

Photogrammetrie und die Dokumentation von Kulturdenkmälern

1979 wurde mit Unterstützung der Stiftung Volkswagenwerk mit dem Aufbau der Photogrammetrischen Abteilung beim Deutschen Bergbau-Museum begonnen. Im Rahmen des Zollern-Instituts für Grundlagenforschung zur Erhaltung von Kulturdenkmälern hat die Photogrammetrie die Aufgabe, sowohl die erhaltenen Kulturdenkmäler als auch die verfahrens- und maschinentechnischen sowie die architektonischen Zeugnisse der Entwicklung der Industrie ausreichend zu dokumentieren.

Vor allen Untersuchungen steht die systematische Bestandsaufnahme noch vorhandener Objekte, die zuerst in der Gesamtsituation erfaßt und photogrammetrisch aufgenommen werden. Darauf aufbauend ist die Schaffung wertneutralen Dokumentationsmaterials als Arbeitsgrundlage übergreifender Forschungsdisziplinen Ziel der Auswertung.

Der Beitrag schildert nach einer Einführung in das Wesen der Photogrammetrie die Arbeitsweise der Photogrammetrischen Abteilung und befaßt sich — aus aktuellem Anlaß — mit dem Bau und dem Einsatz eines Heißluftballons bei der montanarchäologischen Expedition in Oman im Frühjahr 1980 — dem ersten Einsatz eines Heißluftballons für die Luftbilddokumentation für archäologische Zwecke überhaupt.

Zur Einführung in die Photogrammetrie

Die Photogrammetrie ist ein Teilgebiet der Geodäsie und wird als „Lehre von der Ermittlung bestimmter Eigenschaften eines Objektes aus fotografischen Aufnahmen“ definiert¹. An die Stelle des Objektes tritt sein fotografisches Abbild. Fotografien, insbesondere Meßbilder, sind als „Langzeitspeicher“ Dokumente mit voller Beweiskraft für den vorgefundenen Ist-Zustand.

Gegenüber klassischen geodätischen Meßverfahren besitzt die Photogrammetrie viele Vorteile: Das Meßobjekt braucht nicht berührt oder begangen zu werden. Die mit vergleichsweise geringem Zeitaufwand erstellten Meßbilder können je nach Bedarf ausgewertet werden. Eine Wiederholung der Auswertung unter neuen Gesichtspunkten, oder wenn weitere Angaben benötigt werden, ist ohne zusätzlichen Meßaufwand möglich. Bei Verwendung spezieller Filmmaterialien und besonderer Aufnahmetechniken lassen sich sogar Informationen über nicht sichtbare Details gewinnen.

Für die Interpretation als Deutung und Beschreibung des Bildinhaltes können einzelne Fotografien ausreichen. Wird das zu beschreibende Objekt von zwei verschiedenen Standpunkten aus aufgenommen, haben die Fotografien ähnliche Eigenschaften wie die im natürlichen Sehvorgang von den Augen wahrgenommenen Bilder. Die stereoskopische Betrachtung solcher Aufnahmen bringt dann zusätzlich die wichtige Information über die Tiefengliederung.

In erster Linie beschäftigt sich die Photogrammetrie als ein Meßverfahren aus der Geodäsie jedoch mit der Vermessung der fotografischen Aufnahmen, mit der Bildmessung. Die dazu notwendigen Verfahren lassen sich allgemein in die Einbild- und in die Doppelbildmessung einteilen. Je nach Lage der Kamerastandpunkte wird dann zwischen der Erdbild- (terrestrische Photogrammetrie) und der Luftbildmessung (Aerophotogrammetrie) unterschieden.

