

Erwin Heine

Die strukturierte Datenerfassung  
und das Visualisierungspotential  
des digitalen Bauwerkmodells

Der Palast von Santa Rosa Xtampak

2. überarbeitete Fassung 2016



Die strukturierte Datenerfassung und das Visualisierungspotential  
des digitalen Bauwerkmodells

Der Palast von Santa Rosa Xtampak

Dissertation zur Verleihung des akademischen Grades  
Doktor der technischen Wissenschaften

an der

Technischen Universität Graz

vorgelegt von

Dipl.Ing. Erwin Heine

Graz, im April 1997

2. überarbeitet Fassung 2016

Zur Information:

In der vorliegenden überarbeiteten Fassung vom Jänner 2016 wurden die angeführten Errata der Originalversion wie folgt berichtigt:

Seite 73, Seite 74 sowie im Anhang:  
Nordpfeilrichtung in den graphischen Darstellungen korrigiert

Seite 93-94  
Abschnitt über die astro-geodätische Bestimmung der Orientierung des Palastes, also dessen lagemäßige Ausrichtung in Bezug auf die astronomische Nordrichtung, hinzugefügt.

Bibliographie entsprechend ergänzt:  
Seite 99: Aveni und Hartung (1986), Seite 106: NOAA (2016)







Sie brauchten nicht etwa erst zu wandern, um die Welt zu betrachten,  
sondern an Ort und Stelle blieben sie, wenn sie Umschau hielten

[Las cosas ocultas las veían todas], sin tener primero que moverse; en  
seguida veían el mundo y asimismo desde el lugar donde estaban lo veían

Popol Vuh, Tercera Parte, Capitulo II - (über die vier Urväter)  
Übersetzung ins Deutsche: Leonhardt Schultze Jena



## Zusammenfassung

Die Schwierigkeiten in der Aufnahme und digitalen 3D-Präsentation komplexer, teilweise verfallener Bauwerkes liegen in der Bestimmung, Abgrenzung und Strukturierung einzelner Architekturelemente.

Die entwickelte Methodik der Bauwerksdokumentation ermöglicht es einerseits, ein Bauwerk in hierarchisch strukturierter Form über architektonische Elemente eindeutig zu beschreiben und andererseits dieses Bauwerkes im Computer als digitales dreidimensionales Flächenmodell, gebildet aus den Grenzflächen der Masse-Elemente, zu rekonstruieren.

Diese Art der Modellbildung ermöglicht es, daß auch ein teilweise verfallenes Objekt, dessen Böden beispielsweise von Schutt bedeckt sind, zu dokumentieren, ohne daß der mit der Dokumentation beauftragte Bearbeiter sich mit der Interpretation über den möglichen weiteren Mauerverlauf oder die Bodenfläche beschäftigen muß.

Dadurch ist eine klare Aufgabentrennung vorgegeben, die dazu beiträgt, die Konsistenz des Datenmaterials zu gewährleisten und die Effizienz dieser Dokumentationsform zu erhöhen.

Durch den Übergang in der Architekturbeschreibung von Masse-Elementen auf deren sichtbare Grenzflächen und somit auf Raumelemente wurde eine Dokumentationsform entwickelt, die nicht nur für Gebäude im herkömmlichen Sinn sondern auch für Höhlensysteme und ähnliche Bauwerke geeignet ist.

Durch die Transformation der hierarchischen Architekturelementestruktur ins Computermodell wurde die Möglichkeit geschaffen, elementespezifische Abfrage in beliebig komplexer Form zu definieren.

Abgesehen von den bereits ausführlich besprochen Visualisierungsmöglichkeiten wurde durch diese Verwaltungsstruktur ein mächtiges Werkzeug zur Bauwerksanalyse geschaffen.

So lassen sich Maßanalysen getrennt nach Elementen oder anderen Kriterien durchführen und ergeben nicht nur aufgrund der präzisen Vermessung, sondern auch wegen der einfachen und raschen Maßselektion und der Möglichkeit der direkten Weiterverarbeitung in Datenbanksystemen und statistischen Analyseprogrammen einen Anstieg der Aussagekraft und Signifikanz.

Dasselbe gilt in der Folge für die Untersuchungen von Ausrichtungen von Bauwerken und Höfen oder beispielsweise auch der Bestimmung von Niveauunterschieden im Zuge einer Bauprozeßuntersuchung.

Als Fallbeispiel für die praktische Verifizierung diente ein Großbauwerk der Maya-Kultur in Mexiko, der *Palast* von Santa Rosa Xtampak. Seine komplexe Architektur und die zum Teil verfallenen Fassaden gelten als repräsentativ für die Problematik der Bauwerksdokumentation in diesem Kulturraum.

Nur durch die vollständige Bearbeitung des Gesamtobjektes mit all seinen Details konnte das Potential und die Effizienz der entwickelten Methodik in den verschiedenen Bearbeitungsstufen beurteilt werden.

Die Forschungsarbeiten umfaßten dabei folgende drei Hauptkomponenten:

1. Dokumentation des Objektes in räumlich exakter, vollständiger und detailgenauer Form durch eine effiziente geodätisch/photogrammetrische Aufnahmemethode und eine umfassende, durch Steuerprogramme geleitete und unterstützte 3D-CAD-Oberflächenmodellierung.

Dabei wird der Detaillierungsgrad beziehungsweise der Informationsgehalt durch Verknüpfung des CAD-Modells mit vorverarbeiteten digitalen Detailbildern des Objekts zusätzlich erhöht.

2. Extraktion von Schnittplänen aus dem digitalen Bauwerkmodell für die nachfolgenden architekturanalytischen Untersuchungen.

Da das verwendete CAD-System eine räumliche Bearbeitung in dieser Art und in diesem Umfang nicht direkt unterstützt, erfolgte die Programmierung der erforderlichen Prozeduren in der systemeigenen Programmiersprache AutoLISP.

3. Visualisierung des Bauwerkes mit High End Computeranimationssystemen zur Präsentation in einer anschaulichen und verständlichen Form.

Dazu zählen hochqualitativ gerenderte Standbilder des Bestandes oder einer bereits durchgeführten Rekonstruktion ebenso wie die realitätsnahe Simulation eines „virtual reality walk“ durch das Bauwerk.

Diese Animation wurde auf Video in Studioqualität aufgezeichnet und stellt ein optimales Medium für viele Präsentationszwecke dar.

## ABSTRACT

The present methodology of building documentation is designed for the precise, hierarchically structured description of buildings by means of architectural elements.

Subsequently, the building can be represented on the computer as a digital three-dimensional surface model made up of the bounding surfaces of the individual mass elements.

Using this approach of model creation even partly ruined buildings, in which the floors are covered with rubble, for example, can be documented without the surveyor being troubled with the interpretation of possible wall lines or floor areas.

Tasks can therefore be definitely assigned, thus safeguarding data consistency and enhancing the efficiency of this method of documentation.

Since the architectural description is not focused on the mass elements but rather on their visible bounding surfaces, i.e. space elements, this method can be applied not only to the documentation of conventional buildings but also to cave systems and similar structures.

The incorporation of the hierarchical structure of architectural elements in the computer model allows for the definition of highly complex element-specific queries.

Apart from the possibilities of visualization already described this new approach has also resulted in the creation of a powerful tool for structural analysis.

Dimensional analyses can be performed according to elements or other criteria, their efficiency and significance being enhanced by precise measurements, convenient selection of individual dimensions and the possibility of direct transfer to data base systems and programs of statistical analysis for further processing.

The same applies to investigations on the alignment of buildings and squares or differences in the levels of habitation layers.

The second part of this work deals with an practical application of this method.

The potentiality of modern computer-aided design and the call for plans for the Maya-site of Santa Rosa Xtampak led to the geodetic/photogrammetric work with the aim of producing - for the first time in the history of Maya-research - a three-dimensional „digital architecture model" of a Maya-building.

It will be described the surveying method and the three dimensional computer-modelling of an ancient Maya-structure, just as the application of animation software for its presentation and reconstruction. The possibility of dynamical visualization in form of „virtual walk“ or „virtual fly over“ offers thorough and realistic visual impression of the building.



# INHALTSVERZEICHNIS

1 EINLEITUNG .....	1
2 PROBLEMSTELLUNG UND ZIELSETZUNG .....	3
3 GRUNDLAGEN.....	5
3.1 Die Kultur der Maya .....	5
3.1.1 Naturraum .....	6
3.1.2 Kulturgeschichte .....	6
3.1.3 Architektur: Regionen und Stile .....	8
3.2 Architekturanalyse .....	13
3.2.1 Aufgabe.....	13
3.2.2 Methode .....	13
3.3 Architekturdokumentation .....	14
3.3.1 Historische Entwicklung.....	14
3.3.2 Situationsanalyse.....	19
4 DAS DIGITALE BAUWERKMODELL .....	21
4.1 Einordnung und Abgrenzung .....	21
4.1.1 Definition .....	21
4.1.2 Multimedia Präsentation .....	22
4.1.3 Architekturmodell versus Stadtmodell.....	23
4.2 Daten und Datenmodell .....	27
4.2.1 Abstraktion und Strukturierung des realen Objekts .....	27
4.2.2 Formalisierung und Datenorganisation .....	34
4.3 CAD-Systeme und Elemente der Computergraphik .....	39
4.3.1 Produkte und 3D-Funktionalität .....	39
4.3.2 3D-Modelliersysteme .....	40
4.3.3 Oberflächen in AutoCAD13 und MicroStation95.....	43
4.3.4 Systemwahl - AutoCAD oder MicroStation .....	51
4.4 Generierung des digitalen Bauwerkmodells .....	53
4.4.1 Import - Basisdaten des Modells.....	54
4.4.2 Modellbildung.....	55
4.4.3 Modellstruktur und -verwaltung.....	58
4.4.4 Bestandsmodellspezifische Parameter .....	61
4.4.5 Implementierung bildhafter Information .....	63
4.5 Präsentation des Modellinhaltes .....	65
4.5.1 Planare geometrische Projektionen .....	66
4.5.2 Sichtbarkeit .....	67
4.5.3 Rendering .....	68
4.5.4 Schnittzeichnung und Teilmodelle .....	70
5 INTEGRATION IN EINEN GESAMTHEITLICHEN DOKUMENTATIONSPROZESS ...	77
5.1 Planungsphase .....	79
5.1.1 Aufgabenstellung - Analyse und Definition .....	79
5.1.2 Aufnahmeplanung.....	81





5.2 Geodätisch / photogrammetrische Datenerfassung.....	84
5.2.1 Geodätische Aufnahme mit automatischer Datenregistrierung .....	85
5.2.2 Photogrammetrische Aufnahme und Auswertung .....	85
5.3 Datenverarbeitung .....	85
5.3.1 Hard- und Software.....	86
5.3.2 Schnittstellen.....	86
5.3.3 Drahtmodell.....	86
5.3.4 Flächenmodell.....	87
5.4 Visualisierung.....	89
5.4.1 Plandarstellung .....	89
5.4.2 Rendering .....	89
5.4.3 Digitale Bildverarbeitung .....	91
5.4.4 Computeranimation (Video) .....	91
6 ERGEBNIS UND SCHLUßFOLGERUNG.....	93
6.1 Fallbeispiel - Der <i>Palast</i> von Santa Rosa Xtampak .....	93
6.2 Das digitale Bauwerkmodell.....	96
BIBLIOGRAPHIE .....	99
ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	117
NACHSATZ.....	119
ANHANG - GRAPHISCHE ERGEBNISSE	



# 1 EINLEITUNG

Die exakte Dokumentation von Monumenten und kulturhistorisch bedeutsamen Bauwerken ist eines der Hauptaufgabengebiete der Architekturphotogrammetrie.

Vollständigkeit und Objektivität der Messungen auch im Detail, Dokumentationswert der Aufnahmen und die Reduzierung des Meßaufwandes vor Ort sind dabei jene Argumente, die besonders bei der Bestandsaufnahme gefährdeter Monumente von Bedeutung sind. Dies gilt im besonderen Maße auch für die monumentalen Bauwerke der altamerikanischen Kultur der Maya. Lange Zeit überwuchert von tropischen Wäldern und erst am Beginn des vorigen Jahrhunderts wiederentdeckt ist der Großteil der Zentren und Städte dieser einmaligen Hochkultur bis heute undokumentiert geblieben. Die schwere Zugänglichkeit und das zum Teil feuchttropische Klima sind nur einige der Gründe für die extrem geringe Anzahl an bis dato erforschten Anlagen. Durch Umweltschäden, Einflüsse der tropischen Vegetation, Abholzung und Besiedlung des Urwaldes aufgrund des starken Bevölkerungszuwachses und Großprojekten wie Wasserkraftwerken und Straßenbauprojekten ist der noch erhaltene Bestand dieser präkolumbischen Maya-Architektur sehr gefährdet.

In den späten achtziger Jahre gelangte ein Aufruf zur Rettung eines der bedeutenden Maya-Bauwerke Mexikos - des Palastes von Santa Rosa Xtampak - an die Öffentlichkeit (*Prem, 1987*).

Die langjährige Tradition an der TU-Graz auf dem Gebiet der Kulturgutdokumentation und der Bedarf an planlichen Unterlagen waren Anlaß, dieses Projekt durch diverse Forschungsarbeiten in ideeller wie auch materieller Form zu unterstützen.

Ein weiterer Aspekt, der für die Wahl dieses Bauwerkes als Fallbeispiel spricht, ist dessen komplexe Architektur, die als repräsentativ für die Problematik der Bauwerksdokumentation in diesem Kulturraum gelten kann (*Andrews, 1977:22*).

*„Charakteristisch für diese nördliche Region ist die geringe Anzahl an Stelen und Gebäuden mit Hieroglyphentexten, so daß bei den meisten der hier vorkommenden Bauten lediglich technologische Kriterien des Mauerwerks und die Gestaltung des Fassadendekors chronologische Zuordnung erlauben“* (*Herrmann, 1992:15*).

Die Forschungsarbeiten an dem teilweise verfallenen Bauwerk umfaßten dabei die Anwendung neuer Methoden und Techniken der photogrammetrischen Datenerfassung ebenso wie die Untersuchung von neuen, den Anforderungen der Architekturanalyse entsprechenden Visualisierungsformen.

Das Studium des räumlichen Konzepts, die Analyse und der Vergleich von Bauwerken und das Erkennen von Relationen zwischen den einzelnen architektonischen Elementen sind einige von der Architekturforschung zu lösende Aufgaben. Diese bedürfen aber Darstellungen, welche die Form und Struktur des Raumgefüges auf verschiedenen Ebenen vorstellbar machen (*Hohmann-Vogrin, 1992:5-9*).



## 2 PROBLEMSTELLUNG UND ZIELSETZUNG

Durch den gezielten Einsatz der Photogrammetrie als Medium zur Bauaufnahme können komplexe Situationen - Abweichen von Rechtwinkeligkeit, differenzierter Grundriß, Großflächigkeit, Vorhandensein von Niveauunterschieden etc. - in Bestandsplänen dargestellt werden.

Die dabei für die planliche Dokumentation notwendige Festlegung der virtuellen Schnitte und Ansichten bewirkt jedoch, daß die im photogrammetrischen Modell vorliegenden dreidimensionalen Informationen bisher nur in einer sehr reduzierten Weise in Form subjektiv festgelegter zweidimensionaler Darstellung der weiterführenden Forschung zugänglich sind.

3D-fähige Computergrafiksysteme bieten nun die Möglichkeit, das räumlich erfaßte Bauwerk als virtuelles Modell auch räumlich zu dokumentieren. Die Selektion von Ansichten, Schnitte etc. ist dabei nicht mehr Teil des Dokumentationsprozesses, sondern Teil des nachgeschalteten Visualisierungsprozesses.

Die Schwierigkeit dabei ist jedoch, daß sich Maya-Bauwerke, aber auch andere kulturhistorisch interessanten Objekte aufgrund ihrer objektspezifischen Eigenschaften nicht durch die in den für die Architekturmodellbildung adaptierten CAD-Systemen vorhandenen Elemente wie Wand, Fenster, Decke etc. in einer Form beschreiben lassen.

Dies erfordert eine völlig neue Sichtweise der Problematik der Bauwerks-dokumentation, losgelöst von den „klassischen“ Architekturmodellelementen und ausgerichtet auf größtmögliche Offenheit und Flexibilität bezüglich einer universellen Anwendbarkeit. Dabei liegen die Schwierigkeiten primär in der Definition des Modellinhaltes, also in einer den Anforderungen der Architekturanalyse und dem Potential moderner CAD-Systeme entsprechenden Abstraktion des realen Objekts.

Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung einer Methodik zur exakten und detailgenauen Dokumentation komplexer Bauwerke in Form eines digitalen dreidimensionalen Computermodells.

Die primäre Forschungsarbeit umfaßt dabei die Konzeption eines Regelwerkes, durch das es möglich wird, nicht nur Bauwerke der Maya-Architektur zu strukturieren und als CAD-Modell zu rekonstruieren, sondern das in erweiterter Form für jede beliebige Architekturdokumentation eingesetzt werden kann.

Dabei hat das Computermodell so strukturiert zu sein, daß es den Anforderungen der Architekturanalyse entspricht und die Bearbeitung in Bezug auf die einzelnen architektonischen Elemente ebenso zuläßt wie die Extraktion von Schnittplänen oder die Einbindung in eine multimediale Umgebung.



### 3 GRUNDLAGEN

*„It must be stressed again, however, that the more experienced the surveyor is in dealing with Maya ruins, the more accurate and precise will be the designation and presentation of cultural features,“ (Chase, 1988:24).*

Ein Anspruch dieser Arbeit besteht darin, die Dokumentationsproblematik von Maya-Architektur darzulegen und in Form eines modellartigen Arbeitsablaufes, der methodische Entwicklungen zum operationellen Einsatz führt, eine Abstimmung der einzelnen Bearbeitungsschritte aufeinander vorsieht, aber auch eine Analyse der ökonomischen Aspekte umfaßt, für eine allgemeine Anwendung zur Verfügung zu stellen. Die Ausrichtung der Forschung erfolgt dabei in erster Linie auf die Anforderungen, die von der Architekturanalyse im Zuge ihrer weiterführenden Studien gestellt werden.

Somit ergibt sich eine Ansiedlung der Arbeit am Berührungspunkt von Geodäsie, Architektur und Archäologie und erfordert vom Bearbeiter ein fachübergreifendes, grundsätzliches Studium der jeweiligen Problematik.

zu den Schwierigkeiten der Bildauswertung der modernen Photogrammetrie stellt Friedrich Ackermann fest, daß in einigen Bereichen die Auswertung automatisiert erfolgen kann, sofern das Gelände nicht zu sehr durch Objekte wie Bäume, Häuser, etc. gestört ist. *„Die Auswertung von Bildern komplexeren Inhaltes erfordert jedoch derart viel abstraktes und begriffliches Objekt-Wissen, daß bisher nur der Mensch mit seinen kognitiven Fähigkeiten diese Leistung erbringen konnte“ (Ackermann, 1995:112).* Dieses Objektwissen sich anzueignen war Notwendigkeit und Voraussetzung für eine erfolgreiche Bearbeitung einer unserem abendländisch geprägten Verständnis fremden komplexen Architektur.

Zu wissen, was die charakteristischen Elemente sind, wo sie sich befinden und wie sie gebildet werden, ist essentiell für eine vollständige und detailgenaue Erfassung und Modellierung. Ist dieses Wissen nicht vorhanden, so führt dies zu einem lückenhaften, wenn nicht fehlerhaften Abbild des Realbestandes. Diese Fehler wären bei einem so komplexen, wie dem hier behandelten Bauwerk wiederum nur für einen Fachmann mit sehr guter Kenntnis des Bauwerkes zu erkennen und würden eine Nachbearbeitung des Modells erforderlich machen, die sich bis zu wiederholten Aufmessungen von Objektteilen erstrecken würde.

#### 3.1 Die Kultur der Maya

Es ist sicher nicht angebracht im Rahmen dieser Arbeit, die sich mit der Dokumentation von Architekturbestand beschäftigt, eine allzulange Abhandlung über die Ursprünge und Entwicklung der Maya-Kultur zu liefern. Morley, Thompson, Spinden, Coe, Sharer und viele andere haben in ihren Werken einen Einblick in die vielen Facetten der Maya-Zivilisation gewährt. Eine gewisse Kenntnis der Kultur ist jedoch auch hier für das Verständnis der Architektur und ihrer diversen Stile unumgänglich.



### 3.1.1 Naturraum

Die Heimat der Maya befindet sich auf den Territorien der heutigen Staaten Mexiko, Belize, Guatemala, Honduras und El Salvador (Abb. 3.1).

Den nördlichen Teil ihres Kulturraumes bildet die Halbinsel Yukatan, die im Westen, Osten und Norden vom Meer begrenzt wird; im Süden schließen sich die Hochländer von Chiapas, Guatemala, El Salvador und Honduras an. Im Westen kann die Grenze der Maya-Region in etwa mit dem Unterlauf des Río Grijalva im mexikanischen Bundesstaat Chiapas und im Südosten mit dem Río Ulua in Honduras gezogen werden (*Riese B., 1995:9*).

Dieses geschlossene Gebiet ist in zwei Naturraumtypen unterteilt, das in weiten Teilen noch tektonisch aktive Hochland mit bis zu 3.960 Meter hohen Vulkanen und das Tiefland, eine fast ebene, durchkarstete Sedimentkalkfläche mit Erhebungen von maximal 200 Metern.

Klimatisch gesehen liegt das so umrissene Gebiet in den gemäßigten Tropen, wobei im Hochland die Flora entsprechend dem Untergrund und der Topographie von Gras über Pinien bis zu Eichen reicht. Das Tiefland ist aufgrund der stark unterschiedlichen Regenmengen im nördlichen Teil der Halbinsel Yukatan eine Dornbuschsteppe, während der südliche Teil von dichtem tropischen Regenwald bedeckt ist, wo Mahagoni-Bäume mit bis zu 45 Metern Höhe die Flora dominieren (*Coe, 1993:13-17*).

Das Gebiet der Tiefland-Maya ist in zwei physographische Hauptgruppen geteilt, genannt das nördliche Tiefland und das südliche Tiefland. Die Trennlinie zwischen diesen beiden Gebieten verläuft von der Karibikküste von Nordbelize entlang der nördlichen Grenze des guatemaltekischen Bundesstaates Petén und dann direkt über die Laguna de Termini zur Bucht von Campeche in Mexiko (*Andrews, 1977:25*).

### 3.1.2 Kulturgeschichte

Die ersten Spuren menschlicher Anwesenheit auf dem amerikanischen Kontinent lassen sich auf etwa 20.000 Jahre zurück datieren. Etwa um 1.800 v. Chr. wurden an den Küsten des Pazifik und der Karibik die ersten permanenten Ansiedlungen gegründet, deren Bewohner jedoch bereits effektiv Feldbau und Töpferei betrieben.

Bis etwa 1500 v. Chr. lebten die Ur-Maya im Hochland der Chuchmantles in Guatemala umgeben von anderen Indianern, von wo aus dann Teile nach Norden in die Halbinsel von Yukatan einwanderten. Einen qualitativen Sprung zu höherer gesellschaftlicher Komplexität kann man im Maya-Gebiet um 800 v. Chr. beobachten (*Riese B., 1995*).

Die Blütezeit der Maya dauerte von etwa 300 bis 900 n. Chr. In dieser Zeit entstehen die meisten der heute bekannten Städte mit ihren monumentalen Steinbauten.

Um 800 n. Chr. waren viele Städte im südlichen Tiefland einem Verfall preisgegeben, es wurde keine monumentale Architektur mehr gebaut und die Zeremonialzentren dieser Städte wurden mehr oder weniger verlassen.

Aus der Zeit danach finden sich die größten Überreste im nördlichen Tiefland, wo die Kulturen in den Jahren 800 n. Chr. bis 1000 n. Chr. ein letztes Aufblühen erlebte, bevor sie ebenso unerklärlich und rasch endete (*Sabloff, 1991a:135-151*). In der nachfolgenden postklassischen Periode übernahm Chichén Itzá bis etwa 1250 n. Chr. die Vormachtstellung im nördlichen Tiefland, ehe Mayapán als Hauptzentrum folgte. Ein interner Aufstand brachte 1461 das Ende Mayapáns, und das ganze Gebiet zerfiel in unabhängige Kleinstaaten.

1511 landeten dreizehn Schiffbrüchige als erste Spanier in Yukatan, und 1517 erreichte die erste planmäßige Expedition von Kuba ausgehend die Halbinsel.

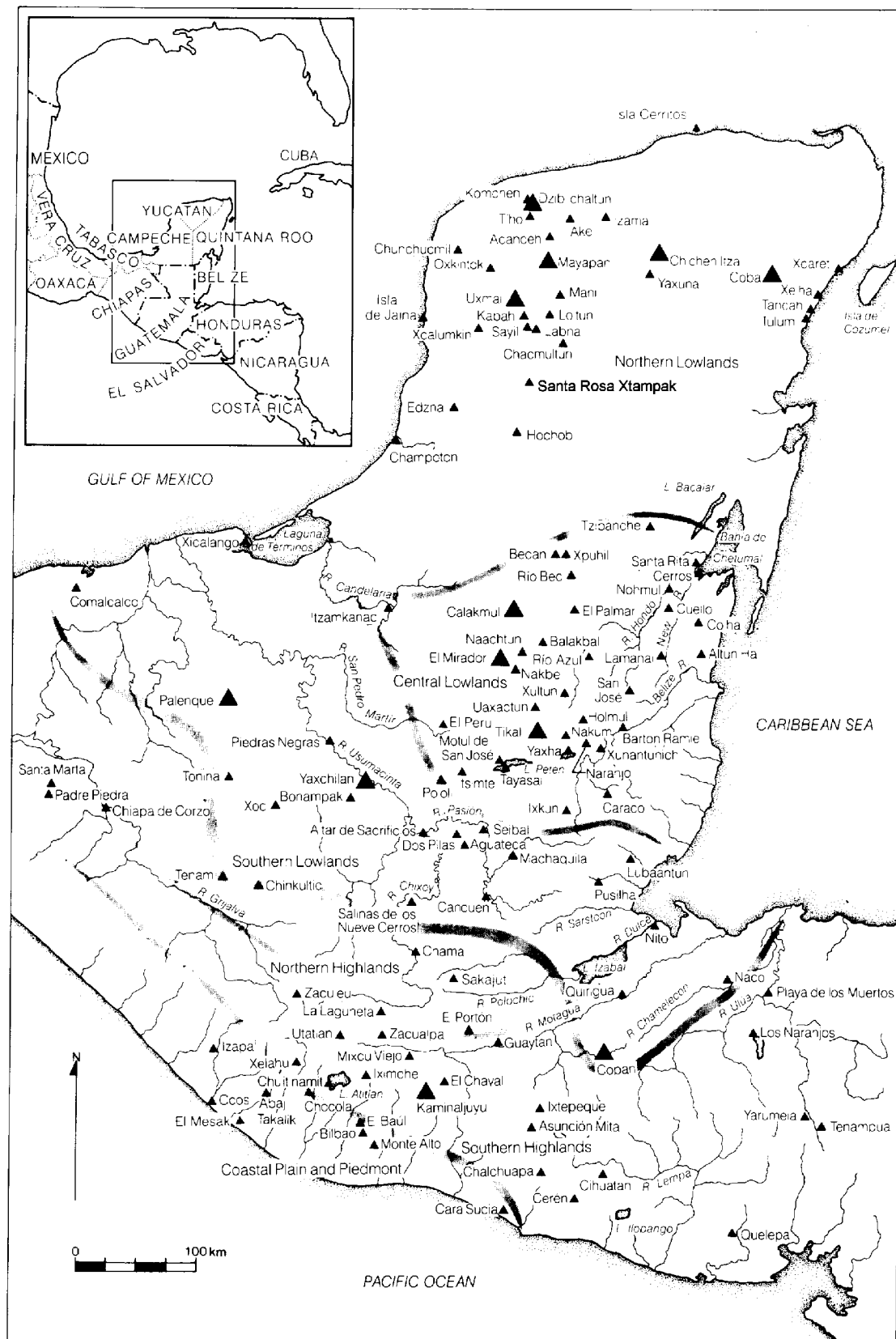


Abb. 3.1: Karte des Maya-Gebietes mit den wichtigsten archäologischen Stätten und der Unterteilung in Naturraumtypen (Sharer, 1984, 21)

Chronologie		Gebiet der nördlichen Tiefländer
Frühe Präklassik	2000 v. - 1000 v.Chr.	Erste Siedlungen an der Pazifik-Küste und Expansion ins zentrale Tiefland
Mittlere Präklassik	1000 v. - 400 v.	Früheste Ansiedlungen (Initialarchitektur)
Späte Präklassik	400 v. - 100 n.	Erste Monumentalarchitektur
Protoklassik	100 n. - 250 n.	Erste Steinmonumente mit Skulpturen hieroglyphischen Texten und kalendarischen Daten; Entwicklung von Dynastien
Frühklassik	250 n. - 550 n.	
Spätklassik	550 n. - 800 n.	Blüte der Zentren des zentralen Tieflandes
Endklassik	800 n. - 950 n.	Aufstieg der Puuc-Zentren
Frühe Postklassik	1000 n. - 1280 n.	Vorherrschaft von Chitzen Itza
Späte Postklassik	1280 n. - 1519 n.	Herrschaft von Mayapan (bis etwa 1450); anschließend Zerfall in Kleinstaaten

Tabelle 1: Tafel der prinzipielle Epochen der kulturellen Entwicklung der Maya  
(Quelle: *Sharer, 1994:46-47*)

### 3.1.3 Architektur: Regionen und Stile

Die Unterteilung des Lebensraumes der Maya in Architekturregionen basiert sowohl auf geographischen als auch auf kulturellen Unterscheidungen.

So werden die zur Einteilung benutzten Termini jeweils für die Region und auch für den dort vorgefundenen Architekturstil verwendet. In den meisten Fällen können die Grenzen dieser Regionen nicht eindeutig gezogen werden, außer sie korrespondieren mit den Rand von Flußtäälern, Hügelketten oder anderen ähnlich eindeutigen topographischen Formen.

Während jedoch die Grenzverläufe schwierig zu definieren sind, sind die regionalen Unterschiede signifikant und relevant in Bezug auf eine Diskussion um räumliche Anordnung der verschiedenen Klassen von Zentren (*Andrews, 1977:24-30*).

Um in einem für das Thema dieser Arbeit vertretbaren Rahmen zu bleiben werden hier als Beispiel nur die in der Folge für die Projektbearbeitung relevanten architektonischen Stilregionen angeführt. Diese befinden sich im als nördliches Tiefland bezeichneten Gebiet der Maya. Sie werden in fünf Hauptregionen eingeteilt: Northern Plains Area, Puuc Gebiet, Chenes Gebiet, Río Bec Gebiet und East Coast Area.

Die an dem Forschungsobjekt Santa Rosa Xtampak unmittelbar zu erkennenden Stile betreffen die drei Regionen Puuc, Río Bec und Chenes (Abb. 3.2). Einige ihrer prinzipiellen Züge seien im folgenden kurz zusammengefaßt, da sie für das Verständnis der nachfolgenden Architekturanalyse notwendig sind. Aufgrund der starken Similarität von Chenes und Puuc wird auf ihre spezifischen Merkmale in etwas ausführlicherer Weise eingegangen.

## Puuc Stil

Dieser Stil ist charakterisiert durch sorgfältige Ausarbeitung der Wandverkleidung der Fassaden mit fast geometrischen Dekorationen bestehend aus Steinmosaiken. Eingefügt sind weitere typische Elemente wie Kapitelsäulen, Dachkämme, Dekorsäulenreihen, Skulpturen in der von Dekorsäulen gebildeten Dekoration, Sockel zwischen Gesimsreihen mit Dekorsäulen etc (*Sharer, 1994*). Als repräsentatives Beispiel eines in dieser Art gestalteten Bauwerkes sei der *Gouverneurspalast* von Uxmal genannt.

Hauptbeispiele für diesen Stil finden sich in Yucatan an Plätzen wie Uxmal, Sayil, Labná und anderen.

Gendrop führte eine weitere Untergliederung dieses Stiles in ein West-Puuc und ein Ost-Puuc ein (*Gendrop, 1983*). Der erste erstreckt sich über die Region zwischen Oxkintok bis Yakal-Chuc, und der zweite über das Gebiet von Uxmal bis Ichpich, das nur einige wenige Kilometer nördlich von Santa Rosa Xtampak liegt.

Außer den genannten Publikationen finden sich in dem von der mexikanischen Altertumsbehörde ( *Instituto Nacional de Antropología e Historia*)<sup>1</sup> herausgegebenen archäologischen Atlas *Zonas Arqueológicas - Yucatán* weitere Beschreibungen und Verweise auf spezifische, das Thema Puuc betreffende Literatur (*Velázquez Morlet, 1988*).

## Río Bec Stil

Der Raum von Río Bec ist dem Kerngebiet der klassischen Mayakultur am nächsten gelegen und lässt sich durch folgende drei Merkmalsgruppen beschreiben:

### 1) Gebäudekomplexe mit „typischen“ und „atypischen“ Türmen:

- Erstere werden generell aus einem Paar von Ornamenttürmen gebildet, welche beidseitig eines zentralen Bauwerkes angegliedert sind. Manchmal ist ein weiterer Turm auch über dem zentralen Raum angeordnet Als Beispiel dafür sei Bauwerk I von Xpuhil mit drei Ornamenttürmen genannt. Den Unterbau der Türme bildet eine frontseitig gestufte Pyramide mit abgerundeten Ecken, horizontalen, vortretenden Gesimsreihen. Über der Pyramide steht ein Massivkörper mit einer Scheintür. Die Wand über dieser Scheintür wird von einer großen Maske dominiert. Darüber befindet sich ein Dachkamm.
- Die zweite Kategorie Türme findet sich an großen Bauwerken mit vielen Räumen, welche sich fast immer über zwei oder noch mehr Ebenen erstrecken. Obwohl die Ebenen und die spezifischen Formen jedes einzelnen dieser Komplexe variieren, gibt es eine Gemeinsamkeit: eine oder mehrere niedrige Stufenpyramiden mit abgerundeten Ecken und horizontalen Gesimsbändern. In vielen Fällen, wie am Bauwerk I von Becán zu sehen, fehlen hier die oben genannten tempelförmigen Aufbauten. In anderen Fällen kennzeichnen die Türme das Ende des Komplexes und besitzen, wie man es auch an den typischen Türmen findet, Scheintreppen auf den Außenseiten.

### 2) Weiters finden sich in dieser Region eingeschößige Bauten mit manchmal zwei parallelen Fluchten von Räume. Manche besitzen Friese, wie das Bauwerk II von Chicanná oder das Bauwerk X von Becán. Die Gebäude befinden die sich oft auf einer sehr hohen Plattform mit Monumentaltreppe im Süden.

---

<sup>1</sup> In der Folge nur mehr INAH genannt

### 3) Auf vielen Bauwerken finden sich

- perforierte Kämme sowie
- Details im Inneren, wie lange Bänke in rechteckiger oder in „U“-Form sowie enge, gewundene Innentreppe.

Obwohl solche Treppenanlagen in anderen Teilen des Tieflandes der Maya praktisch nicht existieren, gibt es noch ein Bauwerk in der Chenes-Region mit Innentreppe, den *Palast* von Santa Rosa Xtampak.

Immer jedoch gibt es von Stadt zu Stadt Varianten. So können andere Elemente den Stil begleiten, wie Dekorsäulen aus Bruchsteinmasse in der Fassade, Paneele mit übereinander angeordneten Masken, Bauwerke mit zwei oder noch mehr Stockwerken, übereinandergereihte Masken an den Bauwerksecken, etc. Diese Formen finden sich auf der gesamten Fassade oder in Teilen von dieser und ausgeführt in Form von Steinmosaiken oder manchmal auch bemalen. Beispiele dafür finden sich in Río Bec, Hormiguero, Becán, Xpuhil, Chicaná.

### Chenes Stil

Die Städte im Chenes Stil zeichnen sich durch die Vorherrschaft niedriger Gebäude aus, deren Fassaden zur Gänze oder nur das Fries mit Steinmosaiken versehen sind (*Veneer Typ*). *Rachenmonster*-Masken kennzeichnen den Haupteingang.

Eine Charakteristik von der Chenes Architektur sind Bauwerke, welche sich aus einem einstöckigen Gebäude mit einer oder mehreren darüber aufragenden Tempel-Pyramiden zusammensetzen. Beispiele dafür sind das Bauwerk A-1 von Dzibilnocac, das Bauwerk 1 von Tabasqueño und die Bauwerke 5, 5-Sub und 6 von Hochob. Im Unterschied zu den symbolischen (funktionslosen) Türmen des Río Bec haben diese benutzbare Treppen, die zu tempelähnlichen Bauwerken mit Raumzellen führen.

Ein großer Teil der Bauwerke des Chenes besitzt, wie am Nordteil und Ostteil von Santa Rosa Xtampak zu sehen, dreigeteilte Fassaden.

Das Gebäude, welches vielleicht am besten den Chenes-Stil repräsentiert, ist das Bauwerk 2 von Hochob. Seine wichtigsten Merkmale sind:

- 1) eine dreigeteilte Fassade, deren Flügel etwas vorstehen und im allgemeinen niedriger sind als die von ihnen flankierte zentrale Kammer
- 2) eine riesige *Rachenmonster*-Maske, welche den Haupteingang einfaßt;
- 3) Teile einer *Rachenmonster*-Maske über den Türen der beiden niedrigeren Flügel
- 4) ein hoher Kamm mit Nischen in mehreren Reihen über der vorderen Wand des Zentralraumes. Diese dienen zur Aufnahme von aus Stuck gefertigten Skulpturen.
- 5) Unter den freistehenden Bauwerken des Chenes finden sich eine eigenartige Gruppe von Türmen wie zum Beispiel jene von Chanchén, Tabasqueño und Nocuchich. Die Türme gleichen hohen, schmalen Gebäuden mit perforiertem Kamm, jedoch ohne Kammern im unteren Teil.

Typische Motive sind unter anderem Darstellungen von Hütten, Bänder, Kammbauten vor den Gebäuden, übereinandergereihte Masken an den Bauwerksecken, Bildnisse des Sonnengottes, Ornamenttürme, etc. Beispiele dafür sind in Hochob, Dzibilnocac, El Tabasqueño und anderen Stätten zu sehen.

## Gemeinsamkeiten in den Stilen

Neben den Unterschieden gibt es auch einige Gemeinsamkeiten in den diversen Stilen. Da in Santa Rosa Xtampak verstärkt Gemeinsamkeiten der Stile Chenes und Río Bec zu finden sind, werden diese hier nochmals gesondert aufgeführt.

1. Gebäude mit dreigeteilten Fassaden;
2. Gebäude, deren Haupteingänge von großen *Rachenmonster*-Masken eingefasst sind oder über deren anderen Eingängen sich Teile von solchen Masken befinden;
3. alleinstehende Mauern und Kranzgesimse mit Zähnen, die von Stuckskulpturen eingefasst werden;
4. dreiteiliger Sockel, in dessen Mittelteil Gruppen von Dekorsäulen eingesetzt sind;
5. große  $\frac{3}{4}$ -Säulen;
6. leicht nach innen geneigter oberster Mauerabschnitt, hervortretende Steine in oder über den Gesimsbändern und den Mittelteilen der Kranzgesimse sowie hervortretende Steinplatten in den Ecken;
7. zurückversetzte Tafeln im unteren Mauerabschnitt mit linienförmigen Schlangenprofilen, Quadraten, Kreuzen und andere geometrischen Mustern.

Die spezifischen Eigenschaften der einzelnen Stile, deren Unterschiede und Gemeinsamkeiten wurden in Arbeiten von *George F. Andrews (1987 und 1996)*, *Roman Piña Chan (1985: 26-27)*, *Paul Gendrop (1983)* und anderen in sehr ausführlicher und detaillierter Weise behandelt. Ein Gesamtüberblick die unterschiedlichen Stilregionen betreffend wurde zuletzt von *Pollock (1965)* versucht.

## Zeitliche Architekturentwicklung

	Puuc	Chenes-Puuc	Chenes	Río Bec
1050				
1000	CLASSIC			
950				
900	PUUC		PUUC ARCHITECTURE	
850		CHENES - PUUC	CLASSIC	
800	ARCHITECTURE	ARCHITECTURE		CLASSIC
750			CHENES	
700	EARLY PUUC		ARCHITECTURE	RÍO BEC
650				ARCHITECTURE
600	PROTO - PUUC			
550	EARLY OXKINTOK			

Tabelle 2: Vergleich der interkulturellen Beziehungen zwischen Puuc, Chenes-Puuc, Chenes und Río Bec (*Andrews, 1984:39*)

Neben ihrer räumlichen Gliederung weisen die Stilregionen aber auch eine zeitliche Staffelung auf (Tabelle 2).

Sie entstanden in etwa um 550 n. Chr. auf der Halbinsel Yukatan und erfuhren ihre volle Entfaltung zwischen dem 7. und 9. Jahrhundert (*Prem und Dyckerhoff, 1986:96*).

Die Chronologie ist nicht ganz geklärt: Ist der Río Bec Stil früher als der Puuc Stil oder ist der Chenes Stil kontemporär mit beiden?

Diese und andere Fragen zu beantworten und Hypothesen über die Abfolge von Baustilen im nördlichen Tiefland zu erstellen und zu überprüfen ist Aufgabe und Potential einer fundierten Architekturforschung.

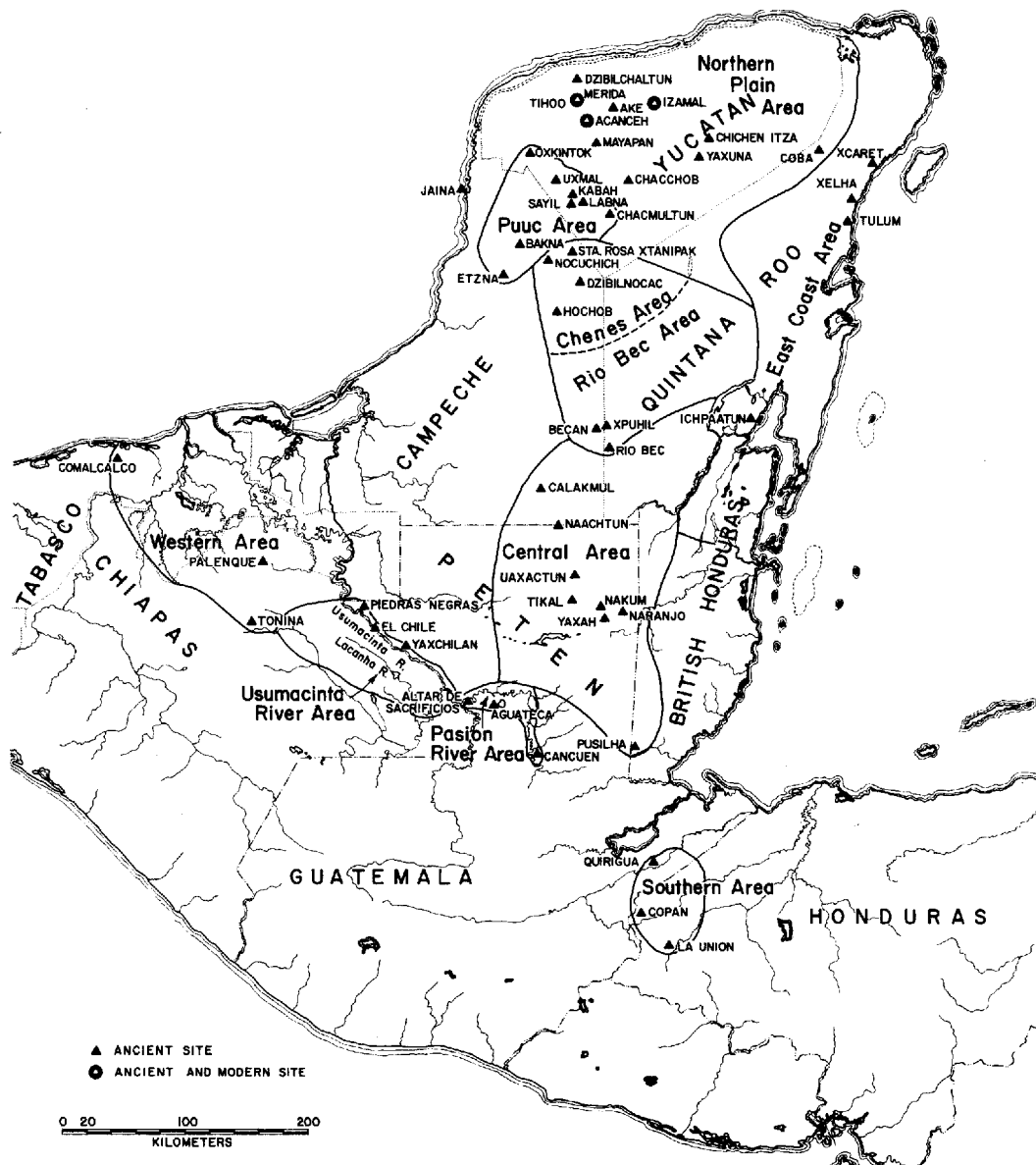


Abb. 3.2: Karte der prinzipiellen Architekturstile des Maya-Tieflandes (*Pollock, 1965*)

## 3.2 Architekturanalyse

### 3.2.1 Aufgabe

Eine auf die Archäologie bezogene Definition der Architekturanalyse liefert Irving Rouse mit der Feststellung, daß im Zentrum der Architekturforschung das Erforschen von Besiedlungsresten, damit das Lokalisieren von Aktivitäten steht (*Rouse, 1972: 101 zitiert nach Hohmann-Vogrin, 1992: 69*). Bezogen auf die mesoamerikanische Archäologie finden sich dann bei *George Andrews (1977)* folgende auf die Architektur der Siedlungszentren ausgerichtete Fragestellungen:

1. Wie hat sich die Vorstellung von der die Zeremonialzentren bestimmenden Architektur entwickelt?
2. Kann man Anzeichen von übergeordneten Formen, auch wenn diese durch die lokalen oder regionalen Einflüsse abgeändert wurden, in den Zentren feststellen?
3. Lassen sich die Aktivitäten in den verschiedenen Teilen der Zentren durch systematische Studien von Bauwerken und Bauwerksgruppen in Bezug setzen?
4. Kann der Übergang von religiösen (Tempel-) zu urbanen (Palast-) Zentren demonstriert werden?
5. Existiert eine Konsistenz in der Anordnung (Plazierung) und Ausrichtung von Bauten, und wenn, welche Bedeutung kann ihr zugeordnet werden?
6. In welchem Ausmaß hatte die Topographie Einfluß auf die Gestaltung der Zentren?

Bezogen auf die Architektur des einzelnen Bauwerkes formulieren *Hasso Hohmann und Annegrete Vogrin (1982: 69)* die zu lösenden Fragen folgendermaßen:

Wann wurde ein Bauwerk errichtet, wie wurde es konstruiert, wieviel Arbeitsaufwand mag es erfordern haben, wie wurde es benützt und wann wurde es verlassen, zerstört oder überbaut?

### 3.2.2 Methode

In ihrer Arbeit über die Architektur von Copán werden von ihnen die zur Beantwortung der gestellten Fragen notwendigen Bearbeitungsschritte wie folgt angeführt:

- Systematische Beschreibung der Form der einzelnen Bauten sowie ihrer räumlichen Zusammenhänge
- Zusammenfassen von Form-Elementen und Relationen in Gruppen
- Behandlung der konstruktiven Gesichtspunkte und des Verhältnisses der Architektur-Form zu den Voraussetzungen unter denen sie entstanden sind, und den Aufgaben, die sie zu erfüllen hatten. Wieweit bedingen Form und Konstruktion einander, wie leitet sich das eine aus dem anderen ab.
- Frage der „Baufaufgabe“: Kaum vorhandene Informationen über die Funktion und Bedeutung von Bauten bedingen einen notwendigen Umkehrschluß; aus der Form der Architektur - als Rahmen menschlichen Handelns und durch dieses determiniert - auf Voraussetzungen und Aufgaben schließen (*Hohmann und Vogrin, 1982*)



Für die Beantwortung dieser Fragen bedient sich die Architekturforschung heute immer ausgefeilterer Methoden. So setzt *Hans J. Prem (1994)* bei der Verifikation der Hypothesen zur Abfolge der Baustile auf eine auf detaillierten Auswertungen der Dokumentationsdaten basierende, belegte Baustratigraphie.

*Turner and Turner (1979)* entwickelten zum Beispiel zur Klassifikation von Zentren ein System, bei dem unter anderem Bauflächen und Baumassen in Relation gesetzt werden.

*Eliot Abrams (1994)* wiederum benutzt die neue Wissenschaft der *architectural energetics*, die versucht, die Anzahl der Mann-Tage beim Bau eines Maya-Gebäudes zu quantifizieren. Als Beispiel für den Konstruktionsprozeß der Maya-Architektur fungierte dazu das *Haus des Schreibers* in der *Sepulturas* Region von Copán.

Aber auch die Theorien, die die Motivation für Gesetzmäßigkeiten in der Ausrichtung von Bauten in astronomischen Gegebenheiten vermuten, stellen einen wichtigen Teil dieses Forschungsprozesses (*Hartung, 1984; Lichtenegger, 1990; Marquina, 1976*).

### 3.3 Architekturdokumentation

#### 3.3.1 Historische Entwicklung

Natürlich hatten auch schon die Maya ihre Städte dargestellt, zuerst in ihren Kodizes und dann in den Dokumenten der Kolonisation. Jedoch sind diese „Pläne“ nur schwer mit dem zu vergleichen, was man heute unter diesem Begriff versteht, obwohl nachgewiesen wurde, daß es sich dabei tatsächlich um die Darstellung von Städten handelt. Als Beispiel dafür sei die Darstellung von Uxatlán aus dem Jahr 1554 genannt.

In der zweiten Hälfte des 18. Jahrhundert entwickelte sich sowohl in Neuspanien selbst als auch in Europa reges Interesse an den Ruinenstätten im Maya-Gebiet. Es wurden die ersten Missionen zur Erkundung dieser gestartet, und den vorerst nur schriftlichen Berichten über die Ruinen wie Palenque und Uxmal folgten jedoch bald graphische Beschreibungen.

Die ersten graphischen Darstellungen, die die architektonischen Überreste präkolumbischer Kultur betrafen, wurden 1776 von Antonio Fuentes y Guzmán publiziert. Sie betreffen die drei Städte Uxatlán, Iximché und Uzpantán und können als die ersten Pläne aus unserer „westlichen Sicht“ bezeichnet werden.

Das Interesse war geweckt worden, und es folgten die ersten offiziellen Entsendungen zur Dokumentation dieser altamerikanischen Kultur. Als Beispiel sei hier Palenque genannt, die zu dieser Zeit wohl die am besten dokumentierte Stätte war. Nachdem José Antonio Calderón 1784 als erster in offizieller Mission Palenque besucht und beschreibt, fertigt 1785 der Architekt Antonio Bernasconi den ersten Plan von Palenque an (Abb. 3.3), gesandt von Juan Bautista Muñoz, Direktor der Academia Real de la Historia in Madrid. 1787 setzt Kapitän Antonio del Río, ebenfalls von Muñoz beauftragt, die Studien in Palenque fort, und 1822 wird in London die erste Monographie über Palenque mit Zeichnungen und Plänen publiziert (*Schávelzon, 1990: 11-18*).

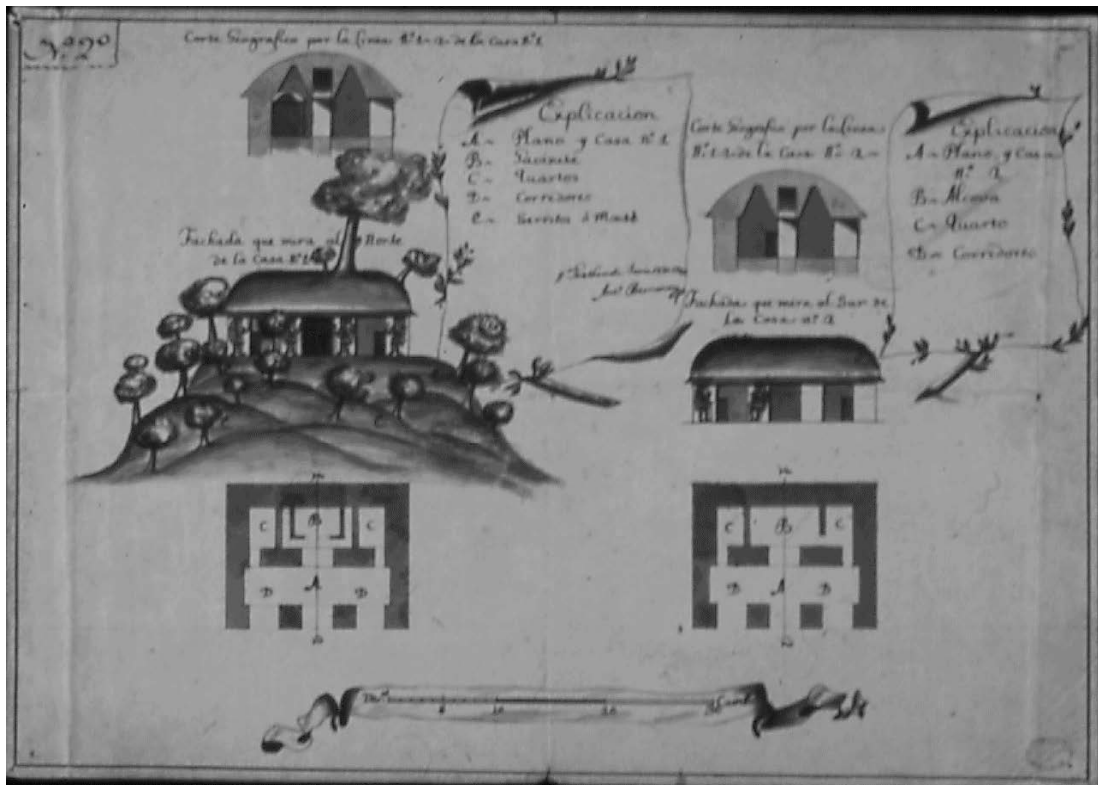


Abb. 3.3: Tempel des Kreuzes (Palenque) nach Antonio Bernasconi, 1785 (Torres Lanzas, 1903)



Abb. 3.4: Stereophotographie der Westseite der Pyramide des Wahrsagers (Uxmal) Aufgenommen circa 1876 von Augustus Le Plongeon (Dessmond and Messenger, 1988)

Infolge der Unabhängigkeit der amerikanischen Kolonien von Spanien und der damit verbundenen Wirren wagten sich zu Beginn des 19. Jahrhunderts kaum Fremde in die entlegenen Gebiete. Zu diesen wenigen zählen der große Naturforscher Alexander von Humboldt, der von 1799-1803 Amerika bereiste, und Guillermo Dupaix in den Jahren 1806 und 1809. Beide lieferten ausführliche Berichte von den Städten, jedoch ohne diese durch planliche Ausführungen zu ergänzen.

Erst mit dem Abklingen der Kämpfe kamen wieder vermehrt Abenteurer und Forscher in diese Regionen, und das Augenmerk richtete sich nicht mehr nur auf alte Handschriften und Kunstgegenstände, sondern im verstärkten Maße auch auf die Architektur (*Riese B., 1995:12-13*). So wurde 1832 Miguel Rivera Maestre vom Präsidenten von Guatemala, Mariano Gálvez, entsandt, um Pläne von Utatlán, Iximché und Mixco Viejo für seinen *Atlas Guatemalteco* zu erstellen.

All die bis dato erstellten Pläne beschrieben in eher rudimentärer Form das Siedlungsgefüge, ohne auf die Details der Bauwerke genauer einzugehen.

Die systematische Dokumentation der Maya-Architektur nahm ihren Anfang mit den gemeinsamen Forschungsreisen des nordamerikanischen Rechtsanwaltes und Diplomaten John Lloyd Stephens und des englischen Architekten und Künstlers Frederick Catherwood. In den Jahren 1839 und 1841 bereisten beide große Teile des Maya-Gebietes und veröffentlichten ihre Eindrücke erstmals unter dem Titel *Incidents of Travel in Central America, Chiapas and Yucatán* 1841 in New York. Die spannenden und ausführlichen Reiseschilderungen von Stephens wurden dabei ergänzt durch die für damalige Verhältnisse vergleichsweise genauen Zeichnungen Catherwoods (*Riese F., 1986*). Um die Objekte möglichst in ihren Proportionen richtig abzubilden, bediente er sich dabei einer sogenannten *Camera Lucida*. Das System dieser „Kamera“ basiert dabei auf dem optischen Prinzip der Totalreflexion an ebenen Grenzflächen, welche durch ein vierseitiges Prisma realisiert wird. Dabei wird dem Auge ein virtuelles Bild des Objektes zugeführt, das sich scheinbar auf der Zeichenfläche befindet. Das reale Abbild entsteht dann dadurch, daß der Beobachter das scheinbare Bild auf der Zeichenfläche nachzeichnet.

Die Genauigkeit und Authentizität der Darstellung hängt bei diesem Aufnahmeverfahren also noch sehr stark vom Bearbeiter und seinen künstlerischen Ambitionen ab. Nicht so jedoch bei der im selben Zeitraum in Europa von dem Franzosen Daguerre und dem Engländer Talbot unabhängig voneinander erfundenen und mit Erfolg erprobten Photographie. Bereits 1860 wurde dieses Verfahren erstmals vom Franzosen Désiré Charnay in der Dokumentation von Maya-Ruinenstätten eingesetzt. Diese Dokumentationstechnik blieb bis heute unentbehrlicher Standard der Forschung und fand ihren Höhepunkt in der Entwicklung der Stereophotogrammetrie.

Der Einsatz dieses Verfahren in der Dokumentation von Maya-Architektur weist eine annähernd gleich lange Geschichte auf wie die Architekturphotogrammetrie selbst. 1851 entwickelt der französische Oberst Aimé Laussedat die ersten photogrammetrischen Aufnahmegeräte und Arbeitsverfahren für die topographische Geländevermessung, und unabhängig davon entwickelt 1858 der deutsche Architekt und Baumeister Albrecht Meydenbauer sowohl für die topographische Geländeaufnahme als auch für die photographische Bauaufnahme die Meßtischphotogrammetrie (*Weimann, 1988: 9-12*). Nur wenige Jahre nach diesen Entwicklungen setzte der Franzose Augustus Le Plongeon diese neue Technik zur Dokumentation von Maya-Bauwerken ein. 1875 fertigte er in Chichén Itzá die ersten Stereoaufnahmen von Maya-Zentren an (*Desmond, 1988*).

Für seine unzähligen Aufnahmen - allein von Chichén Itzá fertigte er mehr als fünfhundert an - benutzte er eine doppelinsige Kamera mit Photoglasplatten im Format 5x8 Inch (Abb. 3.4).

Ihm folgten Forscher wie Edward H. Thompson, Alfred Percival Maudslay oder Teobert Maler, deren photographische Aufnahmen bereits von so hoher Qualität waren, daß sie noch heute die primäre Dokumentation darstellen.

Unter all diesen Personen war es vielleicht der Engländer Maudslay, der für die weitere Entwicklung der Architekturbestandsaufnahme die größte Bedeutung hatte. Der Maya-Forscher Harry Pollock drückte es so aus: „ *Der erste Archäologe auf dem Gebiet der Maya, den man als modern bezeichnen könnte, war Alfred Maudslay.*

*Das Ergebnis seiner umfangreichen Forschungsreisen und auch einiger Ausgrabungen war ein großes Werk mit Abbildungsmaterial von einer bisher unbekanntem Genauigkeit und Güte.“ (Pollock zitiert nach Sabloff, 1991: 49). Von 1881 bis 1894 fertigte er von verschiedenen Orten detailgenaue Pläne an und formte auf deren Basis aus Papiermaché Skulpturen, die er später in Gips goß und in London ausstellte (Riese B., 1995: 13).*

Sowohl Maudslay als auch bereits E. Thompson führten ihre Bauaufnahme in Zusammenarbeit mit einem professionellen Topographen durch. Ihre Pläne zeichnen sich nicht nur durch eine sehr detaillierte Darstellung der einzelnen Gebäude aus. Sie legten auch besonderen Wert auf die Positionierung und Ausrichtung der einzelnen Bauwerke zueinander. In einigen ihrer Pläne läßt sich das sehr gut anhand von dort eingetragenen Richtungslinien zwischen einzelnen Gebäuden oder auch zwischen Gebäuden und Stelen und insbesondere auch durch die Angabe von sowohl magnetisch Nord als auch astronomisch Nord erkennen (siehe *Maudslay, 1889/1902*).

Somit waren nicht nur die ersten Schritte einer genauen und detaillierten Dokumentation der Maya-Architektur gesetzt, sondern es wurde auch die Bedeutung anwenderspezifischer Präsentationsformen (Gipsskulpturen) erkannt und in der jeweils adäquaten Form angewandt.

Mit den ersten großangelegten Grabungen in den neunziger Jahren des vorigen Jahrhunderts und den folgenden in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts wurde die Bestandsaufnahme der obertägig sichtbaren Ruinen in den Hintergrund gedrängt (Riese B., 1995: 13) und führte in der Folge dazu, daß der Weiterentwicklung der Dokumentation von Bauwerken weder in methodischer noch in technischer Hinsicht viel Bedeutung zugemessen wurde.

Im Zuge der technischen Entwicklungen wurde zwar das zur Aufnahme verwendete Instrumentarium verbessert, doch eine methodische Weiterentwicklung konnte man nur in der Siedlungsdokumentation feststellen. Der Siedlungsarchäologe und Maya-Forscher Sabloff meint dazu:

*„Die vielleicht entscheidendsten Neuerungen für die Entwicklung der modernen Auffassung über die Maya-Kultur erzielte man mit den neuen Verfahren der Fernerkundung und mit verbesserten Methoden bei der Untersuchung von Siedlungsmustern oder Siedlungsformen. In den letzten Jahren fanden wesentliche Neuerungen bei der nichtphotographischen Bildverarbeitung der Erde einen wichtigen Anwendungsbereich in der Archäologie“ (Sabloff, 1991:84 und 100).*

So wurden 1929 die ersten Luftaufnahmen von Yukatan gemacht und im Zeitraum von 1977 bis 1980 wurden große Teile des südlichen Tieflandes mit einem Seitensicht radar von einem Flugzeug aus einer Höhe von 4.000 Metern aufgenommen und ausgewertet. In Sonderfällen, wenn es sich um besonders großräumige Ausdehnungen handelte, wurde die Luftbild-Photogrammetrie sogar in Einzelprojekten eingesetzt. Als Beispiel sei hier die aerophotogrammetrische Aufnahme des Talraumes von Copán genannt, die 1977 im Zuge des *Proyecto Arqueológico Copán* von der *Chicago Aerial Survey* durchgeführt wurde (Fash Jr and Long, 1983).

So vorteilhaft und wichtig die Einbeziehung der naturwissenschaftliche Disziplinen und deren neuen Methoden und Techniken für Siedlungs-Archäologie auch war, auf dem Gebiet der Architekturdokumentation zeichnete sich davon in dieser Zeit noch nichts ab.

Die Aufnahmen wurden mit dem bereits zur Jahrhundertwende verwendeten Instrumentarium wie Maßband, Bussole, Meßtisch, Theodolit, etc. durchgeführt und reichten in ihrer Ausführung und Genauigkeit meist nicht für eine genauere Analyse der Architektur.

Zu den sicherlich ansprechendsten und schönsten Präsentationsformen dieser Zeit zählen die Zeichnungen der Architektin Tatiana Proskouriakoff. Die von Detailreichtum und Feinheit geprägten Darstellungen entbehren zwar jeglicher Maßhaltigkeit, besitzen aber jene Anschaulichkeit, die zu erreichen eines der Ziele der modernen Architekturdokumentation ist.

Es dauerte dennoch bis in die späten sechziger Jahre, bis der Siedlungsraumforschung und auch der fundierten Architekturforschung der ihnen gebührende Erkenntnisgewinn zugestanden wurde (*Sabloff, 1991; Hohmann und Vogrin, 1982*) und somit auch die Sinnhaftigkeit des großen Aufwandes bei der Erstellung der dafür notwendigen Darstellungen und Pläne erkannt wurde. Zu den ausgezeichneten Dokumentationsarbeiten der Maya-Architektur in dieser Zeit des Umbruchs gehören unter anderem die Arbeiten von *John S. Bolles (1977)*, *Ignacio Marquina (1964)*, *George Kubler (1962)*, Paul Gendrop, George F. Andrews, Harry E. D. Pollock.

Methodisch und technisch verbessert und zur Perfektion gebracht wurde die durch Maudslays Arbeiten initiierte exakte und detaillierte Architekturaufnahme in der Arbeit *Die Architektur von Copán* der Architekten *Hasso Hohmann und Annegrete Vogrin (1982)*. Die Arbeit umfaßt mehrere hundert Einzelzeichnungen in Form von Normalriß- und Schnittdarstellungen sowie perspektivische Ansichten, die eine besonders anschauliche und auch einem ungeübten Planleser verständliche Präsentationsform darstellt.

Bei dieser Aufnahme wurde auch erstmals in der Maya-Forschung in großem Umfang und in professioneller Form die Photogrammetrie in Ergänzung zur Tachymetrie durch den Geodäten Robert Kostka eingesetzt (*Kostka, 1995*).

Mit der rasch fortschreitenden Entwicklung auf dem Gebiet der Computertechnologie kamen mit Ende der achtziger Jahre die ersten Computergraphikprogramme auf den Markt, die eine Bearbeitung der Daten in dreidimensionaler Form erlaubten (*Dahn, 1990; Schmitt 1990*).

So erfolgte 1989/90 im Zuge von Diplomarbeiten die erste digitale dreidimensionale Bearbeitung von räumlich komplexen Teilen eines Maya-Bauwerkes (*Heine, Kostka, Reiter, 1990; Heine 1992*). Diesen folgte in den Jahren 1992 bis 1994 ein Forschungsprojekt, bei dem ein Maya-Bauwerk in seiner Gesamtheit vollständig, exakt und detailgetreu in digitaler dreidimensionaler Form erfaßt wurde.

Das Ergebnis dieser Dokumentation ist eine digitale Graphik-Datenbank auf deren Basis, als Beispiel für das Potential dieses Systems, eine dynamische Bauwerks-Visualisierung berechnet wurde. Die auf Videoband aufgezeichnete Präsentation simuliert in Form einer High-End-Computeranimation einen Spaziergang (*virtual reality walk*) durch den *Palast von Santa Rosa Xtampak (Heine, 1994)*.

Die diesem Ansatz folgenden Arbeiten wie zum Beispiel die Projekte *Xkipché (Prem, 1994)* und *Calakmul (Carrasco, 1996)* sind Anlaß, die Methoden und Techniken dieser Dokumentationsform dem interessierten Forscher in Form einer detaillierten und alles umfassenden Arbeit als Grundlage für weiterführende Studien zur Verfügung zu stellen.

All diese Arbeiten zeigten immer deutlicher, daß die Entwicklung einer systematischen Vorgehensweise unumgänglicher ist.

### 3.3.2 Situationsanalyse

#### Bestehende Grundlagen

In einem Projekt der Graham Foundation von Chicago wurden in den achtziger Jahren dieses Jahrhunderts alle verfügbaren Pläne archäologischer Fundstätten Mesoamerikas gesammelt. Aufgrund des enormen Umfangs an Kartenmaterial, allein für den Maya-Bereich wurden bis 1985 mehr als 1000 Pläne registriert, kam es jedoch nie zu der geplanten Veröffentlichung (Schávelzon, 1990:8). Dabei reicht die Qualität der erstellten Pläne von der einfachen Handskizze bis zur detailgetreuen Darstellung.

*„Zusammenfassend muß festgestellt werden, daß weder die Dokumentation mittels geeigneter Darstellungen noch die Beschreibung, die durch die unzulängliche Terminologie beeinträchtigt wird, eine befriedigende Basis zur tieferen Erforschung des Siedlungsgefüges und der Architektur Mesoamerikas ergeben“ (Hohmann-Vogrin, 1992: 78).*

#### Anforderungen von seiten der Architekturanalyse

Zentral und grundlegend für die Arbeiten der Architekturanalyse (siehe Kapitel 3.2) ist die Darstellung und Beschreibung der Form von Siedlungsgefüge und Architektur in einer den entsprechenden Aufgabenstellungen angepaßten, qualitativ hochwertigen Form.

Jedoch sind es nicht nur die vielfältigen Darstellungsformen, die nach neuen Dokumentationsformen verlangen, sondern auch die Anzahl der exakten Bestandspläne. Bei einer fundierten architektonischen Untersuchung eines einzelnen Maya-Bauwerkes erreicht man, wie am Bauwerk IV von Becán zu sehen, Größenordnungen von über einhundertdreißig maßstäbliche Zeichnungen (Kostka und Hohmann, 1993). Daß dabei die einzelnen Elemente in den diversen Darstellungen, wenn auch in anderer geometrischer Projektion, wiederholt vorkommen, ist nur ein Faktum, das für eine dreidimensionale Objektdarstellung spricht.

#### Anforderungen von Seiten der weiterführenden Forschung

Ein bis dato kaum berücksichtigter Aspekt betrifft die sogenannte nachhaltige Nutzung dieser mit, wie bereits in Kapitel 3.3.1 erwähnt, doch sehr großem Aufwand erstellten Darstellungen und Pläne aus der Bauaufnahme.

Der räumliche Bezug zwischen einzelnen Elementen spielt auch in den anderen, am selben Objekt operierenden Forschungsdisziplinen eine bedeutende Rolle (Mayer, 1990; Mayer, 1992; Sulak, 1993). Dabei geht es zum Beispiel um Fragestellungen wie:

- Wo befinden sich im Raum ikonographische Darstellungen ?
- Wie ist die Anordnung und Ausrichtung von Stelen, Relieftafeln, etc. ?
- Kann man vom Vorhof eine bestimmte Skulptur sehen und wie stellte sie sich dar ?

Ein weiterer, äußerst wichtiger Aspekt liegt dabei in einer übersichtlichen, gut verständlichen Darstellung, da viele der in der Maya-Forschung tätigen Wissenschaftler keine Ausbildung in Bezug auf das Lesen von Plänen besitzen. Noch deutlicher erhebt sich diese Forderung bei der Darstellung dreidimensionaler Elemente, die auch von einem im Planlesen Geübten ein trainiertes räumliches Vorstellungsvermögen erfordert, um die Zusammenhänge klar erkennen zu können.

## Anforderungsprofil

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß der ständig steigende Bedarf an planlichen Unterlagen für weiterführende Studien sowie die neuen Möglichkeiten die sich durch die Verwendung des Computers in der Kulturgutforschung aufgetan haben, ein neues Anforderungsprofil in Bezug auf die Datenrepräsentation definieren (*Düppe, 1996; Ogleby, 1995; Waldhäusl, 1992*).

Bezogen auf die genannten Anwendungen Architekturanalyse und allgemeine weiterführende Arbeiten könnten die vom Dokumentationsmodell geforderten primären Eigenschaften folgendermaßen definiert werden:

- Modellstruktur
  - Vollständige, exakte und detailgenaue Dokumentation
  - Vielfalt bei der Modellbildung, sodaß sowohl tachymetrische und photogrammetrische Daten als auch alte Pläne, Maßbandmessungen, alphanumerische Bestandsinformationen, Dokumentationsfotos usw. in das Modell eingebaut werden können.
  - Möglichkeit der Einbringung von raumbezogenen Zusatzinformationen und Verweisen in das architektonische Modell
  - Flexibilität und Offenheit in Bezug auf die Verwendung: verschiedene Koordinatensysteme, wie sie besonders im Falle von Studien der Archäoastronomie auftreten
- Vielfältige forschungsspezifische Präsentation der Messdaten
  - Selektion von einzelnen oder von ganzen Gruppen von architektonischen Elementen zum Studium der Einzelcharakteristika oder zum Beispiel zur Bestimmung ihrer Volumina (Massen), um daraus den zum Bau einer derartigen Struktur notwendigen Energiebedarf zu berechnen (architectural energetics).
  - Anwendung Boolescher Operation auf den Modellinhalt (Differenz, Durchschnitt, Verknüpfung), um mit dem Ergebnismodell (z.B. Schnittplänen) Analysen der Baustatik durchzuführen, durch Überlagerung verschiedener Pläne Vergleiche zwischen ähnlichen Bauwerken zu ermöglichen oder den Erosionsfortgang zu bestimmen.
  - Visualisierung in perspektivischer Form und unter Anwendung von Renderalgorithmen und Animationssystemen zur Erzielung eines möglichst optimalen Raumeindruckes als Hilfsmittel bei der Analyse beziehungsweise Rekonstruktion des Bauwerkes
- Offene Systemkonfiguration
  - Standardisierte Datenschnittstelle, die in vielfältiger Form eine externe Kommunikation wie etwa WWW (world wide web) oder Multimedia -Einbindung ermöglicht
  - Verknüpfungsmöglichkeit mit externen Datenbanken (Bild, Schrift, Keramik,..),
  - Benutzer-Interface soll individuell konfigurierbar sein, sodaß der jeweilige Anwender im Bedarfsfall in möglichst einfacher und übersichtlicher Form die gewünschten Daten abrufen kann.

## 4 DAS DIGITALE BAUWERKMODELL

### 4.1 Einordnung und Abgrenzung

#### 4.1.1 Definition

Wie die vorangegangenen Ausführungen gezeigt haben, ist es notwendig, neue Dokumentationsformen zu finden, die besser geeignet sind, den Bestand der Architektur der Maya-Kultur zu beschreiben.

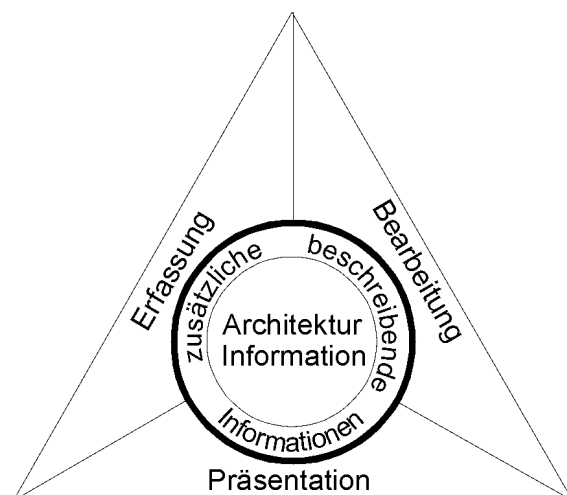
Durch die Entwicklungen auf dem Gebiet der Computertechnologie und Computergraphik sind wir heute in der Lage, Objekte der realen Welt dreidimensional im Computer abzubilden. Diese *digitalen räumlichen Objektmodelle* werden mit Hilfe von spezieller graphischer Software, den CAD-Programmen (computer aided design), erstellt. Je nachdem ob man nun Maschinenteile oder Gebäude konstruieren möchte, gibt es für diese Softwarepakete verschiedene Zusatzprogramme, die diverse Standardroutinen übernehmen. Ist das System für die Konstruktion von Bauwerken ausgelegt, so wird dieses dann als CAD-System mit CAAD-Kapazität (computer aided architectural design) oder schlicht als CAAD-System bezeichnet (*Schmitt, 1993:137*).

Unter einem *digitalen Architekturmodell* oder *digitalen Bauwerkmodell* versteht man hier ein dreidimensionales graphisches Computermodell eines Bauwerkes, das in exakter, vollständiger und detailgenauer Form den Architekturbestand dokumentiert.

Als richtungsweisend auf diesem Gebiet können die Arbeiten des *Engineering Surveying Research Centre in London* (*Cooper et al., 1992 und 1994; Littleworth et al., 1992; Robson et al., 1994*), und das Forschungsprogramm PAROS des französischen Kulturministeriums (*Florenzano et al., 1996; Saint-Aubin, 1990 und 1992*) genannt werden.

Dieses digitale Graphikmodell beinhaltet aber nicht nur die architektonischen Informationen, sondern auch alle weiteren für die Dokumentation eines Objektes bedeutsamen Informationen (Abb. 4.1) wie den Verweis auf bestehende Pläne, Photographien oder Bauwerke mit vergleichbaren Stilelementen.

Abb. 4.1:  
Konzeption des digitalen Architekturmodells als Kern einer umfassenden Bestandsdokumentation



Die Konzeption dieser Dokumentationsform erfolgte in diesem Fall so, daß sie einem möglichst großen Anwenderkreis in der Kulturgutforschung, und dort insbesondere der Maya-Forschung, zugänglich ist. Das heißt, die gesamte Dokumentation und



Präsentation des Architekturbestandes und der dazugehörigen Information hat unter Einsatz von nur einem einzigen handelsüblichen Computergraphikprogramm auf der Basis eines Standard-PC (586-Prozessor mit 24 MB Hauptspeicher) zu erfolgen.

