

Bearbeitung von historischen Luftbildern für die archäologische Ausgrabung *Ephesos*



Christian Kurtze, Hochkirch; Stefan Klotz, Wien; M. Orhan Altan und Gönül Toz, Istanbul

Kurzfassung

Der folgende Artikel behandelt die photogrammetrische Verarbeitung und Auswertung von Luftbildern, die als Grundlage für archäologische Forschungen in *Ephesos* (Türkei) dienen. Dem Projekt stand eine Zeitreihe von Luftbildern aus den Jahren 1966, 1977 und 1997 mit unterschiedlicher Gebietsabdeckung, differenten Bildmaßstäben und verschiedener Qualität zur Verfügung. Durch Messung von natürlichen Pass- und Verknüpfungspunkten zwischen den Zeitreihen konnten die Bilder in ein einheitliches Koordinatensystem gebracht und Geländemodelle und Orthophotos abgeleitet werden. In verschiedenen aktuellen archäologischen Projekten konnten diese Produkte bereits verwendet werden. Unter der Erdoberfläche befindliche Mauerstrukturen, die durch geophysikalische Prospektion erfasst wurden, konnten in Luftbildern ebenfalls nachgewiesen werden. Auch beim archäologischen Projekt ‚*Der Değirmendere Aquädukt von Ephesos*‘ unterstützten die Orthophotos und das Geländemodell die Rekonstruktion des Verlaufs römischer Wasserleitungen.

Schlüsselwörter: Photogrammetrie, Historische Luftbilder, Vermessung, Archäologie, Ephesos

Abstract

The following article deals with the photogrammetric processing and analysis of aerial photographs, which forms an important basis for further archaeological researches in *Ephesus* (Turkey). A time series of aerial photographs, dating from the years 1966, 1977 and 1997, with different area coverage, image quality and standards was available for this project. The images were converted into a single coordinate system by defining and measuring a set of natural control points between the time series. As a result digital terrain models and orthophotos were produced. Furthermore the benefit of using the derived data for archaeological research was shown: Wall structures underneath the surface, which were discovered with geophysical prospection, were also detected in the aerial photographs. In the archaeological project ‚*The Değirmendere Aqueduct of Ephesus*‘ the data supported the reconstruction of a very likely ancient course of the roman aqueduct.

Keywords: Photogrammetry, Historical Aerial Images, Surveying, Archaeology, Ephesus

1. Einleitung

Das Siedlungsgebiet von *Ephesos* hat eine Jahrtausende lange und wechselvolle Geschichte mit verschiedenen Blütezeiten. Der österreichische Archäologe Wilhelm Alzinger schreibt dazu im Buch *Die Stadt des siebenten Weltwunders* [1]: „Die Ruinen von *Ephesos*... waren seit eh und je das Ziel von Pilgern und Reisenden, die nach den ehrwürdigen Überresten dieser bedeutendsten Metropole Kleinasiens im Altertum suchten. Nicht nur die Erwähnung in der Offenbarung und an anderen Stellen des Neuen Testaments, sondern auch die in der übrigen antiken Literatur genannten Sehenswürdigkeiten begründeten ihren anhaltenden Ruhm: Hier wirkte um 500 v. Chr. der Naturphilosoph Heraklit der Dunkle und verkündete seine Lehre vom ewigen Fluß aller Dinge; hier stand der berühmte, zu den sieben Weltwundern zählende Tempel der Artemis, den der wahnwitzige Herostratos

im Jahre 356 v. Chr. in Brand steckte, um seinen Namen der Nachwelt zu überliefern;“ hier gründete Lysimachos, ein General Alexanders des Großen, die Stadt neu. Die imposanten Überreste der hellenistischen Stadtmauer sind auch heute noch weithin sichtbar; „hier wirkte der Apostel Paulus, hier versammelten sich im Jahr 431 n. Chr. hundertachtundneunzig Bischöfe zum dritten ökumenischen Konzil, bei dem der Kult Marias als Mutter Gottes geschaffen wurde; hier zeigte man in der im sechsten Jahrhundert n. Chr. vom Kaiser Justinian erbauten Kuppelkirche das Grab des heiligen Johannes; ...“. Systematische archäologische Forschungen setzten im 19. Jh. durch den Eisenbahningenieur und Architekten J.T. Wood ein, der die Wiederentdeckung des aus antiken Quellen bekannten, aber bis dahin nicht lokalisierbaren Artemision anstrebte. Nach vielen Jahren intensiver Arbeit in der antiken Stadt und den Randbereichen war er 1869 am Ziel seiner Forschungen [2]. Unter Otto



Abb. 1: Karte des Untersuchungsgebietes mit Übersichtskarte der Türkei

Benndorf, Professor für Klassische Archäologie an der Universität Wien, wurden 1895 die österreichischen Forschungen in *Ephesos* begonnen und werden bis heute durch das Österreichische Archäologische Institut (ÖAI) fortgeführt [3].

1.1 Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet liegt in unmittelbarer Nähe der türkischen Westküste, ca. 50 km südlich der Provinzhauptstadt *İzmir* (siehe Abbildung 1).

Folgt man ausgehend von der Autobahn *İzmir-Aydın* an der Autobahnabfahrt beim Dorf *Belevi* der Landstraße nach *Selçuk* in südwestlicher Richtung, so durchquert man zunächst ein 1 km breites Tal, dessen Ränder mit steilen Felswänden bis zu 390 m hoch ansteigen. Nach ca. 7 km öffnet sich dem Besucher ein Ost-West ausgerichtetes, flaches Tal, das seinen Namen nach dem darin verlaufenden Fluss *Küçük Menderes*

erhalten hat. Kurz danach erreicht man die türkische Kreisstadt *Selçuk*. Die auf dem 85 m hohen Hügel *Ayasoluk* errichtete, spätantik-frühosmanische Festung ist wie ein Wahrzeichen weithin sichtbar. Archäologische und paläogeografische Befunde am westlichen Ortsausgang von *Selçuk* beim weltberühmten *Artemision* belegen, dass sich hier einst die Küste des Ägäischen Meeres befunden haben muss. Durch verschiedene ineinandergreifende, komplexe Verlandungsprozesse hat sich die Küstenlinie in den letzten 2500 Jahren jedoch um nahezu 8 km nach Westen verschoben [4], [5]. An der jetzigen Küste bildet ein langer Sandstrand den Abschluss des Tals. Am Südrand des Tales befindet sich eingebettet zwischen den zwei Hausbergen *Panayırdağ* (157 m) und *Bülbüldağ* (356 m) die Siedlungsfläche der im Hellenismus (3. Jh. v. Chr.) unter *Lysimachos* angelegten Stadt *Ephesos* ([6], [7], [8] (siehe Abbildung 2). Die Ruinen werden jährlich von ca. 2,3 Mill. Touristen besichtigt¹.

1) Offizielle Touristenzahl im Jahr 2011 lt. türkischen Kulturministerium.



