzeugt analog der Vorgehensweise bei einer Fassadenerstellung einen Raum. Räume werden zunächst zwischen den Höhen 0 und 3 m erzeugt.



Das Icon „Tür“ dient der Generierung einer Türöffnung zwischen zwei quasi senkrechten Oberflächen. Die Öffnung hat dabei eine quaderförmige Geometrie. Mittels gehaltener linker Maustaste wird eine Linie über beide zu verbindende Oberflächen gezogen. Nach dem Absetzen der linken Maustaste wird nach gleicher Vorgehensweise eine zweite Linie über beide Oberflächen gezogen. Anschließend generiert die Applikation eine Öffnung, deren senkrechte Oberflächen im R^2 deckungsgleich mit den gezogenen Linien liegen. Alle Oberflächen der neuen Öffnung werden einem neuen Bauteilobjekt der Bauteilklasse „Tür“ zugeordnet. Das Bauteilobjekt wird den Raumobjekten zugeordnet, welche die durch die Öffnung verbundenen Oberflächen **direkt** besitzen.



Das Icon „Fenster“ verhält sich analog zu dem Icon „Tür“, legt aber als neues Bauteilobjekt ein Objekt der Bauteilklasse „Fenster“ an und vergibt andere Maße für den oberen und unteren Abschluß der Öffnung.



Das Icon „Bewege Punkt“ verschiebt alle im Fangbereich des Cursors liegenden Punkte in ihrer Horizontalen. Es eignet sich beispielsweise sehr gut, um die senkrechten Kanten von Raumecken zu verschieben.



Das Icon „Bewege Linie“ verhält sich analog zu dem Icon „Bewege Punkt“, fängt und verschiebt jedoch Linien. Es eignet sich beispielsweise sehr gut zur Verschiebung senkrechter Oberflächen.



Das Icon „Bewege Bereich“ verschiebt aller Punkte, welche sich in einem durch den Nutzer angegebenen rechteckigen Bereich befinden. Zur Selektion der Punkte klickt der Nutzer an einem Eckpunkt des von ihm bestimmten rechteckigen Bereiches die linke Maustaste und läßt diese an dem diagonal gelegenen Eckpunkt des Rechtecks wieder los. Bei nochmaligem Klicken der linken Maustaste werden alle selektierten Punkte mit der Mausbewegung verschoben, solange die linke Maustaste gehalten wird.



Das Icon „Schwerpunktkorrektur“ berechnet die Schwerpunkte und Normalenvektoren aller Polygone neu. Diese Funktion wurde eingeführt, da in der gegenwärtigen prototypischen Umsetzung nach einer Verschiebung von Punkten, Kanten oder Polygonen durch den Nutzer keine automatische Neuberechnung der Schwerpunkte und Normalenvektoren erfolgt. Sie sollte vor allem nach Nutzermanipulationen des Geometriemodells vor dem Aufruf der geometrischen Filter genutzt werden, da sich diese an den Schwerpunkten und Normalenvektoren orientieren.



Das Icon „Tachymeterstandort“ dient der Generierung eines neuen Standortes für Tachymeter, welche beispielsweise mit dem Tool „Tachymeterassistent“ genutzt werden können. Durch Klicken der linken Maustaste wird an der Cursorposition ein Tachymeterstandort eingefügt.



Das Icon „Oberflächendistanz“ wird zum Einfügen einer Oberflächendistanzmessung in das Ausgleichungsmodell verwendet. Der Nutzer selektiert mittels der rechten Maustaste zwei Oberflächen. Anschließend erscheint ein Abfragedialog über die gemessene Entfernung zwischen den beiden Oberflächen, welche in amerikanischer Notation (Punkt statt Komma) in der Einheit Meter anzugeben ist.



Das Icon „Kantendistanz“ verhält sich analog zu dem Icon „Oberflächendistanz“, fügt aber eine Distanzmessung zwischen zwei Linien ein.



Das Icon „Ebene einfügen“ dient dazu, eine Pseudobeobachtung einzuführen, welche mehrere Polygone als in einer Ebene liegend beschreibt. Mittels der linken Maustaste sind alle zu einer Ebene zu gruppierenden Oberflächen nacheinander durch kurzes Anklicken zu selektieren. Anschließend wird mittels der rechten Maustaste die Gruppe abgeschlossen und der Mausmodus verlassen.



Das Icon „Norden“ dient der Ausrichtung eines Gebäudes. Mittels eines Klicks mit der linken Maustaste wird eine Oberfläche selektiert, welche nach der Nord-Süd-Achse ausgerichtet werden soll.



Das Icon „Ausgleichung“ startet einen Dialog zur Durchführung eines Ausgleichungsvorgangs (siehe Abbildung A.11).

Berechnungen

1.

2. constant Faktor
 linear Puffer Start delta
 logarithmisch Puffer Start Faktor

3. **Modellstatistik**
Anzahl der Unbekannten: Zeit für letzte Berechnung:
Anzahl der Beobachtungen: Zeit für Beobachtungen:
sigma (post) Zeit für Matrix und Vektoren:
Zeit für FastSolver:

4. **Löser für Gleichungssystem**
 LDLT GMRES GCR Maximale Iterationszahl
 CG BICGSTAE Richardson Epsilon
 CGS QMR Residuum
 BICG TFQMR Preconditioner

5. **Modellparameter für Ausgleichungsmodell und Regularisierung**
Epsilon Regewichtung Winkelfunktionen nutzen
Alpha Invertierung MaxDelta

6. **Oszillationen der Punktkoordinaten**
x y z
mx my mz
xm ym zm

7. Berechnungen in Datei ausgeben Erweiterte Ausgabe mit Vektoren und Matrizen

Abb. A.11.: Dialog für Ausgleichungsrechnung (plattformübergreifender Dialog)

Der Dialog ermöglicht Ausgleichungen als einzelne Schritte wie auch als Serien mit veränderlichen Parametern. Der Dialog enthält sieben in der Grafik rot umrandete und nummerierte Bereiche. Bereich 1 steuert eine Sequenz, deren Parameterverlauf in Bereich 2 festgelegt

wird. Bereich 3 gibt Auskunft über die Größe des zu berechnenden Ausgleichsmodells und die dafür benötigten Zeiten der einzelnen mathematischen Schritte. Bereich 4 dient der Auswahl von unterschiedlichen Lösern und ihrer Parameter zur Auflösung des bei einer Ausgleichung entstehenden Gleichungssystems. Bereich 5 enthält Parameter, welche unabhängig von Sequenzen gesetzt werden. Bereich 6 informiert über die Veränderungen der Punktpositionen im Ausgleichsmodell und hilft, das Ende einer Ausgleichungsserie zu wählen und Oszillationen beurteilen zu können. Bereich 7 ermöglicht die Protokollierung aller numerischen Operationen der Ausgleichung in Protokolldateien.

Wesentlichster Parameter für eine Sequenz ist die „Temperatur“. Damit ist ein Faktor gemeint, welcher zwischen 0 und 1 liegt und mit welchem der Verbesserungsvektor skaliert wird. Besonders zu Beginn und Ende einer Sequenz empfiehlt sich ein kleiner Faktor. Zu Beginn beugt dieser einem Überspringen des Systems aufgrund der schlechten Näherungswerte vor, zum Ende läßt sich der Einfluß von Oszillationseffekten auf das Endergebnis reduzieren.

Der Bereich 2 gibt die Veränderung der Temperatur während einer Sequenz an. Hier bestehen die drei Wahlmöglichkeiten, eine Temperatur für eine Sequenz konstant zu halten, linear oder exponentiell / logarithmisch zu verändern. Soll die Temperatur für eine Sequenz konstant gehalten werden, so kann dazu der Radiobutton „constant“ gewählt und die Temperatur im Eingabefeld „Faktor“ angegeben werden. In den anderen Fällen wird eine Starttemperatur im Eingabefeld „Start“ angegeben und die gewünschte Änderung dieser Temperatur als „delta“ für eine linear veränderliche Temperatur bzw. als „Faktor“ für eine exponentielle / logarithmische Veränderung. Die Felder „Puffer“ können genutzt werden, um bei mehreren Sequenzen identische Starttemperaturen zu verwenden. Ein Klick auf die rechts neben diesen Feldern befindlichen Buttons kopiert den Inhalt der Felder in die jeweiligen Eingabefelder für „Start“.

Eine Sequenz kann manuell schrittweise oder automatisch abgearbeitet werden. Dieser Steuerung dient Bereich 1. Die Buttons dieses Bereiches haben folgende Funktionen (von links nach rechts):

1. gesamte Sequenz rückgängig machen
2. letzten Schritt der Sequenz rückgängig machen
3. automatischen Ablauf der Sequenz nach Fertigstellung des aktuellen Schrittes abbrechen (Stop)
4. Sequenz mit den im rechten Eingabefeld angegebenen Schritten automatisch abarbeiten und nach jedem Schritt die Änderungen des Geometrie kerns visualisieren und an andere Clients übertragen
5. den nächsten Schritt abarbeiten
6. die gesamte Sequenz automatisch abarbeiten und erst nach Ende der Sequenz die Änderungen des Geometrie kerns visualisieren und an andere Clients übertragen
7. den nächsten Schritt wiederherstellen (nur aktiv, wenn zuvor mindestens ein Schritt rückgängig gemacht wurde)
8. die gesamte Sequenz wiederherstellen (nur aktiv, wenn zuvor mindestens ein Schritt rückgängig gemacht wurde)

Eine besondere Bedeutung hat der Button „Fast“. Mittels dieses Buttons wird eine fest definierte Sequenz gestartet, bei welcher die Temperatur zunächst linear bis auf den Faktor 1 erhöht, dann für mehrere Schritte auf 1 belassen und anschließend wieder linear

reduziert wird. In den meisten Fällen erbringt diese Sequenz gute Ergebnisse. Sollte eine Ausgleichung offensichtlich nicht abgeschlossen sein, so kann der Vorgang beliebig wiederholt werden.

Über den Bereich 5 kann sowohl die Regewichtung der Gewichte aller Beobachtungen eingeschaltet als auch ein Epsilon der numerischen Differentiation verändert werden. Zu letzterem Parameter sind einige Erläuterungen nötig. Die Bestimmung der Gradienten der Beobachtungen erfolgt numerisch. Von jeder Beobachtung wird eine Menge der von dieser genutzten Unbekannten erstellt. Jede Unbekannte wird daraufhin um Epsilon erhöht und erniedrigt. Aus der Differenz der resultierenden Funktionswerte der Beobachtung wird der jeweilige Anstieg der Unbekannten bestimmt. Das Verfahren wird dabei von zwei Fehlerarten beeinflusst, dem Rundungsfehler und dem Verfahrensfehler. Während der Verfahrensfehler bei kleiner werdendem Epsilon immer geringer ausfällt, gewinnt der Rundungsfehler immer mehr an Gewicht. Dementsprechend ist Epsilon mit der günstigsten Konstellation zwischen Rundungs- und Verfahrensfehler zu setzen. Der eingetragene Defaultwert richtet sich dabei auch nach der computerinternen Darstellung von Fließkommazahlen und erscheint daher dezimal sehr kompliziert.

Bereich 6 ermöglicht die Kontrolle der Veränderung von Punktpositionen während einer Ausgleichungsreihe. Die Felder x, y und z informieren über die durchschnittliche Koordinatenänderung der Punkte während der letzten Ausgleichung, die Felder mx, my und mz enthalten dabei den Durchschnitt der größten Koordinatenänderung jedes Punktes während der gesamten Serie. Die Felder xm, ym und zm geben die jeweils größte Koordinatenänderung aller Punkte im Ausgleichungsmodell während der gesamten Serie an. Mittels des Buttons „Reset für Oszillationen“ im Bereich 7 werden alle Felder des Bereiches 6 wieder zurückgestellt.



Das Icon „Filter setzen“ ruft einen gleichnamigen Dialog auf, mit welchem im Geometriemodell bestimmte geometrische Abhängigkeiten gesucht und als Pseudobeobachtungen modelliert bzw. gelöscht werden (siehe Abbildung A.12). Diese Pseudobeobachtungen wurden in den Abschnitten 6.3 und 6.4 näher erläutert, ihre Wirkung wird als geometrische Filter verstanden.

Filter setzen		Filter löschen	
<input checked="" type="checkbox"/> Parallelität erkennen	20	<input checked="" type="checkbox"/> Parallelität löschen	5
<input checked="" type="checkbox"/> Rechtwinkligkeit erkennen	20	<input checked="" type="checkbox"/> Rechtwinkligkeit löschen	6
<input checked="" type="checkbox"/> Horizontale erkennen	20	<input checked="" type="checkbox"/> Horizontale löschen	6
<input checked="" type="checkbox"/> Vertikale erkennen	20	<input checked="" type="checkbox"/> Vertikale löschen	6
<input type="checkbox"/> Ebene erkennen	0.3 m	<input checked="" type="checkbox"/> Ebene löschen	0.05 m

Toleranzen		Gefundene Gruppen	
Parallelität	1000	Gefundene Gruppen	3
Rechtwinkligkeit	1000	<input type="checkbox"/> Gesamtspur - Minimierung	
Horizontale	1000	<input checked="" type="checkbox"/> Im Raster x,y,z orientieren	10
Vertikale	1000		
Ebene	0.05 m		

Abb. A.12.: Dialog für geometrische Filter (plattformübergreifender Dialog)

Der Dialog besitzt drei Hauptgruppen, über welche für jeden Filter Parameter zu setzen sind. Diese Parameter bestimmen, wann eine Pseudobeobachtung gesetzt wird, welche Toleranz sie besitzen soll und wann sie wieder gelöscht wird. In der derzeitigen Imple-

mentation werden alle Pseudobeobachtungen zu Beginn einer Neuberechnung der Filter gelöscht und anschließend nach den Parametern neu gesetzt. Daher ist das Feld „Filter löschen“ noch wirkungslos.

Die Filter sind gruppiert nach:

- Parallelität
- Rechtwinkligkeit
- Horizontale
- Vertikale
- Ebene

Der Filter Parallelität sucht zwischen Oberflächen, also Polygonen, nach Parallelitäten. Eine Parallelität zwischen zwei Polygonen wird vermutet, wenn der Winkel zwischen ihren Normalenvektoren kleiner ausfällt als im Feld „Parallelität erkennen“ in Altgrad angegeben wird. Nach diesem Ansatz werden Gruppen von Polygonen gebildet, welche mittels Pseudobeobachtungen zu einer Ebenengruppe (siehe Abschnitte 6.3 und 6.4.3) verbunden werden. Die Toleranz wird aus dem Feld „Toleranzen: Parallelität“ übernommen, auch hier ist die Einheit Altgrad. Die angegebene Toleranz wird als Gewichtung genutzt und kann daher auch größer als 360° gesetzt werden. Gleiches gilt auch für alle anderen Toleranzangaben von Winkelwerten in diesem Dialog. Die Anzahl der gefundenen Ebenengruppen wird im Feld „Gefundene Gruppen“ angezeigt.

Nach der Bildung von Ebenengruppen wird zwischen diesen nach Rechtwinkligkeiten gesucht. Die Vorgehensweise geschieht analog der Bildung von Ebenengruppen, es werden Pseudobeobachtungen zwischen den Normalenvektoren der Ebenengruppen nach Abschnitt 6.3 bzw. Abschnitt 6.4.3 gesetzt.

Im nächsten Schritt wird nach horizontal und vertikal verlaufenden Polygonen gesucht. Basis für die Suche sind wieder die Normalenvektoren, Kriterium der Erkennung ist der Winkel zwischen Normalenvektor und senkrechter Achse. Als Pseudobeobachtungen werden die Beobachtungen nach Abschnitt 6.4.4 genutzt.

Anschließend werden alle Ebenengruppen nach Polygonen durchsucht, welche in einer Ebene liegen. In diesem Fall dient als Kriterium der Abstand der geometrischen Schwerpunkte der Polygone, projiziert auf den Normalenvektor der Ebenengruppe. Der Abstand muß geringer ausfallen, als im Feld „Ebene erkennen“ in Meter angegeben wurde.

Wenn die Option „Im Raster x,y,z orientieren“ nicht deaktiviert wurde, werden im letzten Schritt die Ebenengruppen gesucht, deren Normalenvektoren möglichst parallel zu den Achsen des Koordinatensystems verlaufen. Die Abweichung eines Normalenvektors vom Raster darf dabei nicht größer sein als die angegebene Gradzahl. Die Werte der Normalenvektoren der gefundenen Ebenengruppen werden exakt nach dem Raster ausgerichtet und fixiert. Auf diese Weise erfolgt die Orientierung des gesamten Modells.

A.5.6. OpenGLViewer

OpenGLViewer ist eine Applikation zur dreidimensionalen Visualisierung, Manipulation und Auswahl des geometrischen Abbildes eines Gebäudes. Planarviewer für OpenGLViewer werden dabei eng verzahnt miteinander eingesetzt. Die Visualisierung und Interaktion mit dem internen Geometriemodell wurde mittels OpenGL realisiert.

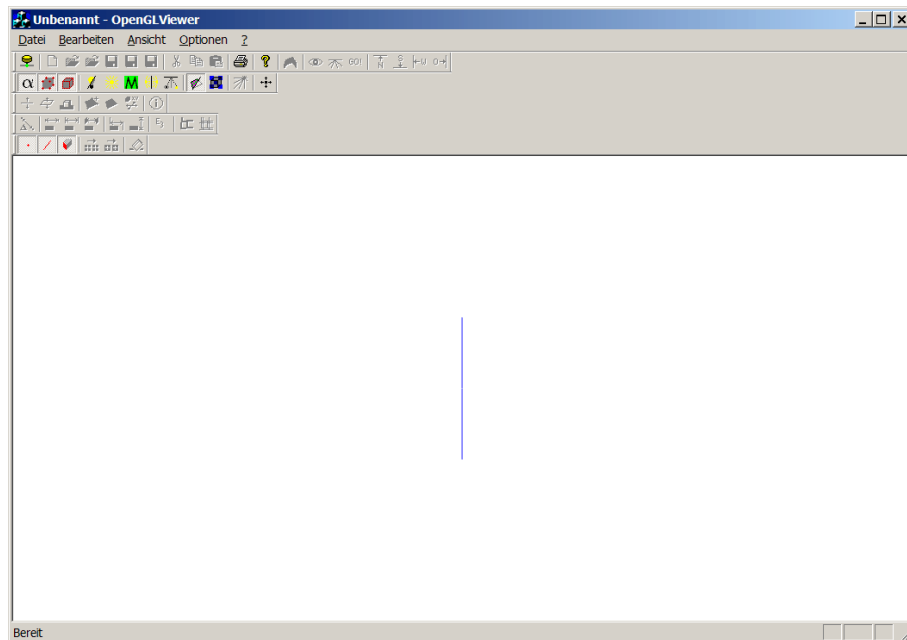


Abb. A.13.: GUI OpenGLViewer nach dem Start

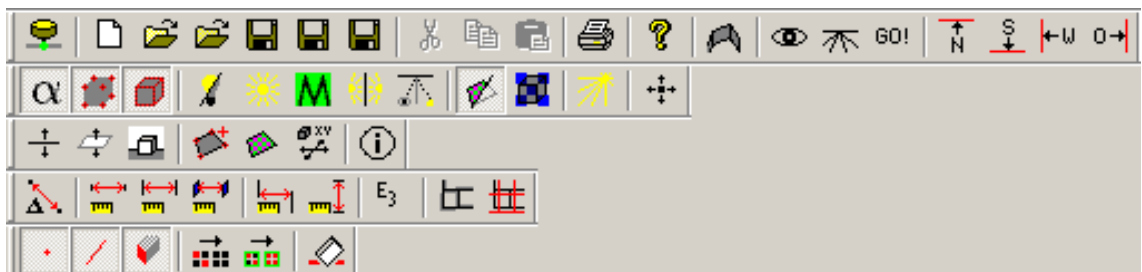


Abb. A.14.: Toolbars des OpenGLViewers

Nach dem Start der Applikation und der Verbindung mit dem Server ist die Oberfläche nach Abbildung A.13 zu sehen:

Zu erkennen sind fünf Toolbars (siehe auch Abbildung A.14), die Icons unterschiedlicher Funktionsgruppen bereitstellen. Toolbar 1 enthält Icons für Funktionsaufrufe zur Verbindung mit dem Server, für den Export des Geometriemodells, für die Generierung einer Testszene und für verschiedene Sichtensteuerungen. Mittels Toolbar 2 lassen sich verschiedene Eigenschaften der OpenGL-Grafikpipeline verändern. Toolbar 3 enthält derzeit nur zwei Funktionen, den Abgriff von Entfernungen zwischen Punkten und den Start von Ausgleichsequenzen. Toolbar 4 dient der Steuerung der Selektionsmechanismen.

Im Folgenden werden die einzelnen Funktionen der Toolbars einzeln erläutert.



Die Funktion des Icons „Mit Server verbinden“ entspricht der gleichnamigen Funktion des PlanarViewers.



Das Icon „VRML-Export“ ermöglicht den Export des Geometriemodells als Kantenmodell in eine VRML-Datei. Flächen werden bei der derzeitigen Implementation noch nicht unterstützt.



Das Icon „DXF-Export“ ermöglicht den Export des Geometriemodells als Kantenmodell in eine DXF-Datei. Linien werden dabei in vielen Fällen mehrfach exportiert.



Das Icon „Testszene“ erstellt ein sehr einfach gehaltenes Geometriemodell in Anlehnung an das Verifikationsobjekt „Kühlhaus Gera“ des SFB 524. Bitte beachten: Für die korrekte Funktion dieser Methode muß sich im Verzeichnis des Tools „OpenGL-Viewer“ auch das File „Mauerwerk.bmp“ befinden.



Das Icon „Kamera“ generiert einen neuen Mausmodus zur Steuerung des Kamerastandortes und der Blickrichtung von dort aus. Im Grunde genommen handelt es sich bei dem Mausmodus „Kamera“ um mehrere Mausmodi, zwischen denen mittels der rechten Maustaste „im Kreis“ gewechselt wird.



