

von G. Lubowski und P. Waldhäusl, Wien

1. Begründung für die Ballonphotogrammetrie heute.

Ballonphotogrammetrie ist nichts Neues, im Gegenteil, sie gehört zu den Anfängen der Aerophotogrammetrie /1/,/2/. In den Jahren nach dem Aufkommen der Flugzeuge ist sie mit Recht in Vergessenheit geraten. Die Flugzeugphotogrammetrie hat der Ballonphotogrammetrie völlig den Rang abgelaufen. Und wo die Flugzeuge zu große Bewegungsunschärfen verursachen bzw. zu kleine Bildmaßstäbe liefern, gibt es - allerdings nicht in Österreich - die Hubschrauberphotogrammetrie. Was spricht nun heute noch für die Ballonphotogrammetrie?

- 1.) Für Luftaufnahmen benötigt man in aller Welt Genehmigungsverfahren, die umständlich sind und Zeit beanspruchen. Für das Steigenlassen eines Fesselballons braucht man in Österreich bis zu einer Flughöhe von 100 m keinerlei Bewilligung. Es gibt Länder oder Gebiete, wo man für Luftaufnahmen überhaupt keine Bewilligung bekommen kann, während man für die großmaßstäblichen, nahphotogrammetrischen Fesselballonaufnahmen keine benötigt.
- 2.) Luftmeßbilder sind teuer. Ist das Interessengebiet für die Aufnahmen sehr klein und eine gute Amateurbildaufnahme statt einer Meßbildaufnahme vertretbar, erscheint der große Aufwand für Flugzeuge, deren Besatzung, deren teure Kameraausrüstung unter Umständen nicht gerechtfertigt.
- 3.) Für die Aufnahme archäologischer Grabungsphasen über kleinen Gebieten ($5 \times 5 \text{ m}^2$ bis $100 \times 100 \text{ m}^2$) ist die Ballonphotogrammetrie ideal, weil sie im Wirkungsbereich des Grabungsleiters angeordnet und bei nächster Windstille durchgeführt werden kann.
- 4.) Weitere kleinphotogrammetrische Aufgaben, wie Schotter- oder Sandgrubenvermessung, Korallenriffaufnahmen /3/, Orthophotoherstellung für größtmaßstäbliche, bodenkundliche Detailaufnahmen kleinster Gebiete sind mit Ballonphotogrammetrie ohne weiteres lösbar.
- 5.) Heute haben wir andere Möglichkeiten bei der Verwirklichung der Ballonphotogrammetrie, als weiland Sebastian Finsterwalder /1/ oder Theodor Scheimpflug /2/ um die Jahrhundertwende. Wir haben Kameras mit

automatischem Filmtransport und automatischer Blendensteuerung, wir haben Funkfernsteuerungen und qualifizierte Auswertemethoden. Mit der inzwischen einsatzbereiten Generation analytischer Auswertegeräte ist die Auswertung von Aufnahmen mit Nicht-Meßkammern erleichtert.

- 6.) Die Luftbildmessung von bemannten Flächenflugzeugen aus ist wegen der hohen Fluggeschwindigkeiten auf die Bildmaßstäbe kleiner als 1:2 000 beschränkt. Von einer Feuerwehroleiter aus 25 m über Grund mit einer Stereomeßkammer (z.B. WILD C 120) Senkrechtaufnahmen herzustellen, ist auch nicht einfach und ergibt Bildmaßstäbe nur größer als 1:400. Die Ballonphotogrammetrie ist gerade in diesen Maßstabsbereichen einfach zu verwirklichen und kann die Bildmaßstabslücke zwischen Luftbildmessung und bodengebundenen Senkrechtaufnahmen gut überbrücken.
- 7.) Auch in anderen Ländern wurde dies erkannt. So sind z.B. in Großbritannien /3/, in den USA /4-8/, in Japan /9/ und Griechenland /10/ in letzter Zeit ballonphotogrammetrische Aufnahmesysteme entwickelt, erprobt und eingesetzt worden.

Das Institut für Photogrammetrie der technischen Universität Wien, hat sich vor 5 Jahren die Aufgabe gestellt, einen Fesselballon mit Aufnahmesystem für jene Aufgaben bereitzustellen, für die die Ballonphotogrammetrie vernünftig und sowohl wirtschaftlich als auch technisch zielführend ist.

2. Die technischen Probleme bei der Ballonphotogrammetrie.

Es klingt so einfach: Man kaufe einen Fesselballon und hänge daran eine Kamera, die man funkferngesteuert bedient. Wie groß muß man den Ballon wählen, damit er hinreichend tragfähig ist; was heißt hinreichend? Wie schwer ist die Kamera? Wie schwer sind die Leinen; welche Reißfestigkeit müssen sie haben? Wie "navigiert" man einen Fesselballon über den Aufnahmeort? Wie kontrolliert man seine Flughöhe? Bis zu welcher Windgeschwindigkeit kann man arbeiten? Wie stellt man die Bildseiten parallel zur Streifenachse? Wie orientiert man die Aufnahmerichtung zum Nadir?

Die Aufzählung dieser Fragen genügt, um zu erkennen, daß es sich um eine ganze Reihe von miteinander verknüpften Problemen handelt. Bei der nun folgenden Beschreibung des 1977/78 realisierten Systems wird auf die genannten Fragen besonders eingegangen werden.

