

XIV KONGRESS
DER INTERNATIONALEN GESELLSCHAFT FÜR PHOTOGRAMMETRIE
HAMBURG 1980

Kommission V
Presented Paper

Wilfried Wester-Ebbinghaus

Institut für Photogrammetrie
Universität Bonn

FERNLENKBILDFLUG MIT MODELLHUBSCHRAUBER

REMOTELY-CONTROLLED PHOTOGRAPHIC MISSION
WITH A MODEL HELICOPTER

Abstract:

Aerial photographs are not frequently used in close-range photogrammetry. They are not well suited because of high cost and image motion resulting from the use of an aircraft as camera carrier.

Both, the cost of a photographic mission and the speed of the aircraft carrying the camera can be reduced drastically when radio-controlled model helicopters or airplanes able to carry a light camera are employed.

The paper reviews experiments with a model helicopter, illustrates a navigation procedure and discusses suitable cameras and experiences.

Einleitung

Luftaufnahmeverfahren mit Großformat- Reihenmeßkammern in bemannten Flugzeugen sind für die Nahbereichsphotogrammetrie weitgehend ungeeignet. Neben den für viele Nahbereichsaufgaben unangemessen hohen Kosten sind auch aufnahmetechnische Beschränkungen zu nennen. Der Einsatz von Flächenflugzeugen für Nahbereichsaufnahmen großen Bildmaßstabs wird hauptsächlich durch die von der Flugbewegung erzeugten Bildwanderungen begrenzt /8/. Ein Hubschrauber scheint in dieser Hinsicht als Kammerträger ideal. Versuche mit bemannten Hubschraubern zeigten jedoch, daß es schwierig ist, Schwingungen von der Kammer fernzuhalten /1//2/. Auch kann die vom Rotor des Hubschraubers erzeugte starke vertikale Luftströmung sich störend auf das Objekt auswirken.

Unbemannte Flugapparate als Träger für Mittel- und Kleinformatkammern wurden mehrfach erprobt. So waren Bildflugversuche mit Fesselballons sehr erfolgreich /3//5//7//12/. Auch mit einem lenkbaren Drachen sind Luftaufnahmen möglich /3/. Beide Verfahren sind sehr windabhängig und verlangen Bewegungsfreiheit am Boden und in der Luft. Ferngelenkte Modell-Flächenflugzeuge /8/ sind ebenfalls für Bildflugzwecke gut geeignet, wenn in unmittelbarer Nähe des Aufnahmeobjekts Start- und Landemöglichkeiten gegeben sind.

Ein ferngelenkter Modellhubschrauber bietet für Nahbereichs-Luftaufnahmen in vieler Hinsicht günstige Voraussetzungen: Er ist leicht zu transportieren, auf kleinem Raum einsatzfähig und in beliebiger Raumrichtung steuerbar. Die grundsätzliche Eignung dieses Aufnahmeverfahrens konnte mit einem serienmäßigen Modellhubschrauber und einer neu entwickelten automatischen 6x6 cm Meßkammer erprobt werden.

1. Modellhubschrauber

Für die Versuche wurde ein SCHLÜTER-Modell gewählt /9/. Die sogenannte Trainingsversion ist auch ohne Gehäuse flugfähig und vermag so Gewicht und Kosten einzusparen. Die Abbildungen 1-3 zeigen das Fluggerät. Die Aufnahmekammer ist auf einer Holzplatte fest verschraubt und zum Schutz mit Wänden aus Styropor

umgeben, die gleichzeitig als Landekufen dienen. Der Hubschrauber ist mit weichen Gummilagern auf diesem Unterbau befestigt. Weitere Maßnahmen, die Kammer vor Schwingungen zu schützen, waren nicht erforderlich. Allerdings wurden durch sorgfältiges Zentrieren der beweglichen Teile der Hubschraubermechanik Ursachen für Schwingungen und Erschütterungen soweit wie möglich beseitigt. Das Gerät vermag eine Nutzlast von 3 kg zu tragen und ist bis zu Flughöhen von 100 m sicher steuerbar.



