

Bauaufnahme der Synagoge Wörlitz mittels reflektorloser Polaraufnahme

Dipl.-Ing. Fredie Kern

Institut für Geodäsie und Photogrammetrie

Technische Universität Braunschweig

Gaußstraße 22

38106 Braunschweig

Kern, F.: Bauaufnahme der Synagoge Wörlitz mittels reflektorloser Polaraufnahme. in: Weferling, U., Heine, K., Wulf, U. (Hrsg.): Von Handaufmaß bis High Tech; Interdisziplinäres Kolloquium vom 23.-26. Februar 2000 in Cottbus, Verlag Philipp von Zabern, Mainz am Rhein, 2001, S.: 198-205

12.11.01, Reflektorlose Polaraufnahme Wörlitz neu

Bauaufnahme der Synagoge Wörlitz mittels reflektorloser Polaraufnahme

Fredie Kern

Institut für Geodäsie und Photogrammetrie
Technische Universität Braunschweig

1. Die Synagoge in Wörlitz

In der Elbaue zwischen Dessau und Wittenberg befindet sich mit den Wörlitzer Gartenanlagen das Herzstück des Dessau-Wörlitzer-Gartenreiches. Friedrich Franz von Anhalt-Dessau (1740-1817) begann 1765 mit Unterstützung des Architekten Friedrich Wilhelm von Erdmannsdorff (1736-1800) die ersten Gestaltungsarbeiten im Wörlitzer Park. Dem Landschaftsgarten liegt ein wohldurchdachtes System von Sichtbeziehungen zugrunde, das die fünf Gartenteile miteinander verbindet und in die umgebende Landschaft überleitet. Zahlreiche Kleinarchitekturen, Plastiken und Gehölzpflanzen bilden Ausgangs- und Endpunkte dieser Sichtbeziehungen, die die Grenzen des Garten bewußt verwischen. Die beiden Hauptbauwerke des Gartens sind das klassizistische Schloß Mosigkau (erbaut 1769-1773) und das neogotische "Gotische Haus"(erbaut 1774-1813). Daneben sind weitere in ihrer Art bedeutsame Bauwerke errichtet worden, wie das Schloß Luisium, mehrere Brücken und ein Gartentempel.



Abb. 1: Synagoge Wörlitz (links unten die Mikwe, rechts oben Innenansicht der Kuppel)

Am Rande des Parks zwischen dem Wörlitzer See und dem Ortsrand Wörlitz liegt die ebenfalls von Erdmannsdorff entworfene Synagoge (Abb. 1). Das abgebrannte Gebäude wurde

1945 äußerlich wiederhergestellt. Seit wann es als Synagoge diente und ob für diese Funktion errichtet wurde, ist bisher nicht bekannt.

Der römische "Vesta"-Tempel, auf einem aufgeschütteten Wall erbaut, bildet den krönenden Abschluß der breiten mit Fachwerkbauten gesäumten Straße. Der Rundbau wird durch zwölf Pilaster gegliedert. Unterhalb des Kegeldaches befinden sich zwölf runde Fenster (Okuli). Die zwei obligatorischen Eingänge im Nord- und Südwesten erreicht man über die rechts und links im Halbbogen verlaufenden Treppen, die durch eine Bruchsteinmauer abgestützt werden. In der Flucht der Straße wird die Mauer durch eine Tür zur Mikwe, dem rituellen Bad, unterbrochen, das unter dem Tempel auf dem Niveau des Sees gelegen ist und mit Grundwasser gefüllt ist. Auf dem Dach ruht eine Laterne. Im Innenraum ist die Dachkuppel durch konzentrische Beplankung mit gelbgestrichenen Holzlatten in eine stilisierte Sonne verwandelt, in dessen Zentrum das Licht durch die Laterne einströmt. Im Osten ist ein Nische für den Thora-Schrein vorhanden. [Schwarz 1988]

2. Aufgabenstellung

Für baugeschichtliche Fragestellungen des Instituts für Baugeschichte der Technischen Universität Braunschweig wurden geometrische Informationen über die Synagoge benötigt. Insbesondere sollte der Entwurfsprozeß und die künstlerische Intension rekonstruiert werden können. Bauzeichnungen, Grundrisse oder dergleichen waren für dieses Bauwerk nicht überliefert. So daß hier eine Bauaufnahme als Prozeß, „der vom architektonischen Entwurf über die Bauausführung zum fertiggestellten, ggf. im Laufe der Zeit veränderten Bauwerk führt“ [Wangerin 1986] vorzunehmen war. Mit der Durchführung wurde das Institut für Geodäsie und Photogrammetrie beauftragt.

Eine dreidimensionale Erfassung durch Grundriß und mehreren Vertikalschnitten in den Hauptsymmetrieachsen erfüllten die wesentlichsten Anforderungen seitens der Bauwerksanalyse. Die gegenseitige Lage und die Maßstabsverhältnisse zwischen den Bauwerkelementen waren von Bedeutung. Von einem strengen verformungstreuen Aufmaß [Heiliger 1994] konnte zu Gunsten der Effizienz verzichtet werden. Vereinbart wurde eine Genauigkeit von 1-2cm. Als Meßwerkzeug fiel die Entscheidung auf die reflektorlose Polaraufnahme. Mit dieser Methode können unmittelbar digitale Information gewonnen werden und erlaubt einen äußerst flexiblen und universellen Einsatz.



Abb. 2: Meßaufbau bei der reflektorlosen Polaraufnahme mit DISTO, T460D und Notebook

Das eingesetzte Instrumentarium bestand aus einem elektronischen Theodolit vom Typ T460D auf dessen Fernrohr durch eine Adapterwippe ein Lasermeter des Typs DISTO GSI montiert wurde (Abb. 2). Durch ein Kabel sind beide Geräte miteinander verbunden. Die Theodolitsoftware übernimmt die Steuerung des DISTO und kommuniziert über ein Datenkabel mit einem mobilen Computer, mit dem die Gesamtsteuerung und die Datenauswertung vorgenommen wurde. In Wörlitz wurde ein herkömmliches Notebook benutzt, das nur bedingt außendiensttauglich war. Der Displaykontrast war für den Einsatz unter Tageslicht völlig unzureichend.

3. Geräteuntersuchung

Bevor das Instrumentarium für Bauaufnahmen eingesetzt wurde ist es unter Laborbedingungen auf seine Leistungsfähigkeit, Genauigkeit und Zuverlässigkeit hin untersucht worden. Zugleich konnten so Erfahrungen zur Handhabung und zum Zusammenspiel der Einzelkomponenten gemacht werden. Die Prüfergebnisse des reflektorlos messenden DISTO werden nachfolgend wiedergegeben.