Neben dieser primären Eigenschaft erlaubt die vorliegende Strukturierung der Modelldaten aber auch die Möglichkeit einer Einbindung in eine leistungsfähige Multimediaumgebung, bei der das Modell anderen Systemen zur Weiterverarbeitung zugeführt werden oder von diesen Daten empfangen kann.

#### 4.1.2 Multimedia Präsentation

In diesem Zusammenhang steht das Wort *Multimedia* in Anlehnung an die moderne Informations- und Kommunikationstechnologie als Synonym für die Vielzahl von technischen Geräten und Programmen für die integrierte Verarbeitung, Speicherung sowie Darstellung und Kommunikation von zeiten- und zeitabhängiger Information (Grünreich, 1996:17).

Bezogen auf die Präsentation räumlicher Information definiert der Kartograph F. Mayer *Multimedia* als Einsatz aller Medien in der jeweils bestmöglichen Anwendung und deren Einbeziehung in ein einheitliches interaktives Informationssystem (Abb. 4.2). Durch sinnvolle Kombination der diversen Medien kann dann nach jeweiliger Zielsetzung und Datenlage eine zugleich attraktive und detailreiche Präsentation höchster Stufe erreicht werden (Mayer und Kriz, 1996:15-16).

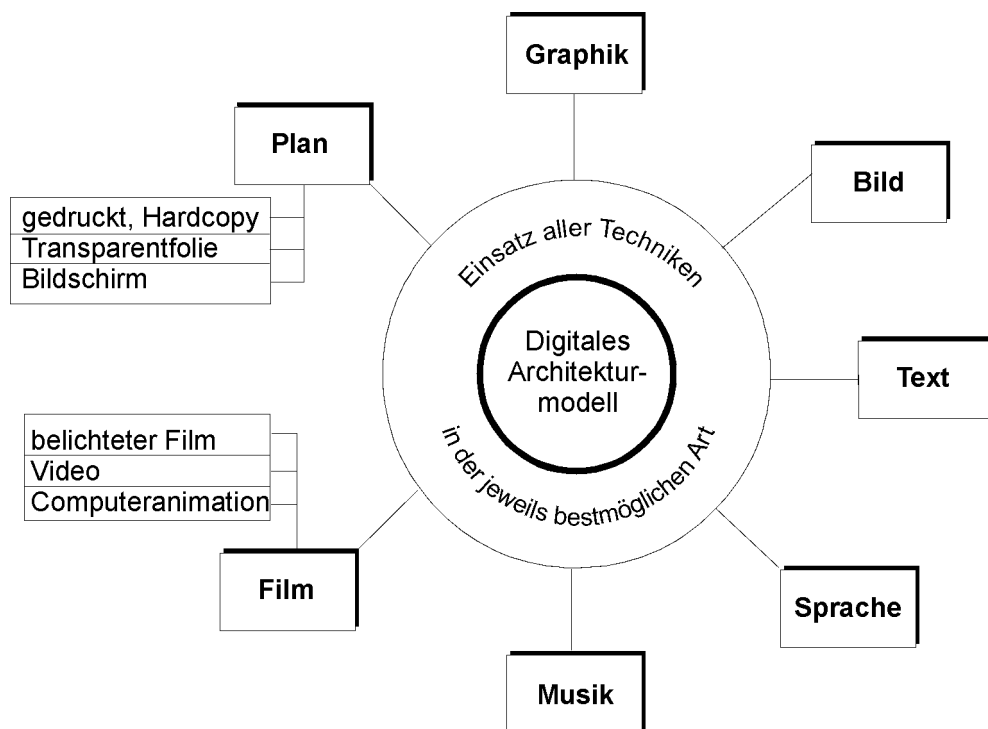


Abb. 4.2: Komponenten des multimedialen Umfeldes nach Mayer und Kriz, 1996

Obwohl die Entwicklung dieser integralen Präsentationstechnologie gegenwärtig noch in den Anfängen steckt, sind die einzelnen Medienmodule isoliert aber auch nebeneinander bereits voll nutzbar. In vielen Fällen sind auch schon sogenannte *links*, also Verknüpfungen zwischen den einzelnen Modulen, realisiert, die eine gemeinsame Präsentation der in der Datenbank gespeicherten Multimedia-Dokumente ermöglichen. Diese Verbindung von Multimedia-Technik und Computersystemen wird als *Hypermedia-*

*Technik* bezeichnet und ermöglicht es dem Nutzer, verschiedene Informationen zu kombinieren und die Art Ihrer Darstellung frei zu wählen (Grünreich, 1996).

Im Fall der Dokumentation des Architekturbestandes sollen Multimedia- oder Hypermedia-Techniken aber nicht nur im Bereich der Präsentation sondern auch in der Modellbearbeitung und der Datenerfassung zur Anwendung kommen. Dem Bearbeiter wird in strukturierter Form ein Dokumentationskonzept zur Verfügung gestellt, das den gesamten Prozeß von der Erfassung bis zur Präsentation umfaßt (Potsiou et al., 1992; Patmios, 1992). Gegliedert nach den einzelnen Arbeitsschritten werden jeweils mehrere Varianten angeboten, die untereinander modular zusammengesetzt werden können.

Somit ist ein Dokumentationsschema vorhanden, das es dem Bearbeiter entsprechend den jeweiligen Anforderungen und, was besonders wichtig ist, entsprechend den jeweiligen Ressourcen ermöglicht, die optimale Dokumentationsform zu wählen.

Diese kann entsprechend den Zielsetzungen von der alleinigen Dokumentation des Objekts in Form einer photogrammetrischen Aufnahme über die 2D- oder 3D-Dokumentation bis zur Computeranimation und Rekonstruktion auf einer virtuellen Werkbank (*virtual workbench*) reichen. Einen detaillierten Einblick in multimedialen Komponenten, ihre Leistungen und wie sie für die Architekturforschung genutzt werden können, gibt die unter dem Titel *virtual archaeology* veröffentlichte Zusammenstellung digitaler Rekonstruktionsstudien antiker Stätten (Mondadori, 1997).

Jedoch unabhängig davon, ob die Präsentation des Bauwerkes mit Hypermedia-, Multimedia- oder Singlemedia-Techniken erfolgt, ist es die Qualität der Basisdaten, die den Wert der Dokumentationswert bestimmt.

#### 4.1.3 Architekturmodell versus Stadtmodell

Ein Kunsthistoriker, Architekt oder Statiker verlangt für die Analyse eines gotischen Kreuzgewölbes einen höheren Detaillierungsgrad vom digitalen Modell des Bauwerkes als ein Stadtplaner bei der Überprüfung der städtebaulichen Höhenentwicklung (Scherer, 1995). Diese Tatsache, daß hier einmal mit hochgenauen Detailmodellen und das andere Mal mit einer großen Anzahl stark generalisierter Hausmodelle gearbeitet wird, läßt eine Unterteilung in zwei Modellformen, das *digitale dreidimensionale Stadtmodell*<sup>2</sup> und das *digitale Architekturmodell*<sup>3</sup>, als sinnvoll erscheinen. International gibt es weder für eine Grenzziehung zwischen den beiden Gebieten noch für die Benennung eine einheitliche Definition, und so werden je nach Forschungsrichtung oder Projektschwerpunkten individuell Einteilungen getroffen.

Neben den allgemeinen Termini *3D-Computermodell* oder *3D-CAD-Modell* verwendet man zum Beispiel in Frankreich die Bezeichnung *maquette numérique* oder auch *maquette de synthèse*, je nachdem welche Zusatzinformation das Modell eines Bauwerkes enthält (Saint Aubin, 1992:168).

An der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich hingegen erfolgt in dieser Hinsicht keine Unterteilung in verschiedene Modelltypen, sondern man unterscheidet in der Folge entsprechend Genauigkeit und Detaillierungsgrad des 3D-Stadtmodells (Sinning-Meister, 1995).

Diese Vereinheitlichung bringt jedoch einen der wesentlichen Problempunkte, nämlich die Inhomogenität und Inkompatibilität der verschiedenfältigen Ausgangsdaten von Stadtmodell und Architekturmodell nicht zum Ausdruck.

Es wird der Eindruck erweckt, daß man bei der Ansicht nur genügend stark vergrößern oder verkleinern muß, und schon gelangt man von der Vogelperspektive des Stadtviertels zur steingenaue Darstellung der Apsis des gotischen Doms.

---

<sup>2</sup> im folgenden nur mehr Stadtmodell genannt

<sup>3</sup> im folgenden nur mehr Architekturmodell genannt

Es ist jedoch in keiner Weise so, daß sich hochgenaue und detailgetreu modellierte Architekturmodelle mit einem Hausmodell des Stadtmodells, das in den meisten Fällen auf existierenden Gebäudedaten (Katasterdaten) basiert und mit Fassadenmapping versehen ist, redundanzfrei vereinen lassen.

Die Ursache dafür liegt in den vollkommen unterschiedlichen Anforderungen von Stadtmodell und Architekturmodell (Tabelle 3). Dazu zählt in erster Linie die Forderung der Echtzeitvisualisierung von Stadtmodellen; d.h. online die Stadt zu erwandern, konkrete Planungsvorhaben einzubauen, an diesen interaktiv Veränderungen rasch durchzuführen und unter Einbeziehung der bestehenden Umgebung in Echtzeit zu visualisieren. Bei einem Datenumfang von einigen 10 000 Bauwerken pro Stadt kann somit einem Einzelbauwerk auch unter Ausnutzung der gesamten Ressourcen moderner Workstations nur mehr eine sehr geringe Datenmenge zugeordnet werden. So haben konkrete Untersuchungen gezeigt, daß heute die höchste noch online verarbeitbare Ausbaustufe eines Stadtmodells ein Blockmodell mit Fassaden-Phototextur darstellt (*Ranzinger und Lorber, 1995*).

Die zweite Ursache für Redundanz liegt in der für eine Bestandspräsentation unzureichenden Genauigkeit der bei der Stadtmodellbildung verwendeten Kataster- und Naturdaten. Ein Stadtmodell ist wirtschaftlich nur dann vertretbar, wenn man auf bereits bestehendes Datenmaterial zurückgreift und dieses zur Bildung des Blockmodells verwendet (*Gruber et al., 1995*). Die in vielen Fällen bereits im Kataster in digitaler Form vorliegenden Grundrisse der Bauwerke besitzen zwar eine für die Stadtmodellbildung ausreichende Genauigkeit, sind jedoch so stark generalisiert, daß sie mit dem des detailgenauen Architekturmodells nicht übereinstimmen. Eine Architekturmodellbildung durch fortschreitende Verfeinerung des Stadtmodells ist somit nicht sinnvoll, da bereits bei der Grundflächenkonstruktion, also in der ersten Stufe der Modellbildung, ein Konflikt zwischen den Datengruppen auftritt. Andererseits wäre eine Generalisierung eines Architekturmodells in ein Blockmodell bei entsprechend strukturierten Modelldaten möglich, wird aber aufgrund der geringen Anzahl der bis dato im allgemeinen von einer Stadt vorliegenden digitalen Architekturmodelle noch konträr zu jeglicher wirtschaftlicher Überlegung sein.

Ein weiterer Punkt, der für eine getrennte Behandlung der beiden Modelltypen spricht, sind die unterschiedlichen methodischen und technischen Verfahren der Datenerfassung, Modellbildung und Visualisierung. Echtzeitvisualisierung ist derzeit nur mit Hochleistungsrechnern und speziell darauf abgestimmten Softwarelösungen und Datenstrukturen möglich (*Grün, 1996a*).

Digitale Architekturmodelle in hochgenauer Ausführung finden ihren Einsatz vorwiegend in der Detailplanung von Bauvorhaben sowie in der Bestandspräsentation von architektonischen Monumenten wie etwa dem Aachener Dom (*Effkemann, 1995*). Diese Tatsache ist außerdem verbunden mit den unterschiedlichen finanziellen und gerätetechnischen Voraussetzungen und macht eine getrennte wissenschaftliche Behandlung beider Formen absolut notwendig. Nur dadurch kann das Potential des jeweiligen Modelltyps für die spezifische Aufgabenstellung optimal ausgenutzt und die Effizienz im operationellen Einsatz gesteigert werden.

Stadtmodell	Digitales Architekturmodell
Echtzeitvisualisierung	Exakte, vollständige und detailgenaue Dokumentation des Architekturbestandes
<i>Online</i> die Stadt im Computer erwandern	Automatische Extraktion des geforderten Planmaterials aus dem 3D-CAD-Modell
Interaktiv konkrete Planungen einbauen und Veränderungen durchführen	Komplexe Rekonstruktionsstudien in den Bestand einpassen und verifizieren
Einbeziehung neuer Planungsvorhaben in die bestehende Umgebung und rasche Änderungsmöglichkeit konkreter Planungsergebnisse	Graphikdatenbank für viele weiterführende Forschungen wie Architektur, Archäologie, Astronomie und Visualisierung in adäquater Form
Effizienz	Effizienz
Verwendung vorhandener digitaler Daten, wie Katasterdaten und Naturdaten	Im allgemeinen sind keine digitalen Daten vorhanden; eventuell alte Pläne
Photogr. Auswertung der Dachlinien und automatische Datenakquisition	Detailgenaue geodätisch / photogrammetrische Bauaufnahme
Große Gebäudeanzahl (Graz: 34.000 Bauwerke)	Geringe Objektanzahl, jedoch hoher Detailreichtum
Automatische Generierung der Hausmodelle aus 3D-Punktwolken	sehr komplexe Geometrie -> sehr aufwendige Modellierung
Technik / Modellklassen	Technik / Modellklassen
Aktuellste Hard- und Softwareumgebung auf Workstation-Ebene	PC mit kostengünstiger Software ; Anwender ist kein Computerfachmann
Basismodell: quaderförmige Elemente	Basismodell: 3D-Geometriemodell
Blockmodell: Basismodell+Dach+Spezialobjekte	Fassadenmodell: Basismodell + Fassadenmapping
Detailmodell: Blockmodell+Fassaden-Phototextur → höchste Ausbaustufe	Detailmodell: Fassadenmodell + stein- und formgenaue Darstellung

Tabelle 3: Gegenüberstellung der jeweiligen Zielsetzungen und Entwicklungen von Stadtmodell und Architekturmodell



## 4.2 Daten und Datenmodell

### 4.2.1 Abstraktion und Strukturierung des realen Objekts

#### Architektonische Elemente

Wie im vorangegangenen Kapitel definiert, ist das digitale Bauwerkmodell ein im Computer mit Hilfe eines CAD-Programmes erstelltes detailgenaues dreidimensionales Abbild eines Bauwerkes, in welchem die architektonischen Elemente detailgenau, vollständig und exakt erfaßt sind.

In Anlehnung an die Architekturtheorie wird unter einem *architektonischen Element* eine charakteristische Einheit verstanden, die Teil der Architektur ist. Bezogen auf die Architektur der Maya-Kultur sei hier neben den bereits in den Kapiteln Architekturstile und Architekturanalyse genannten Arbeiten insbesondere jene über Copán (*Hohmann und Vogrin, 1982*) genannt, die sich in ausführlicher Weise mit diesem Thema beschäftigt. Diese Arbeit stellt die Basis für die weiterentwickelte und in Tabelle 4 dargestellte Gliederung der architektonischen Elemente.

Architektonische Elemente werden in die drei Hauptkategorien Masse, Raum und Fläche eingeteilt, wobei unter Masse jedes körperhafte Volumen und unter Raum ein Volumen, das von den Grenzflächen der umgebenden Massen gebildet wird, zu verstehen ist. Weiters werden diese Hauptkategorien in mehrere Ebenen gegliedert, wobei ein Element der übergeordneten Ebene jeweils aus den Elementen der untergeordneten Ebene besteht.

Die Schwierigkeiten bei der Systematisierung liegen vor allem in der Abgrenzung und Unterteilung der einzelnen Masse-Elemente. Viele Bauwerke, wie beispielsweise Struktur A-V von Uaxactún, wurden in einem Zeitraum von bis zu 500 Jahren und 20 Hauptbauphasen oder mehr errichtet. Von einer ersten steinernen Hausplattform, die später durch eine kleine Plattform überbaut wurde und einen kleinen Tempel trug, bis zu einem vielräumigen Gebäudekomplex mit mehreren Innenhöfen in der Endphase reicht der Aufbau dieses Bauwerkes.

Eine strukturierte Aufgliederung in einzelne Masse-Elemente ist in vielen Fällen wegen der ineinander übergehende Elemente unmöglich.

Da für eine sinnvolle Modellbildung im Computer eine strukturierte Gliederung aber unbedingt erforderlich ist, wurde für die Dokumentation von Bestandsobjekten eine neue Elementedefinition entwickelt.

Die Definition des Bauwerke-Modells erfolgt dabei nicht über die Masse-Elemente des Bauwerkes, sondern über deren freiliegende Grenzflächen (Tabelle 4).

Dabei definieren die Grenzflächen der niedrigeren Ordnung jeweils ein Masse-Element derselben Ordnung oder ein Raumelement der höheren Ordnung (Abb. 4.4).

Je nachdem, welche Seite der Fläche als außen beziehungsweise als innen definiert ist, kann die Grenzfläche einmal zur Beschreibung des Masse-Elementes und einmal zur Beschreibung des von ihm gebildete Raumelementes benutzt werden.

Wird beispielsweise eine begehbare Treppe auf der Außenseite eines an einen Hof angrenzenden Bauwerkes modelliert, so wird diese in Form der Auftrittsfläche der Frontfläche und gegebenenfalls der Seitenflächen der einzelnen Stufen modelliert und als 'Kleinstufen' (Grenzfläche des Massen-Elementes 3.Ordnung) abgespeichert. Dieses Element ist in der Folge sowohl Teil des Massenelementes 'Treppenanlage' (2.Ordnung) und des 'Sockelbaues' (1.Ordnung) als auch Teil des Raumelementes 'Hof', der auf einer Seite durch dieses Bauwerk begrenzt wird.

Elemente 1.Ordnung		Elemente 2.Ordnung	
Massenelemente	Freiräume	Massenelemente	Innenräume
Sockelbauten	Platz	Abstufungen	Hallen
Gebäude	Hof	Treppenanlagen	Raumzellen
Monumente	Dammweg	Fassaden	Grabkammern
Freistehende Mauer	Terrasse	Plattformen	Treppenhäuser
			Verbindungsräume
Grenzflächen	Räume	Grenzflächen	Räume

Elemente 3.Ordnung			Elemente 4.Ordnung
Massenelemente		Kleinräume	Massenelemente
Dachabschlüsse	Großstufen	Nischen	Bauskulptur
Decken / Gewölbe	Kleinstufen	Seilhalter	Material
Wände	Stützen (Säulen, Pfeiler)	Löcher (Gewölbebalken-)	
Böden	Rampen		
Grenzflächen		Räume	Grenzflächen

Tabelle 4: Gliederung der architektonischen Elemente von Maya-Bauwerken

#### Objektdefinition:

Zur Beschreibung eines Bauwerkes wird dieses sukzessive in die in Tabelle 4 aufgeführten architektonischen Elemente aufgegliedert. Beginnend mit der Aufteilung in Elemente 1.Ordnung werden die daraus resultierenden Elemente Schritt für Schritt in die Bestandteile der nächstniedrigeren Ordnung zerlegt.

Die unterste Ebene der Architektur-Gliederung stellen die Elemente der 4.Ordnung dar.

Massenelemente der 3.Ordnung (Wände, etc.) werden in dieser Ebene in Bereiche verschiedener Baumaterialien und Bauskulpturen aufgeteilt.

Die Unterteilung der Räume endet bereits in der 3.Ebene mit den 'Kleinräumen', da es in diesem Fall kaum Sinn macht, die im Baumaterial eingeschlossenen mikroskopisch kleinen Hohlräume geometrisch zu beschreiben.

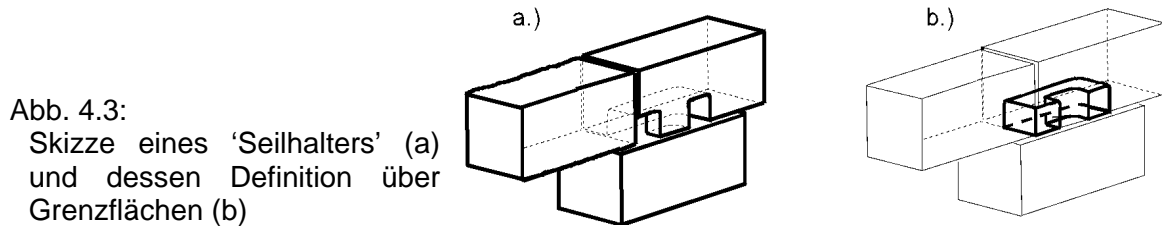
Als Beispiel solcher 'Kleinräume' seien die als 'Seilhalter' bezeichneten Hohlräume in den Masselementen der 3.Ordnung genannt (Abb. 4.3a). Dabei sind Steine so skulptiert, daß sie im eingebauten Zustand nach außen hin zwei kleine Öffnungen aufweisen, die im Inneren der Mauer miteinander verbunden sind.

Da Räume, wie bereits vorne ausgeführt, über die Grenzfläche der anliegenden Masse-Elemente bestimmt werden, werden für Räume der 3.Ordnung Massenelemente der 4.Ordnung zur Definition verwendet. Im vorliegenden Fall ist diese einen Kleinraum bildende (Massen-)Grenzfläche der Gruppe 'Bauskulptur' zugeordnet (Abb. 4.3b).

Im allgemeinen wird man aufgrund der geringen Größe von 'Kleinräumen' keine Untergliederung der 'Kleinraum'-Grenzflächen durchführen.

Analog zu den 'Gewölben', die auch nicht in 'Gewölbe'-'links' und 'Gewölbe'-'rechts' unterteilt werden, wird man die Grenzfläche eines 'Seilhalters' in der Wand auch

nicht in 'Bauskulptur'-'Seitenfläche1' und 'Bauskulptur'-'Seitenfläche2' und so weiter zerlegen, sondern als eine Grenzfläche ansehen und somit auch über ein einziges Masse-Element 'Bauskulptur'-'Seilhalterfläche' definieren.



Auf der Basis dieser bis ins kleinste Detail reichenden systematischen Untergliederung eines Bauwerkes in architektonische Elemente und der Definition von Bildungsgesetzen für die hierarchische Untergliederung konnte eine neue Methodik der Bestandsobjektgliederung entwickelt werden (Abb. 4.5).

Der Vorteil dieser Methodik liegt darin, daß

- die ursprünglich von der Architekturanalyse definierte Gliederungsstruktur nicht verändert, sondern in Hinblick auf eine konsistente Objektbeschreibung erweitert wurde. Somit können derzeit bestehende Beschreibungen architektonischer Elemente wie etwa jene des Lexikons der Maya Architektur (*Loten and Pendergast, 1984*) übernommen und in das neustrukturierte System übergeführt werden.
- jederzeit der Umfang an verschiedenen Typen von Elementen jeder Ordnung entsprechend den durch die Architektur gestellten Erfordernissen erweitert werden kann.
- der Detaillierungsgrad für jedes Element und je nach vorgegebenen, Dokumentationsziel frei gewählt werden kann. Die Eindeutigkeit der Elemente und der hierarchische Aufbau ermöglichen eine gemeinsame Bearbeitung von Gebäudeteilen, die beispielsweise bis zur 4. Ordnung aufgelöst wurden, und solchen von nur 3. Ordnung. So ist eine Raumzelle, unabhängig von der Ordnung der Elemente, aus der sie gebildet wird, immer eindeutig in der Bauwerksstruktur definiert (Abb. 4.5).
- das Modell ausschließlich aus den freiliegenden, metrisch erfaßbaren Grenzflächen aufgebaut ist. So müssen bei der Modellbildung keinerlei Annahmen über den nicht sichtbaren weiteren Verlauf oder die Begrenzung der einzelnen architektonischen Elemente getätigt werden, um ein in sich geschlossenes Modell zu erzeugen.

Die Beschreibung eines Objekts über seine Grenzflächen bietet somit die notwendige Flexibilität, die auch bei der Bestandsdokumentation komplexer, teilweise verfallener Bauwerke einen systematischen Modellaufbau aus eindeutig definierten Architekturelementen ermöglicht.

Weiters erlaubt die offene Struktur dieser Methodik eine Bauwerksbeschreibung, die nicht nur auf Gebäude im herkömmlichen Sinn, sondern auf sämtliche Bauwerke bis hin zu Höhlensystemen anwendbar ist.



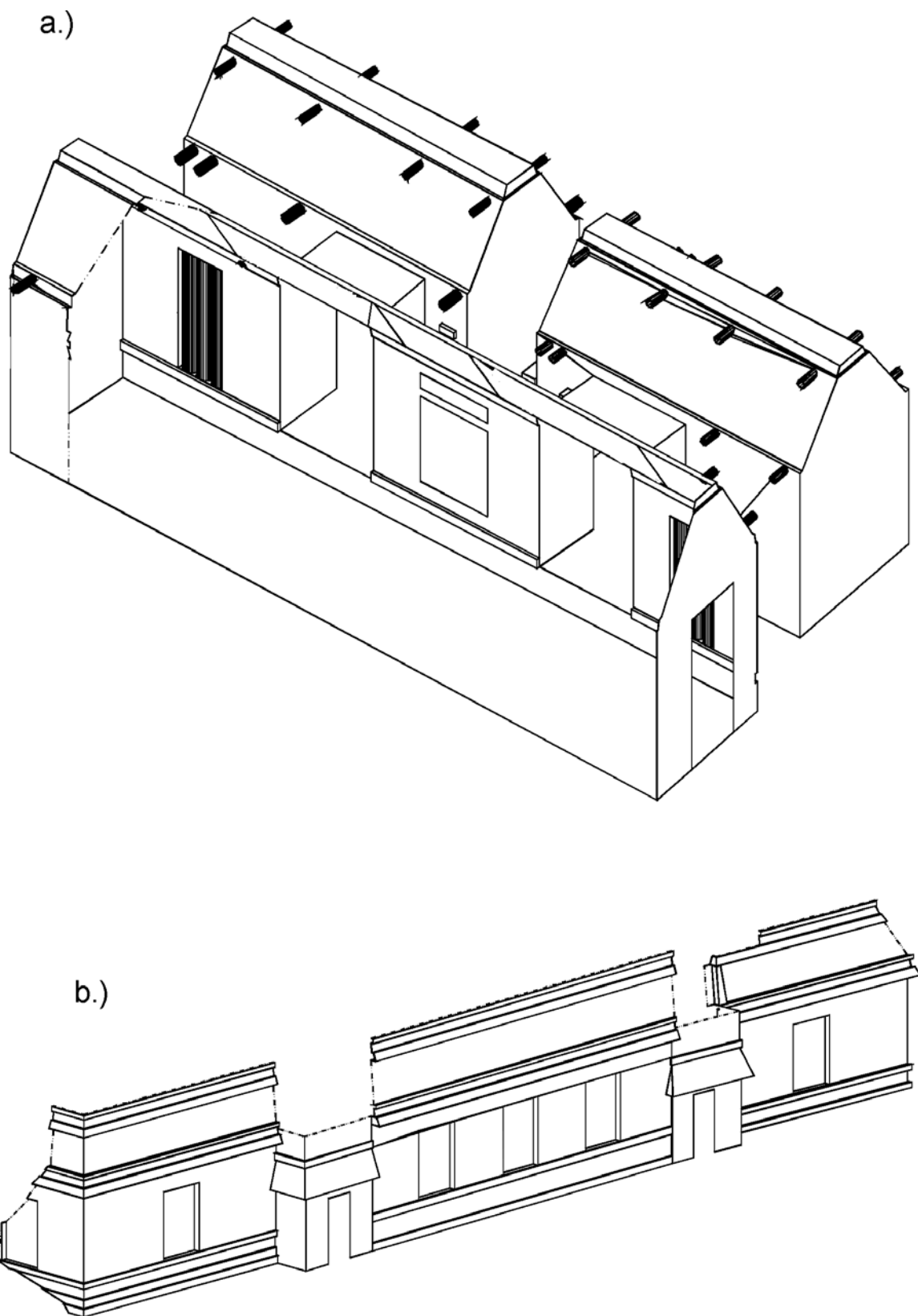


Abb. 4.4: a.)Raum-System - Raumzellen und b) Massenelement - Fassade definiert und generiert durch Grenzfläche-Elemente

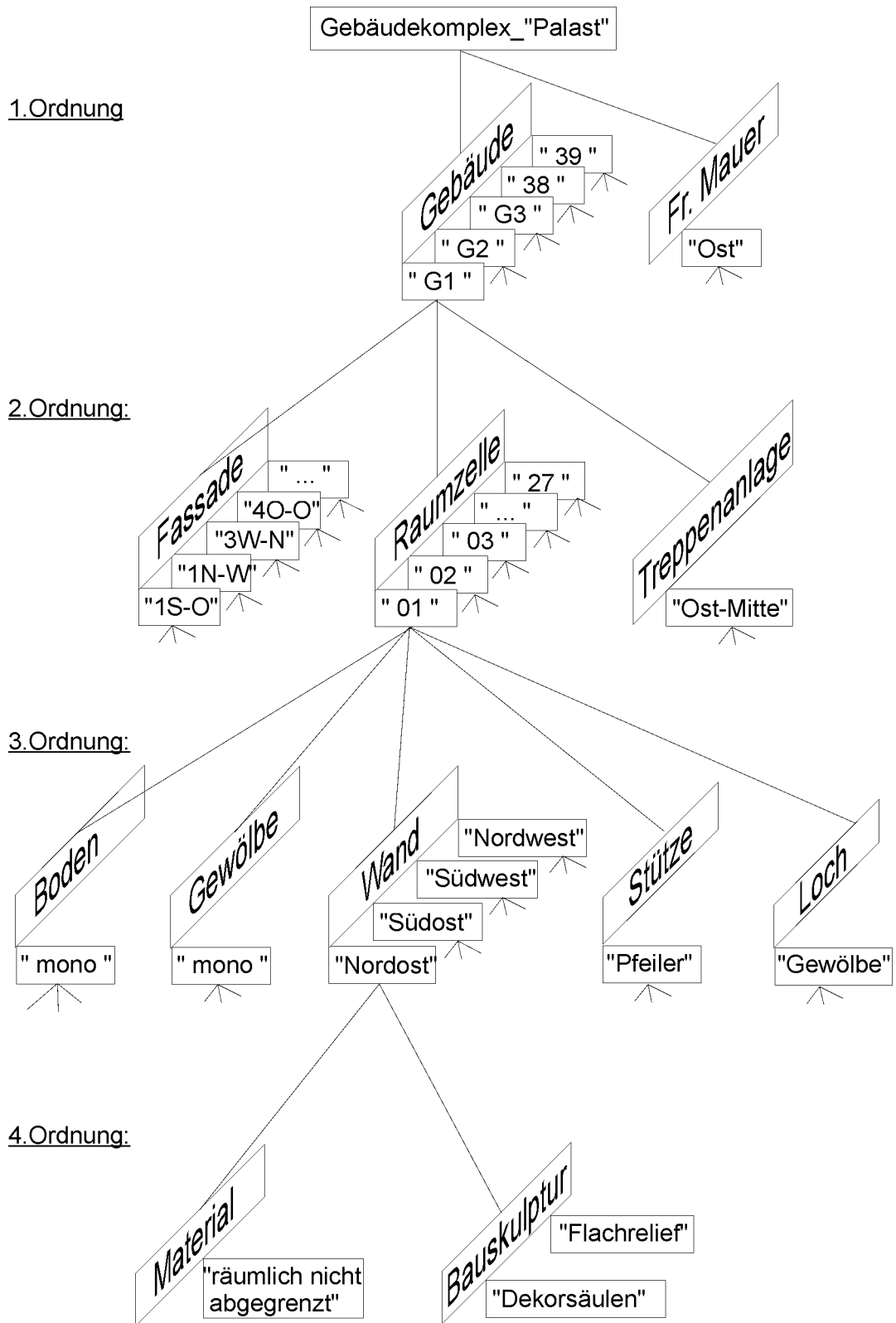


Abb. 4.5: Struktur des Prinzips der Bauwerksdefinition über architektonische Elemente - Definition der Nordostwand von Raum1 im 1.Geschoß des *Palastes* -

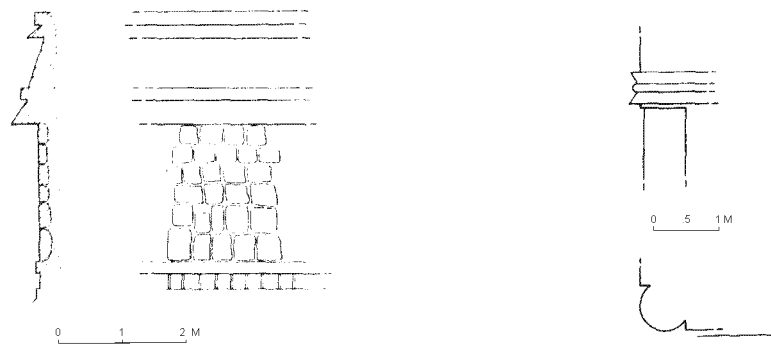


Abb. 4.6: Verlegung und Typ der Fassadensteine und weitere architektonische Details (Zeichnung nach Ruppert; in *Pollock, 1970*)

EXTERIOR		INTERIOR	
SITE: SITIO	DATE: FECHA	SITE: SITIO	DATE: FECHA
STRUCTURE: ESTRUCTURA O EDIFICIO (número o nombre)		STRUCTURE: ESTRUCTURA O EDIFICIO (número y/o nombre)	
GENERAL DESCRIPTION: DESCRIPCIÓN GENERAL		ROOM: CUARTO Nº... (se llena una ficha por cuarto)	
<b>Base moulding (or molding): Zócalo o rodapié</b> Form: Forma (número y forma de las partes componentes, perfil, decoración etc.) Size: Dimensiones (alto, ancho, profundidad, largo de cada parte)		<b>DIMENSIONS: DIMENSIONES</b> Length: Largo Width: Ancho	
<b>Lower walls: Muros bajos o paramentos de fachada</b> Height: Altura (de la parte superior del zócalo al sofito de la moldura baja) Stonework: Mampostería (tipo de aparejo, calidad, cantidad de hiladas, etc.) Thickness: Espesor del muro Decoration: Decoración (esculturas, relieves, columnillas o junquillos, petatillos, grecas "ataduras", mascarones, etc.)		<b>Walls: Muros</b> Height: Altura (del piso al arranque de la bóveda) Thickness: Espesor Stonework: Mampostería (tipo de aparejo, calidad, cantidad de hiladas, etc.) Doorways: Puertas (forma, dimensiones, jambas, dintel, comunicación, etc.) Rod sockets: Portavaras (usualmente sugeridas por depresiones en partes de igual altura en las dos jambas) Cordholders: Cortineros en muros (ya sean empotrados o integrales) Rings: Anillas (descripción, dimensiones) Wall openings: Huecos practicados en muros (nichos, ventilas, mechinales, etc.) Observations: Observaciones (otros elementos tales como banquetas, etc.)	
<b>Doorways: Puertas</b> Shape: Forma (rectangular, trapezoidal, etc.), dimensiones Jambes: Jambas (monolíticas, hecha de varias piedras grandes a pequeñas, etc.) Lintel: Dintel (material, dimensiones, decoración) Other: otros (columnas, capiteles, modillones, etc.)		<b>Vaults: Bóvedas</b> Springline offset: Proyección (o saliente) en el arranque Height: Altura de la bóveda (en los estilos clásicos del Puuc, se mide del arranque a la moldura de remate del intradós: vease fig. 6) Form: Forma (sección del intradós, etc.) Stonework: Mampostería (tipo de aparejo, calidad, cantidad de hiladas, forma de las piedras de bóveda, etc.) Capstones: Piedras-tapa o de cierre (decoración escultórica o pictórica, dimensión entre los dos extremos de la bóveda) Crossbeams (or Crosssties): Travesaños de madera (diámetro, cantidad, distribución) Other: Otros (nichos, cortineros, pinturas o esculturas, capialzos, etc.) Observations: Observaciones (rasgos atípicos, etc.)	
<b>Medial moulding (or molding): Moldura media</b> Form: Forma (número y forma de las partes componentes, decoración, perfil, etc.) Size: Dimensiones de cada parte Projection: Proyección máxima, volado o saliente			
<b>Upper wall: parte superior del muro, o friso</b> Height: Altura (entre la moldura media y la cornisa) Decoration: Decoración (junquillos lisos o con "ataduras", petatillo, grecas simples o escalonadas, mascarones, etc.) Stonework: Mampostería (tipo de aparejo, calidad, cantidad de hiladas, etc.) Other: Otros rasgos (atípicos o diferentes)			
<b>Cornice: Cornisa</b> Form: Forma (similar o distinta a la moldura media) Size: Dimensiones de cada parte Projection: Proyección máxima, volado o saliente			
<b>Roof structure: Crestería (o remate de otro tipo)</b> Location: Posición en relación a la cubierta (cargada al frente o "volada", en posición media o posterior) Description: Descripción formal, tipo de ornamentación, etc. Dimensions: Dimensiones (horizontales y verticales, espesor, etc.)			
<b>Architectural style: Estilo arquitectónico</b> Observations: Observaciones (fase o periodo, aparentes influencias o interrelaciones, etc.)		<b>George F. Andrews, Paul Gendrop y Juan Antonio Siller</b>	

Abb. 4.7: Informationsumfang des Protokolls zur Bestandsdokumentation von PUUC-Architektur (*Andrews et al., 1985*)

## Beschreibende Informationen zur Architektur

Außer den in Elemente der ersten bis zur vierten Ordnung eingeteilten architektonischen Informationen enthält eine umfassende Architektur-Bestandsbeschreibung noch weitere ergänzende Informationen, welche beispielsweise auf die Existenz von bemalten Schlußsteinen oder auf vorhandene Farbreste an den diversen Elementen hinweisen. Diese Informationen stellen somit in gewisser Hinsicht eine Verfeinerung des abstrahierten Bauwerkmodells dar. Dabei ist weniger der Raumbezug als der thematische Informationsgehalt von Bedeutung; die Geometrie dient in diesem Fall nur als Koordinationsstelle (Cooper et al., 1992).

Da diese Elemente von Stilregion zu Stilregion sehr stark differieren, ist hier eine allgemeingültige Auflistung nicht durchführbar. Eine Zusammenstellung und Beschreibung der in der Stilregion zu erwartenden Elemente ist somit jeweils aus den einschlägigen Abhandlungen über den betreffenden Architekturstil oder bestehenden Berichten über Forschungsobjekte zu entnehmen. Als beispielgebend für eine umfassende und detaillierte Beschreibung dieser Art kann hier Harry Pollocks Architekturbeschreibung *Architectural notes on some Chenes ruins* (Pollock, 1970) mit den Zeichnungen von Karl Ruppert bezeichnet werden (Abb. 4.6).

## Dokumentationsspezifische Zusatzinformationen

### Historisches Dokumentationsmaterial

Seit dem Beginn der Dokumentation von Maya-Architektur vor fast zwei Jahrhunderten wurden viele Stätten und Bauwerke immer wieder von Forschern aufgesucht und unter Einsatz der verschiedensten Methoden dokumentiert (siehe Kapitel 3.3.2). Neben den mehr als eintausend vorhandenen Zeichnungen und Plänen (Schávelzon, 1990:8) existieren ausführliche Beschreibungen und photographische Aufnahmen des architektonischen Bestandes. Diese Dokumente sind aber in den meisten Fällen nicht nur für die einer beabsichtigten Dokumentation vorausgehenden Planungen von Bedeutung, sondern bilden sehr oft auch gleichzeitig einen Teil des endgültigen Dokumentationsmodells. Dies ist insbesondere bei solchen Objekten der Fall, die in der Zwischenzeit entweder sehr stark verfallen sind oder von Plünderern zerstört oder entfernt wurden.

### Aktuelles Dokumentationsmaterial

Neben diesen historisch besonders wertvollen Informationen sind es die im Zuge des Aufnahmeprozesses aufgezeichneten, aber im Bauwerkmodell nicht als Geometrieobjekte umgesetzten Daten, die in vielfältiger Form den Informationsgehalt einer Dokumentation zu ergänzen vermögen. Dazu zählen vor allem die den Datenerfassungsprozeß begleitenden photographischen Aufnahmen, Anmerkungen zum Verfallsgrad oder Verweise auf weiterführende Arbeiten.

Wie detailliert und umfangreich diese zusätzlichen Informationen einer fundierten Bauaufnahme sein können, läßt sich anhand des von George F. Andrews, Paul Gendrop und J.A. Siller für die Dokumentation von Puuc-Architektur vorgeschlagenen Protokolls der Bauaufnahme abschätzen (Abb. 4.7).

Die Definition von Beziehungen und Bedingungen in Bezug auf die Architektur und der sie beschreibenden Informationen ermöglicht somit eine strukturierte Abstraktion des Realbestandes (Abb. 4.5). Das Ergebnis ist ein Modell, das sämtliche Informationen der Bauaufnahme beinhaltet und aufgrund der Systematik „computer-modulierbar“ ist.

## 4.2.2 Formalisierung und Datenorganisation

Eine Stufe tiefer als die Modellierungsphase, also näher bei der Realisierung am Computer, sind Fragen der Datenorganisation angesiedelt; dabei geht es um eine dem Raumbezug der Daten genügende Form der Speicherung, um das Ausnutzen der Datenbanktechnologie und um das Design geeigneter Schnittstellen (*Bartelme, 1989*).

Bezogen auf die Datenstruktur von CAD-Systemen ergibt sich für die Datenorganisation eine primäre Gliederung in zwei Datentypen, die Objektdaten (graphischen Daten) und die auf sie bezogenen Attribute (nichtgraphische Daten). Diese Struktur und ihre formalen Bedingungen bilden das Modellschema, in das die Informationen des abstrahierten Modells transformiert werden (Abb. 4.8).

### Objekte

CAD-Systeme arbeiten auf dem Prinzip objektorientierter Datenstrukturen. Ein Objekt ist hier eine geschlossene Struktur, die aus Kanten (= Linien, Ploylinien, Kurven) besteht. Für die Bearbeitung in 2D ist die Definition über Kanten ausreichend. In der 3D-Modellierung erfordert das Problem der Sichtbarkeit und der Eindeutigkeit in der Repräsentation jedoch nicht nur Kanten für die Modellbildung (Drahtmodelle), sondern dichtere Informationen wie Oberflächen- oder Volumenmodelle (*Brandstätter, 1995b*).

Dabei definiert der Anwender das (*Geometrie*-)Objekt durch Zusammenfassung von mehr oder weniger komplexen elementaren Teilen, die in der Geometriedatenbank des Systems enthalten sind. Zu diesen geometrischen Grundelementen zählen Polygonflächen, Kegel, Zylinder, Kugel, Quader und ähnliches (*Schmitt, 1993:136*).

Damit ein sinnvolles Modell (Objekt) aufgebaut werden kann, ist neben der *Geometrie* die *semantische Kennzeichnung* eine notwendige Voraussetzung.

Objekte mit demselben *Kennzeichen* bilden eine gemeinsame *Objektklasse*. Zur eindeutigen Identifikation eines Objekts in einer Objektklasse wird der semantische Aspekt des Objekts verfeinert, indem man dieses Objekt benennt, es also mit einem Objektidentifikator versieht (Abb. 4.9 und Abb. 4.8). (*Bartelme, 1995:42-43*).

Je nach eingesetztem CAD-System sind verschiedene Möglichkeiten gegeben, in welcher Form dem geometrischen Objekt die semantischen Kennzeichen zugewiesen werden. Einige Möglichkeiten davon sind die Zuteilung verschiedener Farbcodes, die Zusammenfassung zu Gruppen oder die Zuweisung zu verschiedenen thematischen Ebenen (*Layer*). Alle diese Varianten können einzeln oder aber in Kombination angewandt werden.

Eine Kombination von Objektklassifikatoren und Objektidentifikatoren ergibt für jedes Objekt einen eindeutigen Schlüssel, *Surrogat* genannt. Unabhängig davon welche Methode zur semantischen Kennzeichnung gewählt wird, gewährt der Schlüsselbegriff in Form des Gruppennamens, des Layernamens, usw. die eindeutige Identifikation des Objekts (Abb. 4.9).

Die Objektorientiertheit der CAD-Systeme und die hierarchische Strukturierung der architektonischen Elemente (Kap.4.2.1) ermöglicht den Aufbau einer sinnvollen Modellstruktur. Dabei bilden die aus graphischen Grundelementen (*Primitiven*) zusammengesetzten Objekte die unterste Stufe der Modellstruktur (*Davies et al., 1991:62*) und repräsentieren die architektonischen Elemente der jeweils untersten Ebene. Analog zum Primärmodell ergeben sich die nächsten Ebenen aus Zusammenfassung der jeweils unteren (Abb. 4.9).

Bezogen auf die Datenstrukturierung der Informationen der Bestandsdokumentation (Kapitel 4.2.1) bedeutet dies, daß

- die *Geometrie* durch die metrisch/topologischen Informationen des architektonischen Elements,
- die *Objektklassifikation* (*semantische Kennzeichnung*) durch Ordnung und Typ des architektonischen Elements und
- die *Objektidentifikation* durch den Namen oder die Nummer des Elements definiert ist. (Abb. 4.8).

Die Basisdaten für die Modellbildung der architektonischen Elemente sind die aus der Bauaufnahme kommenden Meßdaten und etwaige bereits vorhandene Unterlagen.

Entsprechend dem verwendeten Aufnahmeverfahren wird dabei die geometrische Information in Form von Winkel- und Streckenmessungen, 3D-Koordinaten oder Linienelementen vorliegen.

Die topologischen Informationen, manchenmal auch auch topometrische Informationen genannt (*Brandstätter, 1995b:45*), werden in Form aufgezeichneter verbaler Beschreibungen, Topologieskizzen oder photographischer Aufnahmen die Geometrie vervollständigen.

Diese Daten müssen so strukturiert vorliegen, daß die einzelnen architektonischen Elemente eindeutig als Objekte zu erkennen und zu unterscheiden sind.

Auf der Basis dieser geometrischen Grundinformation wird dann die Generierung der architektonischen Elemente des digitalen Bauwerkmodells durchgeführt.

Abstrahiertes Modell der Wirklichkeit	Datenstruktur und Modellaufbau im CAD-System	
Architektonisches Element:	Graphische Daten	
Metrisch \ topologische Informationen aus Bauaufnahme	Objektgeometrie	Objekt aus graphischen <i>Primitiven</i>
Ordnung und Typ des Elements	Objektklassifikation	{ Gruppe { Objektname (Surrogat) Name           }           }
Name des Elements	Objektidentifikation	

Abb. 4.8: Datenstruktur nach Formalisierung der Architekturelementinformationen

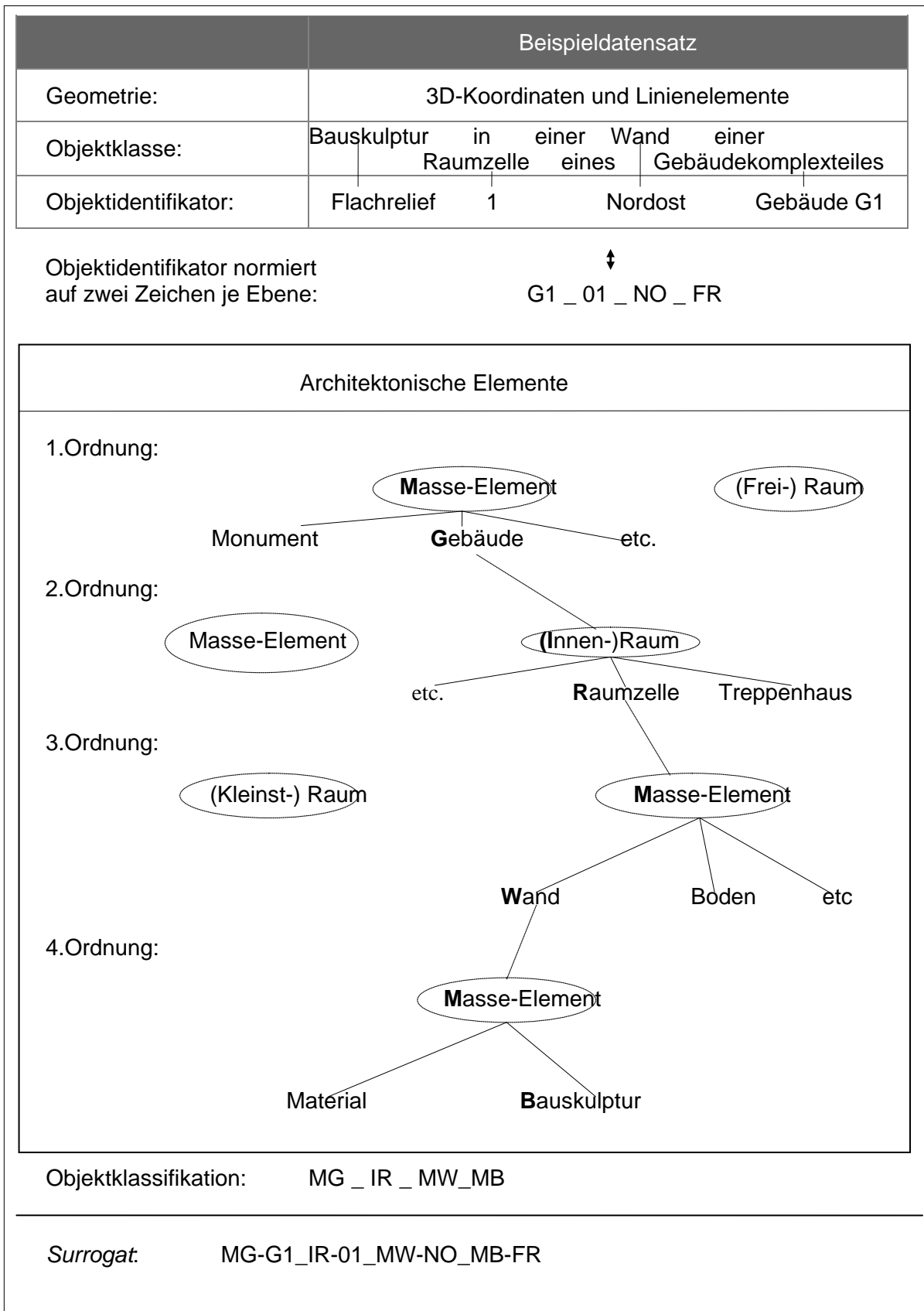


Abb. 4.9: Bildung des eindeutigen Objektschlüssels (*Surrogat*) am Beispiel des Architekturelements 'Bauskulptur'-'Flachrelief'

## Attribute

Wie bereits oben angesprochen bedarf eine umfassende Bestandsdokumentation eines äußerst exakten Modells, welches sämtliche Informationen beinhaltet. Viele CAD-Systeme bieten dazu die Möglichkeit an, die graphischen Elemente des CAD-Modells mit Attributen zu versehen, die es erlauben, die Charakteristik des Objekt näher zu beschreiben. Diese nichtgraphischen Daten sind den Objekten zugeordnete zusätzliche (Text-) Informationen (Abb. 4.8).

Je nachdem, ob das CAD-System mit einer Datenbank verbunden ist oder isoliert, also im *stand-alone* Betrieb, benützt wird, ergeben sich für die Attribut- und Objektverwaltung verschiedene Möglichkeiten.

### Externe Datenbank

Im Fall der externen Datenbankkonexion erfolgt die Verwaltung der Zeichnungsdaten in einer externen Datenbank, und es ist dadurch die Möglichkeit des automatischen Abgleichs von Objekt- und Attributdaten von der Zeichnung in die Datenbank und von der Datenbank in die Zeichnung gegeben (Hirschberg, 1996). Ein solcher bidirektionaler Datenaustausch mit automatischer Änderung in den Geometrie- bzw. den Sachdaten wird als *dynamisch* bezeichnet.

Ermöglicht wird diese bidirektionale Kommunikation im CAD-System durch sogenannte SQL- (Structured Query Language) -Erweiterungen. Um dieses Datenbankabfragemodul nutzen zu können, muß weiters ein geeignetes Datenbankverwaltungsprogramm (DBMS) zur Verfügung stehen und mit einer SQL-Umgebung versehen werden. Erst mit Hilfe

- eines DBMS,
  - der Installation der SQL-Erweiterung,
  - der Datenbanken, auf die zugegriffen werden soll, und
  - der Definition von den Benutzern, die auf diese Datenbanken zugreifen,
- wird aus dem CAD-Modell eine „intelligente“ Informationsquelle (Abb. 4.10).

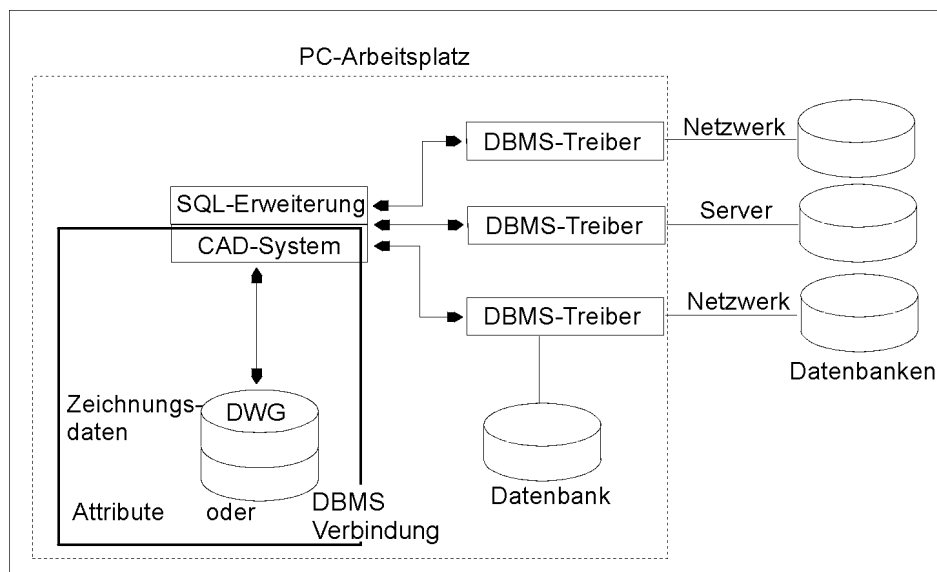


Abb. 4.10: Verwaltung von Zusatzinformation im CAD-System über externe Datenbank- (DBMS) Verbindung oder über Objektattribute (□)



In dieser Hinsicht ist jedoch anzumerken, daß das Arbeiten mit SQL-Erweiterungen nicht viel mit den Konstruktionsmöglichkeiten eines CAD-Systems zu tun hat und somit auf jeden Fall nur vom erfahrenen PC-Anwender durchgeführt werden sollte (*Markus und Jaksch, 1995: 526ff*).

Bezogen auf die Intention dieser Arbeit, ein Dokumentationsprinzip für die in der Dokumentation und Erforschung der Architektur der Maya-Kultur tätigen Wissenschaftler zu bieten, kommt die Attributverwaltung über externe Datenbanken aufgrund des extrem hohen Aufwandes an Infrastruktur und notwendigen Spezialwissens auf dem Gebiet der Datenbankprogrammierung nicht in Frage.

Objektattribute

Im dazu alternativen Fall werden dem Objekt die Attribute über die vom CAD-System zur Verfügung gestellten Standardbefehle zugewiesen und in der Zeichnungsdatenbank zusammen mit den graphischen Daten gespeichert.

Dabei wird einmalig für die jeweiligen Objektklassen eine Attributliste erstellt, in die dann nach erfolgter Objektgenerierung die Attributwerte entsprechend dem Bestandsdatenprotokoll ohne weitere Aufbereitung eingetragen werden können.

Die in den Attributen gespeicherten Attributwerte können in der Folge mit Hilfe spezieller Befehle aus der CAD-Zeichnung extrahiert werden. Diese Variante bietet zwar keine Datenbankfunktionalität im engeren Sinn, ermöglicht aber ebenfalls die Weiterbearbeitung dieser Attribute in Datenbank-Programmen wie etwa dBASE III (*Kirkpatrick, 1992:167ff*).

Die Einfachheit der Attributverwaltung und die Tatsache, alleine mit der Basisversion des CAD-System das Auslangen zu finden, sprechen für den Einsatz dieser Variante der Attributverwaltung im digitalen Bauwerkmodell.

Wiederum bezogen auf die Informationen der Bestandsdokumentation (Kapitel 4.2.1) bedeutet dies, daß die in Kapitel 4.2.1 unter „Beschreibende Informationen zur Architektur“ und „Dokumentationsspezifische Zusatzinformationen“ genannten Dokumentationsdaten in Form von zwei getrennten Gruppen oder auch einer gemeinsamen Attributgruppe den CAD-Objekten zugewiesen werden können (Abb. 4.11).

Abstrahiertes Modell der Wirklichkeit	Datenstruktur und Modellaufbau im CAD-System	
Ergänzende Informationen:	Nichtgraphische Daten	
Beschreibende Informationen zur Architektur	Objektcharakteristik	Attributgruppe 1
Dokumentationsspezifische Zusatzinformationen		Attributgruppe 2

Abb. 4.11: Datenstruktur nach Formalisierung der ergänzenden Informationen

## 4.3 CAD-Systeme und Elemente der Computergraphik

### 4.3.1 Produkte und 3D-Funktionalität

War die dreidimensionale CAD-Bearbeitung bis Ende der achtziger Jahre nur auf Workstations durchführbar, so ist mit Erscheinen der Version 10 von AutoCAD das erste 3D-CAD-System für den Einsatz auf Personalcomputern auf den Markt gekommen. Durch die für immer breitere Anwenderschichten erschwingliche notwendige Hardwareausstattung und die stetige Weiterentwicklung der graphischen Software sind heutzutage interaktive graphische Verfahren der Schlüssel zur effektiven und benutzerfreundlichen Verarbeitung komplexer Datenbestände (*Zavodnik und Kopp, 1995*).

In dieser Hinsicht ist zu erwähnen, daß viele der für den Betrieb auf PC-Basis angebotenen CAD-Systeme diese Eigenschaft nicht aufweisen. Die billigeren CAD-Softwareprodukte wie *AutoSketch* oder *Techsoft Designer* bieten zwar die Möglichkeit der isometrischen Darstellung an, doch sind dies keine 3D- sondern reine 2D-Bearbeitungen. Dabei wird die isometrische Darstellung des Objekts unter Einsatz des Interpretationsvermögens des Bearbeiters auf einer zweidimensionalen Ebene konstruiert (*Davies et al., 1991:185 ff*).

Bei einem echten 3D-fähigen CAD-System werden die Objekte in einer auf einem x,y,z-Koordinatensystem basierenden 3D-Umgebung konstruiert und in einer 3D-Datenbank gespeichert. Durch die Wahl einer entsprechenden Projektionsart, zum Beispiel Isometrie, erfolgt dann die Projektion des räumlichen Objekts auf die vorgegebene Projektionsebene.

Auf dem Gebiet der CAD-Systeme mit vollwertiger dreidimensionaler Funktionalität auf Personal Computer haben sich zwei Produkte,

- MicroStation von Bentley Systems und
- AutoCAD von Autodesk

als das weltweit am stärksten verbreitete CAD-Paket von allen weiteren Anbietern abgehoben (*Markus und Jaksch, 1995*).

Obwohl beide Systeme grundsätzlich über Draht-, Oberflächen und Volumen-modellierer verfügen, gibt es Unterschiede in der Philosophie bezüglich der jeweiligen Objektmodellierer.

MicroStation unterstützt in einem sehr starken Maße die Konstruktion von Oberflächen-Objekten, während AutoCAD in immer stärkerem Maße den Volumenmodellierer zu forcieren scheint.

Wie subjektiv jedoch die Beurteilung dieser Kriterien im allgemeinen ist und wie ähnlich das Leistungspotential der beiden Systeme für den Einsatz in der digitalen Architekturphotogrammetrie zu sein scheint, zeigt sich zum Beispiel daran, daß am Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der ETH in Zürich AutoCAD und am Geodätischen Institut der RWTH in Aachen MicroStation als Grafikpaket eingesetzt wird; beide Male begründet mit der Leistungsfähigkeit der jeweiligen Programmschnittstellen (*Grün, 1996b:1; Benning, 1995:8*).

Damit nun der Anwender die von den CAD-Systemen angebotenen vielfältigen Möglichkeiten der geometrischen Repräsentation der Daten gliedern und in Bezug auf seine Anforderungen beurteilen kann, folgt eine kurze Beschreibung der verschiedenen 3D-Modellierer und ihrer grundlegenden Eigenschaften.

## 4.3.2 3D-Modelliersysteme

### Typen von Modellierern

#### Volumenmodeller

*Volumenmodeller* basieren auf der Vorstellung, daß komplexe Objekte ausgehend von wenigen einfachen Grundkörpern hergestellt werden. Das Objekt wird dabei schrittweise durch Anwendung der Boole'schen Operationen *reguläre Vereinigung*  $\cup^*$ , *regulärer Durchschnitt*  $\cap^*$  und *reguläre Differenz*  $-^*$  auf die Grundkörper konstruiert (Abb. 4.12). Als Grundkörper werden bei CSG-Modellierern (CSG=Constructive Solid Geometry) meist einfache, räumlich begrenzte geometrische Körper wie Kugel, Kegel, Prisma oder Torus, manchmal aber auch unendlich ausgedehnte Grundkörper wie durch Flächen begrenzte Halbräume verwendet.

Neben den vorgestellten CSG-Modellen gehören unter anderem noch die bis dato weniger verbreiteten Voxel-Modellierer zur Gruppe der Volumenmodellierer. Dabei wird die Idee verfolgt, den Raum rekursiv in Volumenelemente (Voxels) aufzuteilen. Die Aufteilung erfolgt dabei durch Zerlegung des Gesamtraumes in acht gleich große Quader, die jeweils ganz leer, ganz mit Materie gefüllt oder inhomogen sein können. Im letzten Fall wird der Teilbereich wieder in acht gleichgroße Quader zerlegt (Abb. 4.13).

Diese Art der Modellbildung wird aber vorwiegend für die Darstellung von mit dem Rechner generierten Objekten eingesetzt. Weiters eignet sie sich besonders gut für die Speicherung dreidimensionaler Strukturen, die zum Beispiel aus einer Folge von Tomographieaufnahmen zusammengesetzt worden sind. Allerdings ist bei größerer Auflösung der erforderliche Speicheraufwand sehr hoch (Zavodnik und Kopp, 1995:269ff).

Entsprechend ihrem Ansatz sind die auf Standard-PC-Basis arbeitenden Volumenmodellierer nicht für die Konstruktion von Objekten mit amorphen Oberflächen und komplexer innerer Struktur geeignet.

Ihr Hauptanwendungsgebiet findet sich in dieser Art bisher vor allem im Bereich des Maschinenbaus und der Mechanik.

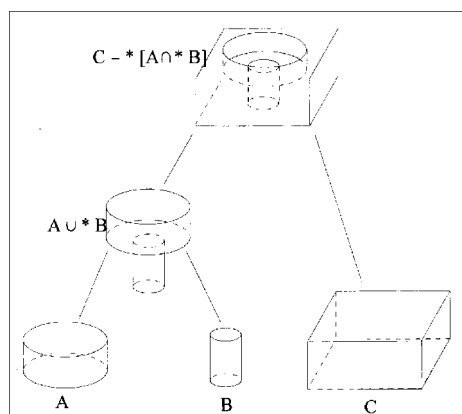


Abb. 4.12: CSG-Modellierstruktur

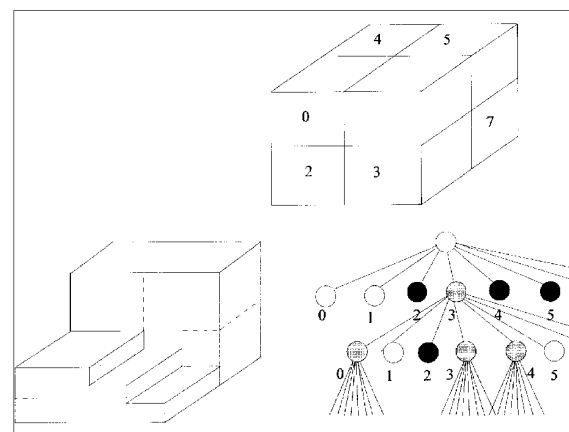


Abb. 4.13: Voxel-Modellierstruktur

## Drahtmodellierer

Bei einem *Drahtmodell* werden die Objekte durch die Kanten und Eckpunkte von Polyedern repräsentiert.

In der zweidimensionalen Modellbildung ist die Definition eines Objekts über eine aus Kanten (Linien, Polylinien und Kurven) bestehenden geschlossenen Struktur in vielen Fällen ausreichend (*Brandstätter, 1995b:45*).

Dabei entspricht der Konstruktionsvorgang jenem des Zeichnens auf Papier, nur daß man ohne großen Aufwand die Darstellung beliebig vergrößern, verkleinern oder Linienfarben und Linienstil wechseln kann und für die diversen Präsentationszwecke eine Vielzahl von Möglichkeiten besitzt.

Die einfache Modellbildung und die auch für einen Laien auf dem Gebiet der CAD-Bearbeitung kurze Einarbeitszeit macht diese Form auch zu einem effizienten Medium auf gewissen Gebieten der Dokumentation von Maya-Architektur.

Beispiele dafür sind die von Raíces im *Proyecto Calakmul* auf der Basis vorhandenen Planmaterials erstellten Übersichtspläne oder Bauwerksskizzen (*Carrasco, 1996:48*).

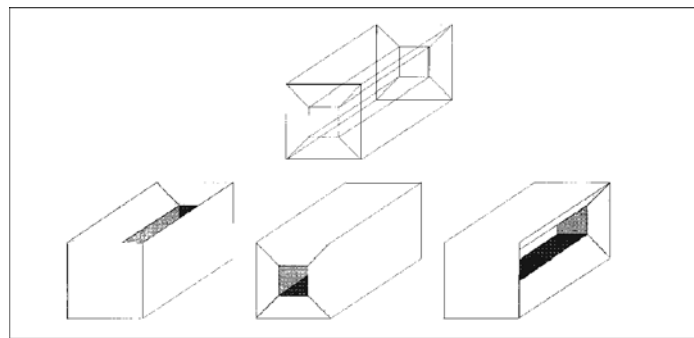


Abb. 4.14: Mehrdeutigkeit von Drahtmodellen

Eingesetzt in der 3D-Modellierung kann das Fehlen der Oberflächen- oder Volumendefinition zu inkonsistenten Objekten führen. Das Ergebnis sind Mehrdeutigkeit und Probleme der Sichtbarkeit in der Darstellung (Abb. 4.14).

Dies führt dazu, daß Drahtmodelle im Bereich der räumlichen Modellierung nur mehr für Spezialanwendungen eingesetzt werden. Eine solche ist zum Beispiel die Konstruktion von Referenz-Drahtmodellen als Kontrollnetze für die nachfolgende Oberflächenkonstruktion (Abb. 4.15).

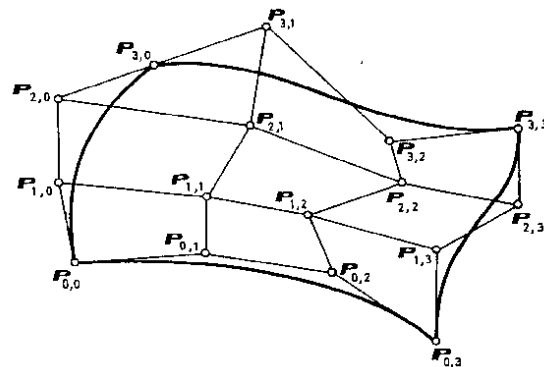


Abb. 4.15:  
Drahtmodell als Freiformflächen-  
Kontrollnetz (Beziér-Oberfläche)

## Flächenmodellierer

*Flächenmodellierer* definieren Objekte über ihre Oberfläche. Diese ist in der Regel aus zahlreichen *Patches* zusammengesetzt, von denen bestimmt ist, welche Seite der Fläche nach außen und welche nach innen zeigt.

Somit ist ein räumliches Objekt eindeutig durch ein Oberflächenmodell definiert und dokumentiert.

Ursprünglich waren Flächenmodellierer nur in der Lage, Objekte zu verarbeiten, die sich aus planen Elementarflächen mit polygonalem Rand (*Facetten*) zusammensetzen (Abb. 4.16 und Abb. 4.17).

Neben solchen polyedrischen Objektdarstellungen mit ebenen *Facetten*-Oberflächen bietet die Computergraphik aber auch die Flächenbildung über bikubische Funktionen. *Freiformflächen* (Abb. 4.15) können nicht wie etwa die Kegelflächen durch einen kompakten mathematischen Ausdruck beschrieben werden. Da nahezu alle Ingenieurdisziplinen solcher Freiformflächen-Repräsentationen bedürfen, sind Bézierflächen, B-Splineflächen und nicht-gleichmäßige rationale B-Splineflächen (NURBS) heute besonders gefragt und schon in vielen Computergraphikprogrammen implementiert. Insbesondere in der Visualisierung von Bauten in Verbindung mit digitalen Geländemodellen ist diese Form der Oberflächendarstellung von großer Bedeutung (*Brandstätter, 1995b:22-27*).

In ausgereifter Form finden sich NURBS-Flächenalgorithmen im 3D-Computeranimationsprogramm *EXPLORE* der Firma *Wavefront* realisiert, welches in der Folge in Kapitel 5.4.4 „Animation“ noch näher besprochen wird. Softwarepakete dieser Art sind jedoch aufgrund ihres Leistungsumfanges und der damit verknüpften großen Anforderungen an Hardwareumgebung und Bedienungspersonal nicht mehr zu jenen Computergraphik-Systemen zu zählen, die standardmäßig von Architekten, Archäologen, Kunsthistorikern etc. im Zuge der Kulturgutforschung eingesetzt werden.

Doch gibt es auch für den PC-Betrieb bereits CAD-Systeme und CAD-Applikationen (Zusatzprogramme), die Oberflächenmodellierung mit NURBS erlauben. Als Beispiel für ein derartiges CAD-System ist hier *MicroStation95* zu nennen, welches die Oberflächenmodellierung durch NURBS als Standardroutine im Grundpaket anbietet. In *AutoCAD* ist eine derartige Oberflächenmodellierung nur über ein Zusatzmodul, die Applikation *Autosurf*, gegeben (*Fehr, 1993: 351-352*).

Entsprechend der geometrischen Äquivalenz von (Architektur-)Raumdefinition über Grenzflächen (Kap.4.2.1) und der CAD-Modelldefinition über Oberflächen stellt dieser Modelltyp die optimale Form zur Repräsentation des Architekturbestandes dar. Durch die weitere Anwendung von CAD-Werkzeugen lassen sich Schnittpläne aus dem dreidimensionalen Gesamtmodell ebenso ableiten wie fotorealistische Darstellungen des Objekts durch Zuweisen von Materialparametern zu den CAD-Oberflächen.

Da sowohl *AutoCAD* als auch *MicroStation* CAD-Softwareprodukte aus dem englischsprachigen Raum sind und folglich die in deutscher Befehlssprache erhältlichen Versionen nur Übersetzungen in der allgemein für Computersprachen bekannten unzulänglichen Form darstellen, werden im folgenden die systemspezifischen Bezeichnungen auch in der englischen Version angeführt.

### 4.3.3 Oberflächen in AutoCAD13 und MicroStation95

#### AutoCAD13

AutoCADs Oberflächenmodellierer erzeugt Facetten-Oberflächen, die aus planen, polygonalen Netzmaschen aufgebaut sind.

Sämtliche Oberflächen, ob Projektionskörper wie Würfel oder Quader, ob Rotationskörper wie Kugel oder Torus, ob Regeloberflächen oder Freiformflächen, alle werden durch Kombinationen polygonaler Netzmaschen aufgebaut (Abb. 4.18). Bei allen Objekten wird die Netzdichte über die Facettenanzahl beziehungsweise über die Terme M und N für die jeweilige Facettenanzahl in den Koordinatenrichtungen definiert.

Aufgrund ihrer planaren Facettenflächen stellen diese in AutoCAD als Polygonnetze (*meshes*) bezeichneten Oberflächen für gesetzmäßig definierbare Flächen somit nur eine Annäherung an die exakte Geometrie dar.

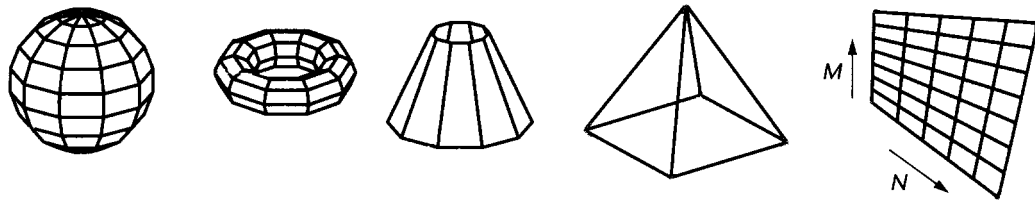


Abb. 4.16: Beispiele von vordefinierten 3D-Oberflächennetzen in AutoCAD

#### Basiselement 3DFACE:

Das Basiselement, also die Netzmasche repräsentiert in AutoCAD das sogenannte *3DFACE*, ein aus drei oder vier Kanten gebildetes Polygon.

Da jeder Eckpunkt des vierseitigen Polygons über einen anderen Z-Wert verfügen kann, ist die resultierende Oberfläche im allgemeinen keine Ebene mehr, sondern ein hyperbolisches Paraboloid (HP):

Für die Weiterbearbeitung mit anderen Systemen ist es in vielen Fällen notwendig, die krumme Fläche durch planare Flächenteile zu ersetzen. Wird beispielsweise ein *3DFACE* in das Animationssystem *3D Studio* exportiert, so erfolgt im Schnittstellenmodul eine Zerlegung der Fläche in ein aus zwei Dreiecken zusammengesetztes polygonales Netzelement (*PFACE*) (Abb. 4.17).

Diese Oberflächendefinition wird auch für die Bearbeitung vierseitiger *3DFACES* bei der Erstellung von Schnittplänen in AutoCAD verwendet. Das Computerprogramm des Schnittalgorithmus ('*CUT-DAM*') wurde, da in AutoCAD nicht verfügbar, vom Autor in der Programmiersprache AutoLISP erstellt (siehe Kapitel 4.5.4).

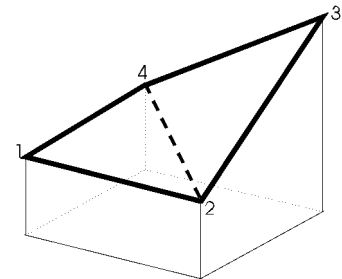


Abb. 4.17: Zerlegung eines vierseitigen *3DFACEs* (HP-Fläche) in zwei planare Flächen (1-2-4 und 2-3-4)

## Freiformflächen

Für die Repräsentation von Freiformoberflächen werden je nach den zur Bildung der Oberfläche vorhandenen Basisdaten verschiedene Möglichkeiten angeboten:

- Wird die Oberfläche über vier Grenzkurven definiert, so wird die bikubische Oberfläche des *Coons surface patch* durch ein Polygonnetz approximiert. Eine detailliertere Beschreibung dieser Oberflächenart wird im folgenden Unterkapitel gegeben. Auch wenn Splinefunktionen (NURBS) die Grenzkurven definieren, ist das Ergebnis immer ein polyedrisches Objekt.
- Liegt eine rasterförmige Verteilung der Punktdaten vor, so kann mit dem Befehl *3DMESH* durch Eingabe der Netzknotenkoordinaten die Oberfläche konstruiert werden. Die Netzknoten müssen dabei nur entsprechend der Reihenfolge in den beiden Koordinatenrichtungen eingegeben werden. Die Abstände zu den Nachbarknoten müssen dabei weder in der N-Richtung noch in der M-Richtung konstant sein (Abb. 4.18).
- Liegt die Oberflächeninformation in Form ungleichmäßig verteilter Stützpunkte vor, so kann über den Befehl *PFACE* ein allgemeines polygonales Flächennetz konstruiert werden. Dabei wird für jede Facette die Metrik durch Eingabe der Netzknotenkoordinaten und die Topologie durch Eingabe der Reihenfolge der Netzknotennummern definiert. Beispiele für solche Oberflächenkonstruktionen sind digitale Geländemodelldaten die aus einer Dreiecksinterpolation stammen, aber auch komplexe geometrische Körper (Abb. 4.19).