Abb. 1

2. Aufnahmekammer

An die Aufnahmekammer werden hohe Ansprüche gestellt. Neben naheliegenden aufnahmetechnischen Eigenschaften wie Motorantrieb und automatischer Belichtung müssen Möglichkeiten gegeben sein, die innere Orientierung reproduzierbar zu definieren. Da auch bei einem Hubschrauber als Kammerträger Bewegungen des Projektionszentrums während der Aufnahme möglich sind, ist ein guter Zentralverschluß mit hohem Zeit-Wirkungsgrad wichtige Voraussetzung zur Vermeidung von Bilddeformationen /8/.



Abb. 2



Abb. 3

Die Mittelformatkammer ROLLEIFLEX SLX bietet für Fernlenkbildflug beste aufnahmetechnische Bedingungen /8/. Genannt seien die automatische Blendensteuerung mit Innenmessung sowie die Wechselobjektive mit elektrischen Zentralverschlüssen und Bildwinkeln bis 90° . Da die Kammer mit handelsüblichem 6 cm Rollfilm geladen wird, steht das Emulsionsangebot der Filmindustrie uneingeschränkt zur Verfügung.

In Zusammenarbeit mit ROLLEI wurde aus der SLX eine automatische Meßkammer entwickelt. Zur Definition eines Bildkoordinatensystems dient eine von HEIDENHAIN gefertigte Réseauplatte mit 36 Kreuzen. Für unproblematischen motorischen Filmtransport ist das Réseau unter Beibehaltung der serienmäßigen Filmführung so in die Kammer eingebaut, daß ein Kontakt mit der Filmfläche vermieden wird und die Réseaupunkte dennoch scharf abgebildet werden. Die Réseauplatte trägt also nicht unmittelbar mechanisch zur Filmebnung bei, sondern dient der nachträglichen Korrektur von Bildfehlern, die durch mangelhafte Ebenheit der Filmfläche während der Aufnahme und Filmverzug nach der Aufnahme verursacht sind.

Da serienmäßige, für allgemeine Photographie vorgesehene Objektive verwendet werden, erreicht die Verzeichnung hier größere Beträge als bei üblichen Meßkammern. Optisch-mechanische Auswerteverfahren sind daher nur begrenzt geeignet. Die geometrischen Eigenschaften dieser neuen Meßkammer werden zur Zeit untersucht. Erste Ergebnisse können hier vorgestellt werden.

ROLLEIFLEX SLX, CARL ZEISS DISTAGON 40 mm Restklaffungen nach Réseautransformation quadratische Mittelwerte aus 7 Bildern (μm)			
Ebene Drehung und Verschiebung	Ähnlichkeits- transformation	Affin- transformation	Polynom 3. Grades
18	8.8	5.8	3.1

Tabelle 1

Beispiele für das Genauigkeitsverhalten von Azetatzellulosefilm in der Kammer sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Die Restklaffungen nach Affintransformation zeigen, daß die (mit dem Réseau erfaßbaren) Einflüsse von Filmunebenheiten und nicht-linearem Filmverzug gering bleiben.

Eine Feldkalibrierung gab Aufschluß über die Verzeichnung der Kammer mit eingesetztem ZEISS DISTAGON 40 mm. Durch Bündelausgleichung mit zusätzlichen Parametern für radiale und tangentiale Verzeichnung /4//6//11/ wurden 3 Aufnahmen simultan über einem Testfeld orientiert. Die Aufnahmen waren zuvor mit einem Polynom 3.Grades auf das Sollréseau transformiert worden (siehe Tabelle 1). Der quadratische Mittelwert der Bildrestfehler nach der Bündelausgleichung lag bei $\pm 4,5 \mu\text{m}$. Die in Abbildung 4 dargestellte radial-symmetrische Verzeichnung entspricht der zu erwartenden Form und Größenordnung. Bemerkenswert ist, daß im Rahmen der genannten Genauigkeit keine radial-asymmetrische und tangentiale Verzeichnung nachgewiesen werden konnte.