In der terrestrischen Photogrammetrie bleibt die Einbildmessung bei der Dokumentation von Kulturdenkmälern weitestgehend auf die Darstellung ebener Fassaden und auf schnelle Herstellung anschaulicher Pläne ohne höhe-



Abb. 1: Das analytische Stereoauswertesystem Zeiss Planicom C 100

ren Genauigkeitsanspruch beschränkt. Werden zwei Fotografien desselben Objektes bei Betrachtung in photogrammetrischen Auswertegeräten zu einem Raummodell vereinigt, kann das dargestellte Objekt in allen sichtbaren Einzelheiten dreidimensional vermessen werden. Zusätzlich zu der punktwisen Ausmessung kann das Modell auch linienweise z. B. für direkte Kartierungen ausgewertet werden. Die Doppelbildmessung ist das genaueste Verfahren der Bildmessung, die bessere Wiedergabe des Objektes durch die räumliche Darstellung ermöglicht eine universelle Auswertung.

Meßkammer und Auswertegeräte

Für die stereophotogrammetrische Auswertung genügen „einfache“ Fotografien nicht mehr, es werden Meßbilder benötigt. Meßbilder können nur mit Meßkammern aufgenommen werden, die sich dadurch von fotografischen Kameras unterscheiden, daß ihre „innere Orientierung“ bekannt ist. Die Brennweite oder Kammerkonstante, die Lage des Bildhauptpunktes und Werte für die Verzeichniskorrektur sind Größen der inneren Orientierung. Diese Größen werden als Parameter eines mathematischen Modells, das die Form der für die Objektabbildung nötigen Strahlenbündel beschreibt, durch Kalibrierung bestimmt. Eine Meßkammer gewährleistet durch ihre Konstruktion eine unveränderliche innere Orientierung, die dann für alle mit ihr aufgenommenen Meßbilder gilt.

Auswertegeräte haben die Aufgabe, mit Hilfe der inneren Orientierung und der die räumliche Lage der Projektionsstrahlenbündel beschreibenden äußeren Orientierung die Bilder maßstäblich zu rekonstruieren. In herkömmlichen, analogen Auswertegeräten wird das dem Rekonstruktionssystem zugrunde liegende mathematische Formelsystem auf mechanischem Wege gelöst, was eine Be-

schränkung auf einige wenige Aufnahmeverfahren mit sich bringt. Solche „Normalfälle“ sind aber im Gegensatz zu Luftaufnahmen in der terrestrischen Photogrammetrie oft nicht einzuhalten. Die neueste Entwicklung auf dem Gebiet der Auswertegeräte ist die Verbindung einer elektronischen Rechenanlage mit einem Betrachtungs- und Meßgerät. Bei diesem analytisch arbeitenden System wird der Rekonstruktionsvorgang nicht mehr durch mechanische Lösungen begrenzt.

Arbeitsweisen und Ausrüstung der Photogrammetrischen Abteilung

Für den größten Teil der Bestandsaufnahmen stehen terrestrisch-photogrammetrische Verfahren im Vordergrund. Meßbilder und Fotografien stellen wegen ihres hohen Informationsgehaltes den Hauptteil des Denkmäler-Archivs dar. Bei der großen Anzahl der noch vorhandenen Denkmäler, insbesondere aber bei gefährdeten, gehen die Aufnahme und Archivierung vor. Kurzfristig können einige ausgesuchte Objekte für weitere interdisziplinäre Arbeiten ausgewertet werden. Eine aus der Rolle SLX entwickelte Meßkammer² steht für die in naher Zukunft anfallenden Arbeiten zur Verfügung. Zusätzlich ist der Einsatz einer großformatigen Laufbodenkamera vorgesehen.

Die Bearbeitung des in großem Umfang anfallenden Filmmaterials ist ohne ein gut ausgerüstetes Fotolabor nicht möglich. Das Fotolabor befindet sich noch im Aufbau. Hierbei wird ein besonderes Augenmerk auf die Auswahl des für die terrestrische Photogrammetrie geeignetsten Filmmaterials, die Verarbeitung der für die Dokumentation wichtigen Farbinformation³ und auf die Weiterbe-

