

LUFTAUFNAHMEN AUS GERINGER FLUGHÖHE –
FLUGSYSTEME, SENSOREN UND ANWENDUNGEN

PROGRESS IN LOW ALTITUDE AERIAL PHOTOGRAMMETRY –
PLATFORMS, SENSORS AND APPLICATIONS

Jürgen Peipe
University of the FAF Munich
D 8014 Neubiberg, F.R. Germany
Commission V

ABSTRACT

The Working Group V/2 "Low Altitude Aerial Photogrammetry" was established at the XIV. International Congress of the ISP in Hamburg 1980. The Congress noted "the growth of interest in the mapping of sites of limited area from photography taken from balloons, kites, model aircrafts and helicopters".

About eight years later, platforms and sensors suitable to low altitude photogrammetry are reviewed in this paper and typical applications are mentioned.

1. Einleitung

Bald nach Erfindung der Photographie, mit der die flächenhafte, simultane Erfassung eines Objekts möglich wurde, fanden erste Bildflüge statt. So fotografierte NADAR ab 1858 Paris vom Ballon aus. 1883 entstanden erste Luftaufnahmen mit Hilfe eines Drachens (E.D. ARCHIBALD / England). Nach der Erfindung des Flugzeugs trat die Luftbildmessung im 20. Jahrhundert ihren Siegeszug als standardisiertes Verfahren zur Aufnahme und Auswertung großflächiger Strukturen an.

Das konventionelle photogrammetrische Aufnahmesystem, bestehend aus Bildflugzeug und Reihenmeßkammer, bedarf jedoch unter Umständen der Ergänzung:

- Bildflugzeuge dürfen Mindestflughöhen nicht unterschreiten, so daß große Bildmaßstäbe nicht realisiert werden können.
- Der Bildflug ist teuer und, wenn das aufzunehmende Gebiet klein ist, unwirtschaftlich.
- Die photogrammetrische Aufnahme muß kurzfristig erfolgen oder zu Zeiten, zu denen ein Bildflugzeug nicht zur Verfügung steht.
- Luftbilder auch größerer Gebiete sollen in vielen Fällen möglichst einfach und preisgünstig hergestellt werden, insbesondere wenn sie für eine interpretative Auswertung bestimmt sind.
- Ein Bildflugzeug kann aus technischen, wirtschaftlichen oder politisch-militärischen Gründen nicht eingesetzt werden. Es

fehlen Flugplätze, Serviceeinrichtungen, Treibstoff, oder die Fluggenehmigung wird nicht erteilt, so daß ein unkompliziertes und problemlos transportierbares Fluggerät benötigt wird.

- Der Zustand eines Objekts soll über einen gewissen Zeitraum permanent oder in dichtem Abstand dokumentiert werden (z.B. archäologische Ausgrabungen).
- Moderne Sensoren sollen benützt werden, z.B. Einsatz von Kleinbild-, Mittelformat- oder Videokameras für Aufnahmen unterschiedlichen Maßstabs bzw. in unterschiedlichen Spektralbereichen.

In diesen Fällen sind Luftaufnahmen von unkonventionellen Plattformen aus geringer Flughöhe erwünscht. Die Flughöhe beginnt, wenn man so will, bereits 1.5 m über dem Boden: von da an werden Hilfsmittel zum Transport bzw. zur Aufstellung eines Aufnahmesystems benötigt.

Folgende Plattformen sind in Gebrauch (siehe auch Abb. 1):

