

## GENAUIGKEIT VON HÖHENBLÖCKEN MIT GEMEINSAMER AUSGLEICHUNG VON STATOSKOP- ODER APR-HILFSDATEN

Von H. Klein, Stuttgart

Einleitung: Die Nützlichkeit von Hilfsdaten in der Aerotriangulation ist seit langem bekannt, bei praktischen Ausgleichungen wurden sie jedoch wenig oder unzureichend verwendet [1] - [5].

Im Hinblick auf die Höhengenaugigkeit von photogrammetrischen Blöcken schienen uns insbesondere Informationen aus APR- und Statoskopmessungen von besonderer Bedeutung. Wir haben deshalb das Programm PAT-M43-APR entwickelt: ein Programm für die kombinierte Ausgleichung von photogrammetrischen Modellen und APR- bzw. Statoskopdaten.

Ober die Genauigkeit von APR- bzw. Statoskopdaten war bisher nur wenig bekannt. Allgemein wurde je nach Flughöhe und Ausrüstung eine Genauigkeit zwischen 1.50 m und 4 m angenommen. Um diese Genauigkeiten und die Wirksamkeit dieser Hilfsdaten in simultanen Ausgleichungen zu prüfen, haben wir zwei kontrollierte Testblöcke mit APR- bzw. Statoskopmessungen ausgeglichen.

Theoretische Grundlagen: Das APR-Programm ist eine Weiterentwicklung des Programms PAT-M43 [6], [7]. Es löst die Aufgabe der allgemeinen räumlichen Blockausgleichung mit unabhängigen Modellen durch mehrere Iterationen von getrennter 4-Parameter-Lageausgleichung und 3-Parameter-Höhenausgleichung. Wegen des geringen Einflusses der Lage auf die Höhe soll hier auf die Lageausgleichung nicht eingegangen werden. Für die Höhengenausgleichung werden die folgenden linearisierten Fehlergleichungen verwendet:

$$\text{Modellpunkte: } \begin{bmatrix} v_x \\ v_z \end{bmatrix}_{ij} = \begin{bmatrix} -y & x \end{bmatrix}_{ij} \begin{bmatrix} da \\ db \end{bmatrix}_j - \begin{bmatrix} dz \end{bmatrix}_j + \begin{bmatrix} Z \end{bmatrix}_i - \begin{bmatrix} z \end{bmatrix}_{ij} \quad (1a)$$

$$\text{Projektions-} \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{bmatrix}_{ij} = \begin{bmatrix} 0 & -z \\ z & 0 \\ -y & x \end{bmatrix}_{ij} \begin{bmatrix} da \\ db \end{bmatrix}_j - \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ dz \end{bmatrix}_j + \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_i - \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{ij} \quad (1b)$$

$$\text{Paßpunkte: } \begin{bmatrix} v_z \end{bmatrix}_i = \begin{bmatrix} Z \end{bmatrix}_i - \begin{bmatrix} z \end{bmatrix}_i^{\text{terr}} \quad (1c)$$

- $(x, y, z)_{ij}$  = gemessene Modellkoordinaten von Punkt  $i$  in Modell  $j$
- $(X, Y, Z)_i$  = unbekannte Geländekoordinaten von Punkt  $i$
- $z_i$  = Paßpunkthöhe von Punkt  $i$
- $(da, db, dz)_j$  = unbekannte Transformationsparameter von Modell  $j$

Statoskopdaten bzw. Punkte aus APR-Profilen werden als gewichtete Beobachtungen in die Ausgleichung eingeführt. Sie werden in gewisser Weise als zusätzliche Höhenpaßpunkte verwendet, jedoch mit dem Unterschied, daß die isobare Bezugsfläche nicht bekannt ist. Wir führen deshalb zusätzliche unbekannte Orientierungsparameter ein. Zwei unbekannte Parameter je Fluglinie erlauben eine  $z$ -Verschiebung und eine Neigung der isobaren Fläche entlang jeder Fluglinie.

