

14. Kongreß der Internationalen Gesellschaft für Photogrammetrie

Hamburg 1980

Kommission I

Freiwilliger Fachbeitrag

Prof. Dr.-Ing. H.-K. Meier

Firma Carl Zeiss, Oberkochen

Kurzfassung:

Über den gegenwärtigen Stand aerophotogrammetrischer Aufnahmesysteme

In der Entwicklung aerophotogrammetrischer Aufnahmesysteme wurden Anfang der 50er Jahre mit Einführung der Hochleistungsobjektive sowie Anfang der 60er Jahre mit Erweiterung der Farbkorrektur zur A-Charakteristik deutlich sichtbare Fortschritte erzielt. In den 70er Jahren waren die Einzelschritte weniger groß und spektakulär; im Detail wurden jedoch erhebliche Verbesserungen erzielt.

Der erreichte Leistungsstand wird charakterisiert und die bei Ausweitung der Einsatzbedingungen insbesondere bezüglich der Flughöhe zu beachtenden Besonderheiten herausgestellt.

Über den gegenwärtigen Stand aerophotogrammetrischer Aufnahmesysteme

H.-K. Meier, Oberkochen

1. Einleitender Überblick

In der Entwicklung aerophotogrammetrischer Aufnahmesysteme wurde Anfang der 50er Jahre mit Einführung der Hochleistungsobjektive deutlicher Fortschritt erzielt, dem Anfang der 60er Jahre mit Erweiterung der Farbkorrektur zur sog. A-Charakteristik ein weiterer, ebenso deutlicher nachfolgte. Die Entwicklung ist in diesem Stadium jedoch nicht stehengeblieben; Qualität und Leistungsfähigkeit wurden vielmehr in einer Vielzahl von Einzelschritten weiter verbessert und vervollkommen. Im einzelnen handelte es sich um folgende Maßnahmen:

- Erstellung kompletter Objektivreihen mit Brennweiten von 8,5, 15, 21, 30 und 60 cm, alle für das einheitliche Bildformat $9'' \times 9'' = 23 \times 23 \text{ cm}^2$.
- Erhöhung der Lichtstärke für die besonders aktuellen Weitwinkel- und Überweitwinkelobjektive von 1:5,6 auf 1:4.
- Verringerung der Restverzeichnung auf 2 bis 3 μm .
- Erhöhung der Bildqualität insbesondere durch deutliche Verringerung der chromatischen Restfehler.
- Einführung von Belichtungsautomaten zur Messung der Beleuchtungsstärke mit nachfolgender Berechnung und Steuerung von Belichtungszeit und Blende.
- Einführung von flexiblen Steuerungssystemen entsprechend den Bildfluganforderungen für einfache Überdeckungsregelung bis zur automatischen Fernsteuerung.
- Entwicklung von Flugzeugabschlußgläsern höchster optischer Präzision.
- Anschluß an externe Inertial-Navigations-Systeme mit digitaler Datenanzeige zwecks Registrierung der Navigationsdaten neben dem Luftbild.

Die Summe all dieser Bemühungen hat die Leistungsfähigkeit der Aufnahmesysteme auf einen bemerkenswert hohen Stand gebracht. Die wesentlichen Faktoren dieses Standes sollen nachfolgend zusammengefaßt dargestellt werden.

Darüber hinaus haben jedoch auch die Einsatzbedingungen nach größeren und nach kleineren Flughöhen hin merkliche Ausweitungen erfahren. Hierbei sind gewisse Besonderheiten zu beachten, wenn die Leistungsfähigkeit der Systeme auch in diesen Fällen nutzbar bleiben soll. Eine zusammenfassende Darstellung erscheint deshalb auch hier wünschenswert.

2. Verzeichnung und Bildqualität

Verzeichnung und Bildqualität moderner Hochleistungsobjektive konnten in den letzten Jahren deutlich verbessert werden. Wesentlichen Anteil an diesen Leistungen haben moderne Verfahren zur automatischen Korrektion optischer Systeme. Über Variations- und Lösungsmatrizen suchen

derartige Programme schnell und selbständig ein Minimum an Bildfehlern und damit optimale Korrektur. Mit dem "Verfahren des angepaßten automatischen Korrigierens" wurde bei Carl Zeiss in Oberkochen ein besonders leistungsfähiges Verfahren entwickelt. Die damit erzielten Ergebnisse sollen zunächst bezüglich der Verzeichnung und danach bezüglich der für die Bildqualität besonders wichtigen Farbkorrektur dargestellt werden.

