

Neue Ergebnisse zur Aerotriangulation mit Statoskop-Daten*

Von FRIEDRICH ACKERMANN und WERNER SCHNEIDER, Stuttgart

Zusammenfassung

Bei früheren Untersuchungen von Statoskopmessungen wurde einerseits eine unerwartet hohe Genauigkeit festgestellt, andererseits ließen größere systematische Anteile in den Restverbesserungen Systemfehler (z. B. Umkehrfehler) vermuten.

Dies war Anlaß zu dem neuen kontrollierten Versuchsflug 1981 „A 81 Herrenberg–Oberndorf“ (Weitwinkel, Bildmaßstab 1:16 000) mit einem empfindlicheren Statoskop und einer zusätzlichen Anzeige von Steigen und Fallen des Flugzeugs zur Erfassung des Umkehrfehlers. Die Genauigkeit der Statoskopmessungen von 0,8–0,9 m (bei 2900 m absoluter Flughöhe) hat sich erneut bestätigt, eine erhoffte Genauigkeitssteigerung in den Bereich von 0,5 m konnte jedoch nicht erzielt werden. Auch nach Korrektur des Umkehrfehlers zeigten die Restverbesserungen noch systematische Anteile, die auf weitere Systemfehler deuten.

Simultane Streifenausgleichungen mit den Statoskopmessungen ergaben bei Paßpunktabständen von 7–30 Basislängen Höhengenaugigkeiten der ausgeglichenen Modellpunkte von 0,4–0,8 m. Damit ist bestätigt, daß das Statoskop mit Erfolg auch für Kartenmaßstäbe von 1:10 000 und 1:5 000 eingesetzt werden kann.

New Results of Experiments with Statoscope Flights

Previous investigations have shown on the one hand unexpected high accuracy of statoscope data. On the other hand systematic errors in the residuals pointed to possible system errors such as backlash effects.

Therefore, in 1981 a new test flight “A 81 Herrenberg–Oberndorf” (wide angle, photoscale 1:16 000) was made, with a statoscope of high sensitivity, equipped with an indicator signalling the momentary climbing or descending of the aircraft from which the backlash effects were to be derived. The accuracy of the statoscope measurements of about 0.8–0.9 m (at 2900 m absolute flying altitude) was again confirmed, although the anticipated accuracy of 0.5 m could not be reached. After correction of the backlash error the residuals still showed systematic effects, indicating additional system errors.

Nevertheless, simultaneous strip adjustments with the statoscope measurements resulted in vertical accuracies of terrain check points of 0.4–0.8 m, for bridging distances of 7–30 base lengths, respectively. Thus it is confirmed that the statoscope can be successfully applied also for contouring at map scales of 1:10 000 or 1:5 000.

Derniers résultats obtenus par statoscope lors de vols expérimentaux

Au cours d'investigations antérieures de mesures effectuées au statoscope, on a constaté d'une part une excellente précision inattendue, d'autre part de grandes erreurs systématiques des corrections résiduelles décelaient des erreurs inhérentes au système telles qu'erreurs de retournement.

Pour cette raison, on a effectué en 1981 un nouveau vol expérimental «A 81 Herrenberg–Oberndorf» (grand-angulaire, échelle 1:16 000) au moyen d'un statoscope plus sensible avec indication supplémentaire des montées et des descentes de l'avion pour déceler l'erreur de retournement. La précision de 0.8 à 0.9 m (pour une altitude de vol absolue de 2900 m) s'est à nouveau confirmée, cependant on n'a pas pu obtenir une augmentation de la précision à 0.5 m. Même après la correction de l'erreur de retournement, les corrections résiduelles indiquaient toujours des erreurs systématiques qui signalaient d'autres erreurs inhérentes au système.

Néanmoins les compensations simultanées par bandes réalisées au moyen de mesures au statoscope fournissaient des précisions altimétriques des points compensés de 0.4 à 0.8 m pour un écart entre les points de contrôle de 7 à 30 longueurs de base.

Ceci confirme l'emploi efficace du statoscope également pour des échelles de carte de 1:10 000 et 1:5 000.

1. Einleitung

1.1 Das Statoskop ist ein Feinbarometer, das während des Bildflugs kontinuierlich Druckunterschiede dp zwischen einer unbekanntem isobaren Bezugsfläche und der aktuellen Flugzeugposition anzeigt. Die augenblickliche Anzeige des Instruments wird üblicherweise bei jedem Meßbild

* Erweiterte Fassung des Vortrags von W. SCHNEIDER bei der 38. Photogrammetrischen Woche 1981 in Stuttgart, 6. 10. 1981.

auf der Randleiste abgebildet. Abhängig vom absoluten Luftdruck und der Temperatur in Flughöhe sowie einer vom Hersteller ermittelten Eichkonstanten des Instruments lassen sich die Einheiten der Anzeige in Höhenunterschiede $dz_{Stat.}$ umrechnen.

Man erhält auf diese Weise für die Projektionszentren jeden Streifens ein gemessenes Höhenprofil der Flugbahn, das allerdings auf eine isobare Fläche mit unbekannter Höhe und Längsneigung bezogen ist. Für den Bereich eines Flugstreifens kann der Höhenverlauf der isobaren Fläche im allgemeinen als linear angenommen werden.

1.2 Als bald nach der Erfindung des Statoskops 1929 durch V. VÄISÄLÄ sind auf diese Weise barometrisch gemessene Höhen der Aufnahmeorte von Bildreihen vielfältig auch zur Aerotriangulation nach der Methode des sog. Aeronivellements verwendet worden. Trotz guter Erfolge bei der kleinmaßstäbigen Aerotriangulation flaute die Anwendung des Statoskops in den 60er Jahren jedoch deutlich ab, vermutlich weil die analytischen Methoden der Aerotriangulation die Einbeziehung von Statoskop-Messungen zunächst nicht vorsahen. Entsprechend ging auch das Interesse der Geräteindustrie am Bau bzw. an der Neuentwicklung von Statoskopen zurück.

1.3 Inzwischen sind jedoch Rechenprogramme entstanden, welche die Einbeziehung von Statoskop-Daten als zusätzliche Beobachtungen in die Streifen- oder Blockausgleichung erlauben, wobei per Streifen die unbekannt orientierten Parameter der isobaren Flächen simultan mit allen anderen Unbekannten des photogrammetrischen Blocks bestimmt werden. Diese Entwicklung hat zu einem besonders wirksamen und wirtschaftlichen Verfahren geführt, das für die kleinmaßstäbige Aerotriangulation die Überbrückung großer Distanzen ohne Höhenpaßpunkte erlaubt (siehe z. B. [4, 5, 6]).

2. Verschiedene Ergebnisse kleinmaßstäbiger Blockausgleichungen mit Statoskopdaten

2.1 Sowohl durch theoretische als auch durch experimentelle Untersuchungen und durch praktische Anwendungen ist seit längerer Zeit bekannt und bestätigt, daß die simultane Ausgleichung von photogrammetrischen Blöcken mit Statoskop-Messungen die Fehlerfortpflanzung in Blöcken bezüglich der Höhen drastisch reduziert, so daß in der Anwendung auf kleinmaßstäbige Kartierung praktisch unbegrenzt große höhenpaßpunktlose Flächen überbrückt werden können, s. [5].

