

Paper-ID: VGI_198405



Numerische Photogrammetrie und Archäologie

E. Vozikis ¹

¹ *Wild Heerbrugg AG, CH-9435 Heerbrugg/Schweiz*

Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen und Photogrammetrie **72** (2), S. 54–65

1984

Bib_TE_X:

```
@ARTICLE{Vozikis_VGI_198405,  
  Title = {Numerische Photogrammetrie und Arch{"a}ologie},  
  Author = {Vozikis, E.},  
  Journal = {"0}sterreichische Zeitschrift f{"u}r Vermessungswesen und  
    Photogrammetrie},  
  Pages = {54--65},  
  Number = {2},  
  Year = {1984},  
  Volume = {72}  
}
```



Numerische Photogrammetrie und Archäologie*

Von E. Vozikis, Heerbrugg

Zusammenfassung

Die rasche Entwicklung der Computer-Technologie und moderner photogrammetrischer Auswertesysteme in den letzten Jahren hat dazu geführt, daß verschiedene Methoden der numerischen Photogrammetrie immer mehr Anwendung in verschiedenen Bereichen finden.

In diesem Beitrag werden verschiedene Anwendungsmöglichkeiten der numerischen Photogrammetrie in der Archäologie aufgezeigt. Die digital gesteuerte Differentialumbildung in Verbindung mit digitalen Höhenmodellen, die Anwendung von analytischen Auswertesystemen zur direkten graphischen oder digitalen Auswertung von Ballonaufnahmen sowie die differentiale Entzerrung geneigter Aufnahmen wird vorgestellt. Auf Grund verschiedener praktischer Beispiele wird versucht, die Genauigkeit, Qualität und Wirtschaftlichkeit, die bei der Anwendung der numerischen Photogrammetrie in der Archäologie erreicht werden kann, aufzuzeigen.

Abstract

The rapid development of computer technique and modern photogrammetric equipment of the last years allowed the numerical photogrammetry an extensive application in various fields.

In this paper the user of numerical photogrammetric methods in various sectors of Archaeology will be discussed. The use of the digitally controlled differential rectification in connection with digital terrain models, analytical plotters for graphical restitution of balloon photographs and digitally controlled differential rectifiers for simple rectification of oblique photographs will be presented. Some practical examples try to show the quality and accuracy of the final product as well as the economy that can be achieved using numerical photogrammetry in Archaeology.

1. Einleitung

Obwohl die analoge Photogrammetrie heute einen hohen Entwicklungsstand erreicht hat, ist man bei ihrer Anwendung in der Archäologie häufig beschränkt. Die Tatsache, daß man es hier mit detailreichen Objekten zu tun hat, die oft sehr rasch erfaßt und dokumentiert werden müssen, erfordert die Anwendung neuer photogrammetrischer Aufnahme- und Auswertesysteme.

Im Laufe der Zeit wurden verschiedene Aufnahmesysteme und ihre Anwendungsmöglichkeiten bei der Architektur- und Industriephotogrammetrie sowie in der Denkmalpflege vorgestellt. Es wurden auch mehrmals Methoden der numerischen Photogrammetrie, wie z. B. Bildtriangulation (Stephani, 1978), numerische Entzerrung geneigter Aufnahmen ebener Objekte auf optischem (Vozikis, 1979) und numerischem (Burkhardt, 1978) Weg, digitale Verarbeitung von Bildern (Baehr, 1979), Differentialumbildung von Bildern (Vozikis, 1979 b) usw., erfolgreich in diesem Bereich erprobt. Bis vor kurzem hat man sich aber im Bereiche der Archäologie fast nur terrestrischer Meßkammer-Aufnahmen bedient und sie analog ausgewertet. Bilder, die mit unkonventionellen Aufnahmesystemen gemacht wurden, haben mehr oder weniger immer nur zur Archivierung, Interpretation und Erstellung von Photomosaiken gedient (Badekas et al, 1980; Wittlesey, 1970).

In diesem Beitrag wird anhand praktischer Beispiele die Anwendung der numerischen Photogrammetrie zur graphischen Auswertung, Differentialumbildung und zur numerischen Auswertung von metrischen und Amateuraufnahmen aus konventionellen und unkonventionellen Aufnahmesystemen im Bereich der Archäologie demonstriert. Dabei wird auch versucht, die Wirtschaftlichkeit und Einfachheit der jeweils verwendeten Methode sowie die erreichbare Genauigkeit und Qualität des Endproduktes zum Ausdruck zu bringen. Die jeweils angewendeten Methoden sind in der betreffenden Literatur ausführlich behandelt worden.

* Eine englische Fassung dieses Beitrages wurde am „International Symposium on Photogrammetric Contribution to the Documentation of Historic Centres and Monuments“, Siena, Oktober 1982, vorgetragen.

2. Rechnergestützte Auswertung

Aus verschiedenen Gründen ist man bei der Erfassung und Dokumentation von Ausgrabungen gezwungen, neben der Standard-Meßkamera auch unkonventionelle Aufnahmesysteme, die fast immer nicht-metrische Aufnahmen liefern, zu verwenden (Badekas et al, 1980; Lubofsky und Waldhäusl, 1980; Wittlesey, 1970).