.1 Verzeichnung von Hochleistungsobjektiven

Die Restverzeichnung der neuesten Zeiss-Objektive wurde einer Analyse, jeweils 20 Exemplare des gleichen Typs umfassend, unterzogen. Grundlage waren die im Rahmen der Endabnahme vor Lieferung an Kunden erstellten Prüfprotokolle.

Die Ergebnisse sind in Bild 1 zusammengestellt. Besonders aussagekräftig sind die Angaben der Spalten C und E. Mit den Differenzen der Verzeichnung in den 4 Hauptradien gegen das jeweilige Objektivmittel sagen die Angaben in Spalte C etwas aus über die Symmetrie der Objektive. Die Symmetrie ist bildwinkel- und brennweitenabhängig, d. h. für große Winkel bzw. Brennweiten schwerer zu optimieren als für kleinere.

Objektivtyp für das Bildformat 230 x 230 mm	Quadratische Mittel- werte der Verzeichnung	A. in allen 4 Hauptradien (bezogen auf den Symmetriepunkt)	B. der Objektivmittel (Mittel aus den 4 Haupt- radien)	C. Differenzen der 4 Hauptradien gegen das jeweilige Objektivmittel	D. des Objektivtyps (Typenmittel)	E. Differenzen der Objek- tivmittel gegen Typen- mittel	Standardreihe
S - Pleogon A ₂ 1:4 f=85mm		3,9	2,8	2,7	2,0	2,0	ÜWW
Pleogon A ₂ 1:4 f=153mm		2,3	2,0	1,2	1,5	1,2	WW
Toparon A 1:5,6 f=210 mm		4,9	4,7	1,4	4,5	1,7	
Topar A ₁ 1:5,6 f=305mm		2,2	1,9	1,2	1,8	0,6	NW
Telikon A 1:6,3 f=610mm [Teleobjektiv mit stark verkürzter Baulänge]		29,3	29,0	3,7	29,9	3,5	

Bild 1 - Verzeichnung moderner Hochleistungsobjektive
Ergebnis einer statistischen Analyse

Pleogon A₂, Toparon A und Topar A₁ schneiden hier mit $\pm 1,2$ bzw. $\pm 1,4 \mu\text{m}$ besonders gut ab. Spalte E sagt etwas aus über die Streuung der Einzelobjektive gegen das Typenmittel. Auch hier ist eine Bildwinkel- bzw. Brennweitenabhängigkeit gegeben. Hier zeigen insbesondere die Standardobjektive Pleogon A₂ (WW) und Topar A₁ (NW) mit $\pm 1,2$ bzw. $\pm 0,6 (!) \mu\text{m}$ ganz ausgezeichnete Werte.

.2 Bildqualität und Farbkorrektur

Im Zusammenwirken aller Restabweichungen von Idealfall punktförmiger Strahlenvereinigung auf die Bildqualität spielt die Farbkorrektur eine wichtige Rolle. Sie ist darüber hinaus aber im Zusammenhang mit den unterschiedlichen Spektralbereichen der in der Praxis verwendeten Filmarten zu sehen. Mit Einführung der A-Charakteristik durch Carl Zeiss Oberkochen im Jahre 1962 /4/ wurden die spektralen Korrekturbereiche für Pan- bzw. Infrarotfilme zu einem Gesamtbereich zusammengefaßt und damit die Benutzung von Pan-, Infrarot-, Farb- und Falschfarbenmaterial ohne Objektivwechsel ermöglicht. Seither konnten die