1. Erdgebundene Systeme

- Leitern, Hochstative, Masten
- Hub- und Kranwagen

2. Unbemannte, gefesselte Systeme

- Drachen
- Ballone und Luftschiffe

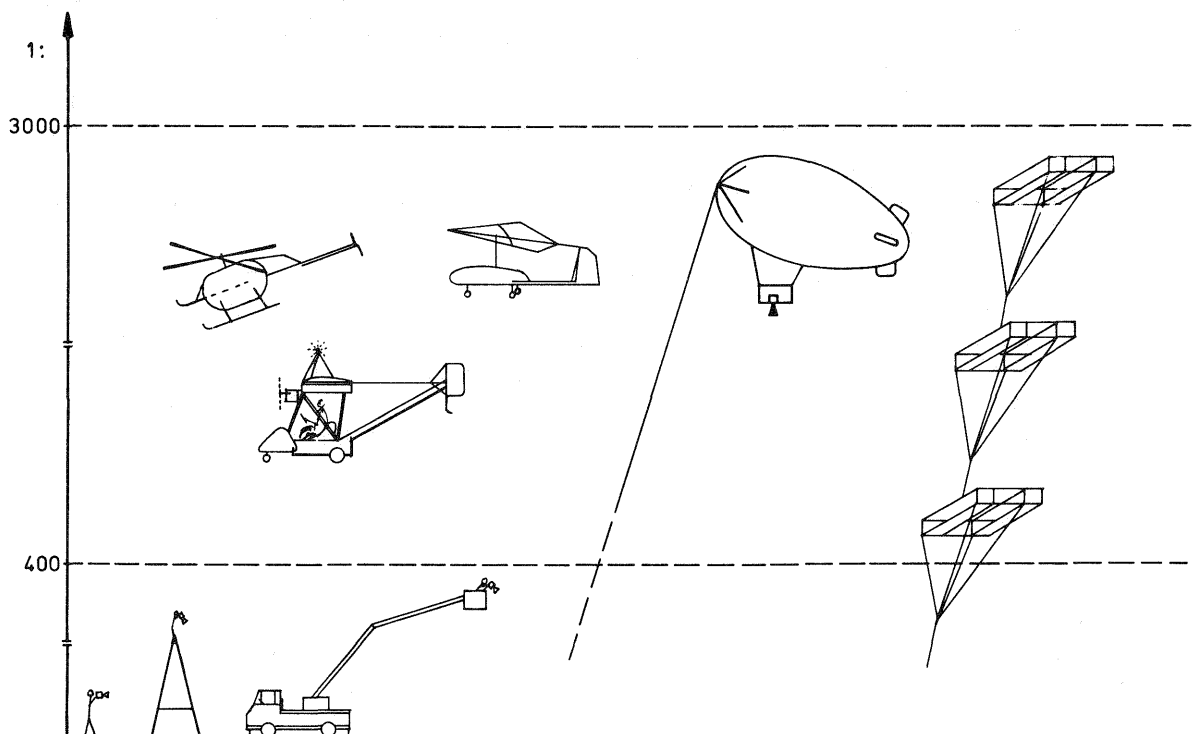


Abb. 1 Plattformen für Luftaufnahmen aus geringer Flughöhe (nach MAUELSHAGEN 1987)

3. Unbemannte, ferngelenkte Systeme (Remotely piloted vehicles (RPVs))

- Kleinhubschrauber
- Kleinflugzeuge

4. Bemannte Systeme

- Ballone und Luftschiffe
- Ultraleicht-Flugzeuge
- Hubschrauber
- Sportflugzeuge

Großmaßstäbige Luftbilder, aufgenommen von niedrig fliegenden Systemen, lassen sich unter anderem anwenden für die

- Überwachung von Vorgängen
- Dokumentation
- Interpretation und Analyse
- Kartenherstellung bzw. Kartenfortführung
- Flächen- und Volumenbestimmungen

in Fachgebieten wie zum Beispiel

- | | |
|---------------------|---------------------------|
| - Archäologie | - Forstwesen |
| - Architektur | - Kriminalistik |
| - Bauingenieurwesen | - Landwirtschaft |
| - Bergbau | - Tierverhaltensforschung |
| - Denkmalpflege | - Umweltschutz |

Das zunehmende Interesse an Luftaufnahmen aus geringer Flughöhe veranlaßte die Internationale Gesellschaft für Photogrammetrie (ISP) 1980 anlässlich des 14. Int. Kongresses in Hamburg, die Gründung einer Arbeitsgruppe "Low Altitude Aerial Photogrammetry" innerhalb der Kommission V zu empfehlen. Ein Bericht über die Tätigkeit der Arbeitsgruppe V/2 in den letzten acht Jahren liegt vor (MAUELSHAGEN 1988). Er enthält unter anderem ein ausführliches Literaturverzeichnis.

Im folgenden soll zum einen auf die Vorgehensweise und das Instrumentarium zur Herstellung der Aufnahmen eingegangen werden, zum anderen auf typische Anwendungen hingewiesen werden. Bereits publizierte, zusammenfassende Darstellungen zum Thema seien abschließend genannt: BECKSCHÄFER & PRZYBILLA 1982, HECKES 1984, HECKES 1987a; siehe auch in GRAHAM & READ 1986.

2. Flugsysteme

Ein grundsätzliches Problem bei der Herstellung von Luftaufnahmen aus geringer Flughöhe sind Bewegungsunschärfen, die durch Bildwanderungen entstehen. Diese Verschiebungen im Bild werden von Flugzeugbewegungen (Translationen, Rotationen, Eigenschwingungen) während der Belichtungszeit verursacht; sie lassen sich berechnen aus

$$\Delta e' = M_b \cdot v \cdot \Delta t$$

Liegt der gewünschte Bildmaßstab M_b fest, so ist die minimale Bildwanderung $\Delta e'$ eines Objektpunkts im wesentlichen eine Funktion der Fluggeschwindigkeit v , da die Belichtungszeit Δt durch die verwendete Kammer vorgegeben ist und sich nicht beliebig verkürzen läßt. Δt ist natürlich auf die Beleuchtungsverhältnisse am Objekt abzustimmen und kann durch die Wahl des Filmmaterials (Empfindlichkeit) und der Objektivöffnung der Kamera beeinflußt werden. Steht Δt fest, so muß bei großen Bildmaßstäben ein langsames Flugsystem eingesetzt werden, damit die Bildwanderung nicht die Bildauflösung weit überschreitet. Wird zum Beispiel ein Bildflug mit einer Geschwindigkeit von 180 km/h (≈ 50 m/s) durchgeführt, so entsteht bei einer Belichtungszeit von $1/500$ s eine Bildwanderung von $100 \mu\text{m}$ im Bildmaßstab 1:1000. Etwa die Hälfte dieses Wertes wird als Bewegungsunschärfe im Bild sichtbar. (Weitere Hinweise hierzu und zum Bildwanderungsausgleich (FMC): siehe Kap. 3).