TESTFELD SMN, ROLLEIFLEX SLX DISTAGON 40 MM NR. 6182320
 RADIAL-SYMMETRISCHE VERZEICHNUNG (MIKROMETER)

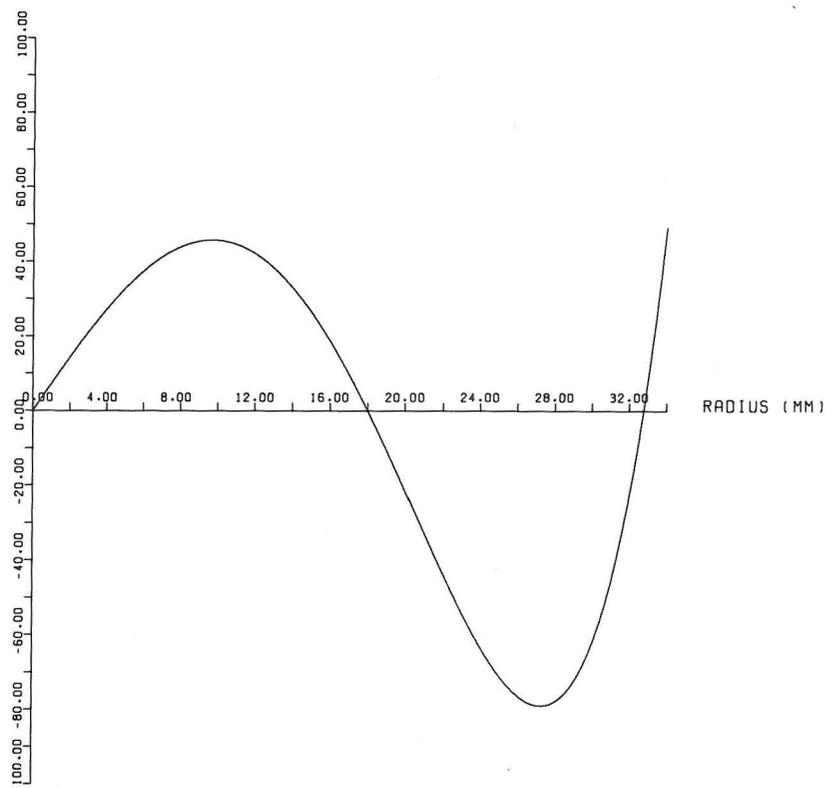


Abb. 4

Nach bisherigen Untersuchungen ist die mechanische Stabilität von Kammer und Objektiven sowie die Präzision des Anschlußbajonetts ausreichend, um Hauptpunktlage und Kammerkonstante nach Objektivwechsel und Neufokussierung innerhalb von $100\ \mu\text{m}$ wiederherzustellen. Dies gilt gleichermaßen für den Bezugspunkt der radial-symmetrischen Verzeichnung, so daß diese auch im steilsten Anstieg der hier dargestellten Kurve (Bildradius 34mm) innerhalb von $10\ \mu\text{m}$ definiert bleibt. Höhere Genauigkeitsansprüche erfordern eine Kalibrierung mit unmittelbarer Beteiligung der auszuwertenden Aufnahmen.

Wenn auch durch numerische Auswerteverfahren prinzipiell alle bekannten Bildfehler berücksichtigt werden können, so ist doch wichtig festzustellen, daß die Abweichungen von der strengen Zentralprojektion sich hier hauptsächlich auf linearen Filmverzug und radial-symmetrische Verzeichnung beschränken. Beides kann zum Beispiel von der Standard-Software des ZEISS PLANICOMP C100 erfaßt werden.

Die HASSELBLAD MK 70 kommt als Aufnahmekammer ähnlicher Konzeption für Fernlenkbildflug ebenfalls in Betracht.