Abb. 2: Ephesos und das Tal vom Bülbüldağ aus gesehen (links: das antike Hafenbecken, Mitte und rechts: der hellenistisch-römische Stadtkern mit der Hafenstraße, dem Theater, den Hanghäusern und der oberen Agora)

Nördlich und südlich des Tals schließen Berglandschaften an, die nicht selten Höhen von über 700 m erreichen. Die Vegetation besteht in diesen Bereichen meist aus aufgeforsteten Nadelgehölzen, in tieferen Lagen dominieren immergrüne Hartlaubgewächse, die sog. *Macchie*. In der Talebene rund um *Selçuk* wird Landwirtschaft mit künstlicher Bewässerung aus tiefen Brunnen betrieben. Im westlichen Bereich ist das nicht ohne weiteres möglich, da die dortigen Böden aus vom Meer und Fluss abgelagerten Sanden bestehen. Zudem ist der Boden stark salzig, sodass nur Salzpflanzen (sog. *Halophyten*) ideale Lebensbedingungen vorfinden.

1.2 Historische Entwicklung der Geodäsie in Ephesos

Die seit 1895 von Österreich mit jährlicher Genehmigung der türkischen Antikenverwaltung der Republik Türkei geleiteten archäologischen Forschungen in Ephesos haben – wie jede Unternehmung im Rahmen der Feldarchäologie – einen enormen Bedarf an topografischen Informationen. So entsandte bereits ein Jahr nach Beginn der österreichischen Grabungen das damalige *k. u. k. Ministerium für Cultus und Unterricht* Hauptmann A. Schindler mit

der Aufgabe in die Türkei, „die Umgebung von Ephesos kartografisch aufzunehmen“ [9]. Die beauftragte topografische Karte im Maßstab 1:25.000 war mit den darin dargestellten archäologischen Objekten bei ihrer Fertigstellung im Jahr 1897 ein sehr exaktes kartografisches Produkt von Ephesos und dessen Peripherie [10]. Bis Mitte der 1990er Jahre bildete diese Karte die Basis in der archäologisch-topografischen Erforschung der Umgebung von Ephesos. Nach den Anfangsjahren fokussierten sich die österreichischen archäologischen Forschungen hauptsächlich auf einzelne monumentale Bauwerke im hellistischen Stadtzentrum. Auch nach den beiden Weltkriegen, während derer die Arbeiten zeitweise unterbrochen werden mussten, lag der archäologische Schwerpunkt im Bereich des *Artemisions* und auf Bauten innerhalb der antiken Stadt. Vermessungen und Erstellung von Plänen wurden dementsprechend oft bauwerksbezogen in lokalen Koordinatensystemen durchgeführt.

1977 wurde gemeinsam für den Stadtbereich von Ephesos und das ca. 2 km entfernte *Artemision* erstmals ein einheitliches lokales Koordinatensystem (*Netz 77*) mit einem stabilen Festpunktfeld angelegt² [11]. Umfassende Ver-

2) Die Arbeiten zum ‚Netz 1977‘ gehen auf P. Waldhäusl und J. Tschannerl vom Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung der TU Wien sowie auf H. König vom Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen zurück. Ziel war es, die geodätische Grundlagen für eine Luftbildbefliegung zu schaffen, welche jedoch nie realisiert werden konnte.

messungsarbeiten erfolgten von F. Steiner in den 1980er-Jahren, der Pläne vom zentralen Bereich der antiken Stadt erstellte [12].

Seit den 1990er Jahre ließen das Aufkommen leistungsfähiger Computersysteme und der Ankauf einer Totalstation einen automatisierten Datenfluss zu [13]. Die rasante Entwicklung von CAD- und GIS-Software und die Verwendung von GPS in geodätischen Anwendungen ließ an eine Umstrukturierung der geodätischen Situation denken. So wurde in einem ersten Schritt mittels Neuvermessung des Vermessungsnetzes und der Einrechnung in das *International Terrestrial Reference Frame (ITRF)* ein einheitlicher Koordinatenreferenzrahmen, das *Ephesos Reference Frame 1998 (ERF98)* als Nachfolger des *Netz 77* geschaffen [14], [15]. Es folgte die Konzipierung und Umsetzung eines Digitalen Stadtplans von *Ephesos*. Der Stadtplan basierte anfänglich auf der Digitalisierung von georeferenzierten archäologischen Kartenmaterial aus dem Planarchiv des ÖAI. Die Planinhalte wurden in den folgenden Jahren durch Daten von exakten geodätischen Vermessungen ergänzt bzw. in Teilbereichen gänzlich durch Neuvermessungen ersetzt, sodass heute der Großteil aller oberflächlich sichtbaren, artifiziellen Strukturen in *Ephesos* und seiner näheren Umgebung geodätisch exakt kartiert ist. Im Laufe der Zeit war mit dem Einsatz von CAD/GIS auch die Möglichkeit gegeben, topografische Daten in georeferenzierter Form mit den archäologischen Informationen zu kombinieren. Es folgten daher Bestrebungen, Orthophotos aus Luftbildbefliegungen zu verwenden, die schlussendlich die Arbeiten am hier vorgestellten Projekt initiierten.

2. Luftbilder

2.1 Photogrammetrie und Archäologie

Um Informationen aus Luftbildern zu gewinnen, ist eine Luftbilddauswertung notwendig. Dieser Begriff wird meist synonym einerseits für die notwendigen technischen Abläufe von photogrammetrischen Verfahren und andererseits für die interpretativen Vorgänge zur Erkundung der auf dem Luftbild sichtbaren künstlichen und natürlichen Objekte verwendet. Ziel photogrammetrischer Verfahren ist es, Luftbilder so aufzubereiten, dass Informationen über Größe, Form und Lage von Objekten abgeleitet werden können. Die Interpretation bezeichnet den Vorgang der Informationsgewinnung, sei es zunächst durch rein visuelle Beobachtungen in einem Luftbild als auch durch die interaktive Digitalisierung von Geometrien und Objektattributen aus einem

maßstäblichen Orthophoto mit dauerhafter, digitaler Verspeicherung der Ergebnisse.

Der archäologischen Wissenschaft bieten Luftbilder und Folgeprodukte die Möglichkeit, relativ effizient oberflächlich sichtbare, artifizielle Strukturen und topografische Schlüsselstrukturen zu kartieren (siehe dazu [16], [17] und [18]). Erwähnenswert ist auch, dass durch Interpretation spezieller Merkmale (z. B. Bewuchs-, Schatten- und Nässemerkmale) am Luftbild archäologische Objekte eruiert werden können, die nicht unmittelbar in eigener Gestalt am Luftbild zu sehen sein müssen (siehe dazu [18]). Idealerweise verbindet die Luftbildinterpretation zielgerichtete archäologische Geländeinspektionen und/oder geophysikalische Prospektionen. Daraus resultierend erhält man ein recht umfassendes Bild kultureller und materieller Hinterlassenschaften vergangener Kulturen im Kontext der Landschaft auf Basis eines zerstörungsfreien Forschungsansatzes.

Während für die archäologischen Untersuchungen das Gebiet in unmittelbarer Nähe von *Ephesos* im Mittelpunkt steht, richtet sich die Größe des Untersuchungsgebiets für das in Folge beschriebene Luftbildprojekt nach der Größe des Befliegungsgebiets der verfügbaren Luftbilder. Dieses umfasst das gesamte Gebiet des unteren *Küçük Menderes*-Tals bis hin zur südlich gelegenen Hafenstadt *Kuşadası*. Von dort erstreckt es sich ca. 15 km nach Osten und schließt somit die gesamte Gegend der *Maden Dağı* südlich von *Ephesos* ein (siehe Abbildung 3).