Das Lasermeter DISTO ist ein preiswertes Streckenmeßgerät, das in unterschiedlichen Ausstattungsvarianten von der Leica AG, Heerbrugg (CH) angeboten wird. Andere Hersteller wie z.B. die Jenoptik Laser, Optik, Systeme GmbH bieten vergleichbare Instrumente an. Das Meßprinzip des DISTO ist von den konventionellen elektrooptischen Entfernungsmessern (EDM), wie sie in den Tachymetern integriert sind, bekannt. Es beruht auf den physikalischen Gesetzen der Ausbreitung von elektromagnetischen Wellen. Während beim EDM Lichtwellen aus dem Infrarotbereich benutzt werden, handelt es sich beim DISTO um sichtbares, rotes Laserlicht. Zur Streckenbestimmung wird das Phasenvergleichsverfahren eingesetzt. Das modellierte Licht wird über die Meßdistanz geschickt. Es wird an einem Objekt mehr oder minder stark reflektiert und gelangt so wieder zum Meßgerät zurück. Die Phasendifferenz zwischen der ausgesandten und der reflektierten Modulationswelle wird elektronisch ausgemessen. Die Modulationsfrequenz des DISTO beträgt 50 MHz, was einem Feinmaßstab von 3 m (halbe Wellenlänge) entspricht. Durch eine zweite Meßfrequenz, die einen Grobmaßstab von ca. 1500 m realisiert, sind die Distanzen im Meßbereich bis 100 m

eindeutig bestimmbar [Schlemmer 1996]. Der Hersteller gibt eine Meßgenauigkeit von 3mm an.

3.1 Reflektorlose Messung

Die Lasermeter kommen im Gegensatz zu den Streckenmessern der Tachymeter ohne spezielle Reflektoren aus. Die Bündelung des Laserlicht hat eine starke räumliche Konzentration der Energie zur Folge, so daß auch an natürlichen/künstlichen nicht spiegelnden Oberflächen genügend Licht reflektiert wird. Es ist streng betrachtet daher nicht richtig beim Lasermeter von reflektorloser Entfernungsmessung zu sprechen. Auch hier ist eine reflektierende Fläche nötig. Nur muß diese nicht die Eigenschaften eines Retro-Reflektors haben, der das Licht fast verlustfrei in die gleiche Richtung zurückwirft. Da eine besondere Signalisierung nicht vonnöten ist, wäre das Attribut signalfrei oder berührungslos angebrachter. Ich verwende weiterhin den Begriff reflektorlos und meine damit das ohne Prisma oder Spiegel (eben ohne Reflektor) gearbeitet werden kann.

Mit der signalfreien Vermessung geht ein Verlust an Reichweite einher. So sind die Lasermeter bis max. 100 m einsetzbar. Für Anwendungen in der Bauaufnahme ist dies in den allermeisten Fällen ausreichend. Gesteigert werden kann die Reichweite recht einfach durch Erhöhung der Reflektanz des Meßobjektes. Dies ist durch den Einsatz von Zieltafeln erreichbar. Diese Signalisierung ist insbesondere für Anschlußpunkte vonnöten, die sich meist in größerer Entfernung vom Standpunkt befinden als die Objektpunkte.

Da beim reflektorlosen Messen die jeweiligen Reflexionseigenschaften des Objektes die Messung beeinflussen, in Abhängigkeit vom Material erheblich variieren können und mitunter auch nicht vorhersehbar sind, ist diese Besonderheit näher zu untersuchen.

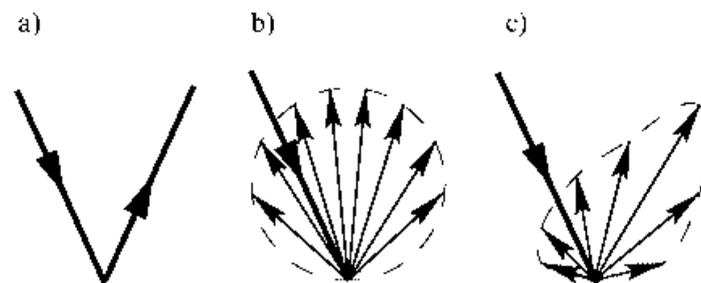


Abb. 3: reguläre Reflexion a), diffuse Reflexion b) und diffuse Reflexion mit Spiegelung c) eines Lichtstrahls

Die konventionelle Distanzmessung arbeitet mit standardisierten Retro-Reflektoren, deren spiegelnde Eigenschaft durch Konstruktion vorgegeben werden kann. Etwaige Fertigungstoleranzen lassen sich im Labor durch Kalibrierung feststellen und berücksichtigen. Die Reflexion eines Lichtstrahls an einer beliebigen natürlichen oder künstlichen Oberfläche läßt sich weder physikalisch noch mathematisch hypotesenfrei modellieren. Im einfachsten Modell unterscheidet man zwischen diffuser Reflexion, regulärer Reflexion, wie sie bei einem Spiegel auftritt, und diffuser Reflexion mit Spiegelung (Abb. 3). Für die reguläre Reflexion gilt das bekannte Reflexionsgesetz bei dem der Einfallswinkel gleich dem Ausfallswinkel ist. Bei den meisten Oberflächen, die dem Nutzer im Rahmen einer Bauaufnahme begegnen, ist diffuse Reflexion mit Spiegelung in eine Hauptrichtung anzunehmen. Ausnahme bilden Glas- und Metallflächen, die überwiegend regulär d.h. spiegelnd reflektieren. Dazu können auch im Einzelfall andere glatte Oberflächen wie Kunststoff- oder Lackoberflächen von Möbeln, Tür-

und Fensterrahmen gehören. Die Art der Reflexion hat nur insoweit eine Auswirkung auf die Streckenmessung als sie fehlschlägt, falls nicht genügend Energie zurückgeworfen wird. Ein Einfluß auf die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Meßergebnisse ist nicht zu erwarten. Anders ist dies, wenn zusätzlich die unvermeidliche Strahldivergenz berücksichtigt wird.

Die Energieverteilung des Laserlichts ist nicht auf einen Strahl begrenzt. Rechts- und links des Strahles nimmt die Energie ab. Je mehr der Laser gebündelt ist, desto stärker fällt sie ab. Der Lichtstrahl trifft damit flächig auf das Reflexionsobjekt. Es ist ein Leuchtkreis sichtbar, dessen Radius mit zunehmender Entfernung vom Objekt größer wird. Beim DISTO beträgt die Divergenz ca. 40mgon, was zu einem Leuchtfleck von fast 2 cm Durchmesser auf 30 m Entfernung führt. Die verwendeten Halbleiterlaser haben zudem die Eigenschaft ein Lichtbündel auszusenden, das nicht in alle Richtungen gleich stark divergiert. Der Lichtstrahl, der aus einem Halbleiterlaser erzeugt wird, hat typischerweise einen elliptischen Querschnitt. Die Energieintensität nimmt ausgehend von der Strahlmitte zum Rand hin exponentiell ab und kann gut durch eine Gaußsche Verteilungskurve beschrieben werden.