Obwohl archäologische Ausgrabungen im allgemeinen nur „stückweise“ ausgeführt werden können, ist fast immer ein Übersichtsplan der gesamten Grabungssituation notwendig, um darauf wichtige Informationen, wie z. B. Landeskoordinatennetz, Beschriftung, Höhe oder Grabentiefe diskreter Punkte usw., einzutragen. Man braucht also Detailpläne der einzelnen Grabungen sowie Übersichtspläne, wo jede Grabung eingetragen wird. Im ersten Fall können solche Pläne mit Hilfe von stereoskopischen Meßaufnahmen an Analog-Stereoauswertegeräten leicht abgeleitet werden (Eckstein, 1982).

Im zweiten Fall muß man Luftaufnahmen verwenden, die meistens wegen des erwünschten großen Bildmaßstabs nur mit unkonventionellen Aufnahmesystemen, wie z. B. Ballons, durchgeführt werden können. Die größten Probleme bei der Auswertung solcher Aufnahmen sind die Verzeichnung, die unkontrollierbare Modellbildung und die große Neigung der Aufnahmen. Hier ist die Verwendung von Analogauswertegeräten fast ausgeschlossen.

Die neue Generation von Auswertesystemen, wo die Betrachtung zwar wie bisher optisch erfolgt, die Modellbildung und die Auswertung aber digital durch einen im System integrierten Prozeßrechner durchgeführt und kontrolliert werden, ermöglicht die vielseitige Auswertung auch solcher Aufnahmen.

Bei einer solchen „rechnerunterstützten“ Auswertung wird die Verzeichnung der Aufnahme berücksichtigt. Die Modellbildung wird rechnerisch schnell, sicher und genau, und die Auswertung vielseitig und ebenso genau, vollständig und schnell durchgeführt. Die Auswertung kann hier hauptsächlich auf zwei Arten erfolgen:

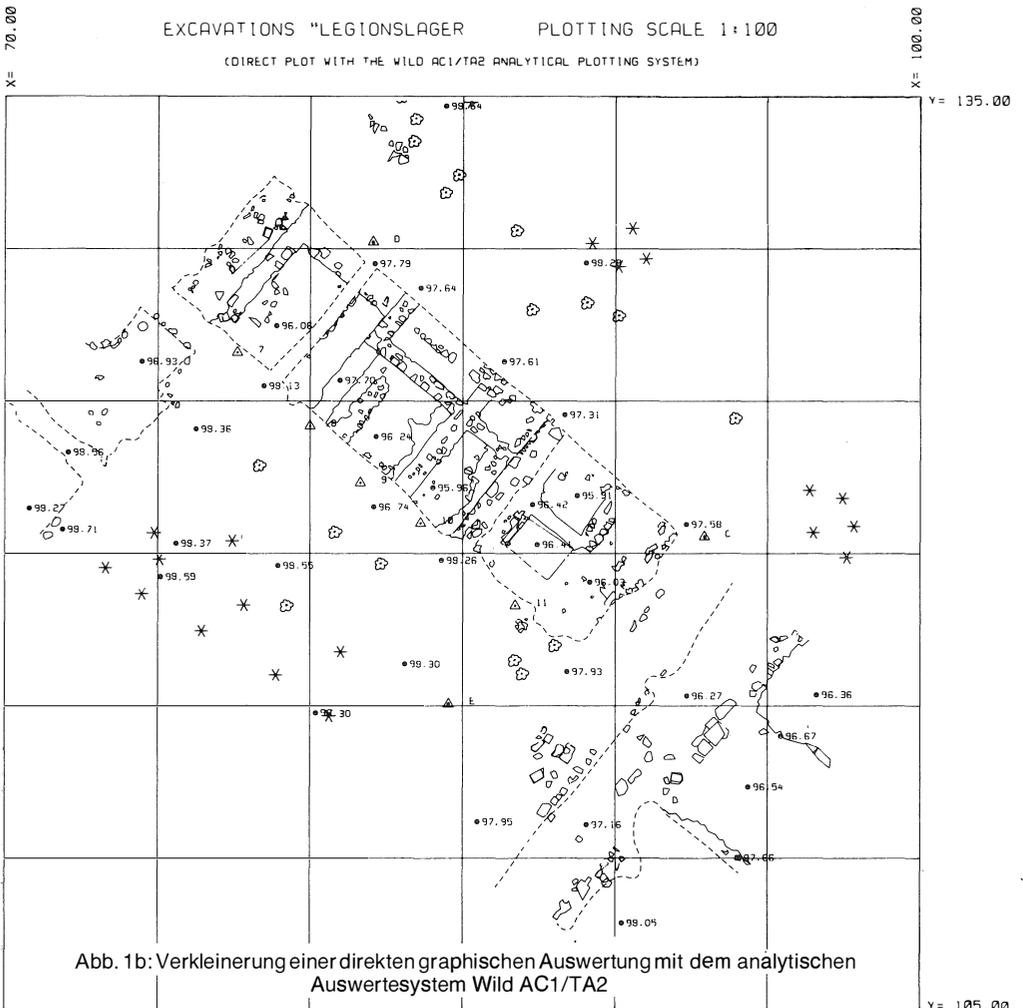


Abb. 1a: Aufnahme mit der Hasselblad 500 EL/M aus einem Ballon-Aufnahmesystem

2.1 Graphische Auswertung

Dabei wird ein Plan erstellt, wo die jeweils gewünschte Information eingetragen wird. Zum Unterschied zur analogen Auswertung wird hier der Plan „on-line“ mit verschiedenen Symbolen und Linienarten versehen. Die Beschriftung des Blattes, das Auftragen des Gitternetzes und spezieller Punktgruppen (z. B. Paßpunkte) kann dabei vollautomatisch, schnell und einfach erfolgen. Die aufgrund der on-line-Berechnungen aufgetragenen Details, wie z. B. parallele Linien und Kurven, Schraffur der durch Polygone und Kurven definierbaren Flächen, erhöhen die Qualität und Genauigkeit des Planes.