2.2 Ziele und Methodik

Vorrangiges Ziel dieser Luftbilddauswertung war es, topografische Grundlagendaten für den von den Luftbildern abgedeckten Bereich zu gewinnen und für weitere archäologische Studien zur Verfügung zu stellen. Das beinhaltete die Herstellung von Geländemodellen und in weiterer Folge die Berechnung von Orthophotos. Für die Arbeiten standen Luftbilder aus drei verschiedenen zeitlichen Epochen zur Verfügung: 1966 (Schwarz/Weiß), 1977 (Schwarz/Weiß) und 1997 (Farb-Infrarot). Die historischen Luftbilder aus den Jahren 1966 und 1977 schienen in archäologischer Hinsicht besonders interessant, da diese einen noch sehr ursprünglichen Zustand der Landschaft zeigen – starke Veränderungen haben sich vor allem seit den 1980er-Jahren ergeben, in Folge einer massiven, großflächigen Landentwicklung mit Bautätigkeiten, maschineller Landwirtschaft, intensiver Forsttätigkeit und Konjunktur des Tourismus.

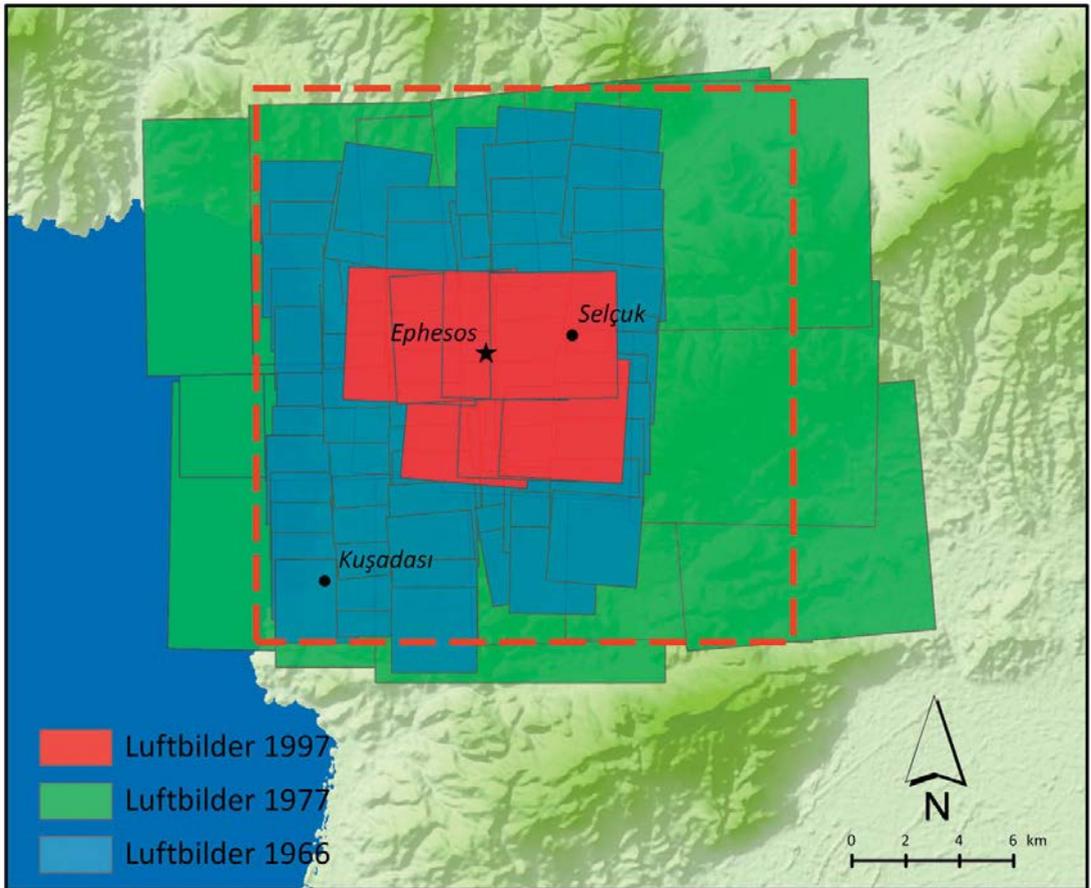


Abb. 3: Darstellung des Untersuchungsgebiets mit Footprints der Luftbilder

In einem ersten Schritt sollte zunächst geklärt werden, ob die Auswertung mit den vorhandenen Daten sinnvoll und möglich ist. Auf Wunsch des ÖAls, schnellstmöglich einen Satz Orthophotos für den archäologischen Kernbereich von Ephesos zu erarbeiten, wurde der Bearbeitung der 7 Infrarotbilder aus dem Jahr 1997 der Vorzug gegeben.

Die generelle Bearbeitungsmethodik richtete sich nach den aktuellen Standards in der analytischen und digitalen Photogrammetrie zur Auswertung von Senkrechtaufnahmen. Zunächst wurden Passpunkte in der Natur und den Bildern gemessen und anschließend Verknüpfungspunkte erzeugt. Die Schwierigkeit in einem solchen Projekt mit Bildern aus mehreren Zeitepochen bestand darin, Pass- und Verknüpfungspunkte zwischen den zeitlich weit auseinanderliegenden Bildern verfügbar zu machen. Es musste auch eine ausreichende Anzahl von

Passpunkten bestimmt werden, damit die Ergebnisse bestmöglich im übergeordneten Koordinatenrahmen gelagert werden konnten. In einem Bündelblockausgleich wurden anschließend sämtliche Orientierungsparameter in einem Guss berechnet. Etwaige grobe Fehler konnten durch eine Fehleranalyse bereinigt werden. Darauf basierend erfolgte die Berechnung von Geländemodellen und Orthophotos. Letztere wurden zu einem Bildmosaik zusammengesetzt, um die Nutzung in GIS und CAD zu erleichtern. Weitere photogrammetrische Auswertungen hinsichtlich archäologischer Interpretationen waren im Rahmen dieses Projektes zunächst nicht geplant. Es erfolgten jedoch exemplarische Auswertungen für aktuelle Projekte. Dies erwies sich als glücklicher Umstand, da dadurch die Nutzbarkeit der Daten selbst getestet, präsentiert und somit auch die Akzeptanz des Projektes gesteigert werden konnte.

Jahr	Bild- mastab	Filmart	Anzahl	Format [in cm]	c_k [in mm]	Messkammer	Abdeckung ca. [in km]
1966	1:17.000	S/W	75	18 x 18	115.07	Zeiss RMK 11.5/18 Nr. 2037/2039	15 x 20
1977	1:35.000	S/W	18	23 x 23	152.71	Wild RC5/RC8 No. 15 UAg. 338	28 x 21
1997	1:15.000	IR	7	23 x 23	152.318	266 632B, 5,6/500 FM000	9 x 8

Tabelle 1: Übersicht zu den Luftbilddaten

2.3 Datenmaterial und Vorbereitungsarbeiten

Die photogrammetrischen Befliegungen unterteilen sich in verschiedene Bildmaßstäbe und unterscheiden sich auch hinsichtlich der Quantität und der Qualität des Bildmaterials (siehe Tabelle 1). Das Bildmaterial wurde mit einer Auflösung von 15 μm mit einem Luftbildscanner digitalisiert.