Mit Hilfe des Icons „Horizont“ wird die Blickrichtung der Kamera so geändert, daß ihre optische Achse parallel zur Grundfläche des Arbeitsbereiches liegt, also parallel verläuft. Die Änderung der Blickrichtung erfolgt in einer kurzen Sequenz, um die Änderung des Blickfeldes dem Nutzer nachvollziehbar zu gestalten.



Das Icon „Go!“ schaltet in einen Modus, in dem die Kamera in ihrer Position und in ihrem Blickwinkel nach einem Ansatz verändert wird, der dem eines fahrenden Autos entspricht. Die Maus wird in diesem Modus quasi wie ein Joystick ausgewertet. Bei gehaltener linker Maustaste werden Mauspositionen nach links, rechts, oben und unten als Bewegungen nach links, rechts, vorn und hinten interpretiert, wobei die Entfernung der jeweils aktuellen Mausposition von dem Punkt, an dem die linke Maustaste niedergedrückt wurde, als Geschwindigkeitsangabe dient.



Mittels der Icons „Norden“, „Süden“, „Westen“ und „Osten“ wird die Blickrichtung der Kamera so geändert, daß ihre optische Achse in die genannten Himmelsrichtungen zeigt. Die Änderung der Blickrichtung erfolgt in einer kurzen Sequenz, um die Änderung des Blickfeldes dem Nutzer nachvollziehbar zu gestalten.



Mittels des Icons „Alphapuffer“ wird der AlphaPuffer ein- und ausgeschaltet. Der AlphaPuffer verbessert, wenn hardwaretechnisch vorhanden, die Darstellung durchsichtiger Oberflächen.



Mittels der Icons „Pointsmooth“ und „Linesmooth“ wird die Darstellung von Punkten bzw. Linien geändert. Im eingeschalteten Zustand werden Punkte bzw. Linien weicher dargestellt.



Mittels des Icons „Lichtmodus“ wird der Lichtmodus ein- und ausgeschaltet. Im Lichtmodus werden verschiedene optische Parameter von Oberflächen sowie verschiedene Lichtquellen für die Darstellung der Geometrie berücksichtigt. Ohne Hardwarebeschleunigung wird das System aufgrund der massiven CPU-Auslastung jedoch sehr träge.



Mittels des Icons „Ambientlicht“ wird im Lichtmodus Ambientlicht gesetzt.



Mittels des Icons „Materialeigenschaften“ wird bestimmt, ob im Lichtmodus zusätzliche optische Eigenschaften der Oberflächen für die Visualisierung hinzugezogen werden.



Mittels des Icons „Beide Seiten“ wird bestimmt, ob eine Visualisierung der vorderen und hinteren Seite von Oberflächen erfolgen soll. Da in der vorliegenden Implementation die Normalenvektoren von Oberflächen nicht automatisch „nach außen“ zeigen, sollte diese Option immer gewählt werden.



Mittels des Icons „Lokales Lichtmodell“ kann bei der Anzeige auf das „Lokale Beleuchtungsmodell“ von OpenGL gewechselt werden.



Mittels des Icons „Textur“ kann die Darstellung von Texturen ein- und ausgeschaltet werden.



Mittels des Icons „Transparenz“ lassen sich sämtliche Oberflächen transparent darstellen. Die Darstellung der Transparenz unterliegt dabei den direkten Möglichkeiten unter OpenGL. Die Darstellung der Helligkeiten von Farben kann daher fehlerhaft erfolgen. Die transparente Darstellung empfiehlt sich besonders bei der Manipulation von Geometrieelementen im Inneren des Bauwerkmodells.



Mittels des Icons „Punktlichtquelle“ kann ein Punktlicht an der Position $(0; 0; 5)^T$ ein- und ausgeschaltet werden. Diese Punktlichtquelle empfiehlt sich sehr zur Darstellung nichttransparenter Oberflächen, da ohne sie die Übergänge zwischen den Oberflächen nur sehr schwer wahrnehmbar sind.



Das Icon „Linie bewegen“ startet einen Mausmodus, mit welchem Linien in ihrer Höhe bewegt werden können.



Das Icon „Flächen bewegen“ startet einen Mausmodus, mit welchem Flächen in ihrer Höhe bewegt werden können.



Das Icon „Polygon über Punkte“ startet einen Mausmodus, mit welchem mehrere Punkte zu einem Polygon verbunden werden können. **Achtung!** Zum Zeitpunkt der Niederschrift dieser Beschreibung war die Funktion noch fehlerbehaftet.



Das Icon „Textur einfügen“ startet einen Mausmodus, mit welchem Polygone mit Texturen versehen werden können. Durch den ersten Mausklick mit der linken Maustaste wird ein Polygon selektiert. Mittels eines zweiten Mausklicks wird ein Punkt im Geometriemodell bestimmt, auf welchen die linke untere Ecke der Textur fixiert wird. Durch den dritten und vierten Mausklick werden nach gleichem Prinzip die Punkte der Geometrie für die rechte untere und linke obere Ecke der Textur vorgegeben. Nach der Selektion des dritten Bezugspunktes öffnet sich ein Dialog, mit welchem eine Bitmap-Datei als Textur gewählt werden kann.



Das Icon „Modell verschieben“ startet einen Mausmodus, mit welchem alle aktuell selektierten Objekte bei gehaltener linker Maustaste in der x-y-Ebene verschoben werden.



Das Icon „Distanz im Modell“ startet einen Mausmodus, mit welchem aus dem Geometriemodell Punktdistanzen abgegriffen werden können. Mittels Mausklicks der linken Maustaste werden zwei Punkte des Geometriemodells selektiert. Ein Dialog öffnet sich, welcher die Distanz zwischen den beiden Punkten angibt.



Das Icon „Distanz zwischen Punkten“ startet einen Mausmodus, mit welchem Entfernungen zwischen Punkten als Meßwert eingegeben werden können. Mittels Mausklicks der linken Maustaste werden zwei Punkte des Geometriemodells selektiert. Ein Dialog öffnet sich, über welchen die Distanz zwischen den beiden selektierten Punkten angegeben werden kann.

-  Das Icon „Distanz zwischen Kanten“ arbeitet analog der Funktion „Distanz zwischen Punkten“. Mit dieser Funktion wird jedoch die mittlere Distanz zwischen zwei Linien bzw. Kanten analog der Beschreibung in Abschnitt 6.7.1 angegeben.
-  Das Icon „Distanz zwischen Oberflächen“ arbeitet analog der Funktion „Distanz zwischen Punkten“. Mit dieser Funktion wird jedoch die mittlere Distanz zwischen zwei Linien analog der Beschreibung in Abschnitt 6.7.1 angegeben.
-  Das Icon „Horizontale Distanz zwischen Punkten“ startet einen Mausmodus, mit welchem horizontale Entfernungen zwischen Punkten als Meßwert eingegeben werden können. Mittels Mausklicks der linken Maustaste werden zwei Punkte des Geometriemodells selektiert. Ein Dialog öffnet sich, über welchen die horizontale Distanz zwischen den beiden selektierten Punkten angegeben werden kann.
-  Das Icon „Vertikale Distanz zwischen Punkten“ startet einen Mausmodus, mit welchem vertikale Entfernungen zwischen Punkten als Meßwert eingegeben werden können. Mittels Mausklicks der linken Maustaste werden zwei Punkte des Geometriemodells selektiert. Ein Dialog öffnet sich, über welchen die vertikale Distanz zwischen den beiden selektierten Punkten angegeben werden kann.
-  Das Icon „Ebene einfügen“ startet einen Mausmodus, mit welchem eine vorher selektierte Menge von Polygonen einer Ebene zugeordnet werden. Auf diese Weise können z.B. mehrere Bodenoberflächen als in einer gemeinsamen Höhe liegend modelliert werden.
-  Mit dem Icon „Ausgleichung“ wird eine Ausgleichung analog der Beschreibung des gleichnamigen Icons in dem Tool „PlanarViewer“ gestartet.
-  Das Icon „Filter setzen“ ruft einen gleichnamigen Dialog auf, mit welchem im Geometriemodell bestimmte geometrische Abhängigkeiten gesucht und als Pseudobeobachtungen modelliert bzw. gelöscht werden. Eine genauere Erläuterung ist unter der Beschreibung des gleichnamigen Icons bei dem Tool „PlanarViewer“ zu finden.
-  Das Icon „Punkt selektieren“ gehört zu einer Gruppe von Filtern für die Selektion von Objekten. Ist das Icon „gesetzt“, so lassen sich auch Punkte selektieren.
-  Das Icon „Linie selektieren“ gehört zu der gleichen Gruppe von Filtern. Ist das Icon „gesetzt“, so lassen sich auch Linien selektieren.
-  Das Icon „Fläche selektieren“ gehört zu der gleichen Gruppe von Filtern. Ist das Icon „gesetzt“, so lassen sich auch Flächen selektieren.
-  Das Icon „Selektion aufheben“ versetzt alle Elemente des Geometriemodells in einen unselektierten Zustand.
-  Das Icon „Gruppe selektieren“ selektiert alle Elemente des Geometriemodells, welche einer Gruppe angehören, in der ein Element bereits selektiert ist.
-  Das Icon „Löschen“ löscht alle selektierten Elemente des Geometriemodells.

A.5.7. Tachyassistent

Der Tachyassistent ist ein Tool, welches eng mit dem PlanarViewer und OpenGLViewer zusammenarbeitet und zur Integration des Tachymeters in das Experimentalsystem dient. Das Tool ist speziell für Tachymeter der Firma Leica implementiert, welche das Kommunikationsprotokoll GeoCOM unterstützen. Um auch am Tachymeter direkt ausgelöste

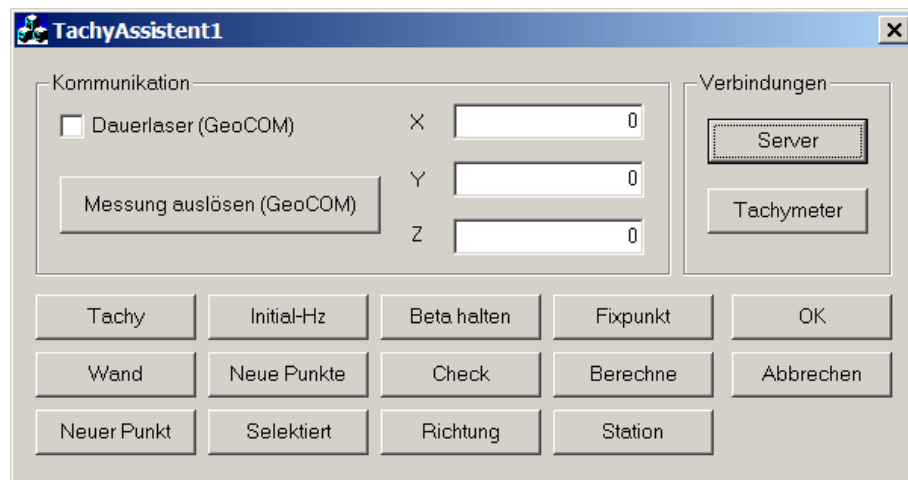


Abb. A.15.: GUI Tachyassistent

Messungen unterstützen zu können, arbeitet das Tool mit Tachymetern im „GSI-Modus“, in welchem diese auch GeoCOM-Befehle verarbeiten.

Das Tool besitzt einige Eigenschaften, die für zukünftige Applikationen interessant erscheinen könnten. Dazu gehört etwa die automatische Suche der Schnittstelle und der Verbindungsparameter für die Kommunikation mit dem Tachymeter.

Die Applikation besitzt aus Entwicklungsgründen den Namen „Tachyassistent1.exe“.

Nach dem Start des Tachyassistenten erscheint die Oberfläche nach Abbildung A.15.

Die Oberfläche ist dialogbasiert. Es sind drei Bereiche erkennbar:

1. Der Bereich Verbindung gruppiert Buttons zur Aufnahme der Verbindung des Tools mit dem Server 4 und einem Tachymeter.
2. Der Bereich Kommunikation ermöglicht eine unmittelbare Kommunikation des Nutzers mit dem Tachymeter.
3. Das große Buttonfeld unter diesen beiden Bereichen beinhaltet die Buttons für die wirklichen Aufmaß- und Verifikationsvorgänge.

Nach dem Start sollte das Tool zunächst über den Button „Server“ mit dem Server 4 verbunden werden. Der erscheinende Verbindungsdialog ist analog der Beschreibung im PlanarViewer (siehe Abschnitt A.5.5) aufgebaut.

Der Aufbau der Kommunikation mit dem Tachymeter erfolgt über den Button „Tachymeter“. Es erscheint der Verbindungsdialog nach Abbildung A.16.

Die Felder Port, Baudrate, Bits (Bitanzahl) und Parität ermöglichen die direkte Einstellung von Verbindungsparametern. Mittels des Buttons „Check“ überprüft das Tool die Einstellungen durch einen GeoCOM-Probebefehl, der an das Tachymeter gesendet wird. Der Button „Scan“ ermöglicht darüber hinaus die automatische Suche nach einem angeschlossenen Tachymeter, welches für den Empfang von GSI- und GeoCOM-Befehlen bereit ist.

Im Folgenden wird die Funktion der übrigen Buttons erläutert.

Der Button „**Tachy**“ ruft eine Funktion auf, welche erwartet, daß genau ein Punkt im Geometriemodell den Status „selektiert“ besitzt. Dieser Punkt wird als Standort eines Tachymeters angenommen. Im Ausgleichskern wird an dem so gekennzeichneten Standort

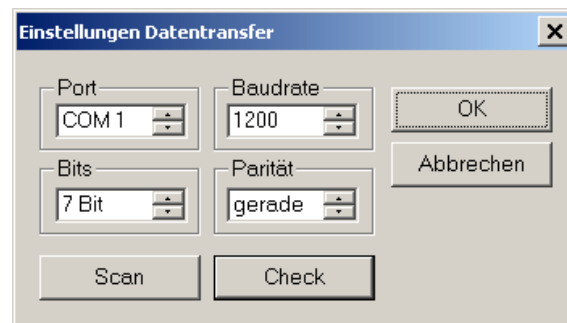


Abb. A.16.: Dialog Einstellungen Datentransfer

ein Tachymeterobjekt eingefügt. Alle nachfolgenden Messungen beziehen sich auf dieses Objekt.

Die Buttons „Wand“ und „Neue Punkte“ dienen der Bestimmung der Lage von Oberflächen durch beliebig viel erfaßte Oberflächenpunkte. Der Button „**Wand**“ ruft eine Funktion auf, welche erwartet, daß genau eine Oberfläche im Geometriemodell den Status „selektiert“ besitzt. Nach einer Sicherheitsabfrage werden neue Messungen mit dem Button „**Neue Punkte**“ auf diese Wand bezogen. Der Button „Neue Punkte“ generiert dabei einen Dialog „Aufnahme Oberflächenpunkte“. Der Dialog besitzt zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht seine volle angedachte Funktionalität. Das Tool erwartet nach dem Erscheinen des Dialogs, daß der Nutzer auf der realen Oberfläche mehrere Positionen anpeilt, z.B. mittels eingeschaltetem sichtbaren Laser, und am Tachymeter Messungen auslöst. Mit dem Systemklang „OK“ des Betriebssystems wird der Empfang einer Messung quittiert, im Fehlerfall ertönt der Systemklang „Error“. Durch die Benutzung der Systemklänge kann der Aufnehmende bei der Erfassung einer Oberfläche am Tachymeter verbleiben.

Für jede einzelne ausgelöste Messung wird ein neuer Punkt generiert. Seine Position resultiert aus der im Modell angegebenen Position des Standortes, den Meßwerten und der Geräteausrichtung des Horizontalwinkels. Der neue Punkt wird der Ausgleichungsebene der zuvor selektierten Oberfläche zugeordnet.

Der Button „**Selektiert**“ ermöglicht das Einmessen vorher im Geometriemodell selektierter Punkte. Auf diese Weise lassen sich beispielsweise Meßmarken einmessen.

Der Button „**Fixpunkt**“ legt einen vorher im Geometriemodell selektierten Punkt als Fixpunkt fest oder gibt ihn wieder frei.

Der Button „**Richtung**“ ermöglicht die Erfassung eines vorher im Geometriemodell selektierten Punktes, wobei nur Horizontal- und Vertikalwinkel ausgewertet werden. Eine wichtige Anwendung dieser Funktion liegt in der direkten Einmessung von Eckpunkten eines Raumes, an denen die reflektorlose Entfernungsmessung zu Fehlmessungen führen kann.

Der Button „**Neuer Punkt**“ generiert nach dem Auslösen einer Messung am Tachymeter einen neuen Punkt im Geometriemodell, welcher mit keiner Ausgleichungsebene verbunden ist. Mittels dieser Funktion erstellte Punktwolken können zur nachträglichen Modellierung von Geometrien, beispielsweise mit dem Tool „OpenGLViewer“, dienen.

Der Button „**Berechne**“ ruft den bereits vom PlanarViewer bekannten Dialog zur Durchführung eines Ausgleichungsvorgangs auf.

Der Button „**Station**“ dient zur Einmessung eines anderen Standortes mittels reflektorbasierter Messung (Infrarot). Es wird von einer Reflektorkonstante von 0 mm ausgegangen.

Die Funktion erwartet einen vorher im Geometriemodell selektierten Punkt, welcher den aufzunehmenden Standort symbolisiert. Anschließend schaltet die Funktion das Tachymeter automatisch auf Infrarotmessung um und erwartet vom Nutzer die Auslösung einer Messung am Tachymeter. Nach der Messung schaltet die Funktion wieder zur reflektorlosen Messung mittels Laser zurück und setzt die Reflektorkonstante auf 34,4 mm.

Der Button „**Check**“ dient dem visuellen Abgleich von Punktpositionen zwischen Modell und Realität mit Hilfe eines Motortachymeters. Die Funktion erwartet einen vorher im Geometriemodell selektierten Punkt. Das Tachymeter fährt in die Stellung, in der der selektierte Punkt genau auf der optischen Achse des Tachymeters liegen müßte. Durch das Einschalten des Lasers in den Dauerbetrieb kann so sehr einfach die Punktposition des Modells in das Original übertragen und dort verglichen werden.

Der Button „**Initial-Hz**“ dient dazu, die Grundausrichtung des Tachymeters bezüglich seines Horizontalwinkels vorzunehmen. Die Funktion erwartet vom Nutzer eine am Tachymeter ausgelöste Messung, deren Horizontalwinkel als x-Achse interpretiert wird.

Mittels des Buttons „**Beta halten**“ wird die Ausrichtung des Tachymeters im Ausgleichskern eingefroren. Diese Funktion sollte nur zur Beseitigung von Datumsdefekten genutzt werden.

A.5.8. MVS-Viewer

Der MVS-Viewer ([Thurow02]) visualisiert den Inhalt des dem System zugrundeliegenden Modellverwaltungssystems¹. Weiter läßt sich der Inhalt auf verschiedene Weise manipulieren. Das Tool zeigt nicht, wie dem eigentlichen Nutzer später der Inhalt des Modellverwaltungssystems präsentiert werden soll, es ist als administratives Werkzeug zu verstehen. Mit dem Tool können grundlegende Vorgehensweisen gezeigt und Manipulationen am Inhalt des Modellverwaltungssystems durch andere Tools getestet werden.

Nach dem Start des Tools und seiner Verbindung mit dem Server (siehe Abschnitt A.5.5) erscheint folgende Oberfläche:

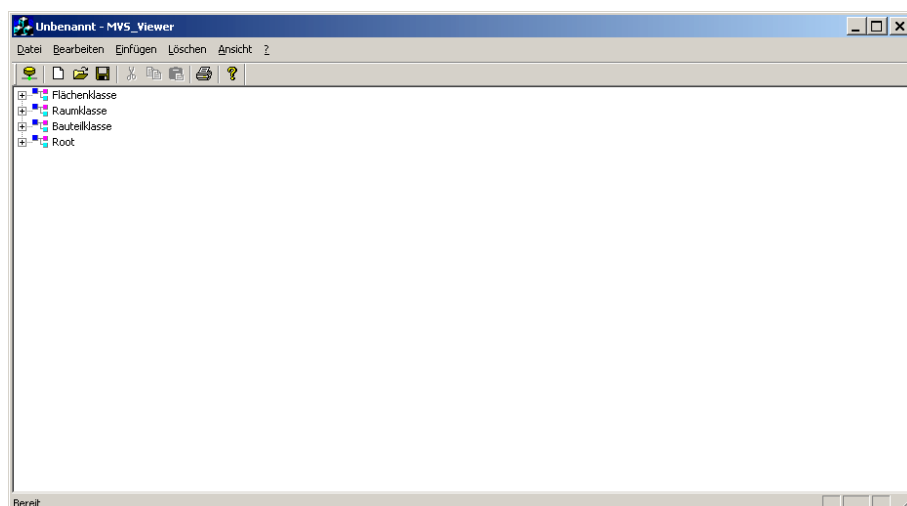


Abb. A.17.: MVS-Viewer nach dem Start

¹Es handelt sich bei dem Modellverwaltungssystem um ein Teilmodell der Experimentalplattform und nicht um das Modellverwaltungssystem „Dynamo-MVS“ von TP D3 des SFB 524.