Für APR- bzw. Statoskophöhen: 
$$[v_z]_{ik} = - [a_k + b_k \cdot t_{ik}] + [Z]_i - [z]_{ik} \quad (2a)$$

Für Höhenpaßpunkte: 
$$[v_z]_i = [Z]_i - [z]_i^{terr} \quad (2b)$$

- $z_{ik}$  = APR-bzw. Statoskophöhe
- $Z_i$  = unbekannte Geländehöhe von Punkt i
- $z_i$  = Paßpunkthöhe von Punkt i
- $a_k, b_k$  = Orientierungsparameter für Linie k
- $t_{ik}$  = Entfernung des Punktes i auf der Linie k von willkürlichem Anfangspunkt.

Die unbekanntenen Höhen  $Z_i$  eines APR-Punktes erscheinen gleichzeitig als Unbekannte in Gleichung (1a), die eines Statoskoppunktes (Aufnahmekammer) erscheinen in (1b). Damit ist eine Verknüpfung von photogrammetrischen Blockdaten und APR- bzw. Statoskopdaten gegeben.

Der wesentliche Unterschied zwischen (2b) und (1c) ist die Tatsache, daß der Punkt i in (2b) nicht notwendigerweise in einem photogrammetrischen Modell gemessen sein muß. Damit ist eine Verknüpfung eines photogrammetrischen Blocks mit Höhenpaßpunkten außerhalb des Blocks möglich.

Das Programm PAT-M43-APR ist seit einigen Monaten in Venezuela und seit einem Jahr in Canada im praktischen Einsatz.

Um die Genauigkeiten der simultanen Ausgleichung zu untersuchen wurden an unserem Institut zwei verschiedene kontrollierte Testblöcke ausgeglichen.

Genauigkeitsergebnisse des APR-Testblocks Southwestern Ontario

Absolute Höhengenaugkeit in m, ermittelt aus 170 Vergleichspunkten

2 Paßpunktketten mit 6 Paßpunkten.

Simultane Ausgleichung:

Δ b 1)	ganzer Block			halber Block				Paßpunktverteilungen			unterbrochene Profile	Abstand der APR-Punkte
	76	38	19	38	19	10	5	2 Ketten	simultane Profile	Querprofile		
Reihe 1	2.45	1.66	1.46	1.57	1.32	1.20	1.21	ja	nein	nein	nein	0.5b 2)
Reihe 2	4.39	3.43	2.42	2.52	1.89	1.80	1.76	ja	nein	nein	ja	0.5b
Reihe 3	2.77	1.91	1.72	1.85	1.56	1.36	1.37	ja	nein	nein	nein	1 b
Reihe 4	3.61	3.02	1.79	2.37	1.68	1.53	1.49	ja	nein	nein	ja	1 b
Reihe 5	2.05	2.67	2.11	2.67	2.11	1.90	1.96	nein	ja	ja	nein	0.5b
Reihe 6	2.14	2.54	2.16	2.70	2.62	2.05	2.14	nein	ja	ja	ja	0.5b
Reihe 7	1.96	2.38	1.98	2.33	1.93	1.63	1.77	nein	ja	ja	nein	1 b
Reihe 8	<u>1.86</u>	1.69	1.63	1.67	1.61	<u>1.54</u>	<u>1.55</u>	nein	ja	nein	nein	1 b
Reihe 9	1.38	2.35	1.56	2.31	1.51	1.22	1.14	nein	ja	ja	nein	0.5b
Reihe 10	<u>1.45</u>	2.13	1.53	2.06	1.45	<u>1.22</u>	<u>1.17</u>	nein	ja	ja	nein	1 b

1) Δ b = Oberbrückungsabstand der Querprofile in Basislängen (Modelle) 2) b = Basislänge

Zwei-Schritt-Methode:

Absolute Höhengenaugkeit mit allen APR-Punkten und allen Abschlußpunkten an den Profilen = 3,24 m

APR-Testblock Southwestern Ontario: Der Testblock wurde uns vom kanadischen Ministerium für Energy, Mines and Resources zur Verfügung gestellt. Der Block liegt in Canada zwischen Lake Huron, Lake St. Clair, Lake Erie und Lake Ontario.