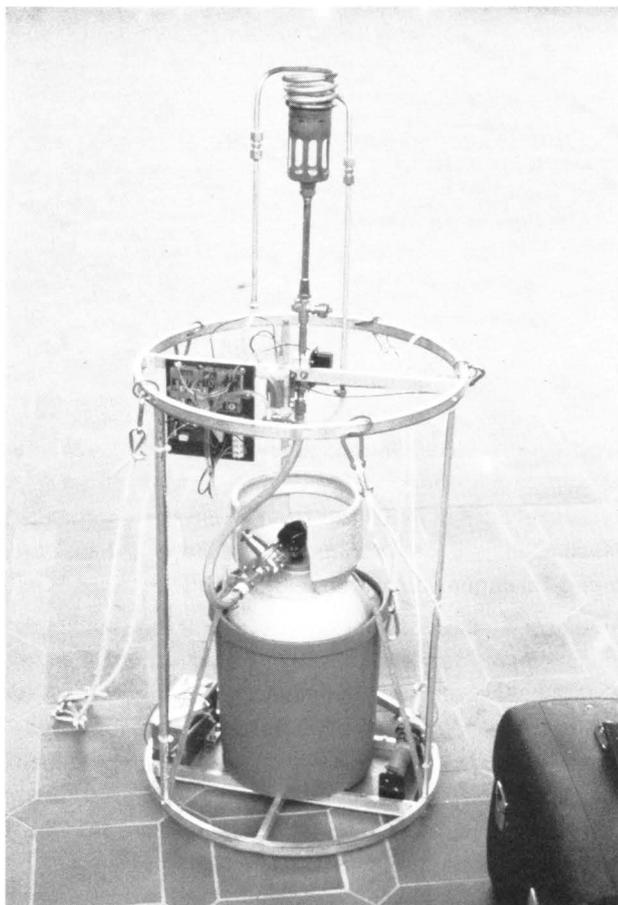
handlung der grafischen Auswertungen gelegt. Die Herstellung von Karten und Ansichten nach Entzerrungen wird ebenfalls Aufgabe des Fotolabors sein.

Für die Ermittlung von Hilfsgrößen für die photogrammetrische Auswertung (Paßpunkte u. a.) und die Herstellung von Lageplänen bleiben klassische geodätische Meßverfahren vorerst unersetzlich.

Auswertegerät Zeiss Planicom⁴

Die Auswahl des Auswertegerätes konnte aufgrund der großen Anzahl der zu lösenden Aufgaben nur auf ein rechnergestütztes analytisches Auswertesystem fallen. Die neueste Entwicklung auf diesem Gebiet stellt das Planicom C 100 der Fa. Carl Zeiss (Oberkochen) dar. Da das Gerät jetzt gerade geliefert und installiert wird, kann über eigene Auswertungen noch nichts gesagt werden. Die Abb. 1 zeigt die Anlage, wie sie in etwa auch dem Deutschen Bergbau-Museum zur Verfügung stehen wird. Im einzelnen handelt es sich um das optisch-mechanische Grundgerät in der Mitte, die elektronische Steuereinheit mit dem Rechner in den beiden Schränken und um den Zeichentisch. Für den Rechnerdialog stehen Bildschirmterminals und für die Ausgabe der Ergebnisse ein Drucker zur Verfügung.

Abb. 2: Der Ballonkorb



Das Grundgerät dient zur Betrachtung und Messung der auszuwertenden Bilder. Mit zwei Handrädern und einer Fußscheibe wird die Meßmarke im stereoskopischen Modell bewegt. Drehimpulsgeber teilen dem Rechner über die Steuereinheit die Bewegung der Meßmarke mit.

Etwa 75 Anwendungsprogramme ermöglichen jetzt je nach Aufgabenstellung die weitere Auswertung: Das Zeichnen von Modelllinien, Gittern, Zahlen, Texten, Punktgruppen und Symbolen ist weitestgehend automatisiert. Gitter-, Profil- und Punktmeßprogramme schaffen ein digitales Modell des Aufnahmeobjektes. Weitere Programme für die Bestimmung und statistische Prüfung geometrischer Größen wie Längen, Winkel, Flächen und Volumina sowie für die Lösung ingenieurgeodätischer Probleme unterstreichen die universelle Anwendbarkeit des Planicom. Aufgrund der ausbaufähigen Speichermöglichkeiten ist die Schaffung einer „Modellbank“, in der alle ausgewerteten Objekte gespeichert werden können, vorgesehen.