Auf moderne Verhältnisse bezogen hat z. B. H. KLEIN die theoretisch zu erwartende Höhengenaugkeit von Modellblöcken nach der simultanen Blockausgleichung mit Statoskopdaten für Blöcke mit 10 Streifen à 10, 20, 40, 60 bzw. 80 Modellen für Weitwinkel- und für Überweitwinkel-Aufnahmen des Bildmaßstabs 1:50 000 (Flughöhe 7650 m bzw. 4250 m) untersucht (unveröffentlicht, siehe auch [5]). Dabei wurde eine Genauigkeit für die Höhenmessungen in den Modellen von jeweils 20 µm im Bildmaßstab und für die Statoskopmessungen von 85 cm bzw. 58 cm angenommen. Unter der Annahme von jeweils nur einer Kette von Höhenpaßpunkten quer zur Streifenrichtung am Anfang und am Ende der Blöcke ergaben sich die in Tab. 1 zusammengestellten Höhengenaugkeiten der ausgeglichenen Blöcke.

Tabelle 1 Theoretische Höhengenaugkeit von Modell-Blöcken mit simultaner Ausgleichung von Statoskopmessungen, nach H. KLEIN

Blockgröße	Modelle km ²	10 × 10 90 × 45	10 × 20 90 × 90	10 × 40 90 × 180	10 × 60 90 × 270	10 × 80 90 × 360
Weitwinkel	σ_z Mittel	1,2 m	1,4 m	1,5 m	1,5 m	1,6 m
	σ_z max.	1,9	2,1	2,3	2,4	2,5
Überweitwinkel	σ_z Mittel		1,4	1,5	1,6	1,6
	σ_z max.		2,1	2,3	2,5	2,6

Die mittleren Höhenfehler der ausgeglichenen Punkte liegen also nur um den Faktor 1,2–1,6 höher als die Meßgenauigkeit im Einzelmodell und steigen bei wachsender Überbrückungsdistanz nur sehr schwach an. Danach reicht mit den angenommenen Parametern die Höhengenaugkeit der mit Statoskopdaten ausgeglichenen Modellblöcke auch bei im praktischen Bereich beliebig großen Überbrückungen für die Schichtlinienkartierung mit Äquidistanzen bis herunter zu 10 m und sogar 5 m völlig aus.

2.2 Praktische Tests mit Überprüfung der Höhengenaugkeit anhand terrestrisch bestimmter Vergleichspunkte haben diese hervorragenden Genauigkeitseigenschaften der simultanen Ausgleichung von Statoskop-Blöcken im Bereich mittlerer und kleiner Bildmaßstäbe im wesentlichen bestätigt:

So ergaben sich nach [10, 6] beim OEEPE Testblock Oberschwaben (Bildmaßstab 1:28000, je 2 Teilblöcke von 8×25 Modellen = $40 \times 62,5 \text{ km}^2$ und 7×25 Modellen = $35 \times 62,5 \text{ km}^2$) mit je einer Höhenpaßpunktete am Anfang und Ende des Blocks, d. h. mit einer Überbrückungsdistanz von 25 Basislängen = $62,5 \text{ km}$, für die ausgeglichenen Modellblöcke mittlere Höhenfehler von

80 cm (68 cm)¹ mit WW-Aufnahmen, $h_{\text{abs}} = 4990 \text{ m}$
 69 cm (59 cm)¹ mit ÜWW-Aufnahmen, $h_{\text{abs}} = 3085 \text{ m}$

Weitere Testergebnisse bestätigen, daß mit Verwendung von Statoskop-Daten die mittleren Höhenfehler der Blöcke bei großen Überbrückungsdistanzen nur sehr schwach zunehmen (siehe [7, 8, 9, 11, 12, 13, 15]). Hier muß im Sinne einer Bestätigung auch auf die Ergebnisse von Blockausgleichungen mit APR-Daten hingewiesen werden, die im wesentlichen ebenfalls von der Genauigkeit der einbezogenen Statoskop-Messungen abhängen (siehe [4, 6, 14, 16]).

Es kann somit als theoretisch einsichtig und praktisch bestätigt gelten, daß für Schichtlinienkartierung für die bei kleinen und mittleren Kartenmaßstäben üblichen Äquidistanzen von 50 m, 20 m, 10 m und mit Einschränkungen bis zu 5 m bei Verwendung von Statoskop- (oder APR-) Messungen in der Aerotriangulation praktisch beliebig große Bereiche ohne Höhenpaßpunkte überbrückt werden können. (Bei sehr langen Blöcken kann gegebenenfalls die Querneigung der Streifen durch zusätzliche Statoskop-Querstreifen unter Kontrolle gehalten werden.) Damit erweist sich das Statoskop in diesem Anwendungsbereich und unter 10 km Flughöhe als ein äußerst wirksames und wirtschaftliches Meßgerät, das wohl das beste Kosten/Nutzen-Verhältnis aufweist, das wir in der Photogrammetrie kennen und dessen verbreitete Anwendung im angegebenen Bereich nur allgemein empfohlen werden kann.

3. Zur Genauigkeit der Statoskopmessungen

3.1 Alle bisherigen Untersuchungen über die Wirksamkeit des Statoskops zielten auf die Anwendung im Bereich kleiner oder mittlerer Kartenmaßstäbe. Die in Flughöhen von 3–6 km praktisch erreichbare Genauigkeitsgrenze der Statoskopmessungen wurde ursprünglich bei höchstens 1 m bis 1,5 m oder zum Teil noch wesentlich schlechter angenommen.

Bekanntlich nimmt gemäß der barometrischen Höhenformel bei konstanter Druck-Meßgenauigkeit des Statoskops die Anzeige-Empfindlichkeit bzw. die entsprechende Höhenmeßgenauigkeit mit zunehmender Flughöhe ab (siehe z. B. [1]). Eine angenommene Anzeige-Empfindlichkeit eines Statoskops von z. B. 0,70 m in Meereshöhe nimmt entsprechend in 3 bzw. 8 km Flughöhe Werte von 0,85 m bzw. 1,30 m an, d. h. die Genauigkeitsabnahme bezüglich kleinerer Bildmaßstäbe ist nicht kritisch, solange Statoskop und Kamera noch außerhalb von Druckkabinen verwendet werden können.

3.2 Dagegen hat man die Anwendung des Statoskops bei niedrigen Flughöhen nie in Betracht gezogen, wohl weil sich dabei das Problem der Höhenpaßpunkte nicht in derselben Form wie bei

¹ mit 2 zusätzlichen Höhenpaßpunkten in den Seitenmitten des Blocks.

kleinmaßstäbigen Aufnahmen stellt und weil das Verhältnis zwischen photogrammetrischer Höhenmeßgenauigkeit (im Bildmaßstab annähernd konstant, z. B. $\sigma_z = 15 \mu\text{m}$) und der Statoskopgenauigkeit bei großen Bildmaßstäben ungünstiger wird.

Die neueren Ergebnisse insbesondere von kontrollierten Versuchen lassen jedoch 2 Feststellungen treffen, welche die sinnvolle Anwendung des Statoskops mit größeren Bildmaßstäben als bisher üblich nahelegen:

- a) Die absolute Höhengenaugkeit der ausgeglichenen Blöcke ist besser als die Statoskop-Meßgenauigkeit allein.
- b) Die Statoskop-Meßgenauigkeit ist höher als bisher angenommen und kann in Flughöhen unter 5 km Werte von 1 m deutlich unterschreiten.