Datum des Bildflugs	: Juli 1972
Luftbildkammer	: class A, Weitwinkel, $f = 6''$
Absolute Flughöhe des Bildfluges	: 5250 m
Modellmaßstab	: 1/33 000
Streifen mit simultanem APR	: 5
Anzahl der Modelle / Streifen	: $\approx 76$
Anzahl der Modelle	: 380
Fläche	: 6750 km <sup>2</sup>
Ost-West-Ausdehnung	: 250 km
Nord-Süd-Ausdehnung	: 25 km
Anzahl der APR-Querprofile	: 10
Flughöhe der Querprofile	: $\approx 2000$ m
APR	: Radar APR
Anzahl der APR-Punkte	: 988
Anzahl der Höhenpaßpunkte	: 440

Das Gebiet ist hügelig mit Höhen zwischen 75 m und 370 m. Die Dichte der APR-Punkte ist 1/2 Basislänge.

Bis jetzt wurden 10 verschiedene Testreihen mit je 7 Ausgleichungen gerechnet, alle Ausgleichungen mit einem Minimum an Paßpunkten. In allen Testreihen wurden die 5 simultanen APR-Längsprofile benutzt. Innerhalb der Testreihen wurde die Anzahl der Querprofile variiert. Die Absolutgenauigkeit wurde aus 170 Paßpunkten ermittelt, die als Checkpunkte verwendet wurden.

Vor einer mehr ausführlichen Diskussion der Testreihen sollen einige Ergebnisse hervorgehoben werden:

1. Selbst ohne Paßpunkte und Querprofile über die ganze Länge des Blocks ( $\sim 250$  km oder 76 Modelle) kann eine Absolutgenauigkeit von 2 m erreicht werden.
2. Die absolute Höhengenaugigkeit wird besser, wenn Querprofile benutzt werden. Bei Querprofilen im Abstand von 19 Modellen ( $\sim 60$  km) werden 1.60 m Absolutgenauigkeit erreicht.
3. Die besten Ergebnisse erhält man mit Querprofilen im Abstand von 5 - 10 Modellen ( $\sim 15 - 30$  km). Die Absolutgenauigkeit erreicht 1.20 m. Dies ist offensichtlich die unterste Grenze des Testmaterials, gegeben durch Flughöhe, Bildmaßstab, APR-Ausrüstung und Paßpunkte.

Ein Vorteil der kombinierten Ausgleichung ist es, daß Profile die nicht über bekannten Wasserflächen oder anderen bekannten Höhen abgeschlossen sind, in die Ausgleichung einbezogen werden können und zur Genauigkeitssteigerung beitragen. Die Profile werden vom System automatisch über die Photogrammetrie verknüpft. Insbesondere kontrollieren freie Querprofile die Querneigungen um die Streifenachse in langen Streifen. Querprofile übernehmen praktisch die Rolle von Paßpunktketten.

Die Absolutgenauigkeit wird durch die Verwendung freier Querprofile um mehr als den Faktor 2 gesteigert (Testreihe 1 - 4).

Dieser Effekt wird gestört, wenn die Querprofile über bekannten Höhen abgeschlossen werden. Die Ergebnisse werden unregelmäßig und die Absolutgenauigkeit steigt nicht mehr in dem Maße wie mit freien Profilen (Testreihe 5 - 7). Manchmal wird die Absolutgenauigkeit sogar schlechter, wenn wir mehr Paßpunkte verwenden (vergleiche Testreihe 7 mit Reihe 8). Dieses Ergebnis ist die Folge der Genauigkeitsunterschiede der einzelnen Paßpunkte. Mit einem dichten APR-Netz und den damit verbundenen sehr guten geometrischen Eigenschaften des Blocks ist es besser auf weniger genaue Paßpunkte zu verzichten. Um die absolute Höhe der isobaren Bezugsfläche zu bestimmen, benötigen wir bei einem dichten APR-Netz nur wenige Höhenpaßpunkte.

Eine der Korrekturen, die vor der Ausgleichung an den APR-Messungen angebracht wird, ist die Henry Korrektur.

$$\Delta z = \frac{2 \omega}{g} \int_{s_1}^{s_2} A \cdot \sin L \cdot \sin \delta \cdot ds \quad (3)$$

$\omega$  = Winkelgeschwindigkeit

$g$  = lokale Erdbeschleunigung ( $g_{450} = 980.665 \text{ cm/sec}^2$ )

$A$  = wahre Fluggeschwindigkeit

$L$  = geographische Breite

$\delta$  = Driftwinkel

$ds$  = Linienelement entlang der APR-Linie.