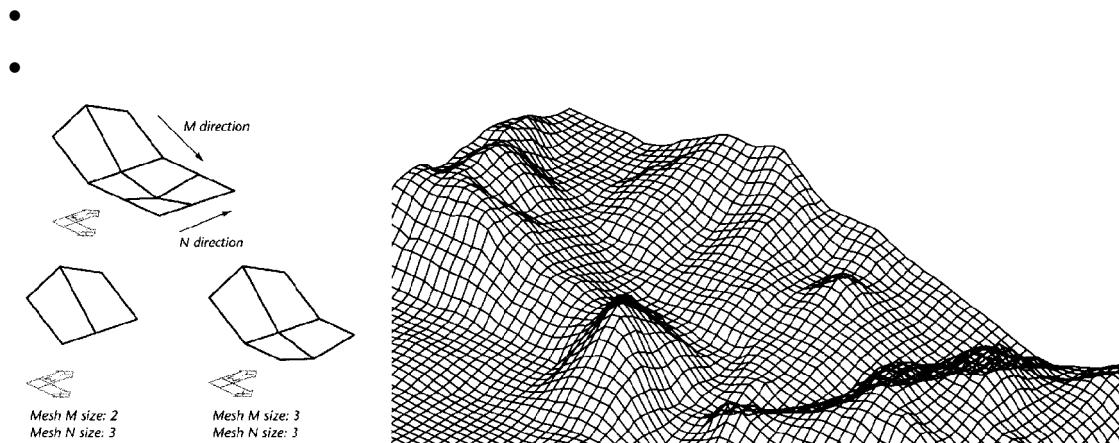


Abb. 4.18: Rasterförmige 3DMESH-Netzflächendefinition

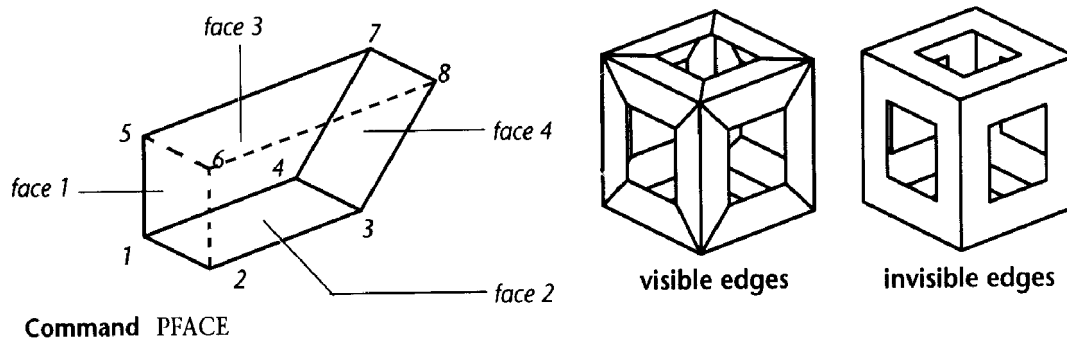


Abb. 4.19: Komplexe Körperkonstruktion in AutoCAD mit dem Befehl *PFACE*

### Orientierung der Oberflächenfacetten in AutoCAD und MicroStation:

Wie bereits bei den Modelliersystemen kurz angesprochen, ist ein facettiertes Oberflächenobjekt dann eindeutig bestimmt, wenn festgelegt ist, welche Seite der Facette außen und welche innen ist.

Die Definition dieser Eigenschaft erfolgt dabei über die Flächennormale der Facette. Diese Festlegung ist jedoch nicht nur für eine konsistente Objektbeschreibung, sondern im besonderen Maße auch für die Visualisierung des Objekts von Bedeutung. Die Entscheidung, welche Facetten sichtbar oder unsichtbar sind oder welche Seite im Renderungsprozeß mit Material versehen wird, hängt davon ab, in welche Richtung die Flächennormale zeigt.

Der Flächennormalenvektor  $\mathbf{n}$  einer Ebene wird berechnet über das Exprodukt der die Ebene beschreibenden Punktvektoren  $\mathbf{x}_1$ ,  $\mathbf{x}_2$  und  $\mathbf{x}_3$ , wobei für das Vorzeichen von  $\mathbf{n}$  entscheidend ist, ob die Eckpunkte der Facette gegen (sign  $\mathbf{n} = +$ ) oder im Uhrzeigersinn (sign  $\mathbf{n} = -$ ) gezählt werden:

$$\mathbf{n} = (\mathbf{x}_2 - \mathbf{x}_1) \times (\mathbf{x}_3 - \mathbf{x}_1)$$

Um nun zum Beispiel die Sichtbarkeit einer Projektion zu überprüfen, ist von allen Oberflächenteilen der Normalvektor  $\mathbf{n}$  und das Skalarprodukt zwischen Normalvektor und „Sichtlinie“  $\mathbf{r}$  zu berechnen (Brandstätter, 1995b:37ff). Das Vorzeichen des Skalarprodukts entscheidet nun über Sichtbarkeit oder keine Sichtbarkeit (Abb. 4.20).

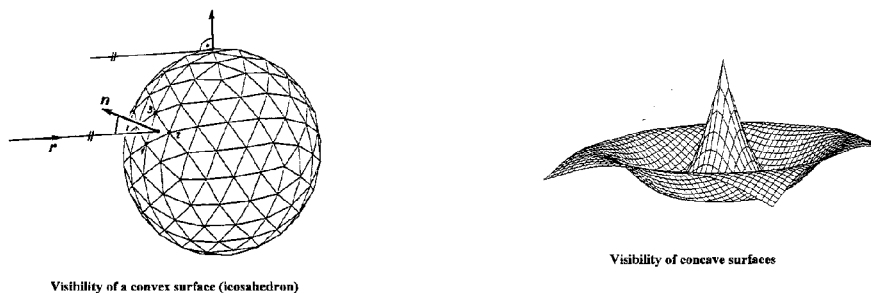


Abb. 4.20: Flächennormale und Sichtbarkeit von Facettenflächen

Je nachdem welche Software man verwendet, werden verschiedene Zählrichtungen der Facetteneckpunkte angewandt, um die Richtung der Normalvektoren zu definieren. Jedoch verfügen diese Systeme über die Möglichkeit, die Normalenrichtungen zu vertauschen (*flip*), sodaß anders definierte Zählrichtungen in die systemeigene Form transformiert werden können.

Der entscheidende Punkt für die Gewährung der Eindeutigkeit eines Objekts ist dabei natürlich, daß alle Flächenteile in der selben Zählrichtung erstellt wurden.

Für den Bearbeiter eines CAD-Oberflächenmodells ergeben sich daraus folgende Regeln, die eine eindeutige Definition und somit problemlose Weiterverarbeitung des CAD-Modells mit Applikationsprogrammen oder in Animations-Systemen bewirken:

- Die Konstruktion der Flächenfacetten hat für alle Oberflächenteile immer in derselben Zählrichtung zu erfolgen
- Erfolgt die Konstruktion der Eckpunkte in AutoCAD oder MicroStation gegen den Uhrzeigersinn, so zeigt der positive Normalvektor nach außen zum Beobachter und definiert diese Seite der Ebene als die Vorderseite.



## MicroStation95

Wie auch AutoCAD bietet der Oberflächenmodeller von MicroStation95 für die Darstellung von 3D-Objekten Rotations- und Projektionsoberflächen, Regelflächen und Freiformflächen an. Im Gegensatz zu AutoCAD werden gewölbte Oberflächen aber nicht durch planare Elemente angenähert, sondern beschreiben diese in gesetzmäßiger Form.

Für die Konstruktion eines Zylinders oder einer Kugel bedeutet dies zum Beispiel, daß die Oberflächen als Projektion eines Kreises entlang einer Geraden beziehungsweise durch Rotation um eine Achse berechnet werden (Abb. 4.21).

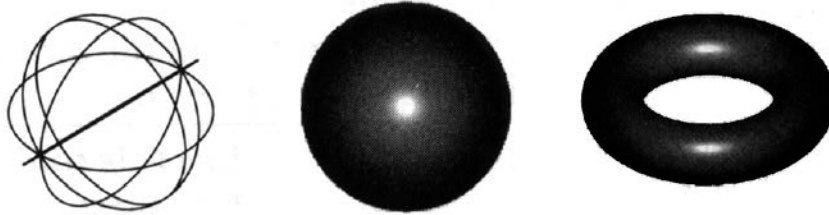


Abb. 4.21: Rotationsoberflächen in MicroStation95

### Freiformflächen

Für die Modellierung von Freiformflächen bietet MicroStation die Möglichkeit der Oberflächenbildung durch nicht-gleichmäßige rationale B-Splineflächen (NURBS) an.

Der Vorteil von NURBS gegenüber Facettenoberflächen mit planaren Elementen liegt in erster Linie in ihrem glatten Verlauf. Werden nämlich in der Folge im Visualisierungsprozeß auf die Oberfläche Renderalgorithmen angewandt, so wirken sich die Kanten an den Facettenübergängen einer definitionsmäßig glatten Freiformfläche störend aus. NURBS-Oberflächen eignen sich besonders gut für die Konstruktion solcher komplexer Oberflächen, da sie im allgemeinen in sich und in den Übergängen zu den angrenzenden NURBS-Oberflächen keinen Knick aufweisen.

### *Geometrische Kontinuität*

Um die Eigenschaften einer in expliziter Form definierten Oberflächenkurve zu beschreiben, verwendet die Differentialgeometrie Bezeichnungen wie „kontinuierlich“ und „glatt“. Demnach ist eine Kurve glatt, wenn sie in 1.Ordnung differenzierbar ist (C1-differenzierbar). Diese Definition ist aber für die in der Computergraphik benutzten parametrische Darstellungsform nicht mehr ausreichend. So kann für die Koordinatenfunktionen  $x(t)$ ,  $y(t)$  und  $z(t)$  gelten, daß sie in 1.Ordnung differenzierbar sind, und trotzdem weist die Kurve einen Knick auf.

Um eine höhere Aussagekraft über die Eigenschaften einer Kurve zu gewährleisten, wurde in der Analysis der Ausdruck der Mannigfaltigkeit geprägt und als geometrische Kontinuität auf das Gebiet des CAGD (computer aided geometric design) übertragen. Vereinfacht gesagt weist eine Kurve eine geometrische Kontinuität 1.Ordnung (G1) auf, wenn die Änderung ihrer Tangentenrichtungen kontinuierlich erfolgt (*Rockwood and Chambers, 1996:24ff*).

In der CAD-Objektgenerierung werden die genannten Klassifikatoren ( $G_k$ ) unter anderem eingesetzt, um die Kontinuität an den Übergängen von zwei Oberflächenteilen nachzuweisen (Abb. 4.22).

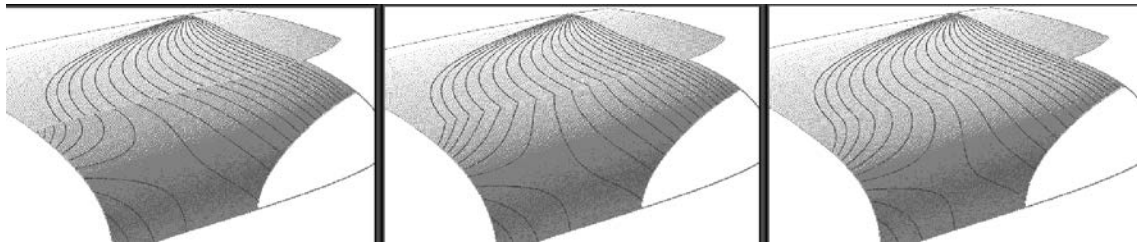


Abb. 4.22: Charakteristik G0-, G1- und G2-differenzierbarer Oberflächen

### *NURBS und verwandte Oberflächentypen*

Neben diesen eigentlich dem Kapitel „Visualisierung“ zuordenbaren grundlegenden Betrachtungen von Flächencharakteristika weisen NURBS-Oberflächen Eigenschaften auf, die sie von anderen, ebenfalls in der Freiformflächen-Modellierung eingesetzten Flächenarten wie Bézier- oder Coons-Flächen, unterscheiden.

NURBS-Flächen sind biparametrischen Oberflächen, die sich aus dem Tensor-Produkt der zugrundeliegenden Basiskurven bilden. Da somit die meisten Eigenschaften der Kurven auch für die Flächen gelten, können die zum Teil leicht verständlicheren Kurveneigenschaften auch zur Beschreibung von jenen der Flächen genutzt werden.

### Bézier-Flächen

Bézier-Flächen sind ästhetisch gefällige Flächen, haben aber in Bezug auf einen Einsatz im CAGD einige wesentliche Nachteile:

- je mehr Kontrollpunkte definiert sind, desto höher ist die Ordnung der Kurven und führt zum Bedarf hoher Rechenleistungen
- durch Zusammensetzen kann die Ordnung niedrig gehalten werden
- zur Gewährung der Glätte im Übergangsbereich müssen jedoch verschiedene Bedingungen eingeführt werden, die für eine praktikable Umsetzung zu hohe Anforderungen darstellen
- sie laufen nur an den Ecken durch die Kontrollpunkte
- Änderung einer Kontrollpunkt Komponente wirkt sich global auf die gesamte Fläche aus.

All diese Faktoren bewirken für den Einsatz in der Freiformmodellierung den Übergang von der durch die Kontrollpunkte  $P_{i,j}$  (Abb. 4.15) und der Bernstein-Basisfunktionen  $B_j^n(u)$  und  $B_i^m(v)$  gebildeten Bézier-Fläche

$$\mathbf{p}(u, v) = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n B_j^n(u) B_i^m(v) P_{i,j}$$

auf die allgemeinere Form der bikubischen B-Splinefläche.

Der größte Vorteil liegt dabei in der Invarianz der Kurvenordnung der B-Splineflächen in Bezug auf die Zunahme von Kontrollpunkten (*Brandstätter, 1995b:26ff*).

### B-Spline-Flächen

Die vorne besprochenen Bézier-Flächen ( $\mathbf{p}(u, v)$ ) stellen einen degenerierten Spezialfall der B-Spline-Flächen  $\mathbf{s}(u, v)$  dar.

$$\mathbf{s}(u, v) = \sum_{i=0}^{L+m-1} \sum_{j=0}^{M+n-1} N_j^n(u) N_i^m(v) P_{i,j}$$

B-Splinekurven sind älter als Bézier-Kurven und werden aus mehreren Intervallen (Segmenten) definiert.

$N_j^n(u)$  und  $N_i^m(v)$  sind die B-Spline Basisfunktionen

n, m sind die Grade der B-Splines

L, M ist die Anzahl der Segmente; es sind also L×M Facetten

Die im CAGD am meisten verwendeten B-Splines sind von der 3. Ordnung und zeichnen sich wie auch jene aus Polynomen höherer Ordnung zusammengesetzten Kurven durch folgende Eigenschaften aus (*Zavodnik und Kopp, 1995*):

- keine Polynome hoher Ordnung bei Anstieg der Kontrollpunktanzahl
- glatte Annäherung an die Kontrollpunkte
- Einfluß der Kontrollpunkte bleibt lokal begrenzt
- Invarianz bei affiner Abbildung, d.h. das Ergebnis einer affinen Abbildung der Kontrollpunkte ist ident dem der affinen Transformation der Splinekurve

## NURBS

Bezogen auf die Anforderungen der Computergraphik in Hinblick auf die perspektive Abbildung und die Darstellung von Kegelschnitten, mußten die Eigenschaften der B-Spline-Kurve noch verbessert werden.

Sowohl die Bézier- Kurven als auch die B-Splinekurven können

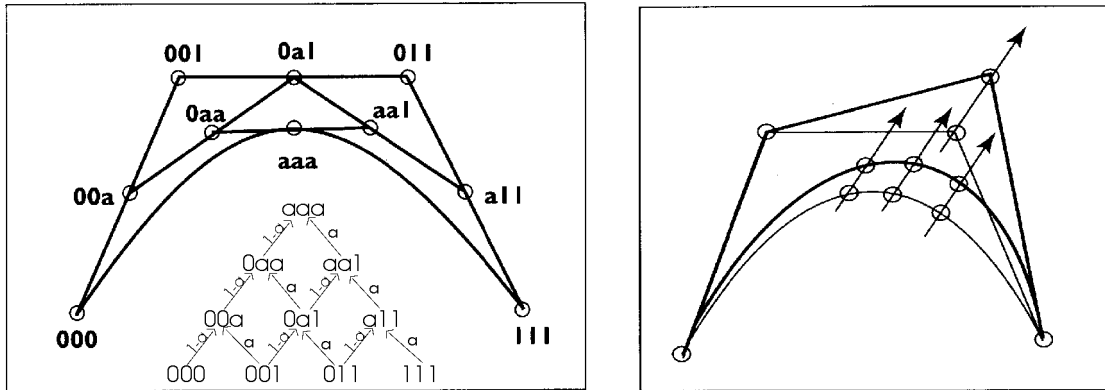
- keine allgemeinen analytischen Formen wie Kegelschnitte darstellen und
- sie sind unter projektiver Abbildung nicht invariant.

Durch Einführung der rationalen Form und durch die Möglichkeit von Gewichtungen in den Kontrollpunkten (Abb. 4.23b) hat man die beiden oben genannten Einschränkungen aufgehoben. Gleichzeitig wurde dadurch auch die Erzeugung einer genügend großen Formenklasse ermöglicht .

Das Ergebnis sind die am Anfang genannten NURBS (nonuniform rational B-Spline), also nichtgleichmäßige rationale B-Splines.

Die Möglichkeit der Definition dieser Kurven in einfacher, hierarchisch strukturierter Form über *Blossoms* (Abb. 4.23a) ergibt einfache, stabile, in den meisten Fällen auf linearen Interpolationsverfahren basierende Berechnungsalgorithmen für die Kurven- oder Oberflächenpunkte wie zum Beispiel die De Casteljaou oder De Boor Algorithmen (*Rockwood and Chambers, 1996*).

Lokale Modifikationen der Oberflächenform durch Manipulation einzelner Kontrollpunkte sind ebenso rasch und einfach durchführbar wie die Unterteilungen einer Oberfläche in mehrere Teile oder die Ableitung von Schnittkurven aus der Oberfläche.



Dabei ergibt sich zum Beispiel  
 $0a1 = (1-a) \cdot 001 + (a) \cdot 011$

Abb. 4.23: Prinzip des Blossom-Algorithmus und der gewichteten B-Splinefunktion

Außer den soeben genannten Operationen der Oberflächendefinition und der Unterteilung beziehungsweise Addition von Oberflächen bietet MicroStation95 für die Bearbeitung von NURBS-Oberflächen noch eine Vielzahl an Möglichkeiten an. Verschneiden zweier Oberflächen oder die Anwendung der Booleschen Algorithmen zählen ebenso dazu wie die automatische Modellierung von Übergängen zwischen zwei Objekten.

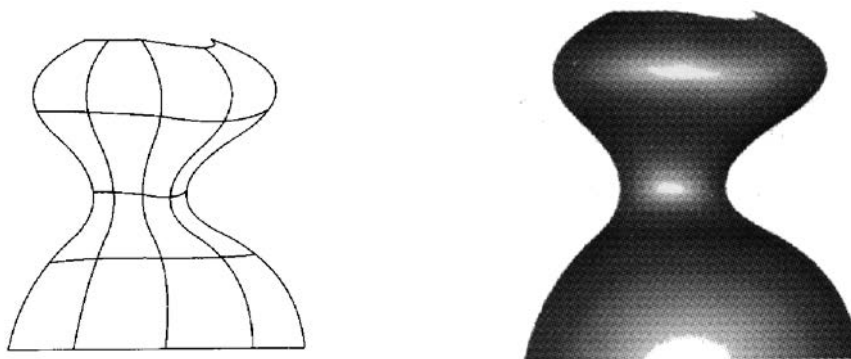


Abb. 4.24: NURBS-Oberfläche in MicroStation95

## Coons'sche Flächen

Wird ein Objekt über vier begrenzende Kurven definiert so bietet sich die Konstruktion eines *Coonschen Patch* an. Die *coonsche* Flächebildung kann als Verallgemeinerung der bilinearen Interpolation bezeichnet werden, bei der als erster Schritt aus zwei Kurven eine Regeloberfläche erzeugt wird,

$$x_{12}(u,v) = (1-v)*R_1(u) + v*R_2(u)$$

wobei Kurve\_1 durch  $R_1(u) = x_{12}(u,0)$  und Kurve\_2 durch  $R_2(u) = x_{12}(u,1)$  definiert ist.  $u$  und  $v$  sind die beiden Koordinatenrichtungen.

Dieser Vorgang wird als *loft* bezeichnet.

In der Folge interpoliert man nun statt der zwei Kurven die vier Kurven und addiert diese. Man erhält

$$x(u,v) = x_{12}(u,v) + x_{34}(u,v)$$

wobei die 4 Eckpunkte zweimal vorkommen. Infolgedessen muß die bilineare Interpolation dieser vier Punkte von der Summenfläche abgezogen werden. Das Ergebnis wird wegen der linearen Mischfunktionen  $(1-v)$ ,  $(1-u)$ ,  $v$  und  $u$  als *lineare Coons-Patch* bezeichnet (Abb. 4.25).

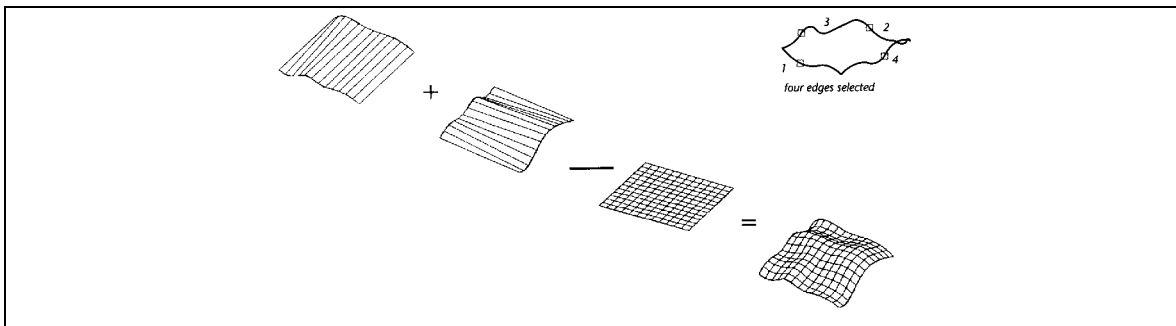


Abb. 4.25: Mathematisches Konstruktionsprinzip des *linearen Coons-Patch*

Statt der linearen Mischfunktionen werden im allgemeinen auch kubische Polynome wie etwa Hermite-Polynome verwendet und ergeben so das *bikubische Coons-Patch*.

Erwartet man von dieser Fläche eine gewisse Differenzierbarkeit für die nachfolgende Bearbeitung wie etwa die Visualisierung (siehe oben: *geometrische Differenzierbarkeit*), so müssen erst Differenzierbarkeitsbedingungen festgelegt werden, da auch bei entsprechender Differenzierbarkeit der Grenzkurve die Fläche diese Eigenschaft nicht aufweisen muß.

Um diese Eingabeschwierigkeiten auf den Standard-CAD-Systemen nicht dem Konstrukteur zu überlassen, wurden diese vordefiniert. So wurden beispielsweise von J.C. Ferguson, einem der Pioniere auf diesem Gebiet, die gemischten zweiten Ableitungen auf Null gesetzt (*Zavodnik und Kopp, 1995: 197ff*).

Von *bikubischer* Art sind auch jene in MikroStation implementierten und in AutoCAD durch ein *mesh* angenäherten *Coons-Patch*-Oberflächen.

#### 4.3.4 Systemwahl - AutoCAD oder MicroStation

##### Plane Facettenoberflächen oder NURBS-Oberflächen - Renderqualität:

Wie Beispiele in diversen Veröffentlichungen und Prämierungen im Zuge von Animationswettbewerben zeigen, ist man auch mit den von AutoCAD angebotenen Netzflächen (meshes) ohne weiteres in der Lage, hochqualitativ gerenderte Darstellungen zu erhalten. Ein entscheidendes Kriterium dabei ist die Voreinstellung der gewählten Maschendichte (*Rockwood and Chambers, 1995: 155-157*).

Bezogen auf die Dokumentation des Architekturbestandes, ist zu sagen, daß die Art der Freiformflächendefinition, also ob NURBS- oder planare Netzmaschen, nicht das primäre Entscheidungskriterium ist. In diesem Fall spielt nämlich der unterschiedliche Grad der Approximation der beiden Repräsentationsformen im Vergleich zur Approximation durch die Generalisierung bei der Datenerfassung im allgemeinen eine untergeordnete Rolle.

Entscheidend ist vielmehr die von den Systemen gewährte Unterstützung in Bezug auf den Konstruktions- und Manipulationsprozeß sowie den Datenaustausch.

##### Speicher- und Rechneranforderungen:

NURBS-Oberflächenbearbeitung und -verwaltung erfordert höhere Rechnerleistungen und bei einfachen Objekten einen höheren Speicherbedarf als planare Netzflächen. Bei komplexen Oberflächen steigt im Falle der Netzflächendarstellung die Anzahl der notwendigen Facetten stark an, sodaß sich der eben genannte Effekt umkehrt.

Die Lösung, die generell für die Modellierung komplexer Objekte mit CAD-Systemen zu empfehlen ist, besteht in der Trennung von Objektgruppen, sodaß zum Beispiel die aus Freiformoberflächen (NURBS oder Netzflächen) gebildeten Objekte und die geometrisch definierten Objekte separat behandelt werden..

##### Modellierumgebung:

Die Oberflächen-Modellierumgebung von MicroStation95 ist eindeutig jener von AutoCAD an Bedienerfreundlichkeit, Hilfswerkzeugpalette, aber auch essentiellen Modellierwerkzeugen um vieles überlegen. Essentielle Arbeiten wie das Verschneiden von zwei Oberflächelementen sind im AutoCAD-Grundpaket nicht enthalten; MicroStation bietet dafür gleich mehrere Möglichkeiten an. Weiters ist in MicroStation95 die 3D-Modellierung durch Hilfswerkzeuge wie den 'accudraw' bedeutend effizienter realisierbar als in AutoCAD13.

Das immer wieder vorgebrachte Argument, es gäbe in AutoCAD für jede Anwendung eine eigene Applikation, mag schon stimmen, ist aber immer wieder mit zusätzlichen Kosten und insbesondere mit update-Problemen von Basissystem und Applikation verbunden. Legt man die obige Argumentation auf MicroStation95 und die schon im Basissystem enthaltenen umfangreichen Werkzeuge um, so könnte die Argumentation an Gehalt verlieren.

## Visualisierung und Planausgabe:

Die insbesondere für die Architekturforschung wichtige Extraktion von Schnittplänen aus dem digitalen Bauwerkmodell läßt sich in MicroStation95 aufgrund der bereits implementierten Schnittwerkzeuge leichter realisieren als in AutoCAD13, wo ein solches Werkzeug erst in AutoLISP von einem Programmierer kreiert oder in Form bestimmter Rendering-Programme wie Autodesk's *3D Studio* oder einer AutoCAD-Applikation zugekauft werden muß.

## Datenschnittstelle - Import und Export

Was die Kompatibilität der diversen Systeme in Bezug auf den Import und Export von Daten betrifft, ist zu sagen, daß der Austausch nach wie vor eines der größten Probleme darstellt. Denn die auf Firmen- und Produktebene zeitweise im Wildwuchs entwickelten Normen für den Datenaustausch sind keine Standards im engeren Sinn, so daß man hier von De-facto-Standards spricht (*Bartelme, 1995:291*). Gängige Beispiele dafür sind:

- DXF von AutoCAD
- GENERATE von ARC/INFO
- IGES von INTERGRAPH (MicroStation).

Bezogen auf die beiden hier genannten Datenaustauschformate für CAD-Systeme sei zu vermerken, daß in AutoCAD noch immer eine Schnittstelle fehlt, die eine direkte Datenkonvertierung in das IGES-Format oder vom IGES-Format erlauben würde, ohne daß der Zeichnungsinhalt „verstümmelt“ wird oder man sich durch eine zweihundertfünzigseitige Anleitung zur korrekten IGES-Übersetzung arbeiten muß (*Fehr 1993, 68-71*).

Für welches CAD-System man sich entscheidet wird also nicht nur von den Eigenschaften des CAD-Oberflächenmodellierers (siehe oben), sondern insbesondere von seiner Verbreitung in der jeweiligen Disziplin abhängen.

## Wahl von AutoCAD im Projekt Santa Rosa Xtampak

Wie bereits vermerkt, verfügt das CAD-System MicroStation95 über eine bedeutend anwenderfreundlichere Modellierungsumgebung, und auch die Schnittplanextraktion ist ebenfalls großteils durch Standardbefehle realisierbar und muß nicht erst in Eigenarbeit programmiert werden.

Die Entscheidung in diesem Fall für den Einsatz von AutoCAD erfolgte unter Bedachtnahme auf die Zielsetzung, das Architekturmodell einem möglichst großen Anwenderkreis für die weiterführenden Forschungen am Objekt zugänglich zu machen.

Aus dem Kreis weiterführender Anwender sei hier beispielhaft die mexikanische Altertumsbehörde INAH genannt, die für die graphische Bearbeitung der von ihnen zu betreuenden Ruinenanlagen, und zu diesen zählt auch Santa Rosa Xtampak, auch das CAD-System AutoCAD einsetzt (*Carrasco, 1996*).

Sämtliche nachfolgenden Ausführungen zum Thema CAD beziehen sich, sofern nicht anders vermerkt, auf das im Forschungszeitraum ohne *Applikationen* (Zusatzprogramme) benutzte CAD-Paket AutoCAD Release 12 sowie Release 13.

## 4.4 Generierung des digitalen Bauwerkmodells

In den vorangegangenen Abschnitten wurden die für die Generierung des digitalen Bauwerkmodells notwendigen Informationen und Voraussetzungen festgelegt: Dabei wird

- der Modellinhalt durch die systematische Unterteilung des realen Objekts in architektonische Elemente verschiedener Ordnung und die Gliederung der ergänzenden Dokumentationsinformationen definiert (siehe Kapitel 4.2);
- die Modellstruktur durch die Einteilung der Daten in graphische Daten, die ihnen zugeordneten Attribute und die jeweils entsprechenden Surrogate festgelegt (siehe Kapitel 4.2.2);
- der Modelltyp und die Attributverwaltung vom eingesetzten Oberflächenmodellierer des Systems und der vorhandenen Systemumgebung bestimmt (siehe Kapitel 4.3).

Aufbauend auf diesen Informationen wird in diesem Kapitel die für die Bestandsdokumentation von Maya-Architektur entwickelte Methodik der CAD-Modellbildung besprochen.

Dabei geht es vor allem darum, die essentiellen und charakteristischen Parameter der Generierung des Architekturmodells in Bezug auf den Einsatz in der Architekturforschung zu nennen. Diese betreffen Fragen wie, welche der vom CAD-System angebotenen Formen werden am sinnvollsten zur Objektgruppierung verwendet, wie erfolgt die Verwaltung der einzelnen architektonischen Elemente im Modell oder wie werden die verschiedenen Datentypen (Primärdaten, Flächenmodell, etc.) im Gesamtmodell organisiert.

In dieser Beschreibung des methodischen Konzeptes erfolgt keine nähere Beschreibung der zur Modellbildung verwendeten Konstruktionswerkzeuge oder Konstruktionstechniken. Diese werden, sofern es für den Konstruktionsprozeß von Bedeutung ist und ihre Eigenschaften in den AutoCAD-Handbüchern nicht genau genug beschrieben sind, in der Folge in Kapitel 5.3 im Zuge der Behandlung des praktischen Beispiels ausführlicher behandelt.

Die Systematik der Datenerfassung und die Qualität der Vorverarbeitung der Daten ist für eine effiziente Modellbildung von ausschlaggebender Bedeutung (*Stephani and Tang, 1992*) und wird deshalb im Anschluß ebenfalls in Kapitel 5.2 ausführlich behandelt

Auch sämtliche Detailfragen in Bezug auf den Konstruktionsprozeß wie die Abfolge der Konstruktionsschritte und die dabei auftretenden Schwierigkeiten, notwendige und empfehlenswerte Hilfswerkzeuge und, was von ganz besonderer Bedeutung ist, die im jeweiligen Arbeitsprozeß eingesetzte Zeit werden im Zuge der praktischen Projektbeschreibung behandelt.

Denn nur durch eine vom Anfang bis zum Ende bis ins kleinste Detail praktisch bearbeitete Studie lassen sich die wirklichen Probleme erkennen und, in Relation gesetzt zu den Vorteilen, die Effizienz einer Methodik beschreiben.

Eine aus dem Zusammenhang gerissene Auflistung von Parametern aus den Erfahrungen der praktischen Modellbildung würde sich auf die in diesem Kapitel angestrebte Erläuterung der theoretischen Konzeption nur störend auswirken.



#### 4.4.1 Import - Basisdaten des Modells

Bereits in der Planungsphase am Anfang des Dokumentationsprozesses werden jene Bestandsunterlagen ausgewählt, die dann zusammen mit den Ergebnissen aus der Bauaufnahme vor Ort in das Dokumentationsmodell (digitales Bauwerkmodell) eingebracht werden.

Die sich aus dem Vorverarbeitungsprozeß der Bestandsinformationen ergebende strukturierte Form der Daten ermöglicht eine objektorientierte, nach architektonischen Elementen der verschiedenen Ordnungen getrennte Verwaltung im CAD-System (Abb. 4.8). Bei der hier entwickelten Methodik erfolgt die Verwaltung der einzelnen Architekturelemente (Objekte) über thematische Ebenen. Diese Ebenen werden von AutoCAD als *Layer* bezeichnet.

Je nachdem, ob die Daten in analoger oder digitaler Form vorliegen, erfolgt die Dateneingabe nach AutoCAD über die diversen manuellen Eingabemodule des Computers (Tastatur, Digitalisierbrett, usw.) oder automatisiert über Datenschnittstellen, die vom CAD-System unterstützt werden.

Im vorliegenden Fall wurden die Daten über die systemeigene Datenschnittstelle DXF (data exchange format) und im ASCII-Format in das CAD-System importiert.

##### Grafische Daten der architektonischen Elemente

Die auf dem Dokumentationsprotokoll oder im Datenfile der Bauaufnahme enthaltene Schlüsselinformation (Surrogat) definiert dabei den Kern des Layernamens, dem diese Daten zugeordnet werden (Abb. 4.9). Der zweite Teil des Layernamens besteht aus der Erweiterung „\_BA“ und klassifiziert dadurch diesen Layer als Basisdatenlayer (Beispiel Flachrelief in Wandfläche: MGG1IR01MWNOMBFR\_BA).

Auf diesen Layer werden in der Folge alle diesem architektonischen Element zuzuordnenden graphischen Informationen gespeichert.

Das Ergebnis des Grafikdatenimportes ist ein Drahtmodell, bestehend aus Punkten, Linien und Symbolen, die auf n thematische Ebenen aufgeteilt sind. Dabei entspricht n der Anzahl der in der Dokumentationsplanung und der nachfolgenden Bestandsaufnahme bestimmten architektonischen Elementen.

##### Zusätzliche Informationen

Diese früher als Attributinformationen oder auch nichtgraphische Daten bezeichneten Informationen (Abb. 4.11) können im Fall der hier entwickelten Methodik der Modellbildung auch von graphischer Natur sein (siehe 4.4.2).

Der Datenimport erfolgt dabei analog zu dem der architektonischen Elemente jedoch mit dem Unterschied, daß in diesem Fall der zweite Teil des Layernamens aus der Layererweiterung „\_AT“ besteht (Beispiel: MGG1IR01MWNOMBFR\_AT).

Für die Eingabe von Textdaten ist es auf jeden Fall sinnvoll, diese bereits vor dem Import in das CAD-Modell mit einem Text-Editor zu strukturieren und entsprechend der im CAD-System gewählten Verknüpfungsart aufzubereiten (siehe in Kap.4.4.2 „Zusätzliche Informationen“).

## 4.4.2 Modellbildung

### Architektonische Elemente

#### Konstruktion

##### *Drahtmodell*

Der erste Schritt in der Rekonstruktion eines Objektes in Form eines virtuellen Computermodells besteht im Aufbau eines Liniengerüsts, dessen Kanten die Struktur des Objekts definieren (*Hanke und Ebrahim, 1997*). Ausgehend von den auf dem Basisdaten-Layer (siehe oben) liegenden Daten werden die Strukturlinien der einzelnen architektonischen Elemente konstruiert.

Je genauer und vollständiger die Basisdaten vorliegen, desto einfacher ist diese Modellbildung und desto effizienter kann diese erfolgen.

Liegen beispielsweise die Knotenpunkte des Drahtmodells im Basisdatensatz vor, so ergibt sich das Modell durch einfaches Verbinden von diesen. Liegen jedoch nur Kantenfragmente oder Maßbandmessungen vor, so müssen die notwendigen Knotenpunkte erst durch im allgemeinen sehr zeitaufwendige Konstruktionsschritte wie räumliche Verschneidungen bestimmt werden.

##### *Flächenmodell*

Im nächsten Schritt erfolgt die Definition der architektonischen Elemente durch Auffüllen der Flächen zwischen den Strukturlinien mit Flächenfacetten. Aufgrund der komplexen Geometrie wurden zur Konstruktion keine der von AutoCAD angebotenen vordefinierten Oberflächenobjekte eingesetzt, sondern es wurden sämtliche Oberflächen durch Aneinanderfügen der Basisfacette 3DFACE (Abb. 4.26a) erzeugt.

Da in der hier zum Einsatz kommenden AutoCAD-Basisversion die Konstruktionswerkzeuge die 3D-Modellbildung nur unzureichend unterstützen, wurden viele Standardprozeduren in der systemeigenen Programmiersprache AutoLISP programmiert.

Beispiele dafür sind Programme zur Steuerung der Layersichtbarkeit, zur Definition elementspezifischer Koordinatensysteme und Ansichten oder der Berechnung räumlicher Ebenenschnitte.

Wie bereits in Kapitel 4.3.3 erwähnt, kann durch den Zukauf von Applikationen die Notwendigkeit der eigenen Programmierung entfallen.

#### Objektdefinition

Das Ergebnis des Konstruktionssprozesses sind Kombinationen von Flächenfacetten (Abb. 4.26a), die das architektonische Element beschreiben. Durch Gruppierung der objektbildenden Facetten wird die noch unverknüpfte Kombination zu einer im CAD-System adressierbaren Einheit.

Für die Verknüpfung wurden zwei Varianten ausgewählt, die Bildung eines sogenannten Blockes (Abb. 4.26b) und die Fixierung der Objektteile auf einem thematischen Layer (Abb. 4.26c).

##### *Block*

Bei der ersten Variante werden die das Objekt bildenden Primitiva (3DFACEs) über die Option 'block' zu einer Einheit zusammengefaßt (Abb. 4.26b). Diese Einheit läßt sich nur mehr eingeschränkt und nur in ihrer Gesamtheit bearbeiten.

Zu diesen Manipulationseigenschaften zählen im Prinzip die Möglichkeit der Addition von Attributen (siehe nächsten Abschnitt) und die Skalierung, wobei diese in die drei Koordinatenrichtungen auch unterschiedlich erfolgen kann.

Manipulationen an den Flächengrenzen, wie sie beispielsweise nach einer Verschneidung mit anderen Objekten notwendig werden, können mit einem Block nicht durchgeführt werden. Um diese Art der Objektbearbeitung, die bei den folgenden Rekonstruktionsstudien am Objekt routinemäßig vorkommen, durchführen zu können, muß der Block wieder aufgelöst werden. Da die Eigenschaften eines Blockes davon abhängen, welche System-Einstellung während seiner Definition herrschte, besteht bei der Weiterverarbeitung (z.B. Auflösen) des Blockes in einer anderen Zeichenumgebung die Gefahr, daß die Eindeutigkeit der Architekturinformation verloren geht.

Gänzlich problematisch wird die Situation im Falle einer gewünschten Weiterverarbeitung in Animationssystemen. In diesem Fall müssen die Blöcke vor dem Datenexport in jedem Fall in ihre Einzelemente aufgelöst werden. Im Fall des in AutoCAD standardmäßig implizierten Exports in das Format des Animationssystems *3D Studio* von Autodesk erfolgt die besagte Auflösung in Einzelemente durch die Exportprozedur.

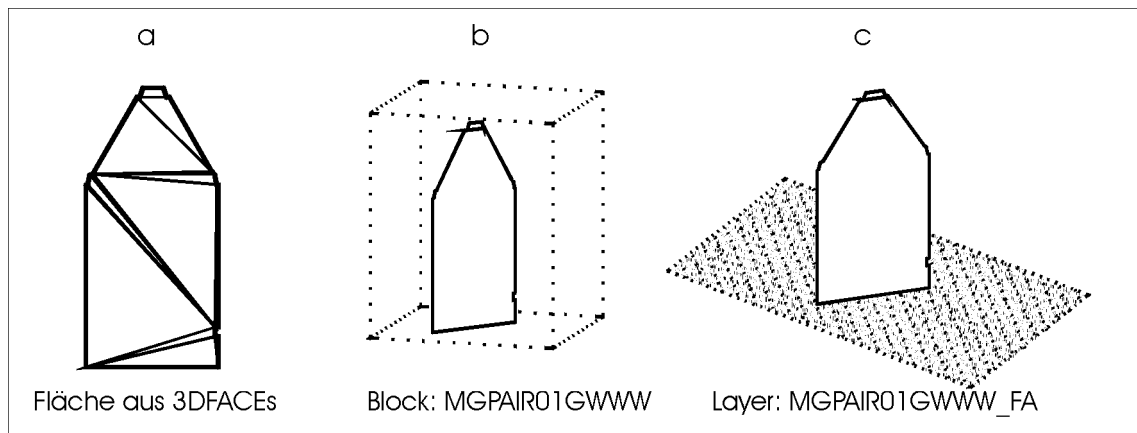


Abb. 4.26: Objektkonstruktion (a) und Methoden der Objektdefinition (b,c)

### Layer

Aus diesem Grund wurde die Variante gewählt, bei der die Objektbildung auf einem eigenen Layer erfolgt (Abb. 4.26c).

In diesem Fall wird der Layernamen in Analogie an den Basis-Layer und den Attribut-Layer mit der Erweiterung „\_FA“ gebildet.

Ist die Modellierung des architektonischen Elements abgeschlossen, wird der Layer gesperrt ('LOCK') und ist somit vor dem ungewollten Löschen von Informationen geschützt.

Sämtliche Bearbeitungen, die keine Veränderung eines Objektelementes betreffen, wie die Addition eines Elementes, das Verändern von Linienstilen, Farben usw. können im gesicherten Zustand durchgeführt werden.

Will man eine Bearbeitung eines auf dem Layer vorhandenen Objektelements durchführen, so ist nur der *Schalter* 'UNLOCK' zu tätigen, und die Bearbeitung kann getätigt werden.

## Zusätzliche Informationen

Wie bereits in Kapitel 0 festgelegt, werden jene Daten, die nicht die Geometrie des architektonischen Elements definieren, als Attribute verwaltet. Im allgemeinen Fall werden diese Informationen mit einem Geometrieobjekt als dessen Attribute verknüpft und mit diesem verwaltet (Abb. 4.27a).

Da es sich im vorliegenden Fall aber nicht um Attributinformationen im klassischen Sinn von CAD-System handelt, sondern um zum Teil große Mengen an beschreibenden Informationen, erfolgt die Verknüpfung nicht über das geometrische Objekt an und für sich, sondern über dessen Surrogat.

Dabei wird für jedes architektonische Element ein separater „Attribut“-Layer mit dem Objektsurrogat als Namensbasis angelegt (siehe Kapitel 4.4.1 „Import“), auf dem die Informationen abgelegt sind (Abb. 4.27b).

Die Informationen können dabei in Form von AutoCAD-Attributblöcken, sofern es sich um reine Textinformationen handelt, oder als Textdateien (Listen) dem Layer zugeordnet werden.

Diese Verknüpfung von Geometrie und zusätzlicher beschreibender Information über Attributlayer bringt gegenüber der direkten Attributverknüpfung über das Objekt einen weiteren Vorteil mit sich - dem Layer können auch digitalisierte Handskizzen, Photographien, also zusätzliche graphische Information zugewiesen werden.

Für den Fall der Notwendigkeit oder des Wunsches einer weiteren Gliederung der Attributinformationen ist eine hierarchische Untergliederung des Attribut-Layers problemlos durchzuführen.

Durch diesen Modellaufbau werden die Architekturelement-Blöcke beziehungsweise -Layer nicht mit Textattributblöcken belastet und stellen konsistente Einheiten von graphischen Daten dar. Er gewährt somit eine höhere Flexibilität und gleichzeitig eine geringere Fehleranfälligkeit bei der Manipulation der einzelnen Informationsgruppen im CAD-System oder ganz besonders bei einer Weiterverarbeitung mit Fremdsystemen.

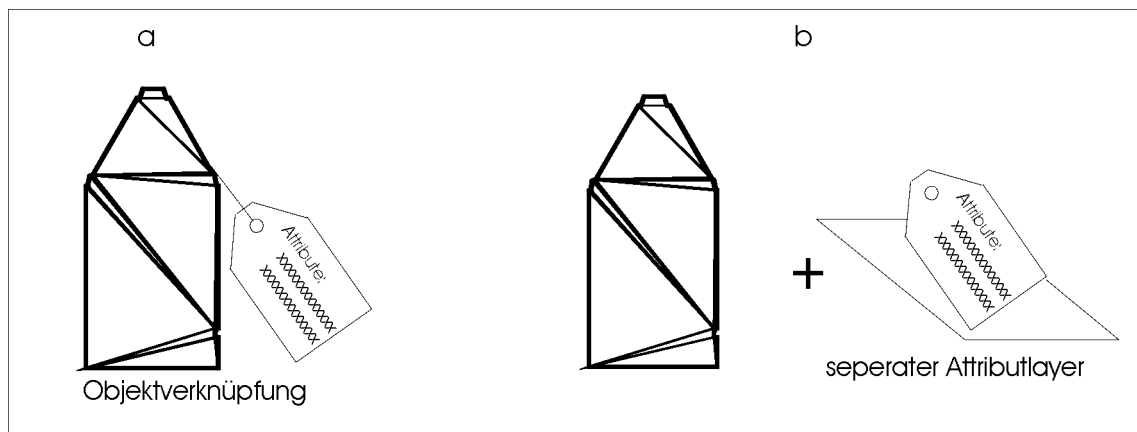


Abb. 4.27: Verknüpfung von architektonischem Element und Zusatzinformationen

### 4.4.3 Modellstruktur und -verwaltung

#### Datenstruktur

##### Einzelzeichnung

Die beschriebene Konzeptionierung des digitalen Bauwerkmodells ergibt eine Datenstruktur, die über Surrogate in einfacher Weise verwaltet werden kann.

Die Surrogate sind dabei, wie in Kapitel 4.2.2 ausgeführt, in hierarchischer Form aufgebaut und greifen in Form von Layernamen in der *Zeichnung* (CAD-Modell) auf die ihnen zugeordneten Informationen zu.

Es ergeben sich somit für jedes architektonische Element drei thematische Ebenen, die Basisdaten-Ebene (BA-Layer), die Flächenmodell-Ebene (FA-Layer) und die Attribut-Ebene (AT-Layer), die die gesamte Dokumentationsinformation beinhalten (Abb. 4.28).

Der Vorteil dieser Strukturierung in Form von thematischen Ebenen liegt in der Offenheit des Modellsystems bezüglich der weiteren Verarbeitung der Daten.

Wird das Modell beispielsweise in einer Architekturanalyse mit anschließender Rekonstruktion eingesetzt, so können für jedes Forschungsstadium weitere thematische Ebenen eingeführt werden. Diese tragen dann die jeweiligen Informationen wie Analyseergebnisse oder die diversen Rekonstruktionsvarianten.

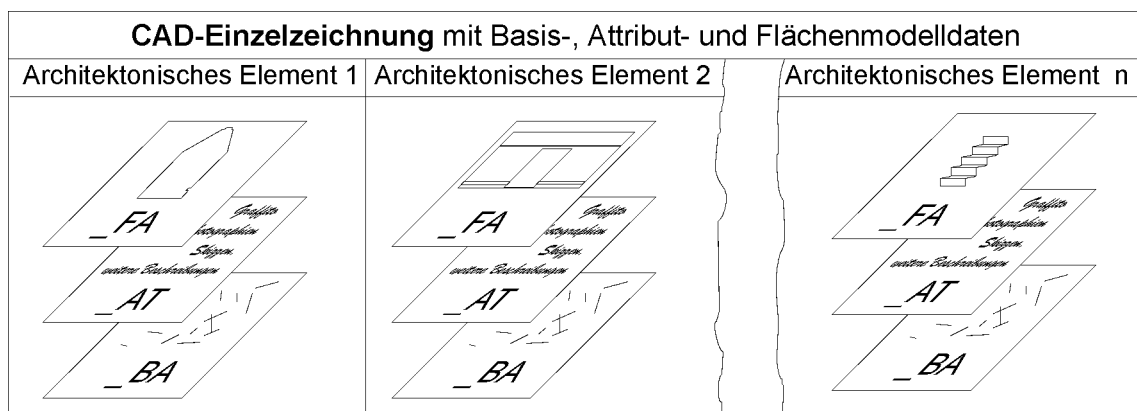


Abb. 4.28: Verwaltung der verschiedenen Themen der Bestandsinformation über thematisch getrennte Layer (\_FA; \_AT; \_BA) in einer Gesamtzeichnung

##### Externe Referenzen

Eine Weiterentwicklung des in dieser Methodik eingesetzten Konzepts zur Informationsverwaltung liegt im Einsatz der sogenannten externen Referenzen.

Überschreitet ein CAD-Modell (Zeichnung) eine gewisse Größe, wird die Bearbeitung wegen der großen Datenmengen und die Verwaltung aufgrund der vielen Layer schwerfällig, und es macht Sinn, die Zeichnung in Einzelzeichnungen aufzuteilen.

Bei externen Referenzen handelt es sich um eigenständige Zeichnungsdateien, die an eine andere Zeichnung „angehängt“ wurden (extern referenziert) und bei Aufruf dieser automatisch mit eingeladen werden. Sie sind jedoch kein fester Bestandteil der Zeichnung (siehe auch *Freudenreich, 1996*).

Bezogen auf die Strukturierung der (drei) Datenebenen pro Architekturelement bietet es sich an, die Datenebenen in Einzelzeichnungen zu verspeichern. Ausgehend von einer Hauptzeichnung, etwa der FA-Zeichnung, werden die Zusatzzeichnungen wie AT-Zeichnung und BA-Zeichnung referenziert (Abb. 4.29).

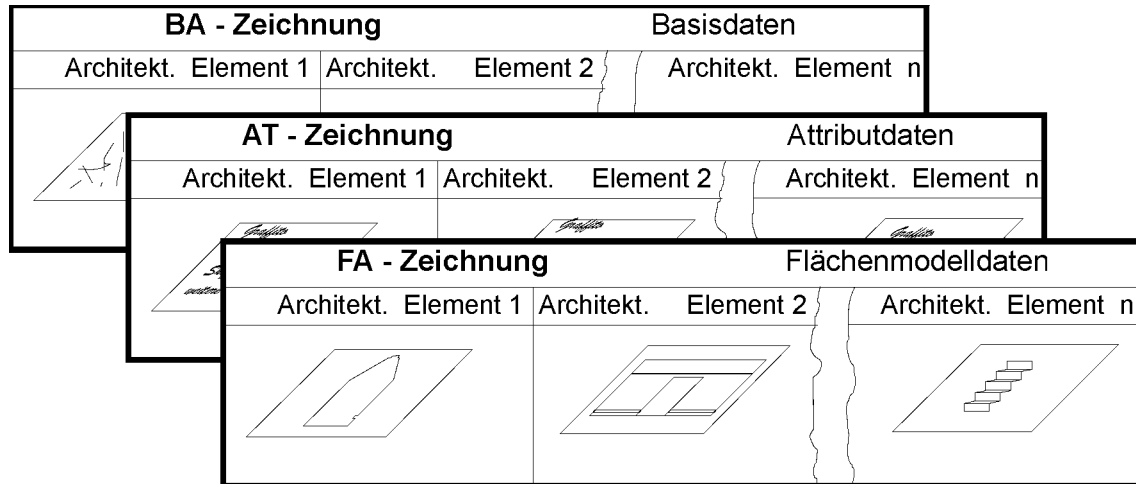


Abb. 4.29: Prinzip der Verwaltung der verschiedenen Themen der Bestandsinformation über externe Referenzierung von Teilzeichnungen

### Hybridform

Im praktischen Betrieb hat es sich gezeigt, daß die externe Referenzierung erst dann vorteilhaft einsetzbar ist, wenn die Flächenmodellbildung des Bestandes abgeschlossen ist.

Während des Konstruktionsprozesses ist es von Vorteil, wenn die dazu benutzten Basisdaten nicht in einer getrennten Zeichnung, sondern auf dem oben besprochenen BA-Layer in der Konstruktionszeichnung (FA-Zeichnung) liegen (Abb. 4.28). Operationen wie das Fangen (snap) von Punkten oder Ansichtswechsel werden dadurch ohne das sonst im referenzierten Zustand spürbare Verzögerungsmoment ausgeführt.

Ist die Modellbildung abgeschlossen, so werden die Daten der BA-Layer einzeln oder gesammelt in Form separater Zeichnungsdateien (*Wblocks*) ausgelagert und anschließend in eine BA-Zeichnung eingefügt (Abb. 4.29).

Die Korrektur des Layernamens, also das Löschen der Erweiterung, kann dabei manuell oder wie im Fall des Forschungsprojektes SRX über eine eigene AutoLISP-Routine ('EXLAYEXT') erfolgen.

### Verwaltung

Die Aufteilung in FA-, AT- und BA-Zeichnungen und die externe Referenzierung bietet eine elegantere Lösung der Datenverwaltung, die sich durch folgende Eigenschaften auszeichnet:

- Eine Zeichnung besteht nur aus einer spezifischen Datengruppe, den Basisdaten, dem Flächenmodell (architektonischen Element) oder den Attributdaten.

Die dem jeweiligen architektonischen Element entsprechenden Informationen liegen in allen (drei) Zeichnungen auf gleichnamigen Layern. Der Layernamen ergibt sich direkt aus dem Surrogat ohne die oben genannten Erweiterungen (\_BA, \_AT, \_FA).

Die Unterscheidung der einzelnen Datenebenen im referenzierten Zustand erfolgt nun nicht mehr über die Erweiterung am Ende des Layernamens, sondern über den Zeichnungsnamen, der dem Layernamen vorangestellt wird.

Wird die Zeichnung unreferenziert bearbeitet, so erscheint der Layername ohne den vorangestellten Zeichnungsnamen.

- Jede Zeichnung kann je nach Bedarf separat oder in Verbindung mit den anderen Zeichnungen bearbeitet werden.

So bedeutet dies zum Beispiel im Fall der Objektvisualisierung über Animationssysteme, daß das Flächenmodell über keine „störenden“ Attributdaten verfügt und somit direkt übertragen werden kann. Auf der anderen Seite können Attributdaten ohne den Hintergrund einer x-Megabyte großen Flächenmodell-Zeichnung flexibler bearbeitet werden.

- Trotz Aufteilung des Informationsgehaltes kann die Verwaltung und Bearbeitung der Bestandsdokumentation weiterhin mit einem Computersystem durchgeführt werden

Die Steuerung des aktuell bearbeitbaren Informationsgehaltes durch Aktivieren oder Deaktivieren der Referenzierung stellt in der Verwaltungshierarchie der Modelldaten die erste, daß heißt oberste Stufe dar.

Ausgehend von dieser Ebene, in der die Informationen, die das gesamte Objekt betreffen, ein- oder ausgeblendet werden, erfolgt die Selektion von Gruppen oder einzelnen architektonischen Elementen über deren Layernamen.

Der Aufbau dieser Einzelsurrogate in hierarchisch gegliederter Form (Abb. 4.9) erlaubt in einfacher Weise die Kreation von Auswahlurrogaten, die dann jeweils auf die gewünschten Teilinformationen des Modells zugreifen. So können beispielsweise alle architektonischen Elemente einer bestimmten Raumzelle oder die Bodenflächen von sämtlichen Raumzellen des Bauwerkes über eine einzige Abfrage selektiert werden.

Durch gezielte Verwendung von wildcards können auch komplexe Abfragen relativ einfach bearbeitet werden.

Als einfaches Beispiel für eine Layersteuerung sei hier die Selektion der Wandflächen aller Räume des 1. Geschoßes des *Palastes* angeführt. Aus dem Surrogat MG-G1\_IR-alle\_MW-alle ergibt sich der Layerschlüssel MGG1IR??MW\* .

Realisiert wird diese Verwaltung über selektive Steuerung der Layer durch eine in AutoLISP erstellte Routine ('LAYMANAG').

Dieses Verwaltungsprinzip ist aufgrund des identen Layeraufbaus der Geometrie-, Attribut- und Basis-Zeichnungen für alle Informationsklassen ident. Erfolgt eine Bearbeitung im referenzierten Zustand, so kann bei jeder Auswahl individuell entschieden werden, welche Zeichnungen (Informationsklassen) davon betroffen sind.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß diese Form der Datenstrukturierung im CAD-System die größtmögliche Flexibilität bei der Manipulation und Verwaltung der Bestandsinformationen bei gleichzeitiger Reduzierung der bearbeiteten Datenmengen und somit der erforderlichen Computerressourcen darstellt.

#### 4.4.4 Bestandsmodellspezifische Parameter

##### Amorpher Bauwerksbestand - Flächenmodellbildung mit Linienelementen

Theoretisch gesehen bedürfen Oberflächenmodelle architektonischer Bauwerke keiner zusätzlichen Linienelemente.

Bei der Dokumentation von Bestandsobjekten, die als Basis für unterschiedliche weiterführende Forschungen dienen sollen, ist die Situation jedoch eine andere.

Bestandsobjekte, wie sie hier gemeint sind, bestehen neben den intakten Architekturelementen in mehr oder weniger großen Teilen aus abgerutschten oder eingestürzten Bauelementen. Diese verfallenen Bauwerksteile können aufgrund ihrer amorphen Struktur nicht mehr über die vorne definierten architektonischen Elemente definiert werden, sondern erfordern eine Präsentationsform, wie sie im allgemeinen für Geländeformen verwendet werden. Die Oberfläche wird in diesem Fall entweder über Quadratraster-Maschen oder Dreiecksmaschen dargestellt. Welche der beiden Arten Verwendung findet, hängt im allgemeinen von der Art der Datenbasis, also des importierten Datensatzes ab (*Böhler et al., 1996; El-Hakim et al., 1996; Stephani und Tang, 1992*).

Die Konstruktion der Oberflächenmaschen im CAD-System ist in diesen Fällen in einfacher Weise über ein LISP-Programm zu realisieren, das die Eckpunkte der einzelnen Facetten einliest und über diese ein 3DFACE erzeugt.

Die praktische Bearbeitung am Forschungsprojekt und dabei im besonderen Maßen die interdisziplinäre Kooperation mit den verschiedenen Disziplinen der Architekturforschung (*Heine, 1994*) haben gezeigt, daß für die Visualisierung dieser Objektteile verschiedene Formen gewünscht werden. Steht der plastische Eindruck des Objekts im Vordergrund, so ist die Visualisierung der die Oberfläche bildenden Netzmaschen erwünscht; steht jedoch der metrische Informationsgehalt im Vordergrund, so ist die Repräsentation über Isohypsen gefragt.

Wurden die Daten der amorphen Oberfläche in einem speziellen Programm zur digitalen Geländemodellerstellung (DGM) aufbereitet, so sind in den meisten Fällen die Isohypsen bereits Bestandteil des Ergebnisdatensatzes. Ist dies nicht gegeben, so können die Isohypsen in speziellen Interpolationsprogrammen aus dem Oberflächendatensatz extrapoliert werden (*Steidler, 1986*). Beispiel für ein derartiges System ist das auf dem Prinzip der Dreiecksvermaschung arbeitende DGM-Interpolationsprogramm CIP.

##### Sonderform Kante als Isohypse

Außerdem bietet CIP noch die Möglichkeit, die Oberfläche so aufzuteilen, daß die Flächenelemente durch die Isohypsenlinien begrenzt werden. Setzt man nun bei der 3DFACE-Oberflächenbildung diese Dreieckskanten sichtbar und die anderen unsichtbar, so ist die Darstellung von Isohypsen über Flächenelementkanten prinzipiell möglich. Da die Kanten eines einzigen 3DFACE nicht verschiedenen Layern zugeordnet werden können, verhindert diese Sonderform aber gleichzeitig die Darstellung der Oberfläche in Netzmaschenform.

Um also sowohl die Visualisierung durch Netzmaschen als auch durch Isohypsen zu ermöglichen, ist die Geometrie des Flächenmodells durch Linienelemente zu ergänzen (Abb. 4.33).

Erfolgt die Beschreibung der Oberfläche über Isohypsen, ist es aus Gründen der Übersichtlichkeit notwendig, die Facettokanten zu unterdrücken. Dabei können grundsätzlich zwei Varianten unterschieden werden:



- Soll die Steuerung der Facetten-Sichtbarkeit über die Layerfarbe erfolgen (weiß = unsichtbar), so sind die Facettenkanten bei der 3DFACE-Konstruktion als sichtbar zu definieren.
- Werden die Kanten als unsichtbar definiert, so ist gleichzeitig mit der 3DFACE-Konstruktion ein Liniennetz aus denselben Punkten zu konstruieren und auf einem separaten Layer zu speichern.

Bezogen auf eine konsistente Verwaltung des digitalen Bauwerkmodells durch Aktivieren und Deaktivieren von Layern, ist auf jeden Fall die zweite Variante der ersten vorzuziehen. Weiters kann dadurch die Sichtbarkeit in einfacher Weise durch binäre Koppelung der Layersteuerung von Netzlinie und Isohypse ermöglicht werden.

### Generalisierungsgrad

Sowohl Problemstellungen, die ein Monument betreffen, als auch Vergleichsstudien und Rekonstruktionen verlangen vollständige Bestandspläne mit hoher Genauigkeit. Somit sind Genauigkeit und Vollständigkeit bei Aufnahme und Modellierung, geometrische Richtigkeit bei der Extraktion von Plänen und eine der Anwendung entsprechende Visualisierungsform die Richtlinien für die Bestandsdokumentation.

Die Schwierigkeiten der räumlichen Erfassung und 3D-Präsentation eines architektonisch oder archäologisch bedeutsamen Bauwerkes ergeben sich durch die Kombination von objekt- und dispositionsspezifischen Parametern und den Anforderungen durch die weiterführende Architekturforschung, die hochgenaue, detailreiche Planungsgrundlagen benötigt. Dies bedeutet, daß in den meisten Fällen in der Modellbildung eine Abstraktion von Bauwerksteilen in der Form „Bauwerksfläche = Ebene“ nicht möglich sein wird. Je nach Detaillierungsgrad wird zur Beschreibung einer Bauwerksfläche eine Kombination von einer Vielzahl von Basiselementen erforderlich sein.

Dieser Anspruch an Detailgenauigkeit bewirkt aber, daß die Komplexität des Objektabbildes zunimmt und somit der Aufwand der dreidimensionalen digitalen Modellbildung exponentiell ansteigt.

Als Beispiel sei hier nur der einfachste Fall der Modellierung der Raumecke, die aus zwei angrenzenden Wänden gebildet wird, genannt. Erfolgt die Objektdarstellung der Wandflächen durch jeweils eine Ebenenfacette, so sind zur Raumeckenkonstruktion zwei Ebenenverschneidungen notwendig. Bestehen die Wände jedoch zum Beispiel aus jeweils drei Ebenenstücken, so sind bereits bis zu fünf Verschneidungen notwendig, usw.

Ob nun der Aufwand der räumlichen Modellbildung in Relation zur selektiven, zweidimensionalen Einzelplanerstellung als zu hoch oder als angemessen einzustufen ist, wird dabei jeweils von Art und Umfang der für die weiterführenden Studien am Objekt gewünschten Visualisierungen abhängen.

Um eine Entscheidung darüber zu ermöglichen, welche Dokumentationsform die Zielsetzung der Dokumentation in effizienter Weise zu erfüllen vermag, bedarf es fundierter Aussagen und objektiver Kriterien. Diese sollen durch die in Kapitel 5 in allen Einzelheiten an einem praktischen Beispiel verifizierten Angaben zur Verfügung gestellt werden.

#### 4.4.5 Implementierung bildhafter Information

Das digitale Bauwerkmodell ist ein als Abbild (Modell) der Realität und somit trotz hoher Genauigkeitsanforderungen nur so weit detailgenau, als im Generalisierungsprozeß definiert.

Durch die Implementierung bildhafter Information in das graphische Modell kann für gewisse Bereiche die Detailgenauigkeit ohne großen Mehraufwand erhöht werden.

##### Import und Systemverhalten

Das Einfügen von Bildern in die CAD-Zeichnung ist in AutoCAD grundsätzlich möglich, führt jedoch bei Bilddatenmengen ab 1MB zu einer extremen Verlangsamung, wenn nicht sogar zum Stillstand des CAD-Bearbeitungsprozesses.

In AutoCAD können die Bilder im TIFF-, GIF- oder PCX-Fileformat importiert werden.

Für den Import und die Bearbeitung der vorverarbeiteten (entzerrten) Bilder in AutoCAD wird folgender Weg empfohlen:

- Konstruktion der Bildfläche (Rechteck) über ein 3DFACE in der FA-Zeichnung, entweder als eigenständiges architektonisches Element oder als Flächenimplantat eines architektonischen Elements. Liegen die Koordinaten der Rahmeneckpunkte nicht aus der Bauaufnahme vor, so müssen diese aus den zur Bildentzerrung verwendeten Paßpunkten und den entzerrten Bildeckpunkten errechnet werden.
- Definieren eines Benutzerkoordinatensystems in der Ebene des Rahmens
- Bild importieren und positionieren
- Bild in extern referenzierte Zeichnung auslagern

##### Geometrische Entzerrung

Damit die integrierte Bildinformation als vollwertiger Teil des Architekturmodells gilt, hat diese geometrisch richtig entzerrt und über Paßpunkte mit dem Modell verknüpft zu werden (Abb. 4.32).

Alle anderen Einpaßmethoden, die nicht auf einer mathematisch exakten Lösung basieren, erhöhen wohl den Informationsgehalt des Modells, stellen aber keine geometrische Verfeinerung des Modells dar.

Im Forschungsprojekt SRX wurde beispielhaft für einen solche Anwendung ein heute nicht mehr vorhandenes Flachbildwerk in virtueller Form wieder in seinen ursprünglichen Platz eingesetzt (Abb. 4.32).

Die hier publizierte Darstellung wurde nach Verifizierung der Machbarkeit von Rendering und Bildverknüpfung in AutoCAD auf Grund der besseren Renderqualität im Aniamtionssystem *Wavefront EXPLORE* durchgeführt.

Die geometrisch exakte Entzerrung der photographischen Aufnahme aus dem Jahre 1891 wurde auf der Basis der in Fassade noch erkennbaren Reliefecken durchgeführt (siehe auch Kapitel 5.4.3).

## Entzerrungsprogramme

Strenge Lösung:

Die projektive Transformation ist ein Standardverfahren der einfachen Architekturphotogrammetrie und auch schon Bestandteil von CAD-Systemen (*Georgopoulos et al., 1994; Richter, 1994a; Wiedemann, 1996*). Sie erlaubt es ohne Kenntnis der klassischen Orientierungselemente die Umrechnung von Bildpunkten einer Ebene auf eine andere Ebene.

Der Bedarf an einem Transformationsprogramm zur projektiven Entzerrung für Farb- und Grautonbildung, von denen keinerlei Aufnahmeparameter vorhanden sind war Anlaß für das Erstellen des Entzerrungsprogrammes 'RECTIFY' in der Programmiersprache IDL.

Die acht erforderlichen Parameter der Transformation werden dabei über mindestens vier Paßpunkte hergeleitet. Aufgrund der Bedingung, daß es sich bei dem Objekt um eine Ebene handeln muß, können die Punkte auch ohne geodätische Spezialausrüstung mit Maßband, Lot etc. bestimmt werden.

Anpassung und Anmerkung:

Steht keine Möglichkeit einer exakten Entzerrung zur Verfügung und stammen die piktoralen Informationen aus einer nahezu planparallelen Aufnahme so ist eine nicht entzerrte Verwendung, wenn die Geometrie im Hintergrund steht, möglich.

In einem solchen Fall ist es aber unbedingt notwendig, das in das Modell eingefügte Bild als geometrisch verzerrt zu kennzeichnen. Dies erfolgt je nach der verwendeten Informationsverwaltung durch einen eigene Layer- oder Zeichnungstyp.

## Verwaltung

Für die Verwaltung von Bildern sei auch hier die in Kapitel 0 ausführlich besprochene Variante der externen Referenzierung jener des Layerprinzips vorzuziehen.

Um bei der Bearbeitung des Modells nicht durch die Zeichnungsinformationen gebremst zu werden, ist es empfehlenswert, diese nur bei Bedarf einzublenden.

Es gibt jedoch Arbeiten wie die Definition einer Präsentationsansicht, bei der die Bildinformationen bereits während des iterativen Prozesses der Ansichtsauswahl benötigt werden. Aus diesem Grund ist es empfehlenswert, das Bild oder, sofern es sich nicht um ein eigenständiges architektonisches Element handelt, die Lage des Bildes im architektonischen Element durch einen Rahmen zu visualisieren (siehe Kapitel 0 „Import“). Um das Modell konsistent zu halten, sollte dieser Rahmen (Rechteck) nicht über Linienelemente, sondern als Fläche mit sichtbaren Randlinien definiert sein.

Dadurch ist auch bei weggeschalteter Bildzeichnung die Lage des Bildes bei jeder Ansichtskontrolle eruierbar. Nach Fixierung der endgültigen Ansichtparameter wird die Bildzeichnung zugeschaltet und die Zeichnungsausgabe kann erfolgen (Abb. 4.32).

Besteht die Absicht, regelmäßig Bildinformationen in AutoCAD zu verwenden oder ein CAD-Modell mit mehreren Bildern zu verbinden, so ist der Zukauf einer Applikation zu empfehlen, die diese Bildverwaltung unterstützt. Als Beispiele für derartige Applikationen seien hier V/IMAGE Plus von HITACHI SOFTWARE oder RXVEKTOR der Firma ADACTA Ltd. genannt. Mit beiden Systemen können auch Bilder mit mehreren Megabyte Datenumfang problemlos bearbeitet werden. Neben Skalier- und Stretchfunktionen verfügen die Applikationen auch über die Möglichkeit, die Bilder über Referenzpunkte affin einzupassen.

## 4.5 Präsentation des Modellinhaltes

Das Potential des digitalen Bauwerkmodells für die Bestandsdokumentation basiert auf zwei charakteristischen Merkmalen, der Dokumentation des Gesamtobjektes in Form eines detailgenauen dreidimensionalen Modells und dem Potential von CAD- und Computeranimations-Systemen für dessen Visualisierung.

Individuell auf jeden Forschungszweck abgestimmte Planinhalte in der jeweils gewünschten Darstellungsform sind das Ergebnis des auf den Modellinhalt angewandten Präsentationsprozesses.

Dieser Prozeß kann entweder mit den im CAD-System implementierten Werkzeugen erfolgen, oder das CAD-Modell wird in ein Animationssystem exportiert und mit diesem visualisiert. Für welche Methode man sich entscheidet, wird dabei von der Zielsetzung und den vorhandenen Ressourcen abhängen.

### *Animationssystem*

Animationssysteme sind in der Lage, vom Objekt photorealistsche Darstellungen zu erstellen und diese einem Animationsprozeß zu unterwerfen.

Jedoch sind sie nicht nur in Bezug auf die Anschaffung ein nicht zu vernachlässigender Kostenfaktor, sondern auch in Bezug auf ihre Bedienung. Das enorme Potential dieser Systeme bringt einen Umfang und eine Komplexität an Programmroutinen mit sich, die nur durch einen Fachmann auf diesem Gebiet so eingesetzt werden können, daß die erwünschten Ergebnisse in einem vertretbaren Zeitraum erlangt werden.

Im Gegensatz dazu verfügen aber die zur Modellbildung verwendeten CAD-Systeme bereits über ein dermaßen großes Potential an Visualisierungsformen, daß ein Einsatz von Animationssystemen in der Bestandspräsentation nur mehr in Sonderfällen notwendig ist. Ist der Bedarf einer Animation gegeben oder wird eine photorealistsche Darstellung gewünscht, so wird das Modell je nach vorhandenem System aufbereitet und über eine gemeinsame Datenschnittstelle zur Weiterverarbeitung dem Animationssystem-Betreuer übergeben.

Da je nach Gegebenheit ein anderes Animationssystem zum Einsatz kommen wird, erfolgt in diesem Abschnitt keine weitere Besprechung zu diesem Punkt, sondern es wird auf Kapitel 5.4 verwiesen.

In diesem wird in Form einer praktischen Bearbeitung der Einsatz des Animationssystems *Wavefront EXPLORE* beschrieben.

### *CAD-System*

Der größte Teil der im Zuge der Architekturanalyse und der weiterführenden Forschungen gewünschten Visualisierungen ist mit den im CAD-System vorhandenen Werkzeugen möglich.

Die Palette der Darstellungsmöglichkeiten reicht dabei von der Strichzeichnung über die Schnittzeichnung bis zur Darstellung in einfacher Render-Qualität (siehe Kap.4.5.3), die zwischen normalem Schattieren und photorealistscher Darstellung liegt.

In der Folge werden die wichtigsten Parameter der Präsentation des digitalen Bauwerkmodells mit den Werkzeugen des CAD-Systems beschrieben.

## 4.5.1 Planare geometrische Projektionen

CAD-Systeme und Animationsprogramme bieten eine Vielfalt an geometrisch planaren Projektionen, zur Objektvisualisierung an. Unabhängig davon, ob in der Konstruktionsphase des Modells oder in der Ergebnispräsentation in Form einer Computeranimation auf Video, erfolgt die Visualisierung des betroffenen Modellinhaltes immer durch eine Projektion des Objekts auf eine Ebene.

Bei der Projektion dreidimensionaler Objekte auf eine „Projektions-“ oder „Ansichtsebene“ unterscheidet man häufig zwei Verfahren, die perspektivische und die parallele Projektion. Diese Klassifikation ist in Abb. 4.30 (Zavodnik und Kopp, 1995:73) dargelegt.

Die in dieser Darstellung fett eingerahmten Gruppen definieren dabei die in den CAD-Systemen MicroStation95 und AutoCAD13 standardmäßig implementierten Projektionen.

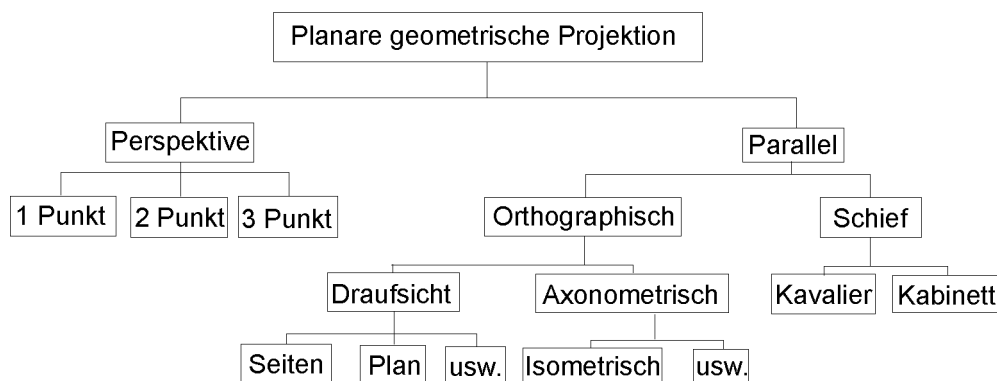


Abb. 4.30: Klassifikationen von Projektionen (Zavodnik und Kopp, 1995:73)

### Perspektive

Im Konstruktionsprozeß wie auch in der architekturanalytischen Bearbeitung wird die Perspektive nur in Ausnahmefällen eingesetzt, da die Verkürzung in der Darstellung nicht gleichmäßig ist.

Eingesetzt wird die Perspektive überall dort, wo eine realistische Wirkung erwünscht wird.

