

Nutzung historischer Pläne und Bilder für die Stadtforschungen in Baalbek/Libanon

FRANK HENZE & HEIKE LEHMANN, Cottbus; BETTINA BRUSCHKE, Dresden

Keywords: Historic maps and images, image orientation, ortho-image generation, 3D reconstruction, urban history

Summary: *Analysis of Historic Maps and Images for Research on Urban Development of Baalbek/Lebanon.* The analysis of historic maps and images is an important part of current research on the development of Baalbek from antiquity until the 20th century. The archaeological project aims at discovering the urban layout of the city in different historical periods of time and the understanding of conditions for urban transformations. Drawings, plans and photographs of former investigations between the beginning of the 20th century and the 1960s are the basis for current observations. Especially the reconstruction of the late ottoman town is done on the basis of photogrammetric images taken by Albrecht Meydenbauer in the early 20th century and aerial photographs of the French mandate period during the 1930s. With a subsequent orientation of selected images, including the estimation of camera parameters, it was possible to generate several orthoimage maps from vertical aerial images for different overflights. 3D geometries could be obtained from oblique aerial images for the creation of a 3D city model for a partially destroyed central area of Baalbek using CityGML.

Zusammenfassung: Die Analyse historischer Karten und Bilder ist wichtiger Bestandteil der Forschungsarbeiten zur Stadtentwicklung Baalbeks von der Antike bis ins 20. Jahrhundert. Im Rahmen des baugeschichtlich-archäologischen Forschungsprojektes sollen u. a. der Stadtausbau zu verschiedenen Zeiten sowie die Bedingungen für urbane Transformationsprozesse untersucht werden. Zeichnungen, Pläne und Fotografien vorangegangener Untersuchungen zwischen Anfang des 20. Jahrhunderts und den 1960er Jahren bilden die Grundlage für die aktuellen Forschungen. Die Rekonstruktion der spätosmanischen Stadt erfolgt dabei mit Hilfe photogrammetrischer Aufnahmen von Albrecht Meydenbauer aus dem frühen 20. Jahrhundert sowie durch Auswertung historischer Luftbilder der französischen Mandatszeit aus den 1930er Jahren. Über eine nachträgliche Orientierung ausgewählter Bilder, unter Mitbestimmung der inneren Orientierung, konnten aus den Vertikal-aufnahmen Orthobildpläne für verschiedene Befliegungen erstellt werden. Aus historischen Schrägluftbildern wurden 3D Geometrien für die Rekonstruktion eines zum Teil zerstörten Stadtviertels gewonnen. Aus diesen Daten wurde mit Hilfe von CityGML exemplarisch ein 3D Stadtmodell für einen zentralen Bereich Baalbeks erstellt.

1 Die Stadt Baalbek und ihre Forschungsgeschichte

Die monumentalen Ruinen des Jupiterheiligtums der antiken Stadt Heliopolis prägen bis heute das Stadtbild Baalbeks, einer modernen Stadt in der nördlichen Beqaa-Ebene im Libanon. Heliopolis war in der römischen Antike ein wichtiges Pilgerzentrum mit überregionaler Bedeutung. Baalbek/Heliopolis blieb seitdem kontinuierlich besiedelt, weshalb die an-

tike Stadt im Laufe der Jahrhunderte durch neue Bauten überformt wurde. Heute wird das Umfeld des Jupiterheiligtums vom Altstadt-kern der modernen Stadt Baalbek eingenommen und das Heiligtum erfuhr seit der Spätantike neue Nutzungen, die jeweils mit verschiedenen Um- und Einbauten verbunden waren.

Ab dem 17. Jahrhundert zogen die Überreste der römischen Prachtbauten europäische Reisende in ihren Bann. Die Ruinen wurden in Reisetagebüchern detailliert beschrieben



Abb. 1: Romantisierende Darstellung der Römischen Ruinen Baalbeks von David Roberts, der Baalbek im Mai 1839 besuchte (ROBERTS & CROLY 1843, Vol. II, Plate 36).

und vor Ort in Zeichnungen und Stichen festgehalten (siehe Abb. 1 und 2). Im Jahre 1898 war Baalbek eine Station auf der Orientreise des Deutschen Kaisers Wilhelm II. (CARMEL & EJAL 1899). Auf seine Veranlassung fanden von 1900 bis 1904 die ersten umfassenden wissenschaftlichen Untersuchungen der römischen Bauten unter Leitung Theodor Wiegands statt. Die Ergebnisse der deutschen Baalbek-Expedition wurden zwischen 1921 und 1925 in drei Bänden publiziert (WIEGAND 1921/1923/1925). Neben den in der Publikation enthaltenen Baubeschreibungen und umfangreichen Bauaufnahmeplänen, stehen uns heute aus der Zeit der ersten Ausgrabungen eine Messtischaufnahme Gottlieb Schumachers (siehe Abb. 3) sowie etwa 300 Messbildaufnahmen Albrecht Meydenbauers zur Verfügung.

Weitere Untersuchungen der römischen Hinterlassenschaften in Baalbek folgten in den 1930er Jahren durch französische sowie in den 1960er und 1970er Jahren durch libanesische Wissenschaftler. Während sich die französischen Ausgrabungen auf die bekannten Ruinen und die Klärung detaillierter Fragen zum Kult in Baalbek konzentrierten (COLLART & COUPEL 1951/1977), wurden unter libanesischer Leitung riesige neue Areale frei-

gelegt. Der Verlauf der Ausgrabungen ist im Archiv der Libanesischen Antikenverwaltung in Beirut in tausenden von Fotos dokumentiert. Durch den Ausbruch des Libanesischen Bürgerkrieges mussten die Arbeiten 1975 abrupt beendet werden, so dass Bereiche nicht fertig ausgegraben wurden oder undokumentiert blieben.