Der MVS-Viewer stellt den Inhalt des Modellverwaltungssystems als Baum dar. Abbildung A.18 zeigt einen ausgebreiteten Beispielbaum. Der Baum besteht aus den im Mo-

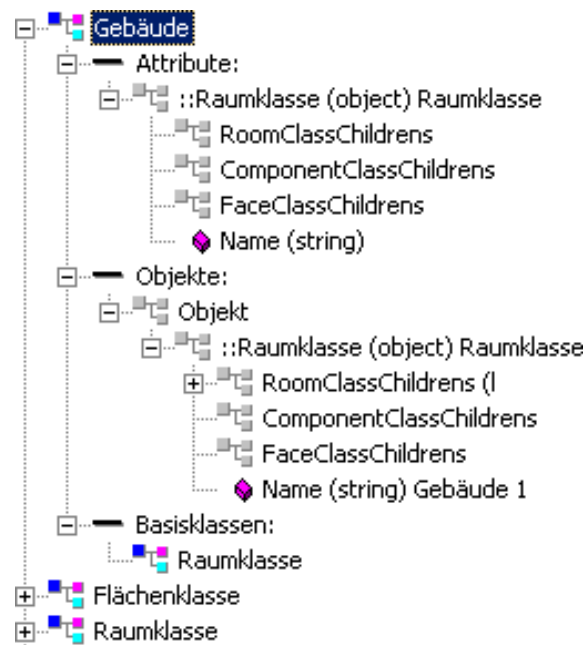


Abb. A.18.: Beispielbaum

dellverwaltungssystem gespeicherten Klassen. Für jede Klasse werden drei Gruppen von Informationen angezeigt:

1. alle Attribute der Klasse
2. alle Objekte der Klasse
3. alle Basisklassen

Im Beispielbaum ist die Klasse „Gebäude“ zu erkennen. Sie besitzt die Basisklasse „Raumklasse“. Von dieser Klasse übernimmt sie verschiedene Attribute. Attribute, welche von einer Basisklasse stammen, werden als Gruppe zusammengefaßt. Die Gruppe hat den Namen „::“ + Name der Basisklasse, in diesem Fall „::Raumklasse“. Diese Darstellung wird sowohl bei der Angabe der Attribute der Klasse selbst, wie auch bei ihren Objekten genutzt.

Um den Inhalt des Modellverwaltungssystems zu ändern, sind mehrere Möglichkeiten gegeben. Mittels des MVS-Viewers lassen sich Klassen, Attribute und Objekte anlegen, modifizieren und löschen. Auch können Klassen neue Basisklassen zugewiesen oder von diesen Basisklassen entfernt werden.

Die Interaktion für die beschriebenen Manipulationen am Modellverwaltungssystem können über drei verschiedene Interaktionsformen erfolgen, über:

- das Hauptmenü der Applikation
- verschiedene Kontextmenüs
- Dialoge zu Elementen des Baumes, welche durch einen Doppelklick auf die Elemente gestartet werden

Sollen das Hauptmenü oder Kontextmenüs genutzt werden, so ist das zu modifizierende Element des Baumes vorher zu selektieren. Soll beispielsweise einer Klasse ein Attribut hinzugefügt werden, so ist die Klasse zu selektieren. Anschließend wird im Hauptmenü der Menüpunkt „Einfügen->Attribut einfügen“ aktiv. Auch würde sich mittels rechter Maustaste ein entsprechendes Kontextmenü öffnen lassen.

Viele Dialoge sind derzeit noch nicht fertiggestellt bzw. fehlerbehaftet. Der MVS-Viewer sollte daher nur zum allgemeinen Test der Möglichkeiten des Modellverwaltungssystems oder zur Kontrolle seines Inhaltes nach Veränderungen durch andere Tools genutzt werden. Nachfolgend werden bestimmte Einzelheiten zum Inhalt des Modellverwaltungssystems erläutert.

Das Modellverwaltungssystem erlaubt bestimmte Typen von Attributen. Dazu gehören die Grunddatentypen:

- boolean
- char (ein Zeichen)
- integer
- double
- string

Weiter kann jede vom Nutzer generierte Klasse als Attributtyp dienen. Im letzteren Fall sind zwei verschiedene Varianten zu unterscheiden:

- Das Attribut kann direkt ein Objekt einer nutzergenerierten Klasse darstellen (Aggregation).
- Das Attribut verweist auf ein Objekt einer nutzergenerierten Klasse (Assoziation).

Einen weiteren Typ stellen Verweise auf Objekte dar, welche nicht Bestandteil des Modellverwaltungssystems sind. Neben den beschriebenen Typen kann ein Attribut auch als Typ eine Sequenz (Array) dieser besitzen.

Ein Attribut kann als Kopie eines anderen Attributs angelegt werden. Der Inhalt von Grunddatentypen wird dabei kopiert. Attribute, welche auf Objekte verweisen, zeigen nach dem Kopiervorgang auf dasselbe Objekt. Attribute, welche ein Objekt darstellen, enthalten ein neues Objekt, dessen Inhalt von der Kopiervorlage übernommen wurde. Dieser Vorgang arbeitet rekursiv.

Eine Klasse besitzt für alle Attribute Defaultwerte, die vom Nutzer gesetzt werden können. Bei der Instanziierung werden für die Attribute der neuen Objekte die Defaultwerte übernommen. Wird ein Attribut eingeführt, wenn bereits Objekte bestehen, so werden diese um das neue Attribut erweitert, wobei der Defaultwert des neuen Attributs gesetzt wird.

Der MVS-Viewer zeigt bei Attributen den Inhalt an, wenn dieser vom MVS-Viewer interpretierbar ist. Als Beispiel sei das Attribut „Name“ der Klasse Gebäude genannt. Dieses Attribut ist vom Typ string. Der Name des im Beispielbaum (siehe Abbildung A.18) einzigen Objektes wird mit „Gebäude 1“ angegeben. Weiter ist zu beachten, daß im Falle von Vererbungen Objekte mehrfach angezeigt werden. Wurde von einer Klasse A eine Klasse B abgeleitet und von Klasse B ein Objekt instanziiert, so wird auch für Klasse A ein Objekt angezeigt, da das Objekt von Klasse B auch alle Attribute der Klasse A besitzt.

Ein noch nicht beseitigter Fehler kann dazu führen, daß bei einer Instanziierung mehrere Objekte einer Klasse entstehen.

A.6. Beispielszenarien

Im Folgenden werden verschiedene Beispielszenarien aufgeführt, welche einerseits in die Benutzung der Prototypen einführen, andererseits aber auch verschiedene in der vorliegenden Arbeit erläuterte Konzepte praktisch verdeutlichen sollen.

A.6.1. Kurzbeschreibung des Beispielobjektes

Die folgenden Szenarien werden anhand der Aufnahme eines Beispielobjektes erläutert. Als aufzunehmendes Objekt wurden Arbeitsräume der Bauhaus Universität Weimar (Lehrstuhl „Informatik in der Architektur“) gewählt. Die Räume befinden sich in der zweiten Etage eines sanierten Altbaus. Das Gebäude wurde 1920 errichtet und gehört heute zum Flächendenkmal Belvederer Allee. Abbildung A.23 zeigt einen Grundriß der zweiten Etage. Die Oberflächen der Innenräume können in der Regel als planar betrachtet werden. In den folgenden Szenarien werden zur Bezeichnung von Innenräumen die im Grundriß enthaltenen Raumnummern genutzt. Die Abbildungen A.20, A.21 und A.22 zeigen Aufnahmen der Räume R 201, R 202 und R 203, welche in den anschließenden Szenarien aufgenommen werden.



Abb. A.19.: Belvederer Allee 1: Ostseite



Abb. A.20.: Belvederer Allee 1: Raum R201



Abb. A.21.: Belvederer Allee 1: Raum R202



Abb. A.22.: Belvederer Allee 1: Raum R203

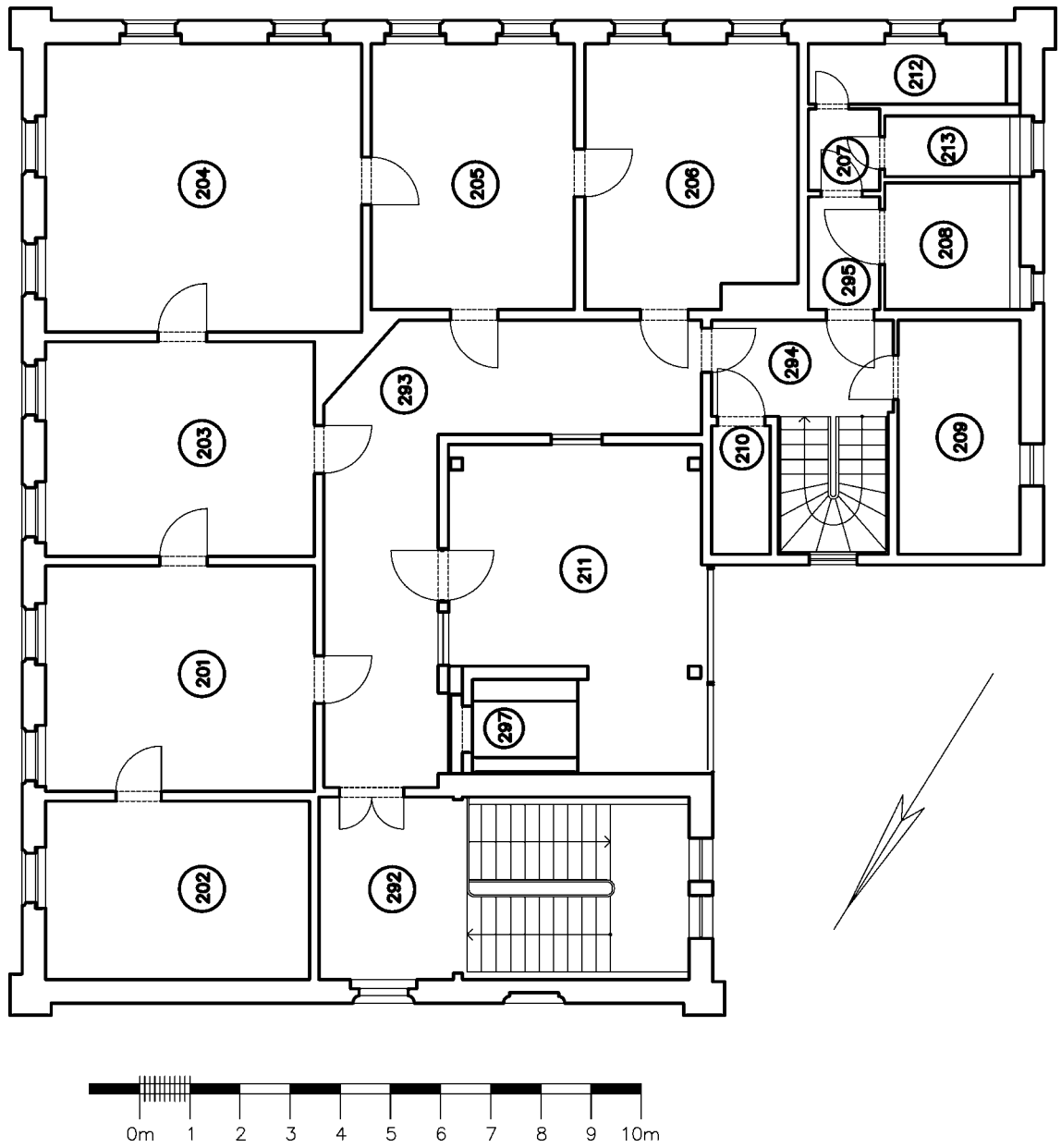


Abb. A.23.: Grundriß Belvederer Allee 1, 2.OG

A.6.2. Beispielszenario Handaufmaß

Das folgende Beispiel illustriert ein reines Handaufmaß. Hierbei sind folgende Tools erforderlich:

- der Server Four
- der PlanarViewer
- der OpenGLViewer

Letzterer ist nur für Aufmaße im 3D notwendig. Als Werkzeuge dienen ein Gliedermeßstab, ein Laserdisto, eine einfache Holzlatte² und der PC. Besonders günstig hat sich dabei die Verwendung eines Tablet-PC's erwiesen. Abbildung 4.1 auf Seite 41 zeigt einen solchen Tablet-PC in einem realen Testaufmaß mittels der hier beschriebenen Werkzeuge.

Zu Beginn werden der Server und anschließend der PlanarViewer und der OpenGLViewer gestartet. Nach dem Start der beiden Viewer werden diese mit dem Server verbunden (Icon bzw. Button „Server“).

Nach den geschilderten Vorbereitungen kann das eigentliche Aufmaß beginnen. Im Folgenden wird ein konkretes Beispiel anhand einer Gruppe von Innenräumen illustriert, die Vorgehensweise kann analog übertragen werden. Abbildung A.35 zeigt das Ergebnis des Aufmaßes.

Zunächst wird der Aufbau der räumlichen Struktur des Bauwerkes begonnen. Dies ist über den PlanarViewer möglich. Das Bauwerksmodell kann mittels des Icons „Bauwerksmodell“ in einem eigenen Dialogfeld sichtbar gemacht werden. Das Dialogfeld des Bauwerksmodells arbeitet so, daß neu generierte Raumobjekte dem Raumobjekt zugeordnet werden, welches zuletzt im Dialogfeld selektiert wurde. Um von dem Dialogfeld des Bauwerksmodells wieder zur normalen Ansicht des PlanarViewers zu wechseln, muß lediglich auf dessen Oberfläche geklickt werden.

Zunächst wird mittels des Icons „Gebäude“ im Bauwerksmodell ein Raumobjekt vom Typ Gebäude mit Namen „Gebäude 1“ generiert. Dieses Raumobjekt bildet nun den Startknoten des Bauwerksmodells. Um folgende Raumobjekte dem Gebäude zuzuordnen, muß dieses zunächst selektiert werden. Dazu kann mittels des Icons „Bauwerksmodell“ wieder in das Dialogfeld des Bauwerksmodells gewechselt werden. Nun wird mit einem einmaligen linken Mausklick das Gebäude selektiert. Mit einem Mausklick auf die im Hintergrund sichtbare Oberfläche des PlanarViewers wird wieder zu diesem gewechselt. Nun lassen sich mittels des Icons „Etagen“ neue Raumobjekte vom Typ „Etagen“ generieren. Das Beispielobjekt besitzt drei Etagen. Durch dreimaliges Betätigen des Icons „Etagen“ werden diese angelegt.

Im nächsten Schritt soll ein aufzunehmender Raum skizziert werden. Dieser Raum soll der Etage 3 zugeordnet sein. Daher wird wieder mit Hilfe des Icons „Bauwerksmodell“ in die Ansicht des Bauwerksmodells gewechselt und dort das Raumobjekt „Etage 3“ selektiert. Anschließend ist wieder auf die Oberfläche des Planarviewers zu wechseln.

Mittels des Icons „Raum“ beginnt die Erstellung der skizzenhaften Wiedergabe der Raumgeometrie. Der Cursor erscheint als Fadenkreuz. Die erste Ecke der Raumumgrenzung wird mit der linken Maustaste bestätigt. Darauf erscheint ein Dialog, welcher einen Namen für den neuen Raum verlangt. Nach dessen Eingabe können anschließend weitere Raumecken

²Gemeint ist in der Tat eine einfache Holzlatte, nicht etwa eine Meßlatte. Mit Hilfe der Holzlatte lassen sich beispielsweise die Tiefen von Fenstern und Türen indirekt sehr einfach mittels des Laserdistos erfassen.

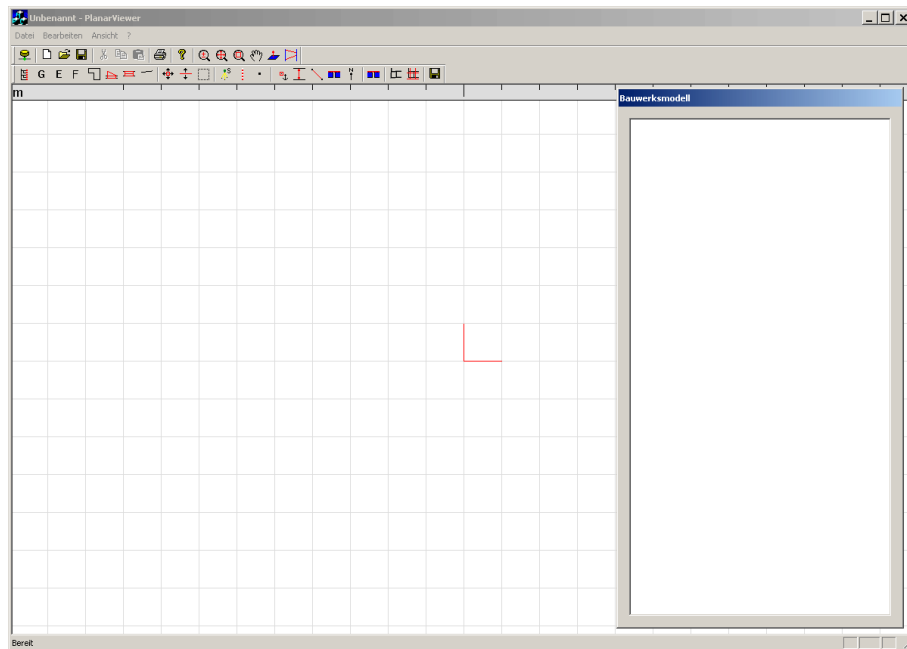


Abb. A.24.: PlanarViewer mit geöffnetem Dialogfeld für Bauwerksmodell

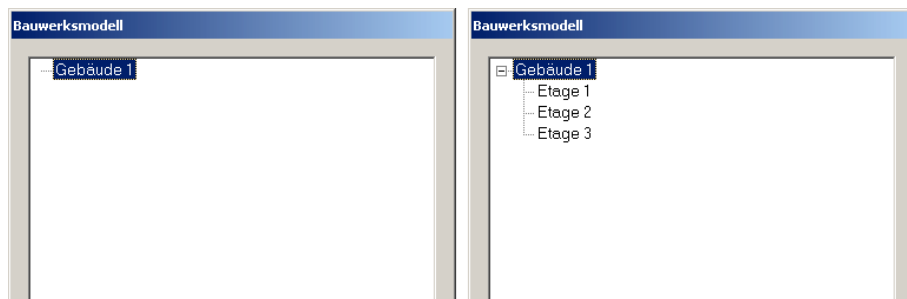


Abb. A.25.: Anlegen des Bauwerkmodells 1

mittels der linken Maustaste erstellt werden. Die Raumumgrenzung wird mit Hilfe der rechten Maustaste geschlossen. Nach der gleichen Vorgehensweise werden zwei weitere Räume, R 202 und R 203, generiert.

Um die entstandene Raumgeometrie dreidimensional zu betrachten, wird der OpenGL-Viewer genutzt. Zunächst sollte ein Standort eingenommen werden, von welchem die neu erstellten Räume gut sichtbar sind. Dazu dienen verschiedenen Mausmodi, welche die Kameraposition verändern. Die Mausmodi sind an einem Augensymbol sichtbar und können „im Kreis“ mittels der rechten Maustaste gewechselt werden. In einem Modus erscheint statt einem Auge ein Fadenkreuz. Dieser Modus dient der Selektion von Objekten.

Das System erlaubt jederzeit die Generierung neuer Geometrie und das Einfügen neuer Messungen. In diesem Beispielszenario wird die betrachtete Geometrie zunächst vollständig skizzenbasiert erstellt und anschließend aufgemessen. Diese Arbeitsweise entspricht der Situation, daß während einer Erstbegehung ein Bauwerk bereits skizzenhaft festgehalten und anschließend in der Phase des Aufmaßes maßlich erfaßt wird. Am Beispiel der Tachymetrie wird eine andere Vorgehensweise vorgestellt.

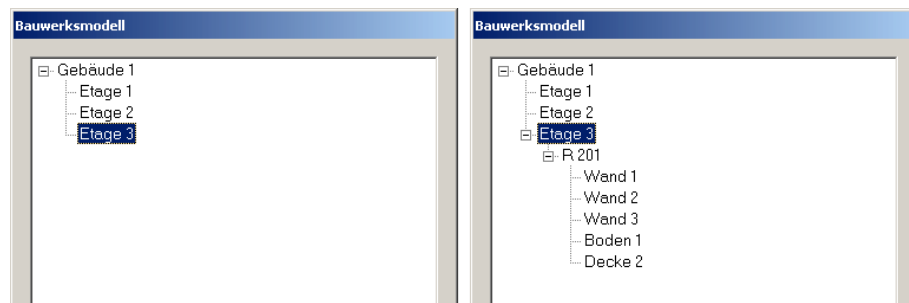


Abb. A.26.: Anlegen des Bauwerksmodells 2

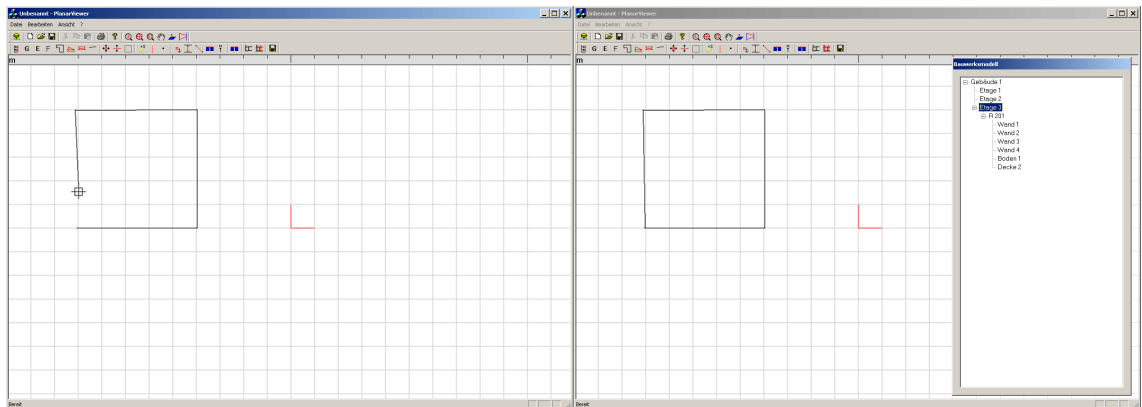


Abb. A.27.: Ersten Raum anlegen

Nachdem die drei Räume in ihrer Raumbegrenzung erstellt wurden, sollen nun ihre Verbindungstüren eingefügt werden. Dazu dient das Icon „Tür“ des PlanarViewers. Nach dem Start des entsprechenden Mausmodi werden zwei Striche über die Wandoberflächen gezogen, welche durch die zukünftige Tür „verbunden“ werden. Für eine Generierung von Fenstern würde nach dem gleichen Prinzip im Vorfeld eine Außenfassade mittels des Icons „Fassade“ erstellt werden. Da die Generierung von Fenstern jedoch genau dem gleichen Schema entspricht, werden sie in diesem Beispielszenario nicht behandelt.