Die Installation eigener Programme ist ohne weiteres möglich. Eine der Hauptaufgaben wird daher die auf das spezielle Aufgabengebiet des Zollern-Instituts zugeschnittene Formulierung von Programmen zur Bewältigung von Massenaufgaben in der terrestrischen Photogrammetrie sein.

Die Kombination des Meßkammersystemes Rolleiflex SLX und der vorgesehene Einsatz großformatiger Nichtmeßkammern mit dem analytischen Auswertesystem Planicom bieten die technischen Voraussetzungen, die photogrammetrischen Arbeiten für die Bestandsaufnahme von Kulturdenkmälern weitestgehend unabhängig von Beschaffenheit und Größe des Objektes sowie von Aufnahmeanordnungen zu lösen⁴.

Luftaufnahmen

Der Einsatz von Luftaufnahmen in der Nahbereichsphotogrammetrie scheiterte bisher an der vergleichsweise Kleinheit der Objekte und an der damit verbundenen Unwirtschaftlichkeit des Einsatzes von Meßflugzeugen oder Hubschraubern.

Für die Aufnahme von Grundrissen und Dachaufbauten in der Denkmalsdokumentation sowie für die Erkennung und Erfassung archäologischer Bodendenkmäler stellen Luftaufnahmen oft die einzige Möglichkeit dar. Ganz besonders aber zeigten die ab 1977 im Sultanat Oman durchgeführten archäometallurgischen Forschungen, daß auf Luftaufnahmen im Rahmen von archäometrischen Untersuchungen wegen des besonderen Informationsgehalts nicht mehr verzichtet werden sollte. Daraus ergab sich für die Oman-Expedition 1980 der Wunsch nach einem im Grabungsbereich jederzeit zur Verfügung stehenden Kameraträger. Als Kameraträger bieten sich Modellflugkörper und Fesselballons an. Aufnahmeverfahren mit ferngelenkten Modellflugkörpern werden zur

Zeit entwickelt; Versuche haben die Eignung von Modellhubschraubern und Modellflugzeugen für dieses Einsatzgebiet bewiesen⁵. Da diese Verfahren noch nicht „serienreif“ sind, wurden die Anwendungsmöglichkeiten von Fesselballons weiter untersucht.

Die Ballonphotogrammetrie gehört zu den Anfängen der Aerophotogrammetrie⁶, wurde aber durch die Entwicklung von Flugzeugen und Hubschraubern verdrängt. Erst in neuerer Zeit wurde die Idee der Ballonphotogrammetrie wiederaufgegriffen. Es wurde dabei auf aerodynamische, mit Wasserstoff bzw. Helium gefüllte Ballons zurückgegriffen, die mit Hilfe der Windströmung vom Boden aus gelenkt werden können. Solche Ballons sind schon für archäologische Projekte erfolgreich eingesetzt worden⁷. Für den Einsatz in Oman kam ein Gasballon nicht in Frage, da dort geeignete Füllgase nicht erhältlich sind, was übrigens auch für die meisten Länder im Vorderen Orient gilt.

Um auf die Vorteile eines Ballons als Kameraträger nicht zu verzichten, wurde im September 1979 mit der Konstruktion eines Heißluftfesselballons begonnen.

Konstruktion des Heißluftballons

Für die Anfangsphase erwies es sich als erschwerend, daß Informationen über den Bau von Heißluftballons kurzfristig nicht zu bekommen waren. Um Aufschluß über die Technologie zu erhalten, wurde zuerst eine ca. 2,50 m hohe Ballonhülle mit einem Durchmesser von 2,00 m gebaut. Dieser „Probeballon“ wurde aus Zeichenfoliensegmenten entworfen und mit cyanacrylathaltigen Klebern zusammengeklebt. Die Versuche ergaben wichtige Anhaltspunkte über die Tragkraft und die Konstruktionselemente des Ballons, der als Kameraträger eingesetzt werden sollte.