3. Beschreibung des Fesselballons

Wir verwenden einen französischen Fesselballon der Firma Delacoste, Typ B.C.V. D4, mit $15,3 \text{ m}^3$ Rauminhalt. Er besteht aus einer dauerhaften Perlongewebehülle in Signalorange und aus einer Gummiseele, die nur 1-3 Einsätze hält. Mit Wasserstoff gefüllt hat er einen Auftrieb von 83 N. ⁺⁾ Das ist hinreichend, um das 51 N schwere Kamerasystem und das Gewicht der 4 Positionsleinen von ca. 12 N pro 100 m Steighöhe zu tragen. Der Ballon hat die Gestalt einer plump-dicken Zigarre. Heckseitig befinden sich 4 Stabilisierungsflossen. Dadurch stellt sich der Ballon stets gegen den Wind und erhält wie ein Drachen zusätzlichen Auftrieb. Er bleibt auch einigermaßen ruhig in dieser Lage, wenn man das Seilverspannungssystem neu organisiert (Abb. 1).

+) Der neuen Norm entsprechend geben wir alle Kräfte und "Gewichte" in Newton (N) an.

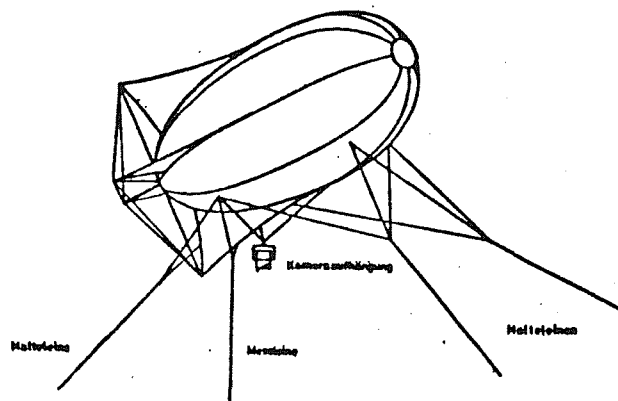


Abb.1: Der Ballon und das Seilverspannungssystem.
Drei Halteseile bilden eine etwa gleichseitige Pyramide, die vierte Leine (Meßleine) hängt lotrecht.

Die drei Halteseile bilden eine etwa gleichseitige Pyramide. Drei etwa 200 N schwere und zerlegbare Seilwinden aus Autofelgen dienen der Ballonsteuerung. Sie sind feststellbar. An jeder Winde muß ein Mann, idealerweise mit Sprechfunk ausgerüstet, nach dem Kommando des Einsatzleiters arbeiten. Das vierte, mit einer farbkodierten Meterteilung versehene Seil, welches auch weggelassen werden kann, hängt lotrecht über einem etwa 100 N schweren Lotstein und stabilisiert die Flughöhe über Grund.

Als Fesselleinen verwenden wir Teufelberger-Perlonleinen HA 25, 26 mN/m schwer. Die Bruchlast beträgt 1010 N. Damit die Befestigungsknoten die Bruchlast nicht auf 50 % reduzieren, wurden die Enden mit Kunstharzkleber an Kauschen befestigt. Dadurch konnte eine Einsatzbruchlast von 800 N erzielt werden, was notfalls bis zu Windstärken von 15 m/s ausreichend sein müßte.

4. Kamera und Kameragehäuse

Das Institut für Photogrammetrie verfügt über eine Hasselblad 500 EL/M mit Kassetten für 70 Aufnahmen 55 x 55 mm. Diese Kamera hat bereits

elektromotorischen Antrieb, es mußte lediglich noch die Auslösung des Aufnahmezyklus über einen Servomotor vorgesehen werden. Als Objektiv haben wir das Distagon, ein Weitwinkel mit $f = 50$ mm, eingebaut. Für besondere Präzisionsaufgaben wäre auch das (bei uns nicht vorhandene aber erhältliche) verzeichnungsfreie Biogon $f = 60$ mm, das weltraumbewährte Zeiss-Meßobjektiv mit der Reseau-Version der Hasselblad, ohne Änderung der Aufhängung einmontierbar. Für den Einbau ebenso geeignet wäre die Hasselblad SLX mit Belichtungsautomatik (Blendensteuerung!).

Die Kamera wurde in einen quaderförmigen Kasten eingebaut. Er besteht aus einem Styroporkern, der an der Außenseite mit Sperrholz beplankt ist. An der Außenseite dieses Kastens befindet sich eine Zieleinrichtung, die durch einen weiteren Servomotor geschwenkt werden kann. (Abb. 2).