Im Vergleich zur SLX ist die geringe Gesamtverzeichnung des optischen Systems zu nennen: Für die Meßobjektive ZEISS BIOGON 60 mm und PLANAR 100 mm werden weniger als $10\ \mu\text{m}$ angegeben. An das Auswerteverfahren werden daher geringere Ansprüche gestellt. Nachteilig ist der auf 66° begrenzte Bildwinkel. Automatische Belichtung ist nicht möglich. Der Kaufpreis liegt fast drei mal höher als bei der SLX mit Réseau. Eine MK 70 wurde bisher bei Versuchsflügen nicht eingesetzt.

3. Navigation

Für die schwierige Navigation eines ferngelenkten Hubschraubers wurde das schon in /8/ vorgestellte einfache optische Verfahren weiterentwickelt. Der Navigator beobachtet die Position des Hubschraubers auf der Mattscheibe einer LINHOF TECHNIKA $13 \times 18\ \text{cm}$ Großformatkammer mit vertikal orientierter optischer Achse (Abb.5). Am Hubschrauber sind zwei Zielmarken in definiertem Abstand angebracht (Abb.1). Mit Hilfe eines Millimeterrasters kann der Navigator den Abstand der Marken auf der Mattscheibe

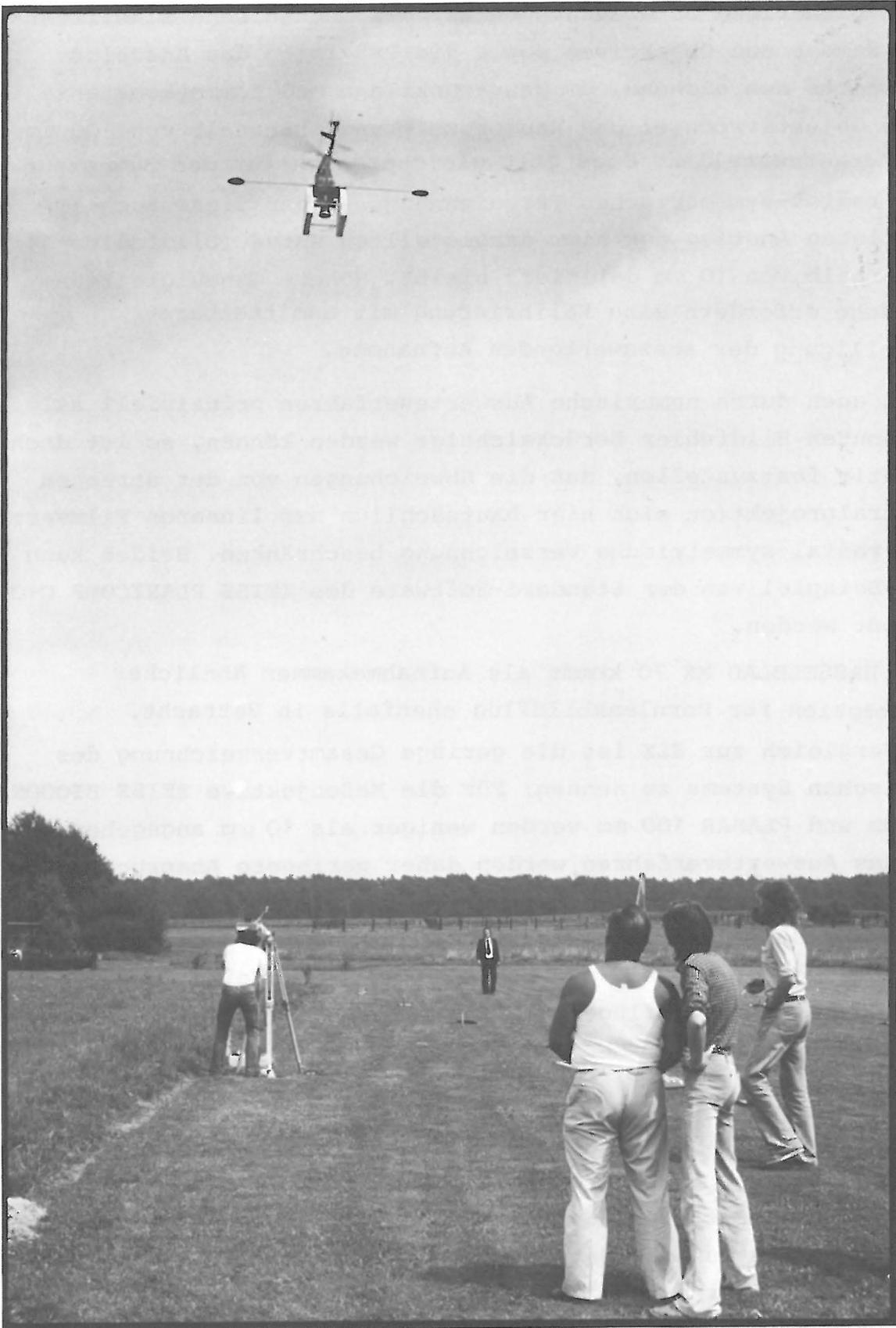