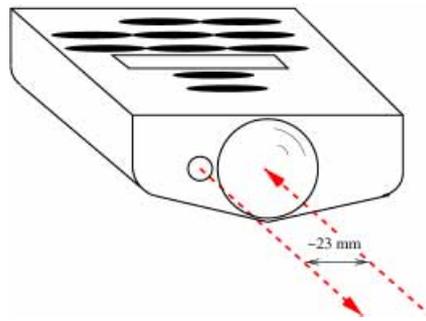


Abb. 4: Biaxiale Anordnung von Sende- und Empfangsachse

Beim DISTO sind die optischen Strahlengänge des ausgesendeten und des empfangenen Lichtes getrennt (Abb. 4). Diese biaxiale Anordnung ist insoweit unkritisch, als der parallele Abstand der Achse von ca. 23 mm nur bei Entfernungsmessungen unterhalb 10 cm zu Meßabweichungen im Bereich der Meßgenauigkeit (3 mm) führt.

3.2 Kalibrierung durch Sollstreckenvergleich

Bei einem elektrooptischen Entfernungsmesser stellt sich immer die Frage nach dem Maßstab. Aufgrund von Fertigungstoleranzen und Alterungsprozessen der elektronischen Bauteilen ist regelmäßig davon auszugehen, daß er vom Sollmaß abweicht, zumal Vermessungsgeräte nicht dem Eichgesetz unterliegen. Die Kalibrierung läßt sich einfach durch Vergleich mit Sollstrecken, deren Längen mit höchster Genauigkeit bekannt sind, durchführen. Das Lasermeter des Institutes für Geodäsie und Photogrammetrie wurde daher auf der haus-eigenen Meßbasis kalibriert, die normalerweise zur Bestimmung von zyklischen Meßabweichungen genutzt wird. Auf der 25m langen Meßschiene wurde in Abständen von 50cm eine Meßreihe mit 10 Einzelmessungen gemessen und die sich ergebenden Mittel den Sollwerten gegenübergestellt (Abb. 5). Das Diagramm in Abb. 5 zeigt sehr deutlich das entfernungsabhängige Verhalten der Abweichungen.

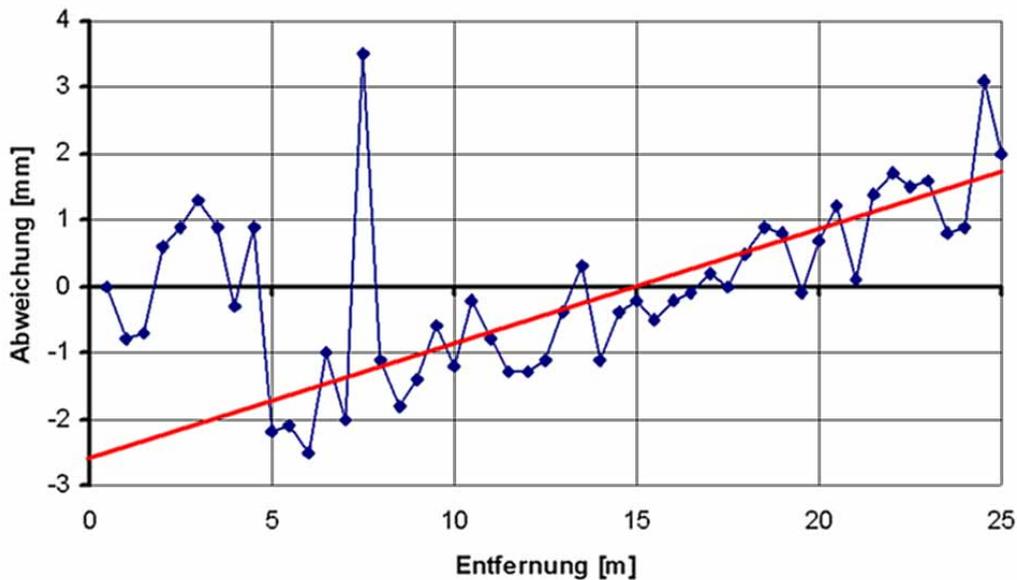
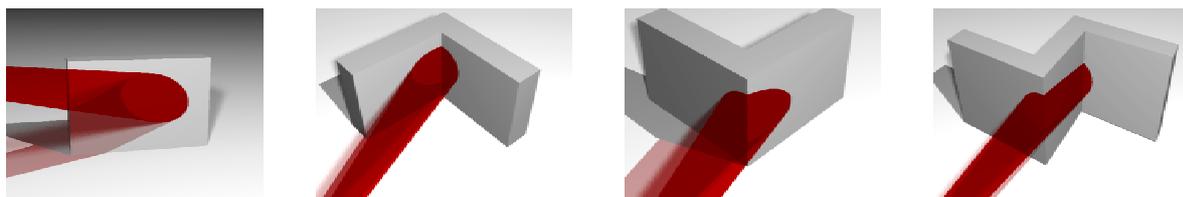


Abb. 5: Abweichungen von den Sollstrecken und daraus resultierende entfernungsabhängige Additionskonstante (Maßstab) ohne Nahbereich unter 5 m

Rechnerisch ergab sich eine Maßstabsabweichung von 176ppm bezüglich des internationalen Meters ohne Berücksichtigung des Nahbereichs von 0-5m. Es ist festzuhalten, daß für den Einsatzbereich unter 30m maximal eine Abweichung von 6mm in Kauf zu nehmen ist.

3.3. Auswirkungen der Strahldivergenz auf die Streckenmessung

Aufgrund der Strahldivergenz und Energieverteilung des Laserlichts sind systematische Meßabweichungen zu erwarten, die insbesondere dann in ihrer Größe an Bedeutung gewinnen, wenn die Strahlrichtung nicht rechtwinklig zur Reflexionsfläche steht sondern der Einfallswinkel deutlich von 0° abweicht, wie in den Abb. 6 a) bis d) dargestellt.



a) Schräge Reflexionsfläche

b) konkave Kante

c) konvexe Kante

d) Stufe

Abb. 6: Ausprägungen der Reflexionsfläche im Zusammenhang mit der Strahldivergenz

3.3.1 Schräge Reflexionsfläche

Fällt das Laserlicht schräg auf das Objekt, so wird nur ein geringer Teil der auftreffenden Gesamtenergie zum Meßgerät zurückgestrahlt. Wird eine diffuse Reflexion mit Spiegelung angenommen, so verschiebt sich das Energiemaximum des Reflexionsstrahls bezüglich der Auftretsstelle.

Mit einer verschwenkbaren Zieltafel wurde versucht auf empirischen Wege eine Systematik nachzuweisen. In Schritten von 5° wurde die Tafel in der Horizontalen verstellt und jeweils

eine Meßreihe mit 10 Werten gemessen. Durch die biaxiale Ausführung der Meßeinheit (Abb. 4) wurde auch eine Meßserie mit vertikaler Verschwenkung durchgeführt. Hierzu mußte, um die gleiche Zieltafel verwenden zu können, der DISTO lediglich um 90° verdreht werden.