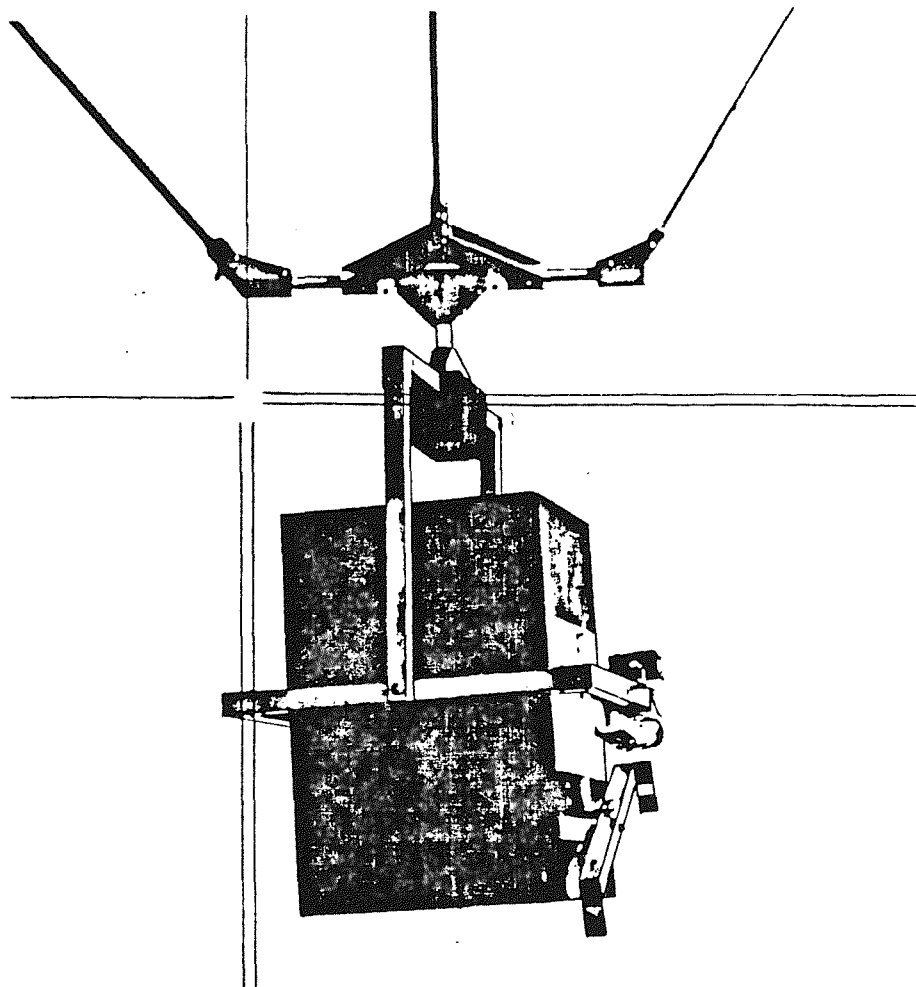


Abb.2: Der Kamerakasten mit seiner drei-achsigen Aufhängung, durch ein Fernrohr gesehen. Rechts ist die Zieleinrichtung (Schwenkarm) für die ϕ -Steuerung sichtbar.

5. Die Steuervorrichtungen

Der Kamerakasten ist kardanisch in einem Aluminiumrahmen gelagert. Die drei Drehachsen gehen durch den Schwerpunkt, damit ein leichtes und exaktes Schwenken um Längs- und Querachse (ω und ϕ) mit Hilfe von Servomotoren möglich ist. Um die Hochachse (κ) der Aufhängung kann die Kamera endlos mit einem Hochleistungsselektromotor Micro T 03/15 (mit Silberkollektor und Golddrahtbürsten) gedreht werden. Dieser Motor ist nur 15:1 untersetzt, was zu wenig gewesen wäre. Ein Zusatzgetriebe 1 000:1 bewirkt nun ein sehr langsames Drehen (2 U/Min.). Der Motor wurde besonders sorgfältig entstört, damit die Fernsteuerung einwandfrei funktioniert. Für die Funkfernsteuerung wurde ein älteres Proportional-Digital-System "digitron-Multiplex" adaptiert. Es verfügt über 6 Proportionalkanäle und hat 500 mW Ausgangsleistung. Es ist amplitudenmoduliert mit einer Trägerfrequenz von 27 MHz.

Dem Ausrichtprozeß liegt folgende Idee zugrunde: Der Ballon wird aus einer Entfernung von etwa dem Dreifachen der Flughöhe über Grund aus der Richtung der "Flugachse" durch einen Theodolit mit möglichst großem Gesichtsfeld beobachtet. Mit Hilfe des κ -Motors wird die Aufhängung solange gedreht, bis die Quaderseite mit der erwähnten schwenkbaren Zielvorrichtung projizierend erscheint. (Abb. 3).

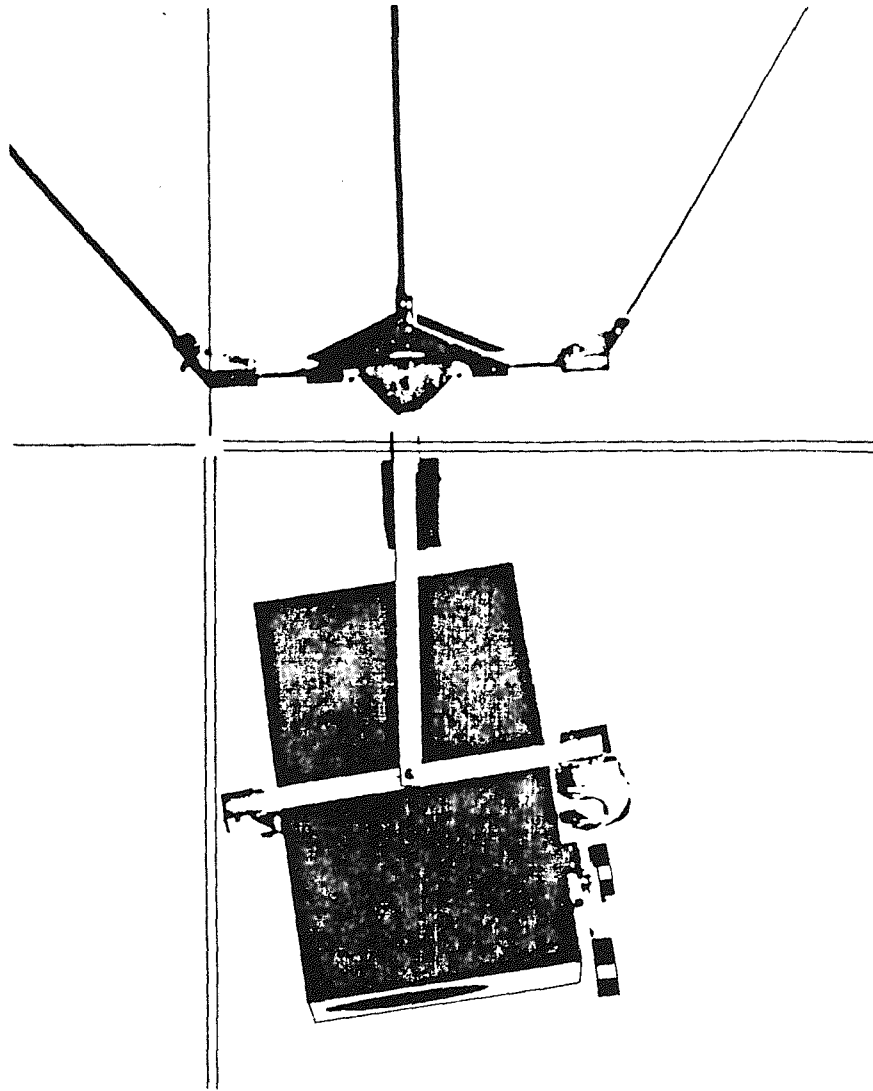


Abb.3: Die Kamera wurde um die κ -Achse gedreht. Die beiden Seitenwände erscheinen projizierend.