2 Aktuelle Forschungen

Seit 2002 finden in Kooperation zwischen der Libanesischen Antikenverwaltung (DGA), der Orientabteilung des Deutschen Archäologischen Instituts Berlin (DAI) und der BTU Cottbus neue Feldforschungen in Baalbek statt (VAN ESS 2003/2005/2008). In Abgrenzung zu den historischen Altgrabungen ist das von der DFG finanzierte Projekt nicht auf die Untersuchung der römischen Bauten beschränkt, sondern hat die Erforschung der Stadtentwicklung und urbanen Struktur Baalbeks seit der Antike bis ins 20. Jahrhundert zum Ziel.

Die Arbeiten in Baalbek konzentrieren sich auf die abschließende Dokumentation und Auswertung bereits ausgegrabener Bereiche im Stadtgebiet. Anhand dieser Untersuchungen sollen Fragen zu topografischen, städte-

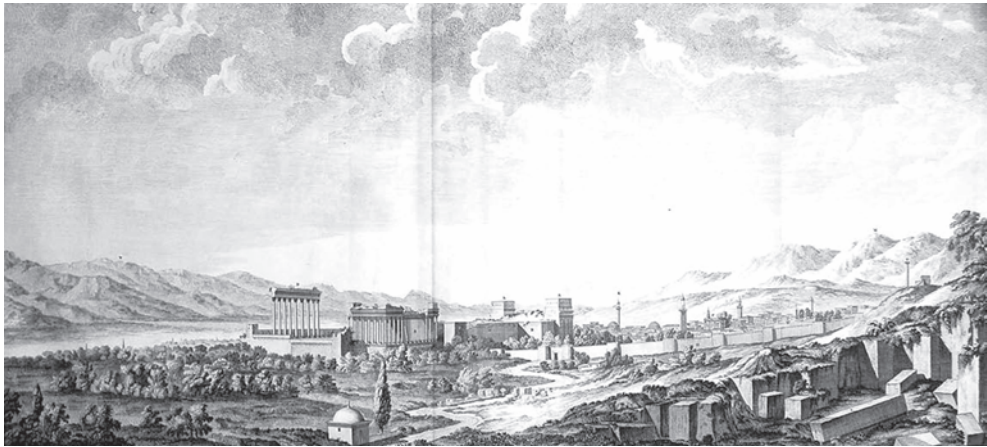


Abb. 2: Stadtansicht Baalbeks von Südwesten vor dem verheerenden Erdbeben von 1759, Kupferstich Robert Wood 1851 (Wood 1857, Plate II).

baulichen, ökonomischen und gesellschaftlichen Grundlagen des Heiligtums und der Stadt in verschiedenen Epochen geklärt werden.

Historische Karten und Bilder spielen für die aktuellen Forschungen eine entscheidende Rolle, da vor allem in den letzten 100 Jahren zum Teil erhebliche Veränderungen in der Stadt und am Heiligtum vorgenommen wurden. Auf Grundlage von Bauaufnahmen, Zeichnungen und Fotografien lässt sich nicht mehr erhaltene Substanz rekonstruieren und mit neuen Fragestellungen analysieren. Das historische Material liefert einerseits Informationen zum generellen Charakter der Stadt in verschiedenen Zeiten. Andererseits bietet das Bildmaterial die Möglichkeit, durch photogrammetrische Methoden 2D und 3D Geometrien einzelner Bauten sowie Daten für ein digitales Geländemodell (DGM) zu gewinnen.

3 Darstellungen von Reisenden der letzten Jahrhunderte

Wichtige Informationen aus einer Zeit, aus der ansonsten wenige Zeugnisse zur Stadtgeschichte Baalbeks vorhanden sind, überliefern die seit dem 17. Jahrhundert entstandenen Stiche und Zeichnungen von Stadtansichten (siehe Abb. 1 und 2). Der Wert dieser frühen Darstellungen für die aktuelle Stadtforschung lässt sich exemplarisch an der Prachtpublikation Robert Woods (Wood 1757), der 1751 Baalbek be-

suchte, darstellen. Die Publikation umfasst neben einer detaillierten Beschreibung der Ruinen 46 Tafeln mit Stichen, darunter ein Stadtplan und eine Stadtansicht von Südwesten (siehe Abb. 2). Diesen Darstellungen ist eine Fülle an Informationen zum Zustand der Ruinen und dem Charakter der Stadt zu entnehmen, die im Kontext mit späteren Untersuchungen zur Klärung der Stadtentwicklung beitragen. Die Abbildungen und Beschreibungen Woods geben zum Beispiel erste Hinweise auf den Verlauf und das Aussehen der Stadtmauer. Zusammen mit den geografischen Informationen aus dem Schumacherplan (siehe Abb. 3) war es möglich, den Verlauf der Stadtmauer zu rekonstruieren und in archäologischen Sondagen nachzuweisen. Damit ergibt sich die Möglichkeit der Datierung des bisher in seiner Zeitstellung ungeklärten Bauwerks.

Des Weiteren lässt sich den Abbildungen der städtische Charakter Baalbeks mit öffentlichen Bauten, erkennbar an den Kuppeln der Bäder und den Minaretten der Moscheen, entnehmen. Woods Zeichnungen der Ruinen belegen, dass das osmanische Dorf im großen Altarhof des Jupiterheiligtums zu dieser Zeit schon aufgegeben und zerstört war (Wiegand 1925; siehe Abb. 4). Spätere Zeichnungen aus dem 18. und frühen 19. Jahrhundert zeigen Baalbek als dörfliche Oase mit wenigen rund um die Ruinen gelegenen Häusern. Zugunsten romantischer Bildkompositionen zeigen die-



Abb. 3: Messtischaufnahme Baalbeks von Gottlieb Schumacher aus dem Jahr 1904 (VAN ESS & WEBER 1999, S. 6).

se Darstellungen nicht immer ein genaues Abbild der Umgebung des Heiligtums und müssen deshalb hinsichtlich ihres Wahrheitsgehaltes hinterfragt werden. Die Beobachtungen zum Verfall der Stadt im späten 18. und frühen 19. Jahrhundert decken sich jedoch mit Ergebnissen der Untersuchungen der heute erhaltenen traditionellen Wohnbebauung. Die dendrochronologische Auswertung von Bauhölzern ergab, dass die meisten Häuser erst im ausgehenden 19. Jahrhundert entstanden sind (LEHMANN 2008). Damit sind die historischen Abbildungen ein wichtiges Zeugnis für die Zerstörung Baalbeks beim Erdbeben von 1759 (AMBRASEYS & BARAZANGI 1989), von der sich die Stadt erst im späten 19. Jahrhundert erholt hat.