Die Auswertung der Meßreihen zeigte tendenziell einen Einfluß, der jedoch innerhalb der Meßgenauigkeit liegt (Abb. 7). Dies steht im Einklang mit den Aussagen von Scherer 1999 und Ingensand 1999. Ergebnisse anderer Autoren [Runne 1993, Buchmann 1996] zeigen bei Geräten die im Impulslaufzeitverfahren arbeiten, größere, nicht zu vernachlässigende Abweichungen.

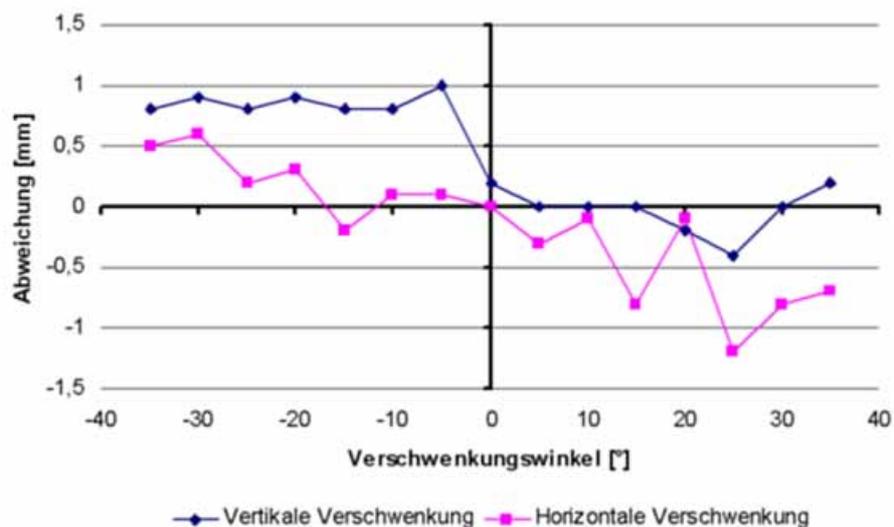


Abb 7: Meßabweichungen aufgrund verschwenkter Reflexionsfläche

3.3.2 Konkave und Konvexe Kanten

Als weitere Fragestellung wurde untersucht, inwieweit Messungen auf eine Wanddecke (Abb. 6b und 6c) unter verschiedenen Zielwinkeln systematisch verfälscht werden. Buchmann 1996, Runne 1993 u.a. berichten von entsprechenden Untersuchungen und kamen zu Systematiken, die deutlich über der Meßgenauigkeit liegen. Es wurden Meßinstrumente untersucht, die nach dem Laufzeitverfahren arbeiten. Die Ergebnisse sind daher so nicht ohne weitere Untersuchungen auf Entfernungsmesser, die das Phasenvergleichsverfahren verwenden, übertragbar.

Zwei Meßreihen sind vorgenommen worden. Eine bei der eine innere Raumecke (Kehle, konkave Kante, Abb. 6b) und eine bei der eine äußere Ecke (Vorsprung, konvexe Kante, Abb. 6c) simuliert wurde. Als Zieltafel wurde ein weiß gestrichener Metallwinkel angefertigt, der einmal von innen (konkave Kante) und einmal von außen (konvexe Kante) angemessen wurde. Die Verschiebung der Kante aufgrund der Dicke des Metallwinkels wurde durch Benutzung eines Kreuzschlittens kompensiert. Das Ergebnis dieser Untersuchung ist im Diagramm Abb. 8 dargestellt. Eine Systematik ist nicht signifikant nachweisbar.

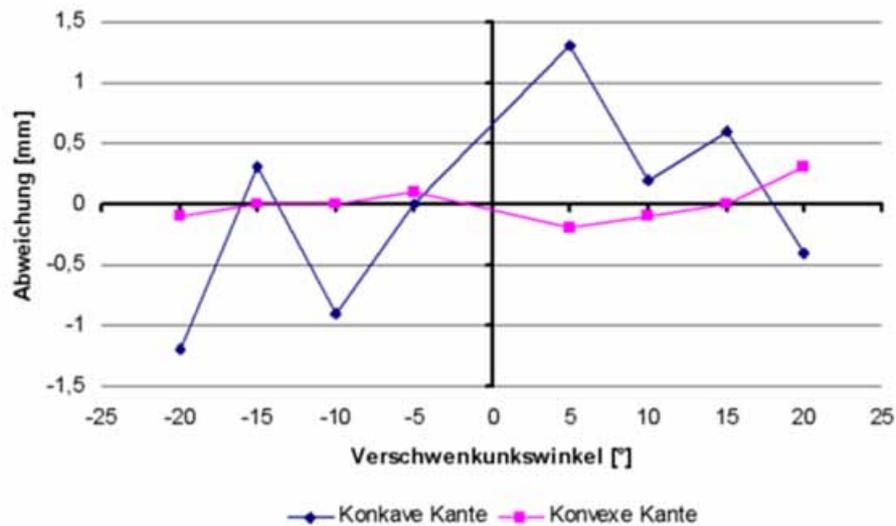


Abb. 8: Meßabweichungen beim Messen auf eine Kante

3.3.3 Stufe

Die Messung auf eine Stufe, wie in Abb. 6d gezeigt, wurde nicht durch Experiment untersucht. Ingsand 1999 weist auf die Gefahr von Fehlmessungen hin, die durch das Übersprechen von Mehrwegsignalen entstehen können. Die Arbeiten an der Synagoge Wörlitz zeigten aber keine derartigen Auffälligkeiten. Durch die sofortige Online-Auswertung sind zudem grob fehlerhafte Messungen leicht erkennbar.

3.3.4 Einfluß des Materials

Der Einfluß des Materials auf den der Laserstrahl gerichtet wird ist vorwiegend durch dessen Rauigkeit und Farbe gegeben. Es sind Messungen auf unterschiedliche Materialien wie Holz, Blech, Pappe, Fliese, Styropor, Ziegel- und Kalksandstein, sowie auf Schaumstoff und Teppichboden durchgeführt worden. Die zuletzt genannten Materialien führten zu deutlich längeren Streckenwerten (Abb. 9). Bei den anderen sind nur geringe Meßabweichungen (<3mm) aufgetreten. Überraschungen sind, wie diese Ergebnisse belegen, in der Praxis durchaus zu erwarten. Eine Farbabhängigkeit konnte hingegen nicht beobachtet werden.