Im übrigen sind überhaupt die Genauigkeitsgrenzen der barometrischen Messung unter Bildflug-Bedingungen nicht erörtert oder untersucht worden.

3.3 Hinweise darauf, daß die barometrische Höhenmessung beim Bildflug ihre Genauigkeitsgrenze offenbar noch nicht erreicht hat, ergaben sich erstmals aus der Analyse der Daten aus dem Testblock Oberschwaben (s. [10]). Dabei konnte die Genauigkeit der Statoskop-Messungen selbst – bezogen auf die jeweilige isobare Fläche – dadurch abgeschätzt werden, daß jedes Statoskop-Höhenprofil auf die aus einer Blockausgleichung mit allen Paßpunkten erhaltenen und somit quasi-wahren Höhenwerte der Projektionszentren transformiert wurde. Die mittleren Differenzen für die jeweils 15 Streifen sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

Das Mittel über alle 15 Streifen ergab mit 0,89 m für Weitwinkel (Flughöhe 4990 m) und 0,79 m für Überweitwinkel (Flughöhe 3085 m) erstaunlich gute Werte. Noch überraschender jedoch waren die Mittelwerte für einige Streifen des Überweitwinkelblocks im Bereich von 0,26 m–0,47 m (7 Streifen) bzw. –0,82 m (10 Streifen).

Diese Ergebnisse waren um so bemerkenswerter, als die Höhenstufe des damals (1969) verwendeten ZEISS-Statoskops S 2 bezogen auf Meereshöhe auf ca. 0,80 m/Skaleneinheit kalibriert war, d. h. für Flughöhen von 3085 m bzw. 4990 m bei 0,90 m bzw. 1,05 m pro Skaleneinheit lag. Die Werte liegen teilweise an der Grenze der Ablesegenauigkeit, und in allen Abweichungen sind noch

Tabelle 2 Mittlere Abweichungen der Statoskop-Messungen gegenüber der jeweiligen linearen isobaren Fläche (OEEPE Versuch Oberschwaben, nach [10])

Streifen	Weitwinkel	Überweitwinkel
	$h_{\text{abs}} = 4990 \text{ m}$ m_{Stat}	$h_{\text{abs}} = 3085 \text{ m}$ m_{Stat}
1	0,94 m	1,08 m
2	1,20	1,12
3	0,59	0,26
4	0,79	0,30
5	0,63	0,31
6	0,72	0,27
7	0,65	0,79
8	1,30	1,16
9	0,58	1,30
10	0,87	1,10
11	0,91	0,67
12	1,18	0,82
13	0,80	0,47
14	0,91	0,44
15	0,80	0,34
	0,89	0,79

die Ungenauigkeiten der Vergleichshöhen der Projektionszentren enthalten. Überdies war (mit einer Ausnahme) festzustellen, daß alle Mittelwerte > 1 m stets an den beiden ersten Streifen der jeweiligen, insgesamt auf verschiedene Tage verteilten Befliegungen auftraten, das System also möglicherweise zu Beginn der Flüge noch nicht völlig meßbereit war.

3.4 Es konnte also vermutet werden, daß die Genauigkeitsgrenze des Meßsystems Statoskop noch nicht erreicht war, d. h. möglicherweise für Anwendungen in größeren Kartenmaßstäben noch gesenkt werden kann.

Dies war der Anlaß für das Institut für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, im Jahre 1979 einen kontrollierten Statoskop-Versuchsflug durchführen zu lassen, der 1981 wiederholt wurde. Dabei sollte die bei erniedrigter Flughöhe mit einem empfindlicher anzeigenden Statoskop erreichbare Genauigkeitssteigerung festgestellt werden, wobei am Meßsystem des Statoskops und dem üblichen System der Druckerfassung nichts geändert wurde.

4. Statoskopversuchsflüge Bundesautobahn A 81 Herrenberg–Oberndorf 1979 und 1981

4.1 Für den Versuchsflug 1979 wurde das Statoskop S 2 der Firma CARL ZEISS, Oberkochen, mit einer dreistelligen Digitalanzeige versehen, die ohne Einschränkung des Meßbereichs eine Anzeigempfindlichkeit von ca. 5 cm pro letzte Ziffer einzustellen erlaubte. Das eigentliche Meßsystem blieb dabei in seiner Genauigkeit jedoch unverändert.

Als Versuchsgebiet wurde ein verhältnismäßig gerades Stück der Bundesautobahn A 81 zwischen Herrenberg und Oberndorf gewählt, auf dem mit Hilfe des Autobahnamtes Baden-Württemberg Paß- und Kontrollpunkte signalisiert und eingemessen werden konnten. Der Bildflug 1979 ist durch folgende Angaben gekennzeichnet:

Gebiet	A 81 Herrenberg–Oberndorf (km 610–650)
Bildmaßstab	1:20 000; $h_G = 3080$ m, $h_{abs} = 3580$ m
Befliegung	5. 8. 1979, 9.15–9.40 h, Fa. Photogrammetrie GmbH München
Kammer	ZEISS RMK 15/23
Statoskop	ZEISS S 2 mit Digitalanzeige
Flugzeug	CESSNA 206
Streifen	2 (Hin- und Rückflug)
Längsüberdeckung	90%
Bilder	90/Streifen, 23/Streifen für $p = 60\%$
Mittlerer Abstand der Projektionszentren ($p = 90\%$)	420 m \approx 6,2 sec. (250 km/h)
Höhenpaßpunkte	480 Punkte auf der Fahrbahn der A 81, deren Höhen vom Autobahnamt Baden-Württemberg aus dem Deckenbuch interpoliert wurden 48 nivellierte Punkte außerhalb der Autobahn

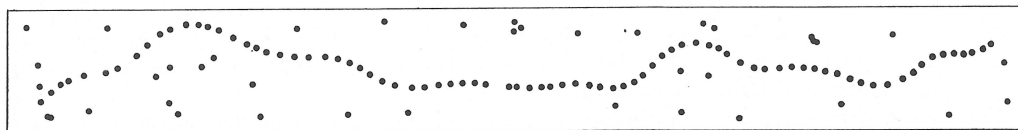


Abb. 1 Flugstreifen A 81 Herrenberg–Oberndorf (1979)
Verteilung der Höhenpaßpunkte (gilt ähnlich für den Flug 1981)

Die Ausmessung des Bildmaterials erfolgte am PLANICOMP C 100 und am Stereokomparator PSK 2. Für die Modellmessung wurden die Bilder mit 90% Längsüberdeckung von Hin- und Rückflug in je 4 verknüpfte Streifen zu je 60% Längsüberdeckung aufgeteilt. Für die Untersuchung der Genauigkeit der Statoskopmessungen wurden jeweils alle Modelle der betreffenden 4

Streifen mit dem Rechenprogramm PAT-M 43 für unabhängige Modelle unter Verwendung aller gegebenen Höhenpaßpunkte als Block simultan ausgeglichen. Die Statoskopmessungen wurden dabei mit einem sehr kleinen Gewicht (0,001) in die Ausgleichung eingeführt, so daß sie keinen Einfluß auf die Werte der ausgeglichenen Koordinaten hatten und ihre Verbesserungen die Fehler der Statoskopmessungen selbst repräsentieren.