Im CAD-System AutoCAD wird die Perspektive nach Aufruf der dynamischen Ansicht (*Option:3D Dynamic View*) über die Option *distance* (Abstand) zwischen einer fiktiven Kamera und dem Objekt gesteuert. Die Einstellung von Kameraposition zu Zielpunkt kann dabei alternativ über die Optionen *camera*, *Target* oder, wenn die Koordinaten beider Positionen bekannt sind, über *points* definiert werden. Die Option *zoom* ermöglicht das Vergrößern oder Verkleinern des Zeichnungsausschnittes ohne Änderung der Perspektive.

### Parallelprojektion

In Fällen, wo aus der Zeichnung auch die Tiefeninformation abgelesen werden muß, wird die Parallelprojektion eingesetzt.

Im Konstruktionsprozeß wie auch in der weiterführenden Bearbeitung des Modellinhaltes werden im allgemeinen orthographische Projektionen eingesetzt, um 3D-Informationen aus den ebenen Projektionen zu gewinnen oder aus diesen zu generieren. Standardansichten wie Draufsicht, Seitenansicht und Vorderansicht, aber auch

Isometrien sind Projektionsarten, die von den CAD-Systemen vordefiniert zur Verfügung gestellt werden (Abb. 4.31a).

Nicht vordefinierte freie Ansichten können in diesem Fall durch Definition des Ansichtsvektors (*Option:3D Viewpoint*) oder online in dynamischer Form (*Option:3D Dynamic View*) eingestellt werden (Abb. 4.31b).

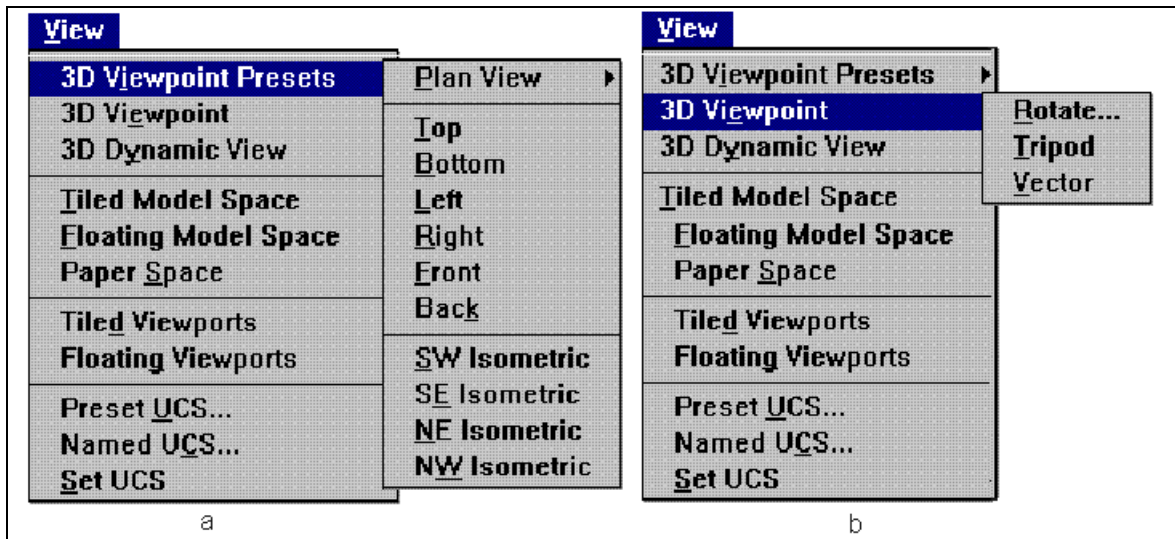


Abb. 4.31:Vordefinierte (a) und freidefinierbare (b) Projektionen in AutoCAD

## 4.5.2 Sichtbarkeit

Die Modelldefinition durch Flächenelemente ermöglicht, wie bereits in Kap. 4.3.2 gesagt, die Steuerung der Sichtbarkeit der einzelnen Architekturelemente (Abb. 4.20).

Welche Kanten und Flächen sichtbar oder unsichtbar sind, wird dabei vom CAD-System automatisch durch den Aufruf des Befehls *shade* berechnet. Ein diesem verwandter Befehl ist der *shade*-Befehl, bei dem die sichtbaren Flächen zusätzlich mit der jeweiligen Facettenfarbe ausgefüllt werden.

Das Programm berechnet in beiden Fällen, welche Flächen oder Flächenteile vom Beobachterstandpunkt aus sichtbar sind und somit am Bildschirm oder auf die Drucker-/Plotter-Schnittstelle ausgegeben werden.

Obwohl es für diese Berechnungen verschiedene Verfahren gibt, die in hierarchisch gegliederter Form zuerst die Verdecktflächen eliminieren (Rückfacetteneliminierung) und in der nächsten Stufe die Teilflächen berechnen (z-Buffer-Verfahren), benötigt dieser Vorgang auf dem PC immer noch relativ viel Zeit. Bei einem Modellumfang wie dem des *Palastes* von mehr als 20.000 Flächenstücken ergeben sich dabei je nach Computerressourcen Rechenzeiten von einigen Sekunden bis Minuten.

Dieser Aspekt wirkt sich zwar in der Konstruktionsphase nicht so sehr aus, da in diesem Fall die beiden genannten Befehle nur selten im Zuge der Kontrolle der Oberflächenvollständigkeit eingesetzt werden. Wurde zum Beispiel bei der Definition der Oberfläche eine Facette nicht ausgefüllt oder irrtümlich während des Konstruktionsprozesses gelöscht, so erkennt man dies nach Aufruf des SHADE-Befehls an einem „Loch“ im eingefärbten Facetten-Patch des Architekturelements.

Störend wirken sich die langen Rechenzeiten jedoch in der Präsentations- Interpretations- und Rekonstruktionsphase aus. In diesen Fällen sind Darstellungen des Objekts aus vielen verschiedenen Sichtwinkeln gefragt, wobei insbesondere im

Analyseprozeß ein rascher Wechsel zwischen diversen Ansichten gefragt ist. Aber auch im Rekonstruktionsprozeß, wo das Bestandsmodell mit verschiedenen Rekonstruktionsvarianten der fehlenden Architekturelemente überlagert wird, ist eine rasche Sichtbarkeitssteuerung von Vorteil.

Eine Möglichkeit für die Beschleunigung dieses Prozesses liegt in der Verringerung der aktuell zu bearbeitenden Datenmenge durch Wegschalten nicht benötigter Layer oder extern referenzierter Zeichnungen. Dieser Vorgang ist aber mit Vorsicht anzuwenden, da es in vielen Fällen schwer abzuschätzen ist, welche Elemente von der jeweiligen Ansicht ganz sicher nicht betroffen werden. Bei wechselnden Ansichten ist diese Methode jedoch gänzlich unbrauchbar, da die zum Zu- und Wegschalten benötigte Zeit meist höher sein wird als der beabsichtigte Zeitgewinn.

Die zweite Möglichkeit besteht in der Beschleunigung der Hardware durch höhere Prozessorleistungen, SCSI-Komponenten usw. Den größten Geschwindigkeitsgewinn würde die Auslagerung dieser Berechnungen in die Frame-Buffer-Ebene bringen, in der dann unter Anwendung einer z-Puffer Hardware die Sichtbarkeits- Schattierungs-Berechnungen durchgeführt werden. Diese Hardware wird heute jedoch nur für anspruchvollste Bild- und Animationsherstellung verwendet.

### 4.5.3 Rendering

Mit Rendering wird ein Prozeß beschrieben, der aus einer Computerzeichnung eine möglichst realistische Darstellungform eines digitalen Objekts zu gewinnen versucht. Dies reicht vom Ausfüllen der Flächen eines Drahtmodells mit Farben über verschiedene Schattierungseffekte durch Farbverläufe und Helligkeitsunterschiede auf den Flächen bis zu photorealistischen Darstellungen, die durch komplexe Oberflächendefinitionen und unterschiedliche Lichteffekte entstehen (Abb. 4.32).

Die ersten Schritte im Renderingsprozeß in AutoCAD umfassen die Festlegung der Ansicht (Projektion) mit den oben genannten Methoden und die Zuweisung der Oberflächeneigenschaften (*Materialien*). Anschließend werden Parameter wie Diffusion, Spiegel und Rauheit der Materialien definiert. Diese Eigenschaften gepaart mit den sich durch die Festlegung von Umgebungslicht, entferntes Licht und Punktlichtquellen ergebenden Schatten, bestimmen die gerenderte *Szene* (Fuchs, 1995, Magnenant Thalmann, 1990).

Um den Eindruck noch zu verbessern, kann die Intensität von Lichtquellen in Abhängigkeit zur Distanz vom Objekt gesteuert, durch die Option *Smooth Shading* eine Glättung der Übergangskanten der Polygonfacetten erreicht werden oder auch die Szene mit einem Hintergrundbild versehen werden.

#### *Flächennormale und Renderzeiten*

Flächennormale, die vom Betrachter weg zeigen, ihm also die Rückseite zuweisen, werden im Fall einer geschlossenen (Raum-)Objektdefinition über Oberflächen immer im Inneren des Mauerwerkes liegen und somit niemals sichtbar sein. In diesen Fällen kann eine weitere Option der Rendering-Programme, die Unterdrückung der Rückflächen-Facetten, angewandt werden. Diese Einstellung bewirkt, daß nur jene Flächen dem Renderingprozeß unterworfen werden, deren Außenseite zum Betrachter zeigt.

Um nicht zu unerwarteten Ergebnissen zu gelangen, ist, wie in Kapitel 4.3.3 ausführlich behandelt, eine einheitliche Orientierung der Flächennormalen Voraussetzung.

Der Vorteil dieser Methode liegt in der Reduktion der Renderzeit aufgrund der Halbierung der zu behandelnden Flächenseiten.

Dieses Faktum wirkt sich nicht so sehr beim Rendern einzelner Szenen aus als bei der Erstellung ganzer Rendersequenzen, die beispielsweise im Zuge einer Computeranimation eingesetzt werden. Bei einer Animation von einer Minute mit einer

Bildfolge von fünfundzwanzig Frames pro Sekunde ergibt das einen Umfang von eintausendfünfhundert gerenderte Szenen.

So wurden für die high-end Computeranimation des *Palastes* mit dem professionellen Animationssystemen *Wavefront EXPLORE* auf einer Indigo II Workstation von Silicon Graphics Renderzeiten von zwanzig Minuten und mehr pro Szene erzielt. Dies ergibt einen Zeitraum von mehreren hundert Stunden Renderzeit für eine Minute Animation (siehe Kapitel 5.4.4).

Zu diesem Beispiel ist zu sagen, daß dies für Vollframe-Rendering gilt und daß diese Systeme über verschiedene weitere Möglichkeiten verfügen, die Zeiten für die Erstellung von Animationssequenzen zu verkürzen. Eine Beschreibung des auf den *Palast* angewandten Renderprozesse mit *Wavefront EXPLORE* wird in Kapitel 5.4.2 gegeben.

Weitere Ausführungen und Ergebnisse der praktischen Durchführung des Renderingprozesses werden in Kapitel 5.4 gegeben.



Abb. 4.32: Gerenderte Szene des Raumes 1 mit geometrisch richtigem Bildimplantat



#### 4.5.4 Schnittzeichnung und Teilmodelle

Die Schnittzeichnung eines Bauwerkes oder Bauwerkteiles ist in der Architekturanalyse die am meisten verwendete, da aussagekräftigste Darstellungsform. Aus ihr lassen sich mit einem Blick Mauerstärken, Wandneigungen, Verformungen und vieles mehr ablesen. Für viele architektonischen Elementtypen existieren Darstellungskonventionen, die es dem Architekturanalytiker erlauben, Vergleiche zwischen gleichartigen Typen durchzuführen. So werden Innenraumgrundrisse durch einen horizontalen Schnitt in einer Höhe von in etwa einem Meter über dem Boden definiert.

Um diese Darstellungen aus dem digitalen Architekturmodell zu selektieren und nicht Fremdsysteme wie MicroStation95 oder das Animationspaket *3D Studio* dazu einsetzen zu müssen, wurde ein eigenes Programm geschrieben.

Da AutoCAD kein CAD-Werkzeug anbietet, mit welchem 3DFACES geschnitten werden könnten, wurde die Schnittprozedur unter Einsatz des im CAD-System implementierten „geometrischen Rechners“ (*geometry calculator*) programmiert. Die Manipulation der betroffenen Elemente erfolgt dabei direkt in der Datenbankebene von AutoCAD.

Ein weiterer wenn auch untergeordneter Grund für eine eigene Programmierung der Schnittroutine liegt in der möglichen Inkonsistenz der Oberflächendefinition. Der Umstand, daß das Flächenmodell Ergebnis einer interaktiven Bearbeitung ist bringt es mit sich, daß das digitale Architekturmodell fehlerhaft sein kann. So können im Oberflächenmodell Facetten existieren, die mehrmals oder auch nie mit 3DFACES „ausgefüllt“ worden sind. Soll nun ein solches fehlerhaftes Modell in einem Fremdsystem wie *3D Studio* dem dort implementierten Schnittalgorithmus unterworfen werden, so führt dies zu Fehlern in der systemeigenen Objektdefinition und zum Absturz des Systems.

#### Modellaufbereitung

##### Elementtypen - Polylinien und Dreiecksflächen

Die Programmierung der Schnittprozedur in AutoLISP ergab eine Beschränkung auf die Algorithmen des geometrischen Rechners und auf den Befehlsumfang des CAD-Systems. Um diese Umgebung möglichst optimal auszunützen und das Programm für möglichst viele Anwendungen offen zu halten, wurde das Programm auf den Schnitt von Linienelementen und Dreiecksflächen (dreiseitige 3DFACES) eingeschränkt.

Es müssen somit vor dem Aufruf des Schnittalgorithmus sämtliche Objektgruppen wie Blöcke oder vordefinierte Oberflächen in ihre Basiselemente aufgelöst werden. Wurden Bauwerksteile über vordefinierte Grundelemente (Kugel, Quader, etc.) oder 'POLFACES' und 'POLYMESHES' konstruiert, so bewirkt der Befehl 'explode' eine Auflösung der Oberflächen in einzelne 3DFACES. Die Auflösung der übergeordneten Elementtypen des Modells erfolgt bis zu jenem Punkt, an dem keine weitere Aufspaltung der Geometrie-Elemente mit 'explode' mehr möglich ist. Der geometrische Zeichnungsinhalt besteht sodann nur mehr aus Linienelementen und 3DFACES.

##### Selektion von fehlerhaften Flächenelementen und von Vierecksflächen

Da der Schnittalgorithmus für eine Verschneidung mit vierseitigen 3DFACES (hyperbolische Paraboloidflächen) nicht ausgelegt ist, muß eine Transformation dieser in ebene Dreiecksflächen (Abb. 4.17) erfolgen.

Sind alle Oberflächenteile soweit aufgelöst, daß nur mehr 3DFACES vorliegen, kann mit der Flächenprüfung und der Sortierung der drei- und vierseitigen Flächenelement-Typen begonnen werden.

Im Laufe des Konstruktionsvorganges passiert es immer wieder, daß bei der 3DFACE-Bildung aufgrund ungenauer Positionierung des Fangkreuzes zweimal oder gar dreimal derselbe Punkt gesnapt (eingefangen) wird. Diese 3DFACE beschreibt somit keine echte Fläche, sondern nur eine Linie oder gar nur einen Punkt. Um das Gesamtmodell von solchen Fehlern sauber zu halten, wurde das Macro-Programm 'FACESORT' geschrieben, welches sowohl die fehlerhaften Flächen als auch die vierseitigen 3DFACEs eruiert. Der diesem Programm zugrundeliegend Algorithmus der geometrischen Kolinearität basiert auf der Berechnung der Distanzen zwischen den einzelnen 3DFACE-Punkten und den Normalabständen zwischen Kantenvektor und Folgepunkt der Dreiecksseiten.

Diese Prozedur bestimmt die fehlerhaften Flächen, Vierecksflächen und Dreiecksflächen der Zeichnung und ordnet diese der jeweiligen Selektionsgruppe zu.

Jedes Element einer AutoCAD-Zeichnung verfügt über einen individuellen Elementenamen über welchen es eindeutig identifizierbar ist. Diese Elementenamen, können in sogenannten Selektions-Sets zu Gruppen zusammengefaßt und einer gemeinsamen Bearbeitung zugeführt werden.

Im Fall der fehlerhaften Flächen werden diese als Teilzeichnungen zur Weiterverarbeitung aus der Hauptzeichnung ausgelagert. Der Namen der Teilzeichnung besteht aus dem Namen der Hauptzeichnung plus einer Ergänzung (\_FEHL).

Der Grund für das nicht sofortige Löschen, sondern den Export der fehlerhaften Flächen in eine Teilzeichnung liegt in der Tatsache begründet, daß der Algorithmus für die Definition von fehlerhaften Flächen so gestaltet ist, daß er eine frei definierbare Selektionsgrenze zuläßt.

Der Anwender kann durch Angabe von Grenzwerten für den minimale Punkt- und Normalabstand bestimmen, ab welcher Facettengröße eine fehlerhafte Fläche vorliegt.

Durch die Auslagerung als Teilzeichnung wird die Möglichkeit offen gehalten, die als fehlerhaft definierten Elemente nochmals visuell zu begutachten, bevor sie gelöscht werden.

#### Transformation der Vierecksflächen in Dreiecksflächen (F4T3DS)

Für die Transformation vierseitiger in dreiseitige 3DFACEs (Abb. 4.17) wird von AutoCAD keine eigene Routine angeboten, doch kann diese in einfacher Art über den Umweg einer standardmäßig vorhandenen Datenschnittstelle erfolgen. Beim Export von AutoCAD nach *3D Studio* wird vom Schnittstellenprogramm das ursprüngliche vierseitige 3DFACE in ein vierseitiges polyedrisches Objekt ('PFACE') umgewandelt, das nun aus zwei Dreiecksflächen besteht.

Um diese Routine hier einsetzen zu können, müssen die betroffenen Elemente entsprechend den Voraussetzungen der Datenschnittstelle aufbereitet werden. Die Schritte der Aufbereitung, Export sowie der Reimport und die Redefinition entsprechend den Originalparametern werden dabei durch ein speziell auf die vorliegende Datenstruktur abgestimmtes AutoLISP-Programm ('F4T3DS') gesteuert.

Die Kernpunkte des Prozesses bilden dabei die Erstellung von geometrischen 1:1-Kopien der betroffenen Elemente und die Umbenennung der Layer.

Beim Versuch, die Flächenelemente des digitalen Architekturmodells zu exportieren, wurden aus bis dato ungeklärter Ursache ein Großteil der selektierten Elemente nicht übertragen. Einsatz diverser Applikationen auf den Modellinhalt, mannigfacher Datenaustausch über 'Wblocks' und ähnliches könnten der Grund für die aufgetretenen Probleme sein. Um diese in der Datenstruktur des Elements liegenden Probleme auch in Zukunft zu umgehen, wurde entschieden das Element in Form einer 1:1-Kopie der geometrischen und thematischen Informationen neu zu konstruieren und das alte zu löschen. Dazu wird ein Norm-3DFACE erzeugt, dessen Punktkoordinaten, Kantensichtbarkeiten und Layerbezeichnung vom jeweiligen Original kopiert werden.

Der Layername wird in diesem Prozeß jedoch nicht direkt übernommen, sondern vorher einer Transformation unterworfen. Die Notwendigkeit liegt in der Zuordnung von AutoCAD-Layerinformation zu 3DS-Objektinformation begründet, bei der *3D Studio* die Objektbenennung auf zehn Zeichen begrenzt.

Dies führte zur Schaffung einer Zuordnungstabelle, in der jedem Layernamen eine eindeutige Layernummer von weniger als zehn Zeichen Länge zugeordnet wird. Diese Nummer wird dann als neuer Layernamen in die Flächenkopie eingetragen.

Wurden alle vierseitigen Elemente in dieser Art aufbereitet, so können sie als 3DS-File exportiert und in der Zeichnung gelöscht werden.

Nach Aufruf des (Re-) Importbefehls müssen die in 'PFACE's umgewandelte Vierecksflächen (siehe oben) aufgelöst ('explode') und auf die ursprüngliche Farbdefinition ('bylayer') rückgesetzt werden. Da die Farbdefinition der Elemente im gesamten Modell einheitlich über die Layerfarbe definiert wurde, kann die Zuordnung der Originalfarbe für alle Elemente durch einen einzigen Befehlsaufruf ('color by layer') erfolgen. Sämtliche dieser dem Datenimport folgenden Arbeitsschritte werden automatisch durch das AutoLISP Programm 'REIMP' durchgeführt.

Das Ergebnis dieser Datenaufbereitung ist ein Flächenmodell, das nur aus den beiden Basiselementen Linie und dreiseitigen 3DFACES aufgebaut ist. Diese Einfachheit der Modelldatenstruktur entspricht somit nicht nur den Anforderungen der im folgenden Abschnitt behandelten Schnittprozedur, sondern gewährt einen hohen Grad an Kompatibilität in Bezug auf den Modelldatenaustausch mit Computergrafik- und Animationssystemen.

## Schnitt des CAD-Modells

Das in der Programmiersprache AutoLISP erstellte Schnittprogramm 'CUTOBJ3D' wurde speziell auf die Erstellung von Schnittzeichnungen ausgelegt, wie sie in der Architekturanalyse üblicherweise benötigt werden. Dies sind die horizontale und die vertikale Schnittzeichnung. Das Prinzip der Schnittprozedur besteht darin, daß über eine projizierend erscheinende Schnittlinie die Schnittebene definiert wird, die das gesamte Modell in zwei Teile unterteilt.

Die offene Programmstruktur und der modulare Aufbau des Programmes über die Unterprogramme 'CUTLINE', 'CUTFACE' und 'LPL' gewährleisten einen Schnittalgorithmus, der bei Bedarf an jede beliebige Schnittkonstellation adaptiert werden kann.

### Schnitt der Linienelemente und Selektion der Teilmodelle

Wie in Kapitel 0 ausführlich besprochen gibt es geometrische Bestandsdaten, die im digitalen Architekturmodell als Linienobjekte enthalten sind.

Für die Prozedur des virtuellen Schneidens von Linien werden die von AutoCAD zur Verfügung gestellten Standardroutinen 'break' und 'trim' eingesetzt. Die dazu notwendigen Arbeitsschritte und Einstellungen der Zeichnungsparameter wie das Setzen eines aktuellen Koordinatensystems, das die Schnittebene projizierend erscheinen läßt, werden durch das Macro-Programm 'CUTLINE' gesteuert. Nach erfolgtem Schnitt der Linien werden die jeweils links und rechts der Schnittebene liegenden Elemente zwei getrennten Selektionsgruppen zugewiesen.

Die Bearbeitung der Flächenelemente beginnt damit, daß die die Schnittebene schneidenden 3DFACES selektiert und aus der Gesamtzeichnung ausgelagert werden. Als nächster Schritt werden die links und rechts der Schnittebene liegenden Elemente selektiert und gemeinsam mit den bereits selektierten Linienelementen in Form zweier Teilzeichnungen separat abgespeichert (Abb. 4.33).

Ein Grund für die getrennte Speicherung der Modellteile und die externe Bearbeitung der Schnittelemente ist im damit verbundenen Geschwindigkeitsgewinn bei der Schnittflächenkonstruktion gegeben. Im Fall des *Palast*-Modells konnten dadurch im Vergleich zur Gesamtmodellbearbeitung bis zu 70% der Zeit eingespart werden.

Ein anderer liegt in der Eigenheit des Programmes begründet, den Zeichnungsinhalt als Ganzes in zwei Teile zu unterteilen. Soll beispielsweise von einem Modell ein Viertelteil herausgeschnitten werden, so ist zuerst das Gesamtmodell und im Anschluß eines der beiden resultierenden Teilmodelle der Schnittprozedur zu unterwerfen.

Das Ergebnismodell ergibt sich durch Zusammensetzen der beiden Teilmodelle. Wie schon oben gesagt, läßt sich dieser Prozeß in Form von Batch-Routinen einfach automatisieren.

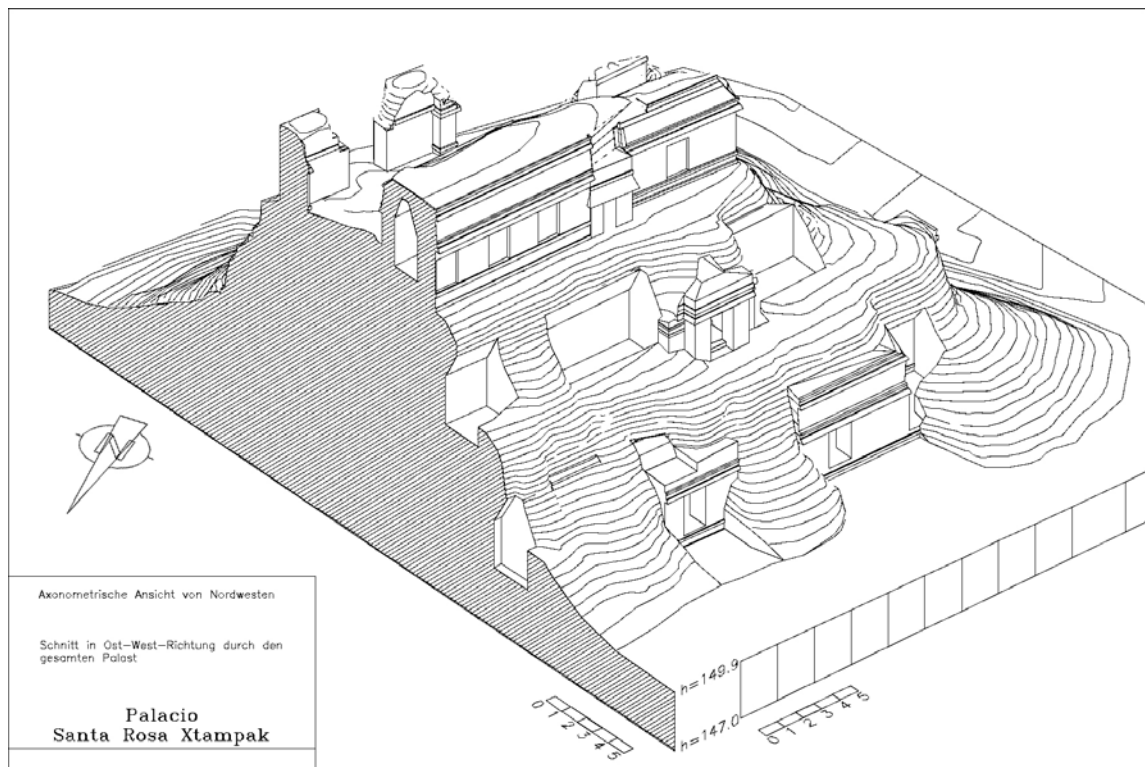


Abb. 4.33: Teilmodell als Resultat eines Vertikalschnittes

### Schnitt der Flächenelemente

Da AutoCAD kein spezifisches Tool zur direkten Verschneidung von 3DFACEs anbietet, jedoch im „geometrischen Rechner“ über leistungsstarke Module für Vektoroperationen verfügt, wurde die Berechnung der Schnittlinie über die das Flächenstück begrenzenden Dreieckskanten mit dem eigens dafür erstellten Macroprogramm 'CUTFACE' durchgeführt.

Dabei werden die Eckpunkte jedes einzelnen Flächenstückes in ein lokales kartesisches Koordinatensystem transformiert, dessen XZ-Ebene durch die Schnittfläche definiert ist. Die zu schneidenden Dreieckskanten ergeben sich in der Folge durch sukzessives Abgleichen der Vorzeichen der Y-Werte der Dreieckspunkte. Spezialfälle wie die Kolinearität oder Koplanarität von Flächenstück und Schnittebene sind Beispiele für im Programmablauf notwendige Kontrollalgorithmen.

Die Berechnung der X und Z-Werte der Schnittpunkte auf den eruierten Dreieckskanten erfolgt durch einfache lineare Interpolation entsprechend dem Teilungsverhältnis der positiven und negativen Y-Komponenten.

Schnittpunkte und ursprüngliche Dreieckspunkte ergeben somit zwei Teilflächen, die entsprechend ihrer Lage in Bezug auf die Schnittebene in das linke oder rechte Teilmodell ausgelagert werden.

Die durch die zwei Schnittpunkte definierte Schnittkante wird in Form eines Linienstücks einem Layer zugeordnet, der nach Beendigung sämtlicher Flächenschnitte die gesamte Schnittflächengeometrie beinhaltet.

Um die resultierende Schnittflächengeometrie sämtlichen Möglichkeiten zukommen zu lassen, die AutoCAD für Flächen anbietet, muß diese erst als solche definiert werden. Flächen werden über geschlossene Linienzüge definiert, die umgrenzend aber auch innewohnend (Inselfläche) sein können.

Die oben begründeten Fehler im Modell führen in der Folge in der Schnittflächengeometrie zu Doppellinien oder Löchern, die eine Flächendefinition nicht zuläßt. Aus diesem Grund wurde der Schnittflächendefinition ein Linienalgorithmus vorangestellt (AutoLISP-Programm 'L2PL'), der Mehrfachlinienelemente oder Löcher im Linienzug detektiert und dem Benutzer zur interaktiven Korrektur auffordert.

#### *Ergebnisse:*

Das Resultat ist eine Schnittzeichnung, deren „Massebereich“ als Fläche definiert und mit einem frei definierbaren Füllmuster gefüllt ist (Abb. 4.34).

Diese Form der Schnittflächendefinition erlaubt es nun beispielsweise auch, spezielle Aufgaben der Architekturanalyse direkt zu erfüllen. So ist es mit dem Befehl 'area' möglich, den Flächeninhalt zu bestimmen und so, bei genügender Dichte paralleler Schnittzeichnungen, das Volumen des Baukörpers zu bestimmen (siehe Kapitel 3.2).

Ist jedoch die Bestimmung von Teilmassen gefragt, so können durch Anwendung Boolescher Operationen auf diese in AutoCAD auch Regionen genannten Flächen Teilflächen und in der Folge Teilvolumina berechnet werden.

Wird die Schnittfläche in ein Teilmodell importiert, so wird die bis dato „offene“ Seite des Teilmodells geschlossen, und das Ergebnis ist ein geometrisch richtiges Schnittmodell des digitalen Architekturmodells (Abb. 4.33).

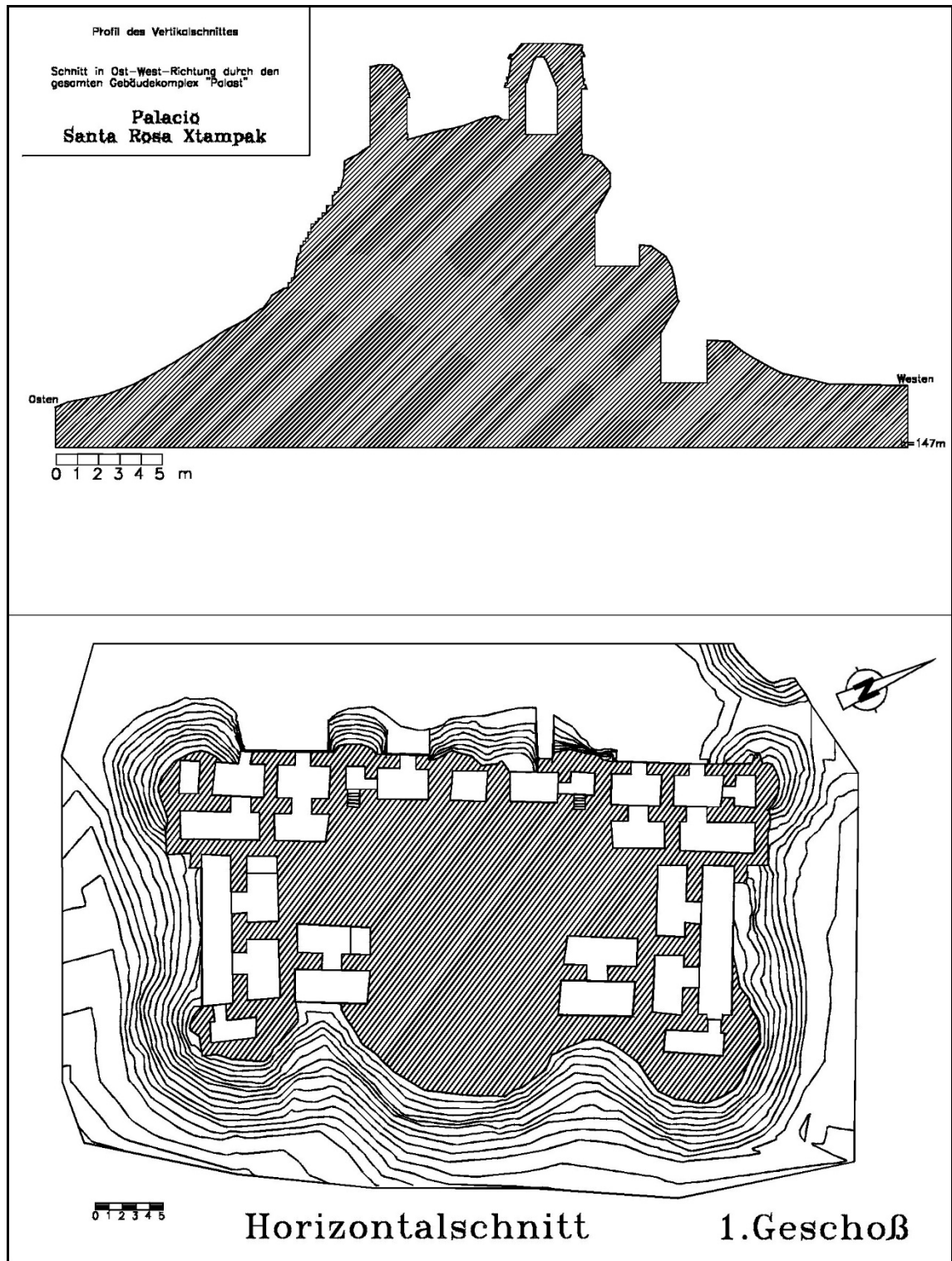


Abb. 4.34: Vertikalschnitt-Fläche und Horizontalschnittzeichnung des *Palastes*



## 5 INTEGRATION IN EINEN GESAMTHEITLICHEN DOKUMENTATIONSPROZESS

### Motivation

Um das in der entwickelten Methodik der Bestandsdokumentation in Form des digitalen Architekturmodells steckende Potential optimal zu nutzen ist eine auf deren methodischen Charakteristika abgestimmte Peripherie erforderlich.

Als Peripherie werden hier in Anlehnung an Ferdinand Mayer (Kapitel 4.1.2 ) all jene Techniken bezeichnet, die nicht dem Kern des Dokumentationssystems, dem digitalen Architekturmodell angehören. Dazu zählen vor allem die Datenerfassung, die externe Datenbearbeitung, wie die digitale Bildverarbeitung und die Visualisierung über Animationssysteme (Abb. 4.1 und Abb. 4.2).

Denn neben allen Möglichkeiten die dieses Dokumentationsverfahren bietet, ist es in erster Linie die Wirtschaftlichkeit (Effizienz) die für die unmittelbare Akzeptanz und den praktischen Einsatz des digitalen Bauwerkmodells entscheidend ist.

### Zielsetzung der Fallstudie *Santa Rosa Xtampak*

Durch die modulare Konzeption eines im Zuge des Forschungsprojektes *Santa Rosa Xtampak* entwickelten gesamtheitlichen Dokumentationssystem (Abb. 5.1) wird der Forderung entsprochen, alle verfügbaren Techniken in bestmöglicher Form einsetzen zu können und dadurch ein Maximum an Effizienz zu erzielen.

Die besondere Bedeutung dieses praktisch erarbeiteten Dokumentationssystems liegt im gesamtheitlichen Lösungsansatz, der die diversen Module miteinander verknüpft und so die Möglichkeit bietet, durch Vergleich mit bestehenden Arbeiten auf dem Gebiet der Architekturforschung die Effizienz dieses Verfahrens abzuschätzen.

Die Forschungsarbeiten umfaßten dabei die Planung der Bauaufnahme in Hinblick auf Detailgenauigkeit und Vollständigkeit, die digitale Modellerstellung in zwei- und dreidimensionaler Form, die Extraktion von Plänen und Darstellungen in der für die spezifische Weiterverarbeitung gewünschten Form und den iterativen Prozeß von Analyse und Rekonstruktion auf der Basis des digitalen Bauwerkmodells.

Das Ergebnis dieser Fallstudie besteht aus

- einem erstmalig in der Maya-Forschung erstelltes, weitgehend vollständigen, exakten und detailgenauen dreidimensionalen Computermodell eines Monumentalbauwerkes, welches es ermöglicht, den Prozeß vom ersten Planungsstadium bis zur multimedialen Präsentation zu verfolgen, Einblick in die aufgetretenen Probleme zu erhalten und die vielfältigen Präsentationsformen anhand praktischer Ergebnisse zu beurteilen.
- einer Beschreibung des Projektablauf in Form eines nachvollziehbaren methodisch-technischen Konzeptes, das nach einer entsprechenden Modifizierung auch auf andere Bauwerke der Maya-Kultur angewendet werden kann.

Nur durch diese vollständige Bearbeitung des Objektes vom Anfang bis zum Ende in allen Details und in seinem gesamten Umfang konnte neben dem Potential des digitalen Bauwerkmodells auch die Effizienz der entwickelten Dokumentationsmethodik genügend genau untersucht werden.



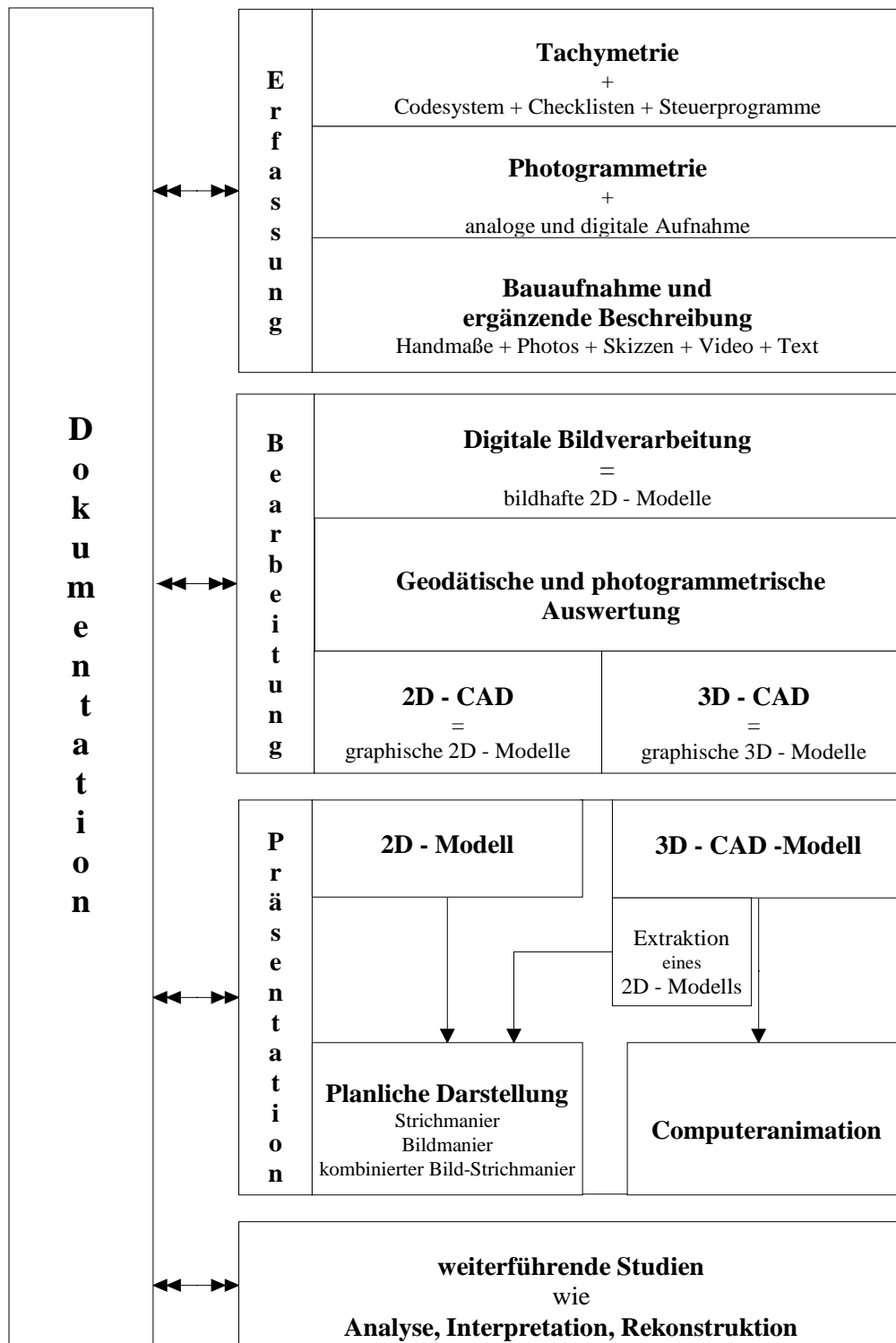


Abb. 5.1: Generelle Module des methodischen Konzepts

## 5.1 Planungsphase

### 5.1.1 Aufgabenstellung - Analyse und Definition

#### Analyse des Dokumentationsobjekts

##### Hintergrund und potentielle Bedeutung der Forschung in Santa Rosa Xtampak:

In der spätklassischen Periode (800n. Chr. -1000 n. Chr.) fanden im Tiefland die wichtigsten Entwicklungen im Wachstum der antiken Zivilisation statt .

Die großen Städte sind meist der Ursprung für regionale Stile, von denen aus der Grundstil zu kleineren Zentren exportiert wird. (Andrews, 1977: 6).

Santa Rosa Xtampak zählt zu den bedeutendsten archäologischen Stätten des Tieflandes der Maya und kann, da es größer als alle anderen wohlbekanntes Chenes-Stätten ist, als das regionale Hauptzentrum im Chenes-Gebiet bezeichnet werden. Die weitläufige Anlage von Santa Rosa Xtampak in Campeche (Yukatan) mit ihren zum Teil noch relativ gut erhaltenen Gebäuden ist der spätklassischen Epoche der Mayakultur (700 bis 800 n. Chr.) zuzuordnen. Die Ruinenstätte erstreckt sich mit ihren zum Teil noch gut erhaltenen Gebäuden über eine Fläche von mindestens 24 Hektar.

Das zentrale Bauwerk dieser Anlage, der *Palast*<sup>4</sup>, ist das größte Gebäude in der Chenes-Region (Andrews, 1996:16,1977: 22). Dieses monumentale Bauwerk beherbergt 44 Räume auf drei Ebenen und ist einzigartig in der Region, obwohl seine Ostseite vage dem Bauwerk A-1 von Dzibilnocac gleicht. Die Haupttreppe auf der Ostseite des *Palastes* führt zu einem Durchgang im dritten Geschoss, welcher von einer großen *Rachenmonster-Maske* eingefasst war. Diese Anordnung gleicht jener der Südseite des Bauwerks IV von Becán, welche dem *Palast* in gewissen Beziehungen ähnlich ist. Wahrscheinlich wurde das Bauwerk IV von Becán vor dem *Palast* von Santa Rosa Xtampak gebaut, was auf einen Fluß der architektonischen Ideen und Formen von Süden nach Norden hinweist (Andrews, 1996: 25; Hohmann 1988).

#### Existierende Plan- und Kartenwerke

Die Erhebung und das Studium von existierenden Plan- und Kartenwerken ist neben dem Studium der über das Bauwerk vorhandenen Literatur in Bezug auf die architektonischen Elemente eine der wichtigsten vorbereitenden Arbeiten.

Einerseits stellen die Ergebnisse der Recherchen bereits einen Teil des Gesamtdokumentationsumfanges (siehe Kapitel 0) und andererseits dienen sie als Grundlage für die technische Aufnahmeplanung.

Aus den erhobenen Plänen, Karten und Skizzen können beispielsweise jene Objektparameter entnommen werden, die in der Folge entscheidend für die Wahl der Aufnahmemethode und der dazu eingesetzten Instrumente sind (siehe folgenden Abschnitt).

---

<sup>4</sup> Architektonische Definition:

„Die beste Approximation für diesen Terminus könnte man mit „ein Bauwerk welches aus zwei parallelen, hintereinander liegenden Reihen von Räumen besteht, die man nur durch eine Serie von Türen in der Mitte der Langseite des Raumes betreten kann“ (Andrews, 1977:39-41).

Funktionsspezifische Definition:

„... it is impossible to imagine the Palace as anything other than an elite residential-ceremonial-administrative structure...“ (Andrews, 1987:6)

### Vorangegangene Dokumentationen von Santa Rosa Xtampak:

Im Zuge einer mehrere Jahre umfassenden Expedition zur Erforschung der Altertümer Mexikos und Mesoamerikas besuchten der amerikanische Diplomat John Lloyd Stephens, der Arzt Dr. Gabot und der englische Architekt und Zeichner Frederick Catherwood im Februar des Jahres 1842 die Ruinen von Santa Rosa Xtampak. Die von Catherwood mit Hilfe der Camera Lucida angefertigten Zeichnungen der Westfassade, der Flachbildwerke und die Grundrißdarstellung des ersten Stockes, gelten als die ersten graphischen Darstellungen des *Palastes* (Stephens, 1843).

Im März 1891 besuchte der österreichische Forscher Theobert Maler die Ruinenstätte und fertigte acht Lichtbilder des *Palastes* an. Neben diesen ersten photographischen Darstellungen existieren von Maler in seiner 1902 veröffentlichten Monographie einige Detailzeichnungen, Querschnittsskizzen, eine stark vereinfachte Darstellung der Innentreppe und Grundrißdarstellungen aller drei Stockwerke (Maler, 1902).

Fast 70 Jahre später, im Jahre 1970, wurden erstmals wieder Forschungsergebnisse in Form von graphischen Darstellungen veröffentlicht. In diesem Bericht von H. E. D. Pollock befinden sich die Ergebnisse der 1936 vom Autor und Henry Roberts und 1949 von Karl Ruppert, Georg Brainerd und Ralph Lawrence Roys im Namen der Carnegie Institution of Washington durchgeführten Expeditionen.

Von diesen Ergebnissen sind im besonderen die von Ruppert erstellten Detailzeichnungen einzelner Räume, der Grundrißplan des ersten Stockwerkes und die einzige bekannte, und die in jenem Bericht erstmals veröffentlichte Übersichtsskizze des Zentralbereiches der Anlage zu nennen (Pollock, 1970).

Im selben Jahr veröffentlichten Evan I. De Bloois und Richard B. Stamps ihre Arbeiten über die im Frühjahr 1969 durchgeführten Forschungen an der Anlage (Stamps, 1970). In Bezug auf die graphische Darstellung des *Palastes* sind die darin befindlichen Grundrißzeichnungen aller drei Stockwerke von besonderer Bedeutung.

Den Stand der Technik im Bereich der graphischen Präsentation bildet die 1988 von Andrews veröffentlichte Studie über die Chenes-Puuc Architektur von Santa Rosa Xtampak (Andrews et al., 1987). Diese Arbeit basiert auf den vom Autor in den Jahren 1969, 1978, 1986 und 1987 durchgeführten Forschungen und liefert neben den Grundrißdarstellungen, Schnittzeichnungen von Raumgruppen und Fassadenteilen auch Aufrißdarstellungen der einzelnen Fassaden.

Die von Alejandro Villalobos und Paul Gendrop nach den Beschreibungen von Maler und Stamps angefertigten axonometrischen Rekonstruktionsskizzen vervollständigen das Spektrum der bis dato am *Palast* angewandten graphischen Präsentationstechniken (Hellmuth, 1989).

Wie aus der Beschreibung der vorangegangenen Dokumentationstätigkeiten zu ersehen ist, existieren verschiedenste Grundrißdarstellungen, unzählige Detailskizzen, Einzelbeschreibungen und Rekonstruktionsskizzen, die jedoch eine, für eine fundierte Architekturstudie notwendige Genauigkeit und räumliche Zuordnung der komplexen Architektur des Gebäudes nur schlecht oder gar nicht aufweisen.

Der Bedarf an planlichen Unterlagen für weiterführende Studien des Maya-Zentrums von Santa Rosa Xtampak war somit Anlaß für die im Sommer 1989 durchgeführte erste Phase der Bestandsaufnahme.

Im Herbst 1992 erfolgte in einer zweiten Bearbeitungsphase die vollständige und exakte Aufnahme des dreistöckigen Palastes mit mehr als 40 Innenräumen und architektonischen Kleelementen mit dem Ziel, erstmalig ein exaktes dreidimensionales digitales Architekturmodell eines Mayabauwerkes zu erstellen.

## Dokumentationsform

Der erste Schritt und damit auch eine der wesentlichsten Arbeiten für die Bauaufnahme ist die Definition der Zielsetzung und die Entscheidung über die Art der Dokumentation des darzustellenden Gegenstandes.

Unter diesem Gesichtspunkt erfolgt die Analyse des Bestandsobjekts in Hinblick auf die anzuwendenden Aufnahmemethode und das optimale Dokumentationsverfahren (*Kostka 1987; Wurster, 1993*).

In einer ersten groben Annäherung hat eine Zuordnung der Bestandsdokumentation zu eine der drei Zielgruppen zu erfolgen:

- Dokumentation für eine kleinmaßstäbliche Präsentation
- detailgenaue Aufnahme zum Zwecke der Archivierung
- detailgenaue Dokumentation und Präsentation für eine Architekturanalyse

Sämtliche in der folge beschriebenen Schritte, wie die Planung der Aufnahme-prozedur, die Entscheidung über die Genauigkeitsanforderungen an die Meßinstrumente, usw., haben ausgerichtet auf diese Zielvorgaben zu erfolgen.

### 5.1.2 Aufnahmeplanung

Entsprechend der objekteigenen, systemspezifischen und dispositionsabhängigen Eigenschaften werden Art und Umfang der Erfassung in einer detaillierten Aufnahmeplanung festgelegt.

Dieser Arbeitsschritt zählt sicherlich zu den schwierigsten im Planungsprozeß, da eine detaillierte Aufnahmeplanung von einer Vielzahl an Faktoren abhängt die es gilt zu koordinieren.

Neben den im vorigen Abschnitt genannten objektspezifischen Parametern zählen dazu insbesondere die systemspezifischen Eigenschaften.

Neue technische Entwicklungen auf dem Gebiet der geodätischen und photogrammetrischen Datenerfassung gilt es dabei ebenso zu berücksichtigen wie jene der Computermodellbildung und digitalen Bildverarbeitung.

Hervorzuheben sind davon die rasanten Entwicklungen auf dem Gebiet der digitalen Photogrammetrie, die durch Einsatz von Videoaufnahmesystemen, digitalen Kameras und neuen Methoden für die photogrammetrische Auswertung eine wahren Paradigmawechsel in dieser Disziplin bewirkten (*Ackermann, 1995; Brandstätter 1990 und 1993; Förstner et al., 1993; Grün 1994; Patias et al., 1996*).

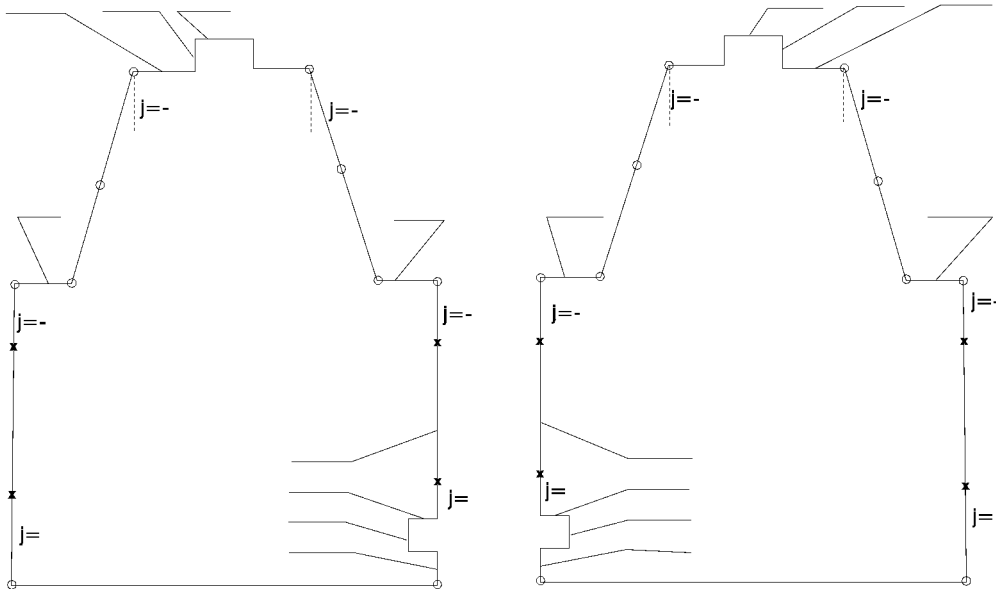
Nennenswert sind auf dem Gebiet der Entwicklung tachymetrischer Aufnahmeverfahren sind einerseits Systeme der automatischen Zielerfassung (*Brandstätter, 1989; Scherer, 1995*) und andererseits die codierte Datenerfassung mittels digitalem graphischen Feldbuch (Beispiel: PEN-Computer GF-1)

Im Vergleich zu den rein technischen Komponenten finden sich in der Literatur bis dato nur wenige Beiträge, die sich mit den für die Wirtschaftlichkeit eines Systems außerordentlich bedeutsamen dispositionsabhängigen Parameter beschäftigen.

Eine ausführliche Studie zum Thema der praxisgerechten Aufnahmeanordnung für unterschiedliche Objektformen findet sich in der Dissertationsschrift *Qualitäts- und Wirtschaftlichkeitsmodelle für die Ingenieurphotogrammetrie* (*Schlögelhofer, 1989*).

Ebenfalls in einer Dissertationsschrift wurde der Einsatz der tachymetrischen Verfahren der Bauaufnahme untersucht (*Kehne, 1989*), und vier Jahre später auf den Einsatz reflektorloser tachymetrischer Verfahren ausgeweitet (*Runne, 1993*).

Profil und Abmessungen (2 ... 4): Photo-Nr.: \_\_\_\_\_



Gewölbeansatz auch stirnseitig: Ja / Nein

Stufung im Gewölbeabschluß: Ja / Nein

Fußleiste: Ja / verschüttet / Nein

Paßpunkte (2 ... 5): Ja / Nein

3D-Koor.(1): Ja / Nein (Prot. \_\_\_\_\_)

Seilhalter (2...6): 1 2 Photo-Nr.: \_\_\_\_\_

2 Anzahl: \_\_\_\_\_ Raumstirnseite: Ja / Nein

Pnr.:

\_\_\_\_ d=\_\_\_\_ [cm] a=\_\_\_\_ [cm] t=\_\_\_\_ [cm] 3D-Koor. (1):: Ja / Nein (Prot. \_\_\_\_\_)

\_\_\_\_ d=\_\_\_\_ [cm] a=\_\_\_\_ [cm] t=\_\_\_\_ [cm] 3D-Koor. (1):: Ja / Nein (Prot. \_\_\_\_\_)

\_\_\_\_ d=\_\_\_\_ [cm] a=\_\_\_\_ [cm] t=\_\_\_\_ [cm] 3D-Koor. (1):: Ja / Nein (Prot. \_\_\_\_\_)

\_\_\_\_ d=\_\_\_\_ [cm] a=\_\_\_\_ [cm] t=\_\_\_\_ [cm] 3D-Koor. (1):: Ja / Nein (Prot. \_\_\_\_\_)

Weitere Elemente (2 ... 7) wie Bank, Maueröffnungen (Nischen), etc.:

Photo-Nr.: \_\_\_\_\_ 3D-Koor.: Ja / Nein (Prot. \_\_\_\_\_)

Gewölbelöcher (2 ... 8) Photo-Nr.: \_\_\_\_\_

d=\_\_\_\_ [cm] t=\_\_\_\_ [cm] 3D-Koor.: Ja / Nein (Prot. \_\_\_\_\_)

Dekoration (2... 9) : Ja / entfernt / Nein Photo-Nr.: \_\_\_\_\_

3D-Koor.: Ja / Nein (Prot. \_\_\_\_\_)

höchste Punktnummer: \_\_\_\_ / \_\_\_\_

Abb. 5.2: Auszug aus dem dreiseitigen Bauaufnahmeprotokoll (mit Elemente-Codes) des Forschungsprojektes *Santa Rosa Xtampak*

## Aufnahmeprotokoll

Die Methode der oben genannten codierten Datenerfassung stellt für die effiziente Modellierung des digitalen Bauwerkmodells eine wichtige Basis dar. Um die Daten schon beim Import thematisch getrennt verarbeiten zu können (Kapitel 4.4.1), werden diese bereits bei Aufnahme mit einem ihrer Thematik entsprechenden Code versehen. Diese Steuerung dieser Prozedur vor Ort, daß heißt während der Bauaufnahme, erfolgt über ein digitales Feldbuch, welches mit der entsprechenden Codiernorm versehen ist. Dieses Codesystem basiert auf der in Kapitel 4.2.1 entwickelten Systematik und wurde so aufgebaut, daß es nicht nur für tachymetrisch erfaßte Punkte, sondern auch für Maßbandmessungen, etc. Gültigkeit besitzt. Die Codes und die ihnen entsprechenden architektonischen Elemente wurden in sogenannten „Checklisten“ eingetragen und leiten somit einerseits die Erfassung und kontrollieren andererseits die Vollständigkeit der Bauaufnahme (Abb. 5.2).

Eine Weiterentwicklung dieses Konzeptes ist der Einsatzes eines Laptops im Aufnahmeprozeß. Dabei werden die Meßdaten in ein, auf der Basis einer Datenbank wie etwa 'Access' erstelltes Kontrollprotokoll eingetragen.

Somit stehen die Meßdaten sowohl für die Weiterverarbeitung im CAD-System, aber auch für die in der Architekturanalyse bedeutsamen Elemente- und Maßanalysen direkt in digitaler Form in der Datenbank zur Verfügung.

### Aufnahmeprotokoll des *Palastes*

In der Planungsphase des Forschungsprojektes wurden in Zusammenarbeit mit der *Interdisziplinären Arbeitsgruppe Mayaforschung Graz* „Checklisten“ erarbeitet, die Vollständigkeit und Richtigkeit der Aufnahme des Maya-Bauwerkes gewährleisten sollten (Abb. 5.2).

Die hier verwendeten Checklisten sind entsprechend dem Aufnahmevorgang gestaltet und setzen sich aus folgenden wichtigen Punkten zusammen:

- Name bzw. Nummer des Bauwerkes
- Name des aufzunehmenden architektonischen Elements mit dessen
  - thematischem Code und
  - den vergebenen Punktnummern.

Diese Zusatzinformationen ermöglichen erstens eine eindeutige Zuordnung von registriertem Meßpunkt und architektonischem Element, und zweitens eine getrennte Speicherung der verschiedenen Bauwerksteile und Einzelelemente auf separaten thematischen Ebenen (Layer).

## 5.2 Geodätisch / photogrammetrische Datenerfassung

Da das Ergebnis der graphischen Präsentation in puncto Detailgenauigkeit primär von der Qualität der Aufnahmedaten abhängt, kommt der Erfassung des Objektes eine wesentliche Bedeutung zu. Der Anspruch auf Richtigkeit und Vollständigkeit der Aufnahme bezieht sich auf die Erfassung der stilbeschreibenden Elemente, d.h. sowohl auf die Großgeometrie des Objekts wie auch auf dessen Detailelemente.

Um diesen Anforderungen gerecht zu werden wurde basierend auf den erarbeiteten Checklisten und der am Institut für Angewandte Geodäsie und Photogrammetrie vorhandenen modernen technischen Ausstattung ein Ablaufschema entwickelt, welches den gesamten Arbeitsvorgang vor Ort steuert.

Eine detaillierte Beschreibung des geodätischen und photogrammetrischen Aufnahmevorganges und der nachfolgenden Auswertung des Datenmaterials findet sich bei A.Reiter in der, auch auf den Arbeiten von 1989 basierenden Diplomarbeit *Der Einsatz geodätisch-photogrammetrischer Methoden zur Dokumentation verfallender Bauwerke* gegeben (Reiter, 1994).

### Alternativen und Systeme in Entwicklung

Ergänzend zu den in diesem Projekt eingesetzten Techniken wären einige der methodischen und technischen Neu- und Weiterentwicklungen der letzten Jahre auf dem Gebiet der Gebäudedokumentation zu erwähnen.

Dazu zählen neben den speziell abgestimmte Aufnahmekonzepten der analogen Photogrammetrie (Fellbaum, 1996; Luhmann, 1991; Kotowski et al., 1989; Pomaska, 1994; Richter, 1994b) insbesondere die Entwicklungen auf dem Gebiet der Digitalphotogrammetrie, die dieser Entwicklung ganz neue Facetten hinzufügt (Kraus, 1993).

Die auf Video- und Digitalkameras basierenden Aufnahmesysteme, (Bösemann, 1994; Streilein, 1995) zählen dabei ebenso dazu, wie die auf CAD-System basierenden und von den digitalen Methoden der Mustererkennung und Bildkorrelation unterstützten Auswertesysteme (Benning, 1991 und 1995; Brandstätter, 1992 und 1994; Schneider, 1996; Streilein, 1996).

In diesem Zusammenhang muß auf einen entscheidenden Engstelle dieser neuen Techniken hingewiesen werden - die Datenverwaltung.

Die für die photogrammetrische Weiterverarbeitung benötigten digitalen Bilder eines Bauwerkes werden direkt mit digitalen Kameras oder durch digitalisieren von Analogbildern erstellt. Je nach Auflösung und Bildgröße liegen die in der Praxis bearbeiteten Datenmengen pro Bild zwischen 6 MB für die Kodak DCS 460, 18 MB für ein mit 2048x3072 Pixel und 72 MB für ein mit Kodak Pro Photo CD in der höchsten Auflösungsstufe (4096x6144) gescanntes Bild (Forkert und Stanek, 1996; Hanke, 1994; Landes et al., 1996).

Umgelegt auf die rund 50 im Zuge des Forschungsprojektes ausgewerteten Mittelformataufnahmen ergebe dies einen Datenumfang an gescannten Photographien zwischen einem und vier Gigabyte; also eine für die Verwaltung auf dem PC noch absolut akzeptable Datenmenge.

Die Tatsache, daß im praktischen Fall des Forschungsprojektes 508 photographische Aufnahmen erstellt wurden (144 Mittelformat-Aufnahmen (Photogrammetrie) und weiteren 294 Mittelformat- und 72 Kleinbild-Aufnahmen) relativiert aber auf jeden Fall die Problematik der Datenmengen.

## 5.2.1 Geodätische Aufnahme mit automatischer Datenregistrierung

Um die gewünschte Genauigkeit in der Lage der einzelnen architektonischen Elemente untereinander zu gewährleisten, wurden alle 44 Innenräume, die beiden sich über drei Stockwerke erstreckenden, spiralförmigen Innentreppe und alle besonders interessierenden architektonischen Kleinelemente, wie Flachreliefdarstellungen, Halbsäulengruppen, Seilhalter, usw., tachymetrisch erfaßt.

Die Vermessung dieser mehr als 1000 Einzelpunkte erfolgte mit einem Theodolit WILD T1000 in Kombination mit dem elektronischen Distanzmesser WILD DISTOMAT DI1000 (*Reithofer, 1990*).

Die in digitaler Form vorliegenden Meßwerte wurden im Datenerfassungsgerät WILD GF12 automatisch gespeichert und mit dem in der Aufnahmeplanung festgelegten thematischen Code versehen.

## 5.2.2 Photogrammetrische Aufnahme und Auswertung

Aufgrund des starken Bewuchses im Vordergrund des Modellraumes wurden alle interessierenden Fassadenteile und Dekorationselemente durch Einzelmodelle aufgenommen. Aufgrund des Fehlens eines integrierten Bündel- oder Modellausgleichprogrammes an der photogrammetrischen Auswertestation wurden für alle Bereiche Paßpunktgruppen individuell eingemessen. Dieser Mehraufwand bei der Paßpunktmessung ermöglichte bei der anschließenden photogrammetrischen Auswertung eine rasche und unproblematische Orientierung der Einzelmodelle.

Zur Aufnahme wurde die mittelformatige Teilmeßkammer Rolleiflex 6006 mit 50mm Objektiv verwendet. Diese Kamera zeichnet sich durch geringes Gewicht und hohe Bedienungsfreundlichkeit aus, und ist somit für den Einsatz unter derart schwierigen, geradezu extremen Bedingungen optimal geeignet (*Stephani und Eder, 1987*).

Insgesamt wurden dreiunddreißig Stereomodelle orientiert und mit einer Genauigkeit in den Paßpunkten von  $\pm 1.5$  cm ausgewertet. Die Auswertung der einzelnen Modelle auf dem analytischen Auswertegerät P3 von ZEISS mit dem Graphikpaket PHOCUS wurde in zwei Abschnitten durchgeführt. Zuerst wurden von allen geometrisch gut definierten Elementen die Kanten, Profile und Begrenzungen ausgewertet und im Anschluß die amorphen Teile des Baukörpers durch Höhenschichtenlinien erfaßt.

## 5.3 Datenverarbeitung

Additiv zur vektoriellen dreidimensionalen CAD-Bearbeitung wurde insbesondere der Einsatz digitaler Bildverarbeitungsmethoden zur Beschreibung, Interpretation und Datenselektion untersucht und an den photogrammetrischen Aufnahmen von Fassadenteilen und Dekorationselementen praktisch verifiziert.

Die Bearbeitung und Erstellung von Geländemodellen fällt hier ebenso hinein, wie die Entzerrung und Einpassung digitaler Bilder in das maßstäbliche CAD-Modell.

An der Abteilung für Fernerkundung, Bildverarbeitung und Kartographie vorhandene Systeme zur digitalen Bildverarbeitung, wie IDRISI, die speziell auf wissenschaftliche Datenanalyse und Visualisierung orientierte Programmiersprache IDL, oder die digitale photogrammetrische Station von Intergraph stellen hierfür die technischen Voraussetzungen.

Diese Systeme und die auf der Basis der projektiven Geometrie entwickelten digitalen Bildverarbeitungsprogrammen stellen die Basis für die im Zuge des Forschungsprojektes durchgeführten Bildtransformationen (*Brandstätter, 1995a*).



### 5.3.1 Hard- und Software

Um die Forschungsergebnisse für Interessenten unterschiedlicher Fachbereiche zugänglich zu machen, war es das Ziel dieses Projekts, mit einem auf PC-Basis laufenden CAD-System zu arbeiten. Des weiteren mußte dieses System für Macro-Programmierung offen sein, und eine sehr große, wenn möglich unbegrenzte Anzahl an thematischen Ebenen (Layern) zulassen. Dies ist besonders im Konstruktionsprozeß wichtig, um die vor und hinter der aktuellen Bearbeitungsebene liegenden Informationen wegblenden zu können. Aus diesem Grund wurde die Bearbeitung 1993 auf einem handelsüblichen 486er-PC mit dem international stark verbreiteten CAD-System AutoCAD begonnen. Jedoch mußte dieses Vorhaben schon bald fallengelassen werden, da die angestrebte Detailgenauigkeit eine sehr hohe Anzahl an Einzelelementen verursacht, sodaß ein effizientes Bearbeiten mit dem Personalcomputer nicht mehr möglich war.

Somit wurde die gesamte Bearbeitung auf die Workstation *Indigo* von *Silicon Graphics* ausgelagert, die sich abgesehen vom Modellierungsvorgang mit AutoCAD insbesondere durch ihre Kapazität in der Bildverarbeitung (Software: IDL) und Computeranimation (Software: WAVEFRONT *EXPLORE*) bewährte.

Mit der Entwicklung immer leistungsfähigerer Personal Computer konnte 1996 die weitere Bearbeitung des Objekts wieder auf einem PC mit 90MHz-Pentiumprozessor und 32MB RAM durchgeführt werden. Obwohl es sich bei den CAD-Arbeiten wie der Schnittplanerstellung um sehr umfangreiche Prozeduren handelte blieben die Rechenzeiten pro Programm unter einer Minute.

### 5.3.2 Schnittstellen

Der Datentransfer der tachymetrisch erfaßten Einzelpunkte und der photogrammetrischen Vektordaten in das CAD-System AutoCAD erfolgte mit selbstgeschriebenen Umsetzprogrammen. In diesen Programmen wird für das jeweilige architektonische Element der entsprechende Layer und dessen Attribute definiert und dessen Punkt- und Vektorinformationen in das für AutoCAD verständliche Datenaustauschformat DXF übersetzt (siehe Kapitel 4.4.1).

### 5.3.3 Drahtmodell

In AutoCAD ist das Konstruieren mit Flächenelementen prinzipiell möglich, jedoch können diese Flächenelemente, wenn sie einmal definiert sind, nicht wieder verändert werden; sie müssen als Ganzes gelöscht und wieder neu konstruiert werden.

Da aber im Rahmen des Modellierungsvorganges kontinuierlich Veränderungen am Modell durchgeführt werden müssen, ist es notwendig, im ersten Schritt ein Drahtmodell zu erzeugen (*Gruber et al., 1996*).

Dabei wurde die Konstruktion des Modells von eigens dafür erstellten Macro-Programmen unterstützt und geleitet. Diese in der Programmiersprache LISP geschriebenen Programme führen die ständig wiederkehrenden Routineaufgaben aus. Beispiele dafür sind das automatische Drehen des Objekts in jene Konstruktionsebene, die im nächsten Arbeitsgang erwünscht ist, das automatische Ein- und Ausschalten von thematischen Ebenen oder die Steuerung des Konstruktionsablaufes.

Im Gegensatz zur Konstruktion der Innenräume gestaltete sich die Modellierung der stark strukturierten Fassaden sehr schwierig und überaus zeitaufwendig. Die große Anzahl der Details führte bei der Bearbeitung zu einer Vielzahl von räumlichen Verschneidungen, die aber vom CAD-System nicht unterstützt werden. Deshalb sind für die Konstruktion einer Verschneidung eine große Anzahl von Einzelschritten nötig, die den Arbeitsfortgang sehr stark verzögern.

Das Konstruieren eines solchen räumlichen Drahtmodells erfordert vom Bearbeiter ein überaus gutes räumliches Vorstellungsvermögen und ein hohes Maß an Fachkenntnis der darstellenden Geometrie.

In allen Fällen ist eine genaue Ortskenntnis des Bearbeiters von großem Vorteil; in einigen Fällen, wie dem Wand- und Deckenverlauf der beiden Innentreppe, sogar unbedingte Voraussetzung.

Die architektonischen Kleinelemente, wie Gewölbebalkenlöcher, etc., wurden im Drahtmodell nicht eingetragen, da in AutoCAD eine Verschneidung von Zylindern mit abgestuften, schrägen Ebenen nicht einfach zu realisieren ist.

Im Anschluß an die Konstruktion des sich noch in situ befindlichen Mauerwerks wurden die photogrammetrisch ausgewerteten Höhenschichtenlinien, die die amorphen Bauwerksteile des Palastes beschreiben, in das CAD-Drahtmodell eingespielt.

### 5.3.4 Flächenmodell

Um die gewünschten Horizontal- oder Vertikalschnitte sowie die axonometrischen oder perspektivischen Ansichten realisieren zu können, muß das Drahtmodell in ein Flächenmodell umgewandelt werden (Kapitel 4.4). Dieses erreicht man durch Ausfüllen des Drahtmodells mit Flächenelementen, die von AutoCAD "3D-Faces" genannt werden. Mit diesen Dreiecksflächen wurde das gesamte Drahtmodell von Grund auf ausgelegt, wobei die einzelnen raumbildenden Elemente, wie Stirnwand, Decke, Fußboden, etc., auch dabei wieder in eigenen thematischen Ebenen abgelegt wurden.

#### **Flächenmodellierung der amorphen Bauwerksteile:**

Die Problemstellung besteht darin, daß die noch aufrechte Architektur direkt durch Basiselemente des CAD-Systems, die verfallene bzw. amorphe Struktur des Objekts jedoch in Form von Schichtenlinien oder Höhenpunkten beschrieben wird (*Heine, 1993*). Diese Art der Geländebeschreibung kann mit Hilfe von Digitalen-Geländemodell-Systemen (DGM) in eine (Ober-)flächendarstellung in Form von Dreiecks- oder Quadratrastermaschen übergeführt werden (siehe Kapitel 0).

Diese Transformation mit digitalen Geländemodellsystemen erfordert jedoch sehr präzise definierte und abgegrenzte Eingabedaten, in denen Unstetigkeitsstellen im Gelände, Außenbegrenzungen der Teilabschnitte, Geländeüberhänge, usw. genau definiert und durch Aussparungsflächen (dead-areas), Geländekanten (fixed lines), etc. eingetragen sein müssen.

Da es sich in diesem Fall nicht um die Modellierung eines glatten, homogen verlaufenden Geländes handelt, sondern um räumlich sehr stark strukturierte Oberflächen, die sich desweiteren in verschiedenen Niveaus teilweise überlappen, mußte eine Methodik entwickelt werden, die es erlaubt, diese komplexe Topographie in einer Art und Weise aufzubereiten, die eine Überführung der Liniendaten in ein DGM-Modellierungssystem möglich macht.

Desweiteren ist es von größter Wichtigkeit, daß sich die Grenzen des digitalen Geländemodells nahtlos mit jenen des CAD-Modells decken. Da dies aber wegen der un stetigen Bruchkanten, die die aufrechte Architektur von der amorphen Struktur

trennen, nicht immer möglich ist, war es notwendig, für diese Bereiche eine gesonderte Modellierung der Oberfläche durchzuführen.

Steuerprogramme leiten und unterstützen die interaktive Erzeugung von schmalen Grenzflächen in jenen Bereichen, wo eine direkte Verknüpfung des CAD-modellierten Bereich mit dem DGM-Bereich aufgrund der system- und objektsspezifischen Eigenheiten (z.B. Überhänge im Verknüpfungsbereich) nicht möglich ist.

Die Funktionalität der entwickelten Methodik wurde laufend anhand einiger Testbereiche überprüft und wenn notwendig verbessert. Die so entwickelte Methodik besteht im wesentlichen aus einem Ablaufschema das die Arbeitsvorgänge leitet, einer Aufstellung der benötigten Software, Beschreibung der Art und Weise der Aufbereitung der Daten, deren topologische und geometrische Eigenschaften, Einschränkungen der Filegröße und Objektanordnungen entsprechend des verwendeten DGM-Systems, etc.

Im Anschluß an die Datenaufbereitung wird die verfallene Oberfläche mit Hilfe des vorhandenen DGM-Systems als Flächenmodell generiert. Dabei werden zum einen die Schwachstellen bzw. Eigenheiten der verwendeten DGM-Systeme (z.B. CIP der Firma Wild) in dieser speziellen Anwendung eruiert und dann in Form inhaltlicher Änderung in das erstellte Ablaufschema einbezogen.

Zum anderen ist es dadurch möglich, eine realistische Abschätzung bezüglich des aufzuwendenden interaktiven Arbeitseinsatzes zur Aufbereitung der Linien- oder Punktdaten für die spätere Modellierung, sowie der notwendigen Nachbearbeitung der mit dem DGM-System erzeugten Oberfläche zu erstellen.

Das in dieser Art mit hybriden Systemen erzeugte Flächenmodell stellt eine optimale Form für jegliche Art der Präsentation von verfallenen Bauwerken dar. Der große Vorteil dieser Art von Architekturpräsentation und -dokumentation liegt für die wissenschaftliche Weiterverwendung (z.B. der Architekturanalyse) darin, beliebige Schnitt- oder Reißdarstellungen von allen Teilen des Objekts, egal ob aufrecht oder amorph, einfach und rasch zu extrahieren.

An einem Modul zu einer anwenderfreundlichen Realisierung dieser Möglichkeit in AutoCAD wird derzeit noch gearbeitet.

### **Modellierung der Kleinelemente:**

Viele der Innenräume und Fassaden sind mit architektonischen Kleinelementen versehen, welche durch Kombination der vorhandenen geometrischen Primitiva, wie Zylinder, Quader, etc., modelliert wurden und in das Gebäudemodell integriert werden sollten. Dazu wurde das 3D-Modellier- und Animationsprogramm "3D-Studio" von Autodesk verwendet. Aus den Möglichkeiten die dieses Paket bietet, wurde in diesem Projekt vorallem ein Werkzeug verwendet:

- Vereinigung, Durchschnitt und Differenz von zwei flächenhaften Objekten

Damit war es möglich, die architektonischen Kleinelemente, wie Gewölbepalkenlöcher direkt mit der Mauerfläche zu verschneiden und mit dem Objekt zu verbinden .