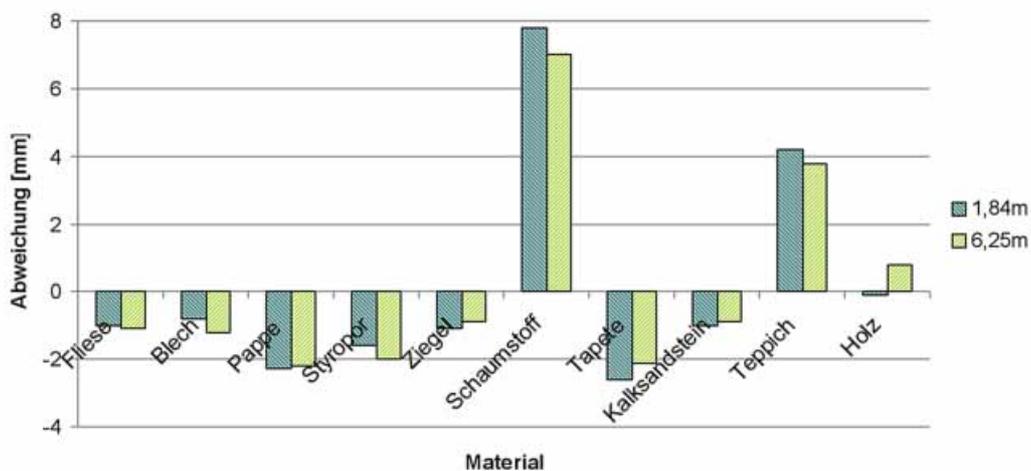


Abb. 9: Abweichungen vom Mittelwert aufgrund unterschiedlicher Materialarten. Zwei Meßreihen mit unterschiedlicher Objektentfernung.

4. Reflektorlose Polaraufnahme

Für die Bauaufnahme der Synagoge Wörlitz wurde das kalibrierte Lasermeter mit einem elektronischen Theodolit von Typ Leica T460D kombiniert. Durch eine Adaptervorrichtung in Form einer Wippe mit zwei Freiheitsgraden wird der DISTO auf das Theodolitfernrohr aufgesetzt. Die Konstruktion soll gewährleisten, daß die Meßachse des Streckenmessers und die Ziellinie des Fernrohres parallel verlaufen. Die Parallelität ist vor Meßbeginn zu überprüfen und kann durch zwei Justierschrauben an der Wippe korrigiert werden. Weiterhin soll idealerweise der Streckennullpunkt des DISTO mit der Kippachse korrespondieren. Zwei Befestigungsarten für den Lasermeter sind möglich. Bei der ersten beträgt der Sendeachsenabstand 142mm, bei der zweiten verringert er sich auf 98mm. In der aus Genauigkeitsgründen vorzuziehenden zweiten Position ist der Laserpunkt bei Objektzielen schon ab etwa 2m Entfernung im Gesichtsfeld des Fernrohres zu sehen.

Sämtliche Meßdaten wurden online verarbeitet. Die eingesetzte Software brachte die nötigen Korrekturen, insbesondere die Berücksichtigung des Sendeachsenabstandes, an die Meßwerte an und berechnete 3D-Koordinaten, die direkt in eine 3D-Zeichnung übernommen wurden. Der Vorgang zur Einzelpunktbestimmung lief wie folgt ab. Der Objektpunkt wurde mit dem Laserstrahl angezielt, dann die Messung am Notebook ausgelöst. War der Meßdatensatz an den Rechner übermittelt, erschien er als Punkt in der CAD-Zeichnung. Zwischen einzelnen Meßpunkten konnten dann im einfachsten Fall Linien gezeichnet werden. Graphische Attribute, wie Farbe, Strichstärke oder Texte, wurden unmittelbar hinzugefügt.

5. Ablauf der Bauaufnahme

5.1 Allgemeines

In Abb. 10 ist der Ablauf einer Bauaufnahme schematisch dargestellt. Ausgehend von der rein geometrischen Erfassung werden im weiteren Verlauf der Arbeiten topologische und semantische Informationen hinzugefügt. Am Ende steht die Analyse und Interpretation der Pläne und Karte im baugeschichtlichen Kontext. In der Praxis muß von diesem sequentiellen Ablauf abgewichen werden. Für die Auswahl der Meßmethode, die Festlegung der Genauigkeit und den Umfang der Vermessung sind bereits zu Beginn die später im Rahmen der Analyse und Interpretation zu untersuchenden Hypothesen zu berücksichtigen. Eventuell sind mit fortschreitenden der Arbeiten neue Aspekte einzubeziehen. Die Bauaufnahme gestaltet sich somit zu einem Prozeß, bei dem der kontinuierliche Informationsaustausch zwischen den Beteiligten wichtig ist.