Die Ergebnisse dieser Ausgleichungen waren:	Hinflug	Rückflug
σ_{oH} :	0,19 m	0,20 m
Quadr. Mittelwert der Verbesserungen der Projektionszentren in z:	0,12 m	0,12 m
Quadr. Mittelwert der Verbesserungen der Höhenpaßpunkte:	0,11 m	0,13 m
Quadr. Mittelwert der Verbesserungen der Statoskopmessungen	<u>1,57 m</u>	<u>1,42 m</u>

Dieses Ergebnis war sehr enttäuschend. Die Genauigkeit der Statoskopmessungen war durch die empfindlichere Anzeige gegenüber den Oberschwaben-Ergebnissen nicht verbessert worden, sondern entsprach im Gegenteil mit deutlich schlechteren Werten keineswegs den Erwartungen.

4.2 Die Analyse der Verbesserungen an den Statoskopmessungen brachte aber eine interessante Erkenntnis, die dieses Ergebnis zum Teil erklären kann (siehe Abb. 3, Anhang):

Betrachtet man die Verbesserungen im Zusammenhang mit dem Steigen und Sinken des Flugzeugs, so fällt deutlich auf, daß die Verbesserungen bei ansteigender Flugbahn meist positiv und bei absinkender Flugbahn meist negativ sind.

Da die Entfernung zwischen den einzelnen Projektionszentren bei 90% Längsüberdeckung immerhin noch ca. 400 m beträgt und die Höhenänderungen in der Flugbahn relativ klein sind, kann aufgrund dieses Flugprofils nicht eindeutig für jeden Punkt festgestellt werden, ob die Flugbahn im Moment der Registrierung tatsächlich steigend, sinkend oder eventuell horizontal war. Eine strenge Erfassung und Korrektur dieses systematischen Fehlers ist deshalb nicht möglich.

Eine näherungsweise Korrektur, bei der momentanes Steigen oder Sinken des Flugzeugs im Augenblick der Aufnahme aus der Statoskopablesung des vorhergehenden und des nachfolgenden Punktes ermittelt wurde, ergab:

	Hinflug	Rückflug
Systematischer Anteil der Verbesserungen wegen Steigen und Sinken	1,04 m	0,94 m
Quadratischer Mittelwert der Statoskopverbesserungen nach Korrektur des systematischen Anteils	<u>1,17 m</u>	<u>1,07 m</u>

Die korrigierten Profile (siehe Abb. 4, Anhang) weisen noch kleine Effekte dieses sogenannten Umkehr- oder Schleppfehlers auf, die zeigen, daß die Korrektur den Fehler nicht vollständig erfaßt.

4.3 Diese Ergebnisse veranlaßten den Hersteller zu einer Untersuchung des verwendeten Statoskops mit Hilfe eines Fahrstuhls, bei der identische Höhen jeweils von unten und oben (Steigen, Sinken) angefahren und die Statoskopanzeigen verglichen wurden. Die Anzeige wies dabei einen Unterschied von ca. 0,8 alten Skalenteilen auf, was einem Höhenunterschied von ca. 0,6 m, bezogen auf eine Höhe von 500 m, entspricht.

Ein wesentlicher Anteil des Umkehrfehlers dürfte somit im Meßprinzip des verwendeten Statoskops selbst und weniger an den äußeren Bedingungen z. B. der Druckerfassung liegen. Dabei ist noch offen, ob die einzelnen Instrumente verschieden große Schleppfehler aufweisen.

4.4 Für einen neuen Versuchsflug 1981 im Rahmen eines von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Projekts wurde daher das Statoskop vom Hersteller mit einer zusätzlichen Anzeige für Steigen und Sinken zur Erfassung des Umkehrfehlers versehen. Die Prüfung auf Steigen und Sinken erfolgt dabei alle 0,5 sec durch Vergleich des Momentanwerts der Statoskopanzeige mit dem um 0,5 sec älteren Wert.

Dieser neue Versuchsflug war im wesentlichen eine Wiederholung der Befliegung von 1979 mit gewissen Abweichungen:

Bildmaßstab	1:16 000; $h_G = 2400$ m, $h_{abs} = 2900$ m
Befliegung	20. 5. 1981, 15.20–16.10 h Fa. Rheinische Braunkohlenwerke AG
Flugzeug	Partenavia P 68 B
Streifen	4 (je 2 Hin- und Rückflüge)
Bilder	125/Streifen, 31/Streifen für $p = 60\%$
Mittlerer Abstand der Projektionszentren ($p = 90\%$)	320 m \approx 4,5 sec (260 km/h)
Höhenpaßpunkte	156 vom Autobahnamt Baden-Württemberg auf beiden Randstreifen der A 81 jeweils im Abstand von 500 m signalisierte Vollpaßpunkte 41 nivellierte Punkte (identisch mit 1979)

Von diesem Versuch konnten bis jetzt zwei Flüge (1. Rückflug Streifen 5–8, 1. Hinflug Streifen 1–4) mit je 90% Längsüberdeckung am PLANICOMP C 100 ausgemessen und untersucht werden. Die Messung und Ausgleichung erfolgte wie beim Versuchsflug 1979.

Ergebnis der gemeinsamen Ausgleichung von jeweils 4 übereinanderliegenden Streifen mit unkorrigiertem Statoskopprofil:

	Streifen 5–8	Streifen 1–4
σ_{oH} :	0,17 m	0,17 m
Quadr. Mittelwert der Verbesserungen der Projektionszentren in z:	0,08 m	0,07 m
Quadr. Mittelwert der Verbesserungen der Höhenpaßpunkte:	0,08 m	0,07 m
Quadr. Mittelwert der Verbesserungen der Statoskoppunkte:	<u>1,02 m</u>	<u>1,00 m</u>

4.5 Auch hier läßt die Betrachtung der Restverbesserungen der Statoskopmessungen im Zusammenhang mit dem Flugweg den schon in der ersten Befliegung festgestellten Umkehrfehler erkennen. Die Beträge der Verbesserungen und des Umkehrfehlers sind jedoch um ca. 40% kleiner, was sich nicht aus der etwas niedrigeren Flughöhe erklären läßt. Da es sich um dasselbe Statoskop wie beim ersten Flug handelte, könnten Unterschiede in den äußeren Bedingungen für die Druckerfassung wie Strömungsverhältnisse am Flugzeug oder meteorologische Verhältnisse (geringerer Seitenwind) die Ursache für die Unterschiede sein.

Zur Korrektur des Umkehrfehlers wurde als Kriterium für Steigen und Sinken wie im ersten Flug die Höhe des jeweils vorhergehenden und nachfolgenden Punktes herangezogen. Eine Korrektur nach der zusätzlich angebrachten Anzeige „Steigen und Sinken“ erwies sich als weniger wirkungsvoll. Der Vergleich dieser Anzeige mit dem Höhenverlauf der Projektionszentren läßt stark vermuten, daß sie bei einer Anzahl von Punkten versagt hat oder durch unwirksame Kleinbewegungen überlagert war. Die geplante Auswertung der restlichen 2 Streifen dieses Flugs wird darüber weitere Information bringen.

Nach Berechnung und Korrektur eines systematischen Umkehrfehlers von 0,59 m für die Streifen 5–8 bzw. von 0,53 m für die Streifen 1–4 ergab sich der quadratische Mittelwert der verbleibenden Verbesserungen an den Statoskopmessungen zu 0,84 m (Streifen 5–8) bzw. 0,85 m (Streifen 1–4).