## 5.4 Visualisierung

Die Visualisierung des digitalen Architekturmodells erfolgt entweder mit im CAD-Paket implementierten Programmen oder externen Animationsprogrammen.

In dieser Arbeit wurde untersucht, wie weit Animationsprogramme wie das *3D Studio* von Autodesk oder *EXPLORE* von Wavefront neben der Möglichkeit der axonometrischen oder perspektivischen Darstellungsform des Objekts, auch als Modul zur Ableitung verschiedenster planlicher Darstellungen aus der Gesamtdatenbank dienen können, bzw. mit welchen Vorgaben das digitale Modell zu versehen ist, um die gewünschten graphischen Ergebnisse zu erhalten.

Vielversprechend erschien in dieser Richtung auch die Verbindung von digitaler Bildverarbeitung mit rechnerunterstützter Graphik.

### 5.4.1 Plandarstellung

Das fertige Flächenmodell bildet eine graphische Datenbank, aus der alle benötigten Darstellungen abgeleitet werden. Die Unterteilung in verschiedene thematische Ebenen ermöglicht dabei auf einfache Weise die Selektion der darzustellenden Architekturelemente. Neben Reißdarstellungen jeglicher Art sind auch axonometrische oder perspektivische Darstellungen möglich. Dabei wird die Anwendung von Sichtbarkeits-Algorithmen ('hide', 'shade', 'render') die Übersichtlichkeit und Verständlichkeit der Darstellungen wesentlich erhöht.

Wie erwähnt war zur Erzeugung der gewünschten Schnittdarstellungen geplant, das 3D-Modellier- und Animationsprogramm *3D Studio* von Autodesk zu verwenden. Mit diesem Programm können in AutoCAD generierte flächige Objekte weiterbearbeitet werden. Jedoch erreichte man bei dieser Form der Nutzung des Animationsprogrammes bereits bei geringen Datenmengen (etwa ab 5000 Flächenelementen) sehr lange Rechenzeiten (1994:486/66er PC mit 8MB-RAM) mit zum Teil nicht nachvollziehbaren Programmabbrüchen.

Desweiteren hat sich gezeigt, daß bei der Flächenmodellbildung mit dem DGM-System beziehungsweise bei dessen Umsetzung in das DXF-Format Fehler im Modell auftreten; dabei kommen auf einer durch drei Punkte definierten Fläche zwei sich deckende Dreiecke zu liegen. Somit ist durch diese „Doppelfläche“ die räumliche Geometrie für die Animationssoftware nicht mehr eindeutig zu erkennen und das Programm bricht die Verarbeitung ab.

Aus diesen Gründen wurden keine weiteren Werkzeuge dieses Systemes getestet, welche einer Bearbeitung der Gesamtdatenmenge bedürfen.

### 5.4.2 Rendering

Axonometrische und perspektivische Darstellungen sind besonders dann gefordert, wenn es darum geht, einen Überblick zu vermitteln, einen Einblick in den Aufbau von besonders komplex gestalteten architektonischen Elementen oder Elementgruppen zu geben, oder aber die einzelnen Rekonstruktionsergebnisse unmittelbar in Bezug zum Gesamtsystem zu stellen.

Aus diesen Zielsetzungen ergibt sich nun die Forderung nach einer möglichst photorealistischen und anschaulichen Visualisierung, bei der die räumlichen Zusammenhänge und Strukturen klar erfassbar werden.

Um das zu erreichen werden die im CAD-Modell definierten Flächen mit Materialien versehen und erhalten durch das Rendering ein plastisches Aussehen (Kapitel 4.5.3).

Das Rendering-Modul analysiert Geometrie, Licht, Kamera, etc. der 3D-Szene und erzeugt davon ein schattiertes Abbild.

Da die bis zu diesem Zeitpunkt (1994) mit Animationsystemen auf PC-Basis, wie zum Beispiel *3D Studio* von Autodesk, erstellten und veröffentlichten Ergebnisse in keiner Weise die hier gestellten Anforderungen erfüllten, wurde auf die Anwendung von Animationsysteme des high end Bereiches übergegangen.

*EXPLORE* von der amerikanischen Firma WAVEFRONT ist ein für Architekturanimation hervorragend geeignetes und international stark verbreitetes System. Eine besondere Eigenschaft dieses Systems ist die programmierbare Materialdatenbank, die aus gescannten 2D-Texturen und aus mathematisch berechneten, prozeduralen 3D-Texturen aufgebaut ist (*Watt and Watt, 1992*).

Der Vorteil derartiger „räumlicher Materialien“ läßt sich am Beispiel einer mit Zementschlemme überzogenen Wand leicht veranschaulichen. Die in der Zementschlemme eingeschlossenen Sandkörner bewirken eine Rauigkeit der Oberfläche (Dreidimensionalität) und werfen bei Beleuchtung kleine Schatten, die das Aussehen einer Wand prägen. Wird dieses Faktum beim Visualisierungsprozeß am Computer nicht oder mangelhaft berücksichtigt, so gleicht das Resultat in vielen Fällen eher einer „Legohaus“-Visualisierung als einer photorealistischen Darstellung.

Der erste Schritt zur Bearbeitung des digitalen Architekturmodells mit der genannten Animationssoftware bestand in der Aufbereitung der Daten des CAD-Modells. Das System bietet zwar eine DXF-Schnittstelle zur Datenübertragung an, doch ist dieses nur bedingt mit dem DXF-Format des CAD-Systems kompatibel, was in diesem Fall zu Verlust der thematischen Information führte. Es mußten somit die modellbildenden Elemente entsprechend ihrer Thematik im CAD-System getrennt und einzeln als Teilmodelle abgespeichert werden. Diese konnten dann an das Animationssystem übergeben und wieder miteinander verknüpft werden.

Im nächsten Schritt wurde für jedes Teilmodell ein dessen Thematik entsprechendes entsprechendes Material definiert. Die Definition von Farbe und Struktur des Materials erfolgte in Anlehnung an den Katalog *AMERICANA* der Akademischen Druck und Verlagsanstalt Graz (ADEVA), welche über langjährige Erfahrungen in der Reproduktion und im Druck von Maya-Kunstwerken verfügt. Die Tatsache, daß die hier verwendete Textur das Ergebnis einer mathematischen Prozedur ist, bewirkt einen umfangreichen iterativen Prozeß. Jedesmal wenn ein Parameter verändert wird, erfolgt ein Abgleich zwischen Vorlage (Katalog *AMERICANA*) und dem neuen Ergebnis des Renderungsprozesses. Lichtquellenanordnung, Transparenzfaktor und Reflektionsgrad des Materials, sowie selbstverständlich Standpunkt und Blickrichtung sind nur einige wenige Parameter die das Rendering steuern und in diesem iterativen Prozeß angepaßt werden müssen.

Weitere für die Rechenzeit ausschlaggebende Größen sind die Auflösung und das Bildformat des gewünschten Ausgabemediums. Als Beispiel sei hier die Bildauflösung der in Europa üblichen PAL-Fernseh-Videonorm von 720\*576 Pixeln angeführt. Für diese Auflösung betragen die Rechenzeiten auf der Workstation in etwa 20 Minuten pro Bild.

Bevor nun die gerenderte Szene auf das gewünschte Ausgabemedium geschickt werden kann, hat noch der Bildschirm auf das gewünschte Ausgabegerät kalibriert zu werden, damit Farbe, Helligkeit und Kontrast der Darstellung am Bildschirm auch jener am Drucker, Diabelicher, etc. entsprechen.

### 5.4.3 Digitale Bildverarbeitung

Fassaden und Räume des Bauwerkes waren äußerst kunstvoll und reichhaltig mit bemalten, in Stein gemeißelten oder in Stuck geformten Szenen verziert. Vieles davon ist im Laufe der Zeit verlorengegangen, sei es durch die natürlichen Einflüsse von über mehr als 1000 Jahre oder aufgrund von Raubgrabungen.

Von einigen der heute nicht mehr vorhandenen oder sich nicht mehr in situ befindlichen Elementen stehen uns jedoch photographische Aufnahmen zur Verfügung. Für viele Studien an diesem Bauwerk sind diese Aufnahmen, die zum Teil aus dem 19. Jahrhundert stammen, von besonderer Bedeutung, insbesondere dann, wenn auch die ursprüngliche Position der darauf abgebildeten Elemente bekannt ist

Aufgabe der digitalen Bildverarbeitung war es die zum Teil nicht besonders guten Fotografie zu verbessern und sofern möglich, Größe und Form der abgebildeten Elemente zu bestimmen. Dies erfolgte durch eine ebene digitale Bildverzerrung über das vom Autor erstellte Transformationsprogramm 'RECTIFY' (siehe Kapitel 0).

Ein weiterer in der Maya-Architektur häufiger „Bildträger“ ist der Zylinder. Praktische Lösungen für die digitale Entzerrung solcher abwickelbarer Flächen finden sich für die in der Architekturgutvermessung bei *Karras et al (1996)* und *Linsinger (1997)*.

#### Verknüpfung mit dem CAD-Modell:

Um bei der Visualisierung des Bauwerkes sein ursprüngliche Aussehens möglichst optimal wiederzugeben ist es notwendig, sämtliche Information in das Modell einzubauen. Mit dem Animationssystem *EXPLORE* war es möglich, die vorhandene bildhafte Information mit dem räumlichen CAD-Modell zu verknüpfen. Perspektivische und axonometrische Ansichten dieses Bereiches gewähren dem Betrachter bisher unbekannt und für die weitere Forschung ungenützte Einblicke (Abb. 4.4).

### 5.4.4 Computeranimation (Video)

Unter Animation versteht man die Veränderung von Parametern in einer bestimmten Zeit. Diese Parameter können Farbe, Position, Orientierung, Skalierung, usw. des digitalen Objektmodells bestimmen. Die Szene einer Animation wird durch eine „Kamera“ betrachtet, die ihrerseits animiert werden kann. Position, Brennweite und Orientierung der Kamera im Objekt bestimmen letztlich das gerenderte Bild. Da die Szene auch „beleuchtet“ werden muß, sind im Animationssystem verschiedene Lichtquellen verfügbar, die wiederum in der Szene positioniert und auch animiert werden könne (*Watt and Watt, 1992*).

Insgesamt wurden drei verschiedene Fahrten im gerenderten Modell animiert, die eine Umkreisung des Bauwerkes in Vogelperspektive, ein Eintreten in einen Raum samt Betrachtung eines rekonstruierten Flachbildwerkes, sowie einen Durchgang durch die spiralförmig verlaufende Innentreppe visualisieren.

Sind alle Parameter der Animation festgelegt, kann mit dem Berechnen der Einzelszenen analog zu dem oben beschriebenen Verfahren durch Rendering des Objektmodelles begonnen werden.

Schritt für Schritt werden entlang des definierten Weges Einzelbilder gerendert und auf einer schnellen Festplatte (*Hard Disk Recorder*) abgespeichert. Entsprechend der oben genannten Videoauflösung ergibt das pro Bild eine Datenmenge von etwa 1 MB, beziehungsweise bei 1200 Bildern pro Videominute mehr als ein Gigabyte.

Von der Festplatte werden dann die Einzelbilder in Video-Echtzeit, also mit 25 Bildern pro Sekunde gelesen und auf Videoband gespeichert (*Svatek und Lesowsky, 1994*).

Die Einzelbilder der Computeranimation (*Frames*) wurden aber nicht als Vollbilder sondern als Halbbilder (*Fields*) gerechnet. Ein im Halbbildmodus erstelltes Bild ist dadurch charakterisiert, daß die Bildzeilen mit geraden und ungeraden Zeilennummern eine zueinander zeitlich um eine halbe Framelänge verschobene Situation wiedergeben. In Folge des zeilenorientierten Bildaufbaues von Fernsehern und Monitoren ergibt sich dadurch ein glatter, ruckfreier Übergang zwischen den einzelnen Frames beim Abspielen der auf Videoband aufgezeichneten Präsentation.

Ein weiteres Modul der erstellten Animation ist die Präsentation des Aufbaues des digitalen Architekturmodells. Dazu wurde, beginnend bei den Raumböden, über die Fassaden und Treppen bis zu den eingestürzten Bauwerksteilen, die Modellbildung des Palastes schrittweise am Bildschirm dargestellt. Dieser Vorgang wurde online durch abfilmen des Monitors mit einer Betacam-Videokamera auf Band aufgezeichnet.

Das dritte Modul des Videos stellen die diversen Standbilder, Texte und Effekte im Übergang dar. Einfache Effekte, wie vertikale oder horizontale Textbewegungen, wurden mit einem Schriftgenerator auf einem Amiga-Computer hergestellt und online auf Videoband gespeichert. Alle anderen Effekte des Videos, wie die Kombinationen von horizontaler und vertikaler Textbewegung mit Vergrößerung, Verkleinerung, Streckung, usw. des Textes, wurden auf einem digitalen Composer generiert. Als Basismaterial dienen dabei digitale Bilder und Texte, die beliebig überlagerbar sind, und deren Bewegung und Sichtbarkeit über mathematische Funktionen gesteuert wird. Das Ergebnis sind digitale Bilder, die wie schon die Einzelbilder des Rendering-Prozesses zuerst auf die schnelle Festplatte kopiert und von dort auf das Videoband geschrieben werden.

### Professionelle Videosystem *Betacam*

Versuche, die Videobearbeitung auf Amateur- bzw. Semi-professional-Systemen wie Hi8 oder S-VHS durchzuführen haben gezeigt, daß die Qualität der Animation bereits nach einem Kopiervorgang merkbar schlechter war. Nach zweimaligem Kopieren war die Bildqualität schon so stark gesunken, daß der durch den Einsatz prozeduraler 3D-Texturen erzielte Effekt bereits verloren ging.

Da die Herstellung eines Videos aber mindestens zwei Kopiervorgänge erfordert (Original → Master → S-VHS), kam für die Videoproduktion der high-end Computeranimation nur ein professionelles Videosystem in Frage.

*Betacam* ist ein solches sendetaugliches System und wurde mir von der Abteilung Audiovisuelle Medien des EDV-Zentrums der TU-Graz und von der Joanneum Research Forschungsgesellschaft für die Videoendbearbeitung zur Verfügung gestellt.

Bei diesem System erfolgt die Bildaufzeichnung und Bildbearbeitung auf drei getrennten Farbkanälen, sodaß in diesem Fall sogar nach vier Kopiervorgängen die Qualität der Bildwiedergabe so gut war, daß kein wesentlicher Unterschied zu Kopien der ersten Generation festgestellt werden konnte.

Insgesamt wurden bis zur Fertigstellung der endgültigen Version etwa 100 Stunden am Video-Schnittplatz mit schneiden, vertonen und anschließend kopieren von Betacam-auf S-VHS-Videobändern zugebracht.

## 6 ERGEBNIS UND SCHLUßFOLGERUNG

### 6.1 Fallbeispiel - Der *Palast* von Santa Rosa Xtampak

#### **Geodätisch / photogrammetrische Datenerfassung**

Nach Abschluß der Projektbearbeitung zeigte sich, daß primär die Qualität der geodätisch-photogrammetrischen Aufnahme für die Effizienz der Erstellung eines digitalen räumlichen Objektmodells entscheidend ist. Nur wenn die Ergebnisse der datenmäßigen Erfassung vollständig und eindeutig zuordenbar sind, kann die Konstruktion des digitalen Bauwerkmodells rasch und problemlos erfolgen.

Um dies zu gewährleisten und auch vor Ort ein effizientes Arbeiten zu ermöglichen, ist ein Ablaufschema zu entwickeln, das alle Arbeitsvorgänge der Aufnahme in Abhängigkeit der objekteigenen, systemspezifischen und dispositionsbezogenen Eigenschaften steuert. Dabei zeigte sich, daß die Parameter

- \* Dokumentationsziel,
- \* Gegebenheiten vor Ort,
- \* vorhandene Bewilligungen und
- \* Personalressourcen und Sachausstattung

die entscheidenden Faktoren darstellen, die in der Aufnahmeplanung zu untersuchen, in Relation zueinander zu stellen und auf ihren Einsatz bei der Aufnahme zu werten sind.

Das Ergebnis dieser Analyse bilden dann „Checklisten“ und Steuerprogramme, die den gesamten Arbeitsvorgang vor Ort leiten und kontrollieren.

Mayabauwerke sind im allgemeinen sehr stark strukturiert, großflächig und von hohem Informationsgehalt für die Architekturanalyse. Um die Gesamtheit der Informationen des Bauwerkes effizient und vollständig erfassen zu können, sind die Fassaden und Dekorationselemente photogrammetrisch aufzunehmen.

#### **Astro-geodätische Bestimmung der Orientierung des Palastes**

In der Messkampagne 1989 wurde als Referenz für die geodätischen Messungen ein lokales Koordinatensystem anhand von vermarkten Festpunkten definiert. Aufgrund der stabilen Vermarkung des Festpunktfeldes konnten auch 1992 die Messungen wieder im selben lokalen Koordinatensystem durchgeführt werden. Zur Orientierung des Festpunktfeldes wurden im Jahr 1989 Kompassmessungen durchgeführt, welche ein magnetisches Azimut von  $41^{\circ}51'$  ( $46,50$  Gon) ergaben (Reiter, 1994). Das auf geographisch Nord bezogene Azimut des lokalen Koordinatensystems ergibt sich nach Anbringen einer näherungsweise Deklination von  $3^{\circ}13'$  Ost (NOAA, 2016) mit  $38^{\circ}38'$ .

Am 22. November 1992 wurden auf dem Dach des Palastes astro-geodätische Messungen durchgeführt, um die Orientierung des Palastes, also dessen lagemäßige Ausrichtung in Bezug auf die astronomische Nordrichtung, exakt zu bestimmen.

Als Methode wurde die "Azimutbestimmung aus Stundenwinkeln des Polaris ( $\alpha$  Ursae Minoris)" angewandt, bei der die Richtung (Azimut) eines terrestrischen Zieles mit Hilfe des Polarsterns bestimmt wird. Zur Fehlerreduktion und Kontrolle wurden zusätzlich



jeweils die Zenitwinkel mitgemessen. Das resultierende astronomische Azimut des lokalen Koordinatensystems ergab sich mit  $35.98^\circ$ .

In der Folge lässt sich für die Orientierung des Palastes zum Beispiel die Ausrichtung von 1992 noch im ursprünglichen Zustand erhalten gewesenen Fassadenelementen, welche in etwa parallel zur Nord-Süd-achse des Bauwerkes liegen, angeben.

Für die Ausrichtung der Westfassade der 1. Etage ergibt sich so - bezogen auf die Verbindungslinie zwischen dem Eingang von Raum 23 am Süden der Fassade und dem Eingang zu Raum 13 an deren nördlichen Ende - ein astronomisches Azimut von  $26^\circ 08'$ .

Die Ausrichtung des Racheneinganges weist - bezogen auf die Verbindungslinie von dessen Simseckpunkte an der Ostfassade - einen Wert von  $28^\circ 39'$  auf.

Pollock (1970:46-63; zitiert nach Aveni und Hartung, 1986) hat für die Orientierung des Palastes einen Wert von  $118^\circ 29'$  angeführt. Unter der Annahme, dass es sich dabei um die astronomisch relevante Ost-Ausrichtung handelt, ergibt sich die dazu perpendikuläre Richtung mit  $28^\circ 29'$ .

### **Datenverarbeitung**

Im Falle einer derart komplexen Geometrie ist es unbedingt notwendig, daß die photogrammetrische Auswertung und die digitale 3D-Modellierung von ein und derselben Person durchgeführt werden. Diese Person muß unbedingt die digitale dreidimensionale Modellgenerierung beherrschen, um aus dem photogrammetrischen Modell die relevanten Daten selektieren und entsprechend auswerten zu können.

Um eine dermaßen heterogene Struktur im gewünschten Detaillierungsgrad räumlich modellieren zu können, müssen aufgrund der meist sehr spezifischen Ausrichtung der vorhandenen Software verschiedenste Methoden und Systeme der CAD-Bearbeitung angewandt werden. Dies hatte zur Folge, daß Schwierigkeiten im Datenaustausch und in der räumlichen Objektbildung auftreten, die die Programmierung von Datenkonvertierungsprogrammen und konstruktionsunterstützenden Macros in AUTOLISP notwendig macht.

Das Ergebnis dieser 3D-CAD-Modellierung ist ein in mehr als 2000 Arbeitsstunden erzeugtes und aus über 22.000 Flächenelementen bestehendes räumliches Objektmodell.

### **Plandarstellung**

Basierend auf diesem digitalen Bauwerkmodell wurden alle der weiterführenden Forschung an diesem Objekt dienenden Visualisierungsarten durchgeführt. Bis dato wurden 300 planliche Darstellungen in verschiedenen Ausführungen (siehe Planmappe) aus dem Modell abgeleitet. Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick der zur Kombination zur Verfügung stehenden Parameter planlicher Darstellung:

<u>Projektionstyp</u>	<u>Elementeumfang</u>	<u>Darstellungsart</u>	<u>Selektion/Zuordnung</u>
Draufsicht	Detail	Gesamt	lagemäßig
Axonometrie	Gruppe	Schnitt	thematisch
Perspektive	Gesamt		

Da das verwendete CAD-System AUTOCAD eine räumliche Verschneidung von Flächen nicht unterstützt und eine Übertragung und Bearbeitung des Modelles in anderen

Systemen, wie z.B. *3D STUDIO*, immer mit Verlust an Information verbunden war, wurde ein entsprechendes Schnittprogramm in AutoLISP erstellt.

Mit diesem ist es nun möglich, aus dem Gesamtmodell in weniger als einer Stunde sowohl einen Schnittplan abzuleiten, als auch die dabei entstehenden Schnitthälften als Einzelmodelle zu speichern und bei Bedarf in der gewünschten Form zu visualisieren.

### **Rendering**

In vielen Fällen sind aus Gründen der Übersichtlichkeit und zum Zwecke eines besseren Verständnisses Darstellungen in axonometrischer oder perspektivischer Form erwünscht.

Um diese Zielsetzungen in bestmöglicher Art und Weise zu erfüllen wurde *EXPLORE*, ein Animationssystem des high end Bereiches, für diesen Renderingprozeß eingesetzt. Dabei wurden die im CAD-Modell definierten Flächen mit Materialien versehen und erhalten durch die Definition dreidimensionalen prozeduralen Texturen ein besonders plastisches Aussehen.

Das Ergebnis sind außerordentlich anschauliche, photorealistische Darstellung vom Gesamtbauwerk und den interessierenden Teilgruppen, wie der Haupttreppe, den freistehenden Mauern der 3.Etage, usw. (siehe Bildmappe).

### **Digitale Bildverarbeitung**

Eine besonders vielversprechende Visualisierungsart stellte die Kombination des 3D-CAD- Objektmodell mit digitalem Bildmaterial dar.

Ein Flachbildwerk, welches infolge von Raubgrabungen heute nicht mehr vorhandenen ist, wurde anhand von Fotografien aus dem 19.Jahrhundert, wieder an seinen ursprünglichen Ort im Palast plaziert.

Analyse und Rekonstruktion können so unterstützt von bildhaften Originaldaten schneller und fundierter durchgeführt werden.

### **Computeranimation und Präsentationsvideo**

Stärker als statische Präsentationsformen vermögen dynamische Visualisierungen einen besonders plastischen und realitätsnahen Eindruck des Objektes zu vermitteln.

Das digitale Bauwerkmodell und die zuletzt genannte Animationssoftware ermöglichen *virtual reality*-Spaziergänge durch Zimmer, über Treppen und auf die Dächer des Bauwerkes. Die sich daraus ergebenden Ansichten werden in Form von tausenden Einzelbildern gespeichert und anschließend auf das Videoband übertragen

Die Entscheidung für den Einsatz eines Betacam-Videosystems bei Herstellung dieser Objektvisualisierung ergibt sich aus der konsequenten Verfolgung der Zielsetzung dieser Arbeit, nämlich nicht nur einem Fachmann auf dem Gebiet der Architektur oder Mayaforschung sondern auch einem interessierten Laien den Bestand dieses einzigartigen Bauwerkes in anschaulicher und verständlicher Art zu präsentieren.

Das vom Palast des Mayazentrums Santa Rosa Xtampak erstellte Video wurde gänzlich aus digitalen Bildern erzeugt und stellt nicht nur eine optimale Präsentationsform des Ist-Zustandes des Bauwerkes dar, sondern gibt außerdem Einblick in den Aufbau dieses digitalen räumlichen Objektmodells.

## 6.2 Das digitale Bauwerkmodell

Die entwickelte Methodik der Bauwerksdokumentation ermöglicht es einerseits, ein Bauwerk in hierarchisch strukturierter Form über architektonische Elemente eindeutig zu beschreiben und andererseits dieses Bauwerkes im Computer als digitales dreidimensionales Flächenmodell, gebildet aus den Grenzflächen der Masse-Elemente, zu rekonstruieren.

Diese Art der Modellbildung ermöglicht es, auch ein teilweise verfallenes Objekt, dessen Böden beispielsweise von Schutt bedeckt sind, zu dokumentieren, ohne daß der mit der Dokumentation beauftragte Bearbeiter sich mit der Interpretation über den möglichen weiteren Mauerverlauf oder die Bodenfläche beschäftigen muß. An Grenzlinie zwischen Wandfläche und Bodenschutt endet im CAD-Modell das Objekt 'Wand' und beginnt das Objekt 'Material'-"Schutt". Die Interpretation und Vervollständigung von Wand und Boden wird dadurch aus dem Dokumentationsprozeß ausgelagert und kann im Anschluß im Zuge weiterführender Arbeiten durch den Architekturanalytiker oder Archäologen durchgeführt werden.

Dadurch ist eine klare Aufgabentrennung vorgegeben, die dazu beiträgt, die Konsistenz des Datenmaterials zu gewährleisten und die Effizienz dieser Dokumentationsform zu erhöhen.

Durch den Übergang in der Architekturbeschreibung von Masse-Elementen auf deren sichtbare Grenzflächen und somit auf Raumelemente wurde eine Dokumentationsform entwickelt, die nicht nur für Gebäude im herkömmlichen Sinn sondern auch für Höhlensysteme und ähnliche Bauwerke geeignet ist. Dabei würde das Höhlensystem durch die Höhlenwandflächen und die „Fassade“ in Form einer digitalen Geländemodell-Oberfläche definierbar und modellierbar.

Durch die Realisierung der hierarchischen Strukturierung der architektonischen Elemente in Form hierarchisch strukturierter thematischer Ebenen im Computermodell wurde die Möglichkeit geschaffen, elementespezifische Abfrage in beliebig komplexer Form zu definieren.

Abgesehen von den bereits ausführlich besprochenen Visualisierungsmöglichkeiten wurde durch die Layerverwaltungsstruktur ein mächtiges Werkzeug zur Bauwerksanalyse geschaffen.

So lassen sich Maßanalysen getrennt nach Elementen oder anderen Kriterien durchführen und ergeben nicht nur aufgrund der präzisen Vermessung, sondern auch wegen der einfachen und raschen Maßselektion und der Möglichkeit der direkten Weiterverarbeitung in Datenbanksystemen und statistischen Analyseprogrammen einen Anstieg der Aussagekraft und Signifikanz.

Dasselbe gilt in der Folge für die Untersuchungen von Ausrichtungen von Bauwerken und Höfen oder beispielsweise auch der Bestimmung von Niveauunterschieden im Zuge einer Bauprozeßuntersuchung.

Der große Vorteil der Bestandsdokumentation in Form des digitalen Bauwerkmodells besteht also darin, daß:

- durch die Definition des Bauwerkes über die Grenzflächen der dieses bildenden architektonischen Elemente erstmals eine systematische Beschreibung komplexer, verfallener Bausubstanz in Form eines hierarchisch aufgebauten Computermodells möglich ist
- die gewünschten Pläne für jeden beliebigen Forschungszweck in der entsprechenden Form maßstabsinvariant, einheitlich und vollständig erstellt werden können;
- axonometrische und perspektivische Darstellungen, die das Erkennen komplexer räumlicher und struktureller architektonischer Zusammenhänge wesentlich erleichtern, direkt verfügbar sind;
- Maßanalysen, Bauwerksausrichtungen, Volumenberechnungen, etc. sofort in digitaler Form durchführbar sind ;
- die digitale Verspeicherung des Bestandes eine leichte Manipulation dieser Daten in Form von Ergänzungen und Rekonstruktionen ermöglicht;
- Animations- und Simulationsprogramme einen besonders plastischen und realitätsnahen Eindruck des Objekts vermitteln;
- das digitale Bauwerkmodell gleichzeitig eine vielseitig verwendbare Datenbank und eine Basis für Bestandspräsentationen im Dienste der archäologischen und kulturkundlichen Forschung darstellt.

### Das digitale Bauwerkmodell - Ein Paradigmen-Sprung

So läßt sich zusammenfassend feststellen, daß das digitale Bauwerkmodell nicht nur ein Novum in der Bestandsdokumentation darstellt, sondern daß nach erfolgreicher Lösung des Anfangsproblems unversehens eine Leistungsebene des Systems erreicht wurde, die für die Architekturanalyse eine völlig neue Situation bezüglich Genauigkeit, Leistung, Anwendung und Bedeutung ergibt, einschließlich einer neuen Arbeitskonzeption und Denkweise.

In diesem Sinne kann durch den Einsatz des digitalen Bauwerkmodells in der Architekturanalyse ein Leistungsschub erwartet werden, der eine Wandlung der Theorien und Denkvorstellungen, also einen Paradigmen-Sprung nach sich zieht.



## Bibliographie

ABRAMS, Eliot

1994 The Constructing Process of Maya Architecture. Function and meaning in Classic Maya Architecture; Dumbarton Oaks Conference. Washington D.C.

ACKERMANN, Friedrich

1995 Digitale Photogrammetrie - Ein Paradigma-Sprung. Zeitschrift für Photogrammetrie und Fernerkundung, Nr. 3/95: 106-115. Herbert Wichmann Verlag. Karlsruhe.

ANDREWS, George F.

1977 Maya cities. Placemaking and urbanization. The civilization of the American Indian series, Vol. 131. University of Oklahoma Press, Norman. Oklahoma.

ANDREWS, George

1985 Chenes - Puuc architecture: Chronology and cultural interaction. Architectura é Archeologia. Metodologias en la Cronologia de Yucatán; Paul Gendrop, editor; Colección Etudes Mésoaméricaines, Serie II-8: 10-39. Centre de Études Mexicaines et Centraméricaines. México, D.F.

ANDREWS, George F.

1987 Chenes and Chenes-Puuc architecture at Santa Rosa Xtampak, Campeche, México. Unveröffentlichtes Manuskript; Zugänglich in den Regionalstellen des INAH (Centros Regionales) von Yukatan (Merida) und Campeche (Campeche).

ANDREWS, George F.

1994 Architectural survey of the Rio Bec, Chenes and Puuc regions: Problems and progress. Hidden among the hills, maya archaeology of the Northwest Yucatán Peninsula; Hans J. Prem, editor. Bonn.

ANDREWS, George F.

1996 Arquitecturas Río Bec y Chenes. Mayas de Campeche; Enrique Vela, editor; Arqueología Mexicana, Vol. III, Nr. 18: 16-25. Editorial Raices. México, D.F.

ANDREWS, George F., Paul Gendrop and Juan Antonio Siller

1985 Elementos arquitectónicos del Puuc floreciente. Cuadernos de Arquitectura Mesoamericana, Nr. 5: 47-50. UNAM. México, D.F.

ANDREWS, George F., Paul Gendrop, Victor Rivera, Antonio Siller and Alejandro Villalobos

1987 Reconocimiento arquitectónico en la región de los Chenes, Campeche, Marzo 1986. Cuadernos de Arquitectura Mesoamericana, Nr. 10: 51-84. UNAM. México, D.F.

AVENI, Anthony und Horst HARTUNG

1986 Maya City Planning and the Calendar. Transaction of the American Philosophical Society Vol. 76, Part 7, Philadelphia

BARTELME, Norbert

1989 GIS-Technologie. Geoinformationssysteme, Landinformationssysteme und ihre Grundlagen. Springer-Verlag. Berlin.

BARTELME, Norbert

1995 Geoinformatik - Modelle, Strukturen, Funktionen. Springer-Verlag. Berlin.

- BENNING, Wilhelm und Christoph Effkemann  
 1991 PHIDIAS- ein photogrammetrisch interaktives digitales Auswertesystem für den Nahbereich. Zeitschrift für Photogrammetrie und Fernerkundung, Nr. 3/91: 87-93. Herbert Wichmann Verlag. Karlsruhe.
- BENNING, Wilhelm  
 1995 Digitale Nahbereichsphotogrammetrie mit dem System PHOCAD. VIII. Internationale Geodätische Woche Obergurgl 1995; Günter Chesi, Herausgeber; Mitteilungen des Institutes für Geodäsie der Universität Innsbruck, Heft 16: 3-13. Innsbruck.
- BÖHLER, Wolfgang and Guido Heinz  
 1996 Methods of surveying in archaeology demonstrated at the Tang Emperors' mausoleums. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXI, Part B5: 48-54. Vienna.
- BOLLES, John S.  
 1977 Las Monjas: A Major Pre-Mexican Architectural Complex at Chichén Itzá. University of Oklahoma Press. Norman.
- BÖSEMANN, Werner, Jürgen Peipe und Carl-Thomas Schneider  
 1994 Zur Anwendung von Still Video Kameras in der digitalen Nahbereichsphotogrammetrie. Zeitschrift für Photogrammetrie und Fernerkundung, Nr. 3/94: 90-96. Herbert Wichmann Verlag. Karlsruhe.
- BRANDSTÄTTER, Gerhard  
 1989 Das analytische Modell der videogestützten räumlichen Zielerfassung mit panfokalen Fernrohren. Optical 3D-Measurement Techniques I, Wichmann Verlag. Heidelberg.
- BRANDSTÄTTER, Gerhard  
 1990 Fotogrametría proyectiva - procesamiento de imagenes digitales con metodos de teledeteccion. Mitteilungen der geodätischen Institute, Folge 68; Technische Universität Graz. Graz/Austria.
- BRANDSTÄTTER, Gerhard  
 1992 Notes on the projective transformation of general stereo pairs into the rigorous normal case by image correlation. XVII ISPRS Congress; International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXIX, Comm. 3: 701-706. Washington.
- BRANDSTÄTTER, Gerhard  
 1993 Algebraprojektive Einzelbilddauswertung. Festschrift Schelling; Mitteilungen der geodätischen Institute, Folge 78; Technische Universität Graz. Graz.
- BRANDSTÄTTER, Gerhard  
 1995a On a most uncomplicated method of projective normal case transformation. Zeitschrift für Photogrammetrie und Fernerkundung, Nr. 5/95: 189-199. Herbert Wichmann Verlag. Karlsruhe.
- BRANDSTÄTTER, Gerhard  
 1995 Geoinformatics 1 - Elements of Computer Graphics. Lecture Notes, Institute for Applied Geodesy and Photogrammetry, : . Technische Universität Graz. Austria.

- CARRASCO, Ramón  
 1996 Calakmul, Campeche. Mayas de Campeche; Enrique Vela, editor; Arqueología Mexicana, Vol.III, Nr. 18: 46-51. Editorial Raíces. México.
- CHASE, Arlen F.  
 1988 Jungle surveying: Mapping the archaeological site of Caracol, Belize. Point of Beginning, Vol. 13, Nr. 3: 8-24. Business News Publishing Company. Michigan.
- COE, Michael D.  
 1993 The Maya. Fifth edition. Thames and Hudson. London.
- COOPER, M.A.R. and S. Robson  
 1992 The tomb of Christ, Jerusalem; Analytical photogrammetry and 3D computer-modelling for archaeology and restoration. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 29, Part B5: 778-785. Washington.
- COOPER, M.A.R. and S. Robson  
 1994 A hierarchy of photogrammetric records of archaeology and architectural history. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Nr. 49(5): 31-37. Elsevier Science B.V.. Amsterdam.
- DAHNS, Hans-Günter  
 1990 In Troja wird Vergangenheit transparent. AutoCAD Special, Bd.2: 32-34. IWT Verlag GmbH. Vaterstetten.
- DAVIES, Brian L., A.J. Robotham and A. Yarwood  
 1991 Computer-aided Drawing and Design. Capman & Hall. London.
- DESMOND, Lawrence G. and Phyllis M. Messenger  
 1988 A dream of Maya; Augustus and Alice Le Plongeon in Nineteenth-Century Yucatán. University of New México Press. Albuquerque.
- DÜPPE, Rolf-Dieter  
 1996 Ist die Photogrammetrie reif für das Museum? International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXI, Part B5: 599-604. Vienna.
- EFFKEMANN, Christoph  
 1995 Digitale Nahbereichsphotogrammetrie auf der Basis von Microstation am Beispiel des Aachener Doms. Festschrift: 125 Jahre Geodäsie an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen; Wilhelm Benning, Herausgeber; Veröffentlichung des Geodätischen Instituts der RWTH Aachen, Nr. 53: 97-108. Aachen.
- EL-HAKIM, S.F., J.-A. Beraldin, G. Godin and P. Boulanger  
 1996 Two 3-D sensors for environment modeling and virtual reality: calibration and multi-view registration. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXI, Part B5: 140-146. Vienna.
- FASH JR, William L. and Kurt Z. Long  
 1983 Mapa Arqueológico del Valle de Copán. Proyecto Arqueológico Copán, Tomo III. Secretaría de Estado en el Despacho de Cultura y Turismo. Tegucigalpa.
- FEHR, Beat  
 1993 Die AutoCAD-Applikationen. Dietmar Rudolph, (Herausgeber); Edition Autodesk. Verlag Rossipaul. München.



- FELLBAUM, Manfred und Thomas Hau  
 1996 Photogrammetrische Aufnahme und Darstellung des Doms von Siena. Zeitschrift für Photogrammetrie und Fernerkundung, Nr. 2/96: 61-67. Herbert Wichmann Verlag. Karlsruhe.
- FLORENZANO, Michel, Jean-Yves Blaise et Pierre Drap  
 1996 PAROS: Le sens de la mesure. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXI, Part B5: 167-172. Vienna.
- FORKERT, Gerald und Heinz Stanek  
 1997 Der Einsatz der Kodak DCS 460 für die digitale Photogrammetrie. Internationale Geodätische Woche Obergurgl; Institutsmittellungen Geodäsie, Heft 17: 47-52. Universität Innsbruck. Innsbruck.
- FÖRSTNER, Wolfgang und Rainer Pallaske  
 1993 Mustererkennung und 3D-Geoinformationssysteme. Zeitschrift für Photogrammetrie und Fernerkundung, Nr. 5/93: 167-177. Herbert Wichmann Verlag. Karlsruhe.
- FREUDENREICH, Peggy  
 1996 Photorealistic presentation of the Palais Grand Ducal based on photogrammetric recording. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXI, Part B5: 173-177. Vienna.
- FUCHS, Helmut  
 1995 Möglichkeiten der Visualisierung von CAD- und GIS-Daten. Österreichische Zeitschrift für Vermessung & Geoinformation, Heft 4/95: 183-189. Wien.
- GENDROP, Paul  
 1983 Los complejos escalonados polivalente y otros generos de edificios. Los estilos Rio Bec, Chenes y Puuc en la arquitectura maya; ?? : 73 - 78. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- GENDROP, Paul, George Andrews and I.A. Siller  
 1985 Elementos arquitectónicos del Puuc floreciente. Cuadernos de arquitectura Mesoamericana, Nr. 5: 47-49. UNAM. México, D.F.
- GEORGOPOULOS, A. and E. Tournas  
 1994 Digital rectification using a PC. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXX, Part 5: 102-108. Melbourne.
- GRUBER, Michael, Meissl St. und Boehm R.  
 1995 "Das dreidimensionale Stadtmodell Wien. Erfahrungen einer Vorstudie. Österreichische Zeitschrift für Vermessung & Geoinformation, Heft 1+2/95: 29-36. Wien.
- GRUBER, Michael und Peter Sammer  
 1996 Der virtuelle Prunksaal der Österreichischen Nationalbibliothek. Österreichische Zeitschrift für Vermessung & Geoinformation, Heft 2/96: 196-206. Wien.
- GRÜN, Armin  
 1994 Die Architekturphotogrammetrie im Spiegel der technischen Entwicklung. Zeitschrift für Photogrammetrie und Fernerkundung, Nr. 2/94: 41-56. Herbert Wichmann Verlag. Karlsruhe.
- GRÜN, Armin  
 1996a Generierung und Visualisierung von 3D-Stadtmodellen. SOGI/GISWISS-Tagung Morges. Lausanne/Schweiz.

- GRÜN, Armin  
1996b Digital photogrammetric stations revisited. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXX. Wien.
- GRÜNREICH, Dietmar  
1996 Der Standort der Kartographie im multimedialen Umfeld. Kartographie im multimedialen Umfeld. 5. Wiener Symposium; Ferdinand Mayer, Karel Kriz, Herausgeber; Wiener Schriften zur Geographie und Kartographie, Bd. 8: 17-28. Wien.
- HANKE, Klaus  
1994 The Photo-CD - a source and digital memory for photogrammetric images. Close range techniques and machine vision; John Fryer, Mark Shortis, editors; International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXX, Part 5: 144-149. Melbourne.
- HANKE, Klaus  
1996 A general approach for object oriented 3D-mapping in digital close range restitution. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXI, Part B5: 215-219. Vienna.
- HARTUNG, Horst  
1984 Alignments in Architecture and Sculpture of Maya Centers. Ibero-Amerikanisches Archiv, Neue Folge, Jg.10, Heft 2: 223-240. Colloquium Verlag. Berlin.
- HEINE, Erwin  
1994 Santa Rosa Xtampak - Presentación de la arquitectura en forma digital tridimensional. Los investigadores de la cultura maya; IV Encuentro: 72-81. Universidad Autónoma de Campeche. Campeche/México.
- HEINE, Erwin  
1992 Der Einsatz der Computergraphik zur Darstellung verfallender Bauwerke am Beispiel des Mayazentrums Santa Rosa Xtampak. Diplomarbeit an der Technischen Universität Graz. (Manuskript)
- HEINE, Erwin  
1993 Digital-3D-modelling and visualization of ancient Maya architecture. International Symposium on architectural and archeological photogrammetry; Comite Internacional de Fotogrametría Arquitectónica (CIPA). Bukarest. (Manuskript)
- HEINE, Erwin  
1994 Modelaje digital tridimensional y visualización computada de la arquitectura maya antigua. Memorias del Foro de Arqueología de Chiapas, Serie 5: 191-198. Universidad de Ciencias y Artes. Tuxtla Gutiérrez, México.
- HEINE, Erwin, Robert Kostka und Andreas Reiter  
1990 Main Palace of Santa Rosa Xtampak; A geodetic-photogrammetric documentation. Close range photogrammetry meets machine vision; A. Gruen, E. Baltsavias, editors; International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol.28, Nr. 1, Com.V: 67-76. Zürich.
- HELLMUTH, Nicholas M.  
1989 First season photography and analysis of standing architecture at Santa Rosa Xtampak. Foundation for latin america research. Winter Park, Florida. (Manuskript)

HERRMANN, Andreas

1992 Auf den Spuren der Maya: Eine Fotodokumentation von Theobert Maler (1842-1917). Rainer Springhorn, Herausgeber. Akademische Druck- und Verlagsanstalt. Graz.

HIRSCHBERG, Urs

1996 Object-oriented data-integration between digital architectural photogrammetry and CAAD. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXI, Part B5: 237-242. Vienna.

HOHMANN, Hasso

1988 Becan, Bauwerk IV, Beschreibung und Deutung einer klassischen Maya-Architektur in Campeche, Mexiko. Mitteilungen der Archäologischen Gesellschaft Graz, Band II: 133-153. Graz.

HOHMANN, Hasso

1989 Structure IV at Becan: Documentation and analysis on form and construction of its architecture. Memorias del Segundo Coloquio Internacional de Mayistas, Vol. I; Mercedes de la Garza, editor: 127-138. UNAM. México D.F.

HOHMANN, Hasso, Robert Kostka und Annegrete Vogrin

1979 Aufnahme der Maya-Ruinen in Copán, Honduras. Wild Reporter, Nr. 15: 6-7. Heerbrugg/Schweiz.

HOHMANN, Hasso und Annegrete Vogrin

1982 Die Architektur von Copán (Honduras). Akademische Druck- und Verlagsanstalt. Graz/Austria.

HOHMANN-VOGRIN, Annegrete

1992 Struktur und Bedeutung der Stadt. Ein architekturtheoretischer Versuch am Beispiel der voreuropäischen Kulturen Mesoamerikas. Habilitation, Technische Universität Graz. (Manuskript)

KARRAS, G.E., P. Patias and E. Petsa

1996 Digital monoplotting and photo-unwrapping of developable surfaces in architectural photogrammetry. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXI, Part B5: 290-294. Vienna.

KEHNE, Gerd

1989 Beiträge zum Einsatz tachymetrischer Verfahren bei der Bauaufnahme. Dissertation, Universität Braunschweig; Geodätische Schriftenreihe der Technischen Universität Braunschweig, Nr. 9. Braunschweig.

KIRKPATRICK, James M.

1992 The AutoCAD Book. Drawing, Modelling, and Applications. Macmillan. Ontario, Canada.

KOSTKA, Robert

1987 The influence of an object's characteristics on the parameters of graphical documentation. Fotogrametría y representación de la Arquitectura; Antonio Almagro, editor; Comité Internacional de Fotogrametría Arquitectónica (CIPA), Vol.X: 217-228. Granada.

KOSTKA, Robert und Hasso Hohmann

1993 Geodätische Vermessung von Baudenkmalen und archäologischen Zonen. Baukultur, Nr. 2/93: 32-36. Verlag Wiederspahn. Wiesbaden.

KOSTKA, Robert

1995 Zur Plan- und Kartenherstellung im Talraum von Copan. Die Architektur der Sepulturas-Region von Copán in Honduras; Hasso Hohmann (editor): 272-278. Academic Publishers. Graz/Austria.

KOTOWSKI, R., A. Meid, J. Peipe und W. Wester-Ebbinghaus

1989 Photogrammetrische Bauaufnahme der "Kirchen von Siena" - Entwicklung eines Konzepts zur Vermessung von Großbauwerken. Allgemeine Vermessungsnachrichten, Nr. 4/89: 144-154. Wichmann. Karlsruhe.

KRAUS, Karl

1993 Qualitätssteigerung photogrammetrischer Produkte mittels digitaler Bildverarbeitung. Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen und Photogrammetrie, 118.Jhg, Heft 8/9: 403-407. Österreichischer Verein für Vermessungswesen und Photogrammetrie. Wien.

KRAUS, Karl und Peter Waldhäusl

1986 Photogrammetrie, Grundlagen und Standardverfahren. Bd.2. Ferd. Dümmlers Verlag. Bonn.

KUBLER, George

1962 The Art and Architecture of Ancient Maya. Miscelanea Paul Rivet, N 1: 515-531. México, D.F.

LANDES, S., H.-P. Bähr and K. Ringle

1996 Architectural photogrammetry and picture processing for aquisition and documentation of a Brazilian town ensemble. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXI, Part B5: 309-312. Vienna.

LICHTENEGGER, Herbert

1990 Astronomie. Kulturgut - Dokumentation und Forschung; Robert Kostka, H. Lichtenegger, A. Reithofer, Herausgeber; Mitteilungen der geodätischen Institute, Folge 69: 81-96. Technische Universität Graz. Graz/Austria.

LINSINGER, Josef

1997 Kulturgutvermessung Digitale Gewölbeabwicklung. Institutsmitteilungen Geodäsie, Heft 17: 113-116. Universität Innsbruck. Innsbruck.

LITTLEWORTH, R.M., D.M. Stirling and J.H. Chandler

1992 Three-dimensional mapping and as-built computer modelling by analytical photogrammetry. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 29, Part B5: 754-760. Washington.

LOTEN, H. Stanley and David M. Pendergast

1984 A lexicon for Maya architecture. Archaeology monograph, Nr. 8. The Royal Ontario Museum. Toronto.

LUHMANN, Thomas

1991 Aufnahmesysteme für die Nahbereichsphotogrammetrie. Zeitschrift für Photogrammetrie und Fernerkundung, Nr. 3/91: 80-87. Herbert Wichmann Verlag. Karlsruhe.

MAGNENANT THALMANN, Nadia

1990 Computer Animation, Theory and Practice. Tosiyasu L. Kunii, editor. Springer-Verlag. Tokyo.

- MALER, Teobert  
1902 Yukatekische Forschungen. Globus, Bd. 82: 220-226. Vieweg & Sohn. Braunschweig.
- MARKUS, Frank und Christian Jaksch  
1995 Das AutoCAD 13 Buch. SYBEX-Verlag. Düsseldorf.
- MARQUINA, Ignacio  
1964 Arquitectura Prehispánica. Memorias del Instituto Nacional de Antropología e Historia. México, D.F.
- MARQUINA, Ignacio  
1976 Algunas Consideraciones acerca de la Orientación de los Monumentos Arqueológicos de México. Boletín I.N.A.H., II, Núm. 19: 59. México, D.F.
- MAUDSLAY, Alfred P.  
1889- Archaeology. Biologia Centrali-Americana, Vol.1 (Text); F. Ducane Godman, Osbert Salvin, editors. London.
- MAUDSLAY, Alfred P  
-1902 Archaeology. Biologia Centrali-Americana, Vol.2 (Plates); F. Ducane Godman, Osbert Salvin, editors. London.
- MAYER, Karl Herbert  
1989 An unpublished Maya inscription at Santa Rosa Xtampak, Campeche. Cuadernos de Arquitectura Mesoamericana, Nr. 11: 25-28. UNAM. México, D.F.
- MAYER, Karl Herbert  
1994 Two unpublished paintings from Santa Rosa Xtampak, Campeche. Mexican, Vol. XVI, Nr. 4: 68-70. Von Flemming Verlag. Möckmühl/Germany.
- MAYER, Ferdinand und Karel Kriz (Herausgeber)  
1996 Kartographie im multimedialen Umfeld. 5. Wiener Symposium. Wiener Schriften zur Geographie und Kartographie, Bd. 8. Wien.
- MONDADORI, Arnoldo (editor)  
1997 Virtual Archaeology. Great discoveries brought to life through virtual reality. Thames and Hudson Ltd. London.
- NOOA  
2016 Magnetic Field Calculator: National Oceanic and Atmospheric Administration Url: <http://www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/#declination>. (Stand: 18.1.2016)
- OGLEBY, Clifford L.  
1995 Advances in the digital recording of cultural monuments. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Nr. 50(3): 8-19. Elsevier Science B.V.. Amsterdam.
- PATIAS, P. and Andre Streilein  
1996 Contribution of videogrammetry to the architectural restitution. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXI, Part B5: 457-462. Vienna.
- PATMIOS, E.  
1992 Methodology of aquisition of multiple data for monuments and historic centers. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 29, Part B5: 363-366. Washington.
- PIÑA CHAN, Roman  
1985 Cultura y ciudades Mayas de Campeche. Editora del Sureste. México, D.F.

POLLOCK, Harry E. D.

1970 Architectural notes on some Chenes ruins. Maya archaeology; William R. Bullard Jr., editor; Papers of the Peabody Museum of archaeology and ethnology, Harvard University, Vol. 61: 1-88. Peabody Museum. Cambridge/Massachusetts.

POLLOCK, Harry E.D.

1965 Architecture of the Maya Lowlands. Archaeology of Southern Mesoamerica, Part one; Gordon R. Willey Volume Editor; Handbook of Middle American Indians, Volume II: 378-440. University of Texas Press. Austin.

POMASKA, Günter

1994 Bauaufnahme mit hybriden Vermessungsverfahren. Festschrift für Bodo Schrader; Geodätische Schriftenreihe der Technischen Universität Braunschweig, Nr. 12: 123-132. Braunschweig.

POTSIU, C., C. Ioannidis and J. Badekas

1992 A special information system for the documentation of castles. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 29, Part B5: 287-291. Washington.

PREM, Hans J. und Ursula Dyckerhoff (Herausgeber)

1986 Das alte Mexiko. Geschichte und Kultur der Völker Mesoamerikas. C. Bertelsmann Verlag. München.

PREM, Hans J.

1994 Archäologisches Projekt Xkipché. Bericht über die Grabungskampagne 1994. Seminar für Völkerkunde der Universität Bonn. (Manuskript)

PREM, Hans J.

1987 Santa Rosa Xtampak: Salvage Work on the Palace. Mexican, Vol. IX, Nr.6:121. Von Flemming Verlag. Möckmühl/Germany.

RANZINGER, Monika und Günther Lorber

1995 3D-Stadtmodell Graz - Überlegungen für eine operationelle Umsetzung. Österreichische Zeitschrift für Vermessung & Geoinformation, Heft 3/95: 111-118. Wien.

REITER, Andreas

1994 Der Einsatz geodätisch-photogrammetrischer Methoden zur Dokumentation verfallender Bauwerke am Beispiel des Maya-Zentrums Santa Rosa Xtampak. Diplomarbeit an der Technischen Universität Graz. (Manuskript)

REITHOFER, Anton

1990 Datenerfassung und Interaktive Graphik zur Kulturgutdokumentation. Kulturgut - Dokumentation und Forschung; Robert Kostka, H. Lichtenegger, A. Reithofer, Herausgeber; Mitteilungen der geodätischen Institute, Folge 69: 37-52. Technische Universität Graz. Graz.

RICHTER, Reinhard

1994a Orientierung und Entzerrung nicht-kalibrierter Schrägaufnahmen mit projektiver Transformation und Parallaxenformeln der Stereophotogrammetrie. Vermessungswesen und Raumordnung, Nr. 56/2: 121-130. Ferdinand Dümmlers Verlag. Bonn.

RICHTER, Reinhard

1994b Architekturphotogrammetrie - Die Orientierung und Entzerrung von Schrägaufnahmen mit projektiver Transformation und Parallaxenformeln der Stereophotogrammetrie. Festschrift für Bodo Schrader; Geodätische Schriftenreihe der Technischen Universität Braunschweig, Nr. 12: 133-160. Braunschweig.

RIESE, Berthold

1995 Die Maya; Geschichte - Kultur - Religion. Beck'sche Reihe;2026:C.H. Beck Wissen, Verlag Beck. München.

RIESE, Frauke J.

1986 Das Präkolumbianische Amerika. Die großen Abenteuer der Archäologie; Hans Georg Niemeyer, Rudolf Pörtner (Herausgeber): 2887-2981. Andreas Verlag. Salzburg/Austria.

ROBSON, S., R.M. Littleworth and M.A.R. Cooper

1994 Construction of accurate 3D computer models for archaeology, exemplified by a photogrammetric survey of the Tomb of Christ in Jerusalem. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXX, Part 5: 338-344. Melbourne.

ROUSE, Irving

1972 Settlement patterns in archaeology. Man, settlement and urbanism. Peter J. Ucko, Ruth Tringham, G.W. Dimbleby, editors. Duckworth. London.

RUNNE, Heinz

1993 Geodätische Datengewinnung für Gebäudeinformationssysteme unter Anwendung reflektorloser tachymetrischer Verfahren. Dissertation, Universität Braunschweig; Geodätische Schriftenreihe der Technischen Universität Braunschweig, Nr. 11. Braunschweig.

SABLOFF, Jeremy A.

1991 Die Maya: Archäologie einer Hochkultur. Spektrum-der-Wissenschaft-Verlagsgesellschaft. Heidelberg.

SABLOFF, Jeremy A. and Gair Tourtellot

1991 The ancient Maya city of Sayil: The Mapping of a Puuc Region Center. Middle American Research Institute, Publication 60: Tulane University. New Orleans.

SAINT-AUBIN, Jean-Paul

1990 L'image photogrammetrique de synthese. Close range photogrammetry meets machine vision; Armin Grün, E. Baltsavias, editors; The international society for optical engineering (SPIE), Vol. 1395, Part 1: 182-189. Zurich.

SAINT AUBIN, Jean-Paul

1992 Le relevé et la représentation de l'architecture. Documents et méthodes, Nr. 2. Inventaire général, SPADEM. Paris.

SCHAVELZON, Daniel

1990 Las ciudades Mayas - Historia de las teorías sobre su estructura urbana. Editorial Rescate. Buenos Aires.

SCHERER, M.

1995 Ein Expertensystem zur Architekturaufnahme - Bausteine auf dem Weg dorthin. Zeitschrift für Vermessungswesen, Nr. 3/95: 134-143. Verlag Konrad Wittwer. Stuttgart.

SCHLÖGELHOFER, Franz

1989 Qualitäts- und Wirtschaftlichkeitsmodelle für die Ingenieurphotogrammetrie. Dissertation, Technische Universität Wien; Geowissenschaftliche Mitteilungen des Institutes für Photogrammetrie und Fernerkundung der TU-Wien, Heft 32. Wien.

SCHMITT, Gerhard

1990 Rekonstruktion Avenicum. AutoCAD Special, Bd.2: 124-133. IWT Verlag GmbH. Vaterstetten.

SCHMITT, Gerhard

1993 Archäologie, Photogrammetrie und Computer Aided Architectural Design (CAAD). Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik, Nr. 3/93: 136-139. Zürich.

SCHNEIDER, Carl-Thomas

1996 DPA-WIN - A PC based digital photogrammetric station for fast and flexible on-site measurement. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXI, Part B5: 530-533. Vienna.

SHARER, Robert J.

1994 The ancient Maya. Fifth edition. Stanford University Press. Stanford, California.

SINNING MEISTER, Martina, Scott Mason und André Strelein

1995 Photogrammetrische Gebäudeerfassung für 3D-Stadtmodelle. 38.DVW-Seminar und FIG-Symposium "Gebäudeinformationssysteme". Braunschweig. (Manuskript)

STAMPS, Richard B.

1970 A study of late Classic Maya architecture at Sta. Rosa Xtampak. Master thesis, Brigham Young University. Manuscript.

STEIDLER, Franz

1986 CIP - Ein allgemeines Programmpaket zur DGM-Interpolation unter Verwendung der Dreiecksvermaschung. Bildmessung und Luftbildwesen, Nr. 54, Heft 1: 5-16. Wichmann. Karlsruhe.

STEPHANI, Manfred und Konrad Eder

1987 Leistungspotential einer Teilmeßkammer beim Einsatz in der Architekturphotogrammetrie. Bildmessung und Luftbildwesen, Nr. 55, Heft 5: 204-213. Wichmann. Karlsruhe.

STEPHANI, Manfred and L. Tang

1992 Object modelling and visualization in architecture. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXIX, Part B5: 821-824. Washington.

STEPHENS, John L.

1843 Incidents of Travel in Yucatán. Vol. II: 105-114. Harper and Brothers, New York; Reprint 1963 by Dover Publications. New York.

STREILEIN, André

1995 Videogrammetry and CAAD for architectural restitution of the Otto-Wagner-Pavillon in Vienna. Optical 3-D Measurement Techniques, Num. III: 305-314. Wichmann Verlag. Heidelberg.



STREILEIN, André

1996 Utilization of CAD models for the object oriented measurement of industrial and architectural objects. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXI, Part B5: 548-553. Vienna.

SULAK, Jack

1993 Notes on "Room-#5-Suite" of the South-East Quadrangle of the ruins at "Santa Rosa Xtampak". Foundation for latin america research. Winter Park, Florida. (Manuscript)

SVATEK, Wolfgang und Sonja Lesowsky

1994 Professionelle Videobearbeitung. Franzis-Verlag. München.

TORRES LANZAS, Pedro

1903 Catalogo de Mapas y Planos - Guatemala. Reimpresión 1985; Archivo General de Indias, Sevilla. Ministerio de Cultura, Dirección de Bellas Artes y Archivos. Madrid.

VELÁZQUEZ MORLET, Adriana, Edmundo López de la Rosa, Ma. del Pilar Casado López 1988 y Margarita Gaxiola (editores)

Zonas arqueológicas - Yucatán. Proyecto atlas arqueológico nacional. Instituto Nacional de Antropología e Historia. México.

WALDHÄUSL, Peter

1992 Defining the future of architectural photogrammetry. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 29, Part B5: 767-770. Washington.

WATT, Allan H. and Mark Watt

1992 Advanced animation and rendering techniques - Theory and practice. Addison-Wesley Publishing Company. New York.

WEIMANN, Günter

1988 Architektur-Photogrammetrie. Wichmann Verlag. Karlsruhe.

WIEDEMANN, Albert

1996 Digital orthoimages in architectural photogrammetry using digital surface models. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXI, Part B5: 605-609. Vienna.

WURSTER, Wolfgang W.

1993 Maya-Ruinen im Urwald Guatemalas. Archäologie in Deutschland, Nr. 3/1993: 10-15. Theiss Verlag. Stuttgart.

ZAVODNIK, Raymond und Herbert Kopp

1995 Graphische Datenverarbeitung. Grundzüge und Anwendungen. Carl Hanser. München.

## Weiterführende, im Text nicht explizit referenzierter Literatur

ACKERL, Franz und Hans Foramitti

1976 Empfehlungen für die Anwendung der Photogrammetrie im Denkmalschutz, in der Architektur und Archäologie. Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen und Photogrammetrie, Sonderheft 31 Österreichischer Verein für Vermessungswesen und Photogrammetrie. Wien.

ALMAGRO, Antonio, Petrus Patias and Peter Waldhäusl

1996 The CIPA "O. Wagner Pavillion" test. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXI, Part B5: 463-469. Vienna.

ASTORI, B., G. Bezoari und F. Guzzetti

1992 Analogue and digital methods in architectural photogrammetry. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 29, Part B5: 761-766. Washington.

BARBARELLA, Maurizio, Renzo Carlucci, Margherita Fiani and Stefano Paradisi

1992 Photogrammetric structured data acquisition and compression aimed to static analysis by finite elements methods - A test on the colosseo. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 29, Part B5: 813-820. Washington.

BEHANECK, Marian

1992 Rechnergestütztes Bauaufmaß. Deutsche Bauzeitung, Nr. 12/1992: 156-164. Dt. Fachzeitschrift und Fachbuch-Verlag. Stuttgart.

BEHRINGER, Anja

1991 Cluny III - Der Computer als Baumeister. Kulturchronik, Nr. 3/1991. Bonn.

BERZEN, Norbert

1995 Objektorientierte Datenbankmodellierung für ein Gebäudeinformationssystem. Festschrift: 125 Jahre Geodäsie an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen; Wilhelm Benning, , , (Herausgeber); Veröffentlichung des Geodätischen Instituts der RWTH Aachen, Nr. 53: 149-170. Aachen.

BEZERRA MENDONCA, Francisco Jaime

1992 Combination close-range photogrammetry and digital processing in archaeology. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 29, Part B5: 130-133. Washington.

CHELI, Antonio

1992 Some cases of architectural photogrammetry done in Central and South America. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 29, Part B5: 417-418. Washington.

CHIKATSU, Hirofumi, Kazuya Nakano and Tetsuji Anai

1996 A study on real-time photogrammetry for archaeological sites using wireless CCD camera. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXI, Part B5: 82-87. Vienna.

DALLAS, R.W.A. und M. Carbonell

1992 World heritage sites - photogrammetric records. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 29, Part B5: 419-426. Washington.

EBENFELD, Dietrich

1992 Photogrammetrische Beobachtung von Bauschäden und Mauerausbuchtungen, dargestellt an einer alten Giebelwand. Vermessungsingenieur, Nr. 3/92: 108-111. Chmielorz. Wiesbaden.

EKHOLM, Gordon F. and Gordon R. Willey (editors)

1966 Archaeological frontiers and external connections. Handbook of Middle American Indians, Vol. 4. University of Texas Press. Austin.

ESRI-GESMBH

1993 ArcCAD - das Beste aus zwei Welten. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik, Nr. 3/93: 195-196. Zürich.

FELLBAUM, Manfred

1994 Robuste Bildorientierung in der Nahbereichsphotogrammetrie. Dissertation, Technische Universität Braunschweig; Geodätische Schriftenreihe der Technischen Universität Braunschweig, Nr. 13. Braunschweig.

FELLBAUM, Manfred

1992 Low cost systems in architectural photogrammetry. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXIX, Part B5: 771-777. Washington.

FUENTES Y GUZMÁN, F.A.

1932 Recordación Florida, 3 vols. Bibliotheca Guathemala, Vols. 6-8. Sociedad de Geografía e Historia. Guatemala.

GEORGOPOULOS, A. and A. Spinou

1992 FOTOCAD: A simple photogrammetric package for non-photogrammetists. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 29, Part B5: 357-362. Washington.

GROSS, Markus

1991 3D-Visualisierung und Simulation in der graphischen Datenverarbeitung. Zeitschrift für Photogrammetrie und Fernerkundung, Nr. 5/91: 152-157. Herbert Wichmann Verlag. Karlsruhe.

GRUSSENMEYER, Pierre and Franck Perdrizet

1996 Archeological photogrammetry with small format cameras: The survey of the Forum Vetus in Sarmizegetusa (Romania). International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXI, Part B5: 200-204. Vienna.

GUERRA, Francesco

1996 Archeology and photogrammetry: The site of Laodiceia ad Lycum (Turkey). International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXI, Part B5: 205-208. Vienna.

GUTU, Alexandru

1992 An architectural photogrammetric application: Survey of the church within Snagov Monastery (Romania). International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 29, Part B5: 402-408. Washington.

HANAIZUMI, Hiroshi, Tadayuki Tsumashima and Sadao Fujimura

1994 Application of proximity stereometry to archeology 3D shape measurement of the head of a wooden statue. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXX, Part 5: 150-154. Melbourne.

- HEILIGER, Ralph  
 1993 Architektengerechte geodätische Gebäudebestandserfassung. Vermessungsingenieur, Nr. 4/93: 172-177. Chmielorz. Wiesbaden.
- HEILIGER, Ralph  
 1992 Tachymetrische Bestandsaufnahme mit MOBI. Vermessungsingenieur, Nr. 1/92: 25-29. Chmielorz. Wiesbaden.
- HEIPKE, C., P. Saisi and M. Stephani  
 1994 Art inventarisation and preservation by digital photogrammetry. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXX, Part 5: 171-177. Melbourne.
- HEIPKE, Christian  
 1994 Digitale photogrammetrische Arbeitsstationen. Habilitation, Technische Universität München. (Manuskript)
- HELL, G. und J. Otto  
 1992 Photogrammetrische Arbeiten an Castel del Monte. Allgemeine Vermessungsnachrichten, Nr. 4/92: 196-174. Wichmann. Karlsruhe.
- HELLMUTH, Nicholas M.  
 1987 Monster und Menschen in der Maya-Kunst. Akademische Druck- und Verlagsanstalt. Graz/Austria.
- HOHMANN, Hasso  
 1979 Gewölbekonstruktionen in der Maya-Architektur. Mexicon, Vol. I, Nr. 3: 33-36. . Berlin.
- IOANNIDIS, C., C. Potsiou and J. Badekas  
 1996 3D detailed reconstruction of a demolished building by using old photographs. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXI, Part B5: 16-21. . Vienna.
- JACHIMSKI, Józef and Janusz Zielinski  
 1996 Digital stereoplotter for historic monuments recording. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXI, Part B5: 259-263. Vienna.
- KAUFMANN, Viktor  
 1990 Dokumentation von abbruchbedrohten Industriedenkmalern in der Obersteiermark. Kulturgut - Dokumentation und Forschung; Robert Kostka, H. Lichtenegger, A. Reithofer, Herausgeber; Mitteilungen der geodätischen Institute, Folge 69: 173-178. Technische Universität Graz. Graz/Austria.
- KEMPA, M. and M. Schlüter  
 1992 Graphical representation of an Armenian castle with AutoCAD. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 29, Part B5: 241-244. Washington.
- KLEIN, U. und W. Zick  
 1992 Castel del Monte - der geodätische Beitrag zur ersten präzisen Bauaufnahme. Allgemeine Vermessungsnachrichten, Nr. 4/92: 163-169. Wichmann. Karlsruhe.
- KONECNY, Gottfried  
 1996 Hochauflösende Fernerkundungssensoren für kartographische Anwendungen in Entwicklungsländern. Zeitschrift für Photogrammetrie und Fernerkundung, Nr. 2/96: 39-51. Herbert Wichmann Verlag. Karlsruhe.

- KRAMER, Carsten und Mathias Hirche  
 1990 Der "Phantastische Film:" Demnächst im Architekturbüro. AutoCAD Special; Bd.2: 15-20. IWT Verlag GmbH. Vaterstetten.
- LANG, Felicitas and Wolfgang Schickler  
 1993 Semiautomatische 3D-Gebäudeerfassung aus digitalen Bildern. Zeitschrift für Photogrammetrie und Fernerkundung, Nr. 5/93: 193-200. Herbert Wichmann Verlag. Karlsruhe.
- LEBERL, Franz W., Keith Andrews, Michael Gruber, Peter Uray und Wolfgang Walcher  
 1996 Graphische und visuelle Interaktion mit Geodaten. Kartographie im multimedialen Umfeld. 5. Wiener Symposium; Ferdinand Mayer, Karel Kriz, Wiener Schriften zur Geographie und Kartographie, Bd. 8: 29-37. Wien.
- MIYATSUKA, Yoshito  
 1996 Archaeological real-time photogrammetric system using digital still camera. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXI, Part B5: 374-377. Vienna.
- MÜLLER, Jörg  
 1995 Ein Konzept zur Homogenisierung räumlicher Daten im Rahmen der digitalen Nahbereichsphotogrammetrie. Festschrift: 125 Jahre Geodäsie an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen; Wilhelm Benning, Herausgeber; Veröffentlichung des Geodätischen Instituts der RWTH Aachen, Nr. 53: 139-148. Aachen.
- NC-TAPE AG  
 1993 Digitale Vermessung: neuer Ansatz zur Maßaufnahme am Beispiel der Denkmalpflege. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik, Nr. 3/93: 197. Zürich.
- NUBER, Klaus P.  
 1990 Wenn der Vermessungsingenieur mit dem Architekten.... AutoCAD Special, Bd.2: 39-50. IWT Verlag GmbH. Vaterstetten.
- OGLEBY, Clifford L.  
 1994 Digital image processing in the documentation and conservation of Rock Art. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXX, Part 5: 293-297. Melbourne.
- OGLEBY, Clifford L.  
 1996 A reconstruction of the ancient city of Ayutthaya using modern photogrammetric techniques. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXI, Part B5: 416-425. Vienna.
- OLBRICH, Gerold, Michael Quick und Jürgen Schweikart (Herausgeber)  
 1996 Computerkartographie. Springer-Verlag. Heidelberg.
- PALLASKE, Rainer, Werner Marten und Landolf Mauelshagen  
 1992 Digital orthophoto-system for architecture representation. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 29, Part B5: 67-73. Washington.
- PATIAS, Petros and Dimitrios Rossikopoulos  
 1992 SNAP: A system for non-metric architectural photogrammetry. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 29, Part B5: 123-129. Washington.

- PEIPE, Jürgen  
 1996 Close range techniques and machine vision. Zeitschrift für Photogrammetrie und Fernerkundung, Nr. 4/96: 121-123. Herbert Wichmann Verlag. Karlsruhe.
- POMASKA, Günter  
 1996 Implementation of digital 3D-models in building surveys based on multi-image photogrammetry. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXI, Part B5: 487-492. Vienna.
- POTTER, David F.  
 1977 Maya architecture of the central Yucatán peninsula, México. Publication 44, Middle American Research Institute, Tulane University. New Orleans.
- RICHTER, Reinhard  
 1990 Einfache Architekturphotogrammetrie. Friedr. Vieweg & Sohn VerlagsGmbH. Braunschweig.
- RUNNE, Heinz  
 1994 Gebäudeinformationssysteme - Integrationswerkzeuge für Planung, Bau, Unterhaltung und Nutzung von Gebäuden. Festschrift für Bodo Schrader; Geodätische Schriftenreihe der Technischen Universität Braunschweig, Nr. 12: 171-183. Braunschweig.
- SAWYER, Peter and John Bell  
 1994 Photogrammetric recording and 3D visualization of Ninstints, a world heritage site. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXX, Part 5: 345-348. Melbourne.
- SCAIONI, Marco  
 1996 Automatic DEM generation using digital system InduSCAN: An application to the artworks of Milano Cathedral finalized to realize physical marble copies. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXI, Part B5: 581-586. Vienna.
- SCHUHR, W., M. Wiggengagen, E. Kanngieser und W. Schlüter  
 1992 Photogrammetric support for monument protection in archaeology. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 29, Part B5: 134-138. Washington.
- SCHWERMANN, Raimund  
 1995 Geradengestützte Bildorientierung in der Nahbereichsphotogrammetrie. Dissertation, Technische Hochschule Aachen Veröffentlichung des Geodätischen Instituts der RWTH Aachen, Nr. 52: Aachen.
- SCHWERMANN, Raimund  
 1995 Über die Verwendung von geraden Linien bei der Orientierung und Auswertung von Nahbereichsaufnahmen. Festschrift: 125 Jahre Geodäsie an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen; Wilhelm Benning, Herausgeber; Veröffentlichung des Geodätischen Instituts der RWTH Aachen, Nr. 53: 109-125. Aachen.
- SEEGER, Eberhard  
 1978 Das Orthophotoverfahren in der Architekturphotogrammetrie. Dissertation, Universität Stuttgart; Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, Heft Nr. 5. Stuttgart.

STREILEIN, André und Thomas Kersten

1993 Chiesa di Nostra Signora di Fatima - Ein Beispiel für den Einsatz analytischer und digitaler Architekturphotogrammetrie. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik, Nr. 3/93: 149-154. Zürich.

VOGRIN, Annegrete und Hasso Hohmann

1980 Maya-Architektur in Copan. Katalog zur Ausstellung im Ibero-Amerikanischen Institut Preußischer Kulturbesitz Berlin, 4. Dez. 1980 - 17. Jan. 1981, Berlin.

WALDHÄUSL, Peter

1995 Photogrammetrische Architekturdokumentation - Internationale Konkurrenz oder Zusammenarbeit ? VIII. Internationale Geodätische Woche Obergurgl 1995; Günter Chesi, Herausgeber; Mitteilungen des Institutes für Geodäsie der Universität Innsbruck, Heft 16: 74-79. Innsbruck.

WALDHÄUSL, Peter und Cliff Ogleby

1994 3 x 3 rules for simple photogrammetric documentation of architecture. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXX, Part 5: 426-429. Melbourne.

WEIDEMANN, Martin und Ralph Luckei und Toni Lettmaier

1990 Rendering: Fotorealismus in der Architektur. AutoCAD Special, Bd.2: 85-97. IWT Verlag GmbH. Vaterstetten.

WESTER-EBBINGHAUS, Wilfried

1981 Zur Verfahrensentwicklung in der Nahbereichsphotogrammetrie. Dissertation, Universität Bonn. (Manuskript)

WESTER-EBBINGHAUS, Wilfried

1985 Bündeltriangulation mit gemeinsamer Ausgleichung photogrammetrischer und geodätischer Beobachtungen. Zeitschrift für Vermessungswesen, Nr. 3/85: 101-111. Verlag Konrad Wittwer. Stuttgart.

WEYERS, Alfred

1995 Merkmalszuordnung für die automatisierte Bildorientierung in der digitalen Nahbereichsphotogrammetrie. Festschrift: 125 Jahre Geodäsie an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen; Wilhelm Benning, (Herausgeber); Veröffentlichung des Geodätischen Instituts der RWTH Aachen, Nr. 53: 127-137. Aachen.

YOKOYAMA, Hiroshi

1996 Ortho projection and drawing for archaeological artifacts of complicated form. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXI, Part B5: 95-100. Vienna.