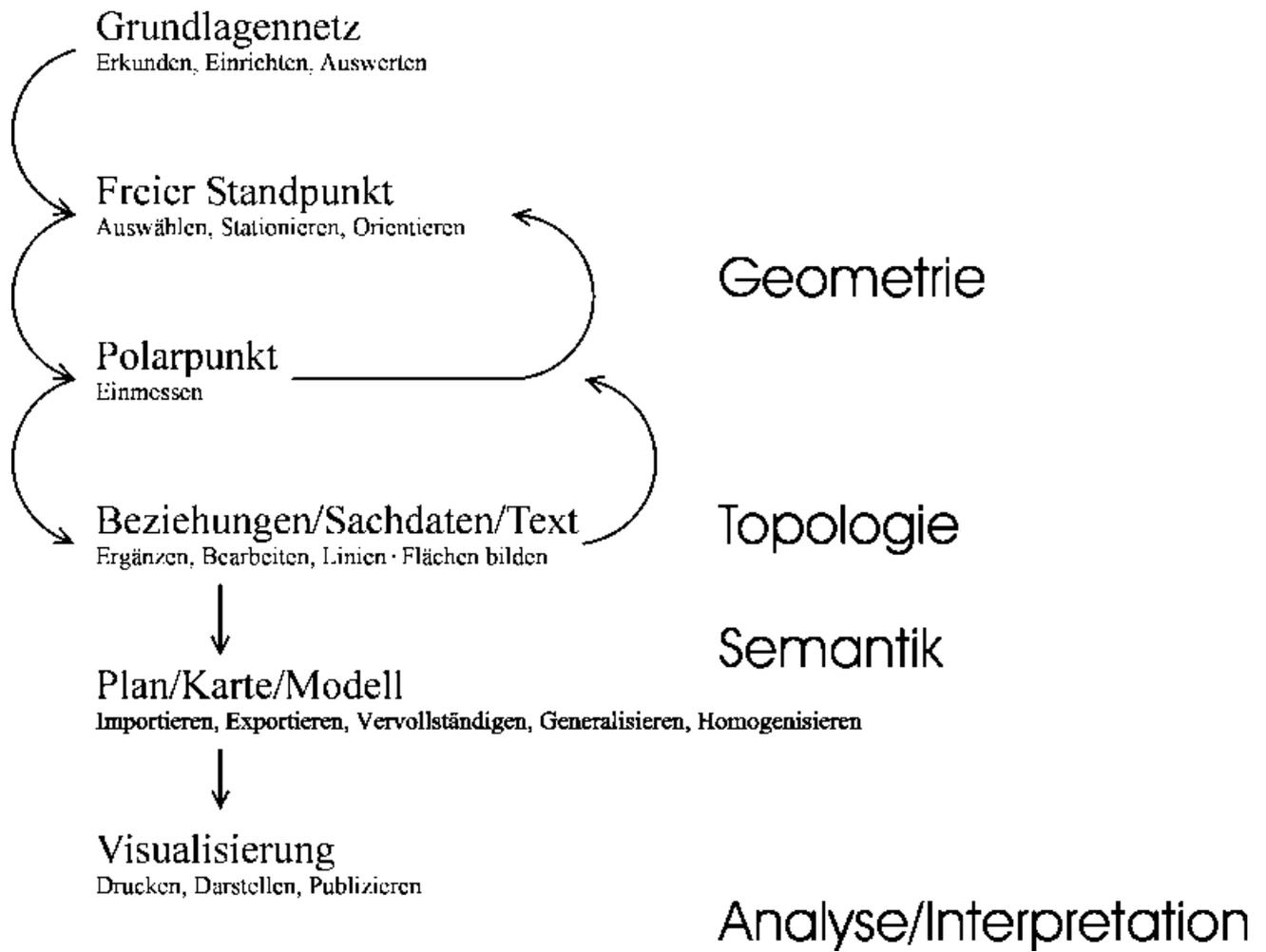


Abb. 10: Schematisierter Ablauf einer Bauaufnahme.

5.2 Grundlagennetz

Dem oben beschriebenen Ablaufplan folgend, ist für die Erfassung der Gesamtanlage in Lage und Höhe zuerst ein umschließendes Grundlagennetz um die Synagoge angelegt worden. Durch die Koordinierung mehrerer Festpunkte ließen sich die einzelnen Aufnahme-standpunkte für die reflektorlose Vermessung zueinander orientieren. Die Anlage des Aufnahme-netze erfolgte ausgehend von zwei amtlichen Aufnahmepunkten der Landesvermes-sung. Hierdurch konnte die Vermessung auf ein übergeordnetes amtliches Netz bezogen wer-den. Dies hatte den Vorteil, daß die Ergebnisse der Bauaufnahme auch in Bezug zu anderen Bauwerken des Wörlitzers Gartenreiches gebracht werden konnten. Eine Integration in vor-handene Karten oder Pläne war dadurch ebenso möglich. Ein Mehraufwand entstand hier-durch nicht. Vielmehr konnten die Aufnahmepunkte auf sehr gut vermarkte und gesicherte Adapterbolzen gegründet werden. Nach- oder Ergänzungsmessungen waren somit problemlos vorzunehmen.

Das Aufnahmenetz hatte die Gestalt eines Ringpolygons und war zur Steigerung der Netzzuverlässigkeit um weitere Netzverbindungen ergänzt worden. Die Messungen erfolgten mittels elektronischen Tachymeter und Online-Auswertung. Die Höhen wurden gleichzeitig ermittelt und sind ausreichend genau trigonometrisch berechnet worden.

Aufbauend auf dem Grundlagennetz erfolgte die Objektpunktvermessung durch freigewählte Standpunkte. Die zu vermessenden Punkte wurden mit dem Laserpunkt des DISTO angezielt. Auf einen Kontrollblick durch das Theodolitfernrohr wurde dabei in der Regel verzichtet. Die exakte Einstellung des Laserflecks gelingt auch mit unbewaffneten Auge. Mit den Feintrieben

des Theodolits wird dabei das Objekt mit dem Leuchtfleck überstrichen. Je nach Objektgestalt springt dann der Fleck hervor- oder zurück, so daß daraus leicht der gewünschte Knickpunkt durch hin und her schwenken ermittelt werden kann.

5.3 Objektpunktvermessung

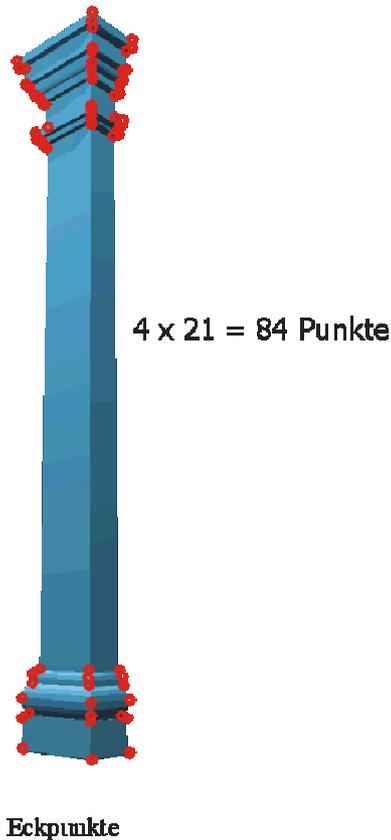
Zuerst wurde die Eingangsseite der Außenfassade aufgenommen. Durch die Synagoge wurde dazu ein Vertikalschnitt angelegt, der entlang der äußeren Symmetrieachse verläuft. Die Lage und Größe der runden Fensteröffnungen wurde durch drei Punkte diskretisiert. Über einen vorgeschobenen Standpunkt wurden die Innenräume aufgenommen. Für die geforderten Vertikalschnitte mußte das Tachymeter jeweils in die Vertikalebene eingerichtet werden. Sie wurden mit Hilfe von einfachen Schnittpunktberechnungen exakt abgesteckt.

Im Inneren zeigte die Meßmethode ihre besondere Stärke. Der Baukörper der Synagoge hat einen Durchmesser von 10m und einer Höhe von fast 12m, so daß zur Aufnahme der Ausgestaltung im Dachstuhl und der Laterne extrem steile Visuren (z.T. Zenitwinkel $<20^{\circ}$) vorzunehmen waren. Die mehrfach durchgeführten Kontrollmessung von unterschiedlichen Standpunkten aus zeigten erfreulicherweise keine Genauigkeitsverluste.

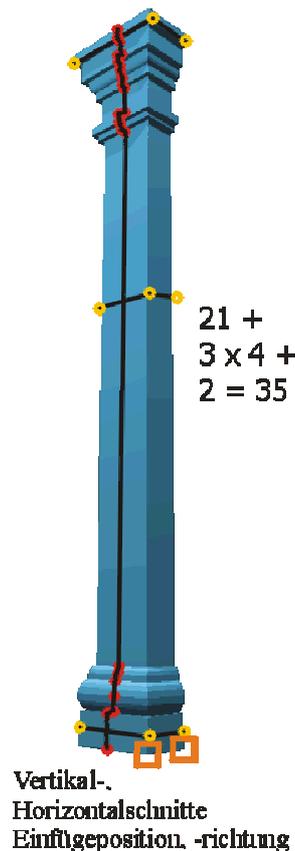
5.4 Prototyp-Clone-Methode

Die zwölf Pilaster der Fassade sind durch ein vereinfachtes Verfahren vermessen worden. Gemeinsam mit dem Bauforscher ist dabei ein Interessenausgleich gelungen, bei dem auf der einen Seite das Postulat des verformungstreuen Aufmaßes stand und auf der anderen Seite der Vermessungsaufwand wirtschaftlich vertretbar blieb.