Mit Hilfe der Proportionalsteuerung kann außerdem die Querneigung ω neben dem Fadenkreuz direkt kontrolliert und eingestellt werden. (Abb. 4).

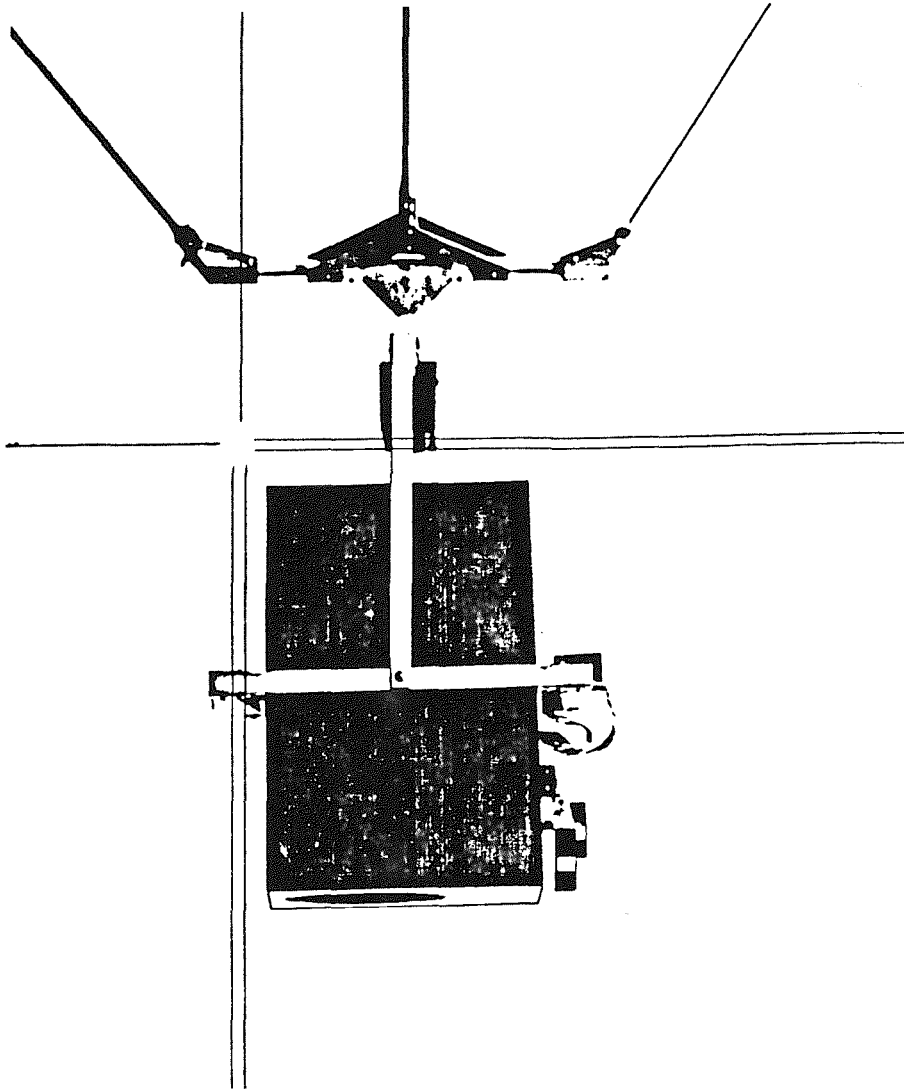


Abb.4: Die Kamera wurde quergeneigt. Die Seitenwände sind nun parallel zu den Fadenkreuzrichtungen.

Die dritte Raumdrehung, ϕ , kann vom Theodolit aus nicht ohne weiteres beobachtet werden. Dazu ist nun dieser seitliche Schwenkarm nötig. Mit Hilfe des eingebauten Steuerservos wird die am Theodolit beobachtbare Zenitdistanz auf den Schwenkarm übertragen (Abb.6) und die ganze Kamera dann solange um die ϕ -Achse gedreht, bis die zwei Zielmarken am Schwenkarm wie Kimme und Korn im Fernrohr hintereinander erscheinen (Abb.5). Wenn nun die Kamera ruhig hängt, kann ausgelöst werden.

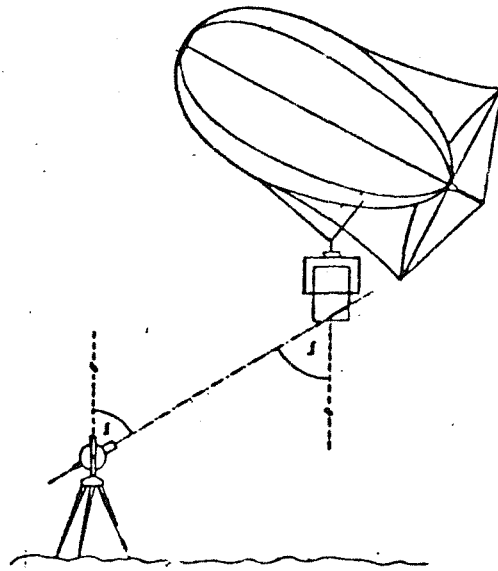


Abb. 6: Das Prinzip der Zenitdistanzübertragung. Die mit dem Theodolit beobachtete Zenitdistanz wird ferngesteuert auch an der Zielvorrichtung eingestellt.