Wie bereits erwähnt, sind in vielen Ländern gesetzliche Bestimmungen bei der Herstellung und auch bei der Veröffentlichung von Luftbildern zu beachten. So ist es z.B. in der BR Deutschland genehmigungspflichtig, wenn ein Flugsystem die Höhe von 100 m überschreitet.

2.1 Unbemannte, gefesselte Flugsysteme

In Verbindung mit unbemannten Flugsystemen sind nur Aufnahmekammern einzusetzen, deren Funktionen wie Belichtung, Auslösung und Filmtransport automatisch und ferngesteuert ablaufen können.

2.1.1 Drachen

Drachen sind zum Tragen von Lasten geeignet und werden seit langer Zeit bei wissenschaftlichen Experimenten eingesetzt (GEORGOPOULOS 1982a). Aus der Vielzahl vorhandener Drachentypen sind für Luftaufnahmen diejenigen nutzbar, die betriebssicher und unkompliziert zu handhaben sind und sich problemlos unterschiedlichen Wind- und Geländebedingungen anpassen (Vergleichstests bei KUNKEL 1984, GRYZBECK 1987).

Drachen sind preiswert, einfach zu transportieren und schnell auf- und abzubauen. Ihr Einsatz ist jedoch vom Wetter abhängig. Gleichmäßige Winde mit Geschwindigkeiten von mehr als 3 m/s sind erforderlich. Je stärker der Wind, desto größere Lasten können getragen werden. Luftturbulenzen, wie sie zum Beispiel über bebauten, baumbestandenen und bergigen Gebieten auftreten, führen zu unkontrollierbaren Bewegungen des Drachens. Hierbei hat es sich bewährt, mehrere Drachen, die sich gegenseitig stabilisieren, miteinander zu verbinden und über die turbulenten Luftschichten aufsteigen zu lassen. Ein solches Gespann, bestehend aus drei Kastendrachen (Hargrave Box), ist als Schemazeichnung am rechten Rand von Abb. 1 zu erkennen. Es wird empfohlen, mit einem Drachen zuerst Testflüge ohne Kamera durchzuführen, um die Windverhältnisse abschätzen zu können.

Die Kamera, in einem Rahmen fest montiert, wird an der Halteleine des Drachens eingehängt. Sie kann mit Hilfe einer Lotleine, die an der Kameraaufhängung befestigt ist und deren Länge die Höhe über Grund anzeigt, positioniert werden. Zur Bedienung der ferngesteuerten Kamera und des Drachens ist ein geübtes und eingespieltes Team von mindestens zwei Personen notwendig, die sich vorteilhaft mit Funksprechgeräten über den Arbeitsablauf verständigen.

Drachen wurden bisher vor allem als Träger von Kleinbildkameras zur Dokumentation von Objekten, meist in der Archäologie, eingesetzt (z.B. ANDERSON 1980, GEORGOPOULOS 1982b, OGLEBY 1986, GABRIEL 1987, GERWINSKI & GOETZ 1987).

2.1.2 Ballone und Luftschiffe

Bemannte Ballone dienten bereits in der Frühzeit der Photogrammetrie als Kammerträger. Nach Einführung des Flugzeugs verloren sie an Bedeutung und wurden lediglich noch sporadisch für die Dokumentation bei begrenzten Projekten verwendet.

Für diesen Zweck haben sich in den letzten Jahren unbemannte, gefesselte, relativ kleine Ballone als wirtschaftliche Alternative bewährt. Sphärisch oder aerodynamisch geformt und gefüllt mit Wasserstoff oder - sicherer - mit Helium wurden sie vor allem in der Archäologie erfolgreich eingesetzt (z.B. WHITTLESEY 1970, BADEKAS et al. 1980, LUBOWSKI & WALDHÄUSL 1980, ITOH 1983, OSHIMA et al. 1984). Von ROBINSON (1982) liegt eine durchgreifende Praktikabilitätsanalyse des Gesamtsystems, bestehend aus Gasballon, Halteleinen und Winden, Kamera und Aufhängung, Fernbedienung und Navigation vor.

Seit 1980 werden vom Deutschen Bergbau-Museum in Bochum und der Gesellschaft zur Entwicklung und Förderung aerostatischer Flugsysteme (GEFA-Flug) in Aachen mit Heißluft betriebene, gefesselte Ballone und Luftschiffe entwickelt und hergestellt (Abb.2



Abb. 2 Heißluft-Fesselballon des Deutschen Bergbau-Museums aus dem Jahre 1980



Abb. 3 Heißluftbetriebenes Luftschiff aus dem Jahre 1985

und 3; HECKES 1982, BUSEMEYER 1987, BUSEMEYER et al. 1988). Eingesetzt für die photogrammetrische Dokumentation archäologischer Grabungen und für Aufgaben des Umweltschutzes haben sie sich als robuste, unkomplizierte und zuverlässige Kammerträger gezeigt (HECKES 1982, HECKES et al. 1984, HECKES 1987b). Der zunächst erprobte Heißluft-Fesselballon (Abb. 2) erwies sich als windanfällig, so daß eine exakte Navigation nur bei Windstille möglich war. Daher wurde ein aerodynamisch geformter Fesselballon in Luftschiffbauweise angefertigt (Abb. 3), der bis zu Windgeschwindigkeiten von 10 m/s einsetzbar ist. Zu seiner Bedienung sind vier Personen erforderlich, drei für die Positionierung des Luftschiffes und einer für die Navigation und die Steuerung der kardanisch im Ballonkorb aufgehängten Kamera. Die Positionierung wird über das Sucherbild einer im Aufnahmestandpunkt stehenden, senkrecht nach oben ausgerichteten Kamera durchgeführt. Nach diesem Verfahren können auf sechs bis acht Standpunkten pro Stunde Meßbilder produziert werden (BUSEMEYER et al. 1988).