Nach der Generierung der aufzunehmenden Geometrie beginnt nun das eigentliche Aufmaß. Die Vorgehensweise bei der Vermessung der Räume wie auch die Art der einzelnen Messungen können vom Aufnehmenden frei gewählt werden. Die folgenden Beschreibungen sind daher nur beispielhaft.

Die skizzenbasiert erstellte Geometrie wird zunächst mit verschiedenen Abstraktionen versehen. Mittels des Icons „Norden“ des PlanarViewers wird eine Wandoberfläche angegeben, welche die Nordausrichtung vorgibt. Anschließend erwartet ein Dialog die Angabe der Gewichtung dieser Vorgabe. Der vom System vorgegebene Wert von 10 Grad kann so übernommen werden. Im folgenden Schritt werden verschiedene geometrische Abstraktionen, wie z.B. Parallelität und Rechtwinkligkeit, eingeführt. Dazu wird über das Icon „Filter setzen“ ein Dialog aufgerufen, über welchen sich die Abstraktionen setzen und löschen lassen. Im angegebenen Beispielszenario werden die Filter Parallelität, Rechtwinkligkeit, horizontal und vertikal verlaufende Ebenen gewählt und die vom System vorgegebenen Gewichtungen übernommen.

Nach dem Setzen der Abstraktionen kann eine erste Ausgleichung des geometrischen Abbildes erfolgen. Über das Icon „Ausgleichung“ wird ein entsprechender Dialog geöffnet

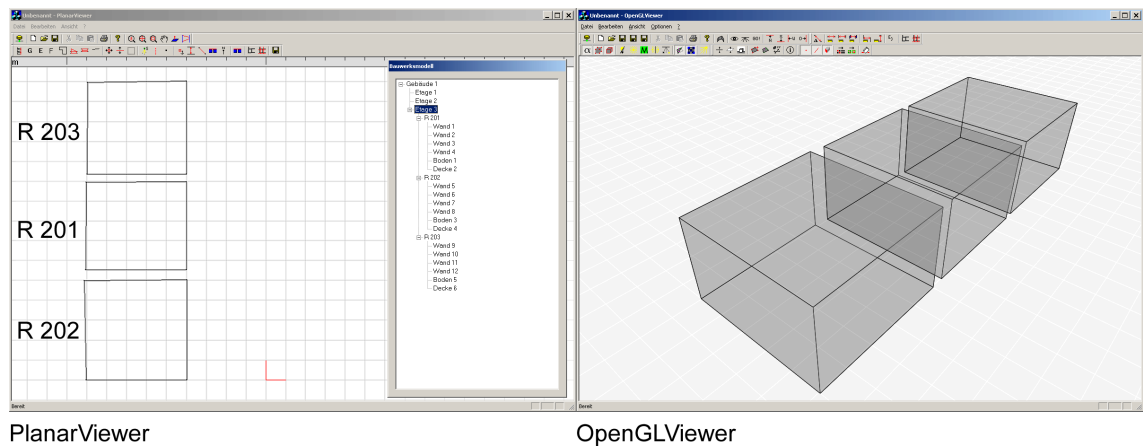


Abb. A.28.: Alle Räume angelegt

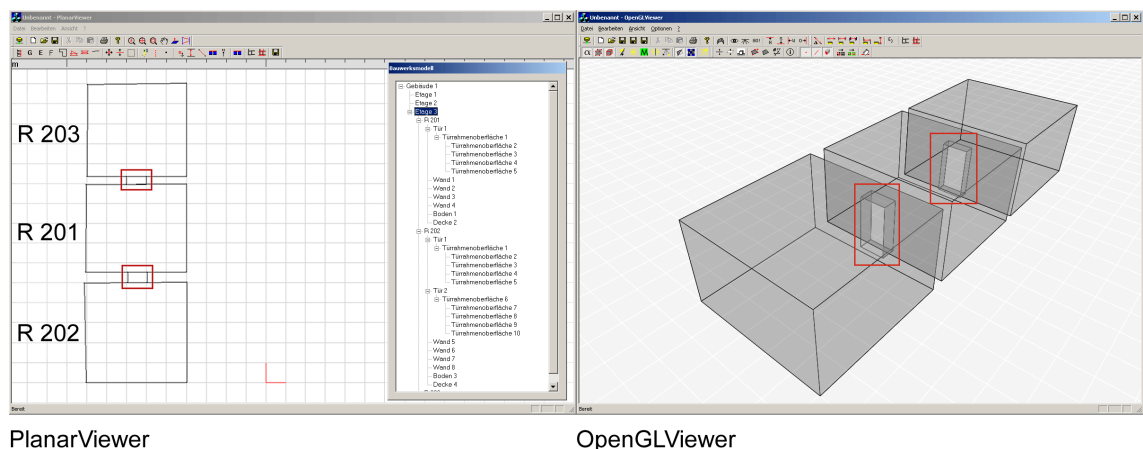
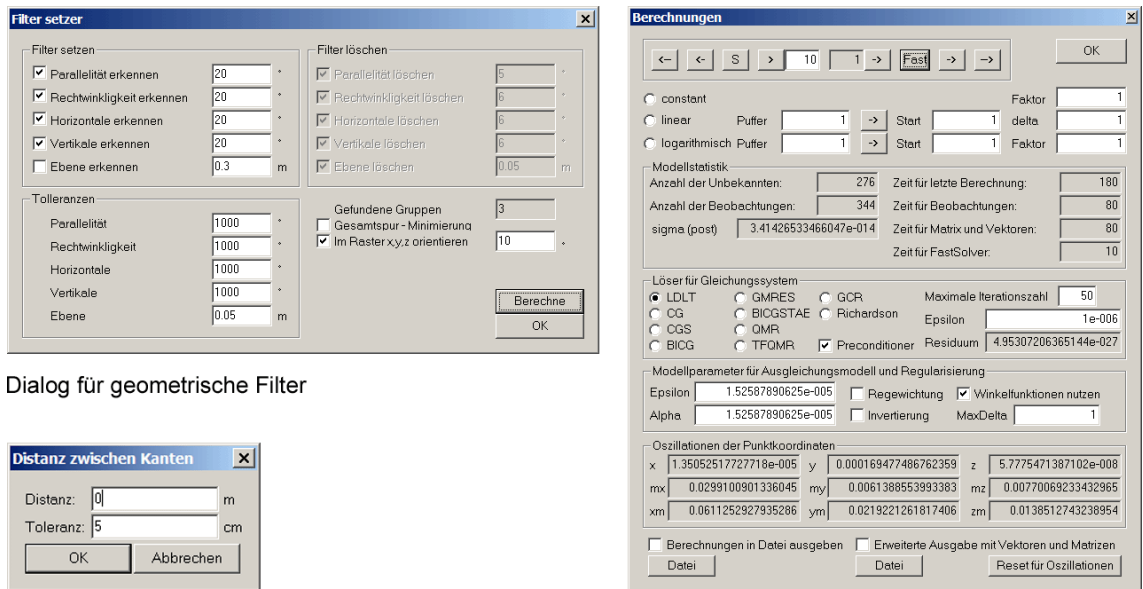


Abb. A.29.: Alle Türen angelegt

und mit „Fast“ eine Ausgleichungsreihe gestartet. Anschließend ist zu erkennen, wie das geometrische Abbild anhand der gewählten Abstraktionen verändert wurde.

Zunächst soll der Raum R 202 mit einem Laserentfernungsmesser erfasst werden. Es können im PlanarViewer Distanzen zwischen Punkten, Kanten und Flächen modelliert werden. Für den Raum R 202 werden Kantendistanzen genutzt. Die Modellierung erfolgt über das Icon „Kantendistanz“. Es wird ein neuer Mausmodus gestartet, in welchem jeweils zwei Kanten angeklickt werden. Der Planarviewer dient vorrangig einer grundrißorientierten Arbeitsweise. In der derzeitigen Implementation erfasst der Mausmodus zur Modellierung von Kantendistanzen nur annähernd senkrechte Kanten. Die beiden Endpunkte der Kante müssen sich zur Erfassung beide im Fangbereich des Cursors, der als Fadenkreuz dargestellt wird, befinden.

Nach der Auswahl zweier Kanten öffnet sich ein Dialog, der die Distanz zwischen den Kanten abfragt (siehe Abbildung A.30). Nach der Eingabe der Entfernung können die nächsten zwei Kanten angegeben werden. Der Mausmodus läßt sich mittels der rechten Maustaste verlassen. Um die modellierten Entfernungen sichtbar zu machen, kann das Icon „Distanzmessungen sichtbar / unsichtbar“ genutzt werden. Die Messungen werden dabei als Linien visualisiert. Dargestellt werden alle Distanzmessungen zwischen Punkten, Kanten und Oberflächen. Da im Falle der Distanzen zwischen Kanten und Oberflächen die



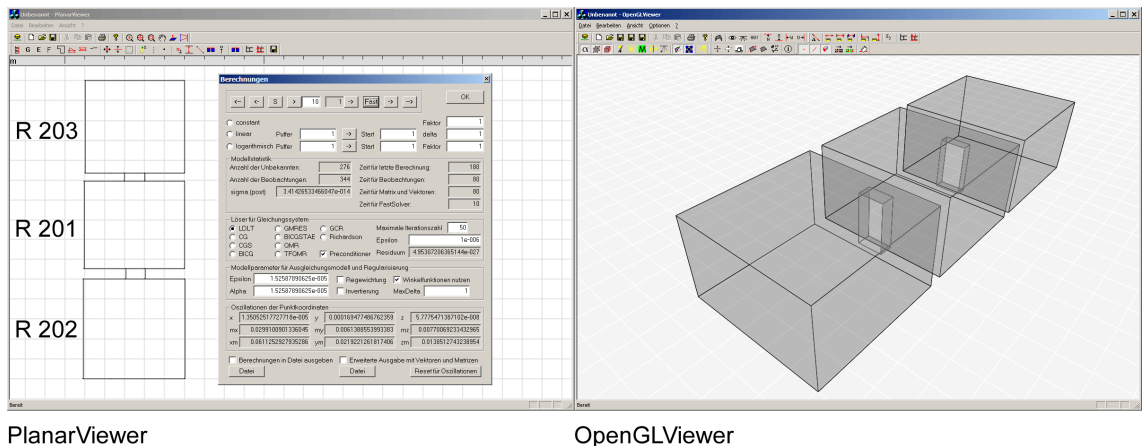
Dialog für geometrische Filter

Dialog zur Eingabe einer Kantendistanz

Dialog für Ausgleichsrechnung

Abb. A.30.: Dialogfelder für geometrische Filter, Ausgleichung und Kantendistanz

ursprünglichen Positionen, an denen die Werte erfaßt wurden, nicht gespeichert werden, verlaufen die Linien zwischen den Mittelpunkten der Kanten bzw. zwischen den geometrischen Schwerpunkten der Polygone. Die Farbe der Linien gibt Auskunft über die Differenz zwischen den erfaßten Meßwerten und den augenblicklichen Distanzen im Modell. Grüne Linien bedeuten eine Differenz zwischen Meßwert und Modell, welche im Rahmen der Meßtoleranzen liegt. Ist die Distanz im Modell wesentlich größer als der erfaßte Meßwert, so wird die Linie mit dem Maß der Differenz zunehmend roter. Ist die Distanz im Modell wesentlich kleiner als der erfaßte Meßwert, so wird die Linie mit dem Maß der Differenz zunehmend blauer. Abbildung A.32 zeigt den ersten aufgenommenen Raum mit der eben beschriebenen Visualisierung der Messungen vor und nach der Ausgleichung. Nach der Ausgleichung ist der erfaßte Raum, wie gewünscht, nicht mehr mathematisch exakt rechtwinklig. Der Meßwert der Diagonalen, welcher der Abstraktion „rechter Winkel“ wi-



PlanarViewer

OpenGLViewer

Abb. A.31.: Erste Ausgleichung

derspricht, ist dieser übergeordnet. Ein noch nicht gelöstes Problem liegt in der Verzerrung der übrigen Geometrie.

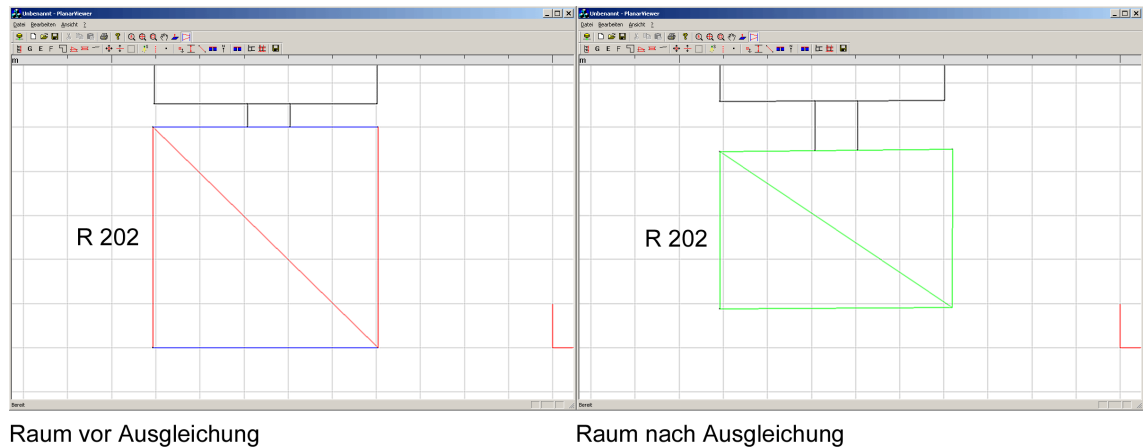


Abb. A.32.: Erster Raum aufgemessen und ausgeglichen

Im folgenden Schritt wird die erste Tür erfasst. Um ihre Position anzugeben, kann beispielsweise die Entfernung einer ihrer Kanten von einer Raumkante vermessen werden. Zur Modellierung der Türbreite empfiehlt sich dagegen eine Entfernungsmessung der beiden gegenüberliegenden Leibungsoberflächen. Ihre Modellierung erfolgt über einen Mausmodus, welcher mit dem Icon „Oberflächendistanz“ gestartet wird. Der Mausmodus erwartet die Auswahl zweier in etwa senkrecht stehender Oberflächen. Anschließend öffnet sich wieder ein Dialog zur Eingabe der Distanz zwischen den Oberflächen. Der Mausmodus kann, wie im Fall der Entfernungsmessung zwischen Kanten, mittels der rechten Maustaste verlassen werden. Noch nicht erfasst wurde die Tiefe der Tür, also die Stärke der Wand, in der diese liegt. Diese Tiefe soll in diesem Fall zu einem späteren Zeitpunkt indirekt ermittelt werden. Abbildung A.33 zeigt die Tür vor und nach einer weiteren Ausgleichung.

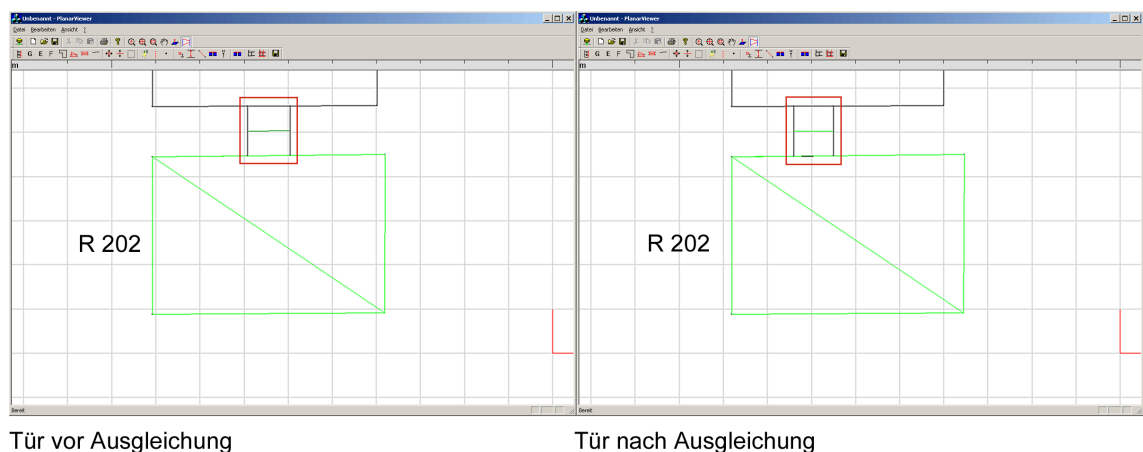


Abb. A.33.: Erste Tür vermessen und ausgeglichen

Lassen es die geforderten Genauigkeiten zu, kann eine höhere Abstraktion des geometrischen Abbildes gewählt werden. Der Raum R 201 soll als quaderförmig angesehen werden. Zu seiner Erfassung müssen bei dieser Abstraktion nur die Distanzen der gegenüberliegenden Wandoberflächen erfasst werden. Zur Modellierung der Entfernungen der gegen-

überliegenden Wandoberflächen dient wieder das Icon „Oberflächendistanz“. Eine weitere Entfernungsmessung erfolgt durch die geöffnete Tür der beiden Räume. Auf diese Weise kann die Entfernung zwischen den gegenüberliegenden Wandoberflächen der beiden Räume erfaßt werden. Diese Methode wirkt einer Aufsummierung von Meßfehlern entgegen. Die Wanddicke zwischen den beiden Räumen wird indirekt bestimmt. Natürlich ist diese Vorgehensweise nicht bindend. Es hätte auch die Wanddicke direkt modelliert werden können.

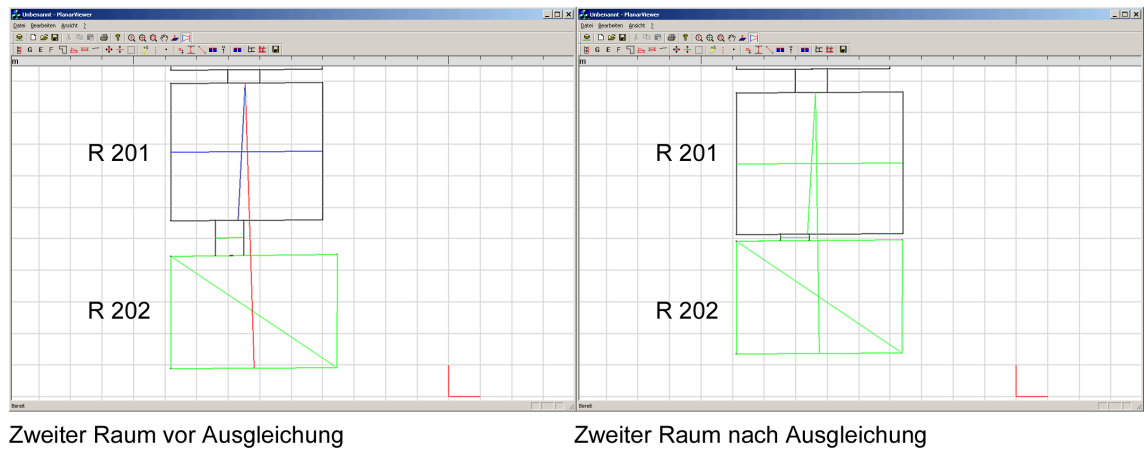


Abb. A.34.: Zweiter Raum vermessen und ausgeglichen

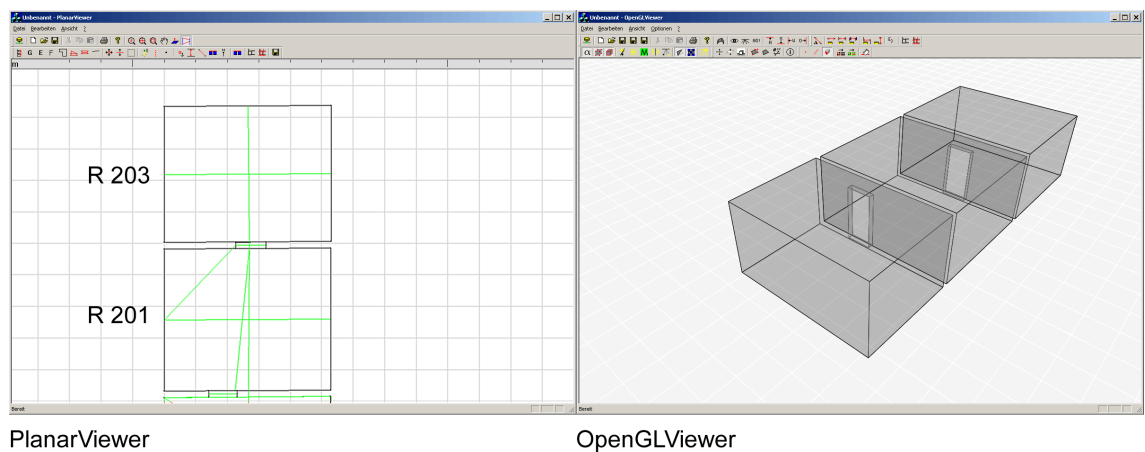


Abb. A.35.: Dritter Raum ausgeglichen

Als letzter Schritt wird ein dritter Raum R 203 modelliert. Auch dieser Raum wird als Quader angesehen. Die Dicke der Wand zum Raum R 201 wird diesmal jedoch direkt, als Abstand zwischen den beiden Wandoberflächen, modelliert. Bisher wurde das geometrische Abbild ausschließlich zweidimensional vermessen. Um die Geometrie auch in ihrer Höhe zu erfassen, kann der OpenGLViewer genutzt werden. Dieser erlaubt u.a. die Modellierung von Distanzen zwischen Punkten, Kanten und Oberflächen, ohne daß Restriktionen an die Lage der geometrischen Elemente bestehen. Im Fall des Beispielszenarios wurden die Höhen als Distanzen zwischen Oberflächen modelliert. Wichtig ist bei dieser Vorgehensweise, Bodenoberflächen einer Höhe als gemeinsame Ebene zu modellieren, um eine Verschiebung ihrer Höhen gegeneinander zu verhindern.

Mit Hilfe der beschriebenen Vorgehensweise wurde eine Etage eines voll sanierten Altbaus aufgenommen. Abbildung A.36 zeigt das Ergebnis des Aufmaßes im PlanarViewer.