Damit sind ungefähr dieselben Genauigkeiten der Statoskopmessungen wie seinerzeit beim OEEPE-Versuch Oberschwaben erreicht, bei dem offenbar keine nennenswerten systematischen Umkehrfehler aufgetreten sind. Die verbesserte Ablesegenauigkeit des Statoskops und die geringere Flughöhe haben sich also kaum niedergeschlagen, so daß die verbleibenden Fehler im System insgesamt (einschließlich der Mikrostruktur der isobaren Fläche, der Druckerfassung und des Meßsystems) ihre Ursachen haben müssen. Ohne weitere Untersuchungen kann darüber zunächst wenig ausgesagt werden.

Die Betrachtung der verbliebenen Verbesserungen im Zusammenhang mit der Flugbahn läßt noch kleine lokale Reste des Umkehrfehlers sowie weitere systematische Anteile wie z. B. eine Art Trägheit der Statoskopanzeige beim Übergang von Steigen zu Sinken und umgekehrt erkennen.

Die für die simultane Block- und Streifenausgleichung vorausgesetzte Linearität der isobaren Fläche scheint mit hinreichender Genauigkeit gegeben zu sein. Eine Krümmung oder Durchbiegung des Statoskop-Profiles läßt sich nicht erkennen.

5. Genauigkeit simultaner Streifenausgleichungen mit Statoskopdaten

Die in Kapitel 4 beschriebenen Untersuchungen beschränkten sich auf die Genauigkeit der Statoskopmessungen als solche. Diese sind aber nur zusätzliche Beobachtungen, die mit entsprechendem Gewicht in die Streifen- bzw. Blockausgleichung einbezogen werden. Von ebenso großem Interesse ist deshalb die Frage, welche Höhengenaugigkeit die Streifen nach der Simultanausgleichung mit Statoskopdaten in Abhängigkeit von den Paßpunktabständen erreichen.

Mit den korrigierten Statoskopmessungen des Versuchsflugs 1981 wurden deshalb verschiedene Streifen- und Paßpunktvarianten mit und ohne Statoskopdaten berechnet.

Die Statoskopmessungen erhielten dabei entsprechend ihrer oben ermittelten Genauigkeit das Gewicht 0,08, bezogen auf die Höhengenaugigkeit (in Meter im Geländesystem) der photogrammetrischen Modellpunkte als Gewichtseinheit.

Aus den Streifen mit $p=90\%$ Längsüberdeckung wurden je 4 Streifen mit $p=60\%$ gebildet und getrennt ausgeglichen.

Diese 4 Streifen wurden dann zu je 2 Streifen mit $p=80\%$ zur gemeinsamen Ausgleichung zusammengefaßt, und schließlich wurde auch der komplette Flugstreifen mit $p=90\%$ gemeinsam ausgeglichen.

Für alle Streifenvarianten wurden nach Abb. 2 je 4 Paßpunktversionen jeweils mit und ohne Einbeziehung von Statoskopdaten berechnet.

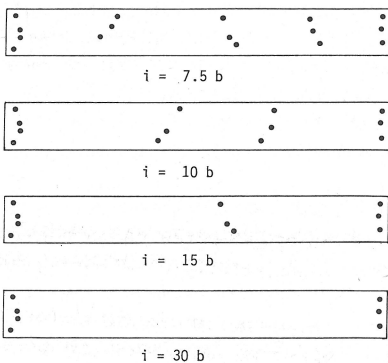


Abb. 2 A 81 Herrenberg-Oberndorf (1981) - Höhenpaßpunkt-Versionen

Die verbliebenen terrestrisch gemessenen Höhenpaßpunkte dienten als Kontrollpunkte zur Ermittlung der Höhengenaugigkeit μ_z der ausgeglichenen Streifen.

Die Ergebnisse sind in den Tab. 3-5 zusammengestellt (siehe Anhang).

Den Verlauf der Höhengenaugigkeit μ_z in Abhängigkeit von der Überbrückungsdistanz $i(b)$ zeigen die Abb. 5 und 6 (siehe Anhang).

Zu den Ergebnissen können zunächst für Streifen mit $p=60\%$ Längsüberdeckung folgende Anmerkungen gemacht werden:

- Die absolute Höhengenaugigkeit μ_z der ohne Benutzung von Statoskopdaten ausgeglichenen Streifen ist wie bekannt fast linear abhängig von der in Basislängen ausgedrückten Überbrückungsdistanz i zwischen den Höhenpaßpunktketten. Die Höhengenaugigkeit fällt dabei rasch ab,

für $i=7,5$ b, 10 b, 15 b gilt im Mittel entsprechend $\mu_z=0,55$ m, 0,91 m, 1,71 m. Bei $i=30$ b werden in diesem Fall keine systematischen Streifendeformationen mehr korrigiert, so daß diese Ergebnisse ohne Bedeutung sind.

- Mit der Einbeziehung von Statoskopdaten in die Streifenausgleichung wird die Abhängigkeit der absoluten Höhengenaugkeit μ_z der Streifen von der Überbrückungsdistanz i wie ebenfalls bekannt stark reduziert bzw. verschwindet für große i fast vollständig. Die Höhengenaugkeit der ausgeglichenen Streifen ist insgesamt besser als die Genauigkeit der Statoskopmessungen selbst bzw. kommt ihr bei großen Überbrückungsdistanzen offenbar gleich.
- Nur bei sehr kurzen Überbrückungsdistanzen $\leq 7,5$ b wird das Statoskop in dem hier vorhandenen Bildmaßstab unwirksam gegenüber den genaueren photogrammetrischen Messungen, so daß sich die Ergebnisse denen ohne Statoskop annähern. Andererseits sind im vorliegenden Fall die Ergebnisse mit Statoskop auch bei sehr großen Überbrückungsdistanzen i noch vergleichbar mit Paßpunktabständen von 7-10 Basislängen bei Streifen ohne Statoskop.
- Trotz kaum unterschiedlicher statistischer Daten sind die absoluten Ergebnisse des Hinflugs (Streifen 1-4) deutlich ungünstiger als die des Rückflugs (Streifen 5-8). Eine konkrete Ursache kann dafür nicht benannt werden. Dennoch kann festgehalten werden, daß für die Kartierung von Schichtlinien mit Äquidistanzen von 2,5 m oder 2 m die Verwendung des Statoskops für die erforderlichen Höhenpaßpunkte mindestens Abstände von 10 Basislängen in Streifenrichtung zuläßt. Das Statoskop ist somit auch für die Schichtlinienkartierung in großen Maßstäben (1:10000 und größer) einsetzbar und erlaubt zumindest eine wesentlich größere Flexibilität in der Paßpunktanordnung als ohne seine Verwendung.

Für Streifen mit 80% und 90% Längsüberdeckung ergeben sich im vorliegenden Fall keine wesentlichen Unterschiede zu den Einfach-Streifen mit 60% Längsüberdeckung. Dies gilt sowohl mit als auch ohne die Verwendung von Statoskopdaten. Somit bestätigt sich die alte Erkenntnis, daß größere Längsüberdeckung im Streifen wegen der hohen Korrelation benachbarter Bilder keine wesentliche Genauigkeitssteigerung garantiert. Im übrigen treten im vorliegenden Fall die Unterschiede zwischen Hin- und Rückflug noch stärker als bei den Einfach-Streifen in Erscheinung, so daß mit dem vorliegenden experimentellen Material keine weitergehenden Folgerungen gezogen werden können.