Gefesselte Ballone und Luftschiffe sind gut handhabbare, sichere und relativ preisgünstige¹ Systeme zur Herstellung von Luftaufnahmen aus geringer Flughöhe. Unterschiedliche Ballontypen können Nutzlasten von wenigen kg bis zu 25 kg transportieren. Das Aufnahmegebiet muß zugänglich sein, um den Ballon steuern zu können. Heißluft-Ballone sind auch in entlegenen Gebieten der Erde verwendbar, da das benötigte "Küchengas" (Butan, Propan) weltweit leichter erhältlich ist als Wasserstoff bzw. Helium.

2.2 Unbemannte, ferngelenkte Systeme (RPVs)

2.2.1 Kleinhubschrauber

Ein ferngesteuerter Modellhubschrauber als Kammerträger wurde von WESTER-EBBINGHAUS (1980) vorgestellt. Eine verbesserte Version, speziell konstruiert für Nahbereichs-Luftaufnahmen, erlaubt den Transport von ca. 5 kg Nutzlast ("Photo-Helicopter MK I", SCHLÜTER 1982). Inzwischen wurde dieses Gerät mehrfach modernisiert, mit Kreiseln ausgestattet, um eine ruhigere Fluglage zu erreichen und das Steuern zu erleichtern, und es wurden versuchsweise eine Videokamera bzw. Radar zur Navigation verwendet (SCHLÜTER 1987).

Der Kleinhubschrauber weist unbestreitbare Vorteile auf: er benötigt nur wenig Platz zum Starten und Landen, kann sich im Raum nach allen Richtungen frei bewegen und an beliebiger Stelle zur Aufnahme still stehen bleiben. Gerade wegen dieser vielfältigen Möglichkeiten ist er jedoch schwer zu steuern. Der Pilot am Boden muß ihn ununterbrochen im Auge behalten, er muß

¹) Kosten von mehreren tausend DM bis über 10000 DM entstehen je nach Ausstattung und Leistung. Zudem ist die Lebensdauer einer Ballonhülle begrenzt. Sie beträgt z.B. 300 - 400 Betriebsstunden (BUSEMEYER et al. 1988).

mit hoher Konzentration und viel Erfahrung auf kleinste Flugbewegungen achten und richtig reagieren. Die Handhabung des Gerätes ist also als sehr anspruchsvoll zu bezeichnen. In letzter Zeit sind keine neuen Anwendungen eines Photo-Helicopters als Kammerträger publiziert worden.

2.2.2 Kleinflugzeuge

Ebenso wie Modellhubschrauber eignen sich ferngesteuerte Modellflugzeuge grundsätzlich zur Herstellung von Luftbildern (PRZYBILLA & WESTER-EBBINGHAUS 1979, MILLER 1980, BOLT & ATKINSON 1984, OSHIMA et al. 1984). Sie können ohne Schwierigkeiten für Lasten bis zu 5 kg umgebaut werden. Dennoch sind sie von ihrer Konstruktion her nicht auf diesen Anwendungsfall hin konzipiert.