Aus Gründen der Übersichtlichkeit bezüglich der Orientierung und Lage der Bilder wurden im GIS zunächst Footprints des gesamten Ausgangsmaterials erzeugt, aus denen auch die Näherungskordinaten der Bildzentren berechnet wurden. Bereits hierbei zeigte sich, dass bei zwei benachbarten Flugstreifen der 1966 angefertigten Bildern in der Mitte des Bildblocks ein nur sehr geringer, bzw. teilweise gar kein Überlappungsbereich vorhanden war.

Es folgte die Überprüfung der Brauchbarkeit von Passpunkten aus türkischen Vermessungsdaten. Dabei stellte sich heraus, dass diese in zu geringer Anzahl und schlechter Verteilung vorlagen und zudem nicht geeignet waren, die verschiedenen Zeitepochen untereinander zu verknüpfen. Da ohnehin die Verwendung des einheitlichen, ephesischen Grabungs-Koordinatenrahmens ERF98 angestrebt war, erfolgte die Transformation aller vorliegender, türkischer Passpunkte sowie die Planung einer GPS-Kampagne zur Neueinmessung von zusätzlichen, natürlichen Passpunkten. Hierfür mussten geeignete Objekte in den Bildern identifiziert werden. Dabei erwies es sich als schwierig, die Identität von natürlichen Passpunkten im historischen Bildmaterial sowie in der Natur zu verifizieren, da sich das Bild der Landschaft in den letzten Dekaden stark gewandelt hat. Den Änderungen an infrastrukturellen Einrichtungen wie Straßenkreuzungen, die sich normalerweise besonders gut als Passpunkte eignen, musste spezielle Beachtung geschenkt werden. In der GPS-Messkampagne konnten 149 Punkte bestimmt und in Voll-, Lage- bzw. Höhenpasspunkte kategorisiert werden. Spezielles Augenmerk wurde auf jene Punkte

gelegt, die verschiedene zeitliche Luftbilddepochen untereinander verknüpfen sollten.

Weitere Passpunktinformationen wurden mit der Digitalisierung türkischer Festpunkte aus topografischen Karten ($M = 1:1.000$, $M = 1:5.000$ und $M = 1:25.000$) erzeugt. Nur wenige dieser Punkte wurden als Vollpasspunkte in den Bündelblockausgleich übernommen – der Großteil beschränkte sich auf die Nutzung der Höheninformation.

2.4 Bearbeitung der Luftbilder

2.4.1 Luftbilder 1997

Die sieben Infrarotluftbilder aus dem Jahr 1997 decken einen Bereich von 8 x 9 km in zwei Flugstreifen ab, wobei die nutzbare Fläche für stereophotogrammetrische Auswertungen bei ca. 32 km^2 liegt. Für diese Bilder lag ein vollständiges, aktuelles Kalibrierungsprotokoll der Luftbildkammer vor. Nach Herstellung der Inneren Orientierung durch Bestimmung der Rahmenmarken erfolgten die manuellen Messungen von Pass- und Verknüpfungspunkten an einem analytischen Auswertegerät. Die im Bündelblockausgleich erzielte innere Genauigkeit in den Passpunkten lag bei einer mittleren Standardabweichung von ± 18 cm in der Lage und ± 25 cm in der Höhe.

Ein Geländemodell wurde mithilfe eines manuell gemessenen Rasters von Punkten erstellt. Die Rasterweite variierte dabei je nach Geländeform. Im steilen Gelände und in archäologisch relevanten Bereichen wurde mit einem Abstand von 20 x 20 m, im flachen Gelände mit Punktabständen zwischen den Messungen von 80 x 80 m gearbeitet. Ergänzt wurden die Messungen durch die Bestimmung von Bruchkanten und durch Einbeziehung terrestrischer Geländevermessungen, die bis zu diesem Zeitpunkt von *Ephesos* vorlagen. Das gewonnene Geländemodell diente als Basis zur digitalen Orthophotoerstellung. Insgesamt wurden vier Orthophotos mit einer Bodenauflösung von 25 cm berechnet, die zu einem Gesamtmosaik zusammengesetzt wurden. Die Größe des abgedeckten Gebiets beträgt

5,3 x 4,3 km. Ein verbesserter optischer Eindruck des Bildmosaiks wurde durch radiometrische Angleichungen erreicht. Auch eine Farbtransformation der Infrarot-Orthophotos in eine naturnahe Farbgebung wurde durchgeführt [19], [20].

Um das Potential einer Luftbildinterpretation zu klären, erfolgte die stereoskopische Auswertung der Landschaftssituation (Vegetation, Siedlung, Verkehr, Wasser). Diese wurde anhand des Orthophotos ergänzt und korrigiert. Sie dient derzeit als Basis für aktuelle topografische Karten, in der archäologische Befunde kartiert werden können.

2.4.2 Luftbilder 1977/1966

Zu den historischen Luftbildern der Jahre 1966 und 1977 muss zunächst bemerkt werden, dass die Datenqualität nicht den Bildern von 1997 entsprach. Qualitätseinbußen betrafen besonders die Bilder aus dem Jahr 1966. Diese wiesen teilweise starke Kratzer, Verunreinigungen, Unschärfen und eine radial wirkende Belichtungsverschiebung in Richtung der Bildränder auf. Letztere konnte vor dem Import mittels Bildbearbeitung ausgeglichen werden.

Ein weiteres Problem ergab sich mit dem Fehlen von Koordinaten der Rahmenmarken für die Bilder der Epoche 1966 – Kammerkonstante und Verzeichnungsparameter waren hingegen bekannt. Um dennoch eine Auswertung durchführen zu können, erfolgte die Bestimmung der Rahmenmarkenkoordinaten in 8 ausgewählten Bildern im Original-Negativ an einer photogrammetrischen Auswertestation. In einer Ausgleichsrechnung wurden die Messwerte verarbeitet und mit einem Schwellwert von 0,03 mm (entspricht 2 Pixel) überprüft.

Die gescannten Bilder wurden in die Photogrammetriesoftware importiert und die Innere Orientierung aller Aufnahmen anhand der Rahmenmarken wiederhergestellt. Sukzessive erfolgte nun die Messung der Passpunkte in allen Bildern. Die Verknüpfung der Bilder untereinander erfolgte mithilfe einer automatischen Verknüpfungspunktsuche. Diese funktionierte nur innerhalb einzelner Flugstreifen zuverlässig – die Verknüpfung der Flugstreifen und der Epochen untereinander musste manuell erfolgen. Der Gesamtbildblock mit 93 Bildern wurde nun einem Bündelblockausgleich unterzogen. Die Genauigkeit in den Passpunkten lag bei einer mittleren Standardabweichung von ± 60 cm in der Lage und ± 30 cm in der Höhe.

Da aufgrund der großen geografischen Ausdehnung die manuelle Messung eines Geländemodells zu zeitaufwändig gewesen wäre, wurde ein Höhenmodell mittels automatischer Bildkorrelation gewonnen. Dazu wurde das Gebiet in zwei Geländetypen kategorisiert (Hügelland und

Ebene) und große Wasserflächen wie Meeresbereiche und Seen ausmaskiert. Auf die Messung und Einbeziehung von Bruchkanten sowie weiterer morphologischer Strukturmerkmalen wurde aus Zeitgründen verzichtet. Die Rasterweite (Ground Sampling Distance) des berechneten Geländemodells betrug 10 m. Für eine erste Qualitätskontrolle wurden Quality Maps aus der automatischen Bildkorrelation herangezogen. Grobe Korrelationsfehler konnten darin nicht lokalisiert werden. Die Abschätzung einer absoluten Höhengenaugigkeit erfolgte anhand der Pass- und Verknüpfungspunkte aus dem Bündelblockausgleich. Der mittlere Höhenfehler belief sich auf $\pm 2,5$ m, was sehr wahrscheinlich auch darauf zurückzuführen ist, dass das automatisch erzeugte Geländemodell die Vegetation mit einschließt. Anhand des so abgeleiteten Geländemodells konnten die Orthophotos 1977 berechnet und anschließend ein Bildmosaik erstellt werden. Die Bodenauflösung beträgt 0,6 m, die abgedeckte Fläche 375,5 km², die Dateigröße des Bildmosaiks 2,16 GByte im TIF-Format.