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

ABB. 3.1: KARTE DES MAYA-GEBIETES MIT DEN WICHTIGSTEN ARCHÄOLOGISCHEN STÄTTEN UND DER UNTERTEILUNG IN NATURRAUMTYPEN (SHARER, 1984,:21) .....	7
ABB. 3.2: KARTE DER PRINZIPIELLEN ARCHITEKTURSTILE DES MAYA-TIEFLANDES (POLLOCK, 1965) ....	12
ABB. 3.3: TEMPEL DES KREUZES (PALENQUE) NACH ANTONIO BERNASCONI, 1785 (TORRES LANZAS, 1903).....	15
ABB. 3.4: STEREOPHOTOGRAPHIE DER WESTSEITE DER PYRAMIDE DES WAHRSAGERS (UXMAL) AUFGENOMMEN CIRKA 1876 VON AUGUSTUS LE PLONGEON (DESSMOND AND MESSENGER, 1988).....	15
ABB. 4.1: KONZEPTION DES DIGITALEN ARCHITEKTUR-MODELLS ALS KERN EINER UMFASSENDEN BESTANDSDOKUMENTATION.....	21
ABB. 4.2: KOMPONENTEN DES MULTIMEDIALEN UMFELDES NACH MAYER UND KRIZ, 1996.....	22
ABB. 4.3: SKIZZE EINES 'SEILHALTERS' (A) UND DESSEN DEFINITION ÜBER GRENZFLÄCHEN (B).....	29
ABB. 4.4: A.) RAUM-SYSTEM - RAUMZELLEN UND B) MASSENELEMENT - FASSADE DEFINIERT UND GENERIERT DURCH GRENZFLÄCHE-ELEMENTE .....	30
ABB. 4.5:STRUKTUR DES PRINZIPIES DER BAUWERKSDEFINITION ÜBER ARCHITEKTONISCHE ELEMENTE - DEFINITION DER NORDOSTWAND VON RAUM1 IM 1.GESCHOß DES PALASTES - .....	31
ABB. 4.6: VERLEGUNG UND TYP DER FASSADENSTEINE UND WEITERE ARCHITEKTONISCHE DETAILS (ZEICHNUNG NACH RUPPERT; IN POLLOCK, 1970) .....	32
ABB. 4.7: INFORMATIONSUMFANG DES PROTOKOLLS ZUR BESTANDSDOKUMENTATION VON PUUC-ARCHITEKTUR (ANDREWS ET AL., 1985).....	32
ABB. 4.8: DATENSTRUKTUR NACH FORMALISIERUNG DER ARCHITECTURELEMENTINFORMATIONEN.....	35
ABB. 4.9: BILDUNG DES EINDEUTIGEN OBJEKTSCHLÜSSELS (SURROGAT) AM BEISPIEL DES ARCHITECTURELEMENTS 'BAUSKULPTUR'-"FLACHRELIEF".....	36
ABB. 4.10: VERWALTUNG VON ZUSATZINFORMATION IM CAD-SYSTEM ÜBER EXTERNE DATENBANK-(DBMS) VERBINDUNG ODER ÜBER OBJEKTATTRIBUTE (□).....	37
ABB. 4.11: DATENSTRUKTUR NACH FORMALISIERUNG DER ERGÄNZENDEN INFORMATIONEN .....	38
ABB. 4.12: CSG-MODELLIERSTRUKTUR.....	40
ABB. 4.13: VOXEL-MODELLIERSTRUKTUR .....	40
ABB. 4.14: MEHRDEUTIGKEIT VON DRAHTMODELLEN .....	41
ABB. 4.15: DRAHTMODELL ALS FREIFORMFLÄCHEN-KONTROLLNETZ (BEZIÉR-OBERFLÄCHE) .....	41
ABB. 4.16: BEISPIELE VON VORDEFINIERTEN 3D-OBERFLÄCHENNETZEN IN AUTOCAD.....	43
ABB. 4.17: ZERLEGUNG EINES VIERSEITIGEN 3DFACES (HP-FLÄCHE) IN ZWEI PLANARE FLÄCHEN (1-2-4 UND 2-3-4) .....	43
ABB. 4.18: RASTERFÖRMIGE 3DMESH-NETZFLÄCHENDEFINITION.....	44
ABB. 4.19: KOMPLEXE KÖRPERKONSTRUKTION IN AUTOCAD MIT DEM BEFEHL PFACE.....	44
ABB. 4.20: FLÄCHENNORMALE UND SICHTBARKEIT VON FACETTENFLÄCHEN .....	45
ABB. 4.21: ROTATIONS-OBERFLÄCHEN IN MICROSTATION95.....	46
ABB. 4.22: CHARAKTERISTIK G0-, G1- UND G2-DIFFERENZIERBARER OBERFLÄCHEN .....	47
ABB. 4.23:PRINZIP DES BLOSSOM-ALGORITHMUS UND DER GEWICHTETEN B-SPLINEFUNKTION .....	49
ABB. 4.24: NURBS-OBERFLÄCHE IN MICROSTATION95.....	49
ABB. 4.25: MATHEMATISCHES KONSTRUKTIONSPRINZIP DES LINEAREN COONS-PATCH.....	50
ABB. 4.26: OBJEKT-KONSTRUKTION (A) UND METHODEN DER OBJEKTDEFINITION (B,C) .....	56
ABB. 4.27: VERKNÜPFUNG VON ARCHITEKTONISCHEM ELEMENT UND ZUSATZINFORMATIONEN .....	57
ABB. 4.28: VERWALTUNG DER VERSCHIEDENEN THEMEN DER BESTANDSINFORMATION ÜBER THEMATISCH GETRENNTE LAYER (_FA; _AT; _BA) IN EINER GESAMTZEICHNUNG.....	58
ABB. 4.29: PRINZIP DER VERWALTUNG DER VERSCHIEDENEN THEMEN DER BESTANDSINFORMATION ÜBER EXTERNE REFERENZIERUNG VON TEILZEICHNUNGEN.....	59
ABB. 4.30: KLASSIFIKATIONEN VON PROJEKTIONEN (ZAVODNIK UND KOPP, 1995:73).....	66
ABB. 4.31:VORDEFINIERT (A) UND FREIDEFINIERBARE (B) PROJEKTIONEN IN AUTOCAD.....	67
ABB. 4.32: GERENDETERTE SZENE DES RAUMES 1 MIT GEOMETRISCH RICHTIGEM BILDIMPLANTAT.....	69
ABB. 4.33: TEILMODELL ALS RESULTAT EINES VERTIKALSCHNITTES .....	73
ABB. 4.34: VERTIKALSCHNITT-FLÄCHE UND HORIZONTALSCHNITTZEICHNUNG DES PALASTES.....	75
ABB. 5.1: GENERELLE MODULE DES METHODISCHEN KONZEPTS .....	78
ABB. 5.2: AUSZUG AUS DEM DREISEITIGEN BAUAUFNAHMEPROTOKOLL (MIT ELEMENTE-CODES) DES FORSCHUNGSPROJEKTES SANTA ROSA XTAMPAK .....	82





## NACHSATZ

Die Abfassung dieser Arbeit wurde ermöglicht durch Stipendien des Bundesministeriums für Wissenschaft, Forschung und Kunst, der Technischen Universität Graz, der Steiermärkischen Landesregierung, durch ein Kurt-Gödel-Stipendium für wissenschaftliche Arbeiten im Ausland und durch den Forschungsauftrag P8928-PHY des österreichischen Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung.

Mein Dank gilt den Herrn Universitätsprofessoren Gerhard Brandstätter, Leiter der Abteilung Fernerkundung, Bildverarbeitung und Kartographie der TU-Graz und Willibald Haffner vom Geographischen Institut und Tropenzentrum der Universität Gießen, Deutschland, die mir meine Arbeit an der TU-Graz großzügig durch viele Jahre ermöglicht haben.

Für die fachliche Unterstützung auf dem Gebiet der Architektur- und Maya-Forschung danke ich Annegrete Hohmann-Vogrin, Hasso Hohmann, Robert Kostka und Karl Herbert Mayer (Interdisziplinäre Gruppe Mayaforschung Graz).

Am Ende bleibt mir noch meiner Familie, besonders aber meiner Frau Angeles Cervantes Alarcón für die moralische Unterstützung und das mir entgegengebrachte Verständnis für meine tatsächliche oder nur gedankliche Abwesenheit zu danken.

Erwin Heine

Graz, im April 1997



# ANHANG

## GRAPHISCHE ERGEBNISSE



## Verzeichnis der graphischen Ergebnisse

### α.) Appendix 1 - Graphische Präsentation der Modellbildung und Datenselektion

#### Grundsätzliches Prinzip der Modellbildung:

- # 1: Auszug aus dem Bestandsaufnahmeprotokoll von Raum 1
- # 2: „Punktwolke“ aus tachymetrisch erfaßten Detailpunkten
- # 3: Einzelpunkte mit eindeutiger Punktcodierung
- # 4: Drahtmodell - Raumzelle 1 basierend auf Einzelpunkten
- # 5: Drahtmodell - Raumzellengruppe (Räume 1 bis 4)
- # 6: Flächenmodell - Raumzelle 1 ergänzt durch Kleinräume und Bauskulptur (Seilhalter, Gewölbebalkenlöcher; Dekorsäulen, Gewölbebalken)
- # 7: Schichtenliniendarstellung der amorphen Bauwerksstruktur - Ergebnis von photogrammetrischer Auswertung
- # 8; Flächenmodell - Fassadenelemente; Kanten aus photogrammetrischer Auswertung
- # 9: Oberflächenmodell (Dreiecksfacetten) des amorphen Bauwerksbereiches des 3.Geschosses
- # 10: Kombination der Flächenmodelle der amorphen Bauwerksstruktur und der architektonischen Elementen

#### Modellaufbau getrennt nach Geschosse:

- # 11: Raumzellen-Flächenmodell des 1. Geschosses
- # 12: Kombination von Raumzellen-Modell und Modell der amorphen Struktur des 1. Geschosses
- # 13: Raumzellen-Flächenmodell des 2. Geschosses über Modell des 1.Geschosses
- # 14: Flächenmodell des 1. und 2. Geschosses
- # 15: Flächenmodell des 1., 2. und 3. Geschosses - Ansicht von Nordwesten
- # 16: Flächenmodell des 1., 2. und 3. Geschosses - Ansicht von Nordosten

#### Datenselektion (Beispiele):

- # 17: Verlauf der beiden Innentreppen; dargestellt durch Stufen und Fassadenteile
- # 18: Modelle der Stiegenhäuser der beiden Innentreppen
- # 19: Modellschnitt: Lage der vertikalen Schnittebene in Relation zu den architektonischen Elementen (Grundrißdarstellung)
- # 20: Modellschnitt: Schnittmodell mit teilweise bereits entfernten Modellteilen
- # 21: Modellschnitt: Schnittprofil in Draufsicht
- # 22: Modellschnitt: Geschnittener Modellteil in axonometrischer Ansicht von Nordwesten
- # 23-24: Überlagerung von Schnittplänen aus dem auf einer exakten geodätisch / photogrammetrischen Aufnahme basierenden digitalen Architekturmodell und bestehenden Plänen



## β.) Appendix 1 - Perspektivische Ansichten des gerenderten Modells

Anmerkung: Repräsentation der amorphen Bauwerksstruktur in teiltransparenter Form !

- # 25: Raum 1 mit virtuell wiedereingezettem Flachrelief
- # 26: Raum 36 (rot) und Ausgangsbereich der südlichen Innentreppe im 3.Geschoß
- # 27: Südwest- Ecke und Westfassade
- # 28: Eingangsbereich von Raum 21 (amorphen Oberflächenbereich in nichttransparenter Darstellungsform)
- # 29: Eingang zur südlichen Innentreppe in Raum 22
- # 24: Treppenhaus der südlichen Innentreppe im 2.Geschoß
- # 25: Ausgangsbereich der nördlichen Innentreppe im 2. und 3.Geschoß
- # 26: 2. und 3.Geschoß des nordwestlichen Teiles
- # 27: 2. und 3.Geschoß des nordöstlichen Teiles mit den beiden freistehenden Mauerteilen
- # 28: Eingangsbereich des Zentralraumes im 3.Geschoß
- # 29: Haupttreppe mit 2. und 3.Geschoß des südöstlichen Teiles
- # 30: 1., 2. und 3.Geschoß des südöstlichen Teiles mit Teilen der Haupttreppe

## χ.) Appendix 2 - Planliche Darstellungen (Schnittpläne) –

- Plan 1: Lage der vertikalen Schnittebenen in Relation zu den architektonischen Elementen aller drei Geschosse
- Plan 2- 4: Lage der vertikalen Schnittebenen in Relation zu den architektonischen Elemente eines Geschosse
- Plan 5 - 18: Vertikalschnitte parallel zur Gebäudelängsachse (Planbezeichnung: Q-05, Q-10, Q-15, ... Q - 95)
- Plan 19 - 28: Vertikalschnitte quer zur Gebäudelängsachse (Planbezeichnung: L-05, L-10, Q-15, ... L - 50)
- Plan 29 - 31: Horizontalschnitte der drei Geschosse (Planbezeichnung: H1, H2 und H3)

### Anmerkung:

Aus Gründen der Erzielung eines höheren Informationsgehaltes pro Schnittdarstellung liegen die vertikalen Schnittebenen nicht parallel zueinander. Um die Möglichkeit der Überlagerung der einzelnen Pläne zu gewährleisten wurden die Schnittprofile auf jeweils eine gemeinsame Referenzebene projiziert; die Schnitte Q-05 bis Q-95 auf die Referenzebene 'CUTPLANE-Q' und die Schnitte L-05 bis L-50 auf 'CUTPLANE-L'. In der planlichen Darstellung werden diese Referenzebenen durch den „Planrahmen“ repräsentiert.

Aufgrund der nichtparallelen Lage der Ebenen zueinander ergibt sich durch die Transformation eine linearproportionale Verzerrung der Schnittgeometrie in x-Richtung, deren Größe von der Verdrehung der Ebenen und dem x-Abstand vom Ebenenzentrum abhängt. Bei der hier aufgetretenen maximalen Verdrehung des Schnittes Q-55 von 3° ergibt dies eine Verschiebung des äußersten Punktes von weniger als 5 cm in der Natur und 0,25 mm im Plan (M 1:200).





Santa Rosa Xtampak

"PALAST"

12.11.1992

Protokoll-Nr.: 5

Bestandsaufnahme

Seite: /

Standpunkt: 510

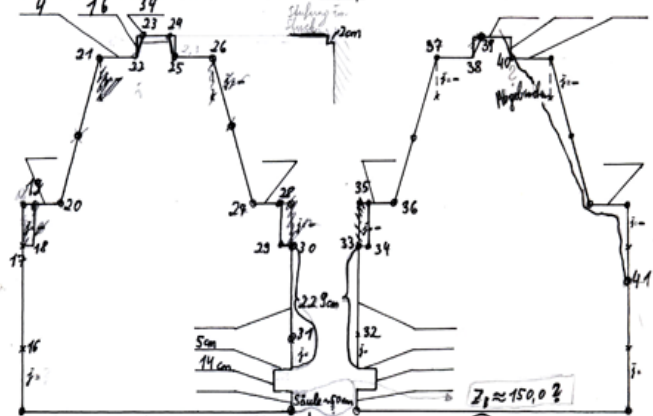
Raum-Nr.: 1

letzte Punktnummer: 51/15

Profil und Abmessungen(2...4):

Photo-Nr.: N16, N17

16



31

32

Gewölbeansatz auch stirnseitig: Ja /  Nein

Paßpunkte(2...5): Ja /  Nein

41

Stufung im Gewölbeabschluß: Ja /  Nein

3D-Koo.(1): Ja / Nein (Prot. \_\_\_\_\_)

Fußleiste: Ja /  verschüttet / Nein

keine  
Seilhalter (2...6): 1 2

Photo-Nr.: \_\_\_\_\_

2

Anzahl: \_\_\_\_\_

Raumstirnseite: Ja / Nein

PNr.:

50 d= 11 [cm]; a= \_\_\_\_\_ [cm]; t= 30 [cm]; 3D-Koo.(1):  Ja / Nein (Prot. \_\_\_\_\_)

51 d= 10 [cm]; a= \_\_\_\_\_ [cm]; t= 30 [cm]; 3D-Koo.(1):  Ja / Nein (Prot. \_\_\_\_\_)

52 d= 11 [cm]; a= \_\_\_\_\_ [cm]; t= 40 [cm]; 3D-Koo.(1):  Ja / Nein (Prot. \_\_\_\_\_)

53 d= 8 [cm]; a= \_\_\_\_\_ [cm]; t= 35 [cm]; 3D-Koo.(1):  Ja / Nein (Prot. \_\_\_\_\_)

Weitere Elemente (2...7) wie Bank, Maueröffnung (Nischen, Fenster), etc.:

Photo-Nr.: \_\_\_\_\_

3D-Koo.: Ja / Nein (Prot. \_\_\_\_\_)

Gewölbelöcher (2...8):

Photo-Nr.: N16, N17, N15

50

d= \_\_\_\_\_ [cm];

t= \_\_\_\_\_ [cm];

3D-Koo.:  Ja / Nein (Prot. \_\_\_\_\_)

54

Dekoration (2...9):  entfernt / Nein

Photo-Nr.: \_\_\_\_\_

Photogrammetrie

3D-Koo.: Ja / Nein (Prot. \_\_\_\_\_)

höchste Punktnummer 51/54

Santa Rosa Xtampak

"PALAST"

11.11.1992

Protokoll-Nr.: 4

Bestandsaufnahme

Seite: /

Standpunkt: 13

Raum-Nr.: 51

letzte Punktnummer: 51/02

TÜR zu Raum-Nr.: 53

Photo-Nr.: N13

5103

Pfosten (2...0):

b= \_\_\_\_\_ [cm]; t= \_\_\_\_\_ [cm]; dh<sub>ca</sub>= \_\_\_\_\_ [cm]; 3D-Koo.:  Ja / Nein (Prot. 4)

5106

Sturz (2...1):

Material: \_\_\_\_\_ Anzahl: \_\_\_\_\_ 3D-Koo.:  Ja / Nein (Prot. 4)

5111

l= \_\_\_\_\_ [cm]; h= \_\_\_\_\_ [cm] b= \_\_\_\_\_ [cm] b<sub>w</sub>: \_\_\_\_\_ [cm]

Einspannlänge= \_\_\_\_\_ [cm] Rücksetzung in der Mauer: \_\_\_\_\_ [cm]

5114

Löcher (2...2): keine

d= \_\_\_\_\_ [cm]; t= \_\_\_\_\_ [cm]; 3D-Koo.: Ja / Nein (Prot. \_\_\_\_\_)

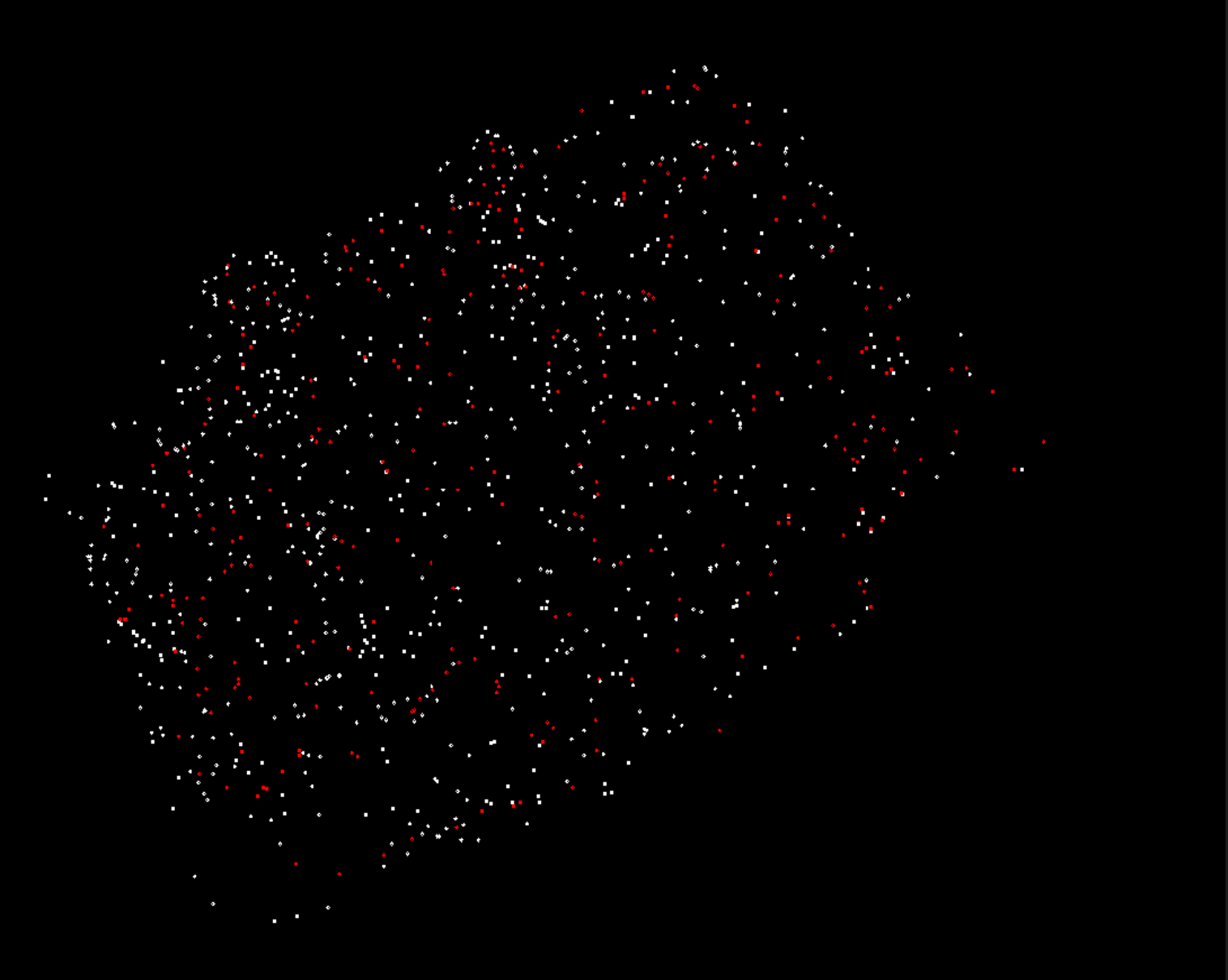
Gewölbeausparung über der Tür (2...3):  Ja / Nein / zerstört

Photogrammetrie

3D-Koo.: Ja / Nein (Prot. \_\_\_\_\_)