Das im Versuch verwendete Folienmaterial hat sich nicht bewährt. Die Verwendung von Klebern für das Zusammenfügen von Hüllenteilen war ebenfalls problematisch. Deshalb fiel die Wahl für den Ballonhüllstoff auf eine Synthetikseide, ähnlich wie sie für Spinnakersegel verwendet wird. Die Hülle wurde aus 14 Segmenten zusammengenäht und umschließt bei einer Oberfläche von ca. 170 m² ein Volumen von ca. 200 m³. Der größte Durchmesser liegt bei 6,90 m, die Höhe beträgt 9,60 m. Die Hülle ist an einem Aluminiumring mit einem Durchmesser von 1,50 m befestigt. An den Ring wird mit fünf Seilen der Ballonkorb mit Gasanlage und Kameraausrüstung gehängt. Diese Aufhängung wurde gewählt, da so auch bei nicht horizontal stehendem Ballonring der Korb lotrecht hängen bleibt. Wenn auch nur in einem begrenzten Bereich, so ist diese Aufhängung für Senkrechtaufnahmen von Vorteil (Abb. 2).

Eine Wärmebedarfsberechnung für eine Tragfähigkeit von 70 kg — darin sind 25 kg Nutzlast enthalten — ergab einen Wert von 120 000 kcal/h, der einer Gasmenge von 9,5 kg Propan entspricht. Die Gasanlage besteht aus ei-

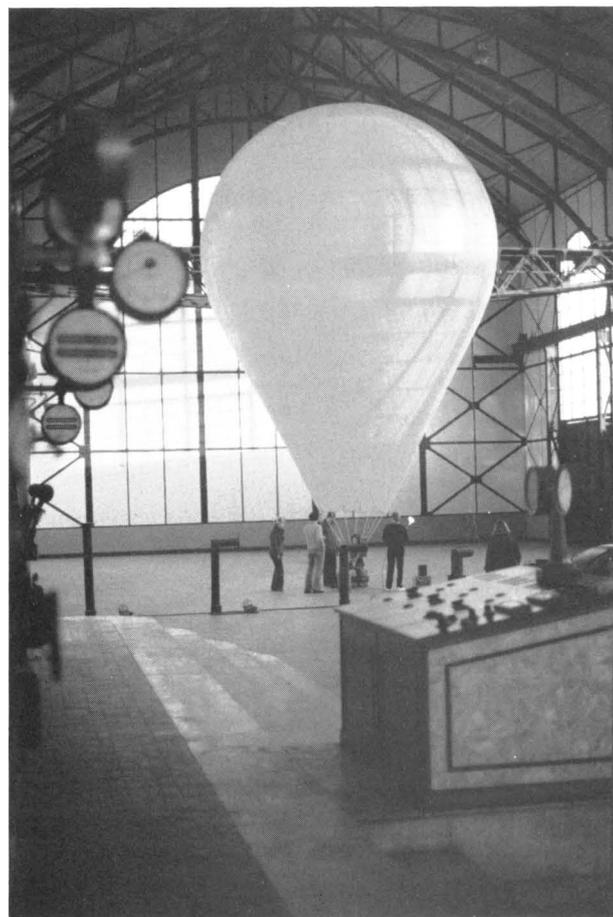


Abb. 3: Der erste Start in der Maschinenhalle Zollern II

nem Industriebrenner mit einem theoretischen Gasverbrauch von 10,5 kg/h, der über ein Regelventil aus einer 6 kg-Aluminiumflasche versorgt wird. Um ein Vereisen zu verhindern, steht die Gasflasche in einem Wasserbad, das über eine auf den Brenner aufgeschweißte Heizspirale erwärmt wird. Die Umwälzgeschwindigkeit wird über eine kleine Elektropumpe so geregelt, daß die Wassertemperatur zwischen 30°—40° C bleibt. Die Steuerung des Regelventils, der Wasserpumpe sowie das Auslösen der Kamera erfolgt mit Hilfe einer Funksteuerungsanlage aus dem Modellbau. Erste, sofort erfolgreiche Startversuche wurden im Dezember 1979 in der ehemaligen Maschinenhalle der Schachtanlage Zollern II in Dortmund-Bövinghausen durchgeführt (Abb. 3).