Abb. 1 zeigt eine direkte graphische Auswertung von Ballonaufnahmen, die an dem analytischen Auswertesystem Wild AC1/TA2 (Kreiling und Hasler, 1980) durchgeführt wurde. Die Aufnahmen wurden auf Veranlassung des Archäologischen Instituts der Universität Wien vom Institut für Photogrammetrie der TU Wien durchgeführt. Sie wurden mit dem Aufnahmesystem (Lubofsky und Waldhäusl, 1980) hergestellt und stammen von den Ausgrabungen eines ausgedehnten römischen Siedlungsareals bei Carnuntum in Österreich. Ausführliche Information über diese Ausgrabungen sowie archäologische und geschichtliche Information findet man in (Kandler, 1982). Das Bildmaterial war im Maßstab 1 : 500, und die Auswertung erfolgte in 1 : 100.



2.2 Digitale Auswertung

Oft ist es notwendig, die Auswertung verschiedener Grabungssituationen auf einem einzigen Plan darzustellen. Ein anderer in der Praxis vorkommender Fall ist der, daß zu verschiedenen Zeiten ausgewertete Details in einem Plan aufgetragen werden müssen oder unterschiedliche Grabungen in einem Übersichtsplan ohne Detailverlust mitaufgetragen werden sollen.

In solchen und anderen Fällen kommt die digitale Auswertung durch analytische photogrammetrische Systeme in Frage. Dabei wird die jeweilige Situation „digital“ ausgewertet, d. h., die ganze geometrische und graphische Information wird digitalisiert und gespeichert. Dabei ist es auch möglich, eine gleichzeitige direkte graphische Auswertung durchzuführen.

Die gespeicherte Information kann jederzeit editiert, nachgeführt und in verschiedenen Maßstäben und auf verschiedene Weise graphisch dargestellt werden. Die Möglichkeit, existierenden „Informationsfiles“ neue Information zuzufügen, ermöglicht das schnelle und genaue „updating“ von Grabungssituationen.

Abb. 2 zeigt die verschiedenen Phasen einer digitalen Auswertung mit dem analytischen System Wild BC1/TA2.

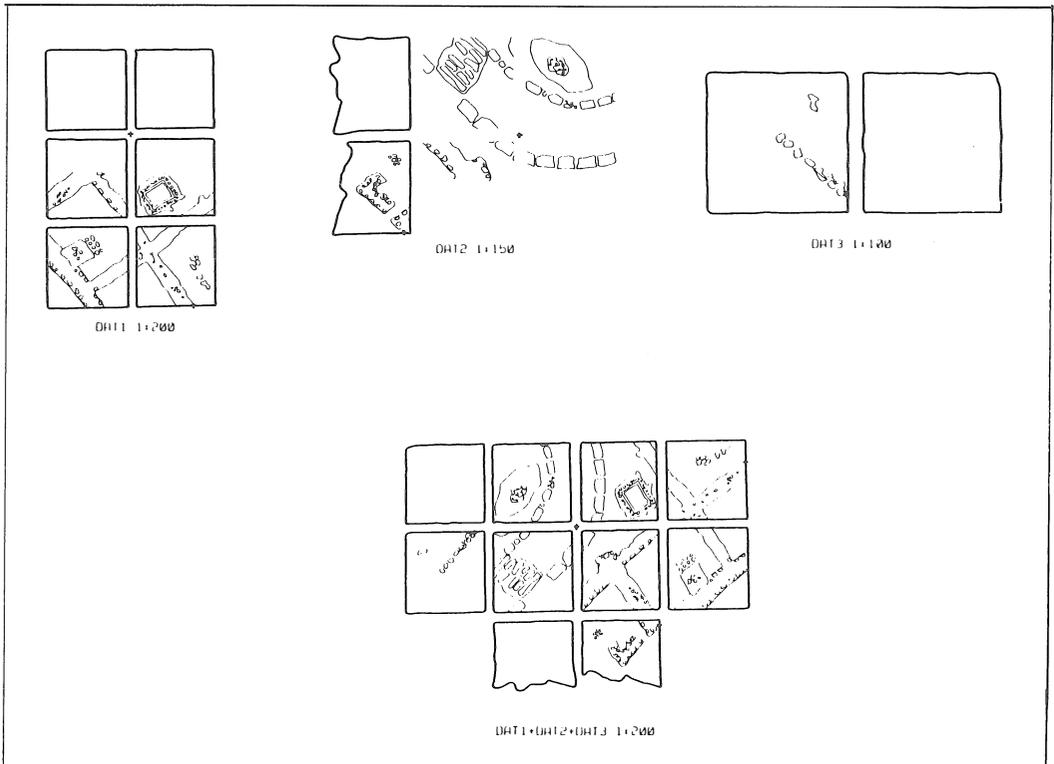


Abb. 2: Verschiedene Phasen einer digitalen Auswertung mit dem analytischen Auswertesystem Wild BC1/TA2