In der Praxis wird die Henry Korrektur zwischen zwei Änderungen des Driftwinkels als lineare Korrektur angebracht. Da wir jedoch lineare Transformationen der Profile in der Ausgleichung zulassen, können wir die Ausgleichung mit nichtkorrigierten Profilen durchführen. Die Profile werden an den Punkten unterbrochen, an denen die Driftwinkeländerung registriert wurde. Jeder Teil wird dann rechnerisch als ein verschiedenes Profil behandelt.

Lokale Unstetigkeiten der isobaren Fläche können ebenso behandelt werden. In allen diesen Fällen müssen wir jedoch auf die geometrische Stabilität des Blockes achten, zusätzliche Querprofile oder zusätzliche Paßpunkte können notwendig sein. Ein Vergleich der Testreihen 1, 3 und 5 mit den Ergebnissen der Reihen 2, 4 und 6 zeigt, daß die Absolutgenauigkeit mit nichtunterbrochenen Profilen jeweils besser ist. Die größten Unterschiede haben wir ohne Querprofile, während sich die Ergebnisse mit ansteigender Anzahl von Querprofilen einander angleichen.

Wenn wir für die Ausgleichung als Paßpunkte nur die Abschlußpunkte auf den Wasserflächen verwenden, erhalten wir für das Verhältnis vom maximalen zum mittleren Absolutfehler einen Wert kleiner als 2. Dies deutet auf systematische Effekte hin.

Verwenden wir die Abschlußpunkte als Kontrollpunkte, so streuen die Verbesserungen an jedem See um einen bestimmaren Wert. Nach einer Korrektur der APR-Messungen um diesen Wert erhalten wir wesentlich bessere Ergebnisse. Als Absolutgenauigkeit erhalten wir bis zu 1,14 m (Testreihe 9 - 10).

Wegen der Verknüpfung der einzelnen APR-Profile über die photogrammetrischen Modelle können fehlerhafte APR-Messungen von bekannten Höhen (Paßpunkte oder Abschlußpunkte auf Wasserflächen) an großen Verbesserungen erkannt werden. Beim Testblock Southwestern Ontario konnten 4 grobe fehlerhafte Abschlußpunkte entdeckt werden, deren wirkliche Fehler größer als 7 m waren.

Die Genauigkeit der APR-Messungen ist wesentlich besser als erwartet. Sie ist abhängig von der Flughöhe. APR-Messungen aus größeren Höhen haben eine schlechtere Genauigkeit, aber selbst aus über 5000 m Höhe ist die Genauigkeit der APR-Messung noch besser als 1 m.

Bei APR-Tiefbefliegungen kann Paßpunktgenauigkeit erreicht werden. Ketten von Höhenpaßpunkten können dann durch APR-Profile ersetzt werden.

Die folgende Tabelle zeigt die quadratischen Mittelwerte der verschiedenen Gruppen von Beobachtungen und die entsprechenden, empirisch bestimmten Gewichte.

Art der Beobachtung	Gewichte (auf Gelände bezogen)	Quadratische Mittelwerte der Verbesserungen
Modellpunkte z	1	0.347
Paßpunktmessung im Modell	1	0.303
APR-Punktmessung im Modell	1	0.330
APR-Höhen aus 5200 m	0.25	0.913
APR-Höhen aus 2000 m	0.5	0.572
Paßpunkte	0.5	0.521
Sigmanull	0.43	

Der Statoskop-Testblock Oberschwaben: Die OEEPE hat im Rahmen des kontrollierten Aerotriangulationstests Oberschwaben eine Untersuchung der Genauigkeit von Statoskopmessungen eingeschlossen. Dieser Entschluß ermöglichte es uns den Testblock Oberschwaben zusammen mit den Statoskopregistrierungen simultan auszugleichen.