Verformungstreues Aufmaß



Prototyp



Clone

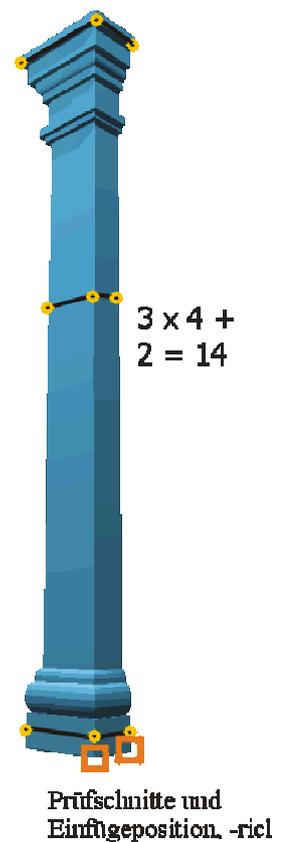


Abb. 11: Reduktion des Meßaufwandes durch Prototyp-Clone-Methode

Anstelle jeden Pilaster in allen Knickpunkten aufzunehmen, wurde nur ein Pilaster gewissermaßen als Prototyp (Muster) durch einen Vertikal- und drei Horizontalschnitte repräsentiert. Die Schnitte erlauben eine korrekte dreidimensionale Konstruktion als Extrusionskörper. Dabei ist der Vertikalschnitt die Leitlinie und ein Horizontalschnitt der Extrusionspfad. Die verbleibenden Schnitte sind zur Orientierung des Pilaster im Raum und zur Kontrolle nötig. Die anderen elf Pilaster wurden durch Kontrollmessungen, teilweise per Maßband, auf ihre innere Geometrie hin überprüft und so mit dem Prototyp verglichen. Lag keine wesentliche Abweichung vor, reichte es aus nur, noch die Lage und Orientierung eines Pilaster durch zwei Meßpunkte festzustellen. Sie dienten später bei der Auswertung als Einpassungspunkte. Im CAD wurde der Prototyp hierzu dupliziert und an der gemessenen Position eingefügt und entsprechend ausgerichtet.

Wie die Abb. 11 darstellt, reduziert sich der Meßaufwand durch die Prototyp-Clone-Methode von 84 auf 14 Meßpunkte pro Pilaster. Insgesamt wurde der Aufwand um 81% reduziert und zudem der eine oder andere Standpunkt eingespart, da die Einpassungspunkte beliebig gewählt werden konnten.

5.5 Exzentrische Aufnahme von Punkten

Ein durchaus ärgerlicher Punkt bei Polaraufnahmen ist die Vermessung von verdeckt liegenden Punkten. Es kommt vor, daß für lediglich einen Objektpunkt ein separater Standpunkt eingerichtet werden muß. In vielen Fällen kann dem durch exzentrisches Messen abgeholfen werden. Als einfachster Fall ist die exzentrische Bestimmung eines Boden- oder Decken-

punktes mit einer lotrecht gehaltenen Nivellierlatte (Fluchtstab, Meterstab o.ä.) zu nennen. Der Laserpunkt wird hierbei auf einen Teilstrich der Latte scharf eingestellt. Zusammen mit der abgelesenen "Höhe" kann dann durch vorzeichenrichtiges Zuschlagen die Objekthöhe berechnet werden.

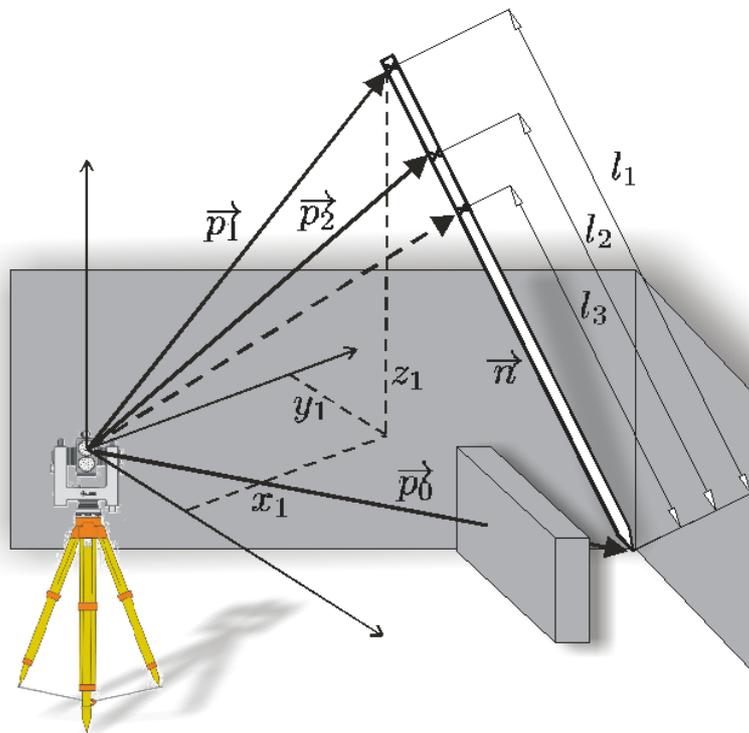


Abb. 12: Methode Kanalprisma zur Vermessung verdeckter Punkte

Wenn es nicht möglich ist, die Nivellierlatte in senkrechte Position zu stellen, kann auch mit einer Latte, die willkürlich im Raum orientiert ist, gearbeitet werden (Abb. 12). Hierzu sind jedoch mindesten zwei Messungen an möglichst weit auseinanderliegenden Teilstrichen vorzunehmen. Die beiden Punktbestimmungen definieren eine Raumgerade, die in Richtung des Objektpunktes zeigt. Die Koordinatenberechnung kann analog zum Verfahren der Messung mit einem Kanalmeßstab [Wedderwille-Lafuge 1992] erfolgen.

6. Ergebnisse

Mit Hilfe des Online-Meßsystems konnten ein Grundriß und zwei Schnitte in Rohform bereits vor Ort angefertigt werden. Hierzu war es zwingend erforderlich mit zwei Personen zu arbeiten. Eine Person zielte die Objektpunkte an und gab so die Art und Weise der Modellierung vor, die der Zeichner am Notebook in ein Drahtmodell umsetzte. Häusliche wurden das Drahtmodell gemäß der Prototyp-Clone-Methode vervollständigt und darauf aufbauend die in Abb. 13 gezeigte Karte bzw. der in Abb. 14 abgedruckte Schnitt abgeleitet.