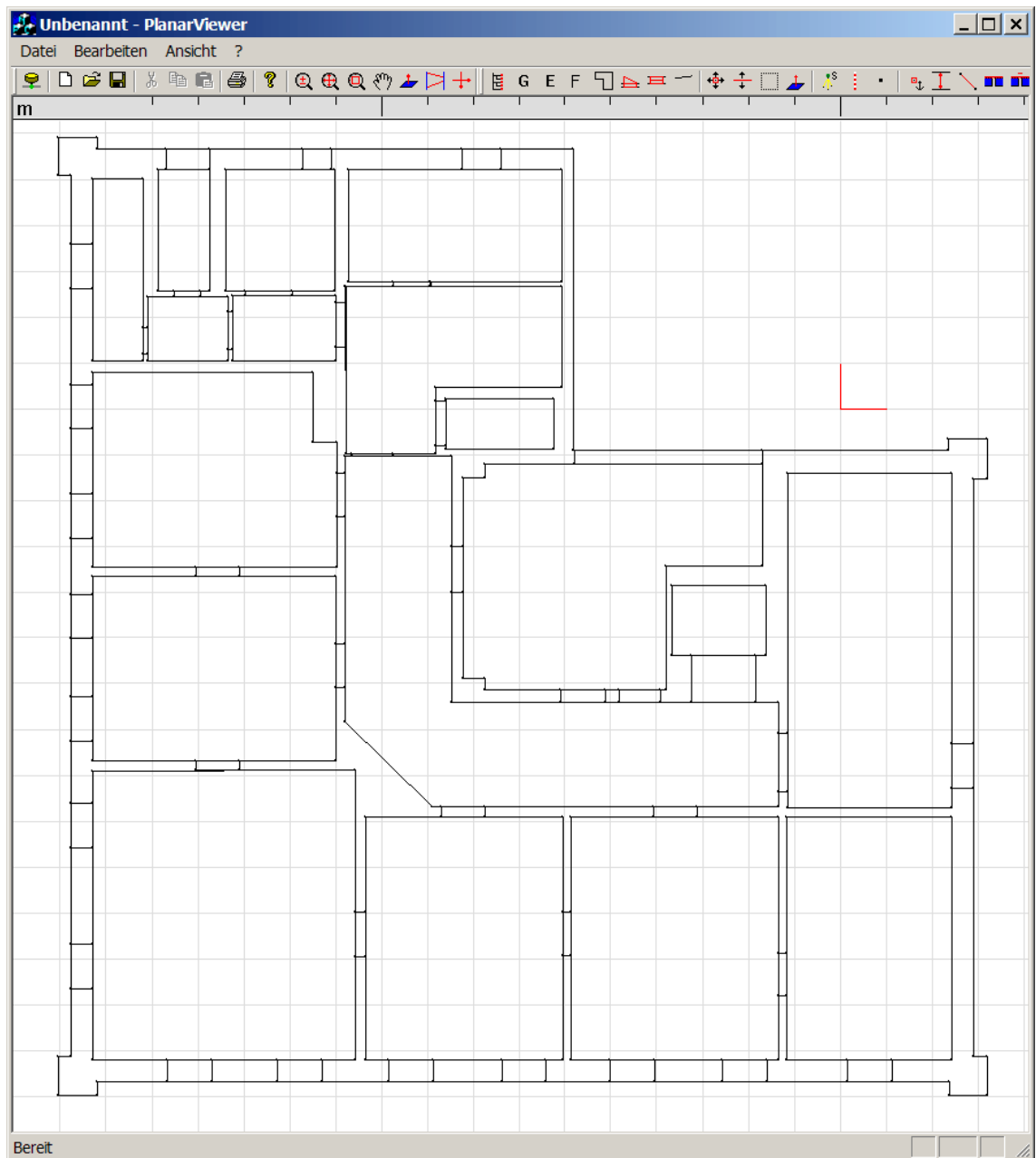


Abb. A.36.: Mit Experimentalplattform aufgenommenes Geschöß (2. OG, Belvederer Allee 1, Bauhaus Universität Weimar), Grundrißsicht im Tool „PlanarViewer“

A.6.3. Beispielszenario Tachymetrie

Das folgende Beispiel illustriert ein tachymetrisches Aufmaß. Die dafür erforderlichen Tools sind:

- der Server Four
- der PlanarViewer
- der OpenGLViewer
- der TachyAssistent

Der TachyAssistent ermöglicht die Arbeit mit Tachymetern der Firma Leica, welche bereits über GeoCOM verfügen. Um alle gezeigten Möglichkeiten testen zu können, ist ein Motortachymeter erforderlich.

Das Tachymeter sollte wie folgt konfiguriert werden:

1. Die erfaßten Meßwerte werden per GSI an einen Rechner übermittelt.
2. Das Tachymeter erwartet keine Bestätigung des Rechners über einen empfangenen GSI-Block (kein Protokoll).
3. Die Kommunikation über die serielle Schnittstelle erfolgt mit 8 Datenbits (bedingt ein Stopbit, keine Parität).
4. Die Baudrate von GSI und GeoCOM sind identisch.
5. Das Tachymeter mißt reflektorlos.
6. Als Reflektor wird Reflektorfolie angegeben (+34,4mm).

Zu Beginn werden der Server und die anderen Tools gestartet (siehe Abbildung A.37). Anschließend werden alle Tools mittels des Icons bzw. Buttons „Server“ mit dem Server verbunden. Der TachyAssistent ist zusätzlich mit dem Tachymeter zu verbinden. Dazu muß das Tachymeter eingeschaltet und in den Meßmodus („Messen und Speichern“) versetzt werden. Über den Dialog „Einstellung Datentransfer“ (Aufruf des Dialogs über Button „Tachymeter“ in der Gruppe „Verbindungen“) kann das Tachymeter automatisch gesucht und der Datentransfer geprüft werden.

Nach den geschilderten Vorbereitungen kann das eigentliche Aufmaß beginnen. Im Folgenden wird ein konkretes Beispiel anhand einer Gruppe von Innenräumen illustriert. Die Vorgehensweise kann analog übertragen werden. Abbildung A.46 auf Seite 189 zeigt das Ergebnis des Aufmaßes. Es handelt sich dabei um das gleiche Aufmaßobjekt wie in Abschnitt A.6.2. Um eine alternative Vorgehensweise zu zeigen, werden die Räume diesmal nicht in einer Gruppe erstellt und anschließend aufgemessen, sondern es wird jeweils ein Raum erstellt und anschließend erfaßt. Diese Vorgehensweise ist keinesfalls vorgeschrieben, selbstverständlich kann auch analog zu Abschnitt A.6.2 verfahren werden.

Zunächst wird mittels des Planarviewers der Innenraum R 202 skizziert. Dazu wird wie folgt vorgegangen: Zunächst wird mittels des Icons „Gebäude“ im Bauwerksmodell ein Raumobjekt vom Typ Gebäude mit Namen „Gebäude 1“ generiert. Anschließend ist mittels des Icons „Bauwerksmodell“ in die Ansicht des Bauwerksmodells zu wechseln. Dort erscheint das Raumobjekt „Gebäude 1“ als Startknoten. Wichtig: Das Objekt ist zu selektieren. Anschließend kann mittels eines einfachen Mausklicks auf die im Hintergrund

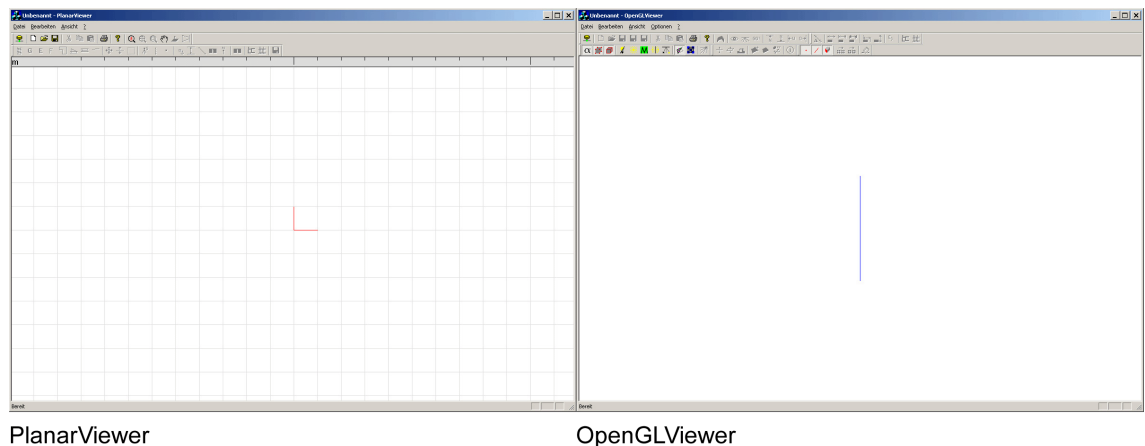


Abb. A.37.: Tools nach dem Start

sichtbare Oberfläche des Planarviewers zu diesem zurück gewechselt werden. Nun lassen sich mit dem Icon „Etagen“ neue Raumobjekte vom Typ „Etagen“ generieren. Durch die vorherige Selektion des Raumobjektes „Gebäude 1“ werden die Etagen diesem zugeordnet. Das Beispielobjekt besitzt drei Etagen, die durch dreimaliges Betätigen des Icons „Etage“ im Bauwerksmodell angelegt werden (siehe Abbildung A.38).

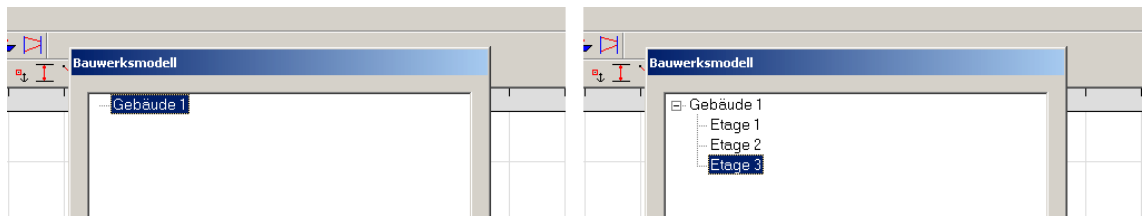


Abb. A.38.: Entstehung des Bauwerksmodells

Im nächsten Schritt soll der aufzunehmende Raum R 202 skizziert werden. Er soll der Etage 3 zugeordnet sein. Daher wird wieder mittels des Icons „Bauwerksmodell“ in die Ansicht des Bauwerksmodells gewechselt und dort das Raumobjekt „Etage 3“ selektiert. Anschließend ist wieder auf die Oberfläche des Planarviewers zu wechseln.

Mit Hilfe des Icons „Raum“ beginnt die Erstellung der skizzenhaften Wiedergabe der Raumgeometrie. Der Cursor erscheint als Fadenkreuz. Die erste Ecke der Raumumgrenzung wird mit der linken Maustaste festgelegt. Darauf erscheint ein Dialog, welcher einen Namen für den neuen Raum verlangt. Anschließend können weitere Raumecken mittels der linken Maustaste erstellt werden. Die Raumumgrenzung wird mittels der rechten Maustaste geschlossen.

Als nächster Schritt wird ein neuer Tachymeterstandort mittels des gleichnamigen Icons erzeugt. Der Cursor ändert sich nach der Betätigung des Icons zu einem Fadenkreuz mit dem Zusatz „T“. An der Position, an der die linke Maustaste einfach geklickt wird, erscheint ein Dreibein. Es handelt sich dabei um eine einfache Geometrie aus vier Punkten und drei Linien ohne Zusatzinformationen (siehe Abbildung A.39). Relevant ist nur der Punkt auf der Spitze des Dreibeins, welcher nun als Tachymeterstandort gewählt werden soll. Um den Modus zum Setzen von Tachymeterstandorten zu verlassen, ist einmal die rechte Maustaste zu betätigen. Bei einer kleinen Bewegung der Maus ändert sich wieder das Aussehen des Cursors.

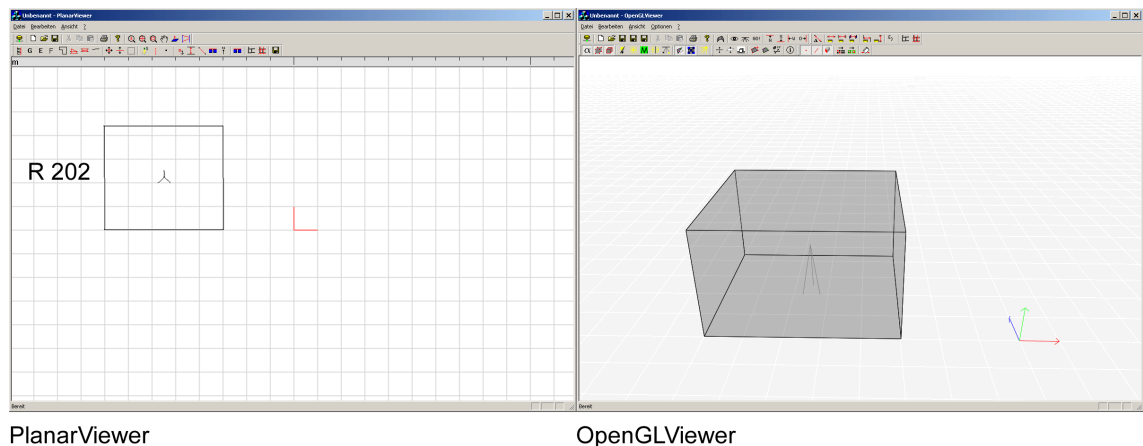


Abb. A.39.: Geometrieansichten der Viewer

Um das Dreibein als Tachymeterstandort zu wählen, wird der OpenGLViewer genutzt. Zunächst sollte ein Standort eingenommen werden, in welchem der Raum gut sichtbar ist. Dazu dienen verschiedene Mausmodi, welche die Kameraposition verändern. Die Mausmodi sind an einem Augensymbol sichtbar und können „im Kreis“ mittels der rechten Maustaste gewechselt werden. In einem Modus erscheint statt eines Auges ein Fadenkreuz. Dieser Modus dient der Selektion von Objekten.

Um das Dreibein innerhalb des Raumes sichtbar zu machen, wird die Transparenz mittels des Icons „Transparenz“ eingeschaltet. Anschließend werden die Selektionsfilter für Linien und Polygone ausgeschaltet. Im Mausmodus zur Selektion von Objekten kann nun der Punkt auf der Spitze des Dreibeins selektiert werden.

Im Tachymeterassistent wird nun der selektierte Punkt als Tachymeterstandort angegeben. Dazu ist der Button „Tachy“ zu betätigen. Ein Dialog erbittet die Selektion des Standortes im Geometriemodell. Da diese schon erfolgte, kann der Dialog sofort geschlossen werden. Der Assistent sucht nun das Geometriemodell nach allen selektierten Punkten ab. Wenn nur ein selektierter Punkt gefunden wird, so wird dieser als Standort gewählt. Ansonsten erfolgt eine Fehlermeldung.

Im nächsten Schritt wird zunächst der Ursprung des Horizontalwinkels des Tachymeters auf Norden eingestellt. Das Tachymeter wird so eingestellt, daß seine optische Achse grob parallel zu der y-Achse des Raumabbildes im PlanarViewer steht. Anschließend wird der Button „Initial-HZ“ des Tachymeterassistenten ausgelöst. Der Assistent erwartet die Auslösung einer Messung am Tachymeter. Am Tachymeter wird diese am Bedienfeld mittels der Taste F1 ausgelöst.

Nach den erfolgten Schritten sind das reale Tachymeter und seine computerinterne Repräsentation miteinander verbunden und abgeglichen. Nun kann der eigentliche Meßvorgang erfolgen. Dabei wird keine bestimmte Vorgehensweise erzwungen. Im Folgenden werden verschiedene Möglichkeiten aufgezeigt.

Zunächst wird der Raum in sich aufgenommen. Dazu sind mehrere Möglichkeiten gegeben. So können Eckpunkte direkt erfaßt werden. In der Realität sind die meisten Eckpunkte jedoch nicht direkt sichtbar. Statt dessen lassen sich die Ebenen der einzelnen Oberflächen mittels mehrerer Meßpunkte bestimmen und die Oberflächen entsprechend verändern. Diese Vorgehensweise wird als erste Möglichkeit vorgestellt.

Zunächst wird die im Norden stehende Wandoberfläche des skizzierten Raumes selektiert. Die Selektion erfolgt über den OpenGLViewer. Danach wird die noch bestehende Selektion

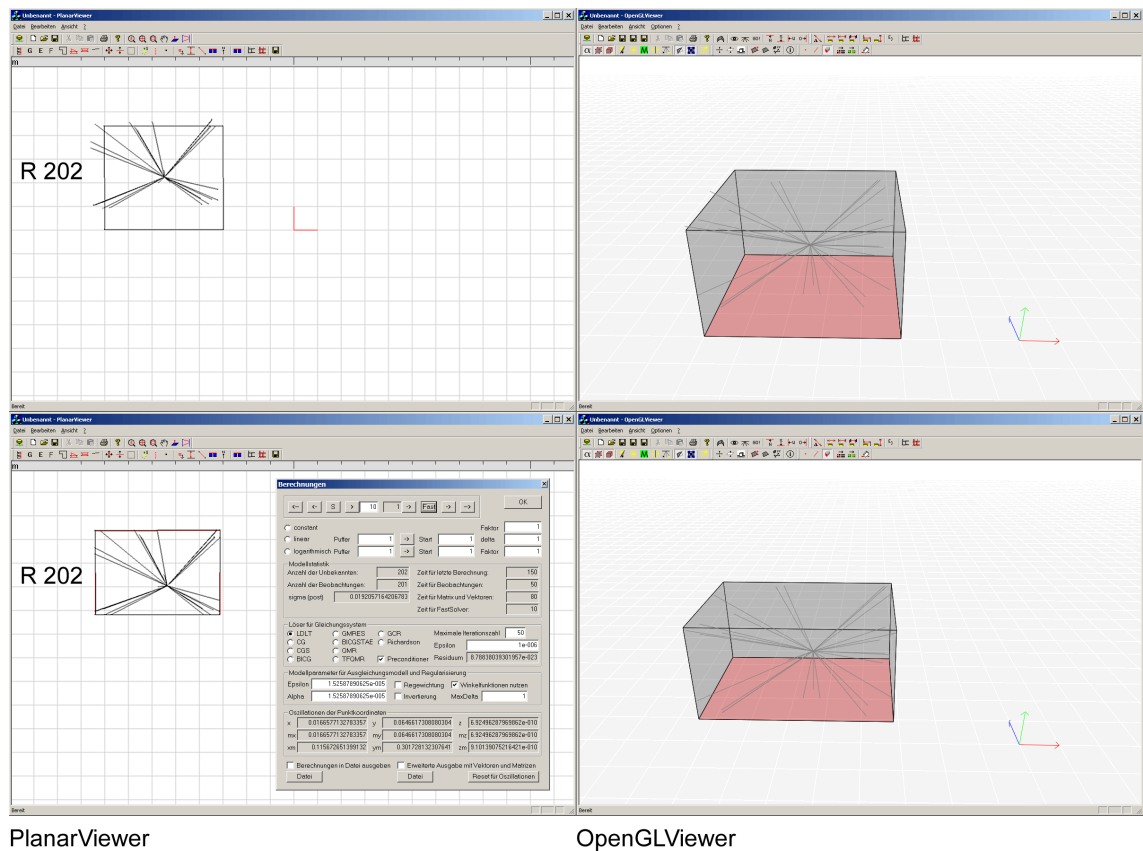
des als Standort interpretierten Punktes durch das Icon „Selektion aufheben“ abgewählt. Anschließend wird der Selektionsfilter für Punkte ab- und für Polygone eingeschaltet. Falls sich der Cursor nicht mehr im Selektionsmodus befindet, ist wieder in diesen zu wechseln. Anschließend wird der Cursor über der zu selektierenden Fläche positioniert und die linke Maustaste niedergedrückt. Durch eine Bewegung des Cursors nach unten bei gehaltener linker Maustaste wird die Selektion auf Flächen gewechselt, welche weiter im Hintergrund liegen. Ist die richtige Fläche selektiert, so wird die linke Maustaste wieder gelöst.

Mittels des Buttons „Wand“ des Tachymeterassistenten wird im Geometriemodell nach einem einzigen selektierten Polygon gesucht. Dieses Polygon wird als aufzunehmende Oberfläche interpretiert. Die Ausgleichungsebene der Oberfläche wird ermittelt. Alle ab nun erfolgenden Messungen beziehen sich auf diese Ausgleichungsebene.

Um die anschließenden Messungen zu vereinfachen, sollte der Dauerlaser aktiviert werden (Feld „Dauerlaser wählen“). Mittels des Buttons „Neue Punkte“ erscheint ein derzeit noch inaktiver Dialog und die Erfassung von Oberflächenpunkten der selektierten Raumbofläche kann erfolgen. Mittels des sichtbaren Lasers werden mehrere Punkte auf der realen Raumbofläche gewählt und Messungen am Tachymeter mit der Taste F1 des Bedienfeldes ausgelöst. Der Tachymeterassistent bestätigt den Empfang der Meßpunkte mittels des Systemklangs „OK“. Sollte eine Messung fehlschlagen, so ist der Systemklang „Error“ zu hören, die Messung kann einfach wiederholt werden.

Bei jeder Messung wird im Geometriemodell ein neuer Punkt angelegt und mit einer Linie mit dem Tachymeterstandort verbunden. Die Position des Punktes ergibt sich aus den vom Tachymeter übermittelten Meßdaten. Die Koordinaten des Punktes werden als Unbekannte in den Ausgleichungskern übertragen. Der Punkt wird der vorher ermittelten Ausgleichungsebene zugeordnet. Zwischen dem Punkt und dem Standort des Tachymeters werden Beobachtungen modelliert, welche die ermittelten Meßwerte abbilden. Der Punkt kann sich im Modell weiter von der selektierten Oberfläche entfernt befinden, eine Angleichung erfolgt bei einer später ausgelösten Ausgleichung.