4 Wissenschaftliche Dokumentationen der Altgrabungen

Die Altgrabungen hatten vor allem die Erforschung des römischen Erbes der Stadt zum Ziel, weshalb die spätere Überbauung der an-

tiken Ruinen zwar in Grundrissen aufgenommen und dokumentiert, dann aber zum großen Teil abgetragen wurde (siehe Abb. 4). An anderen Stellen wurden die römischen Bauten wieder errichtet oder, wenn sie einsturzgefährdet erschienen, durch Sicherungsmaßnahmen verändert.

Historisches Bild- und Kartenmaterial ist heute oft die einzige Quelle, um die zerstörten oder durch Rekonstruktionen veränderten Befunde analysieren zu können. Dafür werden nicht nur die Plangrundlagen benötigt, sondern auch die damals entstandenen Fotos inhaltlich ausgewertet. Anhand der Fotos lassen sich die ursprünglichen Fundsituationen zurückverfolgen und Rekonstruktionsprozesse nachvollziehen.

4.1 Einbindung von Planunterlagen

Die zeichnerische Dokumentation des aktuellen Forschungsprojektes ist in ein übergeordnetes Koordinatensystem eingebunden. Damit das historische Planmaterial für aktuelle Fragestellungen und als Basis für weitergehende Untersuchungen genutzt werden kann, müssen die Pläne entzerrt und georeferenziert werden.

Die Einbindung in das örtliche Koordinatensystem ist prinzipiell über identische Objektpunkte oder ggf. auch über Koordinatenangaben in den Plänen möglich. Zum Teil zeigen sich dabei jedoch erhebliche Abweichungen zu den präzisen aktuellen Messungen. Da es in der Regel keine Dokumentation über die Vorgehensweise bei den damaligen Aufnahmen gibt, lassen sich die Ursachen der Abweichungen kaum klären.

Die früheste kartografische Darstellung, die aufgrund des Aufnahmeverfahrens für eine geometrische Auswertung geeignet erscheint, ist die Messtischaufnahme von Gottlieb Schumacher aus dem Jahr 1904 (siehe Abb. 3). Das Verfahren der Messtischaufnahme wurde bereits Anfang des 17. Jahrhunderts eingeführt und in erweiterter Form und mit modernen Messgeräten bis zum Ende des 20. Jahrhunderts für die topografische Aufnahme vor Ort eingesetzt (DEUMLICH & STAIGER 2002). Die vorliegende Messtischaufnahme von Baalbek ist im Maßstab 1 : 5 000 für ein Ge-

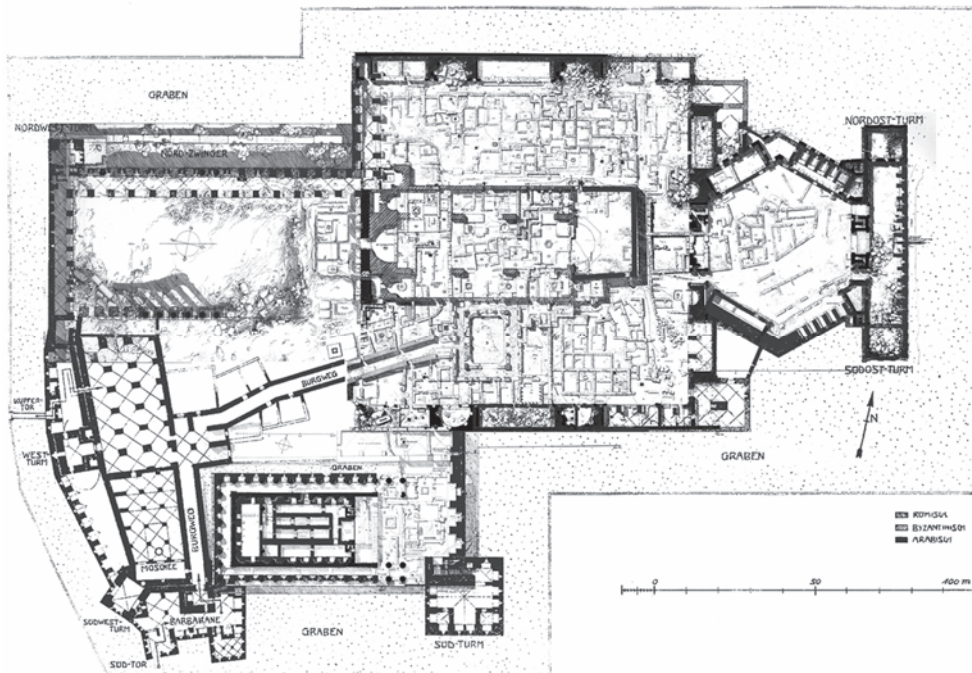


Abb. 4: Das Jupiterheiligtum mit nachantiken Einbauten. Montage von Bauaufnahmeplänen der deutschen Altgrabung (WIEGAND 1925).

biet von ca. $2 \times 2,5 \text{ km}^2$ erstellt worden und zeigt, neben der Ausdehnung des Ortes, auch das Straßen- und Wegenetz, inkl. der Eisenbahnstrecke nach Homs sowie Informationen zur Nutzung und Bezeichnung bestimmter Areale und Gebäude. Für die Georeferenzierung des Plans wurden an den in der Karte dargestellten, markanten Bauwerken ausgesuchte Punkte tachymetrisch bestimmt. Trotz einer gleichmäßigen Verteilung dieser Referenzpunkte über das gesamte historische Stadtgebiet bleiben nach einer Affinkorrektur Spannungen von bis zu 30 m (!) zu den aktuellen geodätischen Messungen. Diese großen Abweichungen lassen sich aus der erreichbaren Genauigkeit für Messtischaufnahmen allein nicht erklären. Die Gewinnung verlässlicher geometrischer Informationen aus diesem Plan ist daher nicht möglich.