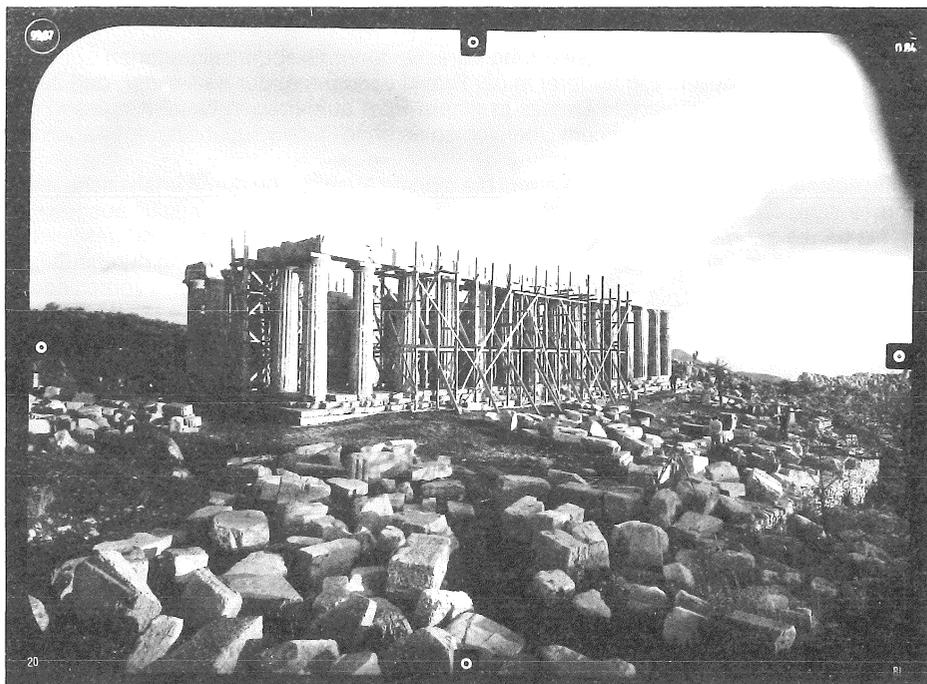


Abb. 3a: Übersicht des Apollo-Epikourios-Tempel, aufgenommen mit der Zeiss UMK

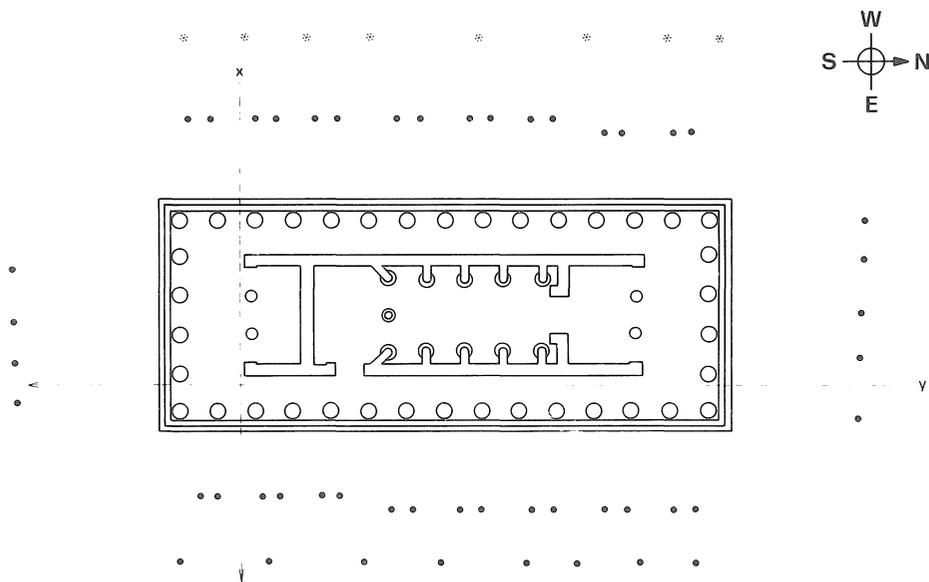


Abb. 3b: Schematische Darstellung der Aufnahmesituation

3. Bildtriangulation

Die Bildtriangulation befreit die Photogrammetrie vom Zwang, in jedem Stereomodell mindestens vier geodätisch bestimmte Vollpaßpunkte zu haben. In der Archäologie kommt eine Aerotriangulation nach der Methode der unabhängigen Modelle selten in Frage; hingegen hat die Bündelmethode große Anwendungsmöglichkeiten. Wegen der häufig vorkommenden Fälle, die von denen der Luftphotogrammetrie sehr stark abweichen, ist hier die Anwendung eines universalen Bündelausgleichsprogrammes notwendig. Die Möglichkeit, bei einem solchen Programm verschiedenartige Aufnahmen und Kontrollinformationen zu verwenden, ermöglicht seine Anwendung auch in Fällen, wo jede andere Methode undenkbar oder nur mit extrem hohen zusätzlichen Kosten- und Zeitaufwand verwendbar ist.