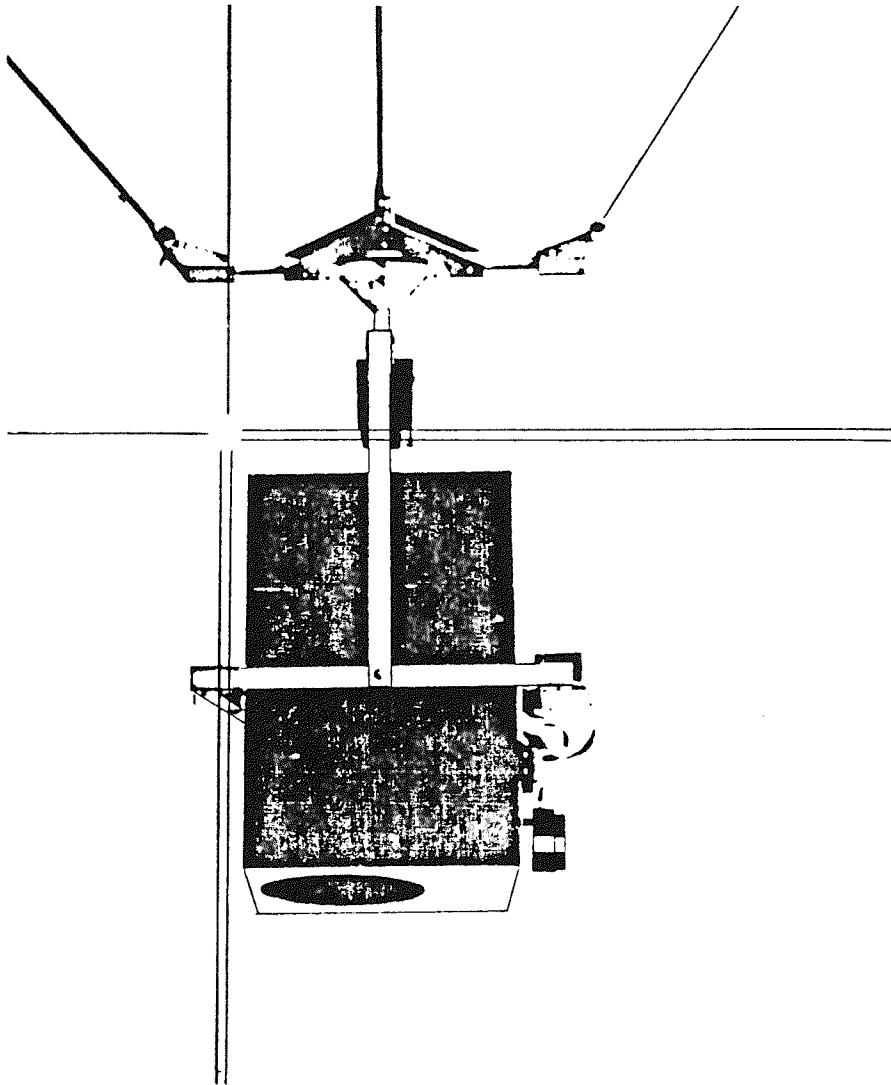


Abb.5: Die Kamera wurde auch längs geneigt. Kante und Korn des Schwenkarmes sind in Koinkidenz.

Wir haben bisher nichts über die Steuerung der Flughöhe sowie über die der Aufnahmeposition erwähnt. Als zweckmäßiges Hilfsmittel für die Positionssteuerung haben wir ein Dachlot WILD eingesetzt. Solange wir noch keine vierte Leine verwendet haben, mußte die Flughöhe über die Entfernung Fußpunkt-Theodolit oder die Schrägentfernung Ballon-Theodolit (Eumig-Distanzmessung) und über die beobachtbaren Zenitdistanzen gerechnet und gesteuert werden. Dieser Prozeß war so schwerfällig, daß wir heute entweder nur mit auf 5 % genäherten Flughöhen oder besser mit der vierten Leine arbeiten, die die Flughöhe fixiert und auch die Fluglage durch Vergleich mit Schnurloten kontrollieren läßt.

6. Praktische Einsätze des Systems

Wir haben mit dem Ballon bis Ende 1979 fünf Einsätze geflogen, davon waren drei für das Archäologische Institut der Universität Wien. Von einem Rundtheater auf dem Pfaffenberg bei Deutsch-Altenburg, wo W. Jobst im Rahmen einer Notgrabung das Kapitol von Carnuntum ausgräbt, erhielten wir hervorragend scharfe Detailaufnahmen (Abb.7). Störend war während der Aufnahme lediglich der auf dem Pfaffenberg stets stark wehende Wind. Andere Aufnahmen stellten wir von der Palastruine (Abb.8) sowie vom Legionslager in Carnuntum her.