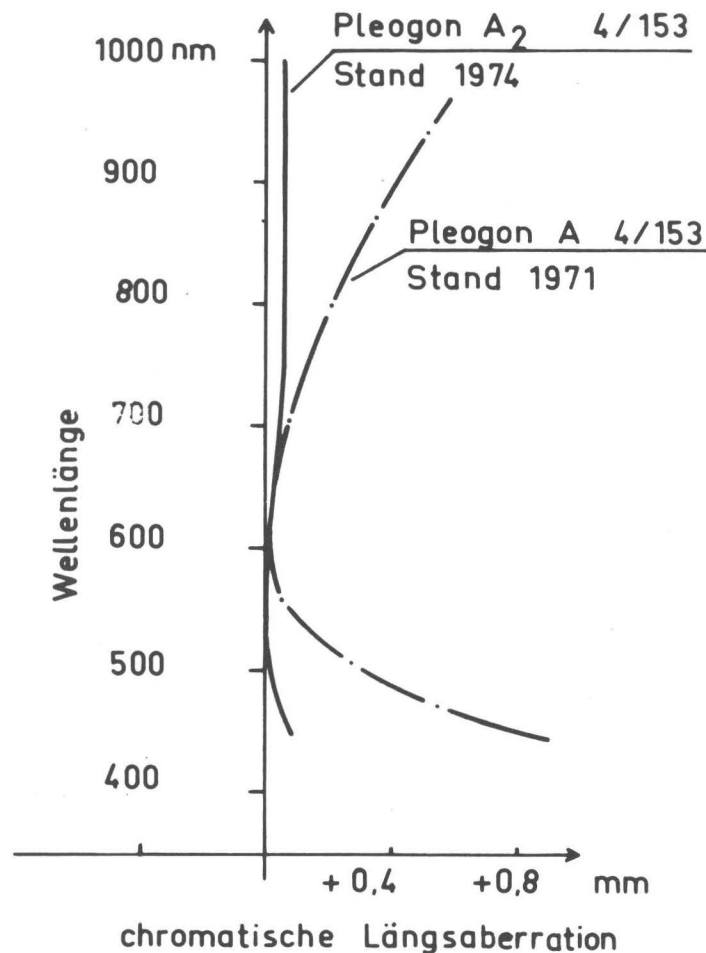


Bild 2 - Achsiale chromatische Längsabweichung für Pleogon A 4/153 (Entwicklungsstand 1971) und Pleogon A₂ 4/153 (Entwicklungsstand 1974)

spektralen Restfehler weiter verringert werden. Zur Verdeutlichung zeigt Bild 2 vergleichend die achsiale chromatische Längsabweichung für das Pleogon A 4/153 (Entwicklungsstand 1971) und das Pleogon A₂ 4/153 (Entwicklungsstand 1974). Man erkennt, daß die Längsabweichung für den gesamten Spektralbereich auf ein erstaunlich geringes Maß herabgedrückt werden konnte.

3. Steuersysteme und Navigationsdaten

Im Rahmen des Instrumentariums für Bildflüge stehen zahlreiche Komponenten zur Verfügung, um das ganze flexibel an die jeweiligen Erfordernisse anpassen zu können /3/. Hierzu bedarf es einer Reihe von Entscheidungen (z. B. RMK-, Film-, Filtertyp) und Einstellungen (z. B. Überdeckung, zulässige Bildwanderung etc.) vor dem Bildflug. Die Aktivitäten während des Fluges sollten durch Verwendung von Belichtungsmesser (EMI) und automatischer Horizontierung (HCon) im wesentlichen auf die Ermittlung und Einsteuerung von v/h-Wert und Abdrift beschränkt werden können. Je nach Besatzungsstärke bieten sich hierfür unterschiedliche Komponenten an: In der 3-Mann-Crew navigiert der Navigator mit dem Navigationsteleskop NT 1, der Operator ermittelt und steuert v/h-Wert plus Drift mit dem Navigationssensor NS 1.

Für eine 2-Mann-Crew sind beide Funktionen am Navigationsteleskop NT 2 zusammengefaßt; für v/h-Wert und Drift steht aber auch der Navigationsautomat NA zur Verfügung. Dieses Gerät ermittelt beide Werte selbstständig und leitet sie in den Intervall-Central-Computer ICC zur Verarbeitung weiter. Für die 1-Mann-Crew schließlich müssen diese Funktionen in jedem Falle dem NA übertragen werden.

Diese wenigen Beispiele mögen genügen, um die Möglichkeiten anzudeuten, die durch neueste elektronische Bausteine (z. B. Diodenzeilen im NA) eröffnet werden konnten.