Die Bauaufnahmepläne der deutschen Grabung zu Beginn des 20. Jahrhunderts sind der Grabungspublikation von Theodor Wiegand (WIEGAND 1921/1923/1925) entnommen und dokumentieren den Zustand der großen Tempelanlage (siehe Abb. 4) sowie den Bereich des

sog. Venusareals nach der ersten Freilegung. Auch auf diesen Plänen ist kein Koordinatengitter eingezeichnet, so dass eine vorgeschaltete, partielle Plankorrektur nicht möglich ist. Bei der Georeferenzierung der Pläne über identische Objektpunkte treten Abweichungen von mehreren Dezimetern zu aktuellen Messungen auf.

Die meisten Planunterlagen der libanesischen Grabungen aus den 1960er Jahren sind mit einem Koordinatengitter versehen und erlauben somit eine geometrische Korrektur von Scan- und Papierverzug. Die Pläne wurden hierfür zunächst in kleinere Bereiche aufgeteilt, die dann getrennt über eine Affintransformation umgebildet und anschließend wieder zu einem Gesamtplan montiert wurden. Da über das in den Plänen vorhandene Koordinatensystem keine Informationen vorliegen, wurden die korrigierten Pläne schließlich über identische Objektgeometrien im aktuellen Koordinatensystem referenziert. In einzelnen Bereichen kommt es trotzdem zu Abweichungen von mehreren Dezimetern zu den aktuellen Messungen, die auf Probleme bei der ein-

heitlichen Erfassung der weitläufigen Grabungsareale mit den damals zur Verfügung stehenden Aufnahmemethoden hindeuten.

5 Rekonstruktion der spätosmanischen Stadt aus historischen Aufnahmen

Stadtentwicklung und Stadtumbauprozesse im ausgehenden 19. und frühen 20. Jahrhundert lassen sich mit Hilfe der frühen fotografischen Aufnahmen nachvollziehen.

In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts produzierten verschiedene Fotostudios touristische Aufnahmen und zum Teil auch Stereobilder von Baalbek mit den Ruinen im Mittelpunkt (FANI 2005; BASTIAN 2007). Die älteste bekannte Fotografie mit einer Stadtansicht Baalbeks von 1855 stammt von Wilhelm Herford (FANI 2005; siehe Abb. 5). Die Aufnahme zeigt Baalbek von Südwesten, mit Wohnhäusern in der für die Dörfer der Beqaa typischen Bauweise mit flachen Lehmdächern (EL-KHOURY 1975, LEHMANN 2008). Fotografien aus der Zeit um die Jahrhundertwende, wie die Aufnahmen L. Burchhardts von 1897 (NIPPA 1996) oder die Messbilder A. Meydenbauers aus dem Jahre 1902, zeigen, wie sich der Charakter der Stadt verändert. Es entstehen zunehmend repräsentative Zentralhallenhäuser mit roten Ziegeldächern und die Stadt wird mit öffentlichen Bauten ausgestattet. Ein genauerer Blick auf die hoch aufgelösten Aufnahmen lässt sogar Neu- und Umbauprozesse einzelner Bauten erkennen. Damit können einerseits Informationen

zu heute nicht mehr vorhandenen Gebäuden gewonnen werden, andererseits sind die historischen Aufnahmen wichtige Quellen zur Bearbeitung des erhaltenen historischen Baubestandes.

Aufschluss über die noch bis in die Mitte des 20. Jahrhunderts weitgehend intakte Altstadt von Baalbek geben auch Vertikal- und Schrägluftbilder (siehe Abb. 7), die im Rahmen von Aufklärungsflügen während und zwischen den Weltkriegen entstanden sind (CARMEL & EJAL 1999).

Durch vergleichende Analysen dieses Materials können Veränderungs- und Umbauprozesse, die zum Teil mit dem Abriss ganzer Stadtviertel einhergehen, nachvollzogen werden. Die photogrammetrische Auswertung des Bildmaterials ermöglicht, diese zerstörten Viertel für den historischen Stadtplan zu rekonstruieren. Aus der traditionell gewachsenen Struktur der Stadt können darüber hinaus Informationen zur antiken Stadt mit ihren Wasserleitungssystemen und Straßenverläufen abgeleitet werden. Die Basis zur Erstellung des historischen Stadtplans bildet ein Orthobildplan, der aus Vertikaltaufnahmen der 1930er und 40er Jahre berechnet wurde (siehe Abschnitt 6.2).

Ergänzende Informationen zur Stadtausdehnung und -struktur sowie zur Nutzung bestimmter Gebäude und Areale lassen sich aus der Messtischaufnahme G. Schumachers von 1904 gewinnen. Zusammen mit dem historischen Orthobildplan ist es damit möglich, einen historischen Stadtplan von 1904 geometrisch korrekt zu rekonstruieren.



Abb. 5: Wilhelm Herford, 1855: Stadtansicht von Baalbek (FANI 2005, S. 21).

6 Photogrammetrische Auswertung historischer Bilder

Photogrammetrische oder fotografische Aufnahmen liefern, neben *geometrischen* Informationen, vor allem eine *bildhafte* und zunächst *interpretationsfreie* Dokumentation der erfassten Objekte. Sie ermöglichen damit eine Auswertung auch zu einem späteren Zeitpunkt mit einer gegebenenfalls völlig neuen Fragestellung (siehe z.B. HEMMLEB 1999, WIEDEMANN 2000, VAN DEN HEUVEL 2001 oder BRÄUER-BURCHARDT & VOSS 2001). Auch für Baalbek existieren zahlreiche fotografische und photogrammetrische Dokumentationen aus mehr als 100 Jahren, die für eine inhaltliche und geometrische Analyse verwendet werden können.