Wurden mehrere Punkte der gewählten Oberfläche nach der beschriebenen Weise aufgenommen, so kann der Nutzer den Erfassungsprozeß durch das Schließen des Dialoges beenden. Nach dem gleichen Schema können alle Oberflächen des Raumes, auch die Decken- und Bodenoberfläche, erfaßt werden.



PlanarViewer

OpenGLViewer

Abb. A.40.: Geometrie vor und nach erster Ausgleichung

Nach der Erfassung der Oberflächen wird die skizzenbasiert erstellte Geometrie des Raumes der Realität maßlich angepaßt. Dazu wird eine Ausgleichung gestartet (siehe Beschreibung PlanarViewer). Abbildung A.40 zeigt Raum R 202 vor und nach der Ausgleichung. Um den Raum genau nach der y-Achse auszurichten, kann über das Icon „Norden“ im PlanarViewer eine Oberfläche ausgewählt werden, welche in Nordrichtung verlaufen soll.

Im nächsten Schritt wird ein weiterer Raum R 201 erfasst. Der neue Raum wird analog der schon beschriebenen Arbeitsweise erstellt und mit einem Tachymeterstandort versehen. Der Bezug zum neuen Tachymeterstandort soll zunächst indirekt über eine freie Stationierung erfolgen. Es werden dazu in der Realität zwei, besser drei oder mehr Meßpunkte markiert. Anschließend erfolgt die Erfassung der Meßpunkte mittels des Buttons „Neuer Punkt“. Der Tachymeterassistent erwartet wieder die Auslösung einer Messung, diesmal wird das Tachymeter dabei jeweils genau auf den Meßpunkt ausgerichtet. Die Meßpunkte werden keiner Oberfläche zugeordnet.

Nun erfolgt die Umsetzung des Tachymeters auf den neuen Standort. Es ist der neue Standort im OpenGLViewer zu selektieren. Mittels des Buttons „Tachy“ des Tachymeterassistenten wird zu diesem gewechselt. Anschließend sollte wieder eine grobe Ausrichtung des Ursprungs des Horizontalwinkels erfolgen.

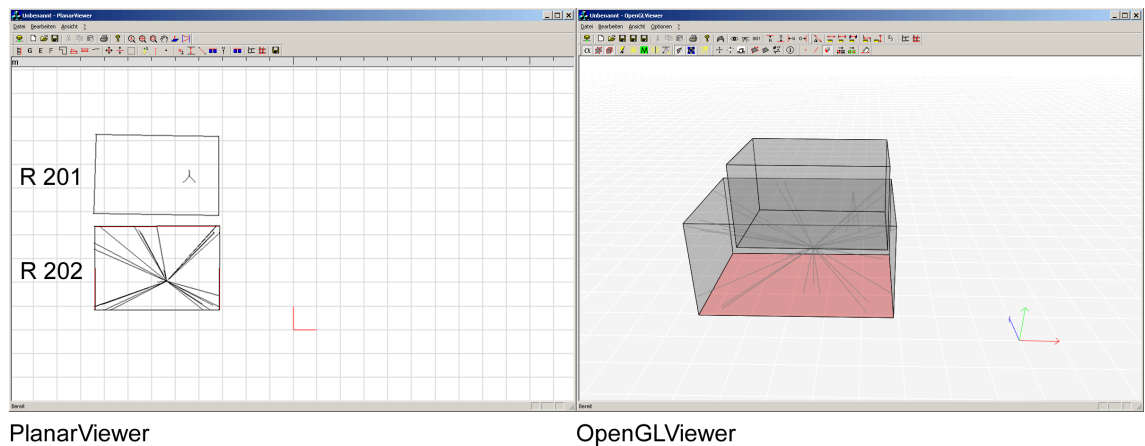


Abb. A.41.: Erstellung eines zweiten Raumes

Durch die Einmessungen der Meßpunkte vom alten Standort aus sind diese bereits im Geometriemodell vorhanden. Zur erneuten Erfassung vom neuen Standort aus dient der Button „Selektiert“. Dazu wird jeweils ein Meßpunkt mittels des OpenGLViewers selektiert. Nach der Betätigung des Buttons „Selektiert“ im Tachymeterassistenten erwartet dieser wieder die Auslösung einer Messung.

Nach der Erfassung der Meßpunkte vom neuen Standort aus wird eine weitere Ausgleichung gestartet. Der Standort verändert im Modell seine Position und nähert sich der Lage in der Realität an.

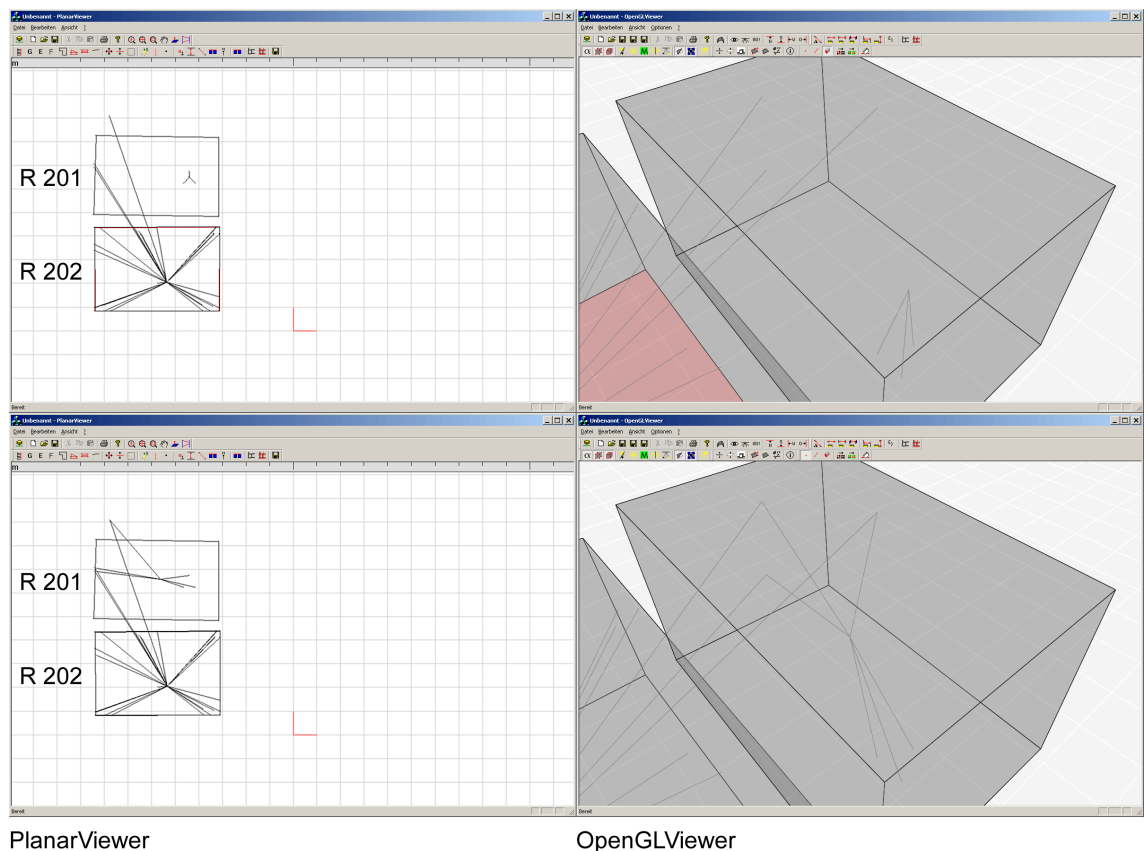


Abb. A.42.: Einrichtung des neuen Standortes über Paßpunkte (freie Stationierung)

Der neue Raum kann mit der bereits beschriebenen Vorgehensweise erfaßt werden. Es lassen sich auch Meßpunkte oder markante Punkte nach der bereits beschriebenen Methode einzeln erfassen. Der Button „Richtung“ des Tachymeterassistenten erlaubt des weiteren, bei Messungen von Punktpositionen die Distanzwerte zu ignorieren. Auf diese Weise können auch Eckpunkte erfaßt werden, bei welchen eine Entfernungsmessung durch die Größe des Laserpunktes oder ähnliche Problematiken falsche Ergebnisse liefern würde.

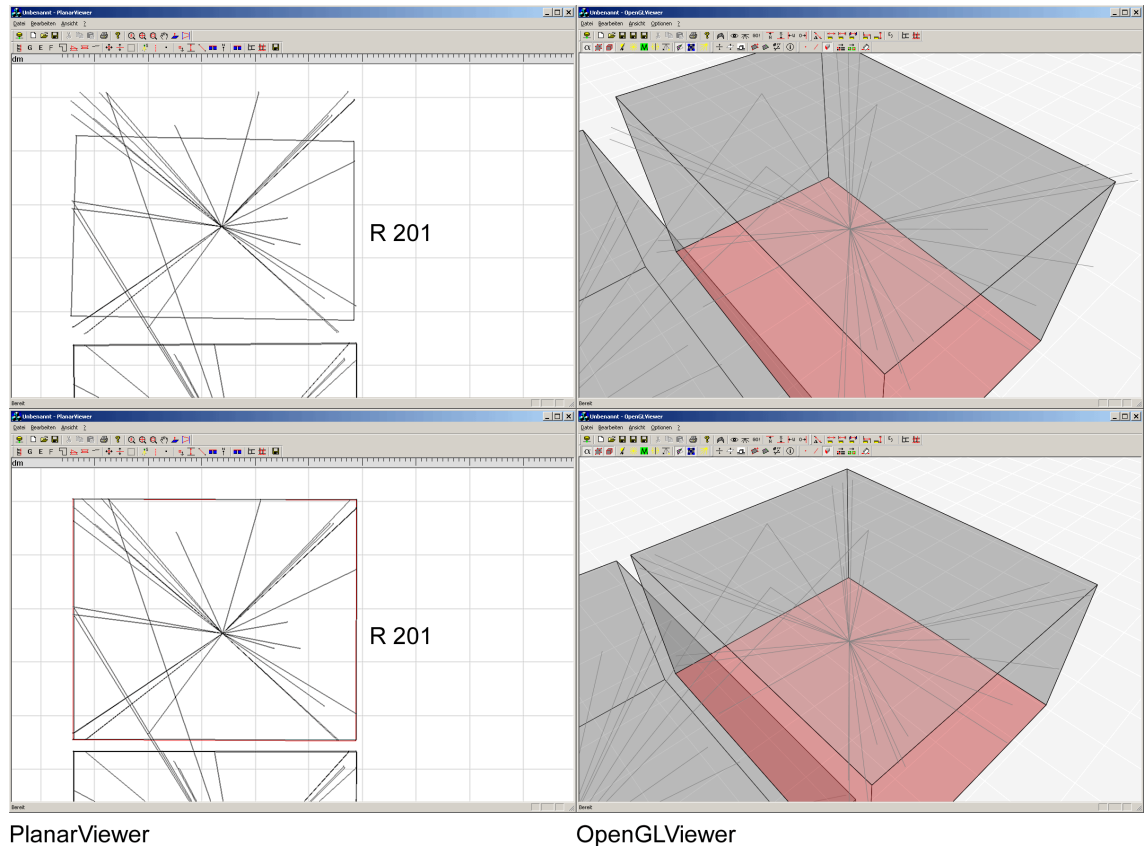


Abb. A.43.: Zweiter Raum vor und nach Ausgleichung

Der nächste Standort wird nun direkt mittels Reflektor erfaßt. Nachdem der Standort im Modell angelegt wurde, wird im Tachymeterassistenten seine Erfassung mittels des Buttons „Station“ initiiert. Der Tachymeterassistent schaltet das Tachymeter auf Infrarotmessung um und meldet dies in einem Dialog. Anschließend erwartet der Assistent die Auslösung der Messung am Tachymeter. Nach der Messung schaltet der Assistent das Tachymeter wieder auf eine reflektorlose Messung mittels Laser zurück und meldet auch dies.

Nach der Einrichtung des neuen Tachymeterstandortes wird um diesen der Raum R 203 skizziert und nach der schon bekannten Arbeitsweise maßlich erfaßt (siehe Abbildungen A.44 und A.45).

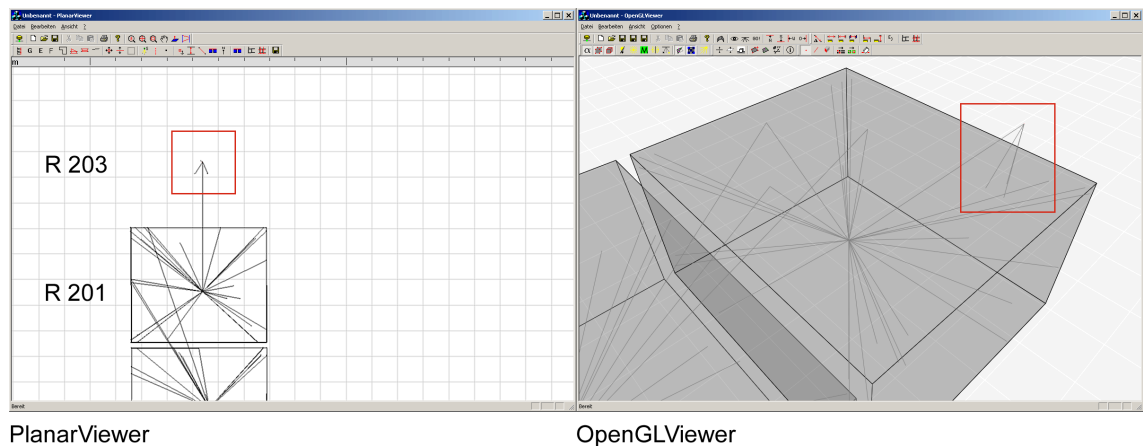


Abb. A.44.: Einrichtung eines neuen Tachymeterstandortes für den dritten Raum

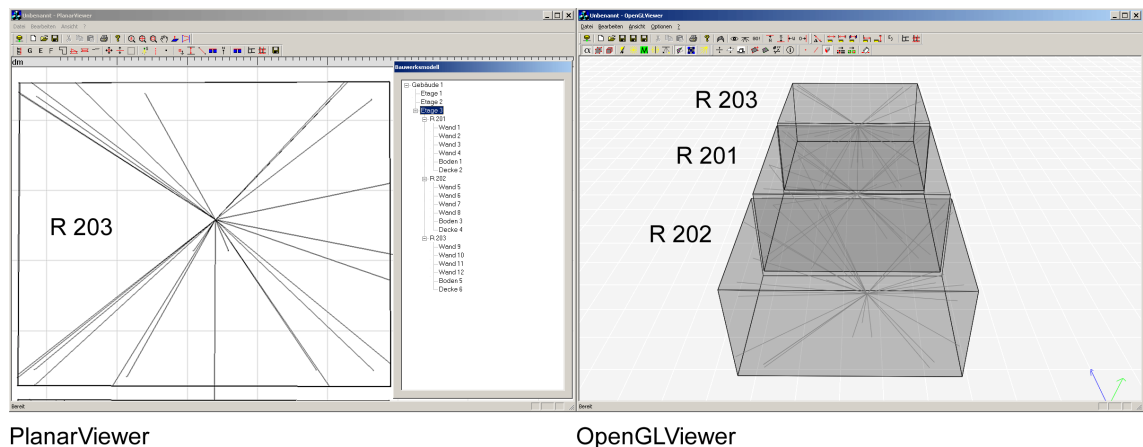


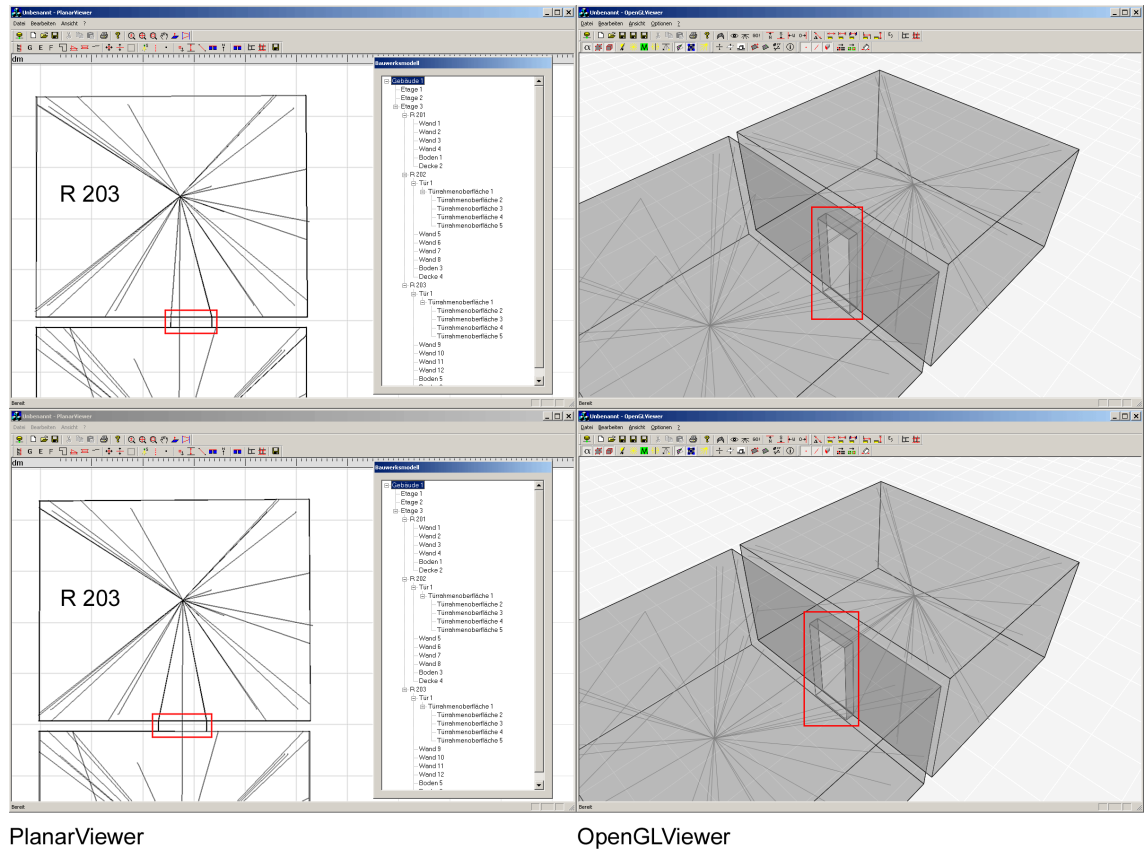
Abb. A.45.: Dritter Raum nach Ausgleichung

Eine weitere Möglichkeit, den Standort eines Tachymeters anzugeben, ist eine Positionierung des Tachymeters über einer Meßmarke. In dem OpenGLViewer kann die Position des Standortes als über der Meßmarke befindlich mittels der Icons „Horizontale Distanz“ (=Höhe) und „Vertikale Distanz“ (=0) nachmodelliert werden.

Als letzter Schritt soll eine Möglichkeit betrachtet werden, Öffnungen wie Türen oder Fenster mittels des Tachymeters einzumessen. In den meisten Fällen erweist es sich als schwierig, alle Innenleibungen einer Tür oder eines Fensters mit dem Laser des Tachymeters direkt zu erfassen. Es wird daher eine andere Methode gewählt. Die sichtbaren vorderen Eckpunkte der Öffnung werden mit dem Tachymeter anvisiert und nur über die Winkelwerte, also ohne Entfernungsmessung, erfaßt. Die Leibungsflächen werden dagegen über die geometrischen Abstraktionen Parallelität und Rechtwinkligkeit beschrieben.

Zunächst wird zwischen den Räumen R 201 und R 203 mittels des PlanarViewers eine Tür eingefügt. Anschließend werden die sichtbaren Eckpunkte der Tür nacheinander selektiert und mit Hilfe der Funktion „Richtung“ des Tachymeterassistenten nur in ihren Winkeln aufgenommen. Nun müssen noch die geometrischen Filter gesetzt werden. Dies kann sowohl über den PlanarViewer als auch über den OpenGLViewer erfolgen. Anschließend kann eine neue Ausgleichung gestartet werden.

Nach der Ausgleichung können mittels der Check-Funktion die sichtbaren Eckpunkte der Öffnung und der Raumboflächen geprüft werden. Im OpenGLViewer wird jeweils ein Punkt selektiert. Anschließend wird im Tachymeterassistenten die Funktion „Check“ aufgerufen. Wird ein Motortachymeter verwendet, so fährt dieser die berechnete Position des Eckpunktes an. Nach dem Einschalten des sichtbaren Lasers kann auf einfache Weise das geometrische Abbild mit der Realität verglichen werden.



PlanarViewer

OpenGLViewer

Abb. A.46.: Eine Tür wird eingefügt und aufgemessen



Abb. A.47.: Überprüfung der berechneten Eckpunkte

B. Testdateien

Auf der beiliegenden CD wurden zur Präsentation neben den unter Anhang A beschriebenen Prototypen auch Testdateien abgelegt, welche spezielle Problematiken verdeutlichen sollen. Diese sind in zwei Gruppen geteilt, in

- interaktive Beispiele und
- Testaufmaße.

Die interaktiven Beispiele dienen dazu, einige ausgesuchte, ergänzende Aspekte des Systemverhaltens zu zeigen, welche von den in Abschnitt A.6 aufgeführten Beispielszenarien und den folgenden Testaufmaßen nicht vermittelt werden. Sie sind zur aktiven Beschäftigung mit den beigelegten Prototypen gedacht. Die anschließend aufgeführten Testbeispiele besitzen hingegen mehr informativen Charakter.

B.1. Interaktive Beispiele

B.1.1. Symmetrien und Blockkopien

Das folgende Beispiel demonstriert das Verhalten der in Abschnitt 6.4 beschriebenen Pseudobeobachtungen zur Modellierung von Symmetrien und Blockkopien.

Das File „Test_Symmetrie.dbk“ enthält drei Polygone, wie in Abbildung B.1 erkennbar. Das mittlere Polygon dient als Spiegelebene des linken und rechten Polygons. Manipulieren Sie Form und Position der Polygone und starten Sie Ausgleichungen. Das System versucht, die Symmetrie wiederherzustellen.