Der oben beschriebene Ansatz konnte für die Bilder von 1966 nicht angewendet werden, da die automatische Berechnung des Geländemodells aus diesen Bildern nicht zufriedenstellend war. Die trotz Bildverbesserung vorhandenen Qualitätseinbußen im Bildmaterial ließen keine akzeptablen Ergebnisse der automatischen Bildkorrelation zu. Es lag daher nahe, für die Orthophotoerstellung der Bilder 1966 das Geländemodell aus den Bildern 1977 zu verwenden. Das ergab den Vorteil, dass nicht nur für den Überlappungsbereich der Bilder 1966 eine Orthophotoberechnung bis in die Randbereiche der Bilder möglich war, sondern für den gesamten Bereich der Luftbilder, da diese komplett vom Stereomodell der Bilder 1977 abgedeckt wurden. Weiterhin konnte so auch im Bereich, wo sich zwei angrenzende Flugstreifen nicht vollständig überlappen, eine Orthophotoberechnung durchgeführt werden. Nachteile dieser Kombination von Daten unterschiedlicher Jahrgänge ergeben sich, wenn landschaftliche Veränderungen zwischen beiden Epochen Lageverschiebungen im Orthophoto nach sich ziehen. In einem kompromisslosen Ansatz wäre daher wohl eine Kombination von Geländemodellen und Strukturmerkmalen aus beiden Bildepochen die ‚bessere‘ Variante, jedoch konnte aufgrund der zu erwartenden Lagegenauigkeit für die Orthophotos mit dem automatisch generierten Geländemodell aus den Bildern von 1977 das Auslangen gefunden werden.

Aus den einzelnen Orthophotos wurde ein Gesamtbildmosaik erstellt. Das oben angesprochene Problem der Klaffung zwischen zwei Flug-



Abb. 4: Gegenüberstellung der Orthophotos von 1966, 1977 und 1997 (Infrarot- und in naturnaher Farbdarstellung) im Bereich Agora, Hanghäuser und Theater

streifen ergab in der Orthophotoberechnung einen minimalen Keil aus fehlenden Bilddaten, der ebenso wie die Randbereiche als ‚No-Data‘-Werte im Orthophotomosaik eingetragen wurde. Die Bodenauflösung beträgt 0,25 m, die abgedeckte Fläche 238,3 km², die Dateigröße des Bildmosaiks 4,50 GByte im TIF-Format.

Um den Zugriff auf die Bildmosaike in GIS- und CAD-Umgebung performant zu gestalten, wurde eine Bildkachelung angewendet. Zwei unterschiedliche Kachelgrößen (2 x 2 km, 5 x 5 km) garantieren einen schnellen Zugriff auf die Daten und machen es zudem Wissenschaftlern ohne GIS-Erfahrung möglich, Luftbilder mit Standard-Bildbetrachtungssoftware einzusehen. Die unterschiedlichen Orthophotos sind in Abbildung 4 in einer Bildmatrix eines *Ephesos*-Detailausschnitts gegenübergestellt.

3. Anwendung in der Archäologie

Bereits mit der exemplarischen Situationsauswertung der 1997er Luftbilder konnte gezeigt

werden, dass dadurch Grundlagendaten für Kartierungen geschaffen werden können. Die Bildmosaike aller Jahrgänge eignen sich zudem hervorragend als Hintergrund für verschiedenste archäologische Kartierungen.

Darüber hinaus können Interpretationen und Analysen durchgeführt werden, deren Ergebnisse in die archäologische Forschung einfließen. Sehr vorteilhaft ist dabei die Verfügbarkeit von historischen Luftbildern und Geländemodellen. Zwei Beispiele für die Nutzung in der aktuellen archäologischen Forschung sollen vorgestellt werden.

3.1 Interpretation von archäologischen Strukturen in Ephesos

Im Oktober 2008 und Mai 2010 erfolgten in *Ephesos* im Auftrag des ÖAI durch die *Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG)* geophysikalische Prospektionen von archäologisch interessanten Flächen mittels Georadarmessgerät und Magnetometer [21], [22]. Unter anderem

wurden eine landwirtschaftlich genutzte Fläche nördlich des *Vediusgymnasiums* sowie eine Ackerfläche nördlich des antiken Hafenkanals im Bereich der sog. *Hafennekropole* prospektiert. Ziel dieser Prospektion war es, artifizielle Strukturen im Boden des Geländes zu kartieren. In den Georadar-Messbildern sowie der archäologischen Interpretation zeichneten sich Strukturen in einer Tiefe von 0,5 bis 2,5 m ab, deren Existenz teilweise auch in den Orthophotos 1966 nachgewiesen werden konnten: Massive Mauerstrukturen sind im Orthophoto durch helle, lineare Merkmale zu erkennen, die sich deutlich von der Umgebung abgrenzen (siehe Abbildung 5 und 6). Es kann teilweise sogar auf die Geometrie von vorhandenen Strukturen geschlossen werden (z. B. rechteckige Gebäude, bzw. langgezogene (Befestigungs-)Mauern). Vermutlich handelt es sich bei den hellen Bereichen um oberflächennahe Feuchtigkeits- und/oder Bewuchsmerkmale.

Ähnliches gilt für den nördlichen Bereich der *Hafennekropole*. Die gut sichtbaren, hellen, linearen Strukturen finden sich in der geophysikalischen Messbildinterpretation als Mauerbefunde wieder (siehe Abbildung 7 und 8). Sie zeigen vermutlich ein dichtes Netz aus einheitlichen Grabhäusern im Bereich nördlich des antiken Hafenkanals. Die Ergebnisse ergänzen die Daten eines zur Erforschung der *Hafennekropole* aktuell laufenden Projekts³ optimal. Die in den Luftbildern für die Interpretation herangezogenen freien Flächen werden nämlich gegenwärtig als Plantagen mit intensiver Bewässerung genutzt. Daher ist eine effiziente archäologische bzw. geophysikalische Oberflächenprospektion nicht möglich.

Beide Anwendungsbeispiele schaffen Erfahrungswerte, die in einer umfassenden archäologischen Interpretation des Umfelds von *Ephesos* eingesetzt werden könnten.