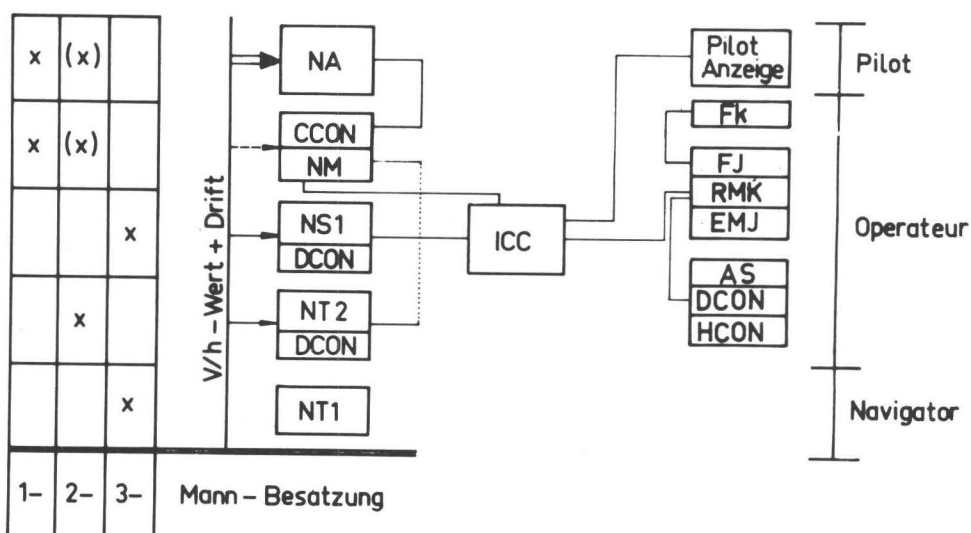


Bild 3 - RMK-Steuersystem bei unterschiedlicher Besatzungsstärke

.2 Datenregistrierung externer Navigationssysteme

Anspruchsvolle Entwicklungen haben auch bei den Instrumenten zur Flugzeugnavigation stattgefunden und zu äußerst leistungsfähigen Systemen geführt /2/. Erwähnt sei an dieser Stelle das "Photogrammetric Integrated Control System" (PICS) der Firma Litton. Auf der Grundlage der Inertial Navigation wurde ein Führungs- und Steuersystem für den Bildflug entwickelt. Das System erfüllt insgesamt drei Funktionen: es lenkt das Bildflugzeug im Mäanderflug über die vorgegebenen Flugstreifen, einschließlich der zwischen den Streifen erforderlichen U-Turns; es löst die Reihenmeßkammern (RMKs) im jeweils richtigen Zyklus aus und es eröffnet die Möglichkeit, die Navigationsdaten neben dem Luftbild digital zur Abbildung zu bringen. Bild 4 zeigt ein Beispiel. In den Nebenabbildungen einer RMK-Aufnahme sind mittels Datenanzeigesystem DAS die Navigationsdaten aus dem Trägheitsnavigationssystem Litton LTN-72 bzw. LTN-76 abgebildet.

Für die nachfolgende Auswertung können so die erforderlichen Informationen über Aufnahmeort (Länge, Breite, Höhe) Aufnahmerichtung (Längsneigung, Querneigung, Drift, Azimut) sowie Datum und Zeit entnommen werden.

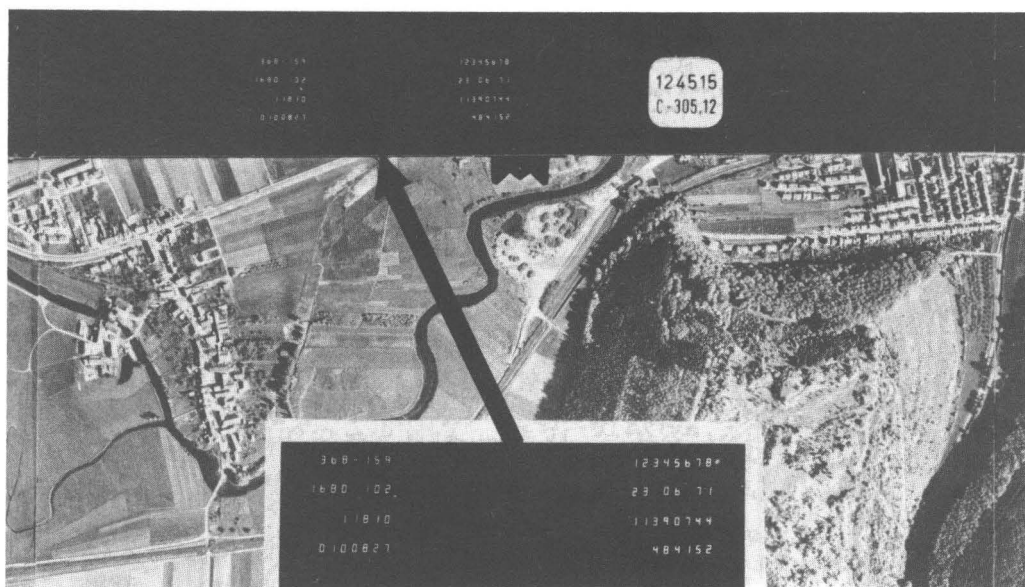


Bild 4 - Registrierung von Navigationsdaten mittels DAS aus dem Litton Inertial Navigationssystem, (PICS) in den Nebenabbildungen der Zeiss-RMK. (Aufnahmeort, Aufnahmerichtung, Zeitpunkt)