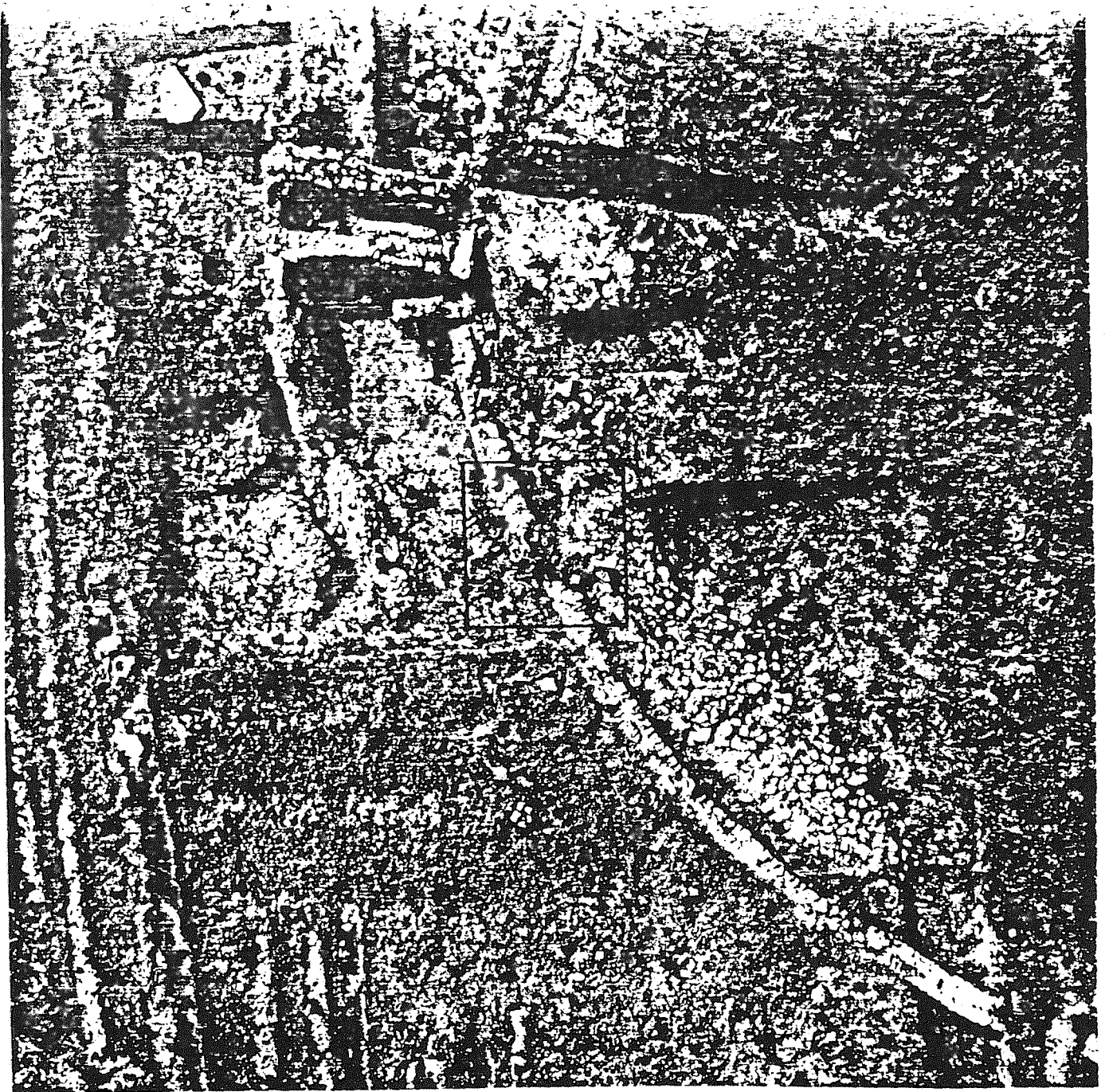


Abb.7: Ballonaufnahme archäologischer Ausgrabungen auf dem Pfaffenberg aus 20 m Flughöhe. Das im Zentrum eingetragene Quadrat gibt den Nadirdistanzbereich für ϕ bzw. ω von 5 gon an. Das mittlere der neun abgebildeten Paßpunktsignale liegt innerhalb dieses Quadrates, womit die Aufnahmen auch analog ausgewertet werden können.