Das File „Test_Blockkopien.dbk“ enthält zehn Polygone, wie in Abbildung B.2 erkennbar. Ein Polygon („Original“) dient als Referenzobjekt für alle anderen Polygone („Kopien“). Manipulieren Sie Form und Position der Polygone und starten Sie Ausgleichungen. Das System versucht, alle Polygone in gleicher Form zu halten.

Ein Problem bei der jetzigen Lösung von Symmetrien und Blockkopien liegt darin, daß bei sehr schlechten Näherungswerten zu Beginn der Ausgleichung das System als beste Lösung alle Punkte einer Symmetriegruppe oder Blockkopie in einen Punkt zusammenziehen kann. Es sollten daher bei den Testläufen gegebenenfalls Abstandswerte zwischen den Punkten eingeführt werden.

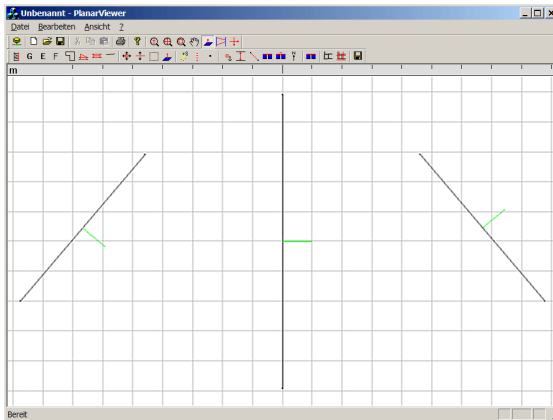


Abb. B.1.: Testbeispiel Symmetrie

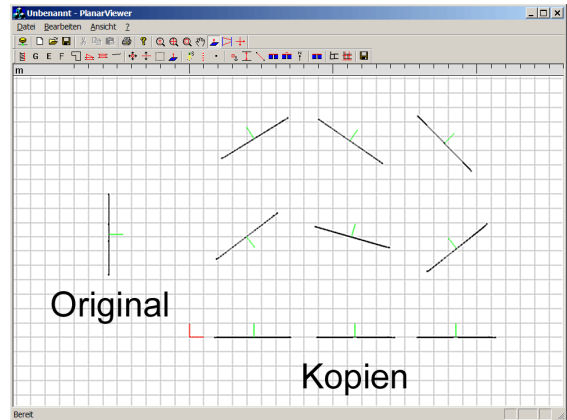


Abb. B.2.: Testbeispiel Blockkopien

B.1.2. Gemeinsame Normalenvektoren

Das Testfile „Test_gemeinsame_Normalenvektoren.dbk“ greift einen der Ansätze von [Gielsdorf02] auf, Abstraktionen über Datenstrukturen, wie gemeinsame Normalenvektoren, abzubilden. Das File enthält einen quaderförmigen Raum, dessen jeweils gegenüberliegende Oberflächen einen gemeinsamen Normalenvektor besitzen. Das Testfile sollte mit Abstraktionen und Meßwerten versehen und die Reaktion mit einem Raum ohne gemeinsame Normalenvektoren, aber sehr stark gewichteter Parallelität, verglichen werden.

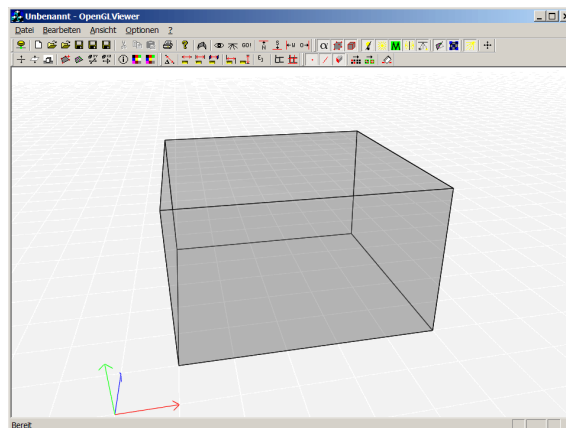


Abb. B.3.: Testbeispiel gemeinsame Normalenvektoren

B.1.3. Simulation Geometrieabgleich

Das folgende Testbeispiel „Test_Geometrieabgleich.dbk“ illustriert die Kopplung zwischen Geometriemodell und dynamischen Bauwerksmodell mittels Beobachter. Dabei handelt es sich jedoch um eine Simulation, das Konzept der Beobachter wurde zum Zeitpunkt der Fertigstellung dieser Arbeit nicht prototypisch implementiert. Die Simulation koppelt jedoch, wie im Konzept beschrieben, Geometriemodell und Bauwerksmodell mittels Verbesserungsgleichungen.

Für das Beispiel wird das Testfile „Test_Geometrieabgleich.dbk“ in den Server geladen. Anschließend müssen folgende Tools gestartet und mit dem Server verbunden werden:

- OpenGLViewer
- MVS-Viewer
- MVS-Geometry-Adapter (MVS_Geometry_Adapter_d.exe)

Das letztere Tool übernimmt die eigentliche Simulation.

Das im MVS-Viewer sichtbare dynamische Bauwerksmodell enthält eine Klasse „Stütze_Massivbau_Quaderförmig“. Diese enthält u.a. die Attribute:

- Höhe-gelesen
- Breite-gelesen
- Tiefe-gelesen

Jedes der Attribute stellt ein Beobachterobjekt dar und besitzt die Attribute „Länge“ und „Schreiben“. Ist das Attribut „Schreiben“ auf „false“ gesetzt, so wird der Wert von „Länge“ durch das Geometriemodell bestimmt. Nach einer Änderung von „Schreiben“ auf „true“ versucht das Ausgleichungsmodell, das Geometriemodell dem Wert von „Länge“ anzupassen. Manipulieren Sie die Stütze im Geometriemodell und beobachten Sie die Aktualisierung der Beobachterobjekte im Bauwerksmodell. Stellen Sie testweise die Attribute „Schreiben“ auf „true“ und beobachten Sie das veränderte Verhalten des Systems bei Geometrieänderungen. Geben Sie selbst neue Werte für die Attribute „Länge“ vor.

Die Simulation ist prototypisch sehr instabil, es ist dringend anzuraten, am Geometriemodell zunächst nur kleine Bewegungen vorzunehmen.

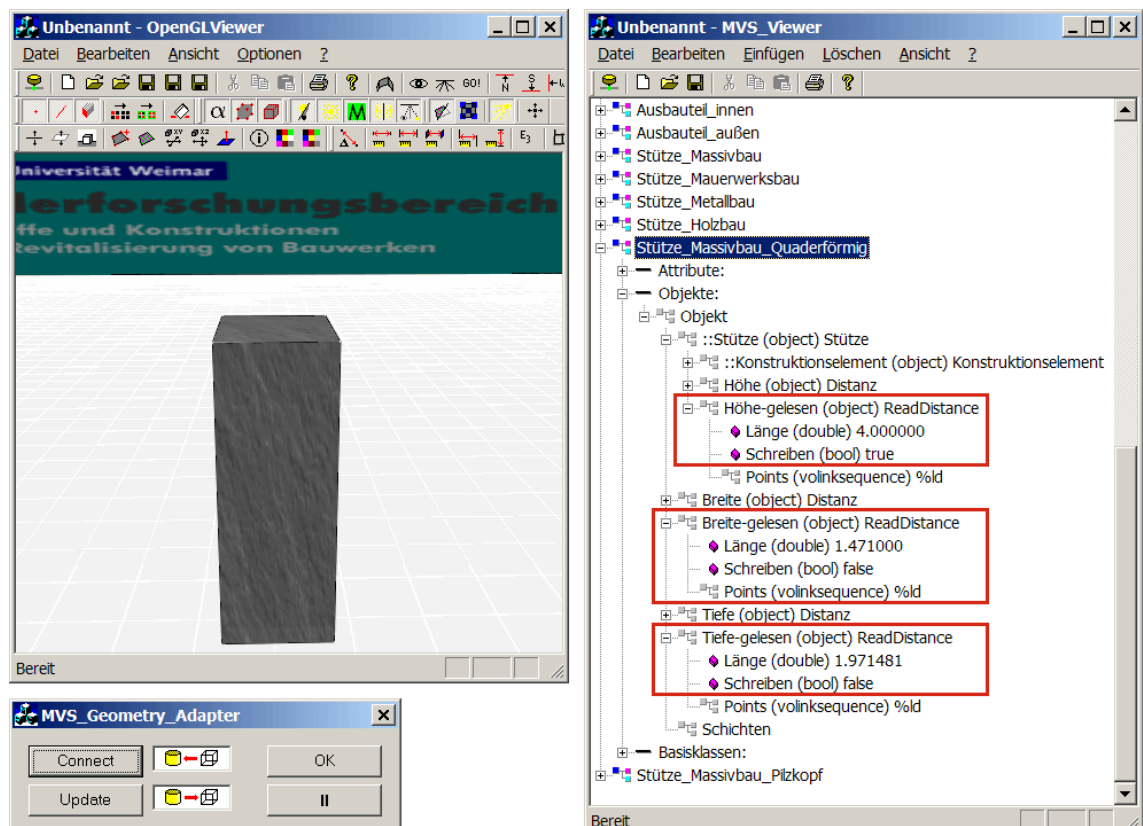


Abb. B.4.: Simulation Geometrieabgleich

B.2. Testaufmaße

B.2.1. Handaufmaß Belvederer Allee 1, 2. OG

Das Verzeichnis „Test Belvederer Allee 1“ enthält verschiedene Zwischenstände eines händischen Testaufmaßes von Arbeitsräumen des Lehrstuhles „Informatik in der Architektur“. Das Aufmaß wurde größtenteils in 2D durchgeführt, das Geometriemodell ist jedoch dreidimensional.

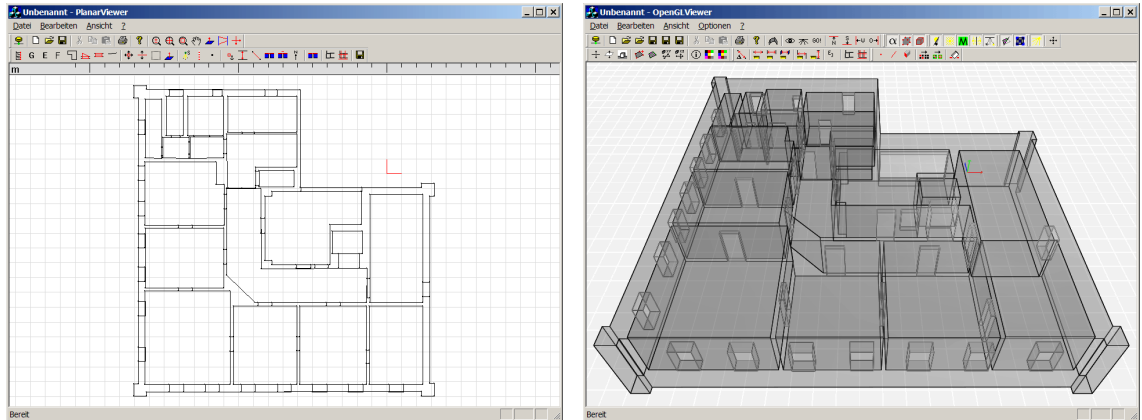


Abb. B.5.: Handaufmaß Belvederer Allee 1, 2.OG

B.2.2. Tachymeteraufnahme

Das Verzeichnis „Test Tachymeteraufnahme“ enthält verschiedene Zwischenstände des Abschnitts A.6.3.

B.2.3. Kombination von Handaufmaß, Tachymetrie und Photogrammetrie

Das Verzeichnis „Test Handaufmaß Tachymetrie und Photogrammetrie“ enthält verschiedene Zwischenstände eines Testbeispiels, welches einen in Kombination von Abstraktionen, Handaufmaß, Tachymetrie und Photogrammetrie aufgenommenen Raum zeigt (Raum 201, siehe Abschnitt A.6.1). Die Aufnahme einer Wandoberfläche des Raumes wird unentzerrt im System vorgehalten. Die scheinbare Entzerrung der Aufnahme wurde so realisiert, daß hierzu Parameter der Texturierung von OpenGL genutzt werden, es wird kein entzerrtes Zwischenbild erstellt. Diese Vorgehensweise ist noch nicht ausgereift.

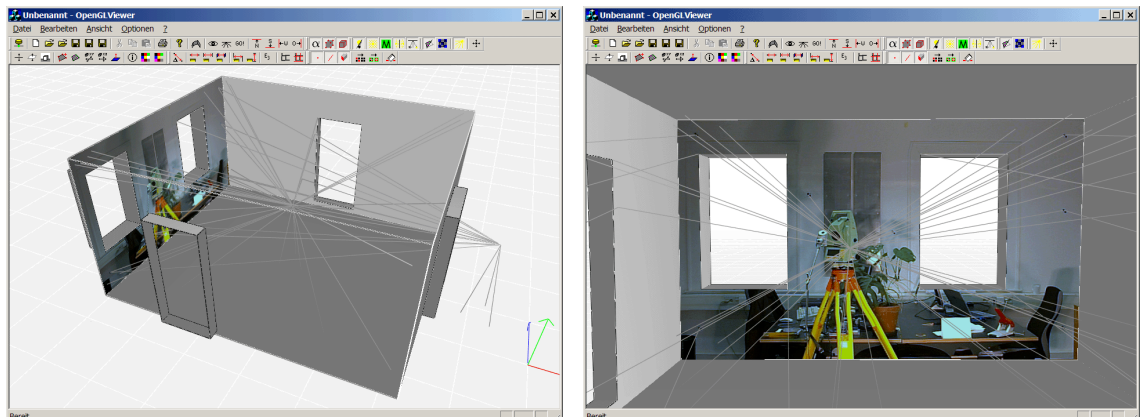


Abb. B.6.: Kombination von Handaufmaß, Tachymetrie und Photogrammetrie

C. Wissenschaftlicher Lebenslauf

Name	Torsten Thurow
Anschrift	99423 Weimar, Trierer Straße 56
Tätigkeit	Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Professur „Informatik in der Architektur“ (Prof. Dr.-Ing. D. Donath), Fakultät Architektur, Bauhaus Universität Weimar
1990	Abitur an der EOS „Arnoldi“ in Gotha
1993 - 1995	Grundstudium der Informatik an der Technischen Universität Ilmenau
1995 - 2000	Hauptstudium der Informatik an der Bauhaus-Universität Weimar
2000	Diplomabschluß (Prädikat: gut), Thema: „Konzeption eines flexiblen, bauteilorientierten, tachymetrischen Aufmaßsystems“
seit 2000	Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Professur „Informatik in der Architektur“ (Prof. Dr.-Ing. D. Donath), Fakultät Architektur, Bauhaus Universität Weimar
seit 2000	Mitarbeit im Sonderforschungsbereich 524 „Werkstoffe und Konstruktionen für die Revitalisierung von Bauwerken“

D. Eigene Veröffentlichungen

- 2000 Donath, D., Petzold, F., Tscherepanow, R., Thurow, T.:
Geometrieabbildung in der planungsrelevanten Bauaufnahme
In: Hempel, L. (Hrsg.), IKM 2000 proceeding CD-ROM Ausgabe, Weimar, 2000
- Donath, D., Liedtke, M., Petzold, F., Thurow, T.:
Geometrieerfassung und -abbildung in der Bestandsaufnahme
In: Hanff, J., Kapsarek, E., Ruess, M., Schutte, G. (Hrsg.), Forum für Bauinformatik 2000 - Junge Wissenschaftler forschen, VDI Verlag, Düsseldorf, 2000, S. 68-76
- 2001 Thurow, T., Donath, D., Petzold, F.:
Geometrieerfassung und -abbildung in der Bestandsaufnahme
In: Romberg, R., Schulz, M. (Hrsg.), Forum für Bauinformatik 2001 - Junge Wissenschaftler forschen, VDI Verlag, Düsseldorf, 2001, S. 260-267
- 2002 Thurow, T., Donath, D.:
Vision eines mitwachsenden Geometriemodells für die computergestützte Bauaufnahme,
In: Bilek, J. (Hrsg.), Forum für Bauinformatik 2002 - Junge Wissenschaftler forschen, VDI Verlag, Düsseldorf, 2002, S. 9-15
- Donath, D., Petzold, F., Richter, K., Thurow, T., Weferling, U.:
Ergebnisbericht Teilprojekt D2 (Donath) „Bauplanungsrelevantes digitales Gebäudeaufnahme- und Informationssystem“
In: Arbeits- und Ergebnisbericht für die 1. Förderperiode 01.07.1999 bis 30.06.2002, Weimar, 2002, S. 317-362
- Donath, D., Petzold, F., Richter, K., Thurow, T., Weferling, U.:
Antrag Teilprojekt D2 (Donath) „Bestandsorientierte Unterstützung der Planung - Werkzeuge und Methoden für die Bauaufnahme“
In: Finanzierungsantrag für die 2. Förderperiode 07.02 bis 06.05, Band 2, Weimar, 2002, S. 459-498
- 2003 Thurow, T., Petzold, F., Weferling, U.:
Vision eines mitwachsenden Geometriemodells für die computergestützte Bauaufnahme
In: Gürlebeck, K., Hempel, L., Könke, C. (Hrsg.), IKM 2003 proceeding CD-ROM Ausgabe, ISSN 1611-4086, Weimar, 2003
- Thurow, T., Donath, D.:
Geometrieerfassung und -abbildung in der Bestandsaufnahme
In: Kaapke, K., Wulf, A. (Hrsg.), Forum für Bauinformatik 2003 - Junge Wissenschaftler forschen, Shaker Verlag, Aachen, 2003, S. 335-349

- 2004 Thurow, T., Donath, D.:
*A vision of an adaptive geometry model for computer-assisted building
surveying*
Angenommener Beitrag für ICCCBE-X 2004

Abbildungsverzeichnis

1.1. Schematische Darstellung des Aufbaus der Arbeit	10
2.1. Modellierungsschema (nach [Weferling01])	12
2.2. Informationsfilterung und Hintergrundwissen	13
2.3. Foto und interpretierende Skizze (beide [Schmidt89])	14
2.4. Orientierungsplan [Schmidt89]	18
2.5. Beispieleintrag aus dem Raumbuch [Schmidt89]	19
2.6. Mauerwerksverband [Pfeifer01]	20
2.7. Übergang zwischen Wand und Zwischendecke [Pfeifer01]	20
3.1. Teilprozesse in der Bauaufnahme [Petzold01]	21
3.2. Bauaufnahme als zyklischer Prozeß [Donath02]	22
3.3. Schlauchwaage 1910 [Staatsmann10]	24
3.4. Repetitionstheodolit [Staatsmann10]	25
3.5. Grundprinzip Tachymetrie [Leica97]	26
3.6. Aufnahmenetz für eine Wohnung [Runne92]	27
3.7. Rückkonstruktion 1910 [Staatsmann10]	28
3.8. Aufnahme einer Fassade des Lehrstuhlgebäudes und eine Entzerrung (InfAR 2003)	28
3.9. Abwicklung eines Turms [TU Berlin03/2]	29
3.10. Mittels der Applikation PhotoModeler erstellte Ansicht der Kirche von Teutleben (InfAR 2003)	29
3.11. Ergebnis eines Laserscanns	31
3.12. Modellfehler durch geometrische Abstraktion am Beispiel eines Grundrisses	33
3.13. Modellierung durch Messungen am Beispiel eines Grundrisses	34
3.14. Symmetrien und Wiederholungen an einem Bauwerk (Weimar, Wieland- platz 2003)	36
3.15. Kontrollmessungen	37
4.1. Tablet-PC mit Experimentalplattform bei einem Handaufmaß (InfAR 2003)	41
4.2. Maßstab, Meß- und Darstellungsgenauigkeit [Wangerin92]	41
5.1. Vergleich der Geometrieentstehung in der Bauplanung und Bauaufnahme .	55
5.2. Parametrische Produktbeschreibung ([Anderl03])	59
5.3. 3D-Geometrie skizzenbasiert mit SketchUp erstellt	61
5.4. Problematik Öffnungen	61
5.5. Problematik Flächensemantik	62
5.6. Schrittweise maßliche Anpassung eines Raumumrisses	66
5.7. Zielstellung Ausgleichsrechnung	68
5.8. Mehrdeutigkeiten bei reinen Meßwerten	69
5.9. Beispiel für die Anwendung des Orthogonalverfahrens vor und nach Aus- gleichung	69
5.10. Beispiel für die Anwendung des Einbindeverfahrens vor und nach Ausgleichung	70

5.11. Geometrieerstellung und -aufmaß in jeweils einem Schritt	71
5.12. Verschiedene Tools mit gemeinsamer Datenbasis	73
6.1. Überblick über 3D-Modelle (nach [Grätz89])	77
6.2. Facettenmodell	77
6.3. 3D-Sicht und grundrißorientierte Sicht (Plattform Freak, siehe S. 151) . . .	79
6.4. Gruppierungen	84
6.5. Koordinatensystem dieser Arbeit	86
6.6. Ausgleichsebenen über die Eckpunkte eines Würfels	90
6.7. Parallelität zwischen Vektoren	91
6.8. Rechtwinkligkeit zwischen zwei Vektoren	92
6.9. Waagrecht verlaufende Ebene	93
6.10. Senkrecht verlaufende Ebene	94
6.11. Ebenensymmetrie	96
6.12. Winkel mit gleichem Betrag	97
6.13. Winkel am Tachymeter [Leica01/2]	98
6.14. Drehungen um die Achsen in einem Kardangehänge [Kraus94]	101
6.15. Zentralprojektion	102
6.16. Verschiedene Distanzen zwischen nicht parallelen Strecken	105
6.17. Abstand zwischen zwei Polygonen	106
6.18. Konfigurationsdefekte in Netzen	107
6.19. Veränderungen an der Geometrie durch neue Beobachtungen	107
6.20. Verfahren zur Beseitigung von Datumsdefekten (nach [Pelzer85])	110
6.21. Farbliche Aufdeckung von groben Meßfehlern	111
7.1. Datenhaltung Meßwerte	116
7.2. Datenhaltung tachymetrischer Messungen	116
7.3. Flächenmodell Belvederer Allee 1, 2. OG, erstellt mittels der Plattform Freak (siehe S. 151)	120
7.4. Grundformen der Grenzflächen	121
7.5. Alternative Wanddefinitionen	122
7.6. Oberflächen von Räumen und Bauteilen	123
7.7. Beziehungen zwischen Räumen, Bauteilen und Flächen	124
7.8. Klassenbeschreibung Beobachter	125
7.9. Beispiele für Fensterparameter	126
7.10. Detaillierung an einem Raum	127
7.11. Detaillierung topologisch betrachtet	128
7.12. Komplexe Gruppenbildung	129
7.13. Geometriemodell des Raumes und selektierter Eckpunkt	131
7.14. Vom Motortachy angefahrene und mittels Laser gekennzeichnete Punktpo- sition aus dem Geometriemodell	131
7.15. Ausgewählte Beispielwand	132
7.16. Flächenzuordnung	132
7.17. Flächenzuordnung aus 3D-Sicht	133
7.18. Vererbungshierarchie Wand	133
7.19. Einführung einer Wanddicke	134
7.20. Einführung von Wandlänge und Wanddicke	134
7.21. Defaultgeometrie am Beispiel einer Stütze	135
7.22. Einbringung der Defaultgeometrie	136
7.23. Zerlegung eines Baukörpers	136
7.24. Problemstellung der Gruppenbildung	137