6. Schlußfolgerungen

Die schon bekannten günstigen Eigenschaften der simultanen Blockausgleichung mit Statoskopdaten für die Fehlerfortpflanzung in der Höhe werden durch diesen Versuch auch für Streifen mit dem Bildmaßstab 1:16000 bestätigt. Dabei konnte gezeigt werden, daß an die Genauigkeit der Statoskopmessungen selbst keine allzuhohen Anforderungen gestellt werden müssen und dennoch auch für Kartierungen in den Maßstäben 1:10000 und gegebenenfalls auch 1:5000 höchst interessante Ergebnisse erzielt werden.

Die durch Modifizierung des Statoskops erhoffte Genauigkeitssteigerung der Statoskopmessungen bei Flughöhen um 3000 m in den Bereich von 0,5 m oder gar auf 0,3 m, wie sie in einzelnen Streifen des Tests Oberschwaben erzielt werden konnte, läßt sich offenbar nicht ohne weiteres erreichen. Es sind dazu weitere Untersuchungen erforderlich, die zu einer Beseitigung oder Korrekturmöglichkeit offensichtlich noch vorhandener Systemfehler führen könnten.

Die Ergebnisse legen jedenfalls den Schluß nahe, daß das Potential der Statoskopmessung noch nicht völlig ausgeschöpft ist und daß die physikalische Genauigkeitsgrenze noch nicht erreicht ist. Weitere, vertiefte Untersuchungen sind daher erforderlich, aus denen möglicherweise neue Konzeptionen für die Konstruktion von Statoskopen entspringen. Angesichts der Tatsache, daß es bisher keine ähnlich wirtschaftliche und universell anwendbare Alternative zur Einsparung von Höhenpaßpunkten im Bereich großmaßstäbiger Auswertungen gibt, können weitere Untersuchungen und Entwicklungen nur dringend empfohlen werden.

7. Anhang

Tabelle 3 Flug A 81 Herrenberg-Oberndorf (1981), Streifen mit p=60% Längsüberdeckung: Höhengenaugigkeit mit und ohne Statoskopmessungen

Paßpunkt- version	Anzahl			mit Statoskop			ohne Statoskop	
	Paß- pkte.	Kontr.- pkte.	Stat.- pkte.	QMV ¹ Stat.	σ_{oH}	μ_z	μ_z	σ_{oH}
<i>Streifen 5</i>								
i~ 7,5 b	24	169	33	0,62 m	0,20 m	0,34 m	0,58 m	0,20 m
i~ 10 b	16	177	33	0,64	0,20	0,36	0,90	0,20
i~ 15 b	15	178	33	0,62	0,20	0,40	1,75	0,20
i~ 30 b	11	182	33	0,62	0,20	0,43	(12,5)	0,19
<i>Streifen 6</i>								
i~ 7,5 b	24	173	33	0,81	0,20	0,39	0,57	0,19
i~ 10 b	18	179	33	0,85	0,20	0,38	0,96	0,19
i~ 15 b	15	182	33	0,81	0,20	0,35	1,38	0,19
i~ 30 b	11	186	33	0,81	0,20	0,41	(7,8)	0,19
<i>Streifen 7</i>								
i~ 7,5 b	24	171	33	0,67	0,19	0,40	0,66	0,19
i~ 10 b	18	177	33	0,74	0,19	0,58	0,88	0,19
i~ 15 b	15	180	33	0,65	0,19	0,74	1,45	0,19
i~ 30 b	11	184	33	0,64	0,19	0,87	(9,2)	0,19
<i>Streifen 8</i>								
i~ 7,5 b	24	171	32	0,71	0,19	0,45	0,64	0,19
i~ 10 b	18	177	32	0,72	0,20	0,59	0,93	0,19
i~ 15 b	15	180	32	0,71	0,19	0,62	1,79	0,19
i~ 30 b	11	184	32	0,71	0,19	0,60	(5,5)	0,19
<i>Mittel aus Streifen 5, 6, 7 u. 8</i>								
i~ 7,5 b	24	171	33	0,71	0,20	0,40	0,61	0,19
i~ 10 b	18	177	33	0,74	0,20	0,49	0,92	0,19
i~ 15 b	15	180	33	0,70	0,20	0,55	1,60	0,19
i~ 30 b	11	184	33	0,70	0,20	0,61	(9,1)	0,19
<i>Streifen 1</i>								
i~ 7,5 b	24	171	30	0,79	0,20	0,41	0,41	0,20
i~ 10 b	18	177	30	0,61	0,20	0,83	0,82	0,21
i~ 15 b	15	180	30	0,66	0,20	1,20	1,75	0,20
i~ 30 b	11	184	30	0,58	0,20	0,97	(19,4)	0,19
<i>Streifen 2</i>								
i~ 7,5 b	24	171	30	0,68	0,18	0,49	0,50	0,19
i~ 10 b	18	177	30	0,61	0,18	0,83	1,16	0,18
i~ 15 b	15	180	30	0,55	0,18	1,12	1,75	0,18
i~ 30 b	11	184	30	0,55	0,18	1,15	(12,9)	0,18
<i>Streifen 3</i>								
i~ 7,5 b	24	171	30	0,71	0,19	0,46	0,54	0,19
i~ 10 b	18	177	30	0,73	0,19	0,45	0,75	0,19
i~ 15 b	15	180	30	0,73	0,19	0,78	2,16	0,19
i~ 30 b	11	184	30	0,67	0,19	0,64	(15,3)	0,18

¹ QMV steht für „quadratischer Mittelwert der Verbesserungen“

Tabelle 3 Fortsetzung

Paßpunkt- version	Anzahl			mit Statoskop			ohne Statoskop	
	Paß- pkte.	Kontr.- pkte.	Stat.- pkte.	QMV ¹ Stat.	σ_{oH}	μ_z	μ_z	σ_{oH}
<i>Streifen 4</i>								
i ~ 7,5 b	26	170	29	0,78 m	0,19 m	0,39 m	0,40 m	0,19 m
i ~ 10 b	20	176	29	0,77	0,19	0,65	0,84	0,19
i ~ 15 b	17	179	29	0,76	0,19	0,74	1,52	0,19
i ~ 30 b	13	183	29	0,71	0,19	0,69	(9,9)	0,18
<i>Mittel aus Streifen 1, 2, 3 und 4</i>								
i ~ 7,5 b	24	171	30	0,74	0,19	0,44	0,47	0,19
i ~ 10 b	18	177	30	0,68	0,19	0,71	0,91	0,19
i ~ 15 b	15	180	30	0,68	0,19	0,98	1,81	0,19
i ~ 30 b	11	184	30	0,63	0,19	0,89	(14,8)	0,18
<i>Mittel aus Streifen 1-8</i>								
i ~ 7,5 b	24	172	31	0,72	0,19	0,42	0,55	0,19
i ~ 10 b	18	178	31	0,71	0,19	0,61	0,91	0,19
i ~ 15 b	15	181	31	0,69	0,19	0,80	1,17	0,19
i ~ 30 b	11	185	31	0,67	0,19	0,76	(12,3)	0,19