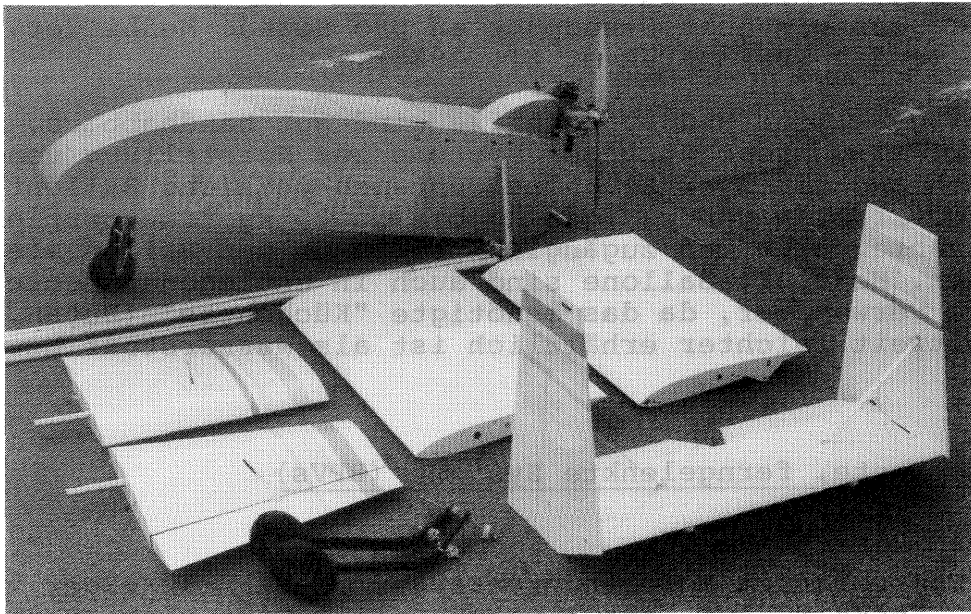


Abb. 4 RPV "Ranger" vor dem Zusammenbau



Abb. 5

RPV "Ranger" vor und nach dem Zusammenbau

Im militärischen Bereich existieren seit langem leistungsfähige ferngesteuerte Kleinflugzeuge (RPVs) und Drohnen - ihr Kurs ist vorprogrammiert - zur Aufklärung und Gefechtsfeldüberwachung. Für zivile Zwecke, d.h. für die Nahbereichs-Luftbildphotogrammetrie, werden vom Deutschen Bergbau-Museum in Zusammenarbeit mit M. KÜGELGEN technisch ähnlich ausgereifte Flugkörper entwickelt (KÜGELGEN 1987, BUSEMEYER et al. 1988). Als Entwurfskriterien sind unter anderem das exakte Einhalten einer vorgegebenen, geringen Flughöhe und Geschwindigkeit und ein ausgewogenes Langsamflug-Verhalten zu nennen. Das RPV "Ranger" (Abb. 4 und 5) kann Nutzlasten bis zu 10 kg befördern. Es ist mit einer Steuerelektronik (Flugstabilisatoren, Geschwindigkeitskonstanter, Videokamera) ausgerüstet, die dem Pilot am Boden eine einfache Bedienung des Kleinflugzeuges ermöglicht. Das zusammenlegbare RPV kann über ein Katapult gestartet werden und am Fallschirm oder auf dem Boden landen.

2.3 Bemannte Systeme

2.3.1 Hubschrauber

Die Vorteile eines bemannten Hubschraubers als Kammerträger sind evident: er fliegt nahezu beliebig niedrig und langsam, ist sehr gut manövrierbar, trägt viel Gewicht, und die Aufnahmen sind in kurzer Zeit durchführbar. Allerdings ist das Flugverhalten diffizil und erfordert gut ausgebildete Piloten. Dies und der Anschaffungspreis führen zu hohen Kosten für den Bildflug. Soll die Aufnahmekammer fest installiert werden, so ist für eine Dämpfung der auftretenden Vibrationen zu sorgen.

Eine Reihe erfolgreicher Anwendungen ist dokumentiert (RHODY 1977, ITOH 1983, MEID & HANSCH 1984, SHAFER & DEGLER 1986, HEIMES et al. 1987, VAESSEN 1987 u.a.).

2.3.2 Ultraleicht-Flugzeuge

Ultraleicht-Flugzeuge (Abb. 6) werden seit einigen Jahren als niedrig fliegende Kammerträger eingesetzt (z.B. GRAHAM & READ 1984, HOFSTEE 1985, LOEDEMANN et al. 1986, HECKES 1987b, OFFERMANS 1987, GRAHAM 1988).

Mit Kleinbild- oder Mittelformatkameras ausgerüstet bieten sie für kleinere Projekte eine kostengünstige Alternative zum konventionellen Bildflugzeug mit Reihenmeßkammer. Ultraleicht-Flugzeuge können demontiert, auf dem Dachträger eines Autos transportiert und am Einsatzort rasch wieder aufgebaut werden. Für Start und Landung ist kein Flugplatz erforderlich, ein Feld oder eine Straße genügen. Das Fliegen mit einer Geschwindigkeit von 50 - 60 km/h ist unkompliziert, aber von den Wetterverhältnissen beeinflusst (z.B. Turbulenzen). Kameras werden in speziellen Aufhängungen am Flugzeug befestigt (Abb. 7). Da der Pilot seine Aufmerksamkeit für den sicheren Flug in eine geplante Richtung benötigt, muß die Kamera vom Beginn bis zum Ende eines Flugstreifens automatisch arbeiten. Bei der Flug-

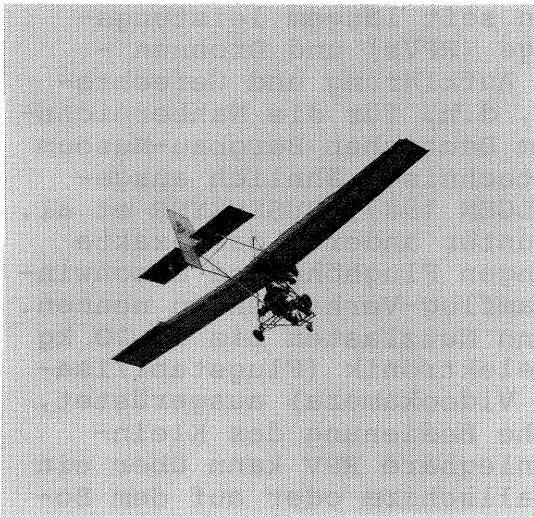


Abb. 6 Das Ultraleicht-
Flugzeug SHERPA
(KÜGELGEN & SOKOLOWSKI 1984)