8.1. Geometriedetaillierung bei Bauteilabstraktionen	147
A.1. Prototyp Verschneidealgorithmus	148
A.2. Prototyp Handaufmaß98	149
A.3. Prototyp SAM	150
A.4. Prototyp Freak 2000	150
A.5. Bibliotheken in Freak	152
A.6. GUI Server 4	153
A.7. Schnellstartleiste	154
A.8. GUI PlanarViewer nach dem Start	154
A.9. Dialog zur Verbindung mit dem Server	155
A.10. Toolbar PlanarViewer	155
A.11. Dialog für Ausgleichsrechnung (plattformübergreifender Dialog)	158
A.12. Dialog für geometrische Filter (plattformübergreifender Dialog)	160
A.13. GUI OpenGLViewer nach dem Start	162
A.14. Toolbars des OpenGLViewers	162
A.15. GUI Tachyassistent	166
A.16. Dialog Einstellungen Datentransfer	167
A.17. MVS-Viewer nach dem Start	168
A.18. Beispielbaum	169
A.19. Belvederer Allee 1: Ostseite	171
A.20. Belvederer Allee 1: Raum R201	171
A.21. Belvederer Allee 1: Raum R202	171
A.22. Belvederer Allee 1: Raum R203	171
A.23. Grundriß Belvederer Allee 1, 2.OG	172
A.24. PlanarViewer mit geöffnetem Dialogfeld für Bauwerksmodell	174
A.25. Anlegen des Bauwerkmodells 1	174
A.26. Anlegen des Bauwerkmodells 2	175
A.27. Ersten Raum anlegen	175
A.28. Alle Räume angelegt	176
A.29. Alle Türen angelegt	176
A.30. Dialogfelder für geometrische Filter, Ausgleichung und Kantendistanz	177
A.31. Erste Ausgleichung	177
A.32. Erster Raum aufgemessen und ausgeglichen	178
A.33. Erste Tür vermessen und ausgeglichen	178
A.34. Zweiter Raum vermessen und ausgeglichen	179
A.35. Dritter Raum ausgeglichen	179
A.36. Mit Experimentalplattform aufgenommenes Geschoß (2. OG, Belvederer Allee 1, Bauhaus Universität Weimar), Grundrißsicht im Tool „PlanarViewer“	180
A.37. Tools nach dem Start	182
A.38. Entstehung des Bauwerkmodells	182
A.39. Geometrieansichten der Viewer	183
A.40. Geometrie vor und nach erster Ausgleichung	185
A.41. Erstellung eines zweiten Raumes	186
A.42. Einrichtung des neuen Standortes über Paßpunkte (freie Stationierung)	186
A.43. Zweiter Raum vor und nach Ausgleichung	187
A.44. Einrichtung eines neuen Tachymeterstandortes für den dritten Raum	188
A.45. Dritter Raum nach Ausgleichung	188
A.46. Eine Tür wird eingefügt und aufgemessen	189
A.47. Überprüfung der berechneten Eckpunkte	189

B.1. Testbeispiel Symmetrie	191
B.2. Testbeispiel Blockkopien	191
B.3. Testbeispiel gemeinsame Normalenvektoren	191
B.4. Simulation Geometrieabgleich	192
B.5. Handaufmaß Belvederer Allee 1, 2.OG	193
B.6. Kombination von Handaufmaß, Tachymetrie und Photogrammetrie	193

Literaturverzeichnis

- [Anderl03] Anderl, R.: *Produktdatentechnologie A, CAD-Systeme und CAX-Prozessketten*, Skript zur Vorlesung, Technische Universität Darmstadt, http://www.dik.maschinenbau.tu-darmstadt.de/deutsch/lehre/prj_pdt_a/pdfs/PDTA_Teil1.pdf bis .../PDTA_Teil3.pdf (Stand 06.08.2003)
- [Bathe86] Bathe, K.: *Finite-Elemente-Methoden*, Springer Verlag, Berlin/Heidelberg, 1986
- [Brockhaus01] Paulick, S.: *Der Brockhaus in einem Band*, 2001
- [Brüderlin03/1] Brüderlin, B.: *Research: Sketch-based Design*, Technische Universität Ilmenau, Fachgebiet Graphische Datenverarbeitung, <http://rabbit.prakinf.tu-ilmenau.de/qs sketch.html> (Stand 07.08.2003)
- [Brüderlin03/2] Brüderlin, B.: *Research: Conceptual Design*, Technische Universität Ilmenau, Fachgebiet Graphische Datenverarbeitung, <http://rabbit.prakinf.tu-ilmenau.de/modres.html> (Stand 07.08.2003)
- [Brüderlin03/3] Brüderlin, B.: *Research: Collaborative Design*, Technische Universität Ilmenau, Fachgebiet Graphische Datenverarbeitung, <http://rabbit.prakinf.tu-ilmenau.de/colldes.html> (Stand 07.08.2003)
- [Cramer93] Cramer, J.: *Handbuch der Bauaufnahme*, 2. überarbeitete Auflage, Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart, 1993
- [Donath88] Donath, D.: *Untersuchungen zur anwenderspezifischen Kommunikation und Modellierung im computergestützten Architektorentwurf*, Dissertation an die Hochschule für Architektur und Bauwesen Weimar, Weimar, 1988
- [Donath97/1] Donath, D., Petzold, F.: *Zukünftige Techniken in der architektonischen Planungspraxis*. New Technologies in the architectural planning process. Internationales Kolloquium über Anwendungen der Informatik und Mathematik in Architektur und Bauwesen (IKM) 1997, Bauhaus Universität Weimar, 2/97, hrsg. v. L. Hempel, Hochschulverlag (University Press Weimar), Weimar, 1997, <http://www.uni-weimar.de/%7eikm/PROC97/DOCS/076/INDEX.HTM> (Stand 21.10.2003)
- [Donath97/2] Donath, D., Grützmaker, A., Krause, H., Maye, H. G., Petzold, F.: *Abschlußbericht des Verbundprojektes „GebIS“* -

- (Gebäude-Informationssystem): System zur strukturierten Erfassung, Aufarbeitung, Verwaltung und Nutzung digitaler Gebäudeinformationen, Weimar, 1997
- [Donath97/3] Donath, D., Petzold, F.: *From Digital Building surveying to an Information System*, in: Proceedings ECAADE 97, Technische Universität Wien, 9/97, hrsg. v. J. Breit, Wien, 1997, <http://info.tuwien.ac.at/ecaade/proc/donath/donath.htm> (Stand 26.11.2003)
- [Donath00] Donath, D., Petzold, F., Tscherepanow, R., Thurow, T.: *Geometrieabbildung in der planungsrelevanten Bauaufnahme / Geometric Modelling in digital building survey* in: Proceedings of IKM 2000 conference, Bauhaus Universität Weimar, Weimar, 2000
- [Donath02] Donath, D.: *Bauplanung im Kontext der digitalen Bestandserfassung - Planungssysteme im Bestand & Techniken der Bauaufnahme*, in: VDI-Gesellschaft Bautechnik(ed.): VDI - Bericht 1668 - Bauen mit Computern: Kooperation in IT Netzwerken, Düsseldorf, 2002, S. 481-492
- [Donath03] Donath, D.: *Architekturplanung im Bestand - Plausibilitätsunterstützung durch Bestandserfassung und -planung vor Ort*, Internationales Kolloquium über Anwendungen der Informatik und Mathematik in Architektur und Bauwesen (IKM) 2003, Bauhaus Universität Weimar, 2003
- [Gelhaus97] Gelhaus, R., Kolouch, D.: *Vermessungskunde für Architekten und Bauingenieure*, Werner Verlag GmbH, Düsseldorf, 1997
- [Gielsdorf02] Gielsdorf, F., Gründig, L.: *Geometrische Modellierung für Facility Management Systeme*, in: Forum Bauinformatik 2002, Junge Wissenschaftler forschen, hrsg. v. J. Bilek, VDI Verlag GmbH, Düsseldorf, 2002, S. 1-8
- [Grätz89] Grätz, J.: *Handbuch der 3D-CAD-Technik (Modellierung mit 3D-Volumensystemen)*, Siemens Aktiengesellschaft, Berlin/München, 1989
- [Grether01] Grether, K.: *Konzeption und Entwurf eines technischen Systems zur entwurfbezogenen-planerischen Bearbeitung von Bauwerken im Bestand*, Diplomarbeit an die Bauhaus Universität Weimar, Weimar, 2001
- [Grimm86] Grimm, Frank, Giger: *Distanzmessung nach dem Laufzeitverfahren mit geodätischer Genauigkeit*, Wild Heerbrugg AG, Heerbrugg, 1986
- [Heine02] Heine, K.: *Geodätische Grundlagen*, http://www.uni-leipzig.de/vermessung/Scripte/geod_grund.pdf (Stand 09.07.2002)
- [Illner85] Illner, I.: *Datumfestlegung in freien Netzen*, Verlag der Bayerischen Akademien der Wissenschaften, München, 1985
- [Kampmann89] Kampmann, G.: *Zur Ausgleichung freier Netze mit der L1-Norm Methode*, Allgemeine Vermessungs-Nachrichten, 96, S. 110-118, 1989

- [Kehne88] Kehne, G.: *Beiträge zum Einsatz tachymetrischer Verfahren bei der Bauaufnahme*, Dissertation an den Fachbereich für Bauingenieur- und Vermessungswesen der Technischen Universität Carolo Wilhelmina zu Braunschweig, Braunschweig, 1988
- [Kielbasinski88] Kielbasinski, A., Schwetlick, H.: *Numerische lineare Algebra*, VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin, 1988
- [Kraus94] Kraus, K.: *Photogrammetrie, Band 1: Grundlagen und Standartverfahren*, Dümmler Verlag, Bonn, 1994
- [Kraus96] Kraus, K.: *Photogrammetrie, Band 2: Verfeinerte Methoden und Anwendungen*, Dümmler Verlag, Bonn, 1996
- [Kretzschmar94] Kretzschmar, H., Donath, D.: *Computergestuetzte Bauplanung*, Verlag für Bauwesen, Berlin, 1994
- [Laasonen01] Laasonen, M.: *Computer-based generation of wall elements between measured spaces of building*, Dissertation an die Tampere University of Technology, Tampere, 2001
- [Leica97] Leica Geosystems: *Quick Start TPS - System 1000, Version 2.2, Deutsch*, Leica Geosystem AG, Heerbrugg, 1997
- [Leica01/1] Leica Geosystems: *Gebrauchsanweisung TPS1100 Professional Series, Version 2.1, Deutsch*, Leica Geosystem AG, Heerbrugg, 2001
- [Leica01/2] Leica Geosystems: *Gebrauchsanweisung T105/T110, Version 1.1, Deutsch*, Leica Geosystem AG, Heerbrugg, 2001
- [Lömker03] Lömker, T.: *Plausibilität im Planungsprozess - Digitale Planungshilfen für die Bebaubarkeit von Grundstücken*, Internationales Kolloquium über Anwendungen der Informatik und Mathematik in Architektur und Bauwesen (IKM) 2003, Bauhaus Universität Weimar, 2003
- [Luhmann00] Luhmann, T.: *Nahbereichsphotogrammetrie - Grundlagen, Methoden und Anwendungen*, Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg, 2000
- [Maniecki83] Maniecki, G.: *Umbau alter Häuser: Konstruktion, Tragverhalten, Berechnung* Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH, Köln-Braunsfeld, 1983
- [Motzek02] Motzek, A.: *Wirtschaftsinformatik I/II*, <http://www.qrst.de/html/bwl/modelle.htm> (Stand 04.03.2002)
- [Müller99] Müller, J.: *Homogenisierung dreidimensionaler Szenarien nach der Methode der kleinsten Quadrate*, Dissertation an das Geodätische Institut der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, Aachen, 1999
- [Niemeier02] Niemeier, W.: *Ausgleichsrechnung*, Walter de Gruyter, Berlin, New York, 2002
- [Pelzer85] Pelzer, H.: *Geodätische Netze in Landes- und Ingenieurvermessung II*, Konrad Wittwer, Stuttgart, 1985

- [Petzold99] Petzold, F.: *Flexmes - ein System zur flexiblen und strukturierten Erfassung von Bausubstanz*, in: Forum Bauinformatik 1999, Junge Wissenschaftler forschen, hrsg. v. T. Kuhn, H.Katz, VDI Verlag GmbH, Düsseldorf, 1999, S. 170-177
- [Petzold01] Petzold, F.: *Computergestützte Bauaufnahme als Grundlage für die Planung im Bestand*, Dissertation an die Bauhaus Universität Weimar, Weimar, 2001
- [Pevsner92] Pevsner, N., Honour, H., Fleming, J.: *Lexikon der Weltarchitektur*, 3. Auflage, Prestel-Verlag, München, 1992
- [Pfeifer01] Pfeifer, G., Ramcke, R., Achtziger, J., Zilch, K., Schätz, M.: *Mauerwerks-Atlas*, Birkhäuser-Verlag, 6. Auflage, Basel, Boston, Berlin, 2001
- [Reißmann76] Reißmann, G.: *Die Ausgleichsrechnung*, VEB Verlag für Bauwesen, Berlin, 1976
- [Runne92] Runne, H., Schärlich, C., Fahlbusch, D.: *Entwicklung eines geodätischen Aufnahmesystems zur Erstellung von Gebäudeplänen unter Anwendung reflektorloser Distanzmessung*, Abschlußbericht zur Forschungsarbeit Schr 346/1-2, Technische Universität Braunschweig, Institut für Vermessungskunde, Braunschweig, 1992
- [Schmidt89] Schmidt, W.: *Das Raumbuch*, Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, München, 1989
- [Schlüter99] Schlüter, M.: *Von der 2 1/2D-zur 3D-Flächenmodellierung für die photogrammetrische Rekonstruktion im Objektraum*, Genehmigte Dissertation an der Technischen Universität Darmstadt, Deutsche Geodätische Kommission bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, München, 1999
- [Schmitz99] Schmitz, H.: *Instandsetzung, Sanierung, Modernisierung, Umnutzung*, 14. Auflage, Verlag für Wirtschaft und Verwaltung Wingen, Essen, 1999
- [Schütz95] Schütz, E.: *Untersuchungen zum Einsatz photogrammetrischer Meßverfahren als integrierter Bestandteil der Generierung eines körperorientierten 3-D-Gebäudemodells*, Diplomarbeit an die Technische Universität Dresden, Dresden, 1995
- [Schwarz97] Schwarz, H.: *Numerische Mathematik* Teubner, Stuttgart, 1997
- [SFB 524/02] Sonderforschungsbereich SFB 524: *Arbeits- und Ergebnisbericht für die 1. Förderperiode 01.07.1999 bis 30.06.2002*, Weimar, 2002
- [SFB 524/03] Sonderforschungsbereich SFB 524: *Antrag zur II. SFB-Förderperiode*, genehmigt 2002, Weimar, 2002
- [Staatsmann10] Staatsmann, K.: *Das Aufnehmen von Architekturen*, Konrad Grethlein's Verlag, Leipzig, 1910
- [Stoppa03] Atelier Michael Stoppa:
<http://www.stoppa-fotos.ch/fotogrammetrie.htm>
(Stand 29.05.2003)

- [Thurow97] Thurow, T.: *Verschneidealgorithmus für die bauteilorientierte Bauaufnahme*, Beleg an der Bauhaus Universität Weimar, Professur Informatik in der Architektur, Weimar, 1997
- [Thurow99] Thurow, T., Tscherepanow, R.: *Konzeption eines flexiblen, bauteilorientierten, tachymetrischen Aufmaßsystems*, Diplomarbeit an der Bauhaus Universität Weimar, Professur Informatik in der Architektur, Weimar, 1999
- [Thurow01] Thurow, T., Donath, D., Petzold, F.: *Geometrieerfassung und -abbildung in der Bestandsaufnahme*, in: Forum Bauinformatik 2001, Junge Wissenschaftler forschen, hrsg. v. R. Romberg, VDI Verlag GmbH, Düsseldorf, 2001, S. 260-267
- [Thurow02] Thurow, T., Donath, D.: *Vision eines mitwachsenden Geometriemodells für die computergestützte Bauaufnahme*, in: Forum Bauinformatik 2002, Junge Wissenschaftler forschen, hrsg. v. J. Bilek, VDI Verlag GmbH, Düsseldorf, 2002, S. 9-15
- [Thurow03/1] Thurow, T., Donath, D.: *Geometrieerfassung und -abbildung in der Bestandsaufnahme*, in: Forum Bauinformatik 2003, Junge Wissenschaftler forschen, hrsg. v. K. Kaapke, A. Wulf, Shaker Verlag GmbH, Aachen, 2003, S. 335-349
- [Thurow03/2] Thurow, T., Donath, D., Petzold, F., Weferling, U.: *Vision eines mitwachsenden Geometriemodells für die computergestützte Bauaufnahme*, Internationales Kolloquium über Anwendungen der Informatik und Mathematik in Architektur und Bauwesen (IKM) 2003, Bauhaus Universität Weimar, 2003
- [TU Berlin03/1] Fachgebiet Photogrammetrie und Kartographie der TU Berlin, *Digitale Entzerrung*, <http://www.fpk.tu-berlin.de/forschung/arch/arbeit/digent/digent.html> (Stand 25.06.2003)
- [TU Berlin03/2] Fachgebiet Photogrammetrie und Kartographie der TU Berlin, *Digitale Abwicklung*, <http://www.fpk.tu-berlin.de/forschung/arch/arbeit/digent/digabw.html> (Stand 25.06.2003)
- [Venzke01] Venzke, M.: *Datenverarbeitung III für Bauingenieure*, <http://www.ti5.tu-harburg.de/EDV3/011122/sld007.htm> (Stand 24.01.2002)
- [Wangerin92] Wangerin, G.: *Bauaufnahme, Grundlagen, Methoden, Darstellung*, Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig/Wiesbaden, 1992
- [Weferling01] Weferling, U.: *Bauaufnahme als Modellierungsaufgabe*, Dissertation an die Brandenburgische Technische Universität Cottbus, Cottbus, 2001
- [Weferling03] Weferling, U.: *CAAD-Spezialkenntnisse - Raumbezug*, Folien zur Lehrveranstaltung CAAD-Spezialkenntnisse, Bauhaus Universität Weimar, Weimar, 2003

-
- [Wender02] Wender, K.: *Interessenbezogene Navigation in komplexen, digital verwalteten Bestandsdaten*, Konzeption eines Auskunftsmoduls innerhalb der planungsbezogenen Bauaufnahme, Diplomarbeit an die Bauhaus Universität Weimar, Weimar, 2002
- [Wolf79] Wolf, H.: *Ausgleichsrechnung* Dümmler Verlag, Bonn, 1979

Copyright-Informationen

In der vorliegenden Arbeit werden mehrfach per Copyright geschützte Markennamen genannt. An dieser Stelle werden die Firmen und ihre Produkte zusammenfassend aufgeführt, bei der Verwendung von Markennamen in der Arbeit wird nicht wiederholt auf das Copyright hingewiesen.

AutoCAD ist eingetragener Markenname der Firma Autodesk©.

Autodesk GmbH
Aidenbachstr. 56
D-81379 München
Deutschland

TachyCAD, hylasFM und PhoToPlan sind eingetragene Markennamen der Firma kubit©.

kubit GmbH
Altplauen 19
D-01187 Dresden
Deutschland

VITRUVIUS ist eingetragener Markenname der Firma VITRUVIUS©.

VITRUVIUS GmbH
Schillerstraße 17
D-99423 Weimar
Deutschland

SketchUp ist eingetragener Markenname der Firma Last Software©.

Last Software, Inc
2019 10th Street
Boulder, CO 80302
303-245-0086

Palladio ist eingetragener Markenname der Firma acadGraph©.

acadGraph GmbH
Konrad-Zuse-Platz 1
D-81829 München
Deutschland

Photodeler ist eingetragener Markenname der Firma Eos Systems Inc.©.

Corporate Head Office
101 - 1847 West Broadway
Vancouver, British Columbia
Canada V6J 1Y6

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich an Eides Statt, daß ich die vorliegende Dissertationsschrift zum Thema

Digitaler Architekturbestand - Untersuchungen zur computergestützten, schrittweisen Erfassung und Abbildung der Geometrie von Gebäuden im Kontext der planungsrelevanten Bauaufnahme

selbständig und nur unter Verwendung der angegebenen Quellen und Hilfsmittel angefertigt habe. Von mir wurde weder diese noch eine andere Dissertation an einer anderen Hochschule, Universität oder wissenschaftlichen Einrichtung zur Einleitung eines Promotionsverfahrens eingereicht.

Die Arbeit wurde nach der alten Rechtschreibregelung verfaßt.

Ort, Datum

Unterschrift