Datum des Bildfluges : April - Mai 1969  
 Luftbildkamera : RMK 15/23 bzw. RMK 8.5/23  
 Absolute Flughöhe : 4990 m bzw. 2380 m  
 Bildmaßstab : 1/28 000  
 Anzahl der Streifen : 15 WW, 15 OWW  
 Modelle / Streifen : 25  
 Querüberdeckung : 60 %  
 Nord-Süd-Ausdehnung : 62.5 km  
 Ost-West-Ausdehnung : 40 km  
 Anzahl der Paßpunkte : 484 (signalisiert)  
 Verknüpfungspunkte : signalisiert  
 Statoskop : Zeiss Statoskop S 2

Das Testfeld wurde sowohl mit einer Weitwinkelkammer als auch mit einer Oberweitwinkelkammer gezielt befliegen. Wegen der 60 % Querüberdeckung läßt sich jeder Block in 2 Teilblöcke mit 20 % Querüberdeckung und 8 bzw. 7 Streifen zerlegen. Die Ausmessung erfolgte mit Stereokomparatoren in Wien und Frankfurt für die Weitwinkelaufnahmen und Delft und Den Haag für die Oberweitwinkelaufnahmen [8].

Jeder der 4 Blöcke wurde in mehreren Testreihen ausgeglichen. Die Höhenpaßpunkte waren in Ketten zu 9 bzw. 8 Paßpunkten quer zur Streifenrichtung angeordnet. Die erste Ausgleichung einer jeden Testreihe wurde mit nur 2 Paßpunktketten am Blockrand durchgeführt, sodann wurde der Abstand der Paßpunktketten verringert, in einzelnen Fällen bis zu 4 Basislängen. Die Absolutgenauigkeit wurde aus den nicht an der Ausgleichung beteiligten Paßpunkten berechnet.

Vor der ausführlichen Diskussion der Ergebnisse scheint es mir zweckmäßig einige Genauigkeitsergebnisse vorwegzunehmen:

1. Mit nur 2 Paßpunktketten, d.h. 25 Modellen Oberbrückungsdistanz (= 62.5 km) und zwei zusätzlichen Paßpunkten an den offenen Rändern wurde eine Absolutgenauigkeit von 67 cm bei WW (= 0.15 ‰ h) und 54 cm bei OWW (= 0.23 ‰ h) erreicht.
2. Bei 3 Paßpunktketten, d.h. 12.5 Modellen Oberbrückungsdistanz (= 31 km) wurden 58 cm bei WW (= 0.11 ‰ h) und 52 cm bei OWW (0.22 ‰ h) erreicht.
3. Bei einer Oberbrückungsdistanz von 8 Modellen oder 21 km ist mit 50 cm Absolutgenauigkeit bei WW und OWW etwa dieselbe Genauigkeit erreicht, wie bei der Ausgleichung ohne Statoskop.

Tabelle 1: Genauigkeitsergebnisse des Statoskoptestblocks Oberschwaben  
 Absolute Höhengenaugigkeit in cm aus allen nichtverwendeten Paßpunkten (484)  
 Paßpunktketten mit 8 bzw. 9 Paßpunkten

I 1)	25	12.5	8	6	4	Zwischenpunkt 2)
OWW Den Haag	54	52	51	47	44	mit
OWW Den Haag	58	55	53	49	55	ohne
OWW Delft	64	63				mit
OWW Delft	80	63				ohne
WW Frankfurt	69	58	50	50	41	mit
WW Frankfurt	82	67	53	53	46	ohne
WW Wien	67	59				mit
WW Wien	78	58				ohne

1) I = Oberbrückungsdistanz der Paßpunktketten in Basislängen (Modelle)

2) Paßpunkt an den offenen Rändern zwischen den Paßpunktketten

Das Einfügen eines zusätzlichen Paßpunktes an den offenen Rändern zwischen zwei Paßpunktketten verbessert die Absolutgenauigkeit bei der Überbrückungsdistanz von 25 Modellen im Mittel um 11.3 cm bei der Überbrückungsdistanz von 12.5 Modellen nur noch um 3.3 cm. Nur bei der Überbrückungsdistanz von 25 Modellen ist die Verbesserung bedeutsam. Hier werden offensichtlich Streifenverwindungen kontrolliert.