¹ QMV steht für „quadratischer Mittelwert der Verbesserungen v“

Tabelle 4 Flug A 81 Herrenberg-Oberndorf (1981), Streifen mit p=80% Längsüberdeckung; Höhengenaugigkeit mit und ohne Statoskopmessungen

Paßpunkt- version	Anzahl			mit Statoskop			ohne Statoskop	
	Paß- pkte.	Kontr.- pkte.	Stat.- pkte.	QMV ¹ Stat.	σ_{oH}	μ_z	μ_z	σ_{oH}
<i>Streifen 5+7</i>								
i ~ 7,5 b	24	172	66	0,67 m	0,18 m	0,29 m	0,50 m	0,18 m
i ~ 10 b	18	178	66	0,71	0,18	0,38	0,62	0,18
i ~ 15 b	15	181	66	0,66	0,18	0,46	1,26	0,18
i ~ 30 b	11	185	66	0,66	0,18	0,54	(12,7)	0,18
<i>Streifen 6+8</i>								
i ~ 7,5 b	24	173	65	0,81	0,18	0,34	0,60	0,18
i ~ 10 b	18	179	65	0,83	0,18	0,46	1,08	0,18
i ~ 15 b	15	182	65	0,82	0,18	0,42	1,77	0,18
i ~ 30 b	11	186	65	0,81	0,18	0,42	(8,7)	0,18
<i>Mittel aus Streifen 5+7 und 6+8</i>								
i ~ 7,5 b	24	172	65	0,74	0,18	0,32	0,55	0,18
i ~ 10 b	18	178	65	0,77	0,18	0,42	0,88	0,18
i ~ 15 b	15	181	65	0,74	0,18	0,44	1,54	0,18
i ~ 30 b	11	185	65	0,74	0,18	0,48	10,9	0,18
<i>Streifen 1+3</i>								
i ~ 7,5 b	24	172	60	0,77	0,18	0,43	0,45	0,18
i ~ 10 b	18	178	60	0,72	0,18	0,69	0,94	0,18
i ~ 15 b	15	181	60	0,75	0,18	1,08	2,14	0,18
i ~ 30 b	11	185	60	0,71	0,18	0,93	(22,9)	0,17

Tabelle 4 Fortsetzung

Paßpunkt- version	Anzahl			mit Statoskop			ohne Statoskop	
	Paß- pkte.	Kontr.- pkte.	Stat.- pkte.	QMV ¹ Stat.	σ_{oH}	μ_z	μ_z	σ_{oH}
<i>Streifen 2+4</i>								
i ~ 7,5 b	24	171	59	0,72 m	0,18 m	0,40 m	0,39 m	0,18 m
i ~ 10 b	18	177	59	0,69	0,17	0,80	1,19	0,18
i ~ 15 b	15	180	59	0,69	0,17	1,00	2,06	0,17
i ~ 30 b	11	184	59	0,69	0,17	0,99	(21,9)	0,16
<i>Mittel aus Streifen 1+3 und 2+4</i>								
i ~ 7,5 b	24	172	60	0,75	0,18	0,42	0,42	0,18
i ~ 10 b	18	178	60	0,71	0,18	0,75	1,07	0,18
i ~ 15 b	15	180	60	0,72	0,18	1,04	2,10	0,18
i ~ 30 b	11	184	60	0,70	0,18	0,96	(22,4)	0,17
<i>Mittel aus Streifen 5+7, 6+8, 1+3 und 2+4</i>								
i ~ 7,5 b	24	172	62	0,74	0,18	0,37	0,49	0,18
i ~ 10 b	18	178	62	0,74	0,18	0,61	0,98	0,18
i ~ 15 b	15	181	62	0,73	0,18	0,80	1,84	0,18
i ~ 30 b	11	185	62	0,72	0,18	0,76	(17,6)	0,17

Tabelle 5 Flug A 81 Herrenberg-Oberndorf (1981), Streifen mit p=90% Längsüberdeckung; Höhengenaugigkeit mit und ohne Statoskopmessungen

Paßpunkt- version	Anzahl			mit Statoskop			ohne Statoskop	
	Paß- pkte.	Kontr.- pkte.	Stat.- pkte.	QMV ¹ Stat.	σ_{oH}	μ_z	μ_z	σ_{oH}
<i>Streifen 5-8</i>								
i ~ 7,5 b	24	173	131	0,75 m	0,18 m	0,30 m	0,49 m	0,18 m
i ~ 10 b	18	179	131	0,78	0,18	0,40	0,88	0,18
i ~ 15 b	15	182	131	0,76	0,18	0,41	1,59	0,17
i ~ 30 b	11	186	131	0,76	0,18	0,42	(13,2)	0,17
<i>Streifen 1-4</i>								
i ~ 7,5 b	24	172	119	0,75	0,17	0,42	0,43	0,17
i ~ 10 b	18	178	119	0,73	0,17	0,75	1,13	0,17
i ~ 15 b	15	181	119	0,74	0,17	1,07	2,26	0,17
i ~ 30 b	11	185	119	0,73	0,17	1,00	(25,2)	0,16
<i>Mittel aus Streifen 5-8 und 1-4</i>								
i ~ 7,5 b	24	173	125	0,75	0,18	0,36	0,46	0,18
i ~ 10 b	18	179	125	0,76	0,18	0,60	1,01	0,18
i ~ 15 b	15	182	125	0,75	0,18	0,81	1,95	0,17
i ~ 30 b	11	186	125	0,75	0,18	0,77	(20,1)	0,17