4. Erweiterung der Einsatzbedingungen

Die große Leistungsfähigkeit moderner Aufnahmesysteme, insbesondere die hohe Bildqualität und die geringe Verzeichnung, sind zunächst nur unter normalen Bedingungen bezüglich Flughöhe und Umwelt (Temperatur, Druck) gewährleistet. Abweichungen müssen rechtzeitig und sorgfältig beachtet werden.

.1 Flughöhen

Lagen die in der BRD üblichen Flughöhen kommerzieller Bildflüge um 1960 zwischen 700 und 4.000 Metern, mit deutlichen Schwerpunkten bei 1.800 und 2.500 Metern, so liegen sie heute zwischen 300 und 7.500 Metern, für Sonderanwendungen sogar bei 10.000 bis 13.000 Metern /1/. Luftbildkammern sind jedoch Fix-focus-Kammern, die fest auf eine bestimmte Aufnahmeentfernung (Flughöhe) fokussiert sind. Abweichungen von dieser Aufnahmeentfernung erzeugen solche von der punktförmigen Strahlenvereinigung (Unschärfen), die nur bis zu einer bestimmten Größenordnung toleriert werden können.

Langbrennweitige Luftbildkammern sind wesentlich empfindlicher als kurzbrennweitige; durch Abblenden kann die Unschärfe entsprechend der Apertur reduziert werden. In jedem Falle empfiehlt sich bei Bildflugplanung eine Überprüfung, wieweit die angestrebte Flughöhe noch im Schärfenbereich der verfügbaren Luftbildkammer liegt. Einen Einblick in die Verhältnisse gibt Bild 5. Für Überweit- und Weitwinkelkamern liegt danach bei einem tolerierten Zerstreungskreis von 30μ die untere Flughöhe mit 1:4 bei 60 bzw. 200 Metern, für Zwischenwinkel mit $f = 210$ mm und 1:5,6 bei 250 Metern. Für Normalwinkelkamern mit $f = 305$ mm und 1:5,6 sowie für Schmalwinkelkamern mit $f = 610$ mm und 1:6,3 ergeben sich 550 bzw. 1.900 Meter, sofern diese auf Unendlich abgestimmt wurden. Hier können sich also durchaus kritische Situationen ergeben, denen durch entsprechende Maßnahmen, z. B. durch Fokussierung auf eine endliche Aufnahmeentfernung entgegengewirkt werden kann.