Vergleicht man die Ergebnisse der Ausgleichungen mit Statoskop mit denen ohne Statoskop, so erkennt man, daß die Absolutgenauigkeit für  $i=25$  und für  $i=25(12.5)$  wesentlich verbessert wird, für  $i=12.5$  und  $i=12.5(6)$  sind die Genauigkeitssteigerungen auch noch beachtlich. Bei  $i=8$  und  $i=8(4)$  ist ohne Statoskop bereits eine Genauigkeit erreicht, die durch zusätzliche Statoskopmessungen kaum noch verbessert werden kann. Die Ergebnisse für  $I=25$  mit Statoskop sind bis auf den Block Frankfurt sogar noch wesentlich besser als die Ergebnisse ohne Statoskop für  $I=12.5$ .

**Tabelle 2:** Genauigkeitsvergleich der Ausgleichungen mit und ohne Statoskop  
 Absolute Höhengenaugkeit in cm aus allen nichtverwendeten Paßpunkten  
 Paßpunktketten mit 8 bzw. 9 Paßpunkten

I 1)	mit Statoskop			ohne Statoskop			Zwischenpunkt 2)
	25	12.5	8	25	12.5	8	
OWW Den Haag	54	52	51	105	64	53	mit
OWW Den Haag	58	55	53	82	77		ohne
OWW Delft	64	63		158	88		mit
OWW Delft	80	63		242	117		ohne
WW Frankfurt	69	58	50	213	53	45	mit
WW Frankfurt	82	67	53	605	56		ohne
WW Wien	67	59		123	74		mit
WW Wien	78	58		531	90		ohne

1) I = Überbrückungsdistanz der Paßpunktketten in Basislängen (Modelle)

2) Paßpunkt an den offenen Rändern zwischen den Paßpunktketten

Mit dem linearen Ansatz der Fehlergleichungen für die Statoskopmessungen können nur lineare Änderungen der isobaren Bezugsfläche erfaßt werden. Um sich nicht-linearen Änderungen besser anzupassen, wurden die Statoskoplinien an den Höhenpaßpunktketten unterbrochen und damit rechnerisch als getrennte Linien behandelt. Die Ergebnisse dieser Ausgleichungen zeigen keine eindeutige Tendenz für eine Verbesserung der Absolutgenauigkeit.

Da sowohl Frankfurt und Wien als auch Den Haag und Delft an den gleichen Tagen befliegen wurden, können die Änderungen nicht auf Unregelmäßigkeiten der isobaren Fläche beruhen.

Vergleich der Ausgleichungen mit unterbrochenen und nichtunterbrochenen Statoskoplinien:

Absolutgenauigkeit in cm

I 1)	unterbrochene Profile		nicht unterbr. Profile		Veränderung in cm	
	12.5	8	12.5	8	12.5	8
WW Frankfurt	55	45	67	53	+ 12	+ 8
OWW Den Haag	57	53	55	53	- 2	0
WW Wien	76		58		- 16	
OWW Delft	55		63		+ 8	

1) I = Abstand der Paßpunktketten in Basislängen

Um die Abhängigkeit der Absolutgenauigkeit von der Dichte der Statoskopmessungen zu untersuchen, wurde bei den Blöcken Frankfurt und Den Haag jede 2. Statoskopmessung eliminiert. Die Ergebnisse zeigen, daß das Auflockern der Statoskopmessungen keinen wesentlichen Genauigkeitsverlust zur Folge hat. Dies ist vor allem für die Bereinigung der Statoskopmessungen von größeren Fehlern von außerordentlichem Interesse.

Absolutgenauigkeit in Abhängigkeit von der Dichte der Statoskopmessungen:

Absolutgenauigkeit in cm

		ohne Elimination	mit Elimination	Veränderung in cm
Frankfurt	I = 25(12.5)	69	73	- 4
	I = 12.5(6)	58	59	- 1
	I = 4(2)	41	40	+ 1
Den Haag	I = 25(12.5)	54	59	- 5
	I = 12.5(6)	52	55	- 3
	I = 4(2)	44	44	0

Die Genauigkeit der Statoskopmessungen ist wie auch bei den APR-Messungen wesentlich besser als erwartet. Auch hier liegt eine Abhängigkeit von der Flughöhe vor, sie ist aber nicht so ausgeprägt wie beim APR.