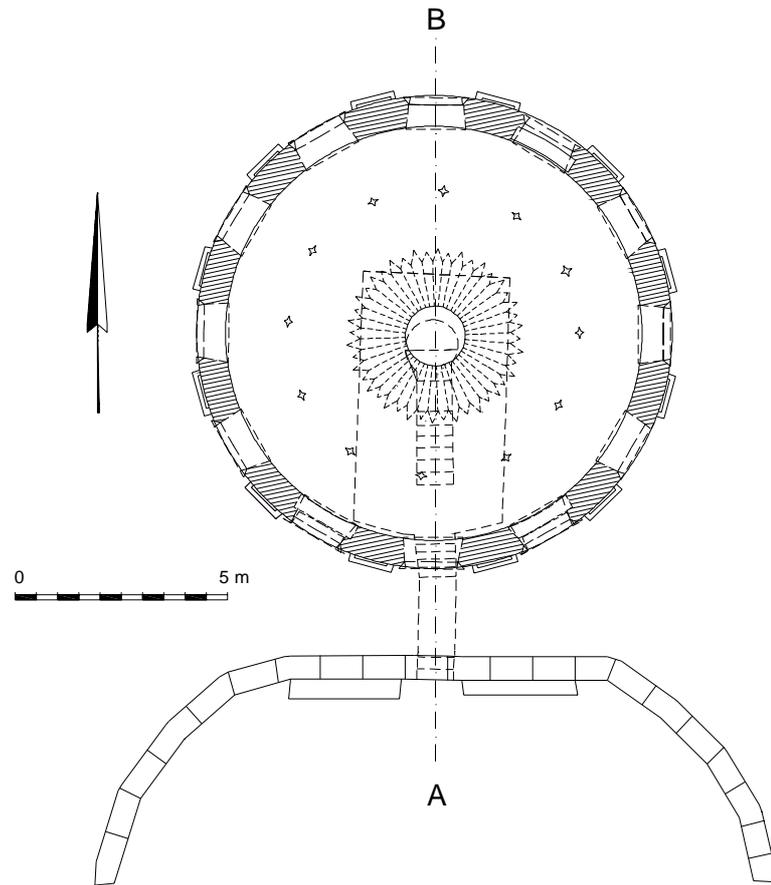


Abb. 13: Grundriß der Synagoge in Wörlitz

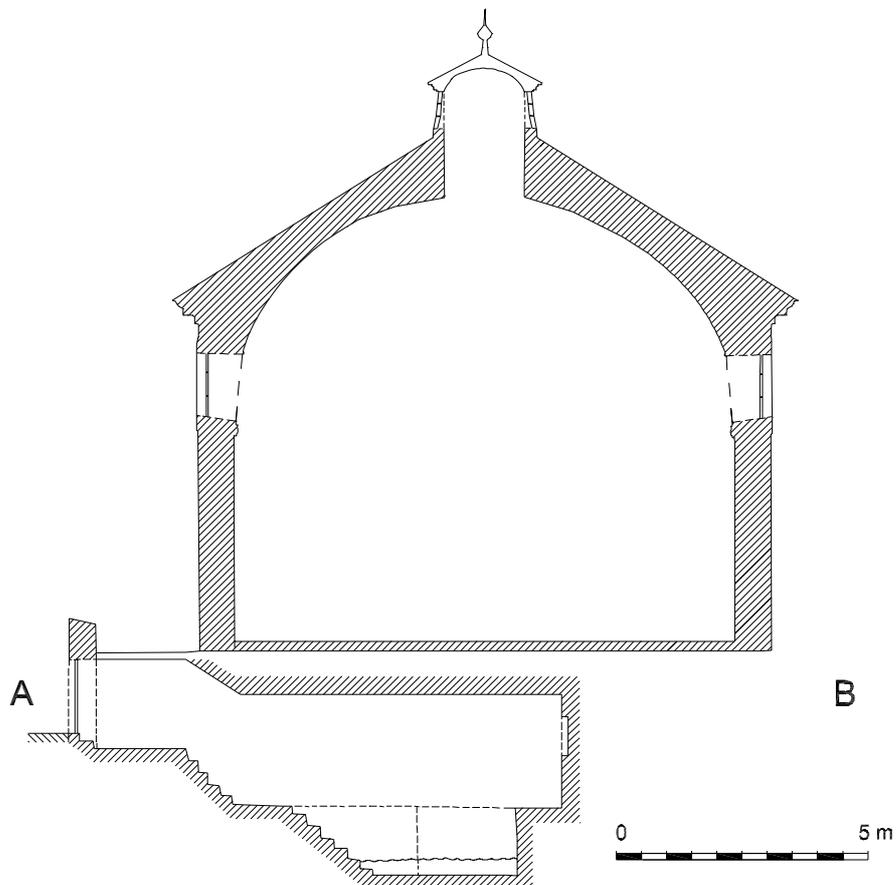


Abb. 14: Tempelbau und darunterliegende Mikwe im Schnitt

Kern, F.: Bauaufnahme der Synagoge Wörlitz mittels reflektorloser Polaraufnahme. in: Weferling, U., Heine, K., Wulf, U. (Hrsg.): Von Handaufmaß bis High Tech; Interdisziplinäres Kolloquium vom 23.-26. Februar 2000 in Cottbus, Verlag Philipp von Zabern, Mainz am Rhein, 2001, S.: 198-205

Quellen

- Heiliger, R. (1993): Architektengerechte geodätische Gebäudebestandserfassung, Der Vermessungsingenieur, Heft 4, 1993, S.172-177
- Ingensand, H. (1999): Robotertachymeter - Polare Positioniersysteme der Zukunft; in: Verein deutscher Ingenieure VDI (Hrsg.): Moderne Sensorik für die Bauvermessung. VDI-Berichte 1454, Düsseldorf, VDI-Verlag, 1999, S.33-47
- Joeckel, R. (1997): Überprüfung der Instrumente zur reflektorlosen Entfernungsmessung; Joseph von Egle Institut der Hochschule für Technik Stuttgart, Jahresbericht 1997, S. 96-97
- Kehne, G. (1989): Beiträge zum Einsatz tachymetrischer Verfahren bei der Bauaufnahme; Geodätische Schriftenreihe der technischen Universität Braunschweig, Nr. 9, (Dissertation 1989)
- Schlemmer, H. (1996): Grundlagen der Sensorik; H. WichmannVerlag, Hüthig GmbH, Heidelberg, 1996
- Schwarz, H.-P.(Hrsg.) (1988); Die Architektur der Synagoge; Klett-Cotta, Stuttgart, 1988
- Wangerin, G. (1986): Bauaufnahme Grundlagen, Methoden, Darstellung; Vieweg, Braunschweig, 1986
- Wedderwille-Lafuge, K., Wolf, V. (1992): Das Kanalmeßsystem SMP2000 für Kanalaufnahme und Kanalkataster; Vermessung und Raumordnung, Heft 2+3, 1992, S. 143-149
- Witte, B., Yang, J. (1994): Das Hand-Lasermeter DISTO der Firma LEICA; Vermessung und Raumordnung, Heft 4+5, 1994, S.284-289