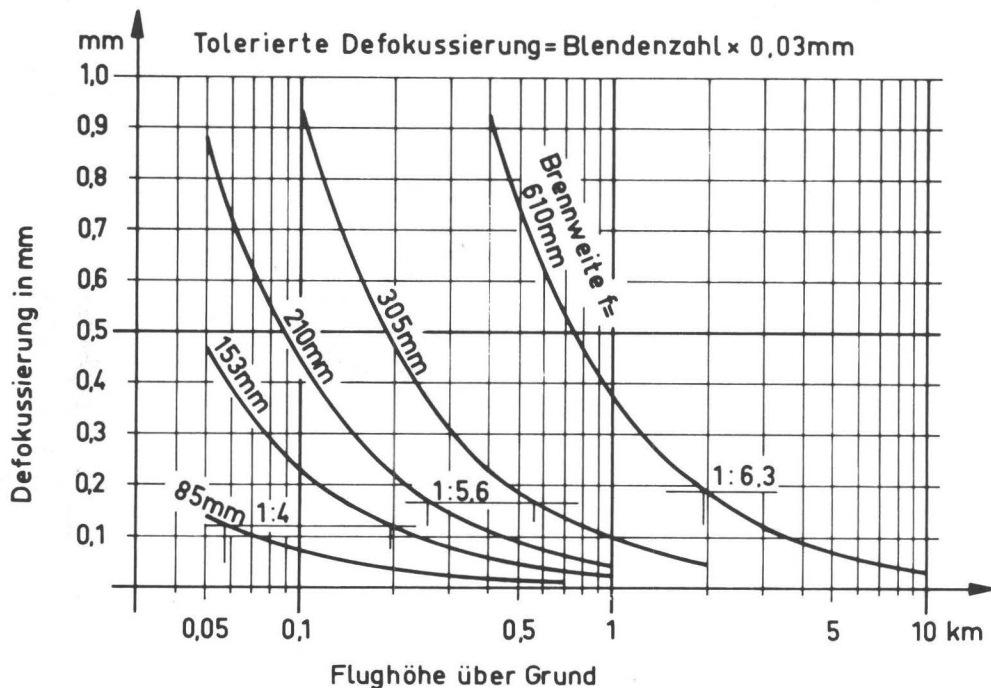


Bild 5 - Schärfentiefe von RMKs verschiedener Brennweiten

.2 Umweltbedingungen

Luftdruck und Temperatur beeinflussen die optischen Eigenschaften von Luftbildkammern nachhaltig. Verändert werden Verzeichnung, Kammerkonstante und Schärfenebene /5/. Die Änderungen sind abhängig von den jeweiligen Umweltbedingungen unter denen die Kammer arbeitet, d. h. also den Einbaubedingungen. Sie sind bezüglich der Verzeichnung in Bild 6, bezüglich Kammerkonstante und Schärfenebene (Fokus) in Bild 7 und Bild 8 zusammengestellt.

Man sieht, daß die auftretenden Änderungen nicht in jedem Falle vernachlässigt werden können, sondern beachtet werden müssen, sofern unter abweichenden Umweltbedingungen geflogen und trotzdem höchste Qualität erzielt werden soll.

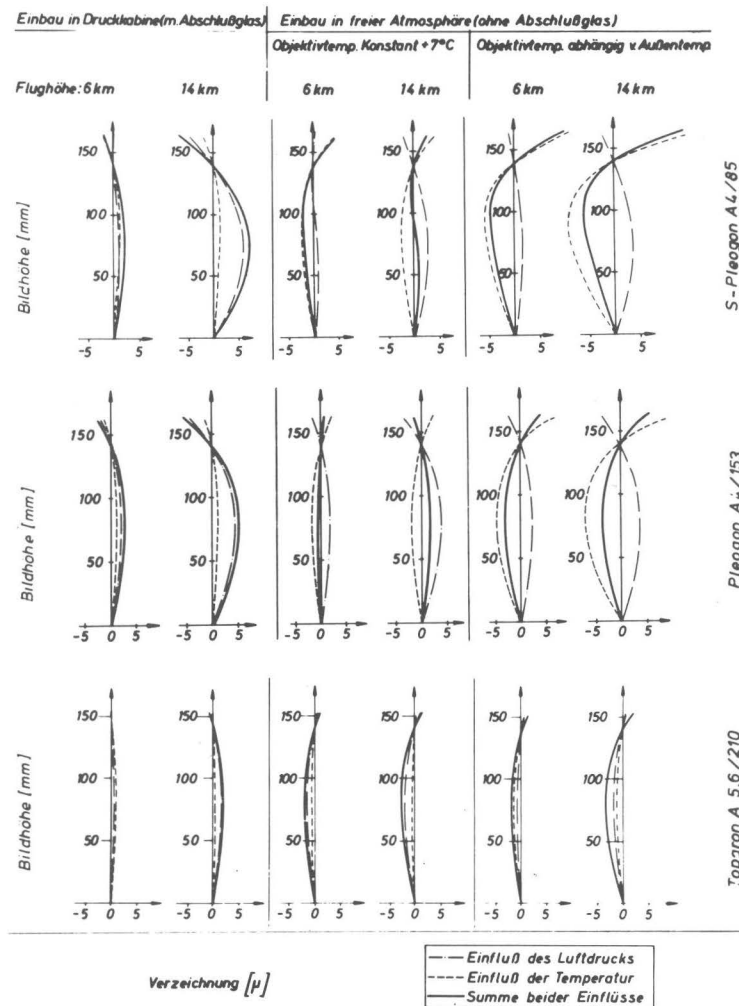


Bild 6 - Änderung der Verzeichnung von RMks entsprechend den Umweltbedingungen

	Einbau in Druckkabine mit Abschlußglas		Einbau in freier Atmosphäre ohne Abschlußglas			
			Objektivtemperatur			
			konstant + 7°		abhängig von Außentemperatur	
Flughöhe	6 km	14 km	6 km	14 km	6 km	14 km
	mm	mm	mm	mm	mm	mm
S-Pleogon A 4/ 85	-0,005	-0,019	-0,025	-0,038	-0,045	-0,076
Pleogon A 4/153	-0,020	-0,038	-0,036	-0,058	-0,047	-0,080
Toparon A 5,6/210	+0,014	-0,007	-0,021	-0,013	-0,082	-0,127
Topar A 5,6/305	+0,012	-0,017	-0,033	-0,028	-0,110	-0,172