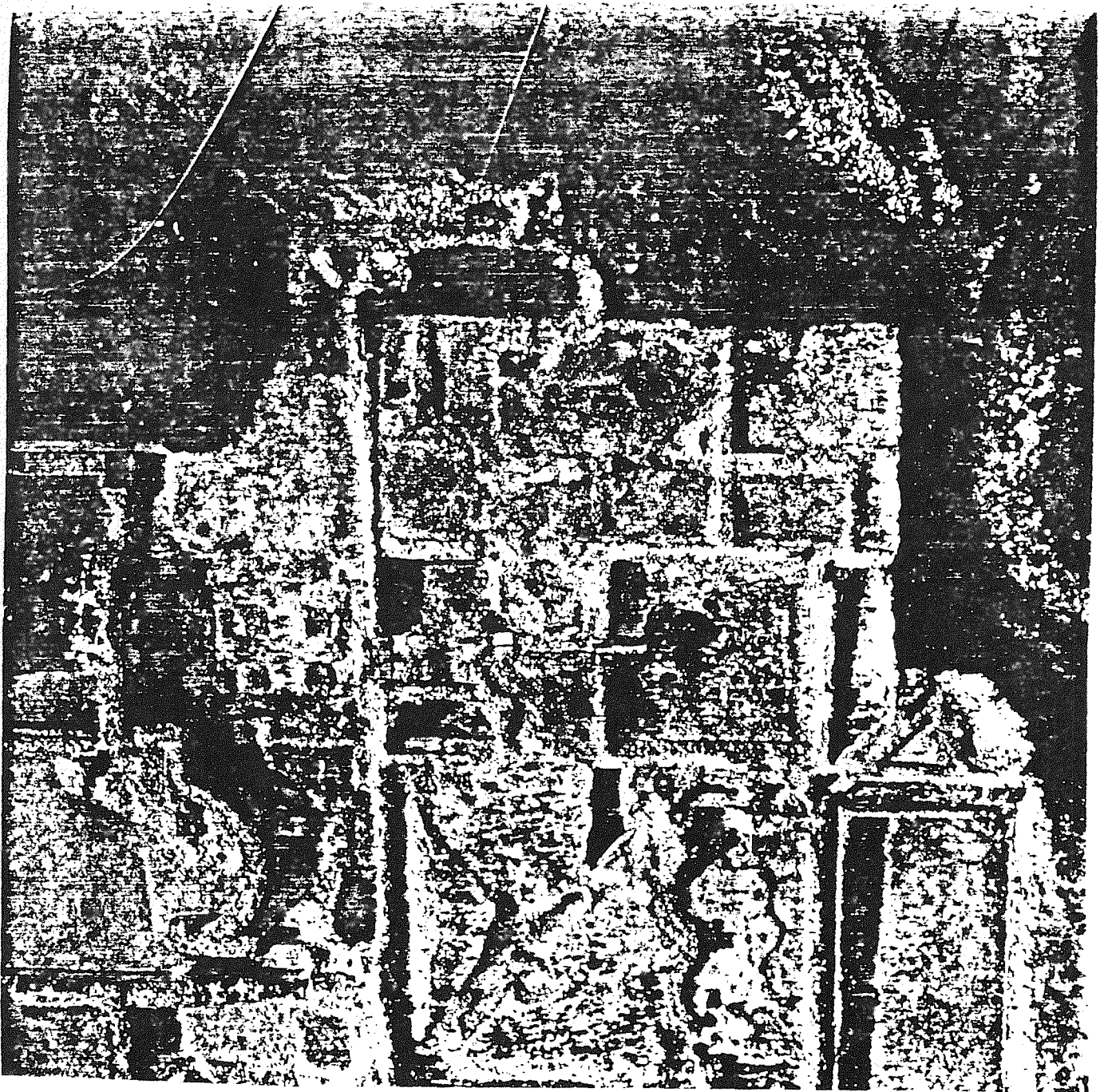


Abb. 8: Ballonaufnahme von der Palastruine in Carnuntum aus 80 m Flughöhe.

Für die Aufnahme weniger Modelle ist ohne weiteres ein halber Arbeitstag ausreichend. Die Vorbereitungen und der Start nehmen 1 Stunde in Anspruch. An Personal werden 4 - 6 Mann benötigt. Für ein eingespieltes Team genügen 20 Minuten pro Aufnahme. Für das Einziehen und Verpacken der Gesamtausrüstung soll man wieder etwa 1 Stunde rechnen. Oft stehen insbesondere für wissenschaftliche Arbeiten Studenten als Hilfsmannschaft zur Verfügung, sodaß die relativ hohen Personalkosten nicht mehr so stark ins Gewicht fallen. Die Materialkosten für einen Start sind auf die für die 3 Flaschen Wasserstoff und eventuell eine Ballonseele beschränkt.

Wir haben unseren Gesamtaufwand mit jenem für die Aufnahme und Auswertung von Großformatluftmeßbildern verglichen. Aus diesem Vergleich folgt, wie vorauszusehen war, daß sich die Ballonphotogrammetrie nur dann lohnt, wenn das Aufnahmegebiet sehr klein ist und nur sehr wenige Modelle auszuwerten sind. Vom wirtschaftlichen und arbeitstechnischen Standpunkt aus wäre die Hubschrauberphotogrammetrie vorzuziehen, aber auch nur dann, wenn sie mit Großformatluftmeßbildkammern durchgeführt wird. Ausschlaggebend für die relative Unwirtschaftlichkeit des Hasselblad-Ballonphotogrammetrie-Verfahrens ist nicht nur der große Personalaufwand bei der Aufnahme und die Windabhängigkeit, sondern vor allem die Kleinheit des Bildformates und die damit zusammenhängenden großen Kosten bei der Auswertung der vielen Aufnahmen für ein größeres Gebiet. Für Einzelaufnahmen oder für die Aufnahme ganz kleiner Gebiete bleibt die Ballonphotogrammetrie jedoch eine echte Alternative.

7. Die Auswerteverfahren

Für die Auswertung muß man unterscheiden, ob linienhaftes Detail graphisch ausgewertet werden soll oder ob eine punktweise numerische Auswertung ausreicht. Im ersten Fall empfiehlt sich eine Auswertung in drei Arbeitsschritten, im anderen Fall genügen die ersten beiden dieser Schritte.

Der erste Schritt umfaßt - eine gute Vorbereitung ist in der Photogrammetrie selbstverständlich - die Bildkoordinatenmessung am Stereokomparator. Gemessen werden die Bildecken als Rahmenmarken, die Paßpunkte und die erforderlichen Verknüpfungspunkte zu Nachbarmodellen sowie andere gewünschte Einzelpunkte.

Beim zweiten Schritt werden die Elemente der inneren und äußeren Orientierung und alle unbekanntene Neupunkte mit Hilfe des Programmsystems ORIENT /12/

berechnet.

Als dritter Schritt werden die errechneten Orientierungselemente am Analogauswertegerät eingestellt, sodaß die Orientierungsarbeit dadurch auf ein Minimum reduziert wird. Nach der Einpassung der Zeichenunterlage werden die gewünschten Linien graphisch ausgewertet.

Das Auswerteverfahren entscheidet über die maximal zulässige Größe der Längs- und Querneigung. Für die heutigen Analogauswertegeräte beträgt diese Toleranz für ϕ und ω im allgemeinen je 5 gon. Für die Auswertung mit Komparatoren oder für die mit analytischen Auswertegeräten fällt diese Bedingung weg, womit sich auch der Aufnahmevorgang vereinfacht.

Wir haben auch Orthophotos am WILD OR1 hergestellt, die für die Archäologen von besonders hohem Wert sind. Als Ausgangsinformationen für die Orthophotoherstellung haben wir nur unregelmäßig verteilte Höhenpunkte mit dem Stereokomparator WILD STK1 gemessen.

8. Gesetzliche Bestimmungen in Österreich

Gemäß § 130 Abs. 1 und 2 des Luftfahrtgesetzes BGBI. Nr. 253/1957 in der Fassung des Artikels III des Bundesgesetzes BGBI. Nr. 238/1975 sind die Luftbildaufnahmen von einem Fesselballon aus nicht bewilligungspflichtig.