6.1 Terrestrische Messbilder

Die Messbildaufnahmen aus der Zeit der ersten dt. Grabung zu Beginn des 20. Jahrhunderts befinden sich heute im Messbildarchiv des Brandenburgischen Landesamtes für Denkmalpflege (BLDAM). Die Aufnahmen

wurden u. a. von Albrecht Meydenbauer eigenhändig angefertigt, der seinen Aufenthalt in Baalbek im Jahr 1902 als „in jeder Beziehung erfolgreiche und persönlich den Höhepunkt des Lebens bildende Reise“ bezeichnete (GRIMM 1977).

Neben Detailaufnahmen der Grabungen in der großen Tempelanlage wurden auch Stadtansichten Baalbeks in Form von Panoramen von erhöhten Standpunkten aus aufgenommen (siehe Abb. 6). Diese Aufnahmen liefern wichtige Informationen über den Stadtausbau und zur baulichen Gestaltung einzelner Gebäude am Beginn des 20. Jahrhunderts.

Da eine Digitalisierung der originalen Glasplatten nicht möglich ist, wurden Papierabzüge der in den 1980er Jahren erstellten Sicherungsverfilmungen bestellt. Für die geplante photogrammetrische Auswertung wurden diese mit einer Auflösung von 1000 dpi gescannt, wodurch sich jedoch drei Reproduktionsschritte mit z. T. unbekannter und nicht konstanter Abbildungsgeometrie ergeben. Auch aufgrund der sehr großen Aufnahmeentfernungen von mehreren hundert Metern sowie der ungünstigen geometrischen Konfigurationen – der nutzbare Bildbereich beschränkt



Abb. 6: Ausschnitt einer Messbildaufnahme Baalbeks von Albrecht Meydenbauer aus dem Jahr 1902 (Messbildarchiv beim BLDAM, Bild Nr. 2083-20).

sich zumeist auf einen schmalen Auswertehorizont entlang der Bildmitte – eignen sich diese Aufnahmen allein nicht bzw. nur eingeschränkt für eine photogrammetrische 3D-Rekonstruktion der historischen Stadtstruktur.

6.2 Historische Luftbilder

Die Grundlage für die Gewinnung von Stadtgeometrien bilden vielmehr die historischen Luftbilder aus dem Institut français du Proche – Orient (IFPO) Damaskus. Die Bilder zeigen die Stadt in mehreren Befliegungen zwischen 1933 und 1940 sowohl in klassischen Vertikal- aufnahmen mit entsprechender Überlappung, als auch in 30 Schrägaufnahmen (siehe Abb. 7).

Während die Schrägaufnahmen auf Glasplatten im Format 13×18 cm vorliegen und damit eine hohe geometrische Stabilität aufweisen, befinden sich die 18×24 cm großen Zelluloid-Negative der Vertikal- aufnahmen in

sehr schlechtem Zustand. Aufgrund der un- sachgemäßen Lagerung sind die Filme stark verzogen/gekrümmt und weisen teils deutliche Schädigungen der Filmschicht auf. So- wohl die Glasplatten als auch die Zelluloidbil- der konnten direkt vom Original gescannt werden, allerdings stand hierfür lediglich ein nicht kalibrierter, handelsüblicher Fotoscan- ner zur Verfügung. Die Aufnahmen wurden mit 600 dpi gescannt, eine höhere Auflösung erbrachte aufgrund des schlechten Zustandes der Filmschicht keinen Informationsgewinn.

Für die Orientierung und Auswertung der historischen Bilder wurden Passpunkte an zahlreichen, über das gesamte Stadtgebiet verteilten historischen Gebäuden sowie an den antiken Bauten tachymetrisch bestimmt. Die Berechnung von Orthobildern aus den Verti- kal- aufnahmen erfolgte am Fachbereich Ver- messungswesen/Kartographie der HTW Dresden unter Verwendung von ERDAS IMA- GING zusammen mit Leica Photogrammetry Suite (LPS).



Abb. 7: Stadtansicht von Baalbek mit dem Jupiterheiligtum aus dem Jahr 1936, aufgenommen von Osten (© IFPO Damaskus, Nr. 20901).

Orthobildgenerierung

Das für eine Orthobilderstellung benötigte digitale Geländemodell (DGM) wurde aus drei aktuellen Luftbildern aus dem Jahr 1996 erzeugt. Die auf Luftbildfilm vorliegenden S/W-Positiv-Aufnahmen einer Zeiss-Kamera RMK Top15 (WW, Brennweite 15 cm) mit bekannten Kameraparametern wurden mit einem kalibrierten Luftbildscanner digitalisiert. Bei einer Scanauflösung von 2540 dpi im Bildmaßstab 1:10.000 beträgt damit die Bodenauflösung 10 cm. Die Bildorientierungen wurden durch Aerotriangulation mit LPS-Core bestimmt, indem ca. 30 Konturenpasspunkte manuell und weitere Verknüpfungspunkte mittels Bildkorrelation automatisch im Bildverband gemessen wurden. Die Genauigkeit von 15 cm in Lage und Höhe nach der Bündelblockausgleichung entspricht der Definitionsgenauigkeit der tachymetrisch gemessenen Passpunkte im Bild und kann in dieser Größenordnung auch für die Folgeprodukte DGM und Orthobilder veranschlagt werden.