An dieser Stelle sei allen Beteiligten für ihren selbstlosen Einsatz Dank gesagt. Insbesondere seien hier erwähnt Herr Gerd Weißbeck vom Landesoberbergamt Dortmund für die maßgebliche Mitarbeit an der gesamten Entwicklung, das Ingenieurbüro für Wärme- und Klimatechnik (Düsseldorf) unter der Leitung von Jost Altvater für die Wärmebedarfsberechnungen sowie die Firmen Gerhard Beißert (Bochum) und Westfa (Hagen) für gastechische Informationen⁸.

Der Einsatz in Oman

Der Einsatz des Heißluftfesselballons bei der montanarchäologischen Expedition im Sultanat Oman mußte durch den Minister für Verkehr, durch das Verteidigungsministerium und durch die Polizei- und Luftfahrtbehörden genehmigt werden. In der Zeit vom 20. 2. bis zum 20. 3. 1980 konnte der Ballon im Grabungsgebiet eingesetzt werden.



Abb. 4: Einsatz im Grabungsgebiet Maysar-1.

Da noch keine in der Praxis erworbenen Erfahrungen über die Handhabung dieses Ballons vorlagen, wurden die ersten Starts als Tests für das gesamte System durchgeführt. Außerdem sollten Kenntnisse über Navigationsverfahren gewonnen werden. Schwierigkeiten, die in der minderen Qualität des Heizgases begründet waren, konnten durch Manipulationen am Brennersystem und

durch Gewichtseinsparung beseitigt werden. Als Navigationshilfe haben sich zwei gegenüberliegende, am Ballonring befestigte Seile als ausreichend erwiesen.

Der Ballon wurde mit einem Seil über das Aufnahmegebiet gezogen. Das zweite Seil diente der Stabilisierung und der Richtungskontrolle. Ein Schnurlot gab den von der Objektgröße abhängigen Aufnahmeabstand an. Nach einiger Übung war es durch die regelbare Beheizung der Hülle einfach, den Ballon in einer bestimmten Höhe im Gleichgewicht zu halten.

Da genügend Nutzlast zur Verfügung stand, wurden neben der Rollei-Meßkammer (mit 40 mm-Distagon-Objektiv) eine Kleinbildkamera (mit 18 mm-Objektiv), und um Informationen über die Ballonbewegungen zu erhalten, eine Filmkamera eingesetzt. Als Aufnahmematerial dienten in der Anfangsphase Schwarzweiß-Filme mittlerer Empfindlichkeit, später nur noch Diapositivfilme, die mit 1/125 s belichtet wurden.

Im Grabungsgebiet konnte der Ballon für folgende Aufnahmen eingesetzt werden (Abb. 4, 5):

- Maysar—25: eine Burg, die vor der Ausgrabung dokumentiert wurde
- Maysar— 3: ein Gräberfeld auf einer Pedimentterrasse
- Maysar— 9: ein Flachgräberfeld (Die tatsächliche Dichte und die Anzahl der Gräber wurden erst durch die Ballonaufnahmen offenbar, denn die meisten der Gräber gaben sich nur durch Unregelmäßigkeiten in der Erdoberfläche zu erkennen)
- Maysar— 1: ein Gebiet mit Siedlungsresten nördlich der Ausgrabung
- Maysar— 2: eine Kupfergrube
- Maysar— 1: das Grabungsgebiet

Aus den Aufnahmeserien konnten Meßbildpaare ausgewählt werden. Über die Auswertung wird nach Abschluß der Arbeiten berichtet werden.