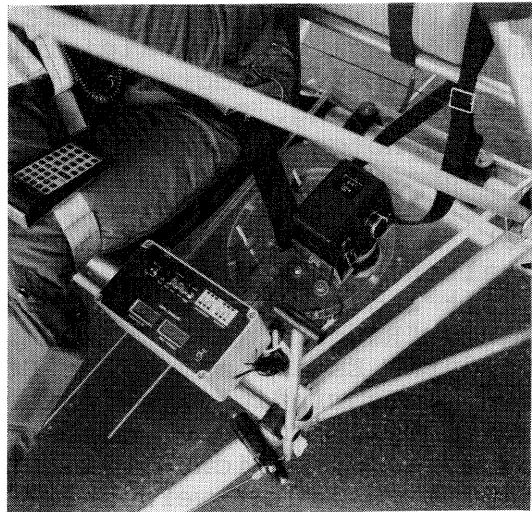


Abb. 7 Rolleiflex-Kamera,
montiert am SHERPA

planung ist wegen der kleineren Bildformate und der unvermeidbaren Bewegungen des Flugsystems auf ausreichende Längs- und Querüberdeckung zu achten.

2.3.3 Sportflugzeuge

Sollen einmotorige, "leichte" Sportflugzeuge zur Herstellung von Senkrechtaufnahmen eingesetzt werden, so wird man sie in der Regel nicht mit einer Reihenmeßkammer ausstatten. Sie eignen sich aber als Plattform für Kleinbild- und Mittelformatkameras, die außerhalb der Kabine bzw. an speziellen Aufhängevorrichtungen befestigt werden können (z.B. BENSON et al. 1984, LONG et al. 1986, EKIN 1988 - hierin wird insbesondere auch vom Einbau einer Videokamera berichtet, mit der die Navigation in Flugrichtung erleichtert wird).

Senkrecht- und auch Schrägaufnahmen aus Sportflugzeugen werden i.a. weniger für hochgenaue photogrammetrische Auswertungen hergestellt, sondern vor allem, um den zunehmenden Bedarf an bildhafter Information kurzfristig decken zu können, zum Beispiel in Bereichen wie Raumplanung, Umweltüberwachung, Waldinventur, Verkehrsplanung, Tierverhaltensforschung oder auch in der Archäologie zur Prospektion von unterirdischen Bodendenkmälern (z.B. FERGUSON et al. 1981, BRAASCH 1983, NEEDHAM & SMITH 1984, RHODY 1987, PEIPE 1987, HECKES 1987b, HIBY et al. 1988).

3. Sensoren

Für Luftaufnahmen aus geringer Flughöhe werden zumeist Kleinbild- oder Mittelformatkameras eingesetzt. Bei Verbindung mit einem unbemannten Flugsystem müssen die Kamerafunktionen automatisch und ferngesteuert ablaufen. Bewegt sich die Plattform während der Belichtung, so dürfen nur Kameras mit Zentralver-

schluß verwendet werden. Ein Bildwanderungsausgleich wie bei Reihenmeßkammern ist nicht vorhanden (siehe aber HIBY et al. 1988). Ist eine photogrammetrische Auswertung der Aufnahmen beabsichtigt, sollten Teil-Meßkammern benutzt werden; hier besteht die Möglichkeit, auftretende Filmdeformationen mit Hilfe einer Glasgitterplatte vor der Filmfläche zu eliminieren. Die innere Orientierung der Aufnahmekammer ist durch Kalibrierung zu ermitteln.

Moderne Kleinbild- und Mittelformatkameras sind kompakt gebaut und relativ leicht; eine große Zahl von Wechselobjektiven und sonstigem Zubehör steht zur Verfügung. Wichtig ist auch, daß Schwarz-weiß- und Farbfilme verschiedenster Empfindlichkeit problemlos erhältlich sind.

4. Zusammenfassung

Für die Herstellung von Luftbildern aus geringer Flughöhe ist eine Vielzahl von Plattformen und Sensoren vorhanden. Sie können ergänzend zum konventionellen System Bildflugzeug-Reihenmeßkammer eingesetzt werden; sie können es unter bestimmten Umständen ersetzen, wenn Meßbilder für kleine Gebiete in meist großem Maßstab schnell und mit geringem finanziellen Aufwand verfügbar sein sollen.

Aus der Reihe der Flugkörper sind nach Ansicht des Verfassers die gefesselten aerostatischen Systeme, die ferngelenkten Kleinflugzeuge (RPVs) und die Ultraleicht-Flugzeuge den anderen vorzuziehen. Kritisch zu sehen ist der teilweise hohe Personalaufwand und die im Vergleich zur Reihenmeßkammer große Zahl von Bildern, die bei Aufnahme mit Kleinbild- oder Mittelformatkammern zur Auswertung anfallen. Die vorgestellten Systeme sollten daher eingesetzt werden, wenn eine konventionelle Befliegung nicht sinnvoll oder unmöglich ist.

Dank

Der Verfasser ist Herrn J. Heckes und Herrn L. Mauelshagen vom Deutschen Bergbau-Museum Bochum für konstruktive und hilfreiche Diskussionen und die Überlassung von Bildmaterial zu großem Dank verpflichtet.