höchste Punktnummer: 51/44

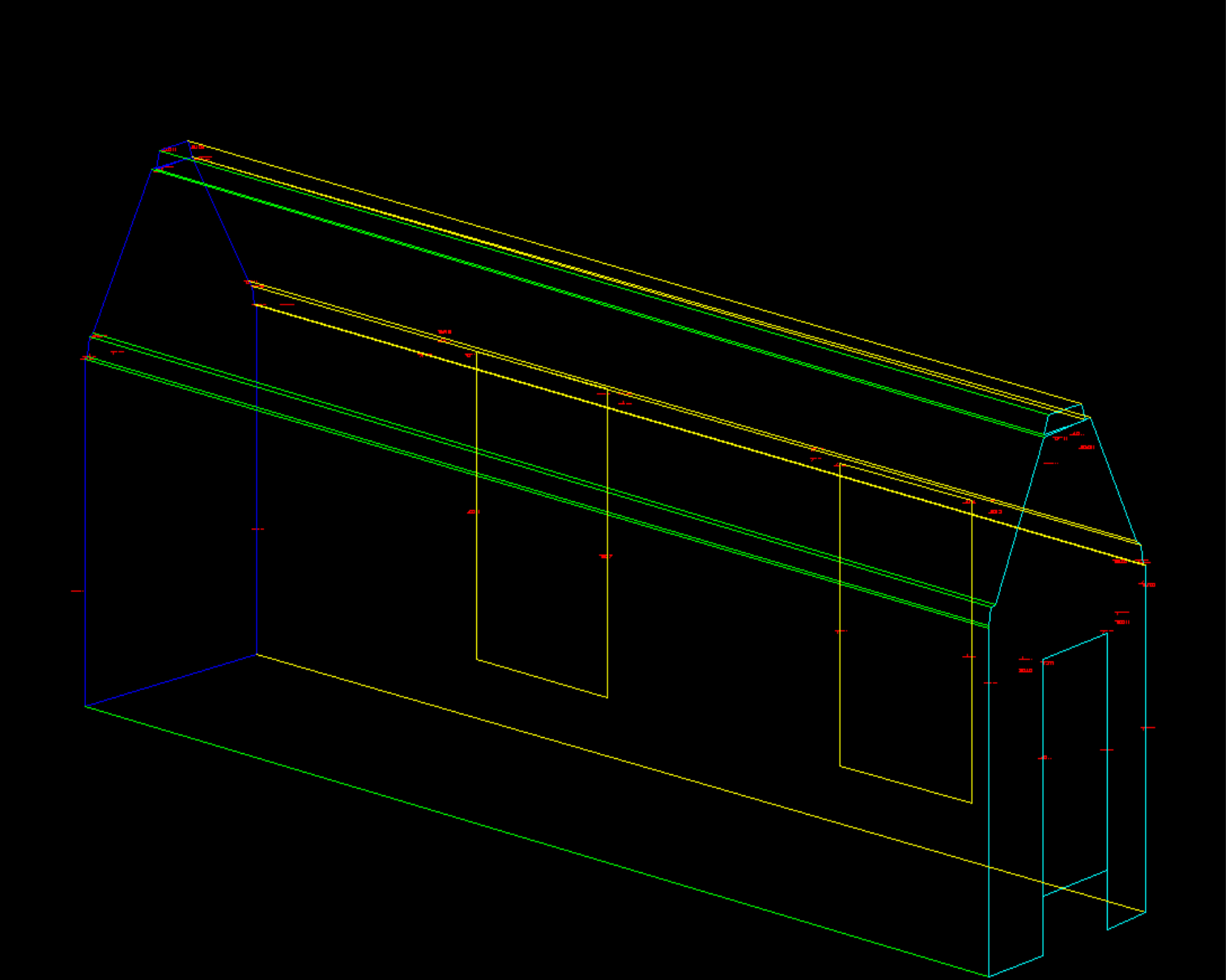


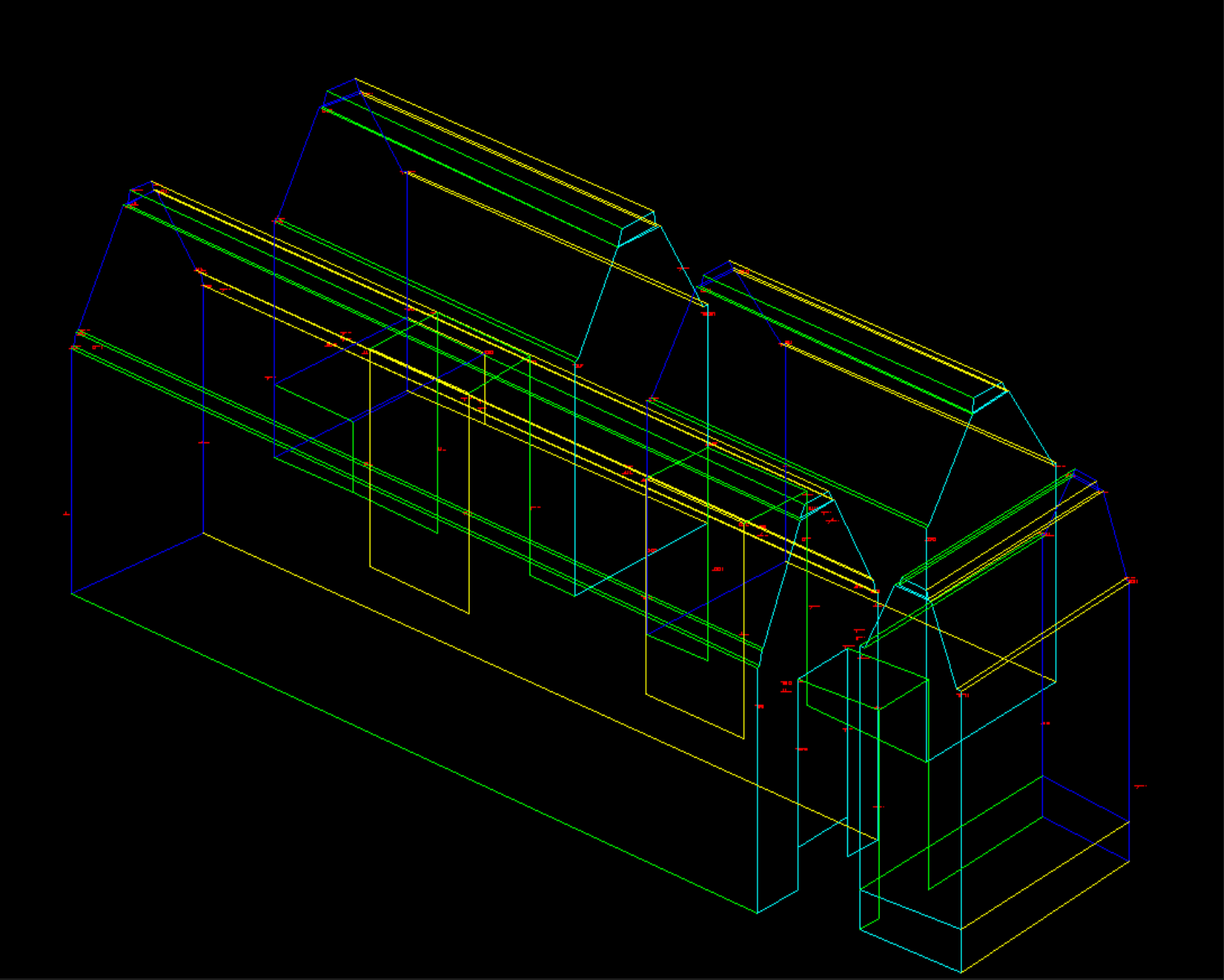
⊕ 5121

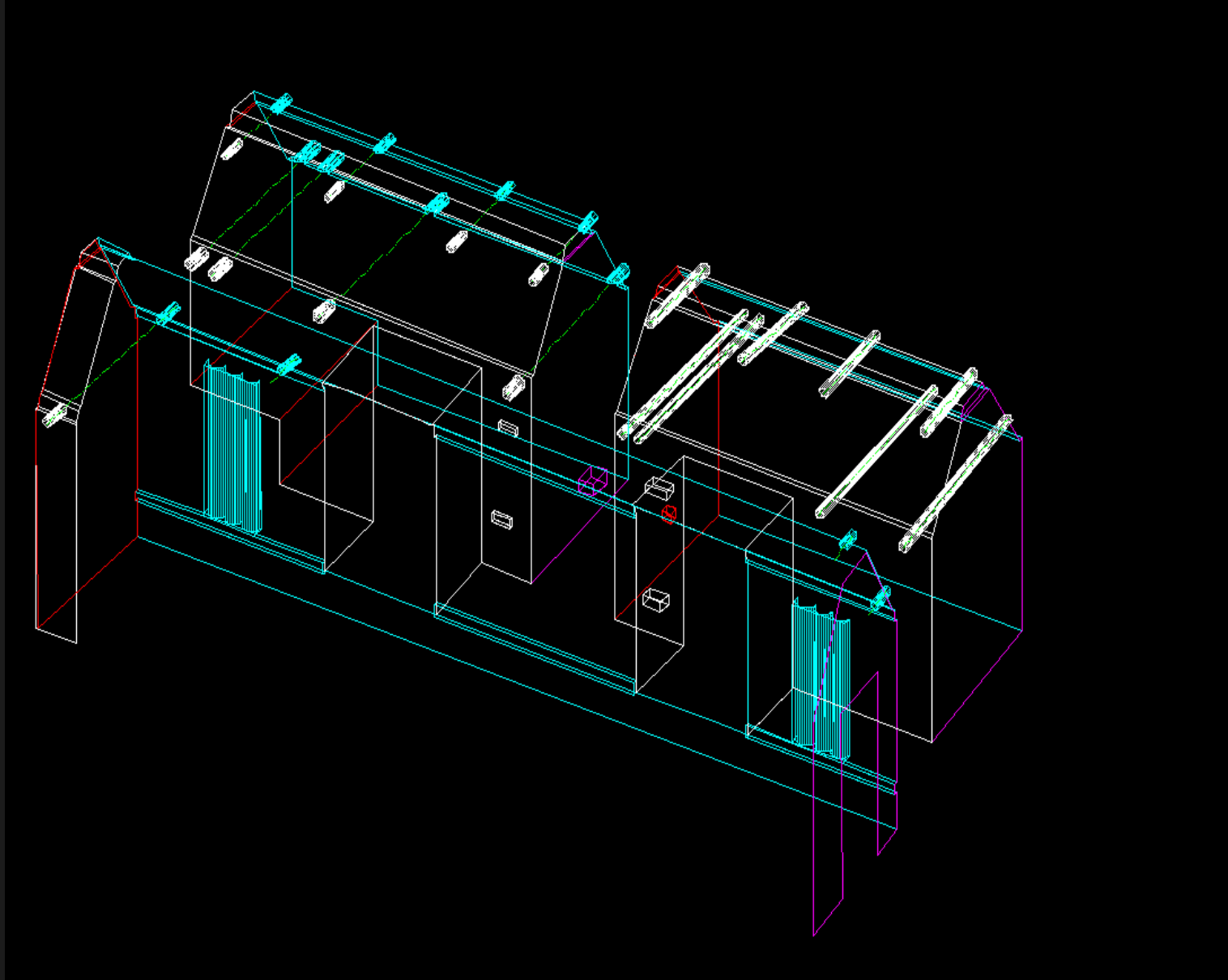
⊕ 5122

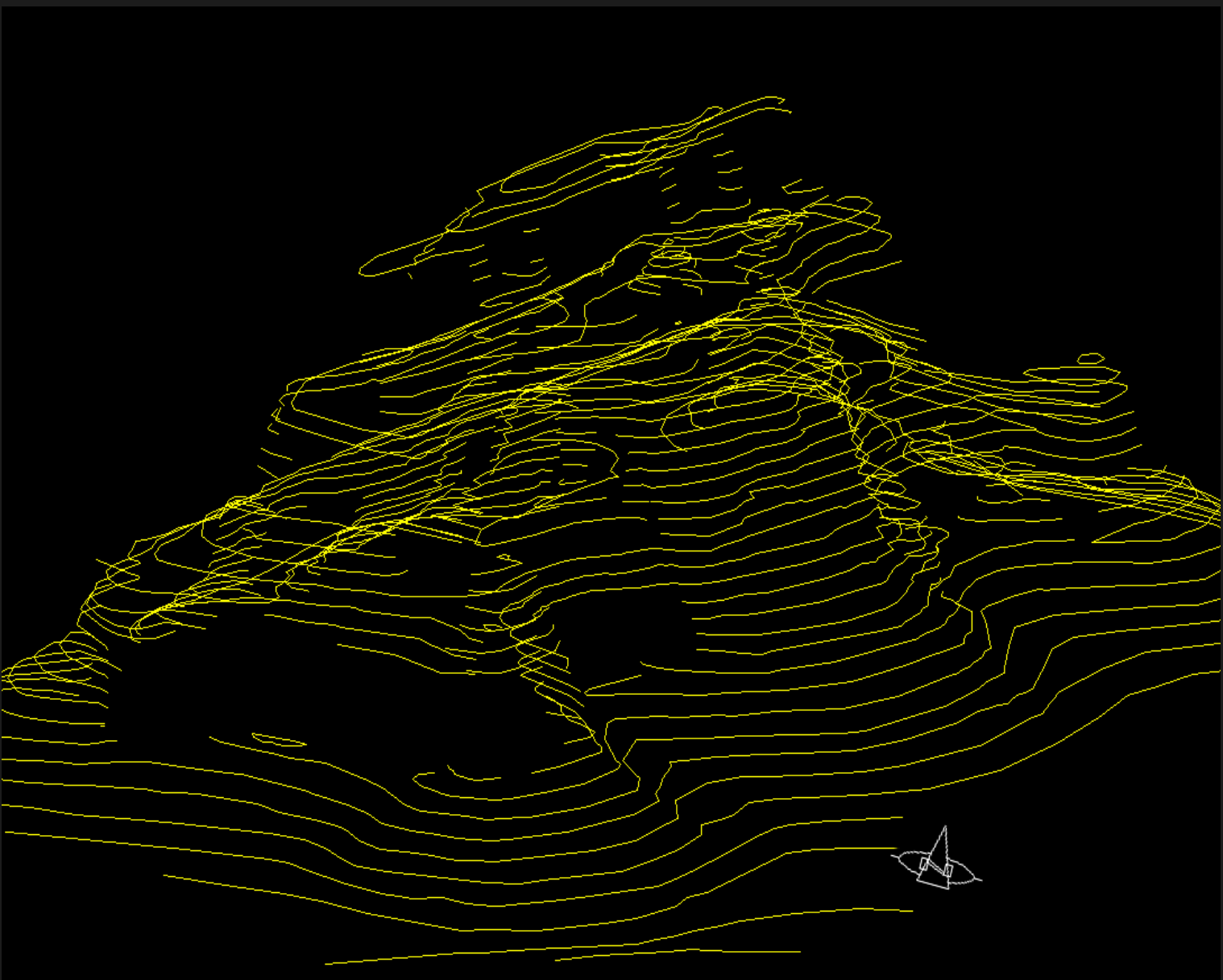
⊕ 5123

⊕ 5124

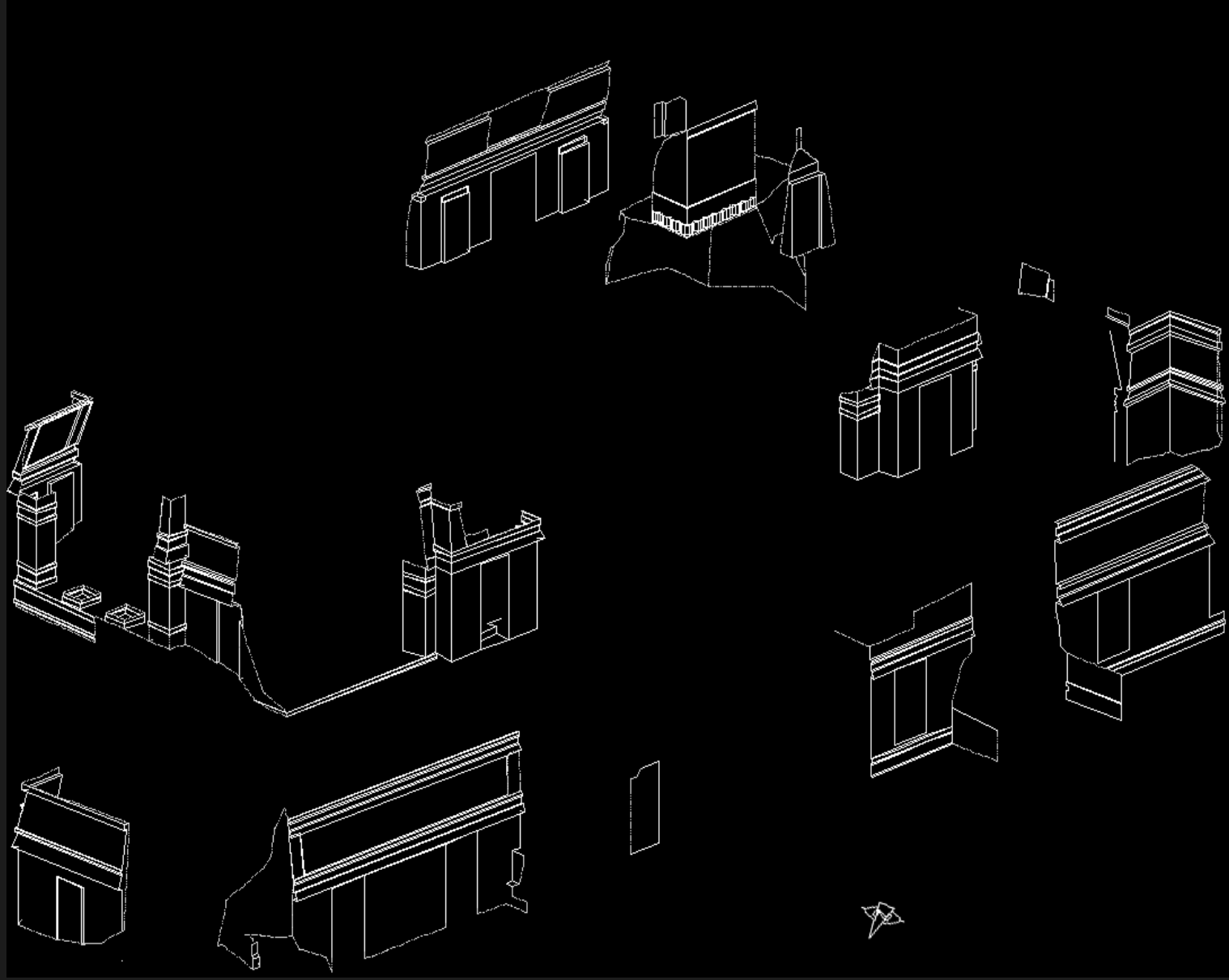


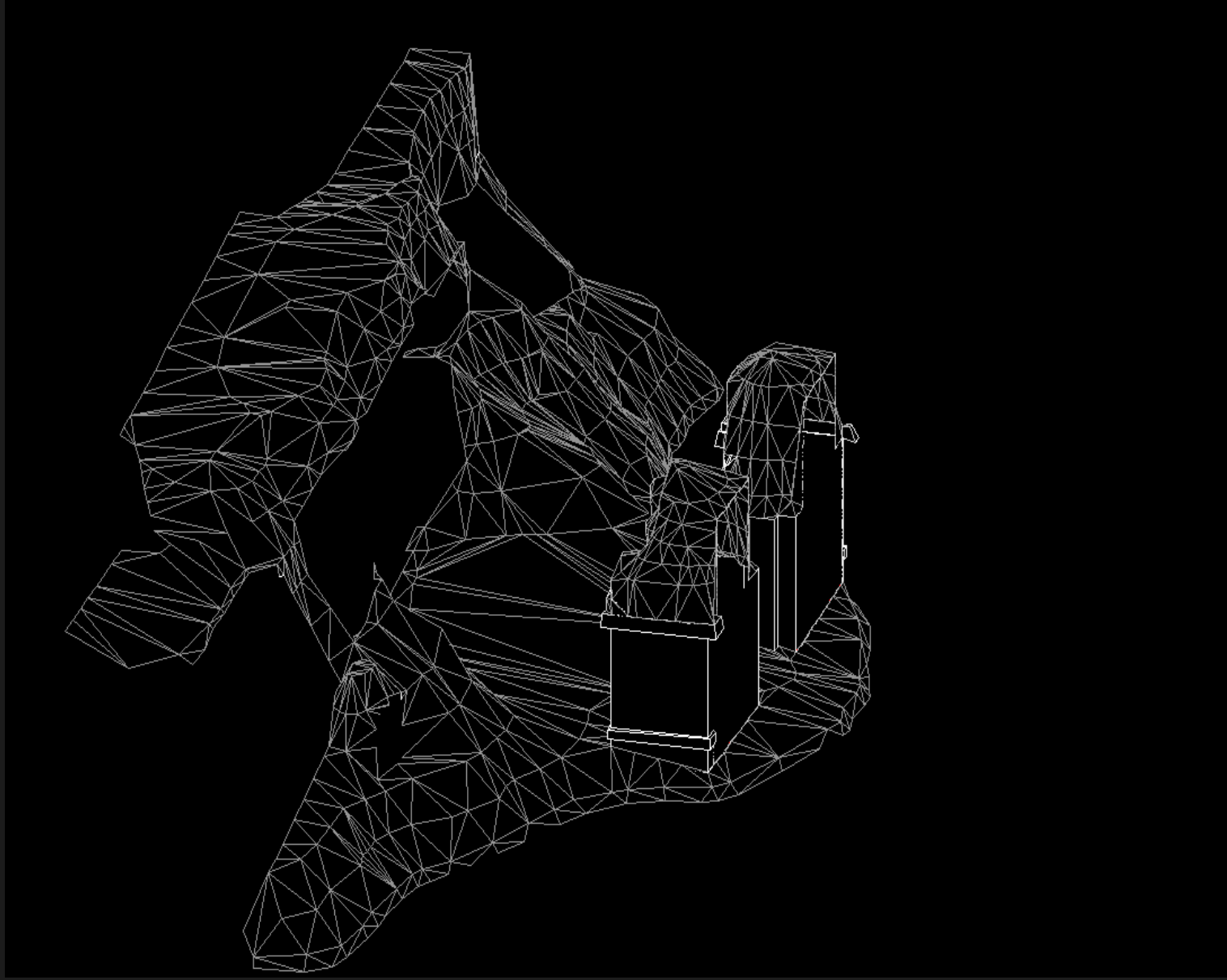


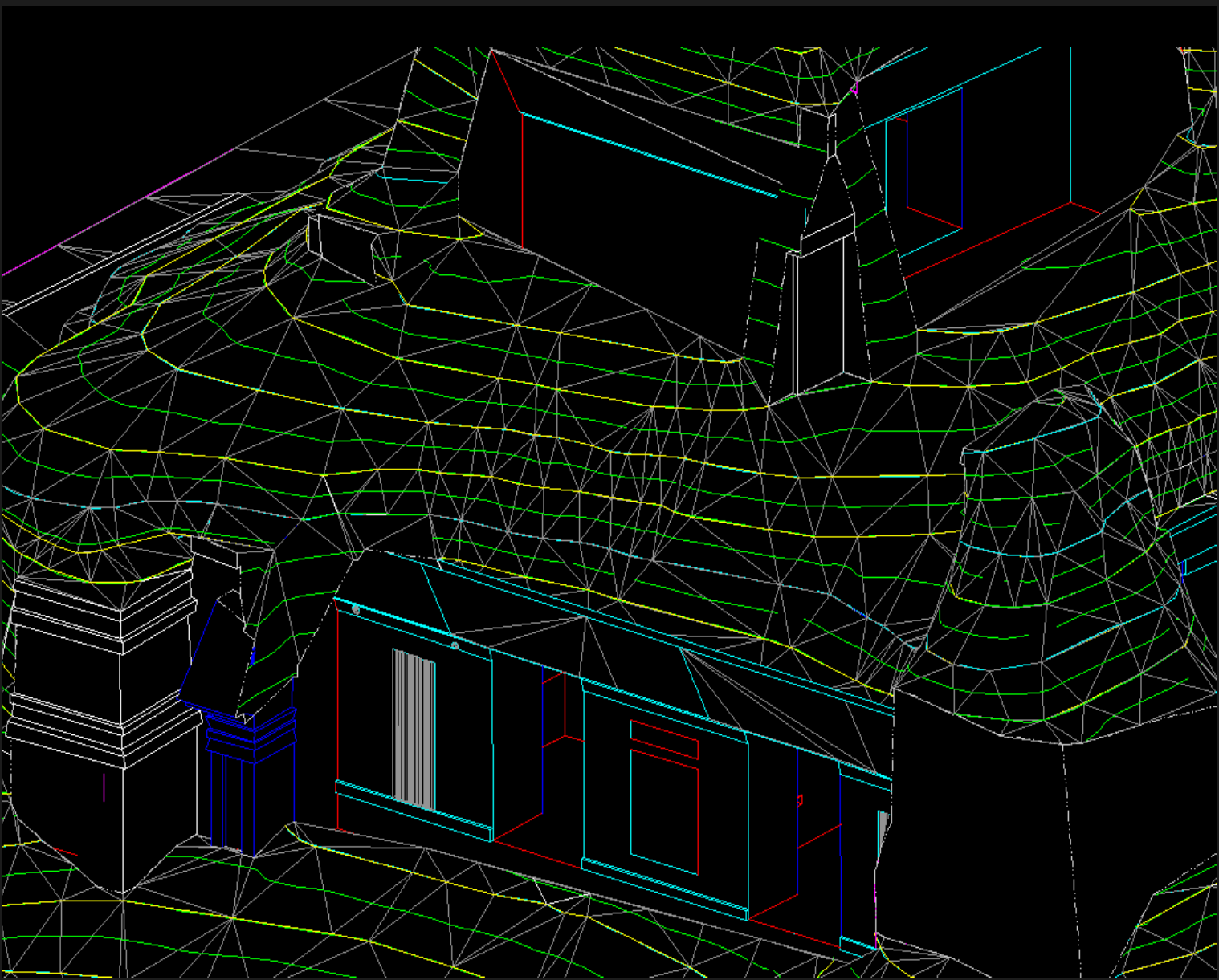


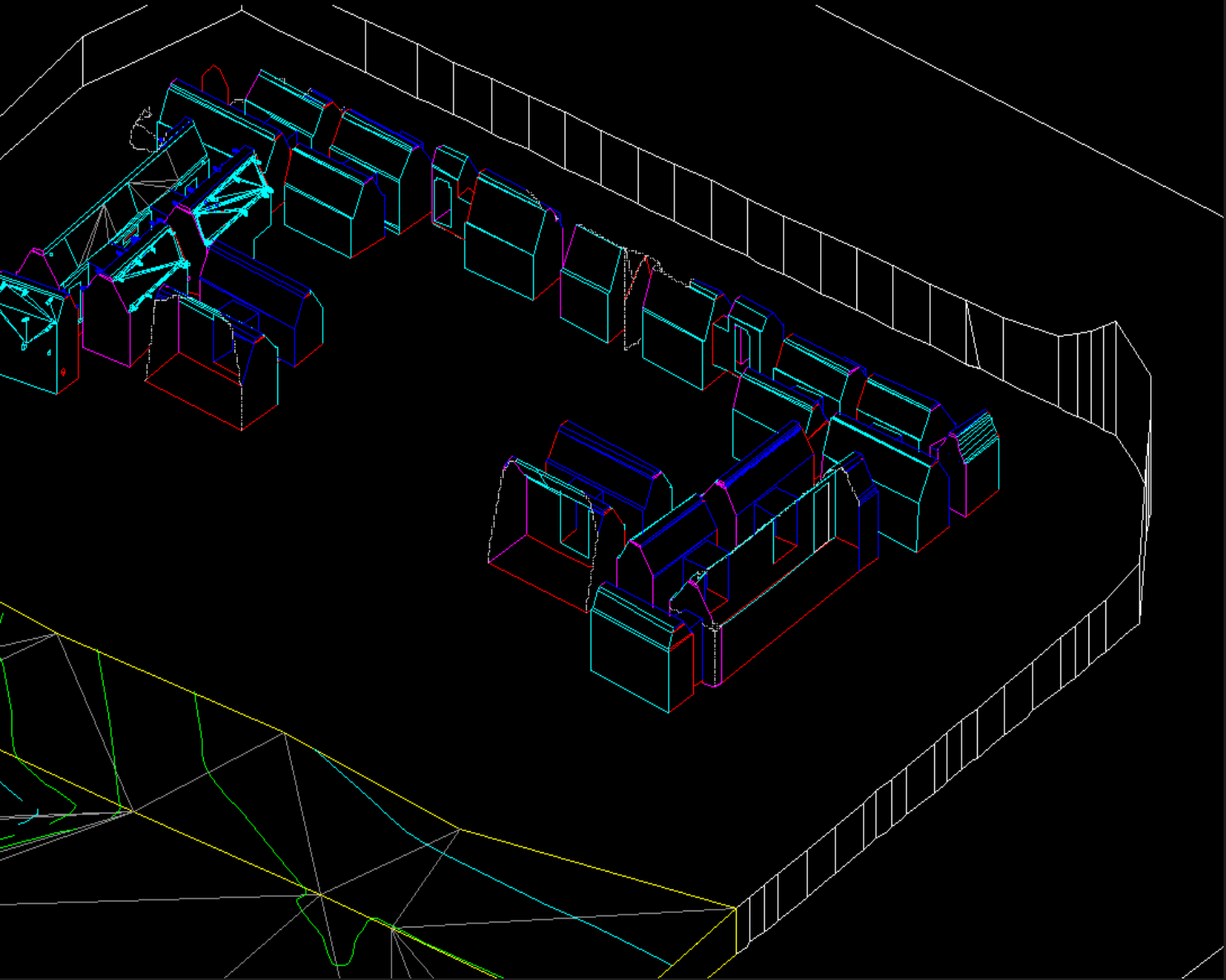


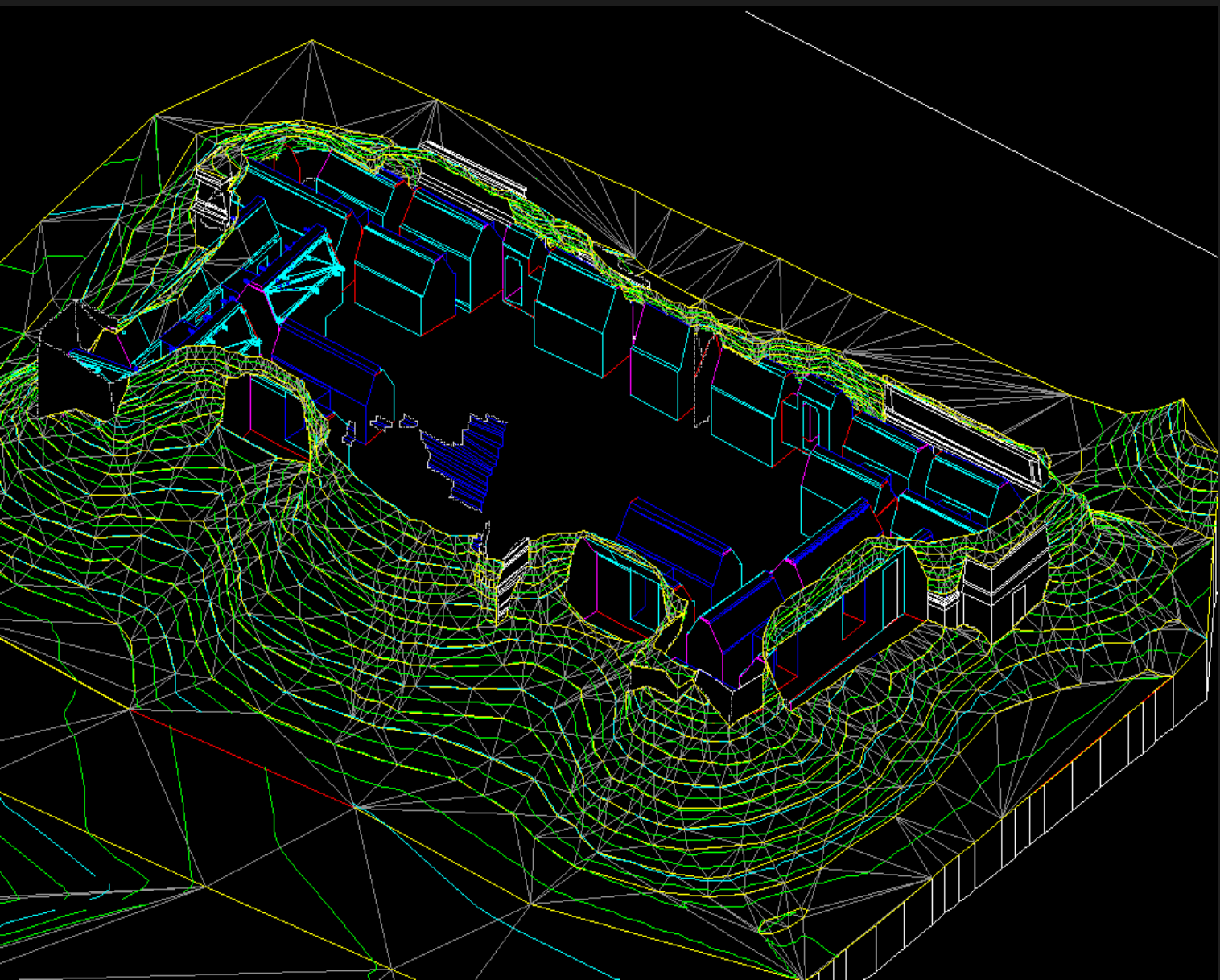


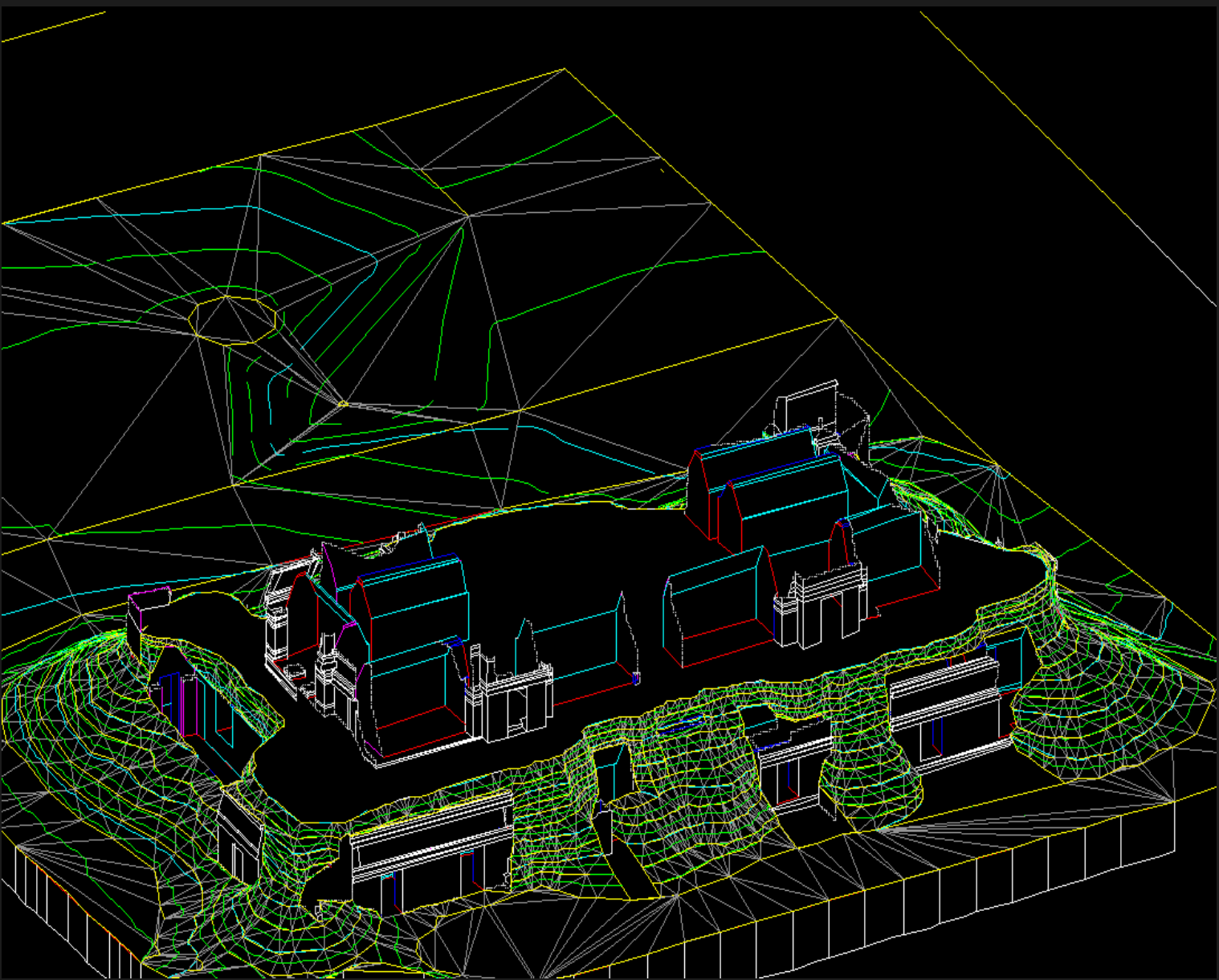




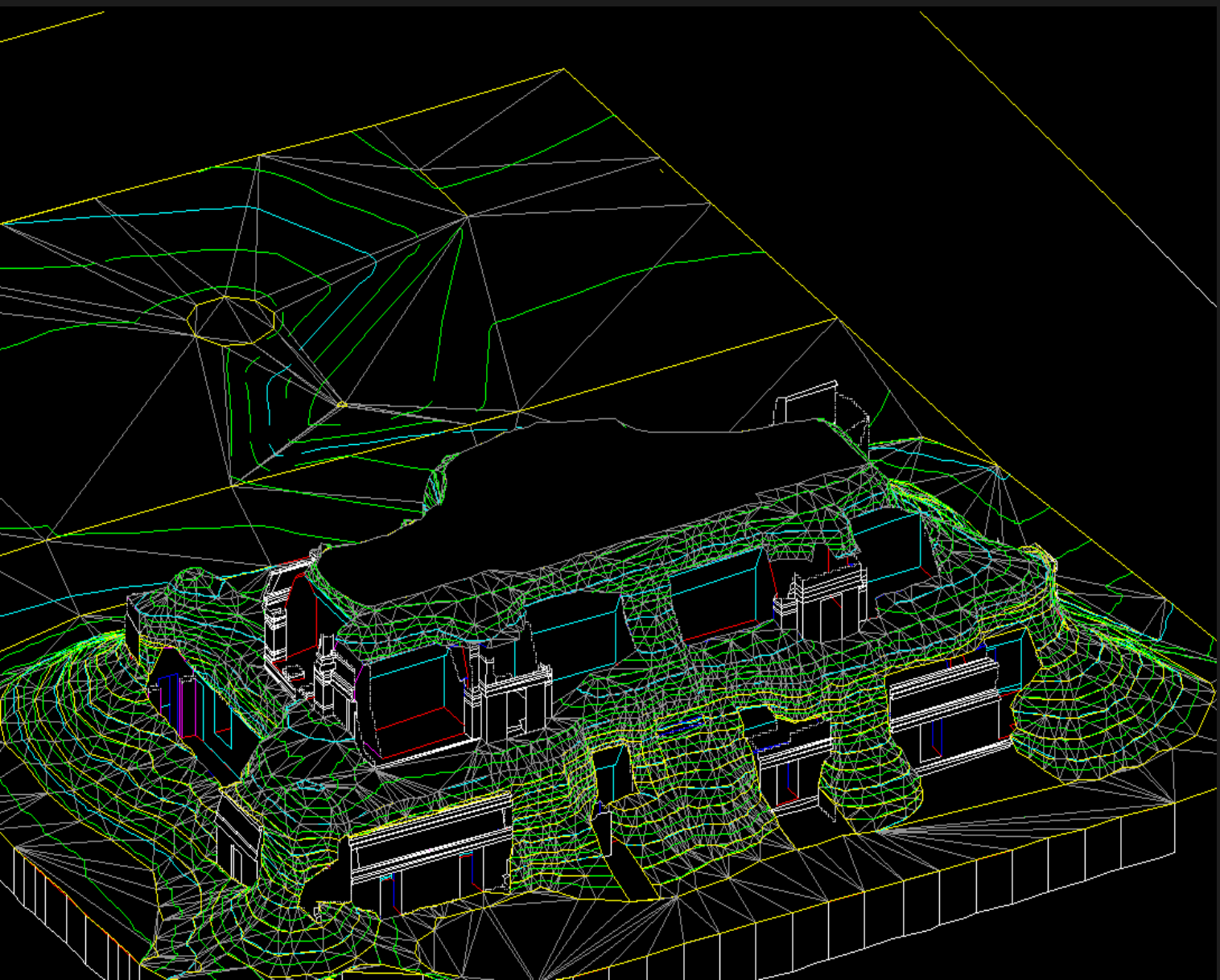


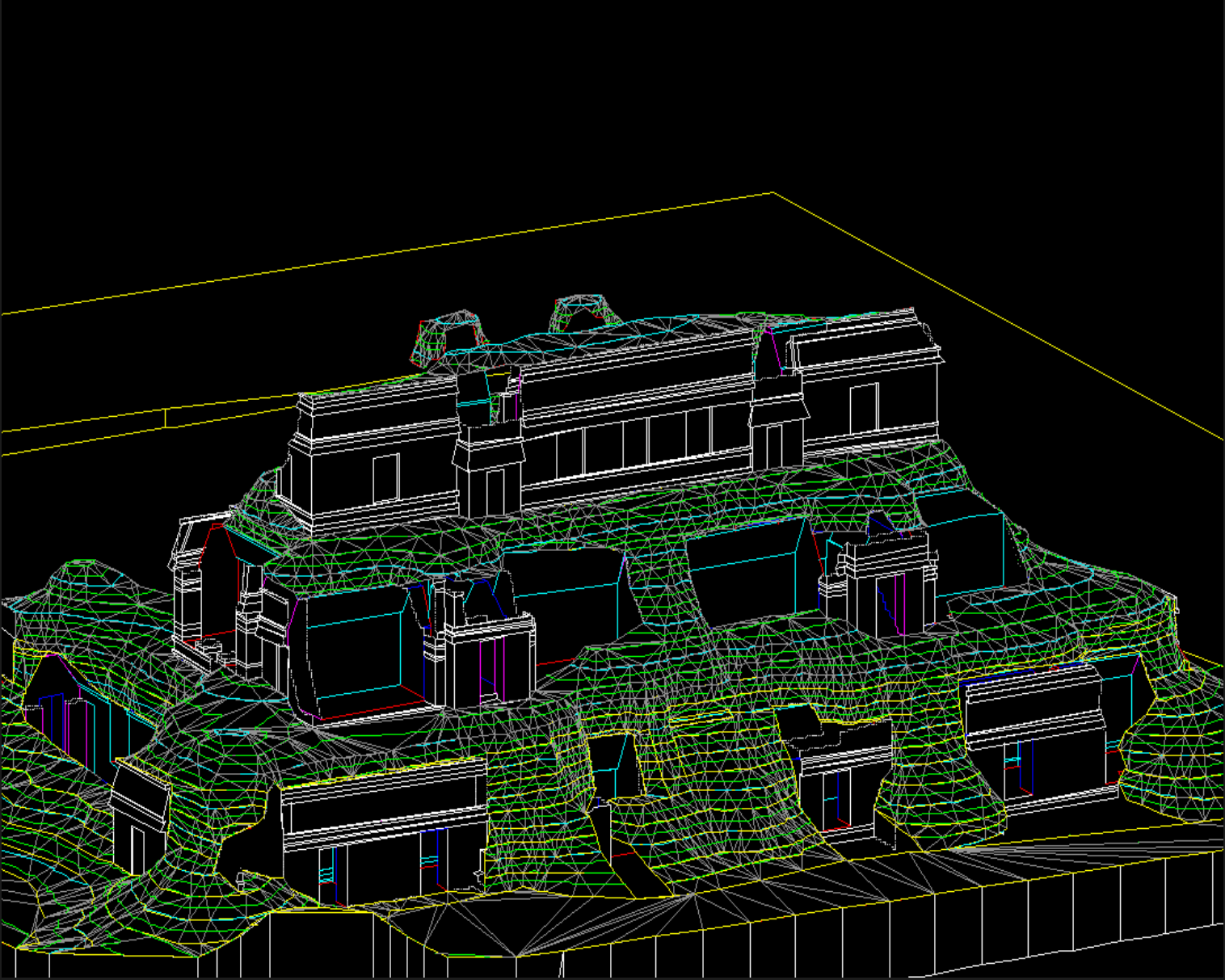




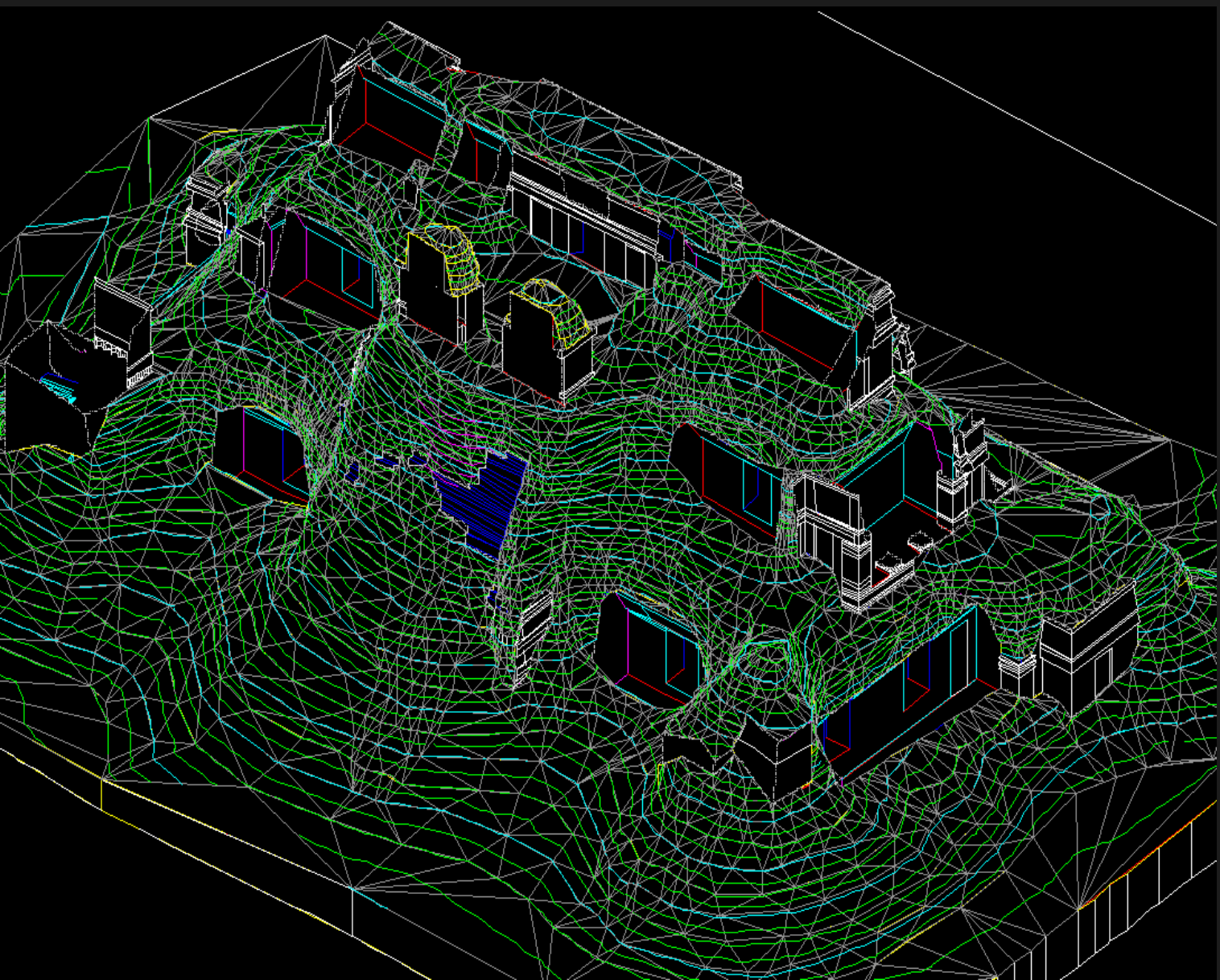


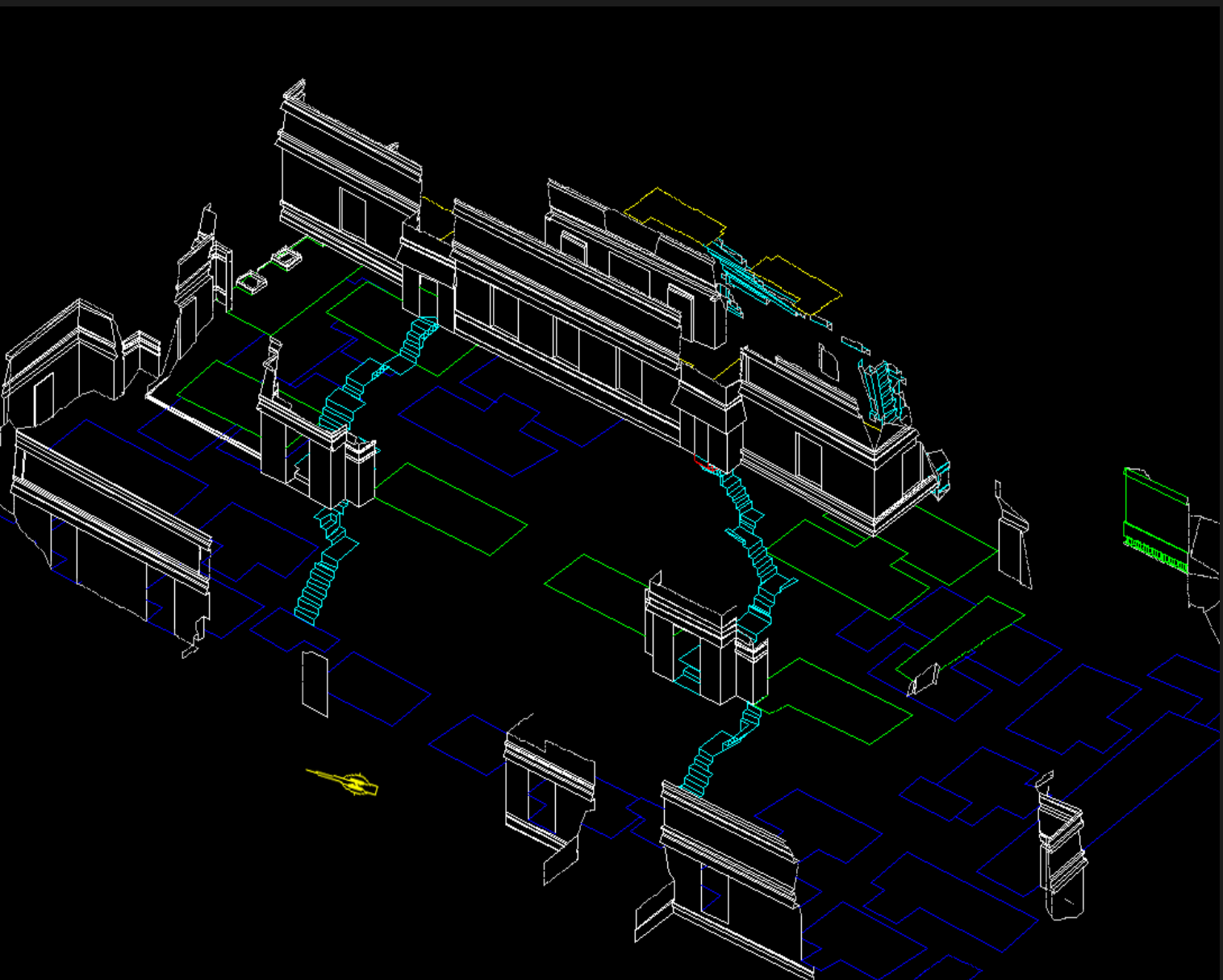


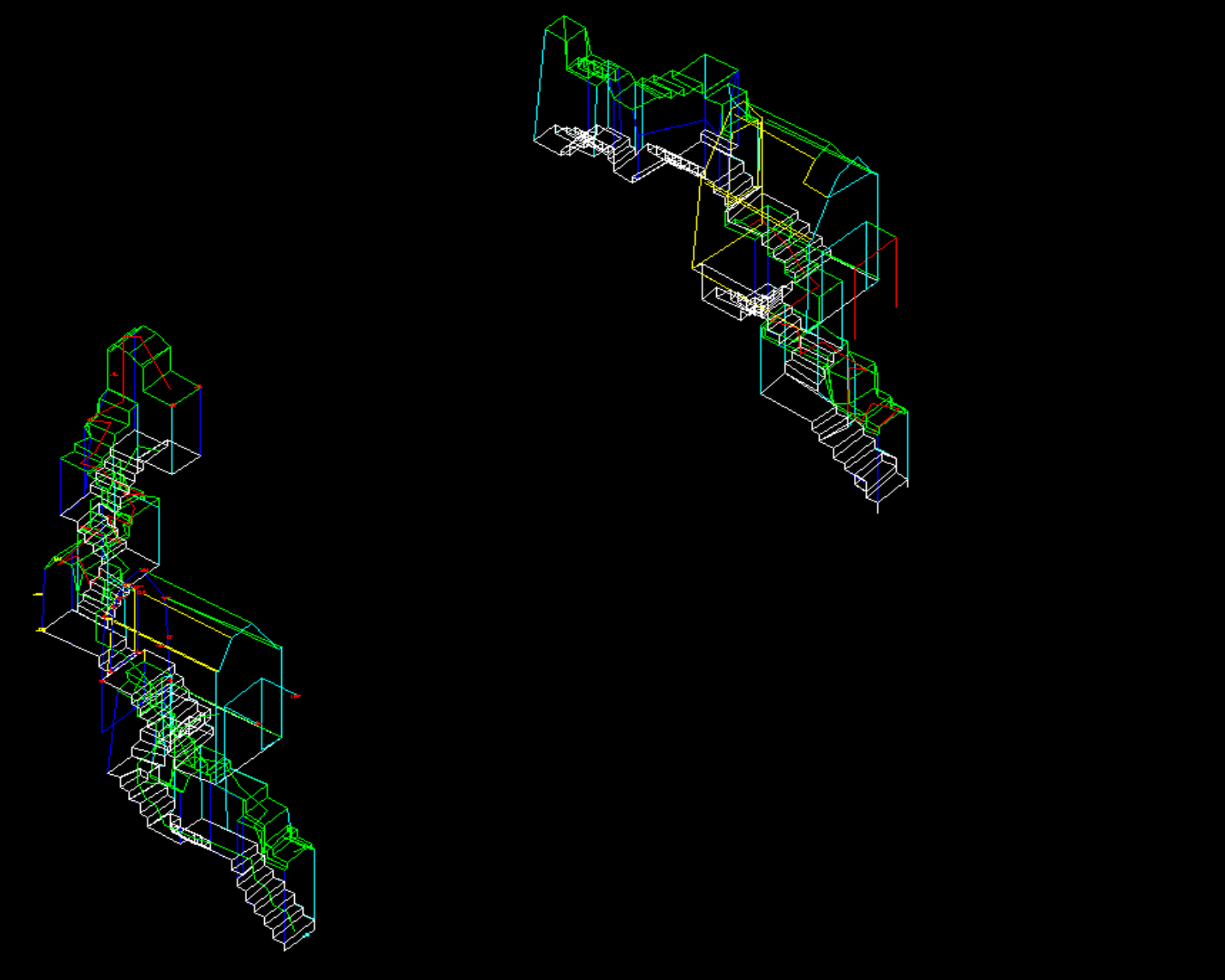




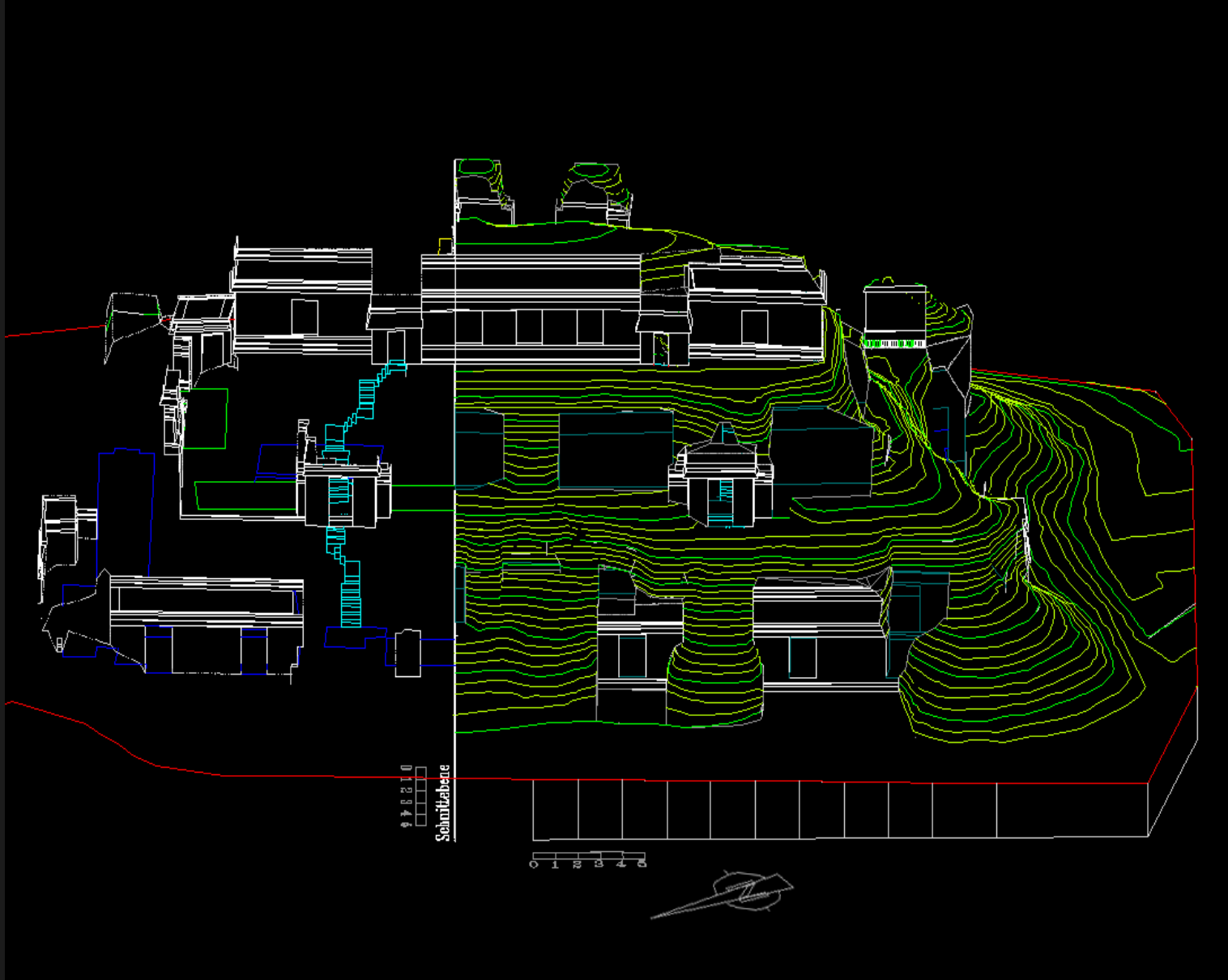


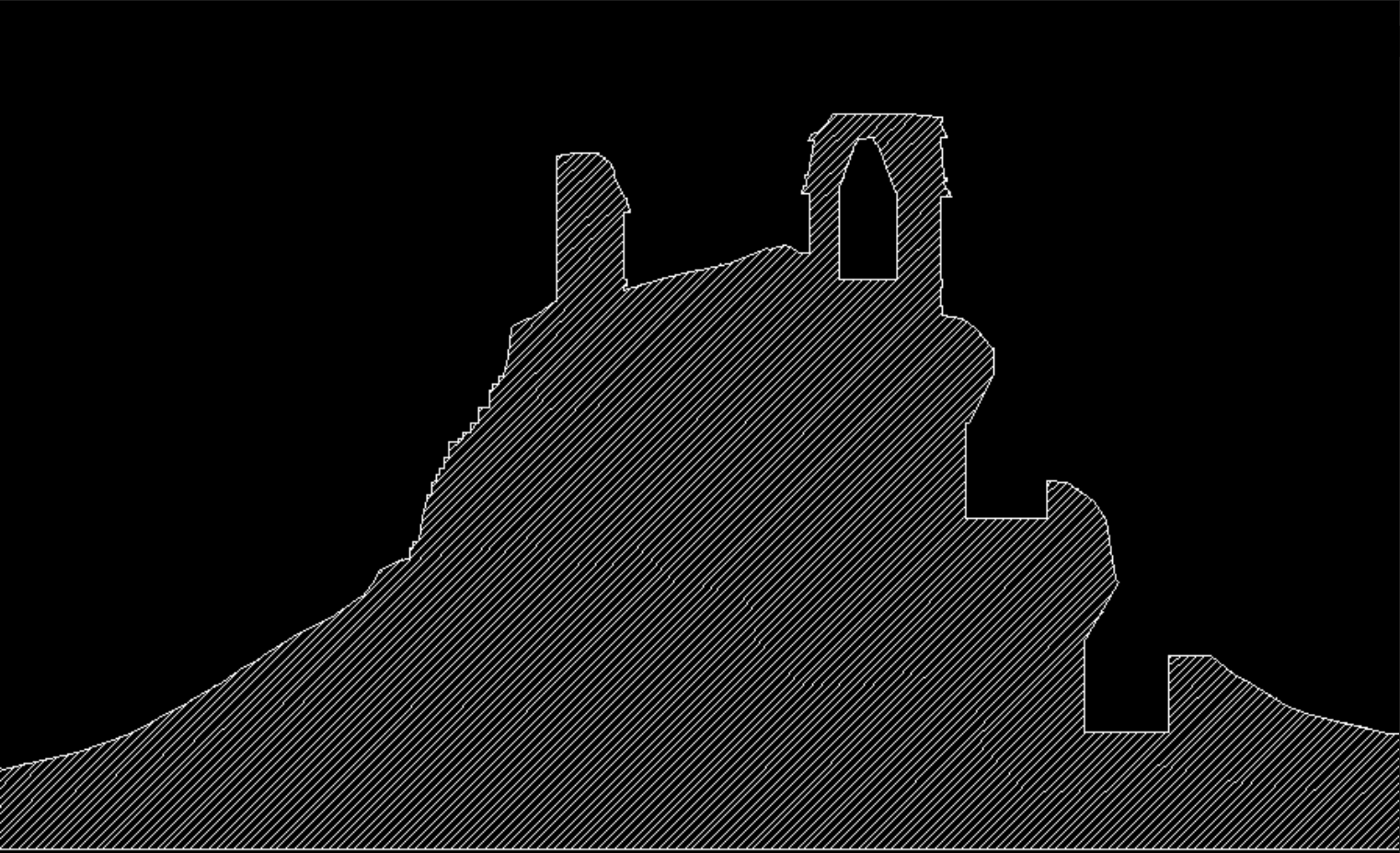






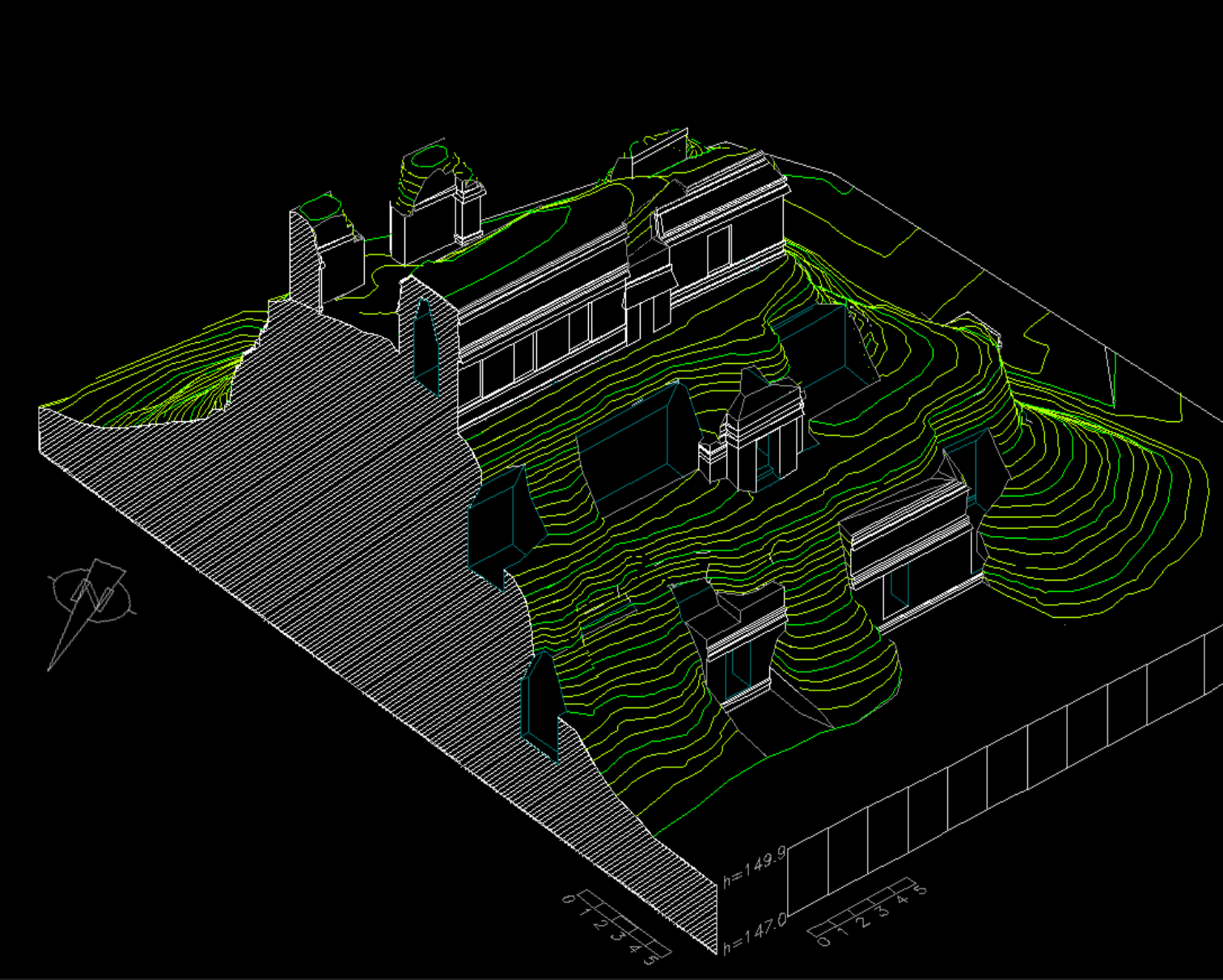




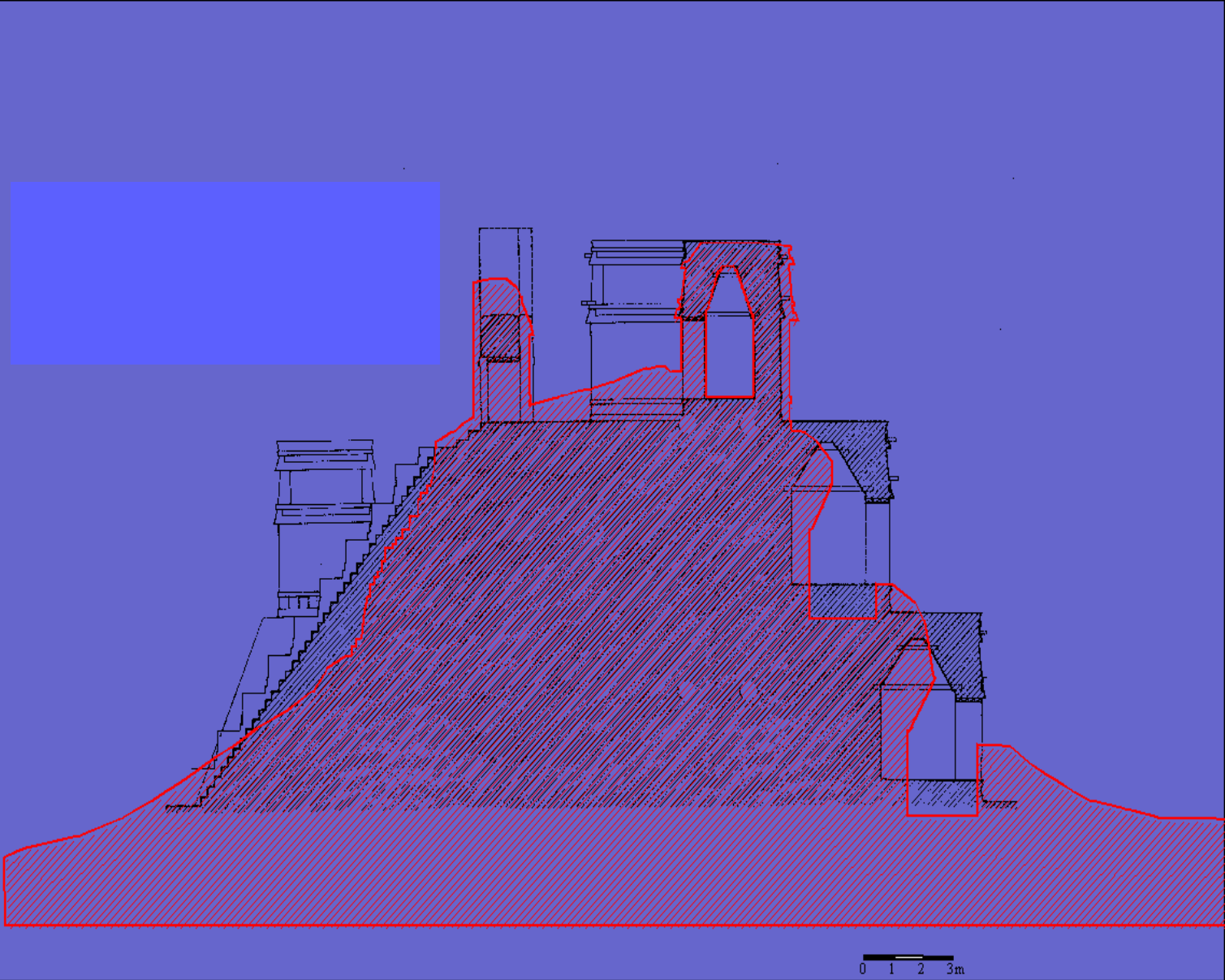


Ost

West











0 1 2 3 4 5

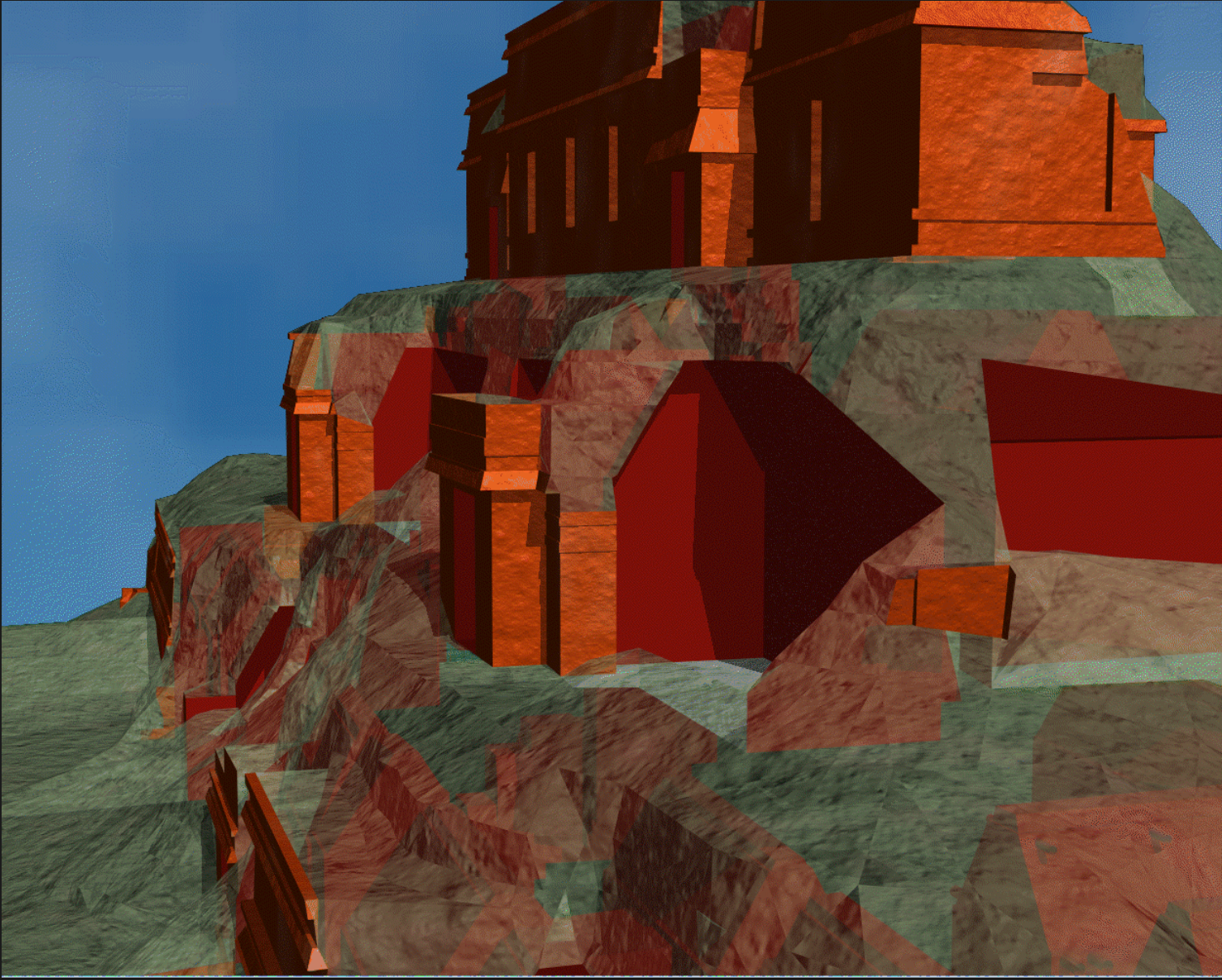
Corte horizontal

z=152m

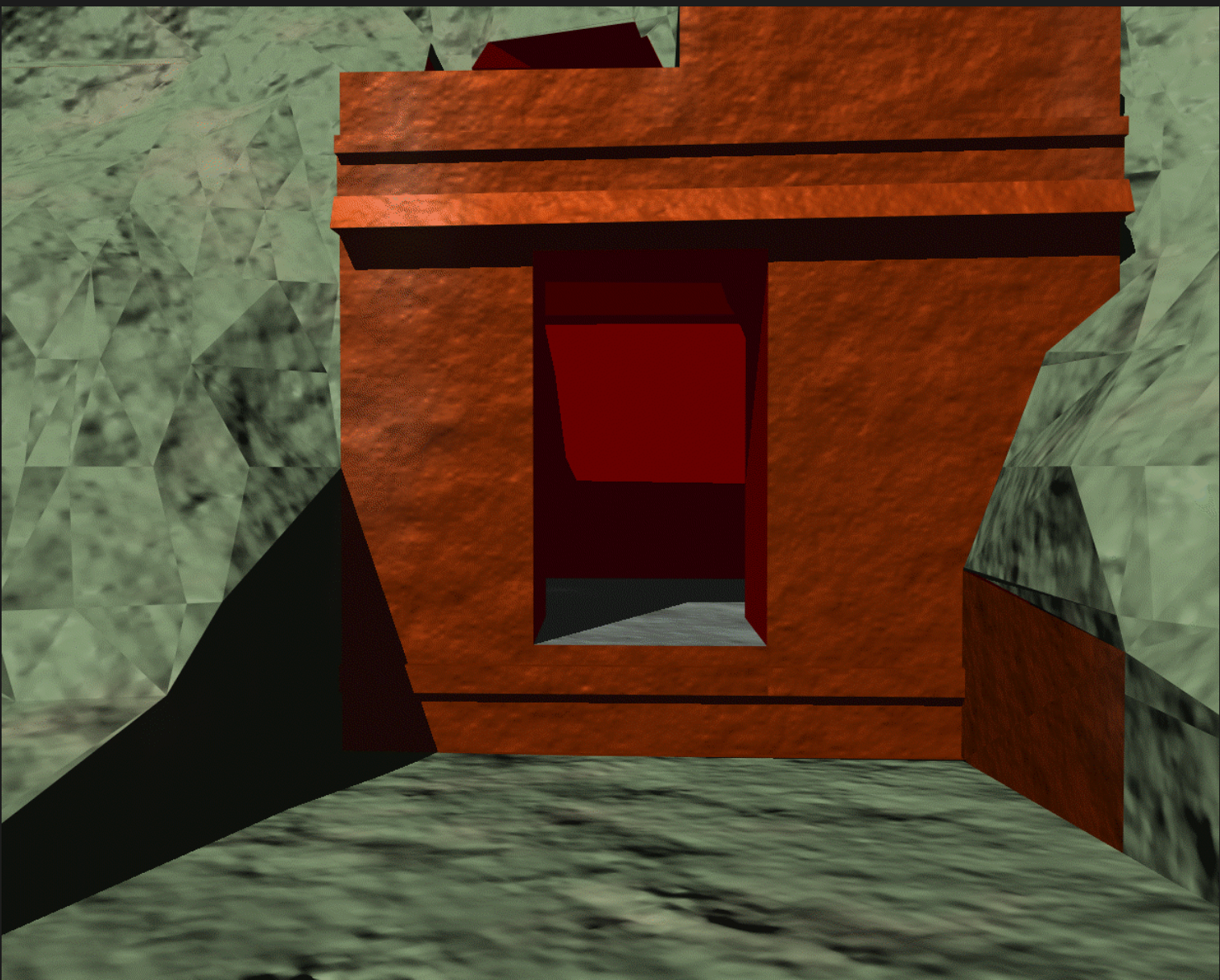






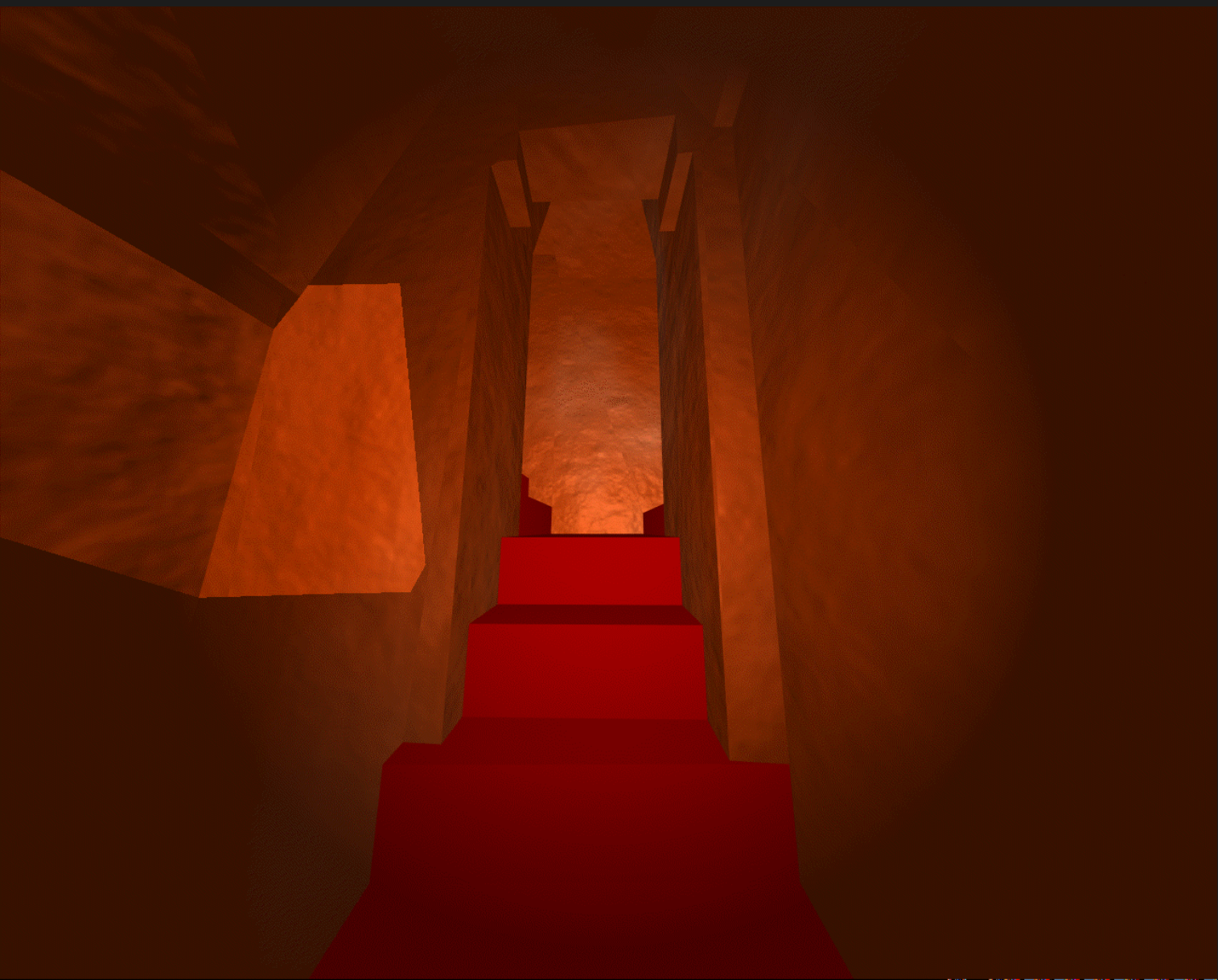




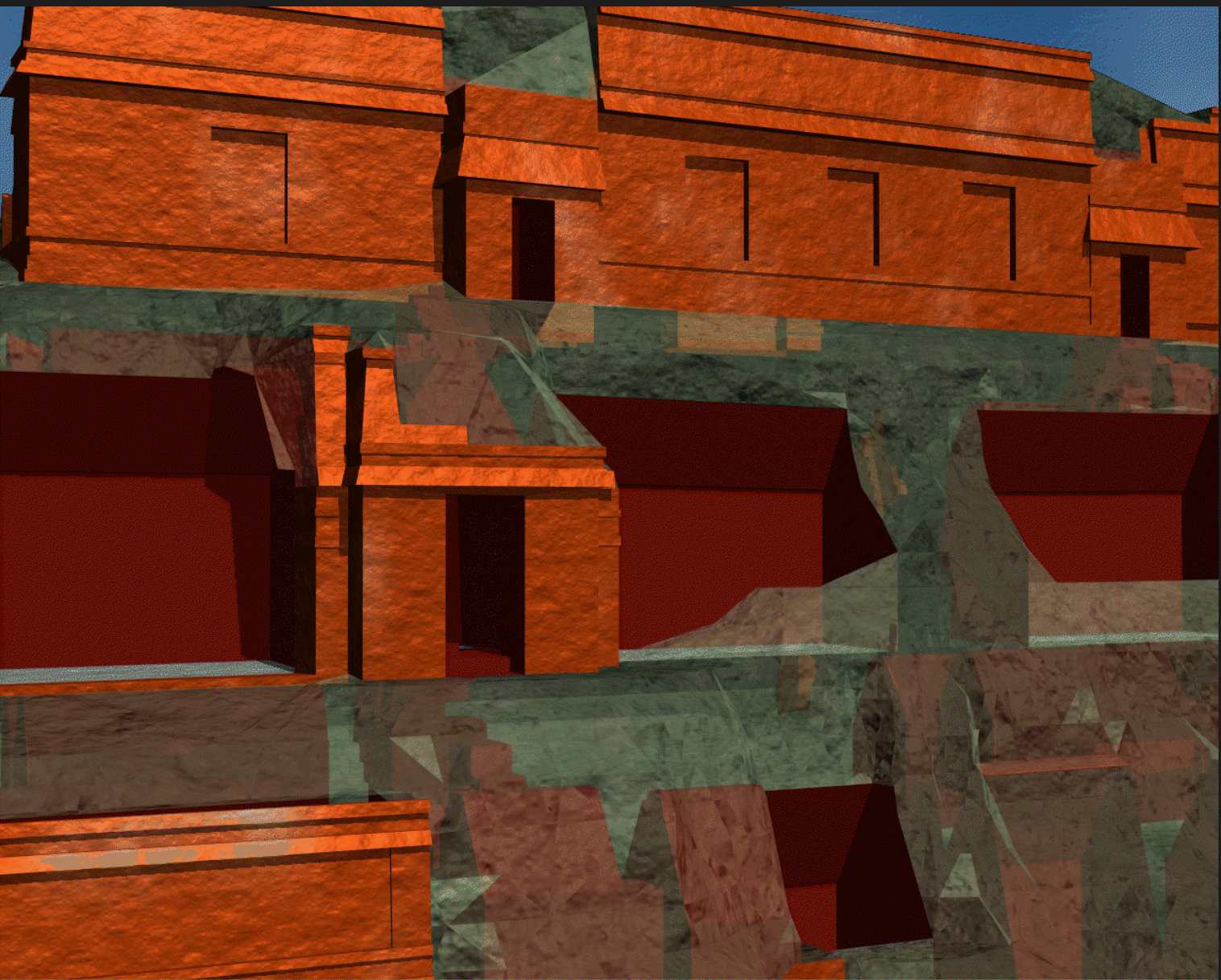




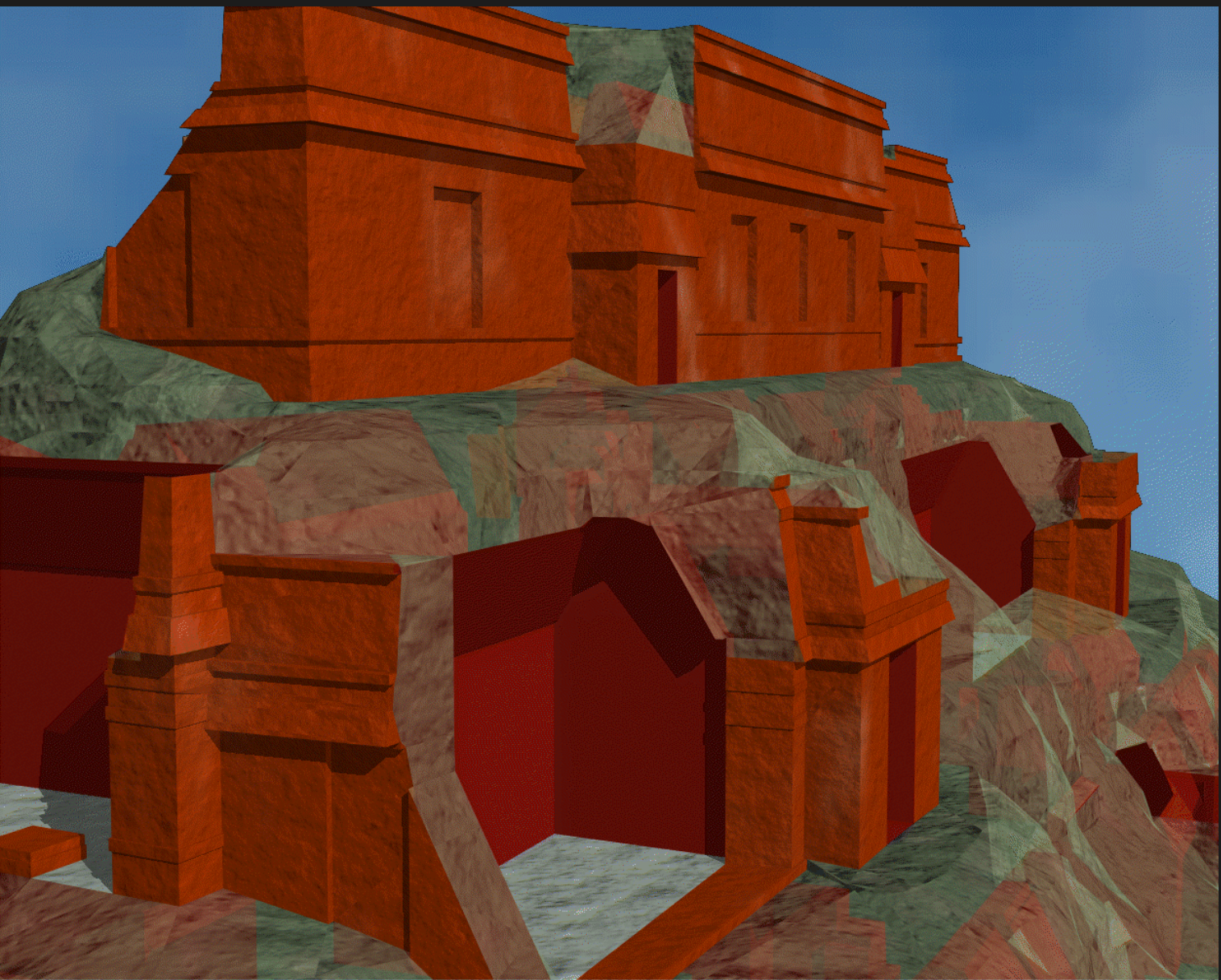




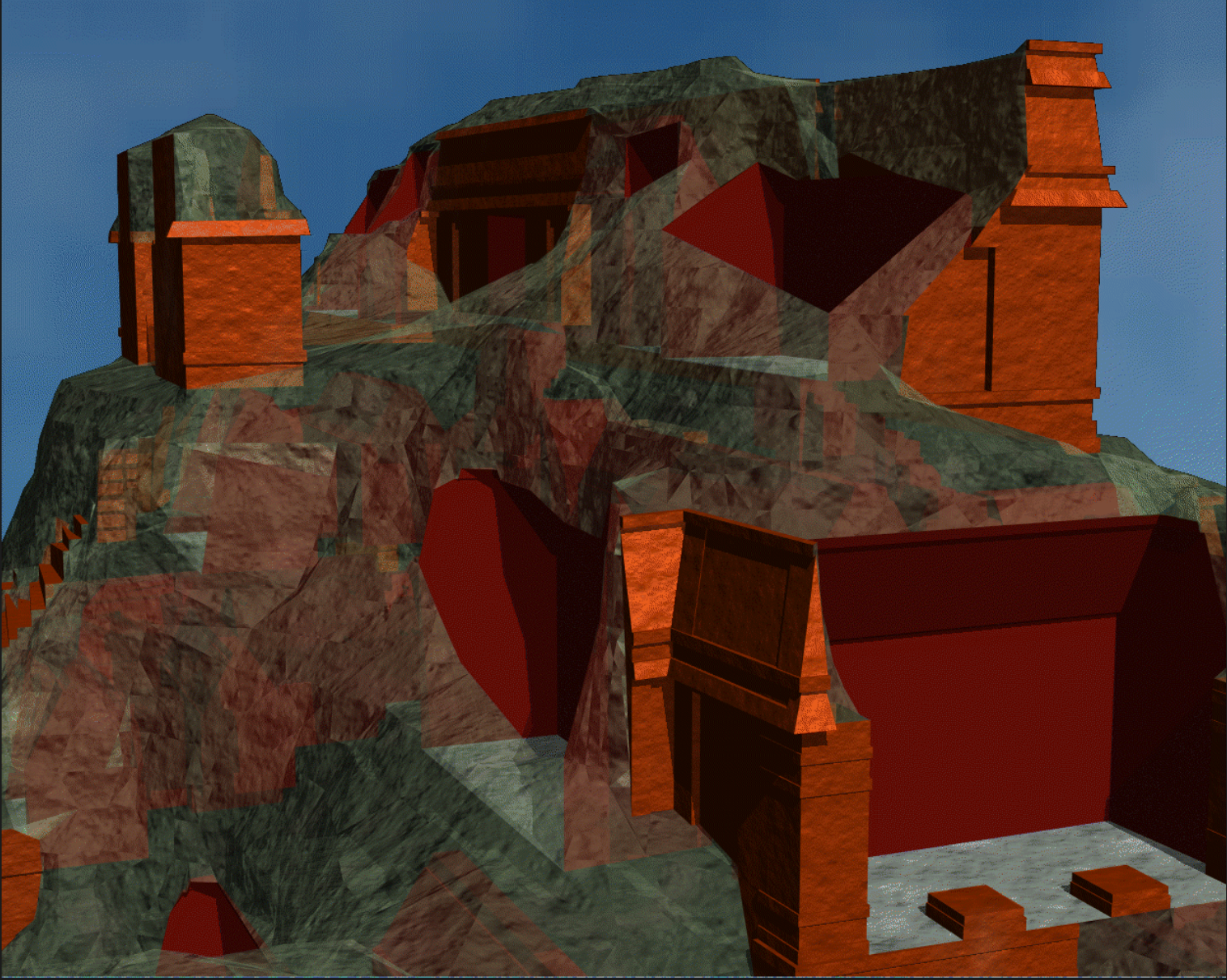




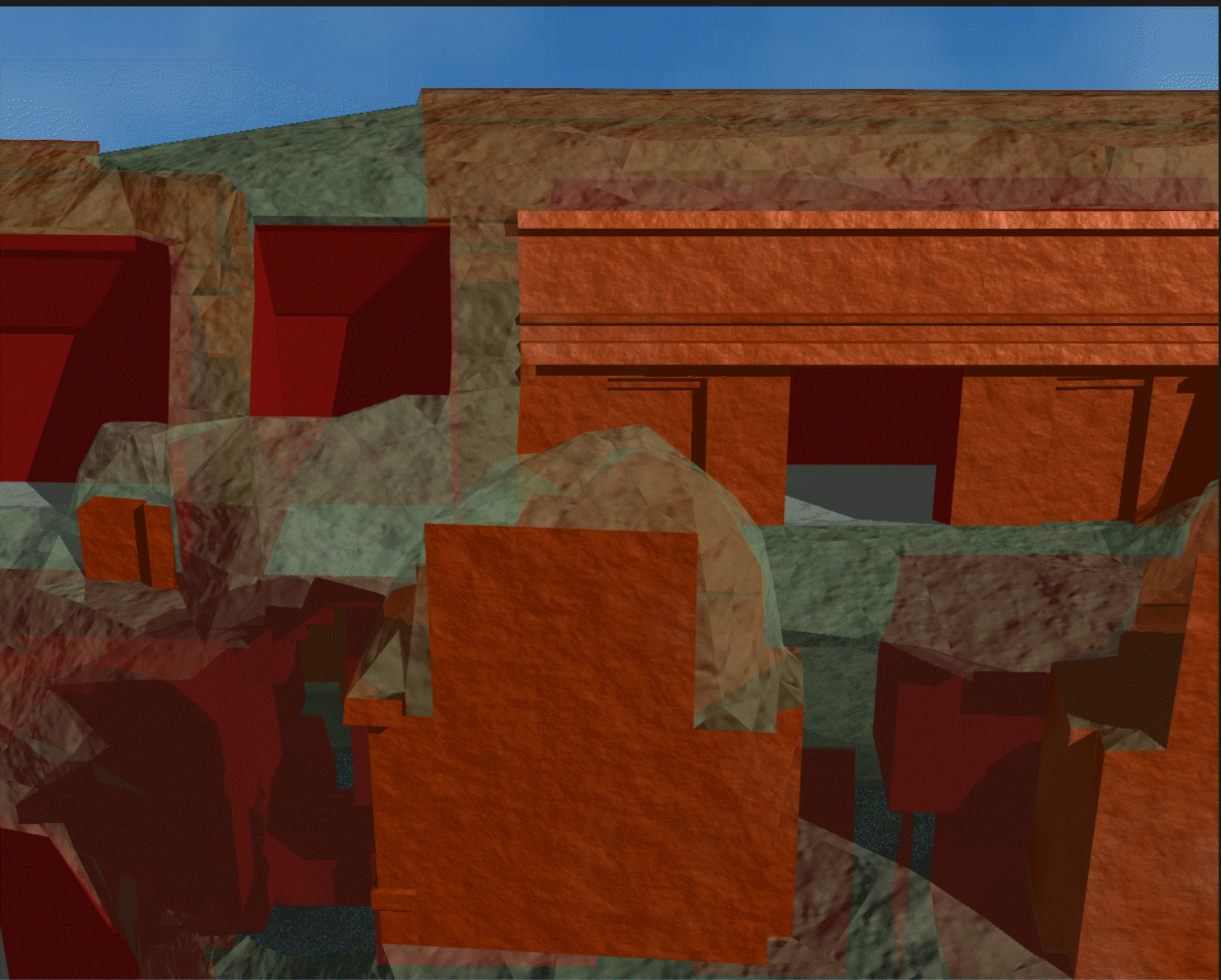




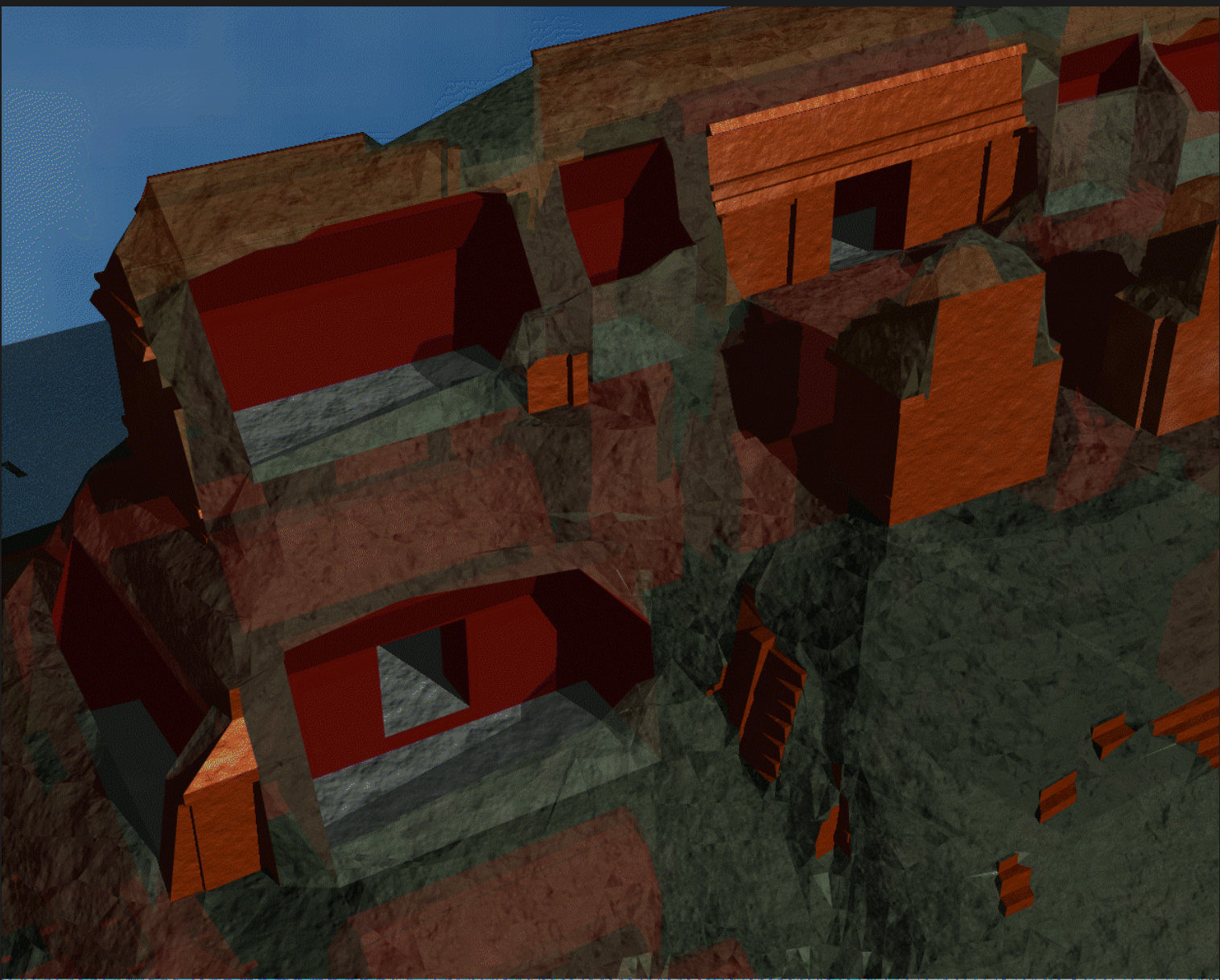




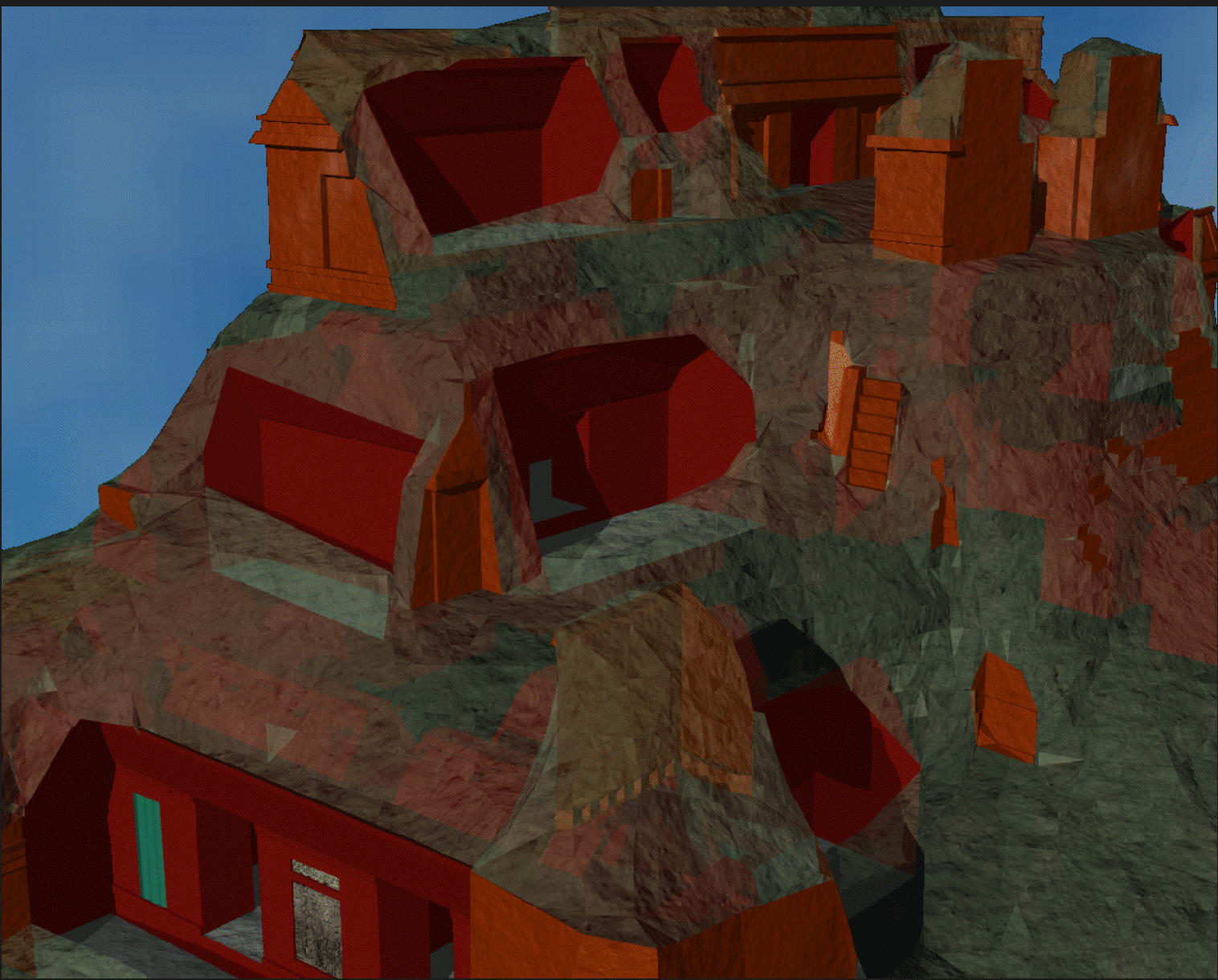




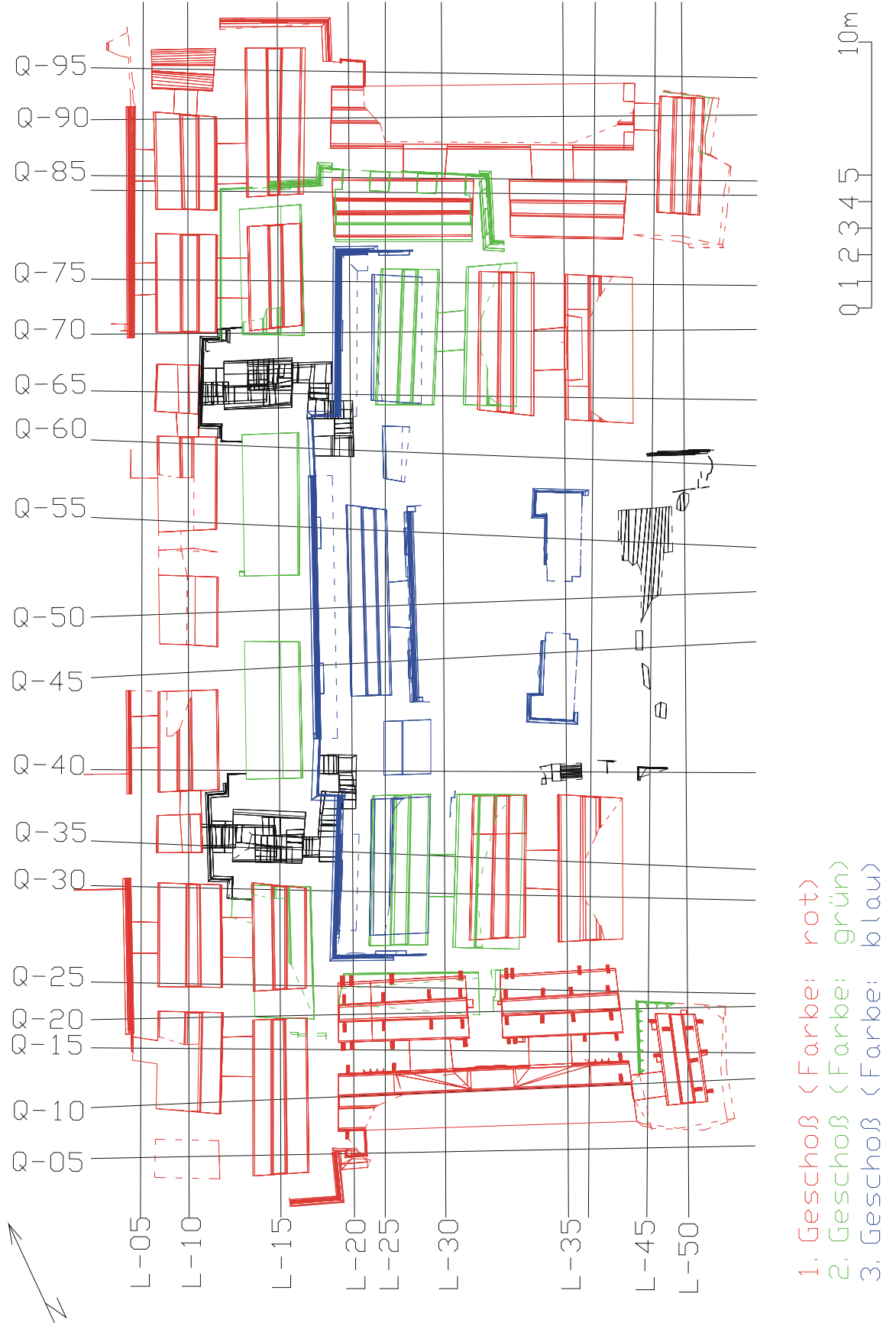




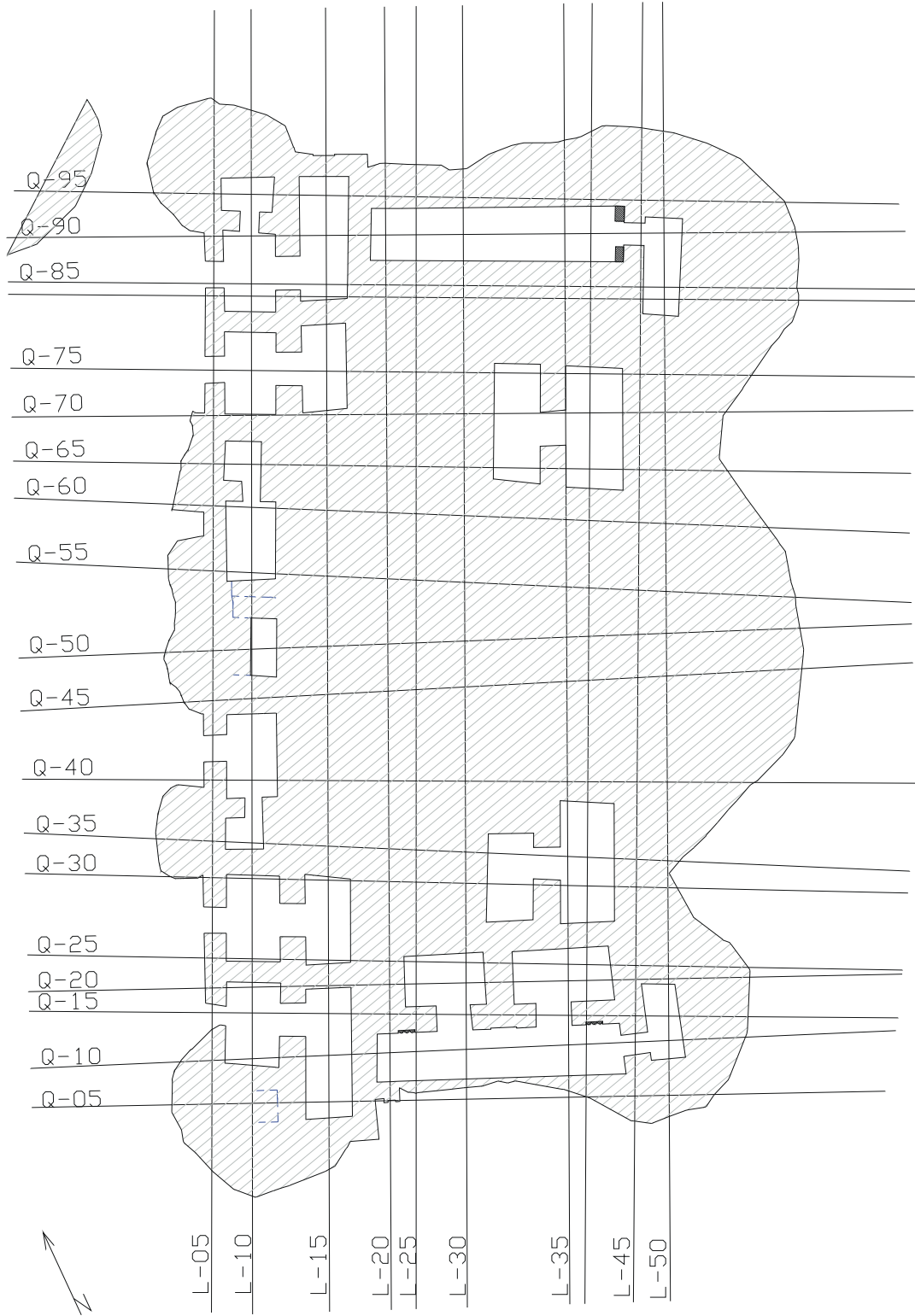




Lage der vertikalen Schnittebenen bezogen auf Räume und Treppen



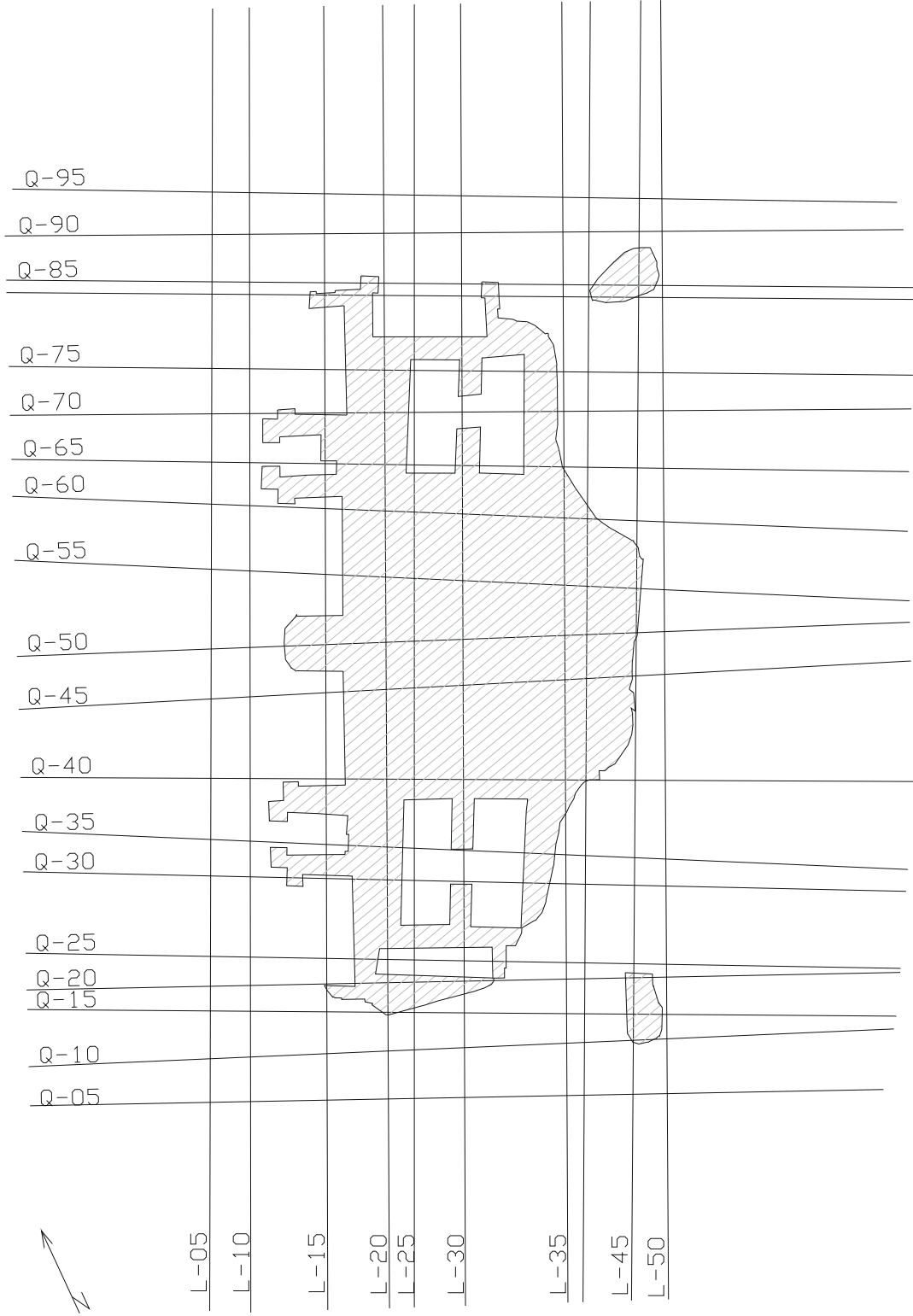
Lage der vertikalen Schnittebenen bezogen auf die Räume der 1. Etage



0 1 2 3 4 5 10m

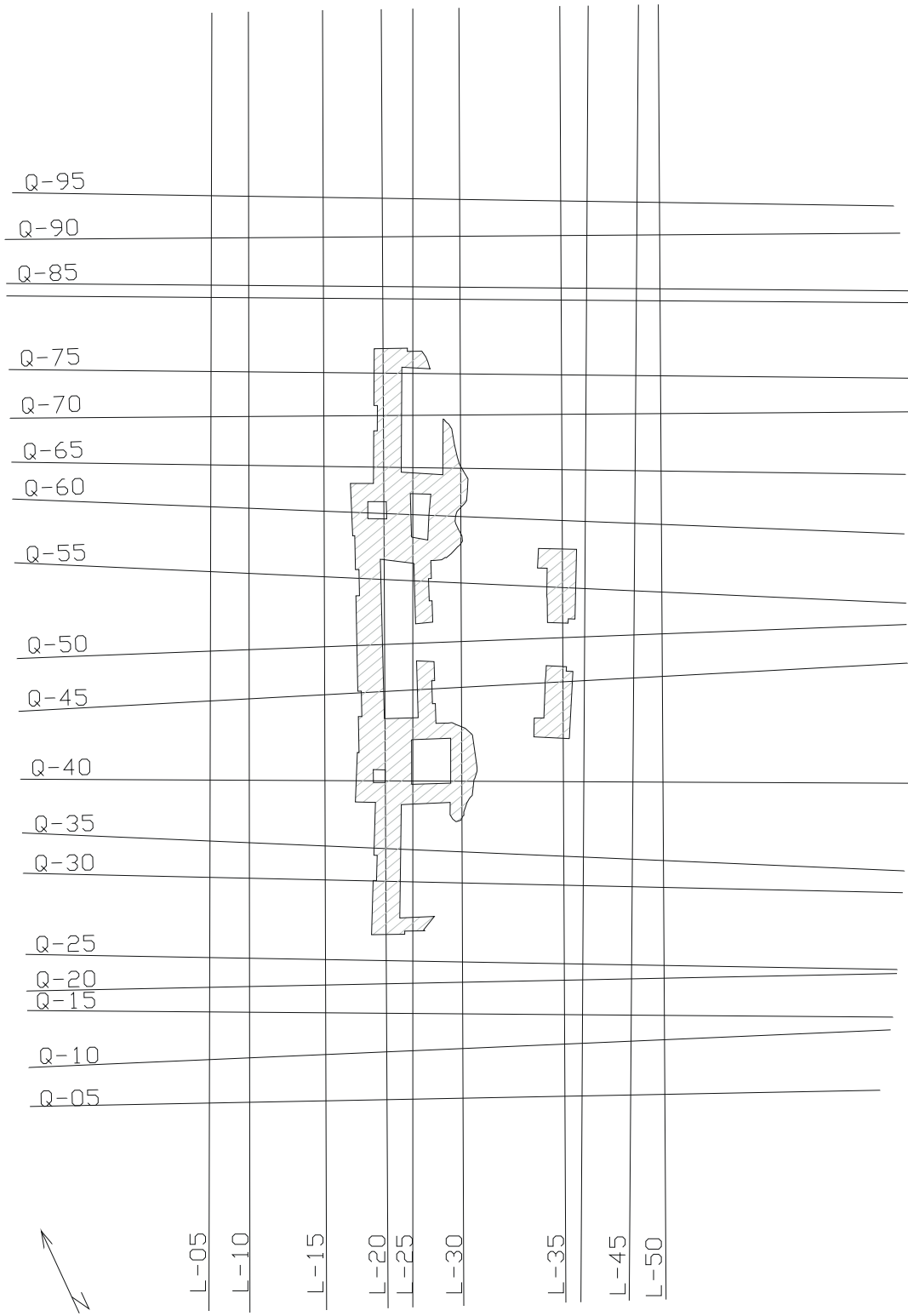


Lage der vertikalen Schnittebenen bezogen auf die Räume der 2. Etage





Lage der vertikalen Schnittebenen bezogen auf die Räume der 3. Etage

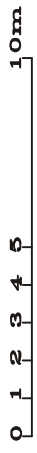
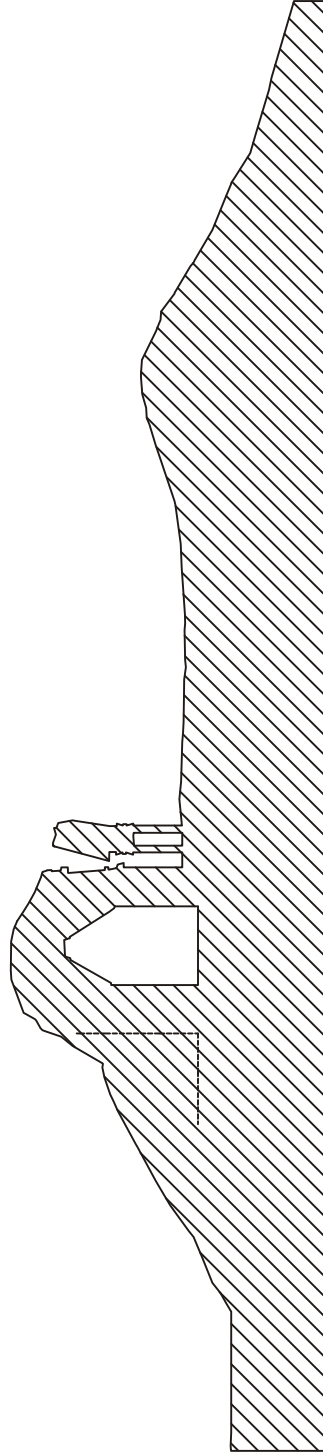


Q-05

Vertikalschnitt quer zur  
Längsachse des Bauwerkes  
"Palacio de Santa Rosa Xtampak"

M 1:200

mit  
induktiven Ergänzungen ( - - - - - )



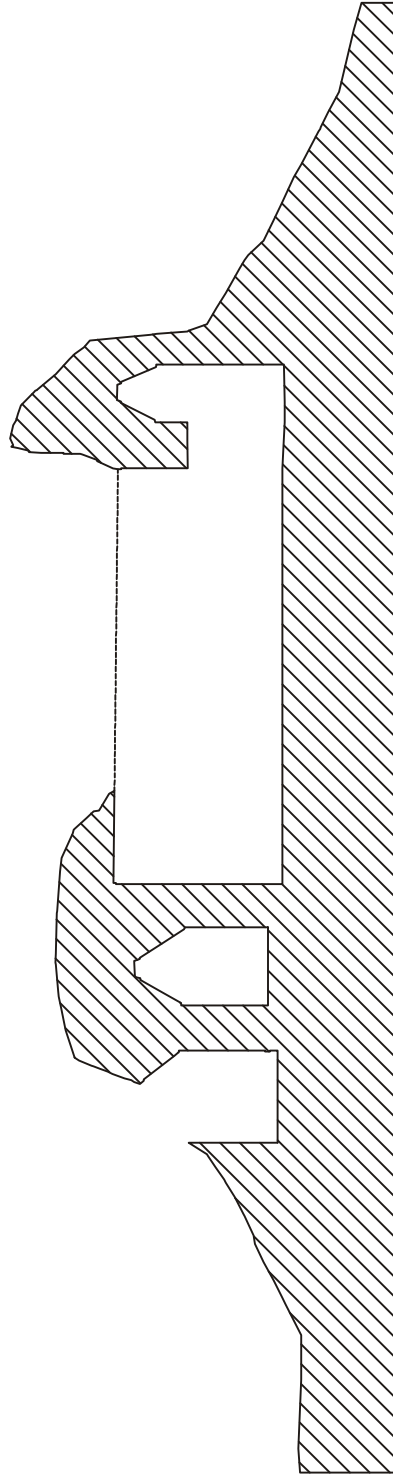
West

# Q-10

Vertikalschnitt quer zur  
Längsachse des Bauwerkes  
"Palacio de Santa Rosa Xtampak"

M 1:200

mit  
induktiven Ergänzungen ( - - - - - )



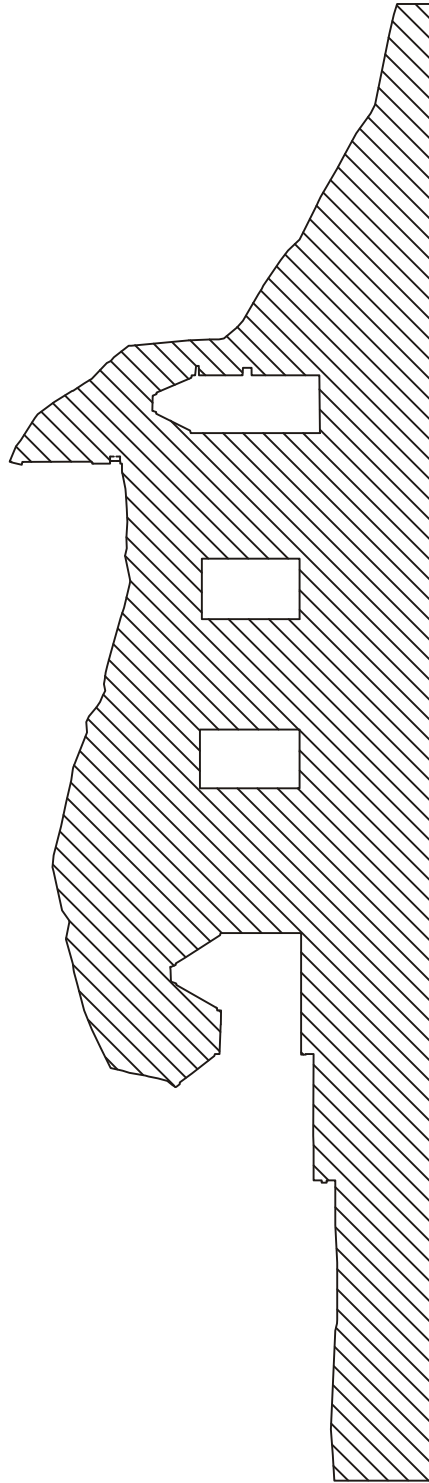
◁ West

# Q-15

Vertikalschnitt quer zur  
Längsachse des Bauwerkes  
"Palacio de Santa Rosa Xtampak"

M 1:200

mit  
induktiven Ergänzungen ( - - - - - )



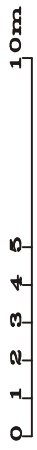
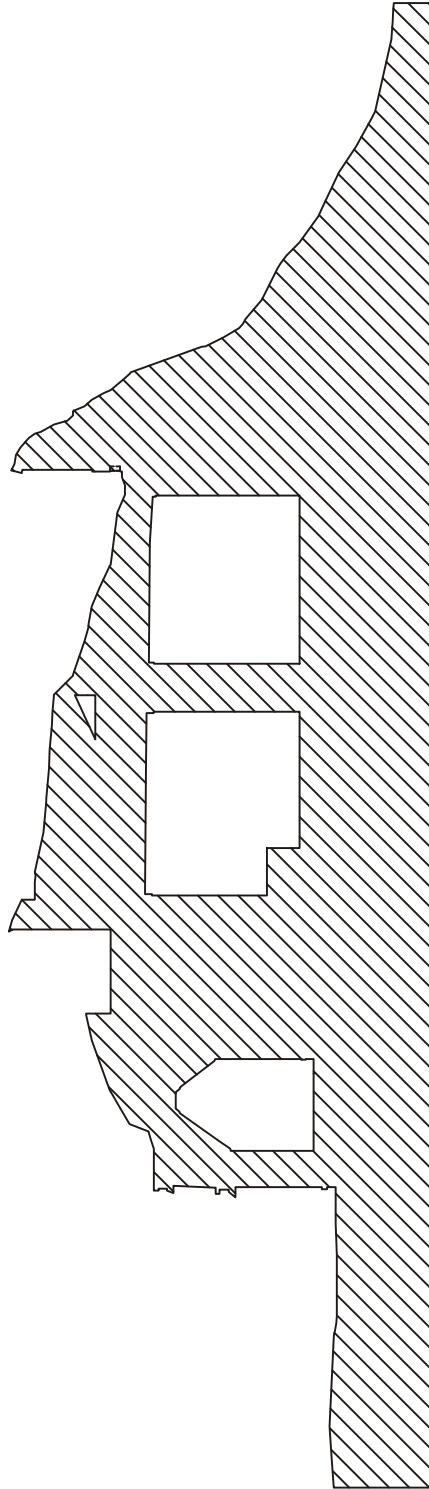
West

Q-20

Vertikalschnitt quer zur  
Längsachse des Bauwerkes  
"Palacio de Santa Rosa Xtampak"

M 1:200

mit  
induktiven Ergänzungen ( - - - - - )

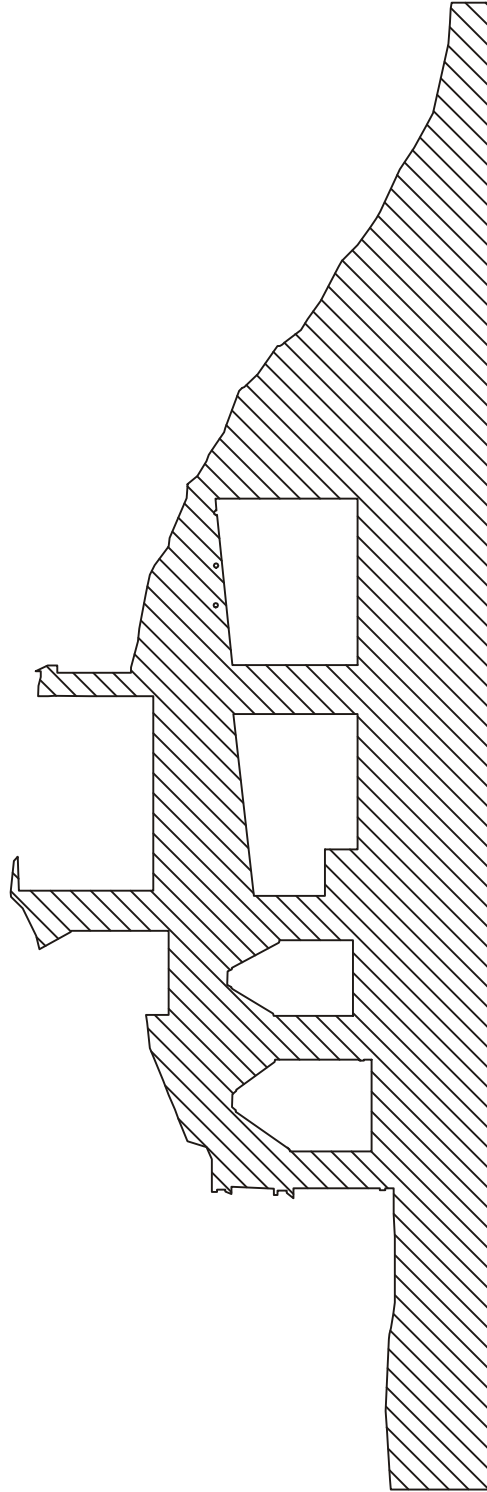


◁ West

Q-25

Vertikalschnitt quer zur  
Längsachse des Bauwerkes  
"Palacio de Santa Rosa Xtampak"