3.2 Analysen für das Projekt *Değirmendere Aquädukt*

Die archäologischen Arbeiten am *Değirmendere Aquädukt*⁴, einer ca. 37 km langen, römischen Fernwasserleitung, die nach *Ephesos* führte, werden seit 2005 vermessungstechnisch unterstützt. Die Leitung überwindet als Freispiegelwasserleitung zwischen Quelle und *Ephesos* einen Höhenunterschied von ca. 40 m [23],

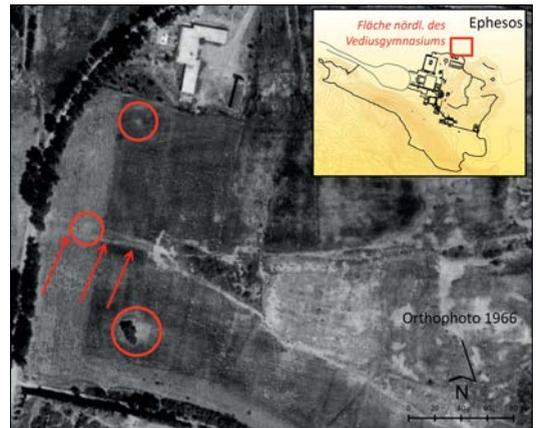


Abb. 5: Strukturen im Orthophoto 1966 im Bereich nördlich des *Vediusgymnasiums*

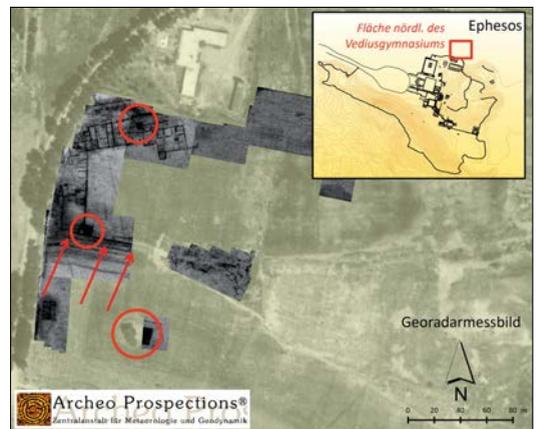


Abb. 6: Vergleich von geophysikalischer Prospektion und Orthophoto 1966 im Bereich nördlich des *Vediusgymnasiums*

[24]. Alle bisher durch intensive Oberflächen-surveys bekannten, oberflächlich sichtbaren Reste des Aquädukts sind in den Messkampagnen 2005 bis 2011 geodätisch erfasst worden. Es handelt sich dabei um erhaltene Brücken und Tunnel sowie gewölbte bzw. gedeckte Leitungsabschnitte im steileren Gelände. Im flachen Gelände kann der Verlauf an der Geländeoberfläche großteils nicht verfolgt werden. Vermutlich wurde dort der Aquädukt in einer Baugrube verlegt und ist daher heute nicht sichtbar. Das konnte u. a. durch einen Zufallsfund in *Kuşadası* nachgewiesen werden (siehe Abbildung 9).

3) Vom Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (FWF) gefördertes Projekt. FWF-Projekt-Nr. P22083-G19 'Die Hafen-Nekropole von Ephesos', Projektleiter: M. Steskal (ÖAI Wien). Die geophysikalische Prospektion wurde von der Gesellschaft der Freunde von Ephesos (GFE) finanziert.

4) Vom Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (FWF) gefördertes Projekt. FWF-Projekt-Nr. P20034 'Der Değirmendere Aquädukt von Ephesos', Projektleiter: G. Wiplinger (ÖAI Wien).

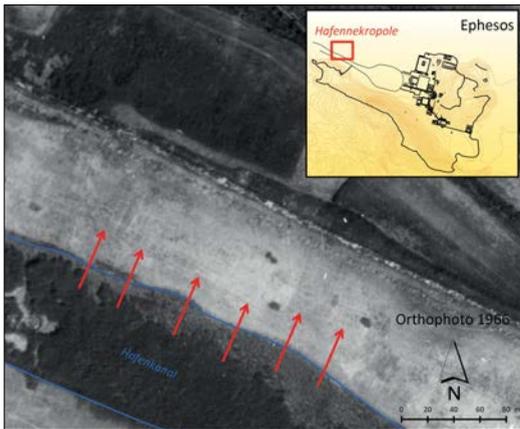


Abb. 7: Strukturen im Orthophoto 1966 im Bereich der nördlichen Hafennekropole

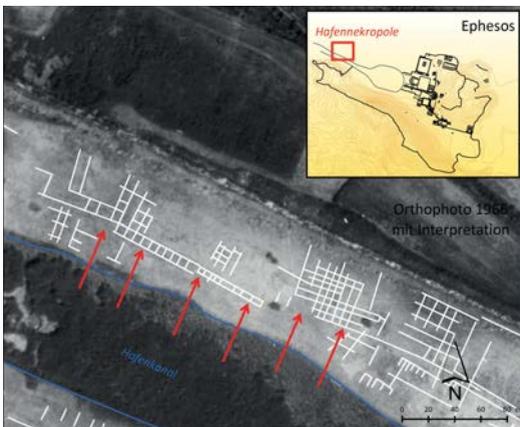


Abb. 8: Vergleich von geophysikalischer Prospektion und Orthophoto 1966 im Bereich der nördlichen Hafennekropole

Mit der Bebauung der modernen Stadt *Kuşadası* ergibt sich zudem ein weiteres Problem: Die enorme Siedlungserweiterung im 20. und 21. Jh. und die damit einhergehende Zerstörung des Aquädukts führten dazu, dass dessen Verlauf in diesem Bereich nicht mehr belegbar bzw. nachvollziehbar ist. Für hydrologische Berechnungen ist es jedoch notwendig, den Verlauf und damit die Gesamtlänge der Leitung zu kennen. Mithilfe der bereits kartierten Objekte und Informationen aus historischen Karten konnte anhand des aus den Luftbildern gewonnenen Geländemodells ein wahrscheinlicher Verlauf durch die heutigen urbanen Gebiete rekonstruiert werden. Wie bereits in [19] dargestellt, sollte beachtet werden, dass sich der Wasserleitungsverlauf nicht ausschließlich nach der Topografie richtet, sondern durch Brücken und Tunnel abgekürzt werden konnte. Mithilfe bereits erfasster Bauwerke als ‚Stützpunkte‘, dem aus Luftbildern

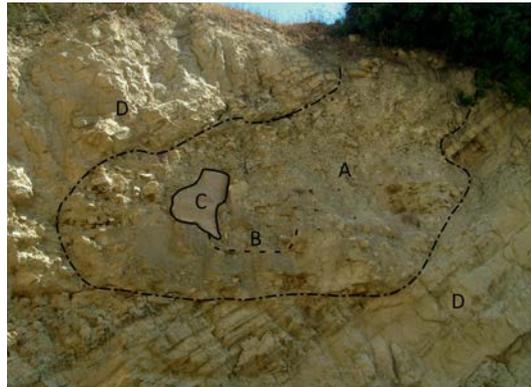


Abb. 9: Künstlich erzeugte Böschung mit sichtbarer Evidenz des in einer Baugrube verlegten Aquädukts (Leitung führt schräg in die abgeböschte Geländeante). (A) Ausmaße der Baugrube, (B) Sohle der Wasserleitung, (C) Aquäduktwange mit *Opus signinum* (hydraulischer Verputz), (D) Gewachsener Boden

gewonnenen Geländemodell, visueller Interpretation der Orthophotos sowie stereoskopischer Analyse von Luftbildpaaren erfolgte die Rekonstruktion eines vermutlichen Leitungsverlaufs in der Topographie sowie der begründeten Prognose von der Existenz bereits zerstörter Tunnel- und Brückenbauwerke (siehe Abbildung 10). Selbstverständlich sollte diese theoretische Rekonstruktion mit einem gewissen Unsicherheitsfaktor kritisch betrachtet werden, da z. B. eine Absenkung der Leitungstrasse durch die Verlegung des Aquädukts in Baugruben eine lagemäßige Verschiebung der Leitung in Richtung Berg nach sich ziehen würde. Diskrepanzen zwischen antiker und moderner Geländesituation die ebenso in der Rekonstruktion vernachlässigt wurden, würden sich jedoch eventuell durch geologische und geografische Beobachtungen für Teilbereiche abschätzen lassen.