Der Einsatz in Oman hat Vor- und Nachteile des Ballons aufgezeigt. Als Nachteile können aufgeführt werden, daß das aufzunehmende Objekt wegen der Navigation von allen Seiten begehbar sein muß, und daß aufgrund des relativ geringen Hülleninnendruckes der Ballon nur bei geringem Wind eingesetzt werden kann. Als Vorteil hat sich die einfache Bedienbarkeit des Ballons herausgestellt, dessen technische Ausrüstung — einmal abgesehen von den verwendeten Kameras — nur ein Minimum an Wartungsarbeiten erforderte. Über eine Weiterentwicklung der Gasanlage im Hinblick auf die Verwendung von Heizgas minderer Qualität wird zur Zeit nachgedacht.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß mit dem Heißluftballon ein robuster Kameraträger für Luftaufnahmen zur Verfügung steht, der vor allem für den Einsatz in abgelegenen Grabungsgebieten geeignet ist.



Abb. 5: Meßbild von der Ausgrabung Maysar-1, aufgenommen mit Rollei SLX und 40-mm-Distagon. Der Abstand zweier Reseaukreuze entspricht etwa 16 m

ANMERKUNGEN

1. Vgl. Jordan/Eggert/Kneissl: Handbuch der Vermessungskunde, 10. Ausg., Bd. 3a/1, Stuttgart 1972, S. 1.
2. Dazu vgl. Wester-Ebbinghaus, W.: Fernlenkflug mit Modellhubschrauber. Paper XIV. Kongreß der Internationalen Gesellschaft für Photogrammetrie, Hamburg 1980.
3. Dazu vgl. ders.: Architekturvermessung mit großformatigen, farbigen Nicht-Meßbildern, in: Marburger Jb., 1980 (im Druck) sowie Hardegen, L.: Praktische Erfahrungen mit Farb- und Infrarotaufnahmen in der Nahbereichsphotogrammetrie, Bonn 1976 (= Landeskonservator Rheinland. Arbeitsh. 17).
4. Vgl. Wester-Ebbinghaus, W.: Verfahren für die Architekturphotogrammetrie. Paper XIV. Kongreß der Internationalen Gesellschaft für Photogrammetrie, Hamburg 1980.
5. Vgl. Przybilla, H.-D./Wester-Ebbinghaus, W.: Bildflug mit ferngelenktem Kleinflugzeug, in: Bildmessung und Luftbildwesen, 47, 1979, S. 137—142; Wester-Ebbinghaus, W.: Aerial Photography by Radio Controlled Modelhelicopter, in: Photogrammetric Record, 10 (55), 1980, S. 85—92; Summers/Green/Martin: A Miniature Rotary-Wing RPV, Atlantic Research Corporation and US Navy.

6. Vgl. Finsterwalder, S.: Photogrammetrische Aufnahmen von Höhenkarten von Luftballonen aus, in: Illustrierte Aeronautische Mitteilungen, 4. Straßburg 1900.

7. Vgl. Lubowski, G./Waldhäusel, P.: Ballonphotogrammetrie, in: Österr. Zs. f. Vermessungswesen, 68, 1980 (im Druck); Whittlesey, J.: Tethered Balloon for Archaeological Photos, in: Photogrammetric Engineering, 36, 1970, S. 181—186.

8. Gedankt sei ferner Angelika Weisgerber und Barbara Heckes für das Nähen der Ballonhülle sowie Günter Bolesta, Karl Kendzia, Willi Schober und Heinz Schumann für die regeltechnischen und feinmechanischen Arbeiten in den Werkstätten des Deutschen Bergbau-Museums. Herrn Mohammed Ahmed Bakhait Al-Shanfari, Director General of Civil Aviation, The Ministry of Communications, dem Director Civil-Co-ordination des Ministry of Defence, dem Inspector General of Police and Customs, Royal Oman Police HQ, und dem Project Director-Oman, Pan Am, wird für die Startgenehmigung für den Heißluftballon gedankt. Desgleichen bin ich Herrn Direktor Ali Al-Shanfari und Herrn Dr. Paolo Costa, beide Department of Antiquities des Ministry of National Heritage and Culture, für die Unterstützung zur Erlangung der Startgenehmigung zu Dank verpflichtet.