Bild 7 - Änderung der Kammerkonstanten von RMKs entsprechend den Umweltbedingungen

	Einbau in Druckkabine mit Abschlußglas		Einbau in freier Atmosphäre ohne Abschlußglas			
			Objektivtemperatur			
			konstant +7°C		abhängig von Außentemperatur	
Flughöhe	Druckausgleich entspr. 2 km		6 km	14 km	6 km	14 km
	mm		mm	mm	mm	mm
S-Pleogon A 4/ 85	- 0,03		-0,04	-0,07	-0,01	-0,03
Pleogon A 4/153	- 0,04		-0,07	-0,13	-0,04	-0,09
Toparon A 5,6/210	- 0,05		-0,10	-0,17	-0,08	-0,14
Topar A 5,6/305	- 0,07		-0,15	-0,25	-0,13	-0,23

Bild 8 - Änderung der Fokussierung von RMKs entsprechend den Umweltbedingungen

5. Zusammenfassende Schlußbemerkung

In der Entwicklung aerophotogrammetrischer Aufnahmesysteme wurden Anfang der 50er Jahre mit Einführung der Hochleistungsobjektive sowie Anfang der 60er Jahre mit Erweiterung der Farbkorrektur zur A-Charakteristik deutlich sichtbare Fortschritte erzielt. In den 70er Jahren waren die Einzelschritte weniger groß und spektakulär, nichtsdestoweniger wurden jedoch erhebliche Verbesserungen erzielt. Durch Erstellung kompletter Objektivreihen, Erhöhung der Lichtstärke, weitere Verbesserung der Bildqualität insbesondere durch Verringerung der chromatischen Restfehler, Minimierung der Restverzeichnung, Einführung flexibler Steuersysteme, einschließlich Belichtungs- und Navigationsautomaten sowie den Anschluß an externe Inertial-Navigations-Systeme ist das Instrumentarium für Luftaufnahmen in diesem Zeitraum sehr vervollkommenet worden.

Die dadurch erzielte Leistungsfähigkeit ist hoch. Unter extremen Einsatzbedingungen - sehr geringe bzw. sehr große Flughöhen sowie Umweltbedingungen bei letzteren - müssen Änderungen von Schärfenebene, Verzeichnung und Kammerkonstante beachtet und gegebenenfalls berücksichtigt werden, wenn diese hohe Leistungsfähigkeit erhalten bleiben soll.

Schrifttum:

- /1/ IFAG IFAG Luftbildnachweise
 Institut für Angewandte Geodäsie Frankfurt am Main

- /2/ Litton, Aero The Role of Inertial Navigation in Aerial Survey
 Products and Photogrammetry
 Firmendruckschrift 809005

- /3/ Lorch, W. Der Navigationsautomat NA - Ein Baustein des
 Zeiss RMK-Steuerungssystems zur automatischen
 Überdeckungs- und Abdriftsteuerung
 BuL 1/1978, S. 20-25

- /4/ Meier, H.-K. Über die Benutzung von Infrarotemulsionen in der
 Photogrammetrie
 BuL 1/1962, S. 27-37

- /5/ Meier, H.-K. Verzeichnung Kammerkonstante und Fokussierung
 von Luftbildkammern unter dem Einfluß bildflug-
 spezifischer Umweltbedingungen
 BuL 6/1978, S. 193-198

14th CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY,
HAMBURG 1980
COMMISSION I
W.G. 1/6
Invited Paper

Dr. Lawrence E. Mertens
Project Manager, RCA Aerostat Systems
P. O. Box 4008
Patrick Air Force Base, Florida 32925
U.S.A.

Abstract

This paper summarizes the various degradations introduced by the water path and shows various methods of predicting imaging system performance. Several techniques for extending the useful imaging ranges are reviewed and evaluated.