Für die DGM-Erzeugung mit LPS-ATE (Automatic Terrain Extraction) wurden zunächst automatisch 3D-Geländepunkte mit einem Abstand von 50 m generiert. Über spezielle Strategieparameter kann die Bildkorrelation in Abhängigkeit vom Geländetyp (rolling hills) und der Topografie (low urban) bedingt gesteuert werden. Anschließend ist es jedoch notwendig, diese Punkte mit LPS-TE (Terrain Editor) stereoskopisch zu kontrollie-

ren und flächenhaft oder einzeln zu editieren. Bei der dichten Bebauung im Stadtzentrum von Baalbek und der vielfältigen Vegetation am Stadtrand war ein hoher manueller Messaufwand in den Stereomodellen erforderlich. Es wurden vorhandene Punkte editiert, das Punktraster teilweise auf bis zu 10 m verdichtet und zahlreiche Bruchkanten (breaklines) an Geländeböschungen erfasst. Außerdem wurden die örtlich bestimmten Geländepunkte in das DGM integriert. Es kann davon ausgegangen werden, dass das aus den aktuellen Luftbildern erzeugte DGM wesentlich genauer ist als das bisher verwendete, aus digitalisierten Höhenlinien einer TK 25 abgeleitete, Geländemodell, das stellenweise Höhenfehler bis zu 20 m aufweist. Außer für Orthobildberechnungen ist das DGM auch Grundlage für künftige 3D-Visualisierungen.

Das mit LPS-Ortho Resampling abgeleitete Orthobild (Auflösung 0,2 Meter, siehe Abb. 8 rechts) stimmt mit den Passpunkten überein und kann künftig im Vergleich mit den historischen Orthobildern als Referenzbild gelten.

Parallel zur Auswertung der 1996er Luftbilder wurden 16 Vertikaltaufnahmen aus dem Jahr 1937 sowie 6 Vertikaltaufnahmen aus dem Jahr 1940 in getrennten Blöcken analog mit LPS-Core orientiert. Bei einer Scanauflösung von 600 dpi im Bildmaßstab 1:2.500 beträgt die Bodenauflösung in diesen Bildern ebenfalls 10 cm. Für die historischen Luftbilder lagen keine Kalibrierungsdaten der verwendeten Kameras vor, so dass die Kamerakonstante



Abb. 8: Ausschnitt aus den Orthobildern von 1937 (links) und von 1996 (rechts).

nur geschätzt (Brennweite 36 cm) und als Näherungswert in die Berechnung eingeführt werden konnte. Anhand der abgebildeten Rahmenmarken konnte ein einheitliches Bildkoordinatensystem festgelegt werden.

Aufgrund der geometrischen Unsicherheit bei der Bildorientierung einerseits sowie der schlechten geometrischen Qualität der Bilder andererseits genügen die berechneten Kameraparameter (Kamerakonstante und Bildhauptpunktkoordinaten) als Ergebnis der Simultankalibrierung nicht dem Genauigkeitsanspruch einer Messkamera. Die unsystematischen Filmdeformationen, vor allem verursacht durch die unsachgemäße Lagerung, konnten nicht bestimmt und eliminiert werden. Sie sind die Hauptursache der Ungenauigkeiten bei der Bildorientierung und den daraus resultierenden Modelldeformationen. Die Standardabweichung an den verwendeten Passpunkten beträgt nach der Bündelausgleichung 0,5 m in der Lage und 2 m in der Höhe. Die schlechte Höhengenaueigkeit ist vor allem auf die lange Brennweite der Kamera und die im Vergleich dazu geringen Höhenunterschiede im Objektraum zurückzuführen.

Mit LPS-MosaikPro wurden aus den historischen Aufnahmen Orthobilder unter Verwendung des DGM von 1996 berechnet (siehe Abb. 8 links). Aufgrund der Ausgrabungen in

den 1960er Jahren sowie durch Straßenbautätigkeiten entspricht das aktuelle Geländemodell teilweise nicht der Geländeoberfläche zum Zeitpunkt der Aufnahmen. In diesen Bereichen treten zusätzliche Lageabweichungen in den historischen Orthobildern auf. Die Abweichungen zu den tachymetrisch bestimmten Gebäudegeometrien betragen in den mittleren Bildbereichen ca. 20 cm, in den Randbereichen bis zu 2 m.

Beim Mosaikieren zum Bildplan wird bei einer Längsüberdeckung von 60 Prozent eigentlich nur jedes zweite Bild benötigt. Werden alle Orthobilder einbezogen, kann auf die Randbereiche mit den größeren Lageabweichungen verzichtet werden. Außerdem bleibt im breiteren Überlappungsbereich mehr Spielraum für die Definition der Schnittlinien. Diese können zwar automatisch generiert werden, meist führt jedoch eine manuelle Festlegung zu deutlich besseren Ergebnissen.

Mehrbildauswertung

In einem letzten Schritt wurden die Schrägaufnahmen, zusammen mit ausgesuchten Vertikal-aufnahmen in einer gemeinsamen Bündelblockausgleichung mit dem für die Nahbereichsphotogrammetrie entwickelten Auswer-



Abb. 9: Mehrbildauswertung in den Schrägluftbildern (© IFPO Damaskus, Nr. 20876).

tesystem RolleiMetric CDW orientiert. Mit der großen Tempelanlage im Zentrum ergeben diese Aufnahmen einen Rundumverband und eignen sich daher sehr gut für eine nachträgliche Mehrbildauswertung. Die Aufnahmen stammen offensichtlich aus mehreren Befelegungen, ein einheitliches Rahmenmarkensystem ist nur für wenige Bilder auszumachen, in einigen Bildern fehlt es gänzlich. Aus diesem Grund erfolgte für die meisten Schrägaufnahmen eine bildabhängige Bestimmung von Hauptpunkt und Kamerakonstante. Die Standardabweichung für die Bestimmung eines Neupunktes innerhalb des Auswertebereiches liegt unterhalb 10 cm, was durch den Vergleich mit den tachymetrischen Messungen bestätigt wird. Für die manuell gemessenen Bildkoordinaten ergeben sich mittlere Verbesserungen von 0,03 mm was bei einer Auflösung von 600 dpi etwa einem $\frac{3}{4}$ Pixel entspricht.