Als pragmatischer Ansatz für die eine Rekonstruktion mit minimalen Aufwand genügt diese Methode jedoch im angeführten archäologischen Projekt, da Feldbegehungen ohnehin notwendig sind und die Eingrenzung des Surveygebiets auf wenige Meter bereits eine erhebliche Arbeitserleichterung darstellt. Als Beispiel soll an dieser Stelle ein Tunnel (der sog. *Engerekli-tunnel* – siehe Abbildung 10) bei der Provinzgrenze *İzmir-Aydın* an der Straße nach *Kuşadası* angeführt werden, dessen Existenz nach der kombinierten Interpretation von Luftbildern und Geländemodell im GIS prognostiziert wurde. In der Kampagne 2011 erfolgte schließlich der Nachweis dieser Annahme durch Feldbegehungen. Die Lageabweichung des Tunnaleingangs zwischen der rekonstruierten und tatsächlichen Position betrug dabei weniger als 15 m. In die-

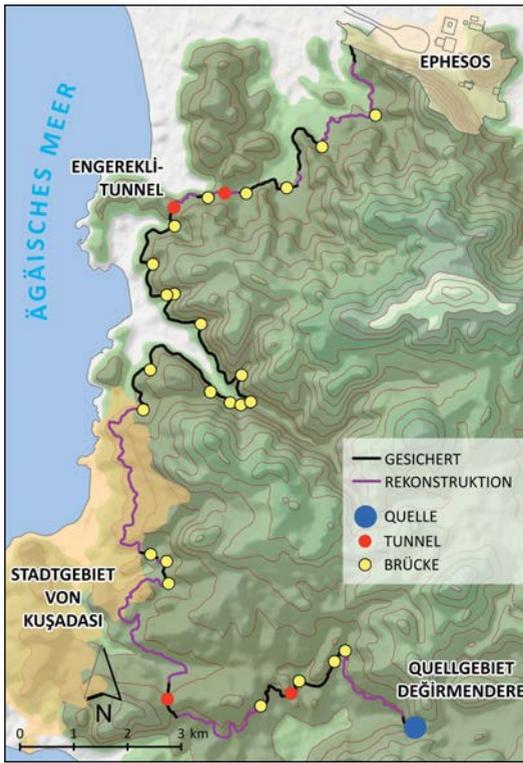


Abb. 10: Değirmendere Aquädukt – gesicherter und rekonstruierter Leitungsverlauf

sem Fall wirkte sich die bewegte Topografie in der Nähe des Tunnels begünstigend für eine GIS-gestützte Analyse aus. In flacheren Gebieten kann eine derart erfolgreiche Rekonstruktion des Leitungsverlaufs nicht ohne weiteres garantiert werden – ebenso wie im urbanen Gebiet der Stadt *Kuşadası*. Dort steht die Verifizierung des aktuellen rekonstruierten Leitungsverlaufs in den wenigen noch unverbauten Flächen bislang noch aus.

4. Resümee

Dieser Beitrag zeigt, wie Luftbilder verschiedener Epochen aus Befliegungen des Gebietes rund um die antike Stadt *Ephesos* simultan in einem Koordinatenrahmen zu Orthophotos und Geländemodellen verarbeitet wurden.

Fehlende oder ungenügende Passpunktinformationen zu den Bildern erforderten zunächst eine Neubestimmung von photogrammetrischen Passpunkten im abgedeckten Gebiet. Die Komplexität dieser Herausforderung bestand vor allem darin, ausgewählte, zuverlässige Verknüpfungspunkte zwischen den drei Luftbildepochen zu eruieren, die zeitlich bis zu 31 Jahren auseinanderliegen, um in der Folge alle Epochen in einer homogenen Auswertung zu analysieren.

Durch intensive Beschäftigung mit dem vorliegenden historischen Bildmaterial und der modernen Topografie vor Ort ließen sich Verknüpfungsinformationen in ausreichender Anzahl und angestrebter Verteilung finden und mittels GPS-Messungen koordinatenmäßig bestimmen.

Als problematisch erwiesen sich in der weiteren Verarbeitung des historischen Bildmaterials primär das Fehlen von Teilen der Inneren Orientierung einer verwendeten Messkammer und eine schlechte Bildqualität für die automatische Bildkorrelation in der Geländemodellberechnung. Für beide Sachverhalte konnte eine jeweils akzeptable Lösung gefunden werden, sodass das Ziel dieses Projektes erreicht werden konnte.

Die erzielte Genauigkeit der Ergebnisse lässt eine weitreichende Anwendung in der Archäologie zu. Nützlich erweisen sich die Bilder bei der stereoskopischen Analyse von sichtbaren artifizialen Einzelfeatures, der Auswertung von Sichtmerkmalen in Hinblick auf oberflächennahe Strukturen im Boden sowie der Ableitung und Nutzung von Geländemodellen und Orthophotos. Konkrete Anwendungsfälle in aktuellen archäologischen Projekten wurden beschrieben. Die Nutzung der Produkte aus der Luftbilddauswertung wird sich auch in Zukunft intensivieren. Besonders die Kombination von archäologischen Befunden aus Grabungen und Oberflächensurveys sowie die Verschneidung mit Daten aus anderen Natur- und Geowissenschaften (wie z. B. die Geophysik und Paläogeographie) liefern schließlich eine lohnenswerte Perspektive für innovative wissenschaftliche Ergebnisse.

Eine Befliegung des Gebietes mit modernen Messsensoren würde mit Sicherheit schneller und bequemer zu qualitativ besseren Daten hinsichtlich Geometrie und Auflösung führen. Ein Umstand, der vor allem durch die Bilder älterer Herkunft (1966 und 1977) gegeben ist, bliebe jedoch unberücksichtigt. Die abgebildete Kulturlandschaft war zum Aufnahmezeitpunkt noch nicht in so extremer Weise von neuzeitlichen topografischen Veränderungen beeinflusst. Anzuführen wären die massive Expansion der Siedlungsgebiete, der äußerst rasante Ausbau infrastruktureller Einrichtungen (Landstraßen, Autobahnen, Flughäfen, Hotels, Freizeiteinrichtungen etc.), die intensive Entnahme von Rohstoffen und Bodenschätzen sowie die enorme Ausweitung von landwirtschaftlichen Nutzflächen, so wie dies im Untersuchungsgebiet nachweislich in den letzten Jahrzehnten passierte und bis zum heutigen Tag weiterhin erfolgt. Man kann daher mit Fug und Recht behaupten, dass die in den vorliegenden Bildern abgebildete topografische Situation selbst ein historisches Zeitzeugnis darstellt. Damit ist sie Teil der Doku-

mentation der menschlichen Existenz und Handels und sollte somit als ein Bestandteil in die wissenschaftliche Erforschung der materiellen Hinterlassenschaften des Menschen in dieser Gegend Eingang finden.