M 1:200



0 1 2 3 4 5 10m

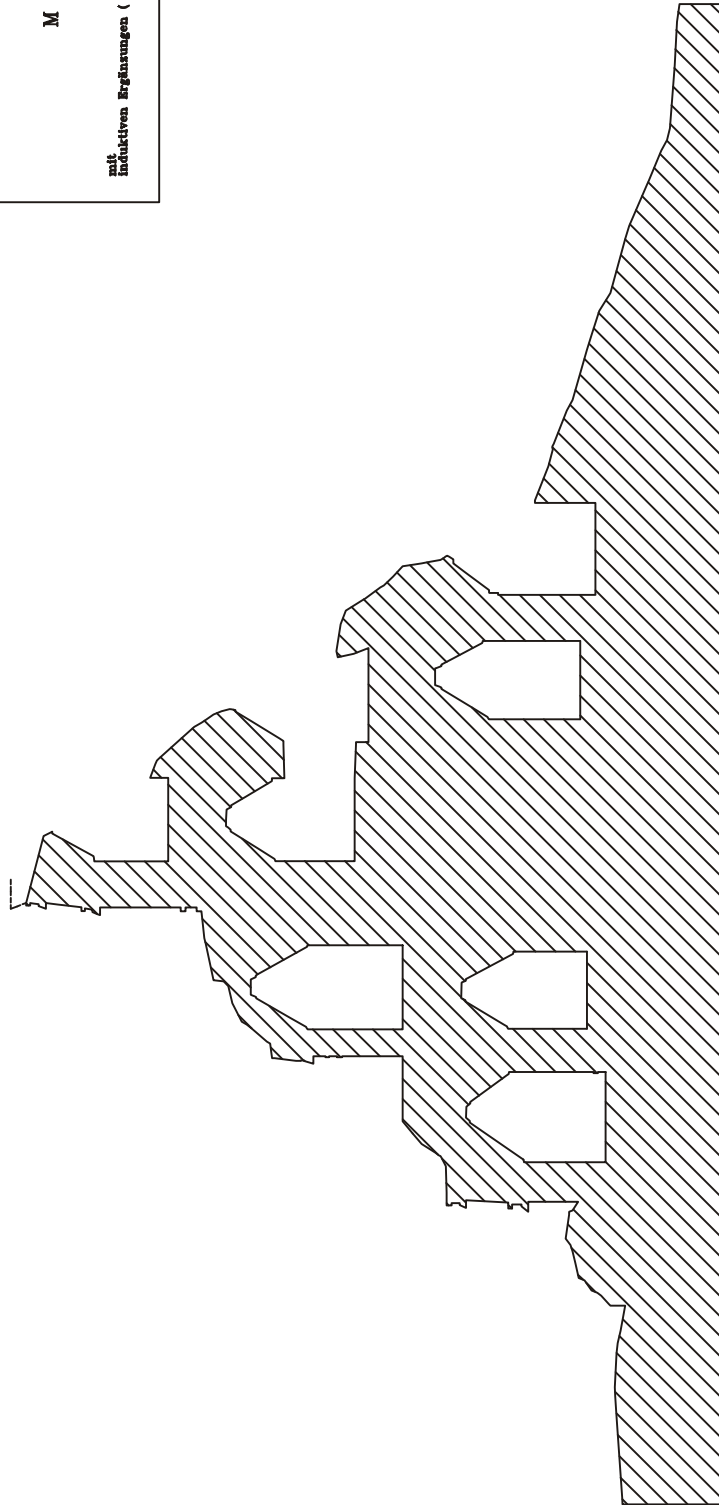
West

Q-30

Vertikalschnitt quer zur  
Längsachse des Bauwerkes  
"Palacio de Santa Rosa Xtampak"

M 1:200

mit  
induktiven Ergänzungen ( - - - - - )



0 1 2 3 4 5 10m

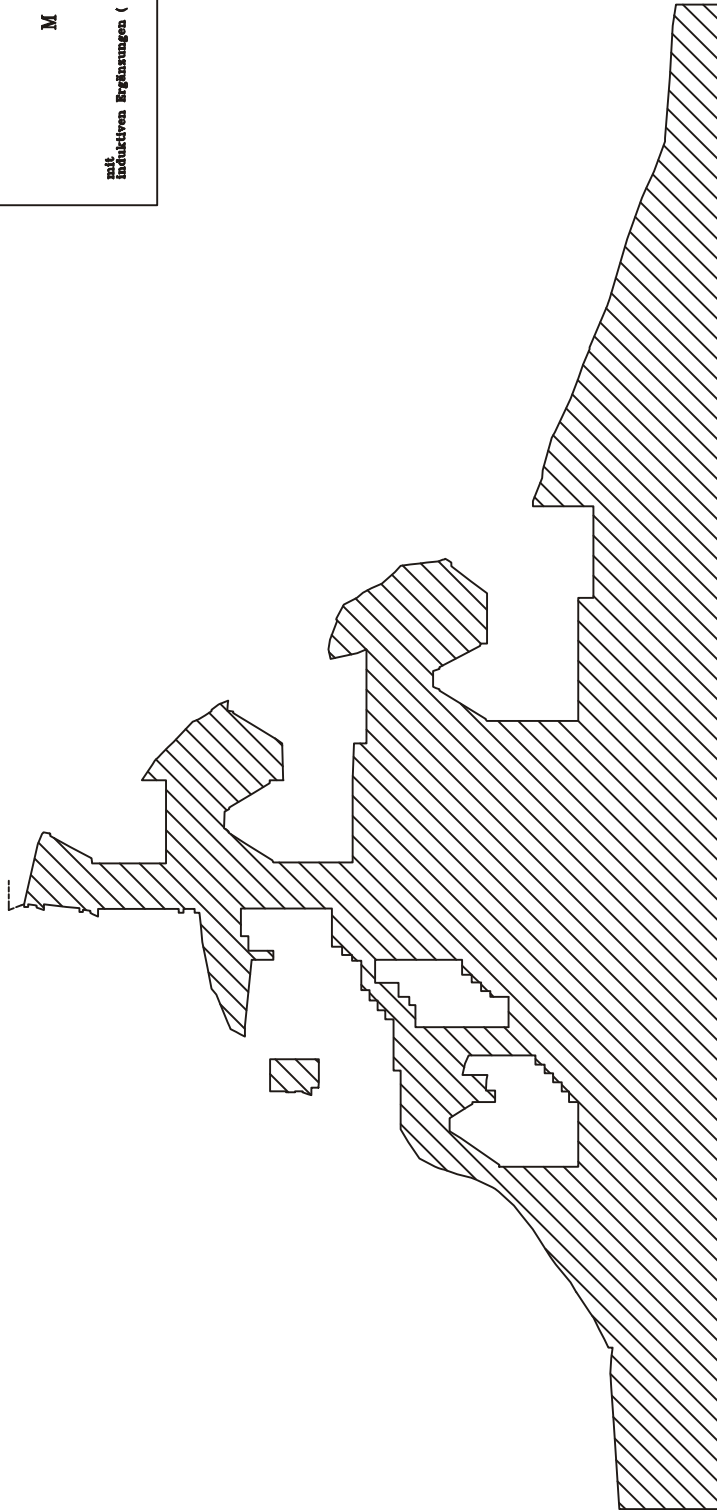
West

Q-35

Vertikalschnitt quer zur  
Längsachse des Bauwerkes  
"Palacio de Santa Rosa Xtampak"

M 1:200

mit  
induktiven Ergänzungen ( - - - - - )



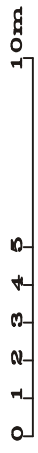
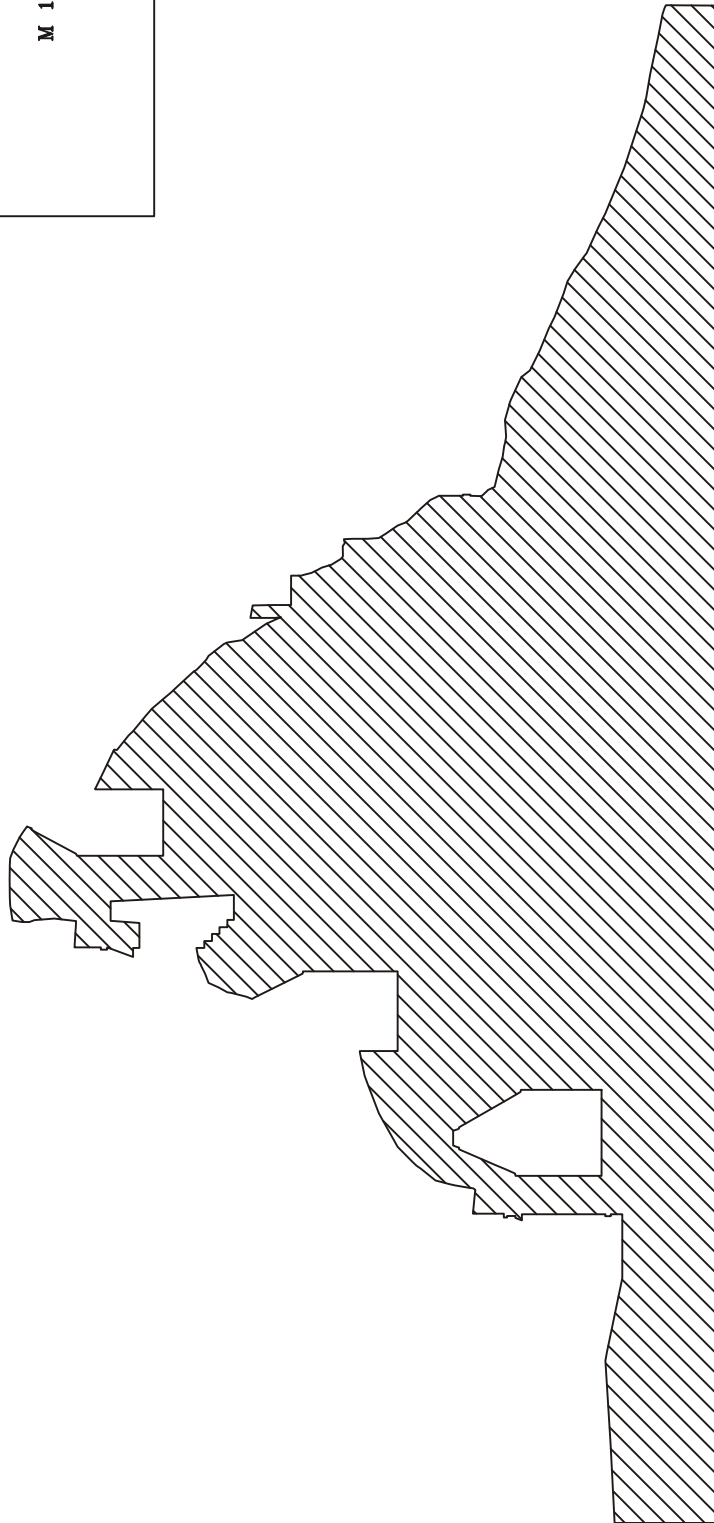
◁ West



Q-40

Vertikalschnitt quer zur  
Längsachse des Bauwerkes  
"Palacio de Santa Rosa Xtampak"

M 1:200



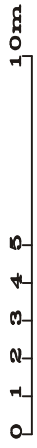
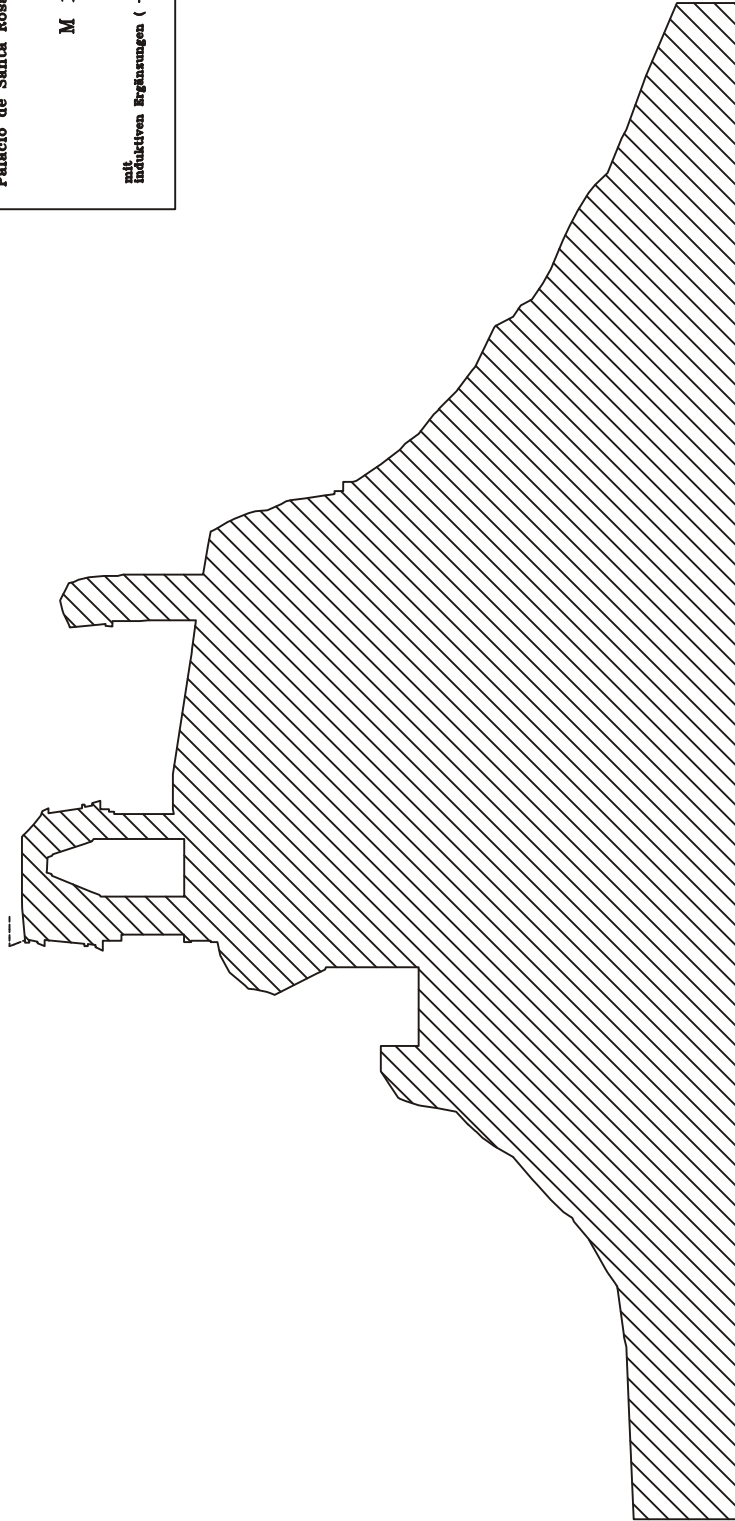
West

# Q-45

Vertikalschnitt quer zur  
Längsachse des Bauwerkes  
"Palacio de Santa Rosa Xtampak"

M 1:200

mit  
induktiven Ergänzungen ( - - - - - )



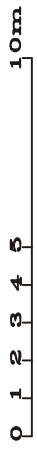
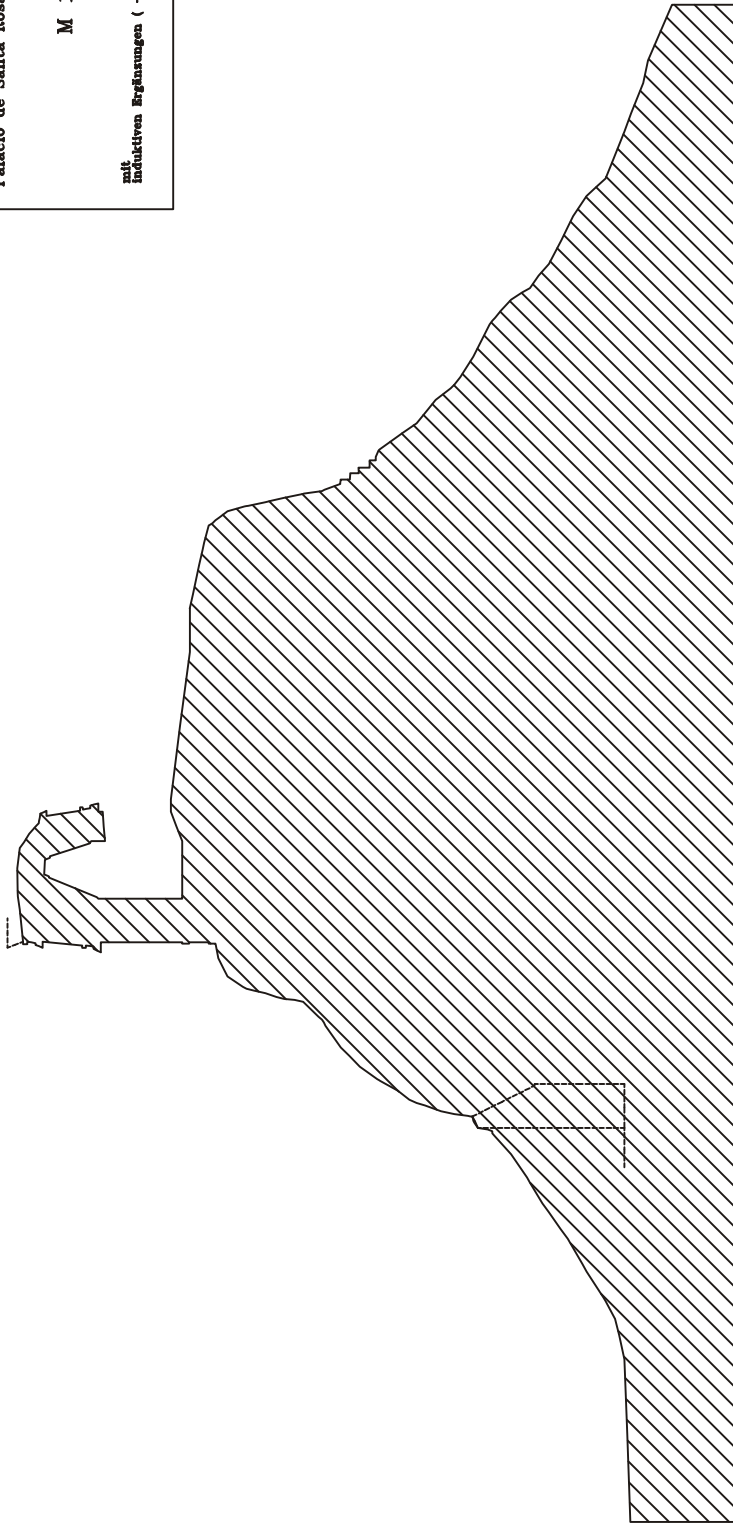
West

Q-50

Vertikalschnitt quer zur  
Längsachse des Bauwerkes  
"Palacio de Santa Rosa Xtampak"

M 1:200

mit  
induktiven Ergänzungen ( - - - - - )



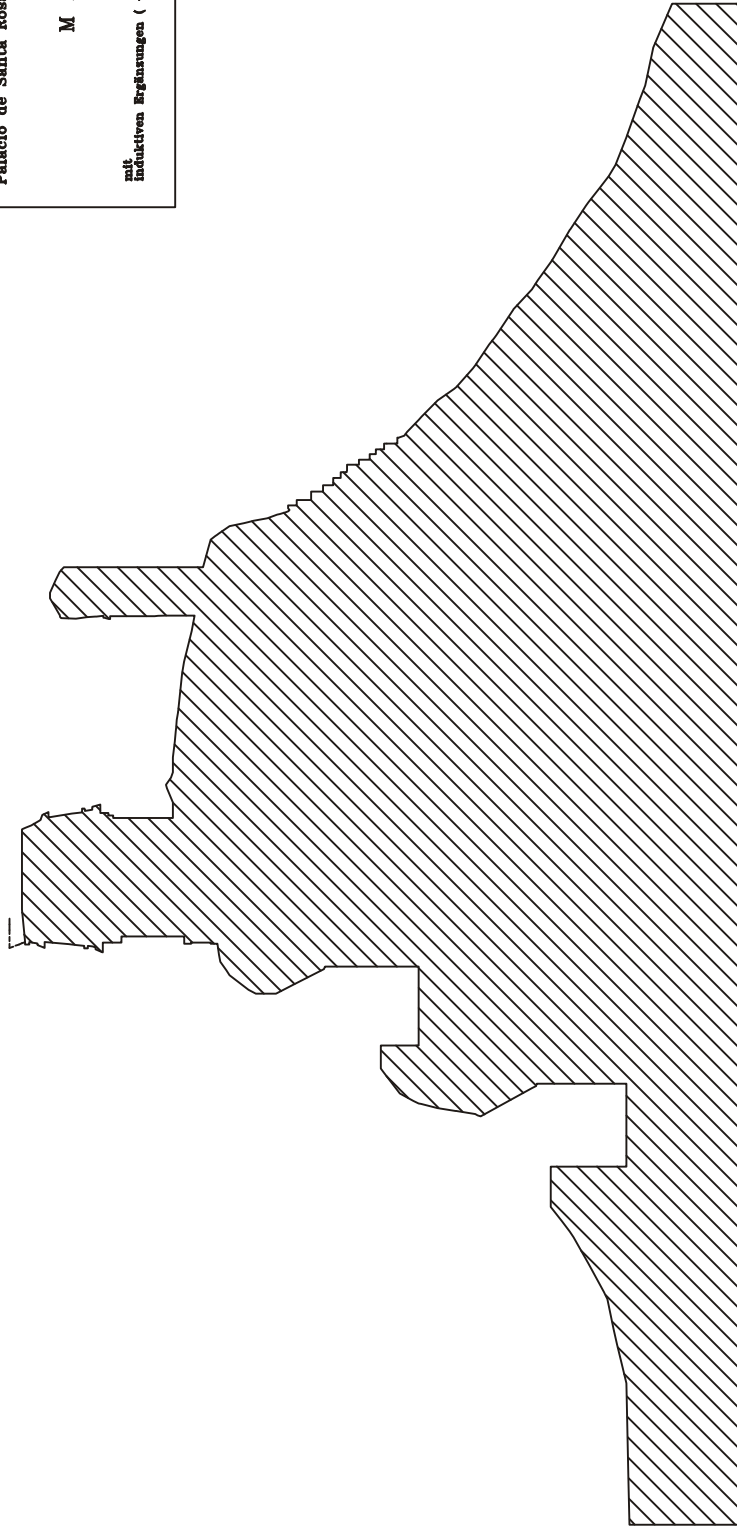
West

Q-55

Vertikalschnitt quer zur  
Längsachse des Bauwerkes  
"Palacio de Santa Rosa Xtampak"

M 1:200

mit  
induktiven Ergänzungen ( - - - - - )

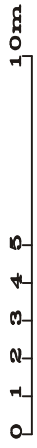
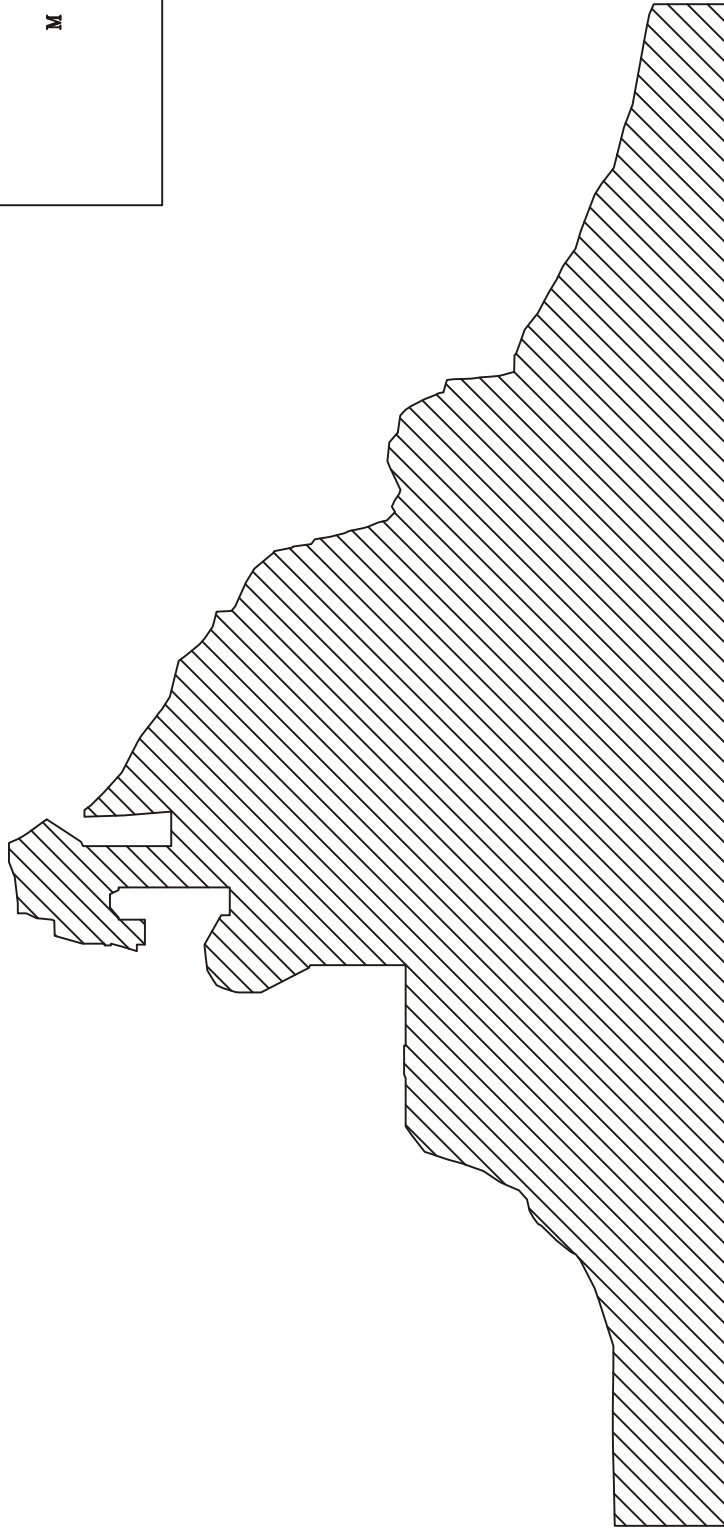


West

Q-60

Vertikalschnitt quer zur  
Längsachse des Bauwerkes  
"Palacio de Santa Rosa Xtampak"

M 1:200



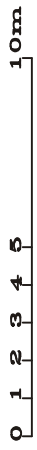
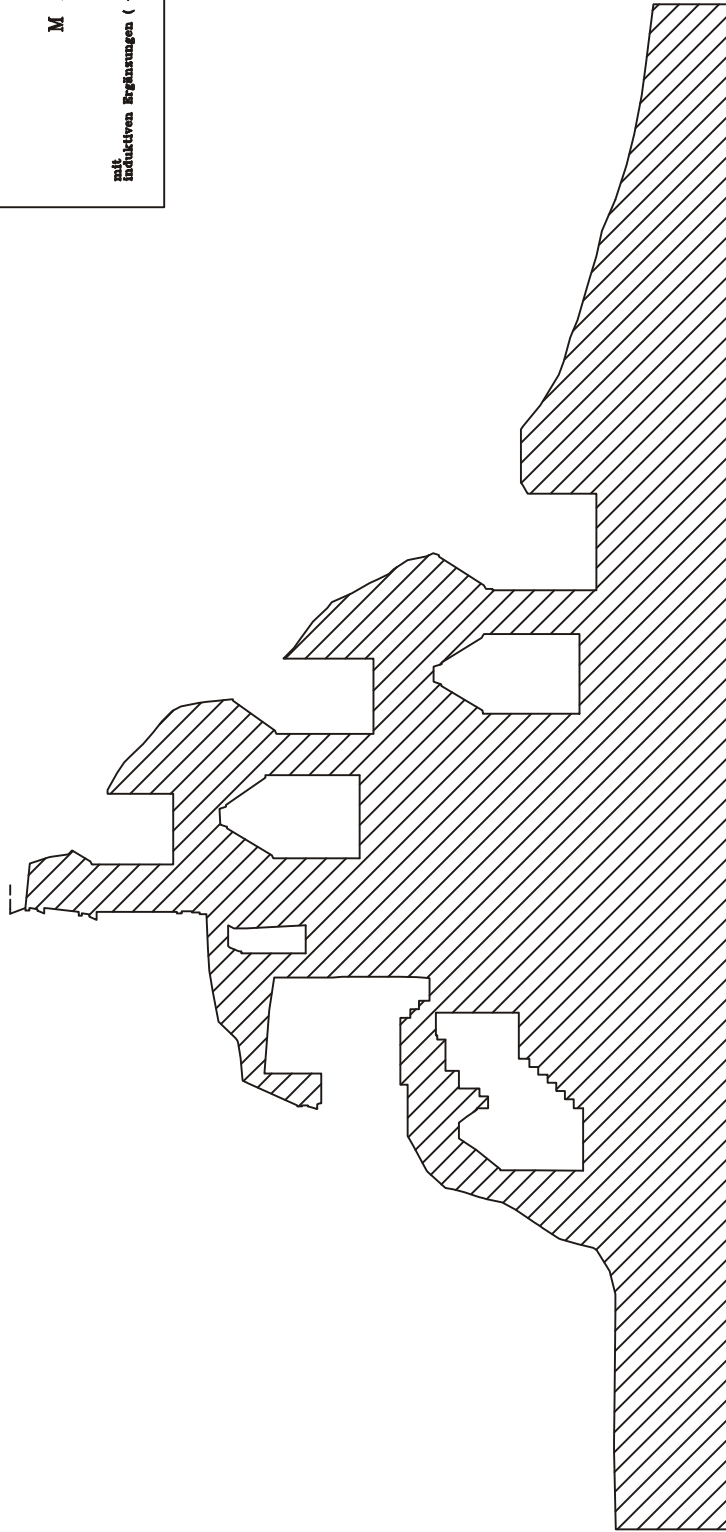
West

Q-65

Vertikalschnitt quer zur  
Längsachse des Bauwerkes  
"Palacio de Santa Rosa Xtampak"

M 1:200

mit  
induktiven Ergänzungen ( - - - - - )



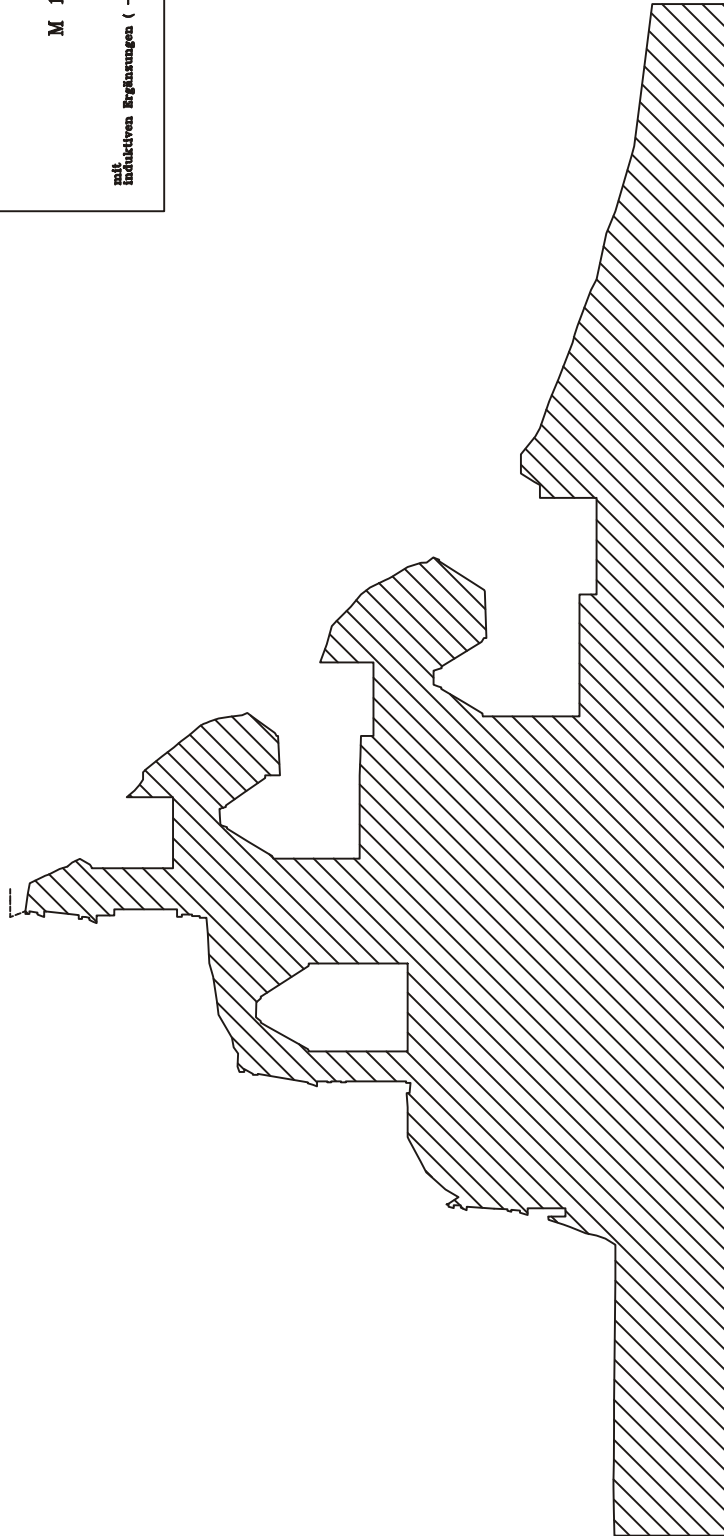
◁ West

Q-70

Vertikalschnitt quer zur  
Längsachse des Bauwerkes  
"Palacio de Santa Rosa Xtampak"

M 1:200

mit  
induktiven Ergänzungen ( - - - - - )



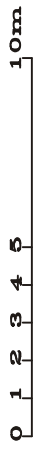
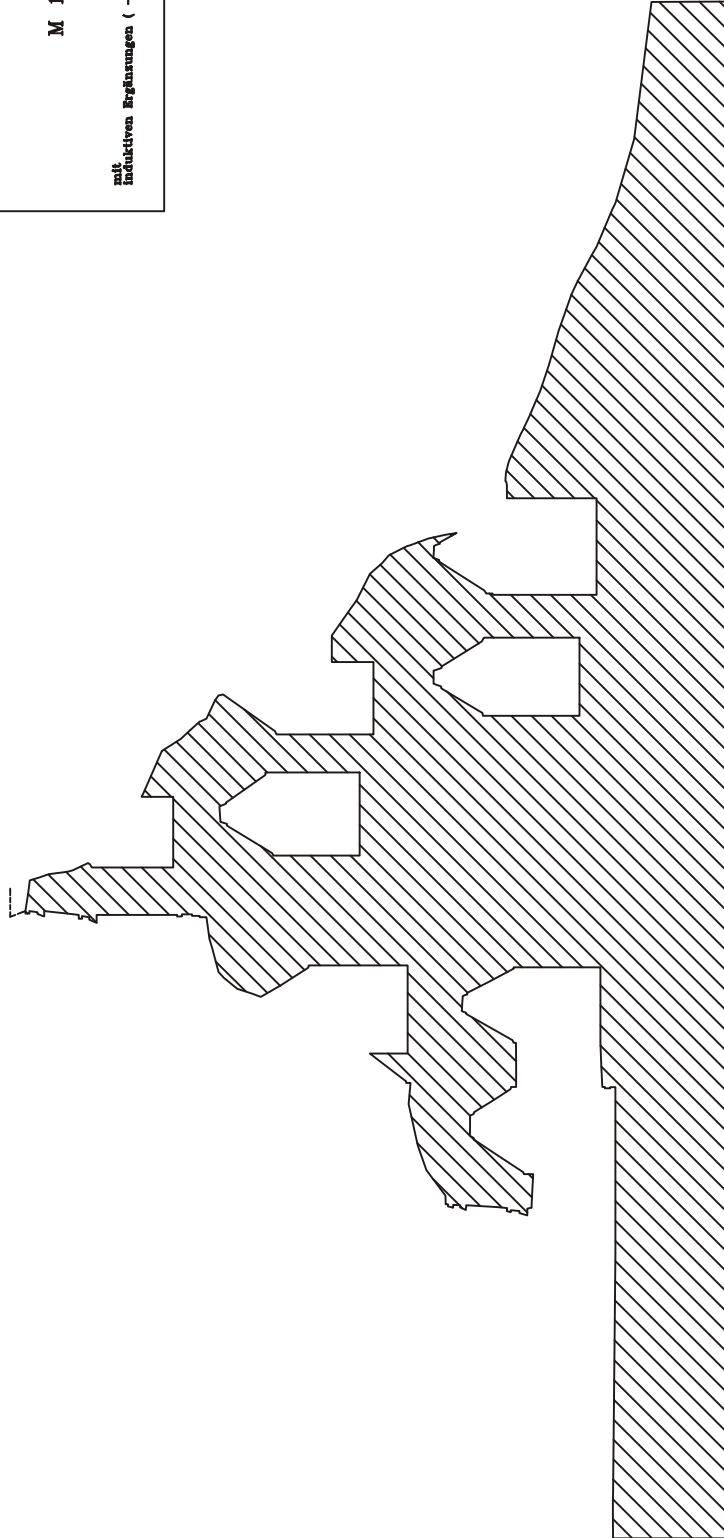
◁ West

Q-75

Vertikalschnitt quer zur  
Längsachse des Bauwerkes  
"Palacio de Santa Rosa Xtampak"

M 1:200

mit  
induktiven Ergänzungen ( - - - - - )



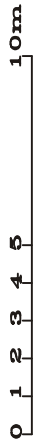
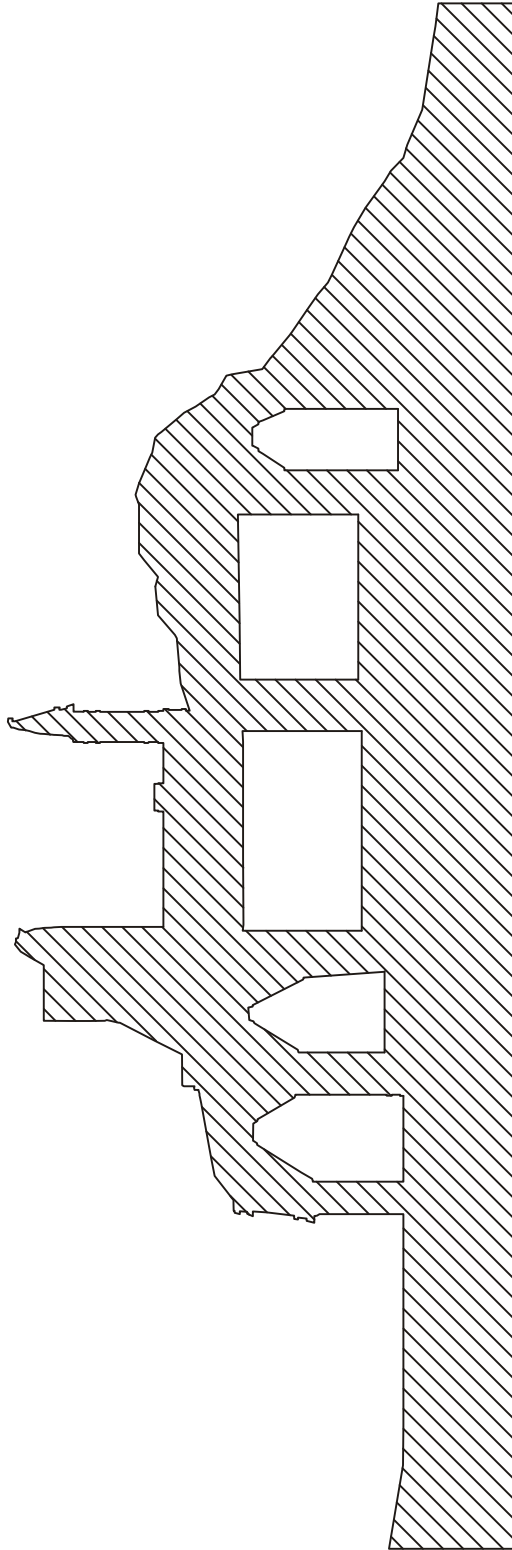
West



Q-80

Vertikalschnitt quer zur  
Längsachse des Bauwerkes  
"Palacio de Santa Rosa Xtampak"

M 1:200

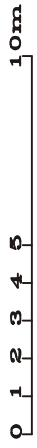
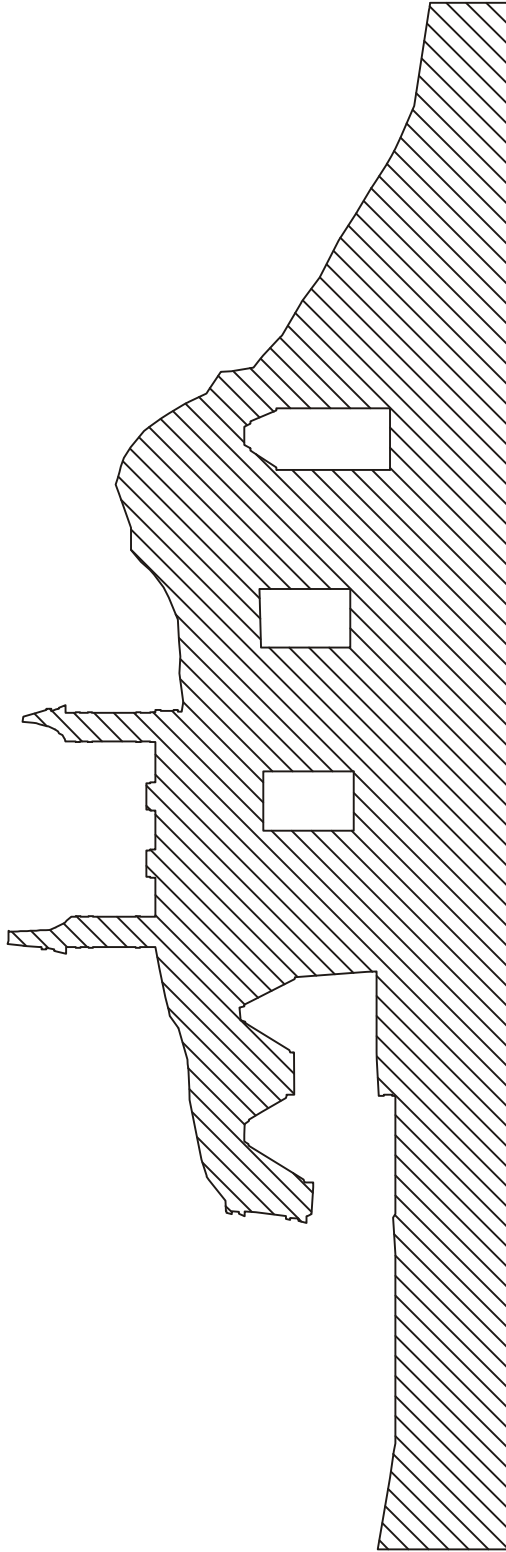


◁ West

Q-85

Vertikalschnitt quer zur  
Längsachse des Bauwerkes  
"Palacio de Santa Rosa Xtampak"

M 1:200

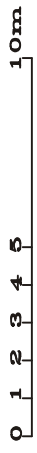
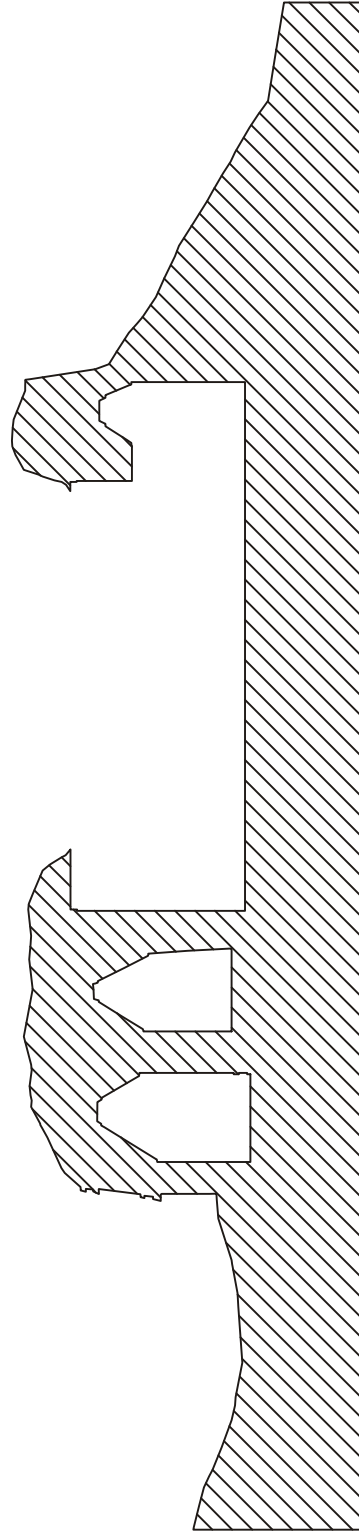


◁ West

Q-90

Vertikalschnitt quer zur  
Längsachse des Bauwerkes  
"Palacio de Santa Rosa Xtampak"

M 1:200

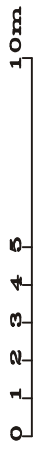
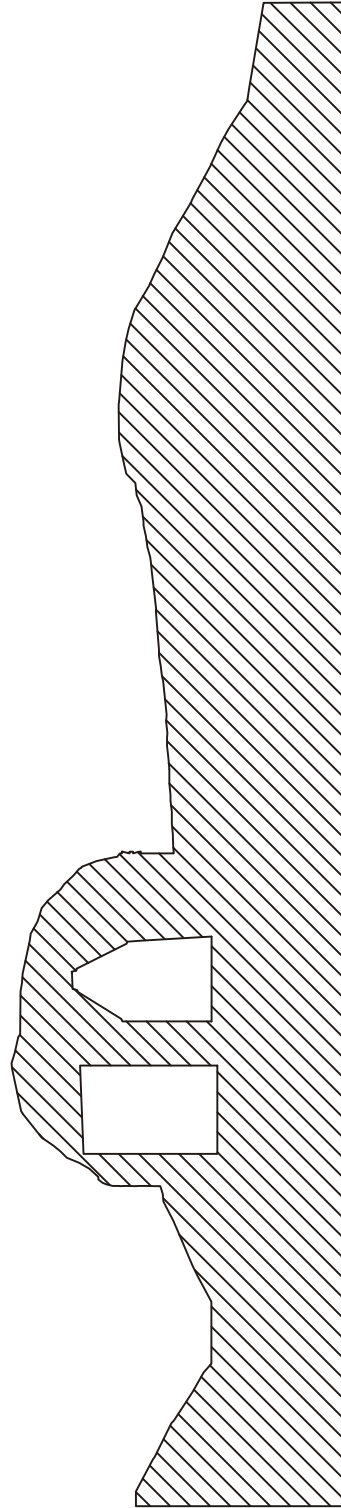


West

Q-95

Vertikalschnitt quer zur  
Längsachse des Bauwerkes  
"Palacio de Santa Rosa Xtampak"

M 1:200

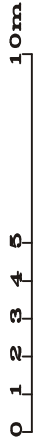
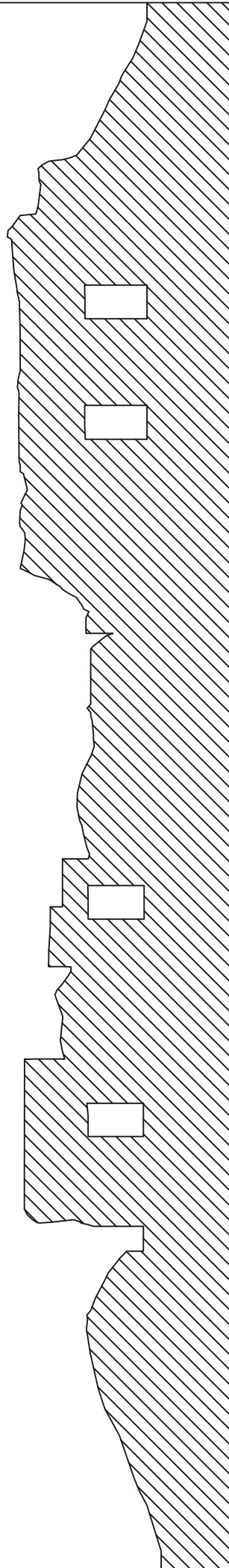


◁ West

L-05

Vertikalschnitt parallel zur  
Längsachse des Bauwerkes  
"Palacio de Santa Rosa Xtampak"

M 1:200



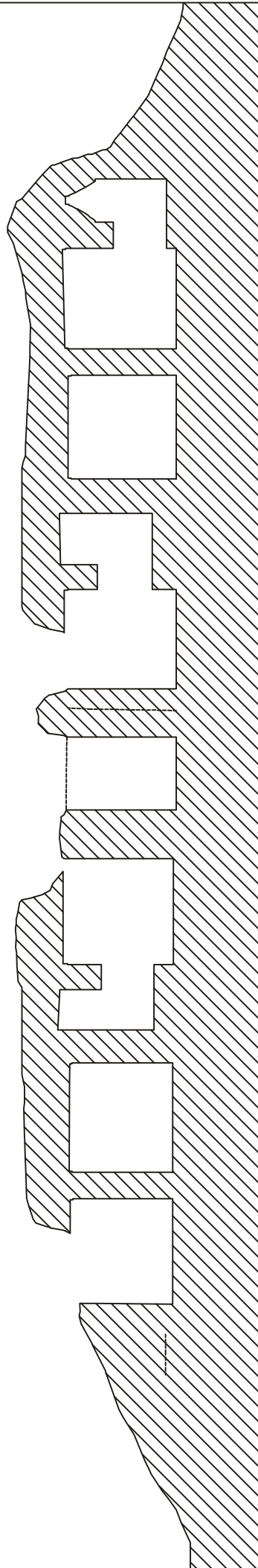
◁ Süd

# L-10

Vertikalschnitt parallel zur  
Längsachse des Bauwerkes  
"Palacio de Santa Rosa Xtampak"

M 1:200

Mit  
indikativa Ergänzungen ( - - - - - )

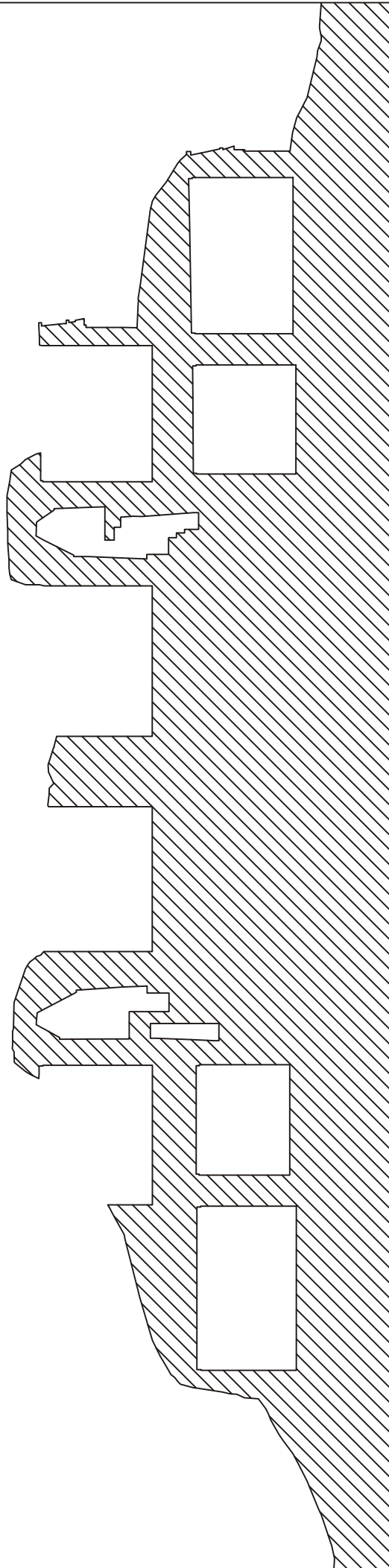


◁ Süd

L-15

Vertikalschnitt parallel zur  
Längsachse des Bauwerkes  
"Palacio de Santa Rosa Xtampak"

M 1:200



0 1 2 3 4 5 10m

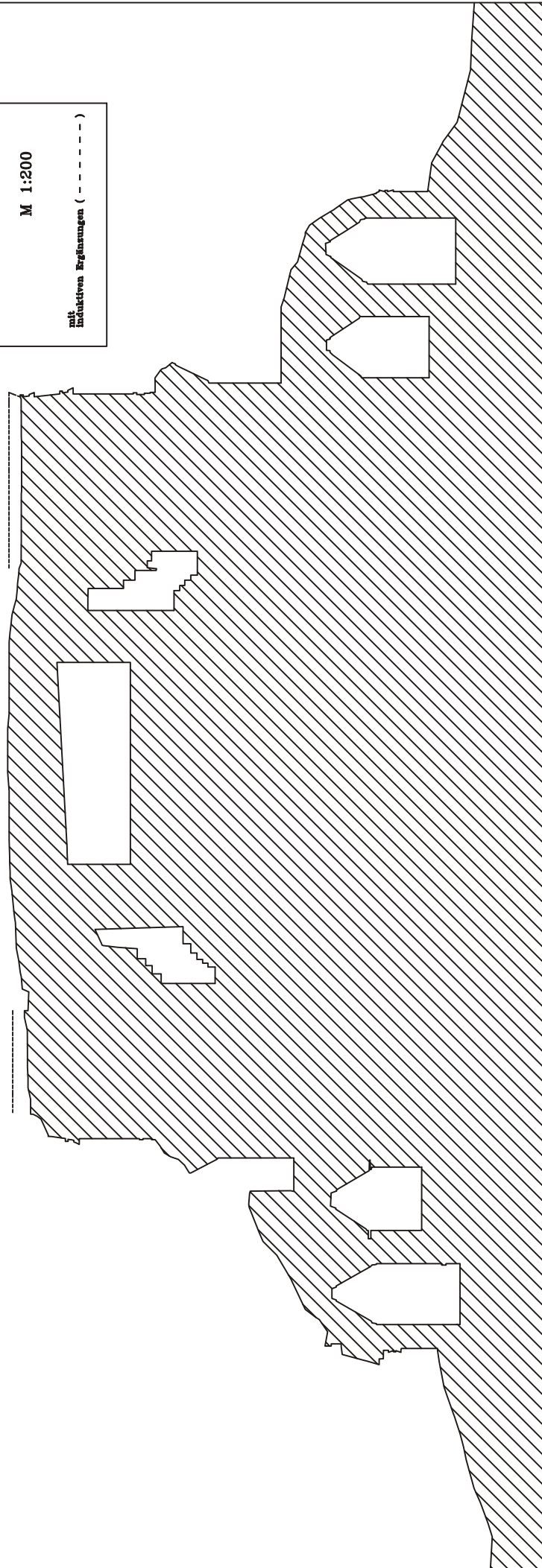
◁ Süd

# L-20

Vertikalschnitt parallel zur  
Längsachse des Bauwerkes  
"Palacio de Santa Rosa Xtampak"

M 1:200

Mit  
induktiven Ergänzungen ( - - - - - )



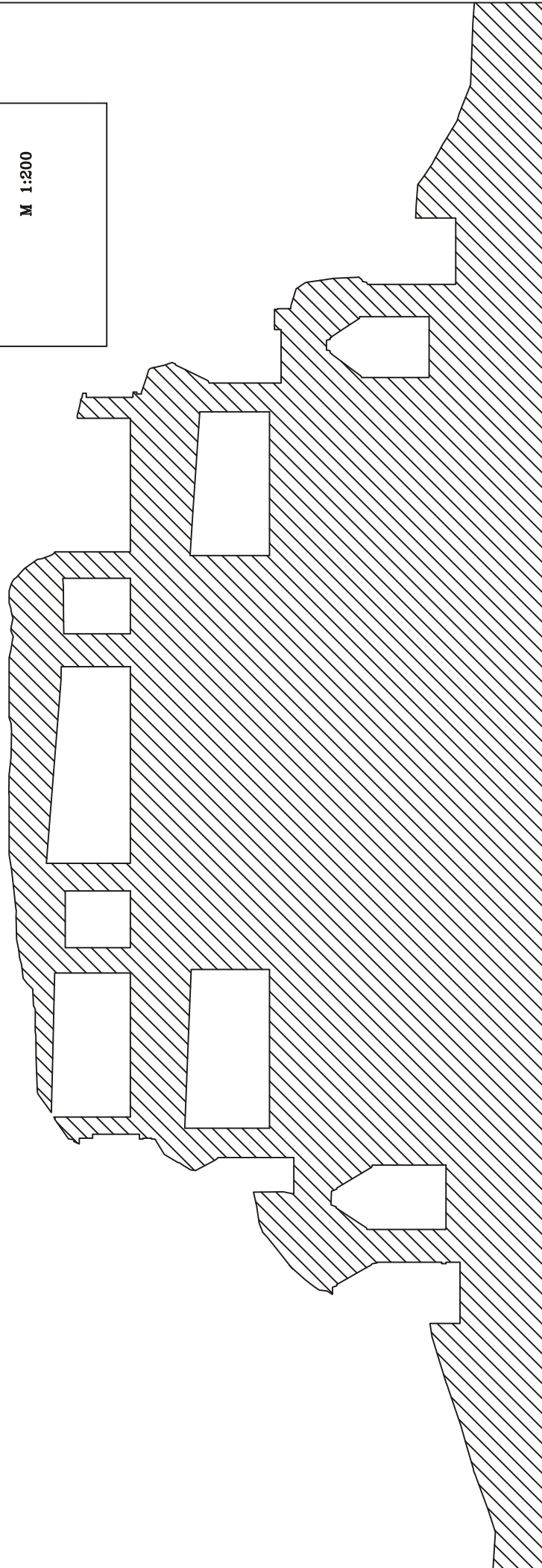
◁ Süd



L-25

Vertikalschnitt parallel zur  
Längsachse des Bauwerkes  
"Palacio de Santa Rosa Xtampak"

M 1:200



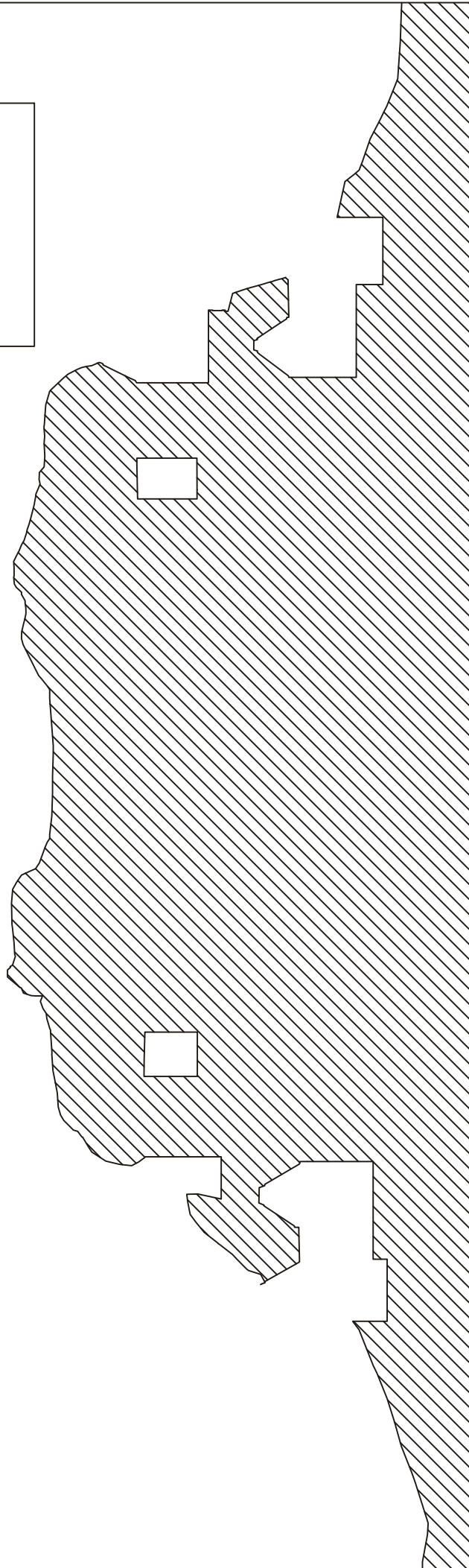
0 1 2 3 4 5 10m

◁ Süd

L-30

Vertikalschnitt parallel zur  
Längsachse des Bauwerkes  
"Palacio de Santa Rosa Xtampak"

M 1:200



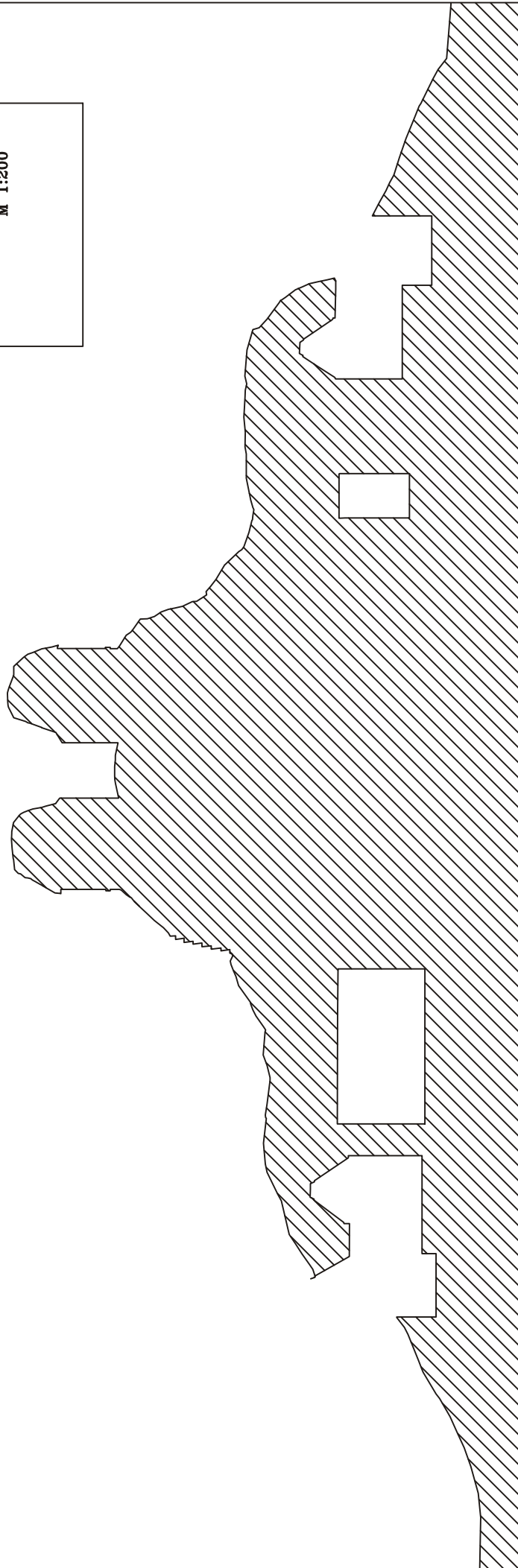
0 1 2 3 4 5 10m

◁ Süd

L-35

Vertikalschnitt parallel zur  
Längsachse des Bauwerkes  
"Palacio de Santa Rosa Xtampak"

M 1:200



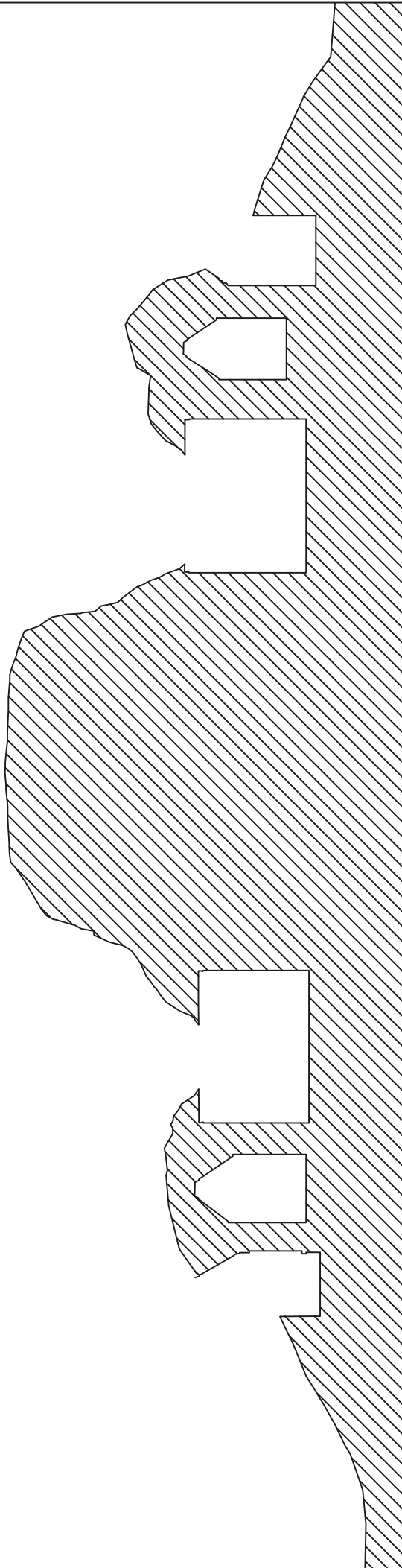
0 1 2 3 4 5 10m

◁ Süd

L-40

Vertikalschnitt parallel zur  
Längsachse des Bauwerkes  
"Palacio de Santa Rosa Xtampak"

M 1:200

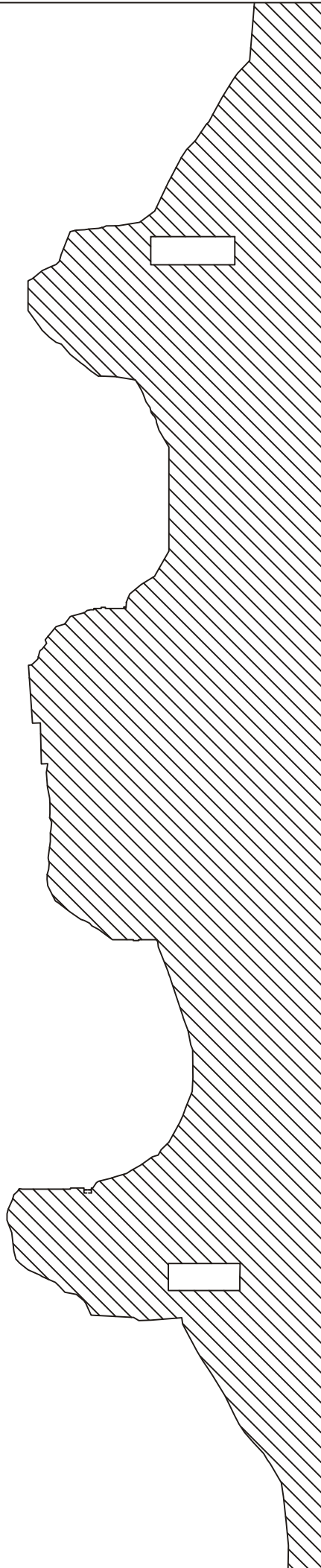


◁ Süd

L-45

Vertikalschnitt parallel zur  
Längsachse des Bauwerkes  
"Palacio de Santa Rosa Xtampak"

M 1:200



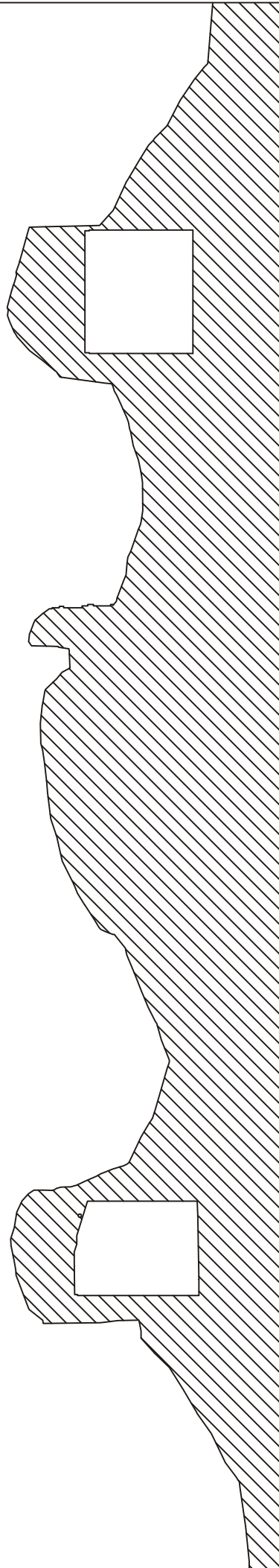
0 1 2 3 4 5 10m

◁ Süd

L-50

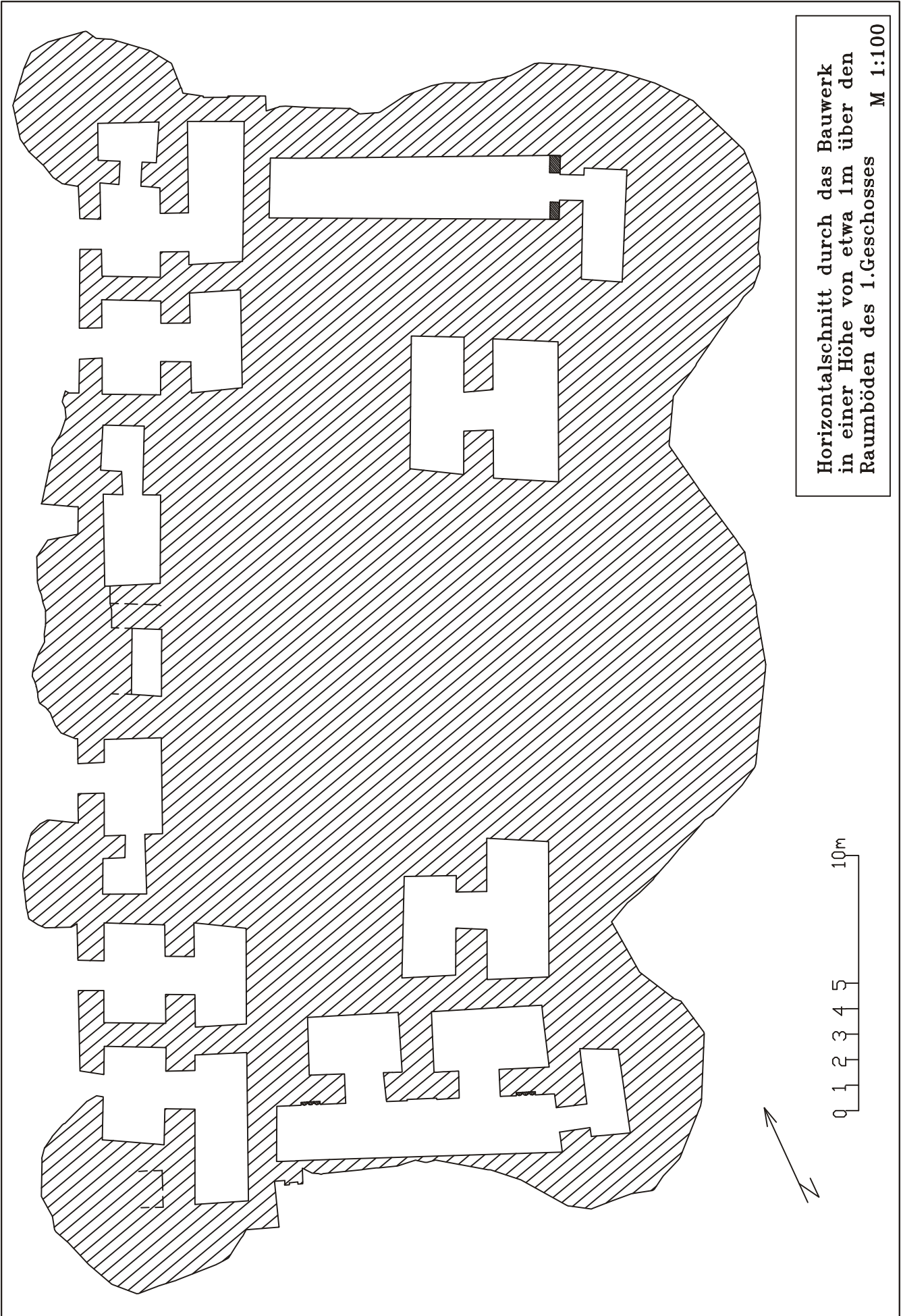
Vertikalschnitt parallel zur  
Längsachse des Bauwerkes  
"Palacio de Santa Rosa Xtampak"

M 1:200

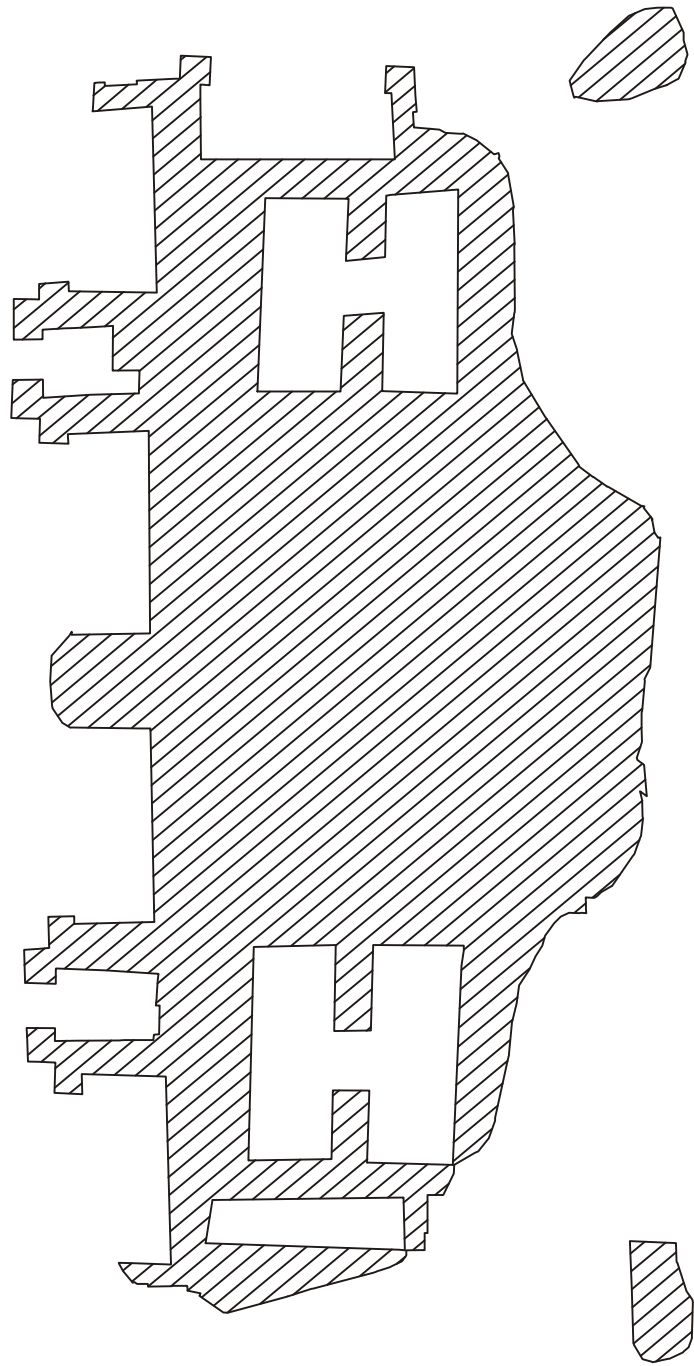


0 1 2 3 4 5 10m

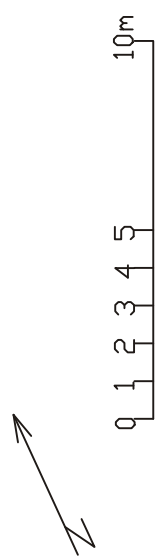
◁ Süd



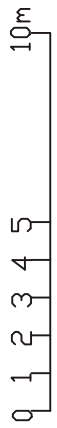
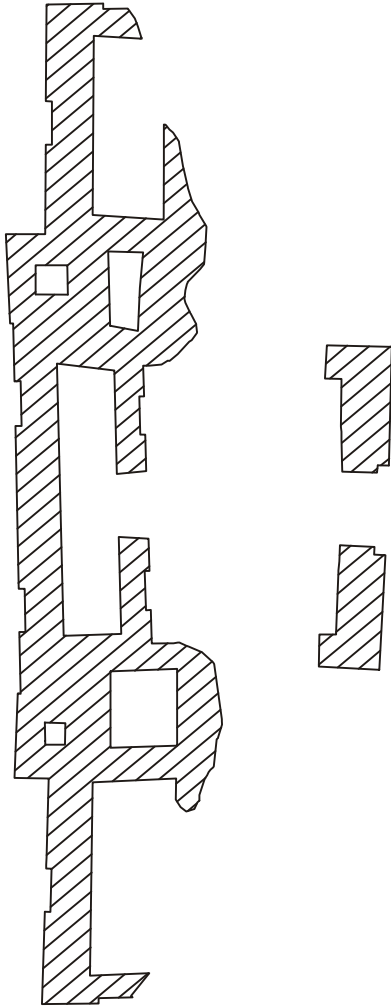
Horizontalschnitt durch das Bauwerk  
 in einer Höhe von etwa 1m über den  
 Raumböden des 1. Geschosses M 1:100



Horizontalschnitt durch das Bauwerk  
in einer Höhe von etwa 1m über den  
Raumböden des 2.Geschosses M 1:100







Horizontalschnitt durch das Bauwerk  
in einer Höhe von etwa 1m über den  
Raumböden des 3.Geschosses M 1:100