LITERATUR

Abkürzungen:

ISPRS WG V/2 Bochum = Proceedings der Arbeitstagung "Luftaufnahmen aus geringer Flughöhe", ISPRS WG V/2, Veröff. a.d. Deutschen Bergbau-Museum, Nr. 41, Bochum, 135 S.

IAPRS = Int. Archives of Photogrammetry and Remote Sensing

-
- ANDERSON, R.C., 1980: A kite supported system for remote aerial photography. *Aerial Archaeology* 4, 4-7
- BADEKAS, J., PEPPE, E., STAMBOULOGLOU, E., 1980: Low altitude aerial photography. *IAPRS 23/B10*, Hamburg, 1-20
- BECKSCHÄFER, M., PRZYBILLA, H.-J., 1982: Wirtschaftlichkeitsfragen in der Nahbereichsluftbildmessung. *IAPRS 24/V*, York, 53-61
- BENSON, M.L., MYERS, B.J., CRAIG, I.E., GABRIEL, W.C.L., SWAN, A.G., 1984: A camera mount and intervalometer for small format aerial photography. *Phot. Engineering & Rem. Sensing* 50 (11), 1571-1580
- BOLT, M.F., ATKINSON, K.B., 1984: Space resection of 35 mm model aircraft photography. *IAPRS 25/A5*, Rio de Janeiro, 90-99
- BRAASCH, O., 1983: Luftbildarchäologie in Süddeutschland. Kleine Schriften zur Kenntnis der römischen Besetzungsgeschichte Südwestdeutschlands Nr. 30, Limesmuseum Aalen, 133 S.
- BUSEMEYER, K.-L., 1987: Zur Konzeption eines ferngelenkten gefesselten Heißluft-Kammerträgersystems. *ISPRS WG V/2*, Bochum, 49-56
- BUSEMEYER, K.-L., HECKES, J., KÜGELGEN, M., MAUELSHAGEN, L., 1988: Cameraplattformen for low altitude aerial photogrammetry at the Deutsches Bergbau-Museum. Pres. paper, 16. *ISPRS Kongreß*, Kyoto
- EKIN, W.H., 1988: A video tracking system for a light aircraft. *Phot. Record* 12 (71), in press
- FERGUSON, E.L., JORDE, D.G., SEASE, J.J., 1981: Use of 35 mm color aerial photography to acquire mallard sex ratio data. *Phot. Engineering & Rem. Sensing* 47 (6), 823-827
- GABRIEL, S., 1987: Drachenaufnahmen in Resafa/Nordsyrien. *ISPRS WG V/2*, Bochum, 113-115
- GEORGOPOULOS, A., 1982a: Balloon and kite photography: A historical review. *IAPRS 24/V*, York, 196-206
- GEORGOPOULOS, A., 1982b: Low altitude non-metric photography using a kite. *IAPRS 24/V*, York, 207-217
- GERWINSKI, W., GOETZ, D., 1987: Einsatz eines Photodrachens zur Kartierung von Vegetationsschäden auf einer Mülldeponie. *ISPRS WG V/2*, Bochum, 117-118

- GRAHAM, R.W., READ, R., 1984: Small format aerial photography from microlight platforms. *J. of Photographic Science* 32 (3), 100-110
- GRAHAM, R., READ, R.E., 1986: Manual of aerial photography. Focal Press, Butterworth & Co Ltd, London & Boston, 346 S.
- GRAHAM, R.W., 1988: Small format aerial surveys from light and microlight aircraft. *Phot. Record* 12 (71), in press
- GRYZBECK, U., 1987: Drachen als Kameraträger. *ISPRS WG V/2, Bochum*, 57-62
- HÅDEM, I., SKRÅMO, G., 1980: Fixed-base photogrammetry with wing-tip mounted cameras. *IAPRS 23/B10*, 520-527
- HECKES, J., 1982: Der Heißluftfesselballon des Deutschen Bergbau-Museums. *IAPRS 24/V, York*, 245-252
- HECKES, J., 1984: Überblick über Flugsysteme für photogrammetrische Luftaufnahmen im Nahbereich. *IAPRS 25/A5, Rio de Janeiro*, 392-401
- HECKES, J., KOTOWSKI, R., MAUELSHAGEN, L., 1984: Ballon-Photogrammetrie über dem Grabungsfeld von Mohenjo-Daro/Pakistan. *IAPRS 25/A5, Rio de Janeiro*, 402-410
- HECKES, J., 1987a: Überblick über Kammerträger für Luftaufnahmen im Nahbereich. *ISPRS WG V/2, Bochum*, 25-31
- HECKES, J., 1987b: Luftaufnahmen aus geringer Flughöhe mit verschiedenen Kameraträgern. *ISPRS WG V/2, Bochum*, 119-125
- HEIMES, F.-J., JUNIUS, H., TERTELMANN, B., 1987: Luftbild-schrägaufnahmen zur räumlichen Erfassung eines Gebäudekomplexes. *ISPRS WG V/2, Bochum*, 77-89
- HIBY, A.R., THOMPSON, D., WARD, A., 1988: Census of grey seals by aerial photography. *Phot. Record* 12 (71), in press
- HOFSTEE, P., 1985: An introduction to small format aerial photography for human settlement analysis. *ITC Journal* 1985-2, 121-127
- ITOH, T., 1983: Photogrammetric applications in surveys of cultural property. *ITC-Journal* 1983 (4), 302-306
- KÜGELGEN, M., SOKOLOWSKI, J., 1984: Ultraleicht-Flugzeug mit Kamera-Kreisel-Plattform im praktischen Einsatz für Nahbereichsphotogrammetrie. *IAPRS 25/A8a, Rio de Janeiro*, 404-409
- KÜGELGEN, M., 1987: Ein ferngelenktes, unbemanntes Kleinflugzeug für wissenschaftlich-technische Nutzlasten. *ISPRS WG V/2, Bochum*, 41-47
- KUNKEL, H.-J., 1984: Der Einsatz von Drachen für Luftaufnahmen im Nahbereich. *IAPRS 25/A5, Rio de Janeiro*, 481-488
- LOEDEMAN, J.H., CLEVERS, J.G.P.W., HORTON, C.A., 1986: Determination of spectral reflectance of crops during growth from calibrated multispectral small format aerial photography. *IAPRS 26/1, Stuttgart*, 519-531