Neben den vielen Projekten, die mit einem solchen Programm, dem ORIENT (Kager, 1980) gerechnet wurden, kann man das Beispiel des Apollo-Tempels (Epikourios) in Bassae, Griechenland, erwähnen. Hier handelt es sich um einen klassischen Tempel, der in den Jahren 450–425 v. Chr. erbaut wurde. Der Tempel wurde im Rahmen einer Arbeit des Instituts für Photogrammetrie der NTU Athen photogrammetrisch ausgewertet (Badekas, 1981). Das Objekt wurde terrestrisch durch horizontale und geneigte Aufnahmen mit der Zeiss UMK, Wild P31 und C120 sowie aus der Luft mit einem Ballonsystem (Badekas et al, 1980) durch vertikale Aufnahmen mit der Hasselblad 500 CM erfaßt.

Zum Vergleich der Genauigkeitsunterschiede zwischen einer graphischen Analogauswertung und einer rein digitalen, punktwisen Auswertung wurden dem Verfasser die Aufnahmen und Paßpunktinformationen zur Verfügung gestellt. Die analoge Auswertung der Stereopaare erfolgte mit Hilfe geodätisch bestimmter Paßpunkte. Die Koordinaten diskreter Kontrollpunkte — speziell ausgewählter und markierter Punkte — wurden während der analogen Auswertung in einem übergeordneten Koordinatensystem bestimmt.

Alle diese Bilder wurden im Aviolyt AC1 als Einzelbilder im Monokomparator Mode (Kreiling, 1982) digital ausgewertet und die diskreten Kontrollpunkte in jedem Bild, in dem sie vorhanden sind, gemessen. Alle terrestrischen Bilder werden gemeinsam mit den Ballonaufnahmen in einem Guß mit Hilfe des universalen Bündelprogrammes ORIENT am Institut für Photogrammetrie der TU Wien ausgeglichen. Die so bestimmten Koordinaten werden mit dem durch analoge Auswertung bestimmten Wert verglichen und die Ergebnisse im Rahmen einer Studie ausgewertet. Abb. 3 zeigt eine UMK-Übersichtsaufnahme des nördlichen Teiles und eine graphische Darstellung der Aufnahmesituation.

4. Orthophotoherstellung aus Flugzeug- und Ballonaufnahmen

Ein Beispiel dafür sind die Arbeiten des Archäologischen Institutes der Universität Wien am sogenannten Pfaffenberg. Auf diesem nordöstlich von Wien gelegenen Hügel wurden seit 1970 die Reste eines römischen Bergheiligtums des 1. nachchristlichen Jahrhunderts ausgegraben, das allerdings durch einen nahen Steinbruch bedroht bzw. teilweise zerstört ist. Man stand also vor dem Problem, die existierende Grabungssituation sowie jede neue Situation zu dokumentieren. Auch hier wurde wieder die Photogrammetrie eingesetzt. Durch das Institut für Photogrammetrie der TU Wien wurden alle vermessungstechnischen Aktionen durchgeführt und auch aus der Sicht des Archäologen beste Resultate erzielt. Als Auswertemethode wurde hier im wesentlichen die Differentialumbildung der Flugzeug- und Ballonaufnahmen verwendet:

Es wurde ein Orthophoto 1 : 250 aus einer Aufnahme des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen aus dem Jahre 1975 hergestellt. Die Orthophotodaten wurden mit Hilfe des Programmes SORA-OP-B (Vozikis und Loitsch, 1982) gerechnet und am Wild Avioplan OR1 (Stewardson, 1976) hergestellt. Die dazu notwendige Geländeinformation wurde an einem Analogauswertegerät gewonnen. Im Jahre 1979 hatte man an der östlichen Seite des Geländes zu graben begonnen. Daraufhin wurde das Gebiet durch Ballon- (1979) und Luftaufnahmen (1980) neuerlich erfaßt.

Man hat nun ohne den zusätzlichen Aufwand einer neuen Datenerfassung (das digitale Höhenmodell wurde bei der Herstellung des 1975-Orthophotos erstellt) neue Orthophotos im

Maßstab 1 : 250 hergestellt und mit ihnen den Situationsplan auf den neuesten Stand gebracht. Abb. 4 zeigt die verschiedenen Phasen dieses Projekts.



Abb. 4a:

Orthophoto, hergestellt aus einer RC8-Aufnahme (1975) mit Hilfe des Wild OR1/SORA-OP Systems



Abb. 4b: Orthophotomosaik, bestehend aus Orthophoto, hergestellt aus Ballonaufnahmen (1979) mit dem Wild OR1/SORA-OP System. Das verwendete digitale Höhenmodell (DEM) wurde in 4a erfaßt.