Kooperation und Danksagung

Dieses Projekt wurde in einer wissenschaftlichen Kooperation des *Österreichischen Archäologischen Instituts (ÖAI)* mit dem türkischen Militär-Generalkommando für Kartografie in Ankara (*Harita Genel Komutanlığı (HGK)*), dem Institut für Geomatik an der Technischen Universität Istanbul (*Istanbul Teknik Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü*) und dem Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung (*IPF*) der Technischen Universität Wien durchgeführt.

Referenzen und Quellen

- [1] Alzinger, W. (1962): Die Stadt des siebenten Weltwunders – Die Wiederentdeckung von Ephesos. Wollzeilen Verlag, Wien 1962.
- [2] Wood, J. T. (1877): Discoveries at Ephesus. London 1877.
- [3] Österreichisches Archäologisches Institut (2012): Grabungsgeschichte von Ephesos. <http://www.oelai.at/index.php/grabungsgeschichte.html>. Letzter Zugriff am 15.10.2012.
- [4] Bolca, M. et al. (2005): Determination of Change Detection of Landscape of the Kucuk (sic!) Menderes Delta Using GIS and the Remote Sensing Techniques. In: *Journal of Applied Sciences*, Bd. 5(4), 2005, S. 659–665.
- [5] Kraft, J. C., Kayan, İ., Brückner, H. und Rapp, G. (2000): A geological analysis of ancient landscapes and the harbors of Ephesus and the Artemision in Anatolia. *Österreichische Jahreshefte (ÖJh)*, Bd. 69, 2000, S. 175–232.
- [6] Ladstätter, S., Zimmermann, N. (2010): Wandmalerei in Ephesos von hellenistischer bis in byzantinische Zeit. Phoibos Verlag, Wien 2010, S. 20 ff.
- [7] Ladstätter, S. et al. (2012): Das Hanghaus 2 in Ephesos. Ein archäologischer Führer. Ege Yayınları, Istanbul 2012.
- [8] Scherrer, P. (Hrsg.) (1995): Ephesos – der neue Führer: 100 Jahre österreichische Ausgrabungen; 1895 – 1995. Österreichisches Archäologisches Institut, Wien 1995.
- [9] Schindler A. (1906): Bemerkungen zur Karte. In *Bennendorf O.* (Hrsg.): Forschungen in Ephesos (FiE), Band I, Wien 1906, S. 235.
- [10] Schindler, A. (1897): Umgebung von Ephesos. Karte aus dem Planarchiv des Österreichischen Archäologischen Instituts. M=1:25.000, ÖAI Inv.-Nr. 2010/1b, ÖAI Zentrale Wien.
- [11] Waldhäusl, P., Tschannerl, J. und König, H. (1977): Technischer Bericht „Netz 1977“. Unveröffentlichter Bericht im Archiv des Österreichischen Archäologischen Instituts. Ohne Inv.-Nr. ÖAI Zentrale Wien.
- [12] Wohlers-Scharf, T. (1996): Die Forschungsgeschichte von Ephesos. Entdeckungen, Grabungen und Persönlichkeiten. 2. Aufl. In: Europäische Hochschulschriften, Reihe XXXVIII Archäologie, Bd. 54. Lang, Frankfurt a. M. 1996.
- [13] Meissner, H. (1995): Die Ergebnisse der geodätischen Arbeiten 1992. In *Knibbe, D. und Thür, H.* (Hsg.): Via Sacra Ephesiaca II. Österreichisches Archäologisches Institut – Berichte und Materialien, Heft 6. Wien 1995, S. 18.
- [14] Klotz, St., Schirmer, Ch. (1997): Ein digitaler Stadtplan von Ephesos. In *Forum Archaeologiae – Zeitschrift für klassische Archäologie* 5 / XII / 1997, <http://homepage.univie.ac.at/elisabeth.trinkl/forum/forum1297/05digi.htm>. Letzter Zugriff am 20.01.2012.
- [15] Klotz, St. (1997): Grabungsbericht Ephesos 1997 – Vermessung. Österreichische Jahreshefte (ÖJh), Bd. 67 Beiblatt, 1998, S. 37–39.
- [16] Gugl, Ch. (2005): Von der Luftbilddauswertung zum digitalen Stadtplan. <http://members.aon.at/ch.gugl/digital.htm>. Letzter Zugriff am 28.03.2011.
- [17] Doneus, M. (2011): Aerial Archaeology. <http://luftbildarchiv.univie.ac.at/aerial-archaeology>. Letzter Zugriff am 28.03.2011.
- [18] Peipe, J. (1986): Differentialverzerrung von Nicht-Messbildern in der Luftbildarchäologie. In *ISPRS* (Hg.). International Society for Photogrammetry and Remote Sensing. Ottawa, Canada. http://www.isprs.org/proceedings/XXVI/part5/112_XXVI-part5.pdf. Letzter Zugriff am 30.03.2011.
- [19] Klotz, St. (2001): Ephesos. Auswertung und Anwendung von Geodaten. In *Asamer, B. und Wohlmayr, W.* (Hsg.): Akten des 9. Österreichischen Archäologentages – 6. bis 8. Dezember 2001, Salzburg 2003.
- [20] Klotz, St. (2003): Photogrammetry in Ephesos – Recording Basic Spatial Data. In *CIPA 2003 XIXth International Symposium*, 30 September – 04 October, Antalya/Turkey 2003.
- [21] Seren, S. S. et al. (2008): Archäologisch-Geophysikalische Prospektion Ephesos / Türkei 2008. Wien, (Unveröffentlichter Bericht): Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Archeo Prospections [Stand: Dezember 2008].
- [22] Seren, S. S. et al. (2011): Archäologisch-Geophysikalische Prospektion Ephesos / Türkei 2010. Wien, (Unveröffentlichter Bericht): Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Archeo Prospections [Stand: Januar 2011].
- [23] Wiplinger, G. (2006): Wasser für Ephesos, Stand der Erforschung der Wasserversorgung in Ephesos, Türkei. In *Wiplinger, G.* (ed.): Cura Aquarum in Ephesos, Proceedings of the 12th International Conference on the History of Water Management and Hydraulic Engineering in the Mediterranean Region. BABesch suppl. 12, SoSchrÖAI 42, Wien 2006. S. 23–37.
- [24] Wiplinger, G. (in Druck): Der Değirmendere Aquädukt von Ephesos und seine Zukunft. In *Wiplinger, G.* (Hrsg.): Historische Wasserleitungen. Gestern – Heute – Morgen. BABesch suppl., Leuven.

Anschrift der Autoren

Dipl.-Ing. (FH) Christian Kurtze, MSc (GIS), Friedrich-Engels-Straße 2, 02627 Hochkirch/Deutschland.
E-Mail: christian.kurtze@etwas-vermessen.de

Dipl.-Ing. Stefan Klotz, Leystraße 20c/13, 1200 Wien/Österreich.
E-Mail: stefan.klotz@bev.gv.at

Prof. Dr. Mehmet Orhan Altan, Istanbul Technical University, Faculty of Civil Engineering, Geomatic Engineering Department, 34469 Maslak Istanbul/Türkei.
E-Mail: oaltan@itu.edu.tr

Prof. Dr. Gönül Toz, Istanbul Technical University, Faculty of Civil Engineering, Geomatic Engineering Department, 34469 Maslak Istanbul/Türkei.
E-Mail: toz@itu.edu.tr