Abb. 6 Flug- und Navigationsanordnung

der TECHNICA messen und daraus die Flughöhe des Hubschraubers ableiten. Durch Wechselobjektive wird die Bestimmungsgenauigkeit der Flughöhe angepaßt.



Abb.5 LINHOF TECHNICA 13x18 als Navigationskammer

Da der Pilot den Hubschrauber vom Navigator entfernt unter schrägem Blickwinkel beobachten muß, erhält er die Fluganweisungen über Sprechfunk (Abb.5 und 6). Die Aufnahmekammer wird durch Funk ausgelöst. Nach einem Vorschlag von Georgopoulos /3/ kann ein angeschlossenes Blitzgerät Rückmeldung über erfolgreiche Auslösung des Verschlusses geben.

4. Erste Aufnahmeergebnisse

Testflüge mit Flughöhen zwischen 10 und 100 m zeigten, daß durch das beschriebene Navigationsverfahren der gewünschte Aufnahmeort in Lage und Höhe mit Abweichungen von weniger als 10% der Flughöhe realisiert werden kann.

Zur Prüfung der Abbildungsleistung wurde am Boden ein Dreiliniens-Testgitter ausgelegt. Die Abbildungen 7 und 8 geben

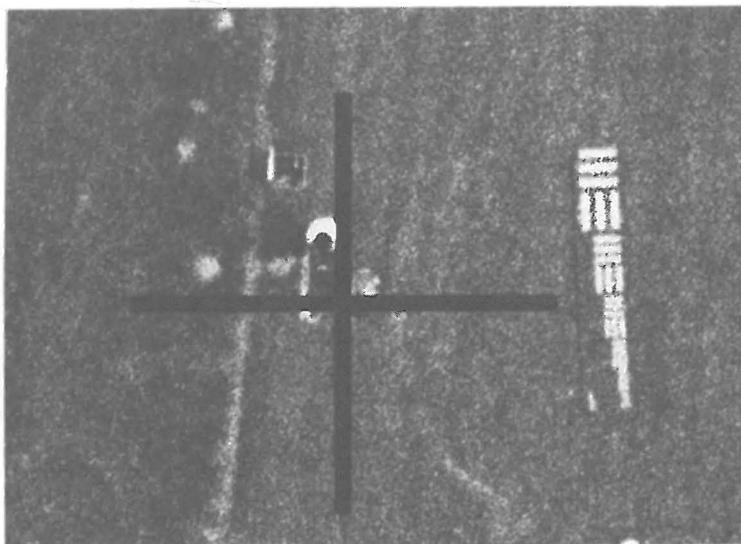
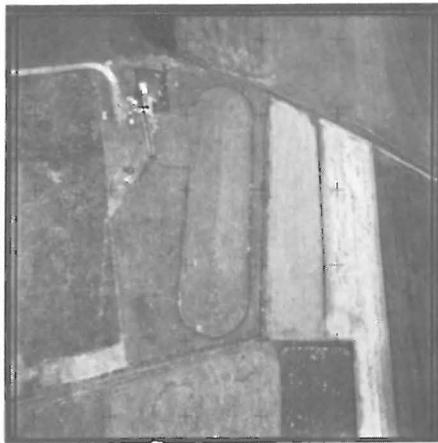