Das Steigenlassen von Fesselballons ist gemäß § 128 des Luftfahrtgesetzes 1957 innerhalb von Sicherheitszonen der Flughäfen ohne Genehmigung des Bundesamtes für Zivilluftfahrt verboten. Außerhalb dieser Sicherheitszonen ist für das Steigenlassen von Fesselballons eine Bewilligung des Landeshauptmannes erforderlich, wenn der Fesselballon eine Steighöhe von mehr als 100 m ermöglicht. Für den Betrieb in Höhen von 150 m über Grund aufwärts oder innerhalb des Schutzbereiches eines Zivilflugplatzes ist außerdem die Bewilligung des Bundesamtes für Zivilluftfahrt einzuholen.

Solange also nur Ballonflughöhen von 100 m über Grund benötigt werden, gibt es kaum gesetzliche bzw. verwaltungstechnische Hindernisse.

Zusammenfassung

Am Institut für Photogrammetrie der TU Wien wurde ein Fesselballonsystem für die Photogrammetrie so zusammengestellt, daß die κ -, ϕ - und ω -Bewegungen der Kamera ferngesteuert und von einem Theodolit aus kontrolliert werden können. Es werden Nadirdistanzen kleiner als 5 gon erzielt, sodaß die Bilder an Analoggeräten ausgewertet werden können. Das System überbrückt die Maßstabsücke zwischen Luft- und Erdbildmessung. Verwendet wird ein $15,3 \text{ m}^3$ Fesselballon Delacoste BCV D4, Paris, der mit Wasserstoff oder Helium gefüllt werden kann. Die Kamera ist eine Hasselblad 500 EL/M mit 50 mm Objektiv. Bisher wurden nur Einsätze für archäologische Vermessungen geflogen. Von den Bildern wurden Strichpläne 1:50 und 1:20 am JENAer Topocart hergestellt.

Die Auswertung erfolgt dreistufig: Stereo-Komparatormessung der Bildkoordinaten; Berechnung der Elemente der inneren und äußeren Orientierung mit Hilfe des Programmsystems ORIENT; Einstellung dieser Elemente am Analogauswertegerät und graphische Linienauswertung. Es wurden auch Orthophotos am WILD OR1 hergestellt, wobei man unregelmäßig verteilte Höhenpunkte, gemessen am Stereokomparator, verwendet hat. Das System ist nur für wenige, sehr großmaßstäbliche Aufnahmen (1:200 - 1:2 000) sehr kleiner Gebiete von etwa einem halben ha Fläche wirtschaftlich.

Summary:

At the Institute for Photogrammetry of the Technical University of Vienna, a tethered balloon system for photogrammetry has been put together thus, that the κ , ϕ and ω motion of the camera can be remotely controlled by theodolite and radio. The nadirdistances result smaller than 5 gon, so that the photos can be restituted using analog instruments. The system bridges the scale gap between aerial and earthbound photogrammetry. A $15,3 \text{ m}^3$ tethered balloon Delacoste BCV, D4, Paris, has been used which can be filled with hydrogen or helium.

The camera is a Hasselblad 500 EL/M with 50 mm objective. Sorties have been flown until now only for archaeological surveys. From the pictures line plans 1:50 and 1:20 have been plotted at the Jena Topocart.

The restitution has been done in three steps: Measurement of the photo coordinates with a stereocomparator; computation of the elements of the interior and exterior Orientation by means of the computer program system ORIENT; introduction of those elements into the analog plotter and graphical line plotting.

Also Orthophotos have been made with the WILD OR1 using random height information measured with the stereocomparator.

The system is economical only for a few very large scale photos (1:200 - 1:2 000), and for very small areas of about one acre.

LITERATUR

- /1/ S. FINSTERWALDER: Photogrammetrische Aufnahmen von Höhenkarten von Luftballonen aus Illustrierte Aeronautische Mitteilungen 4, Straßburg, 1900
- /2/ J. KRAMES: Scheimpflugs Panoramenapparate. In: Theodor Scheimpflug. Sonderheft 16 der Österr. Zeitschrift für Vermessungswesen Wien, 1956, S.64-68
- /3/ J. CARSON: Standphotos aus der Luft. Vermessungstechnische Rundschau 29, 1967, S.277-278
- /4/ K. RÜTZLER: Photogrammetry of reef environments by helium balloon. In: Coral reefs research methods. D.R. Stoddart and R.E. Johannes eds. Monography on oceanographic methodology 5, UNESCO, Paris, 1918
- /5/ J. WHITTLESEY: Bipod Camera Support. Photogrammetric Engineering 32, 1966, S.1005-1010
- /6/ J. WHITTLESEY: Tethered balloon for archaeological photos. Photogrammetric Engineering 36, 1970, S.181-186
- /7/ J. WHITTLESEY: A Multiband Camera for Archaeology. Photogrammetric Engineering 38, 1972, S.817-819
- /8/ J. WHITTLESEY: Another Multiband Camera for Archaeology. Photogrammetric Engineering 41, 1975, S.731-733
- /9/ H. FORAMITTI: Kulturgutkarten. Tagung "Großmaßstäbliche Kartierung mit modernen photogrammetrischen Methoden". Székesfehérvár, Oktober 1979
- /10/ T. ALBANIS: Ballonphotogrammetrie, Diplomarbeit, Technische Universität Athen, 1975
- /11/ G. LUBOWSKI: Ballonphotogrammetrie. Konstruktion und praktische Erprobung einer Kameraaufhängung. Diplomarbeit, Technische Universität Wien, 1978
- /12/ H. KAGER und K. KRAUS: Gemeinsame Ausgleichung photogrammetrischer, geodätischer und fiktiver Beobachtungen. Geowissenschaftliche Mitteilungen der Technischen Universität Wien, Heft 8, Juli 1976, S.113-133

Adressen der Autoren:

Dipl.-Ing. Gerhard Lubowski, Haydnstr.5, A-3350 Stadt Haag

a.o.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Peter Waldhäusl, Gußhausstr.27-29, A-1040 Wien