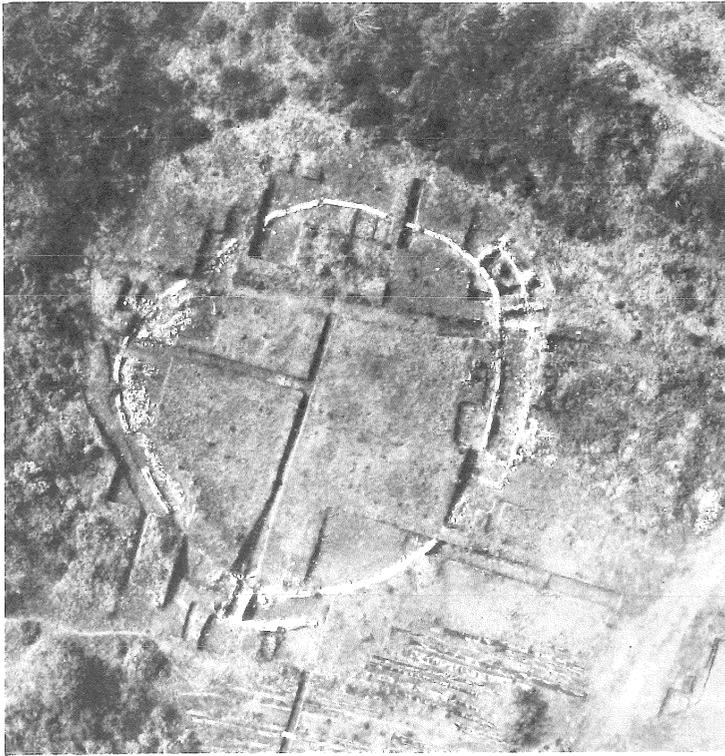


Abb. 4c: Orthophoto, hergestellt aus einer RC10-Aufnahme (1980) mit Hilfe des Wild OR1/SORA-OP Systems. Dasselbe DEM wie in 4a und 4b wurde verwendet.

5. Differentialumbildung geneigter Aufnahmen

In der Archäologie ist es öfters der Fall, daß das zu erfassende Objekt eben ist oder durch eine Ebene approximiert werden kann. In einer Ausgrabung sind z. B. die verschiedenen Grabungsschichten eben. Bevor von der bearbeiteten Schicht zur nächst unteren weitergegraben wird, muß die ganze Situation von Hand ausgemessen und in eine Skizze eingetragen werden. Die Arbeit braucht Zeit und bringt die Gefahr von Fehlern, die nicht mehr korrigierbar sind, da die Situation nicht wiederherstellbar ist. Vergessene Details oder bei der Erfassung als nicht wichtig angesehene Teile und Segmente sind nicht mehr wiederherstellbar. Eine Vereinfachung dieser Methode bringt der Einsatz der Photogrammetrie bei der Erfassung der Situation. Man nimmt mit Meß- oder Amateurkameras die jeweilige Grabungsfläche terrestrisch auf. Die Notwendigkeit, stereoskopisch aufzunehmen, ist hier nicht mehr gegeben. Aufgrund vorher markierter Punkte kann man nun mit Hilfe der Differentialumbildung Entzerrungen der einzelnen Schichten im gewünschten Maßstab herstellen. Die Dokumentation kann dann durch einfaches Durchzeichnen schnell, sicher und vollständig erfolgen.

Ein anderer Fall für die Anwendung der Differentialumbildung ist die Erfassung und Dokumentation antiker Mosaik. Hierbei ist, wie auch vorher, geradezu ideal, daß Amateuraufnahmen als Vermessungsgrundlagen verwendet werden können. Ein voll ausgemessenes Paßpunktviereck genügt auch hier, um die erwähnte Methode anzuwenden.

Abb. 5 zeigt die Aufnahme eines Mosaiks aus Ephesos vor und nach der differentiellen Entzerrung mit dem System Wild OR1/SORA-PR.