Abb. 7 Modellflugplatz Jügesheim/Main

Aufnahme mit ROLLEIFLEX SLX und DISTAGON 40 mm

Flughöhe 100 m, Belichtungszeit 1/500 sec, ILFORD HP5,

forcierte Entwicklung in ILFORD MICROPHEN auf 800 ASA

Freigabe durch Reg.Präs. Düsseldorf: Nr. OK 1438

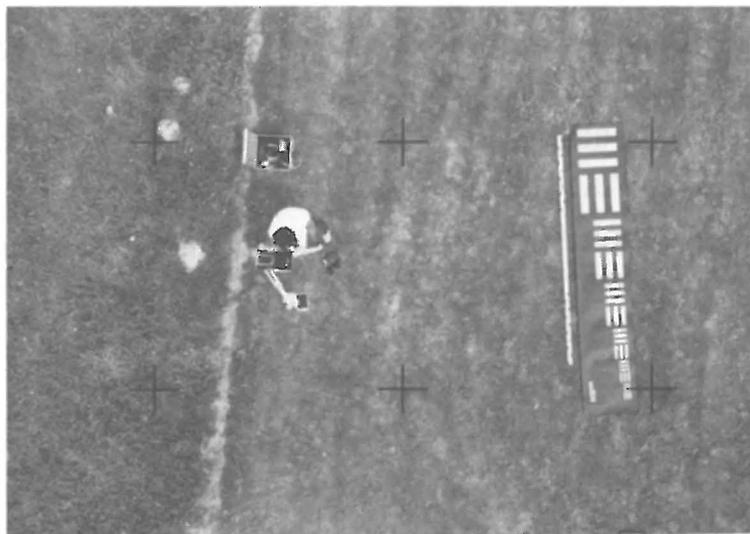
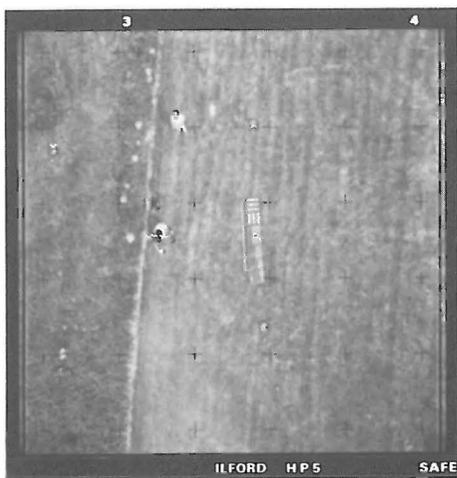


Abb. 8 wie Abb. 7, jedoch Flughöhe 12 m

Freigabe durch Reg.Präs. Düsseldorf: OK 1436

Luftaufnahmen aus verschiedenen Höhen wieder, aufgenommen mit einer ROLLEIFLEX SLX und ZEISS DISTAGON 40 mm. Das Testgitter wurde auf vergleichbaren Maßstab herausvergrößert. Von den bisher vorliegenden Luftaufnahmen werden bis zu 40 Linienpaare/mm aufgelöst. Damit ist offensichtlich die Leistungsgrenze des verwendeten Films erreicht. Beeinträchtigungen der Abbildung durch Vibrationen konnten nicht festgestellt werden.

Insgesamt sind die bisherigen Aufnahmeergebnisse äußerst zufriedenstellend. Die ROLLEIFLEX SLX hat sich als Aufnahmekammer sehr bewährt. Hervorzuheben ist die präzise automatische Blendensteuerung, eine unerläßliche Bedingung für die Verwendung von Aufnahmematerial, das wie hier durch forcierte Entwicklung in der Empfindlichkeit gesteigert wird (siehe Abb. 7 und 8).

5. Schlußbemerkungen

Es konnte gezeigt werden, daß Fernlenkbildflug mit einem Modellhubschrauber möglich ist. Grundsätzliche Probleme wie Schwingungsdämpfung und Navigation können befriedigend gelöst werden. Geeignete Aufnahmekammern stehen zur Verfügung.