- LONG, D.S., TAYLOR, J.E., McCARTHY, J., 1986: Cessna aircraft cabin mount for photographic and videographic cameras. Phot. Engineering & Rem. Sensing 52 (11), 1753-1755
- LUBOWSKI, G., WALDHÄUSL, P., 1980: Ballonphotogrammetrie. Österr. Z. f. Vermessungswesen u. Photogrammetrie 68 (1), 30-39
- MAUELSHAGEN, L., 1987: Luftaufnahmen aus geringer Flughöhe - Einführung. WG V/2, Bochum, 9-11
- MAUELSHAGEN, L., 1988: Report on the activities of Working Group V/2, 1980-1988 (Low altitude aerial photogrammetry). Pres. Paper, 16. ISPRS Kongreß, Kyoto
- MEID, A., HANSCH, K.U., 1984: Ein praktisches Beispiel zur Nahbereichsluftbildphotogrammetrie. IAPRS 25/A5, Rio de Janeiro, 508-514
- MILLER, P., 1980: Aerial Photography from radio controlled model aircraft. Aerial Archaeology 4, 11-15
- NEEDHAM, T.D., SMITH, J.L., 1984: An evaluation of the use of 35 mm aerial photography for determining the height of trees in loblolly pine plantations. Proc. 50th Ann. Meeting of the ASP, Washington D.C., 222-231
- OFFERMANS, D., 1987: Der Einsatz von Ultraleichtflugzeugen in tropischen Regenwäldern. ISPRS WG V/2, Bochum, 63-70
- OGLEBY, C.L., 1986: Applications of non-metric photogrammetry in archaeometry. IAPRS 26/5, Ottawa, 102-111
- OSHIMA, T., MIYASHITA, K., CHO, A., 1984: Development of Radi-con (radio controlled) system using model airplane and kite balloon. Pres. paper 15. ISPRS Kongreß, Rio de Janeiro
- PEIPE, J., 1987: Zur photogrammetrischen Auswertung von Nicht-Meßbildern in der Archäologie. ISPRS WG V/2, Bochum, 103-111
- PRZYBILLA, H.-J., WESTER-EBBINGHAUS, W., 1979: Bildflug mit ferngelenktem Kleinflugzeug. Bildmessung und Luftbildwesen 47 (5), 137-142
- PRZYBILLA, H.-J., 1982: Navigationssysteme für den Einsatz in der Nahbereichsluftbildphotographie. IAPRS 24/V, York, 397-404
- RHODY, B., 1977: A new, versatile stereo-camera system for large-scale helicopter photography of forest resources in Central Europe. Photogrammetria 32, 183-197
- RHODY, B., 1987: Luftaufnahme repräsentativer Streifen und Photostichproben mit kleinformatigen Nicht-Meßkameras. Bildmessung und Luftbildwesen 55 (2), 60-65
- ROBINSON, G.P.G., 1982: A helium balloon system for low altitude non-metric vertical photography. IAPRS 24/V, York, 412-421
- SCHLÜTER, D., 1982: Ferngesteuerte Kleinflugzeuge und speziell Kleinubschrauber für Nahbereichs-Luftaufnahmen. IAPRS 24/V, York, 433-442

- SCHLÜTER, D., 1987: Funkferngesteuerte Kleinhubschrauber als Kameraträger, Entwicklungsstand 1986. ISPRS WG V/2, Bochum, 127-130
- SHAFFER, R.V., DEGLER, S.A., 1986: 35 mm photography: An inexpensive remote sensing tool. Phot. Engineering 52 (6), 833-837
- THOMSON, G.H., 1988: Evaluating image quality of small format aerial photography systems. Phot. Record 12 (71), in press
- VAESSEN, E.M.J., 1987: Synchrone Wellenaufnahmen vom Hubschrauber aus. ISPRS WG V/2, Bochum, 71-75
- WESTER-EBBINGHAUS, W., 1980: Aerial Photography by radio controlled model helicopter. Phot. Record 10 (55), 85-92
- WHITTLESEY, J.H., 1970: Tethered balloon for archaeological photos. Phot. Engineering 36 (2), 181-186