Abb. 5a: Aufnahme eines Mosaikes in Ephesus mit einer Amateurkamera

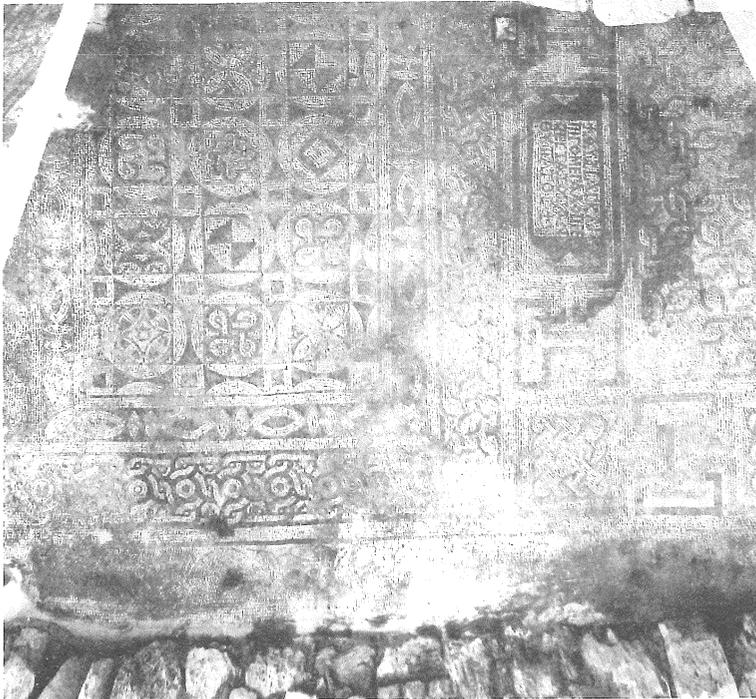


Abb. 5b: Projektive Entzerrung, hergestellt mit dem Wild OR1/ SORA-PR System

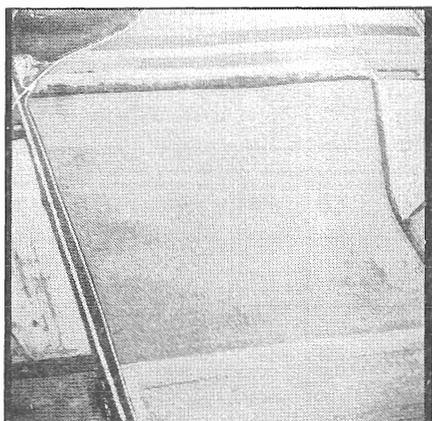


Abb. 6a: Geneigte Amateuraufnahme aus einem leichten Sportflugzeug

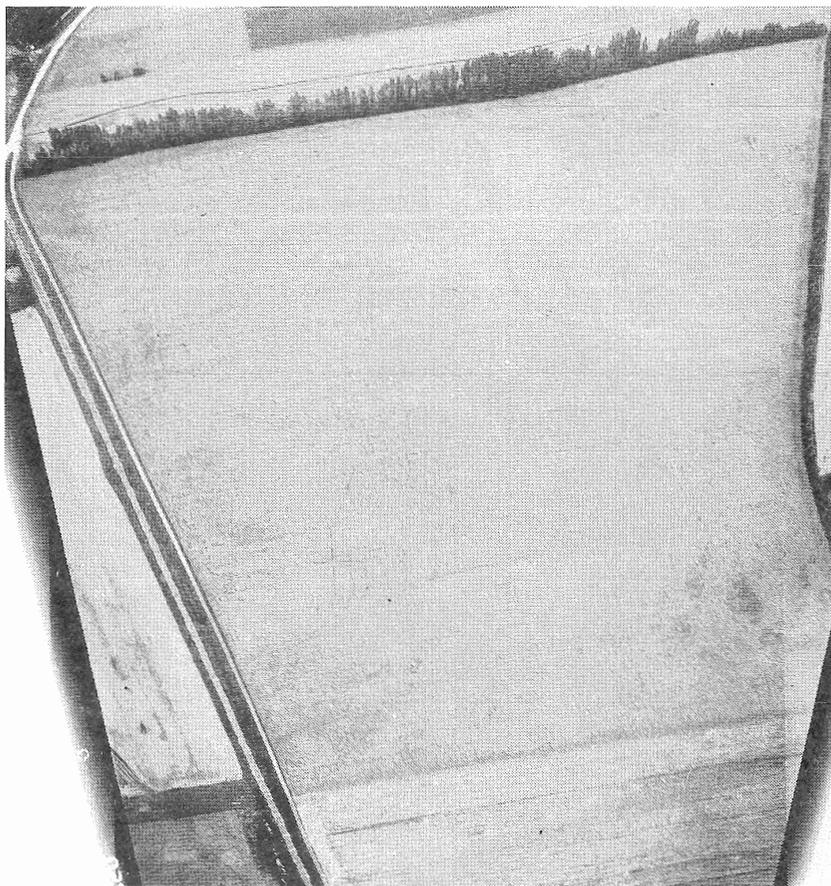


Abb. 6b:

Gemeinsame projektive und affine Entzerrung, hergestellt mit dem Wild OR1/SORA-PR System

Dieselbe Methode kann natürlich auch zur Entzerrung einzelner Luftaufnahmen ebener Gebiete dienen. Die Tatsache, daß man in bestimmten Jahreszeiten unterirdische Strukturen aus der Luft feststellen kann, ermöglicht eine genaue Vorstellung über die noch nicht ausgegrabenen Schichten. Auf diese Weise kann man nicht nur etwas über die Situation allgemein aussagen, sondern man kann auch genau feststellen, wo das interessanteste Detail liegt, um dort mit den Ausgrabungen zu beginnen. Die Methode wurde für diesen Zweck mehrfach vom Museum der Stadt Wien und dem Archäologischen Institut der Universität Wien gebraucht (Kandler, 1982). Sie ist sehr schnell, genau und wirtschaftlich.

Abb. 6 zeigt eine Hasselblad-Aufnahme aus einem Sportflugzeug und ihre Entzerrung mit dem System OR1/SORA-PR, die im Auftrag des Museums der Stadt Wien durchgeführt wurde. Auf jede entzerrte Aufnahme wird das Landeskoordinatennetz aufgetragen. Somit kann jede einzelne Entzerrung in ein vorher gezeichnetes Koordinatennetz eingepaßt werden, und nachdem man das gesamte Gebiet entzerrt und angepaßt hat, kann mit der Hochzeichnung der archäologischen Situation begonnen werden.