Im Rahmen einer kombinierten Auswertung soll ein 3D Stadtmodell entstehen, das den Zustand Baalbeks zu Beginn des 20. Jahrhunderts zeigt. Dafür wurden zunächst Grundrissinformationen zu Gebäuden aus den Orthobildplänen digitalisiert, die dann durch 3D Geometrien aus der Mehrbildauswertung der Schrägluftbilder ergänzt und korrigiert

wurden (siehe Abb. 9). Für einzelne Gebäude sollen schließlich aus den Schrägluftbildern sowie aus den terrestrischen Meydenbauer-Bildern zusätzlich detailliertere Informationen zur Typologie und Fassadengestaltung der Gebäude gewonnen werden. Die jeweiligen Bildausschnitte werden hierfür über die entsprechenden Fassadengeometrien entzerrt und als maßstäbliche Bildpläne den Gebäuden zugeordnet. Eine Texturierung der Gebäude mit den historischen Bildinformationen soll nicht erfolgen, da die Qualität des Bildmaterials zu unterschiedlich ist und bei weitem nicht alle Fassaden vollständig in den Bildern erfasst sind.

7 Erste Ergebnisse und künftige Arbeiten

Durch die Auswertung des historischen Bild- und Kartenmaterials konnte ein digitaler Stadtplan Baalbeks zu Beginn des 20. Jahrhunderts erstellt werden, der die Grundlage für die weiteren Untersuchungen zur Stadtentwicklung bildet. In diesem Stadtplan sind die Grundrissgeometrien von Gebäuden mit ihren Dachformen sowie sonstige Bauten als Vek-



Abb. 10: 3D Stadtmodell als Ergebnis der Mehrbildauswertung der historischen Schrägluftbilder für den in Abb. 8 gezeigten Ausschnitt.

tordaten erfasst. Die Sach- und Geometriedaten sowie zusätzliche Dokumente und Bilder zu den Gebäuden werden in einem speziellen Fachmodul innerhalb des webbasierten Geoinformationssystems CISAR (HENZE et al 2008; HENZE & MÖNCKE, 2008) gehalten. Alle Projektmitarbeiter haben hierüber Zugriff auf die aktuellen Forschungsergebnisse der einzelnen Teilprojekte. Über ein WebGIS werden neben den 2D Gebäudegeometrien auch die Geometriedaten anderer fachspezifischer Datenbankmodule (Fund-, Survey-, Bauteil-Modul), sowie die Orthobildpläne für die verschiedenen Befliegungen und weitere Rasterdaten bereitgestellt.

Anhand der aus den Schrägluftbildern erstellten 3D Gebäudegeometrien soll nun untersucht werden, welche Möglichkeiten 3D Stadtmodelle für die Forschungen zur Stadtentwicklung bieten. Im Vordergrund stehen dabei zunächst Fragen nach den verwendeten Technologien für die Modellierung, Speicherung, Visualisierung und Weitergabe der 3D Daten. Im Rahmen einer Diplomarbeit an der HTW Dresden wurde hierfür zunächst ein Stadtmodell (siehe Abb. 10) für das ausgewertete Gebiet mit LandXplorer (www.3dgeo.de) erstellt und als CityGML-Modell exportiert. Weitere Untersuchungen sollen nun klären, wie sich diese Daten in das bestehende Geoinformationssystem, basierend auf PostgreSQL/PostGIS sowie UMN MapServer und Mapbender, integrieren lassen und dort für die Forschungsarbeiten genutzt werden können.

8 Zusammenfassung und Bewertung

Historische Aufnahmen haben einen unschätzbaren Wert, wenn es darum geht, Wissen über heute verloren gegangene Substanz kulturellen Erbes zu erlangen. Die Erfahrungen des Baalbek-Projektes zeigen, dass es zur Auswertung und Weiterverarbeitung des historischen Bild- und Kartenmaterials kein Patentrezept gibt, sondern der Umgang mit den Daten von verschiedenen Parametern beeinflusst wird. Ob sich Fotografien oder Plandarstellungen geometrisch auswerten lassen, hängt zum einen von den vorhandenen Informationen zur Entstehung der Abbildungen ab.

Zum anderen spielen der Erhaltungszustand und die geometrische Qualität der Aufnahmen bzw. der zur Verfügung stehenden Reproduktionen eine entscheidende Rolle. In Abhängigkeit von der jeweiligen wissenschaftlichen Fragestellung muss abgewogen werden, ob die historischen Darstellungen den Genauigkeitsanforderungen für die Gewinnung metrischer Informationen genügen und ob der Aufwand für eine solche Auswertung in einem vertretbaren Verhältnis zum Ergebnis steht.

Für Baalbek lassen sich aus dem umfangreichen historischen Bildmaterial Informationen zur modern überformten traditionellen Stadtstruktur und zum historischen Baubestand gewinnen. Je nach Ausgangslage werden dafür verschiedene photogrammetrische Auswerteverfahren kombiniert angewendet oder vergleichende Bildanalysen vorgenommen. Zusammen mit der inhaltlichen und geometrischen Auswertung des Bild- und Planmaterials aus Altgrabungen ist es möglich, heute unwiderruflich zerstörte Stadt- und Grabungsbefunde für aktuelle Fragestellungen zu analysieren. Das historische Material trägt auf vielfältige Weise immer dann zur Klärung der Stadtentwicklung Baalbeks bei, wenn die Untersuchung des Originalbefundes nicht mehr möglich ist.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Labors für Photogrammetrie und Fernerkundung der HTW Dresden für die engagierte Zusammenarbeit bei der Auswertung der historischen Luftbilder. Besonderer Dank gilt dabei den Studenten Matthias Geßner und Lukas Dittel, die mit ihren sehr guten Arbeiten zur Bildorientierung und -auswertung wichtige Grundlagen für die Stadtforschungen in Baalbek geliefert haben.

Ebenso danken wir den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Labors für Geoinformatik der HTW Dresden für die aufwendigen Arbeiten zur Entwicklung von WebGIS-Funktionalitäten für das Informationssystem CISAR.