Die quadratischen Mittelwerte sind für die verschiedenen Ausgleichungen desselben Blocks fast konstant, große Unterschiede bestehen jedoch zwischen den einzelnen Blöcken.



Quadratische Mittelwerte der Verbesserungen der Statoskopmessungen in cm

Block	$[v^2] / n$	Gewichte *)
OWW Den Haag	35	0.25
WW Frankfurt	38	0.25
OWW Delft	60	0.05
WW Wien	80	0.05

\*) Empirisch aus mehreren Ausgleichungen bestimmt

Übrige Gewichte: Modellpunkte und Projektionszentren = 1  
 Paßpunkte =  $\infty$

Von besonderem Interesse sind die Verbesserungen der Statoskopmessungen nach der Ausgleichung: Sie deuten auf keine groben Unregelmäßigkeiten der isobaren Fläche hin, keine systematischen Effekte sind erkennbar. Auch in der Feinstruktur deuten sie nur auf zufällige Fehler hin. Erhebliche Genauigkeitsunterschiede zeigen sich jedoch, wenn man die einzelnen Statoskoplinien miteinander vergleicht.

Bildet man die Differenzen aus Statoskophöhen und den Höhen der Projektionszentren (aus einer Ausgleichung ohne Statoskop mit allen Paßpunkten) und interpoliert linear für jede Linie, so kann man die Abweichungen als Fehler der Statoskopmessungen betrachten.

Die quadratischen Mittelwerte

$$m_{\text{Stat}} = \sqrt{\frac{dZ \cdot dZ}{n - 2}}$$

zeigen für die einzelnen Linien erhebliche Unterschiede.

Weitwinkel,  $h_{\text{abs}} = 4990 \text{ m}$

Streifen	Datum	Zeit	$m_{\text{Stat}}$ (m)
1	8.4.	12.09	0.94
2	8.4.	12.30	1.20
3	8.4.	13.04	0.59
4	8.4.	13.30	0.79
5	8.4.	13.54	0.63
6	8.4.	14.24	0.72
7	9.4.	12.54	0.65
8	12.5.	12.11	1.30
9	9.4.	13.18	0.58
10	12.5.	12.34	0.87
11	12.5.	14.07	0.91
12	12.5.	13.00	1.18
13	12.5.	14.27	0.80
14	12.5.	13.21	0.91
15	12.5.	14.47	0.80

Oberweitwinkel,  $h_{abs} = 3085 \text{ m}$

Streifen	Datum	Zeit	$m_{Stat} \text{ (m)}$
1	10.4.	11.29	1.08
2	10.4.	11.50	1.12
3	10.4.	12.12	0.26
4	10.4.	12.33	0.30
5	10.4.	12.54	0.31
6	10.4.	13.16	0.27
7	10.4.	13.36	0.79
8	10.4.	13.58	1.16
9	26.4.	11.40	1.30
10	26.4.	12.00	1.10
11	26.4.	12.20	0.67
12	26.4.	12.40	0.82
13	26.4.	12.58	0.47
14	26.4.	13.17	0.44
15	26.4.	13.36	0.34

Da im wesentlichen immer die ersten Streifen der vier Hauptflugtage die schlechtesten Ergebnisse zeigen, liegt die Vermutung nahe, daß das Statoskop zu Beginn der Bildflüge nicht ausreichend genug vorbereitet war.

#### Zusammenfassung der Ergebnisse:

Die Ausgleichung der beiden kontrollierten Testblöcke hat gezeigt, daß APR- und Statoskopmessungen wesentlich genauer sind als bisher angenommen wurde. Praktische Blöcke die mit dem Programm PAT-M43-APR ausgeglichen wurden bestätigen diese Ergebnisse. (Block Kufra: Bildmaßstab 1:80 000, Flughöhe 7000 m, quadratischer Mittelwert der Verbesserungen der Statoskopmessungen 1.05 m). Bei mittleren Flughöhen ( $\sim 3000 \text{ m}$ ) kann die Genauigkeit der Messungen 50 cm betragen, selbst aus Höhen über 5000 m ist eine Genauigkeit von 1 m bis 1.50 m erreichbar.