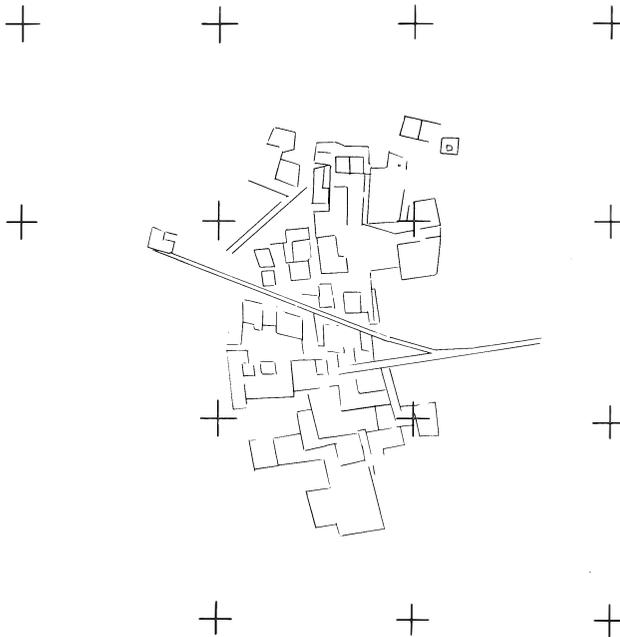


Abb. 6c: Hochzeichnung mancher archäologischer Details aus 6b

6. Schlußbemerkung

In diesem Beitrag wurden nur wenige der vielen Möglichkeiten zur Anwendung numerischer Methoden und analytischer photogrammetrischer Auswertesysteme in der Archäologie vorgestellt.

Anhand dieser wenigen Beispiele konnte gezeigt werden, wie schnell, wirtschaftlich und genau die numerische Photogrammetrie die Probleme der Archäologie lösen kann. Die Tatsache, daß bei der Archäologie der Faktor Zeit eine große Rolle spielt, macht ihre Zusammenarbeit mit der Photogrammetrie notwendig. Daß man das aufzunehmende Objekt nicht berühren muß und nicht auf metrische Aufnahmen beschränkt ist, gibt dem Anwender eine hohe Flexibilität und Freiheit.

Dank

Der Autor möchte an dieser Stelle dem Institut für Photogrammetrie der TU Wien, dem Archäologischen Institut der Universität Wien, dem Museum der Stadt Wien und dem Institut für Photogrammetrie der NTU Athen für die Bereitstellung von Informationsmaterial herzlich danken.

Manuskript eingelangt: Dezember 1983

Literatur

- Badekas, J., Peppes, E., Stambouloglou, E.*, 1980: Low altitude photography. International Archives of Photogrammetry, 23 (B10): 1–20, Hamburg.
- Badekas, J.*, 1981: The integrated survey of a monument: the temple of Bassae. Presented paper, CIPA-Congress, Vienna.
- Baehr, H.-P.*, 1979: Wechselwirkung von Photogrammetrie und Fernerkundung durch Anwendung digitaler Bildverarbeitung. Wissenschaftliche Arbeiten der Fachrichtung Vermessungswesen der Universität Hannover, Nr. 97.
- Burkhardt, R.*, 1978: Projektive Transformation mit dem Taschenrechner. Bildmessung und Luftbildwesen, 46 (2): 47–52.
- Eckstein, G.*, 1982: Photogrammetrische Vermessung bei der Freilegung der römischen Badeanlage in Heidenheim. Vermessungswesen und Raumordnung, 44 (5): 238–250.
- Kager, H.*, 1980: Das interaktive Programmsystem ORIENT im Einsatz. International Archives of Photogrammetry, 23 (B5): 390–401, Hamburg.
- Kandler, M.*, 1982: Ein Tempelbezirk in der Lagerstadt von Carnuntum. Bericht des Archäologischen Instituts der Universität Wien, Ergebnisse einer Grabung in Bad Deutsch-Altenburg.
- Kreiling, W., Hasler, A.*, 1980: The Wild Aviolyt AC1/Aviotab TA2: a computer controlled photogrammetric system. Voluntary Paper, commission II, ISPRS congress, Hamburg.
- Kreiling, K.*, 1982: The software of the Aviolyt analytical plotting system. Presented Paper, ACSM/ASP Congress, Denver.
- Lubowsky, G., Waldhäusl, P.*, 1980: Ballonphotogrammetrie. International Archives of Photogrammetry, 23 (B5): 781–789, Hamburg.
- Otepka, G., Loitsch, J.*, 1976: A computer program for digitally controlled orthophoto production. Presented paper, commission II, ISPRS-Congress, Hamburg.
- Stephani, M.*, 1978: Problemstellungen und Leistungsmerkmale der Architekturphotogrammetrie, dargestellt am Beispiel der Kirche IL GESU. Proceedings of International Symposium for Photogrammetry in Architecture and conservation of monuments, XXII (1–16).
- Stewardson, P.*, 1976: The Wild Avioplan OR1 Orthophoto System. Voluntary paper, commission II, ISPRS-Congress, Hamburg.
- Vozikis, E.*, 1979: Differential rectification of oblique photographs of plane objects, Photogrammetria, 35 (4): 81–91.
- Vozikis, E.*, 1979: Die photographische Differentialumbildung gekrümmter Flächen mit Beispielen aus der Architektur bildmessung. Geowissenschaftliche Mitteilungen No. 17, Wien.
- Vozikis, E.*, 1982: Analytical Methods and Instruments for Mapping from Balloon photography. Photogrammetric record, II (61): 83–92.
- Vozikis, E., Loitsch, H.*, 1982: New improvements of the Wild OR1/SORA orthophotosystem. International Archives of Photogrammetry, 24 (II): 685–697, Ottawa.
- Wittlesey, I.*, 1970: Tethered balloons for archaeological photos. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 36 (2): 181–186.