Literatur

- AMBRASEYS, N.N. & BARAZANGI, M., 1989: The 1759 Earthquake in the Bekaa Valley: Implications for Earthquake Hazard Assessment in the Eastern Mediterranean Region. – *Journal of geophysical research* **94** (B4) 04/1989: 4007–4013.
- BASTIAN, H. (Hrsg.), 2007: Fragmente zur Melancholie- Bilder aus dem ersten Jahrhundert der Fotografie. – Hatje Cantz Verlag, Ostfildern.
- BRÄUER-BURCHARDT, C. & VOSS, K., 2001: Facade Reconstruction of Destroyed Buildings Using Historical Photographs. – XVIII. International Symposium CIPA 2001: 543–550.
- CARMEL, A. & EJAL, J.E., 1999: Der Kaiser reist ins heilige Land: Die Palästina-reise Wilhelms II. 1898. – *Abhandlungen des Gottlieb Schumacher Instituts Haifa*, Stuttgart.
- COLLART, P. & COUPEL, P., 1951: L'autel monumental de Baalbek. – Paris.
- COLLART, P. & COUPEL, P., 1977: Le petit Autel de Baalbek. – Paris.
- DEBBAS, F., 2000: Archéologie et photographie au Liban (1840-1918). – *Archaeology & History in Lebanon*, **12**.
- DEUMLICH, F. & STAIGER, R., 2002: Instrumentenkunde der Vermessungstechnik. – Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg.
- VAN ESS, M. & WEBER, T., 1999 (Hrsg.): Baalbek. Im Bann römischer Monumentalarchitektur. – Verlag Philipp von Zabern, Mainz.
- VAN ESS, M., 2003: Archaeological research in Baalbek. A preliminary report on the 2001–2003 seasons. – *Bulletin d'archéologie et d'architecture libanaises VII*, Ministère de la Culture, Direction Général des Antiquités, Beyrouth, Liban: 109–144.
- VAN ESS, M. & RHEIDT, K., 2005: Archaeological research in Baalbek. A preliminary report on the 2004 and 2005 seasons. – *Bulletin d'archéologie et d'architecture libanaises IX*, Ministère de la Culture, Direction Général des Antiquités, Beyrouth, Liban: 117–146.
- VAN ESS, M., 2008 (Hrsg.): Baalbek/Heliopolis. Results of Archaeological and Architectural Research 2002–2005. – *Bulletin d'archéologie et d'architecture libanaises*, Hors-Série IV, Ministère de la Culture, Direction Général des Antiquités, Beyrouth, Liban.
- FANI, M., 2005: Une histoire de la photographie au Liban: 1840–1944. – Éd. de l'Escalier, Beyrouth.
- GRIMM, A., 1977: 120 Jahre Photogrammetrie in Deutschland – Das Tagebuch von Albrecht Meydenbauer. – Deutsches Museum. *Abhandlungen und Berichte* 45/1977 **2**, München.
- HEMMLER, M., 1999: Digital Rectification of historical images. – XVII CIPA Symposium 'Mapping and Preservation for the New Millennium'.
- HENZE, F., LEHMANN, H. & LANGER, W., 2008: CISAR – A Modular Database System as a Basis for Analysis and Documentation of Spatial Information. – 35th Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA), im Druck.
- HENZE, F. & MÖNICKE, T., 2008: A Distributed GIS Architecture for Research in Baalbek Based on CISAR. – 35th Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA), im Druck.
- VAN DEN HEUVEL, F.A., 2001: Reconstruction from a Single Architectural Image from the Meydenbauer Archive. – XVIII. International Symposium of CIPA 2001: 699–706.
- KEDAR, B.Z., 1999: The changing land between the Jordan and the sea: aerial photographs from 1917 to the present. – Yad Ben-Zvi Press, Jerusalem.
- EL-KHOURY, F., 1975: Domestic architecture in the Lebanon. – *Art and Archaeology Research Papers*, Juni 1975: 1–25.
- LEHMANN, H., 2008: Das ländliche Wohnhaus der Beqaa im städtischen Kontext. Das Stadtviertel Hay as-Solh in Baalbek, Libanon. – *Forschen Bauen & Erhalten – Jahrbuch 2008/2009*, Verlag Westkreuz, Berlin: 84–97.
- MEYER, R., 1985: Albrecht Meydenbauer, Baukunst in historischen Fotografien. – VEB Fotokinoverlag Leipzig.
- NIPPA, A., 1996: Lesen in alten Photographien aus Baalbek. – *Völkerkundemuseum der Universität Zürich*.
- ROBERTS, D. & CROLY, G. (Hrsg.) 1843: The Holy Land. Syria, Idumea, Arabia, Egypt et Nubia. – London.
- VOLNEY, C., 1787: Voyage en Egypte et Syrie etc. – Paris.
- WIEDEMANN, A., 2000: Photogrammetrische Rekonstruktion zerstörter Bauten aus historischen Photographien. – *Vorträge der 20. DGPF Jahrestagung*: 23–31.
- WIEGAND, T. (Hrsg.), 1921/1923/1925: Baalbek: Ergebnisse der Ausgrabungen und Untersuchungen in den Jahren 1898 bis 1905. – de Gruyter, Berlin & Leipzig **1–3**.
- WOOD, R., 1757: The Ruins of Baalbec, otherwise Heliopolis in Coelosyria. – London.

Anschriften der Autoren:

Dipl.-Ing. FRANK HENZE, Brandenburgische Technische Universität Cottbus, Lehrstuhl für Vermessungskunde, D-03046 Cottbus, Tel.: +49-355-69-2439, Fax: +49-355-69-3490, e-mail: frank.henze@tu-cottbus.de

Dipl.-Ing. HEIKE LEHMANN, Brandenburgische Technische Universität Cottbus, Lehrstuhl für Baugeschichte, D-03046 Cottbus, Tel.: +49-355-

69-4672, Fax: +49-355-69-2984, e-mail: heike.lehmann@tu-cottbus.de

Dipl.-Ing. BETTINA BRUSCHKE, Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (FH), Labor für Photogrammetrie und Fernerkundung, Tel.: +49-351-462-3169, e-mail: bruschke@htw-dresden.de

Manuskript eingereicht: Dezember 2008

Angenommen: Januar 2009