Offensichtlich ist die mechanische Standfestigkeit serienmäßiger Modellhubschrauber durch die hier gegebenen Belastungen überfordert. Schon nach wenigen Flugstunden zeigten sich deutliche Abnutzungserscheinungen am Getriebe des Hubschraubers. Die Tragfähigkeit war völlig ausgeschöpft. Auf den vorliegenden Erfahrungen aufbauend, wird daher zur Zeit ein Hubschrauber speziell für Fernlenkbildflug entwickelt. Neben einer Verstärkung der Mechanik soll die Tragfähigkeit gesteigert werden.

Die Nutzung höherer Tragkraft durch eine Kammer größeren Aufnahmeformats erscheint zunächst wenig sinnvoll. Vielmehr sollen Hilfseinrichtungen für gezielte Formatausnutzung ermöglicht werden. So ist geplant, das Bild des Reflexsuchers der SLX zum Boden zu übermitteln. Eine kardanische, selbst horizontierende Kameraaufhängung ist wünschenswert, wird aber Schwingungsprobleme aufwerfen. Denkbar ist eine Stabilisierung der Aufnahme-richtung mit Kreiseln.

Durch Einbau der Kammer mit horizontaler Aufnahme-richtung

werden als grundsätzliche Erweiterung der Einsatzmöglichkeiten vertikale Bildverbände an Fassaden oder Türmen möglich sein.

Anmerkung

Die vorgestellten Bildflugversuche waren möglich in Zusammenarbeit mit der Firma Schlüter-Modellbau in Mühlheim/Main und mit Unterstützung der Gesellschaft für Sondermessungen im Ingenieurwesen mbH in Düsseldorf.

Literatur

- /1/ *Belzner, H.*, 1962. Luftaufnahmen mit dem Hubschrauber. Bildmessung und Luftbildwesen, 30(2): 76-77.
- /2/ *Cheffins, O.W.*, 1969. Accuracy of Heighting from Vertical Photography Obtained by Helicopter. Photogrammetric Record, 6(34): 379-381.
- /3/ *Georgopoulos, A.C.*, 1980. Möglichkeiten und Grenzen Photogrammetrischer Ballon- und Drachenaufnahmen mit Amateurkamern. Technische Akademie Wuppertal.
- /4/ *Kupfer, G., Wester-Ebbinghaus, W.*, 1977. Zur Bildgeometrie einer WILD P32 und ihrer Einsatzmöglichkeit in der Architekturphotogrammetrie. Festschrift zur Emeritierung von Prof. Löschner, Aachen.
- /5/ *Lubowski, G., Waldhäusl, P.*, 1980. Ballonphotogrammetrie. Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen, 68(1).
- /6/ *Mauelshagen, L.*, 1976. Teilkalibrierung eines Photogrammetrischen Systems mit variabler Paßpunktanordnung und unterschiedlichen deterministischen Ansätzen. Dissertation Bonn.
- /7/ *Myers, J.W.*, 1978. Low Altitude Prospecting and Recording of Land and Under-Water Sites from a Captive Balloon Platform. Proceedings of the International Symposium on Archaeometry and Archaeological Prospection, Landesmuseum Bonn.
- /8/ *Przybilla, H.-J., Wester-Ebbinghaus, W.*, 1979. Bildflug mit ferngelenktem Kleinflugzeug. Bildmessung und Luftbildwesen, 47(5): 137-142.
- /9/ *Schlüter, D.*, 1977. Hubschrauber ferngelenkt. Neckarverlag Villingen.
- /10/ *Wester-Ebbinghaus, W.*, 1980. Aerial Photography by Means of Radio Controlled Model Helicopter. Photogrammetric Record, 11(55).
- /11/ *Wester-Ebbinghaus, W.*, 1980. Photographisch-numerische Bestimmung der Verzeichnung eines optischen Systems. Optik 55(9).
- /12/ *Whittlesey, J.*, 1970. Tethered Balloon for Archaeological Photos. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 36(2): 181-186.