Um die gute Genauigkeit der APR- bzw. Statoskopmessungen auszunutzen sind simultane Ausgleichungen notwendig.

Seither wurden die Profile durch eine lineare Transformation in zwei bekannte Punkte eingehängt. Die einzelnen Punkte aus diesen Profilen wurden sodann als Paßpunkte für die anschließende Ausgleichung verwendet. Mit dieser Methode wurde beim Testblock Southwestern Ontario eine Absolutgenauigkeit von 3.24 m erreicht - gegenüber mindestens 1.50 m bei der simultanen Ausgleichung.

Die simultane Ausgleichung bietet wesentliche Vorteile:

1. Die Profile werden durch die Vielzahl der Verknüpfungen mit dem photogrammetrischen Block besser in Höhe und Neigung bestimmt als durch Vorausgleichungen.
2. Lineare Korrekturen werden bei der Ausgleichung automatisch angebracht.
3. Freie Profile können verwendet werden. Bei Unstetigkeiten der isobaren Fläche können die Profile unterbrochen werden.
4. Eine genauere Analyse der Restfehler an den APR- bzw. Statoskopmessungen ist möglich.

5. Bei der simultanen Ausgleichung können die Gewichte und damit die Genauigkeit der Hilfsdaten empirisch bestimmt und in richtiger Relation zu den Gewichten der übrigen Beobachtungen verwendet werden.
6. Die Bearbeitung der gesamten Ausgleichung wird wesentlich vereinfacht.

In der Genauigkeit scheint das Statoskop gegenüber dem simultanen APR - zumindest beim Radar APR - etwas besser zu sein. Die Anschaffung des Geräts ist wesentlich billiger. Bei schwierigem Gelände (Urwald) ist es ein Vorteil, daß sich die Messungen nicht auf Geländepunkte sondern auf die Projektionszentren beziehen, allerdings sind diese bei den meisten praktischen Blöcken ungenauer als die Modellpunkte.

Das APR hat demgegenüber den Vorteil, daß man zusätzliche Querprofile ohne zusätzliche Querstreifen fliegen kann. Eine wesentliche Genauigkeitssteigerung kann durch APR-Tiefbefliegungen erreicht werden. Abschlußpunkte außerhalb des Blocks machen es möglich, photogrammetrische Blöcke mit nur wenig oder gar keinen Höhenpaßpunkten innerhalb des Blocks auszugleichen.

Ob mit APR oder Statoskop, die erreichbare Absolutgenauigkeit ist ausreichend für Kartierungen mit Höhenlinienintervallen von 10 m, 5 m oder vielleicht sogar 2 m, selbst mit Paßpunktabständen von 100 km und mehr.

#### Literatur

- [1] H.G. Jerie and I. Kure: Data analysis and report on an investigation into the application of the airborne profile recorder to photogrammetric mapping, ITC Publications, A 25/26, 80 p., 1964.
- [2] H.G. Jerie: Theoretical height accuracy of strip and block triangulation with and without use of auxiliary data, Photogrammetria, 23 (1968), 19-44.
- [3] H.G. Jerie: Techniques, evaluation and applications of auxiliary data in aerial triangulation, Invited paper, Com. III, ISP-Congress Lausanne, 1968, 31 p.
- [4] I. Kure: APR-experience and applications (with special emphasis on the Saudia Arabia project), ITC journal, 1973-4, 618-639.
- [5] I.M. Zarzycki: The use of auxiliary data in aerial triangulation, Invited Paper, Com. III, ISP-Congress Ottawa, 1972, 24 p.
- [6] F. Ackermann, E. Ebner, H. Klein: Ein Programmpaket für die Aerotriangulation mit unabhängigen Modellen, Bildmessung und Luftbildwesen, 38 (1970), 218-224.
- [7] F. Ackermann, H. Ebner, H. Klein: Combined Block Adjustment of APR Data and Independent Photogrammetric Models, The Canadian Surveyor, 26 (1972)-4, 384-396.
- [8] F. Ackermann: Accuracy of Statoscope-Data, Results from the OEEPE-Test "Oberschwaben", Invited Paper, Symposium Com. III, 1974 Stuttgart, 11 p.