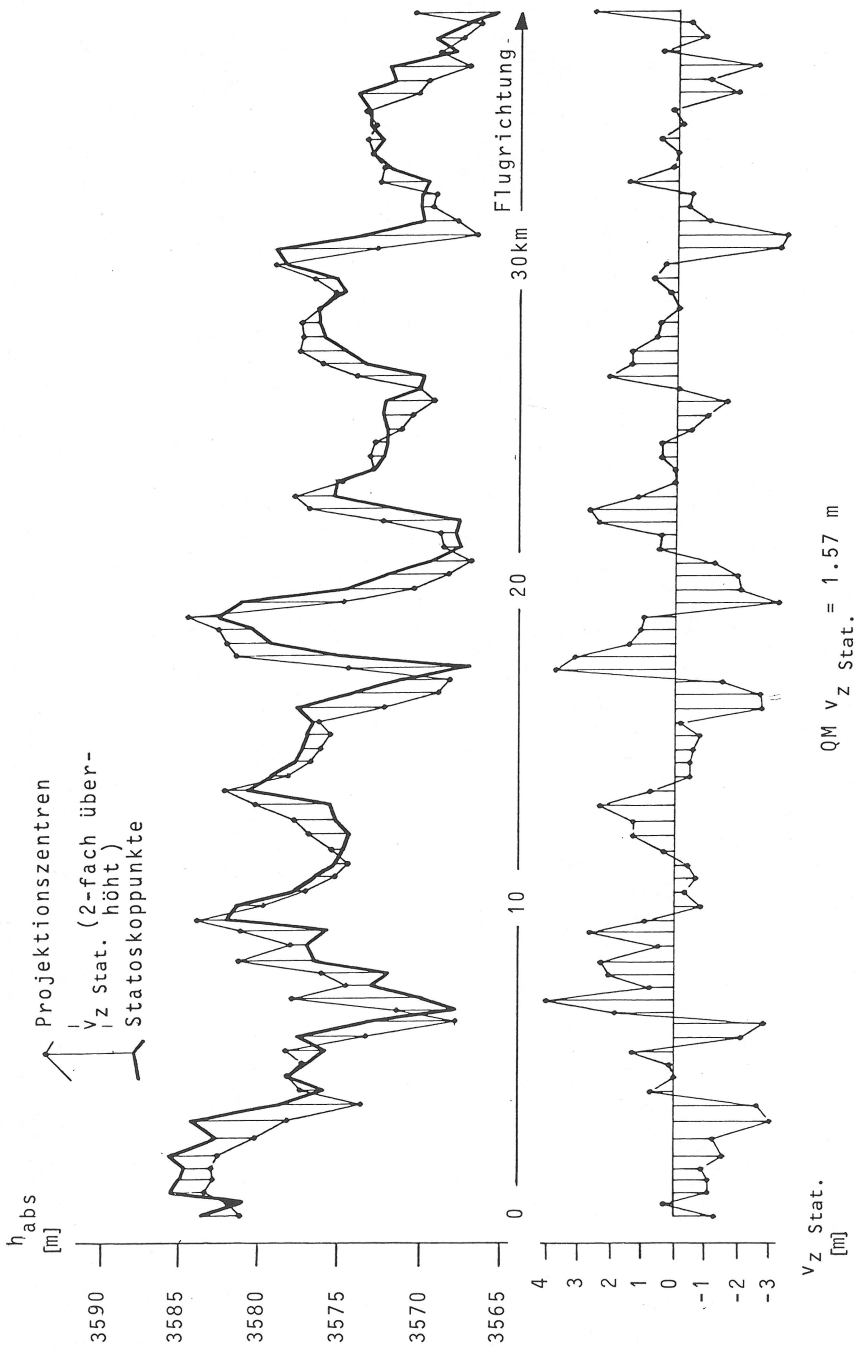


Abb. 3 Teststreifen A 81 Herrenberg-Oberndorf (1979) Hinflug
 Profil der Projektionszentren mit Verbesserungen der Statoskoppunkte (unkorrigiert)

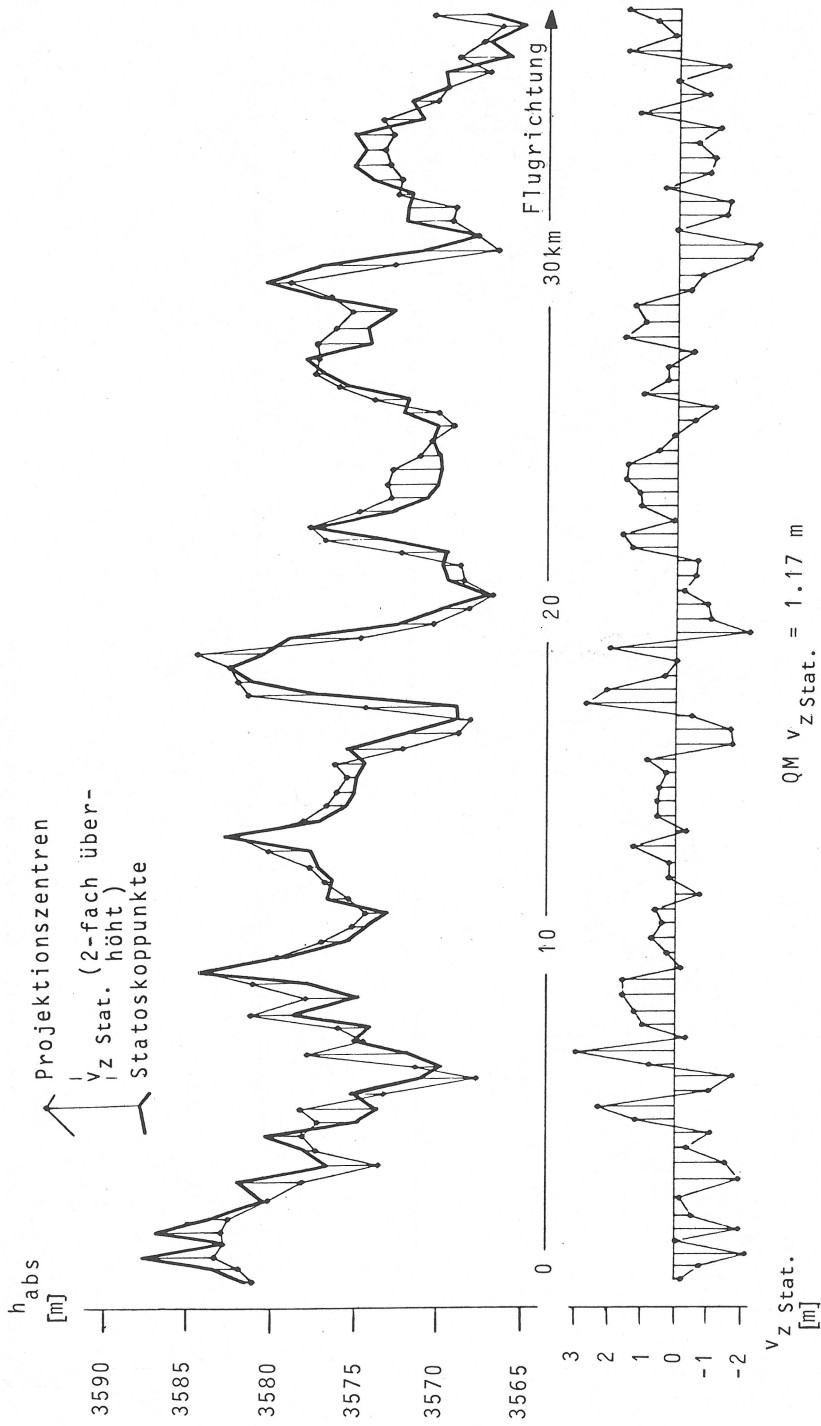


Abb. 4 Teststreifen A 81 Herrenberg-Oberndorf (1979) Hinflug
 Profil der Projektionszentren mit Verbesserungen der Statoskoppunkte (korrigiert)

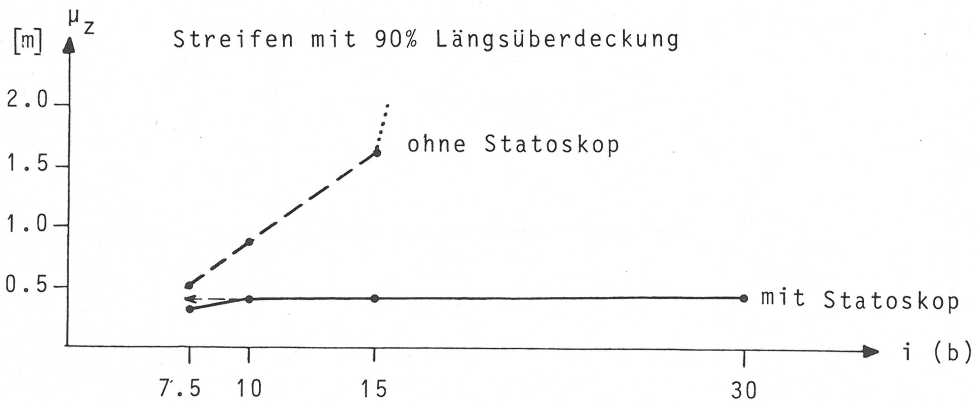
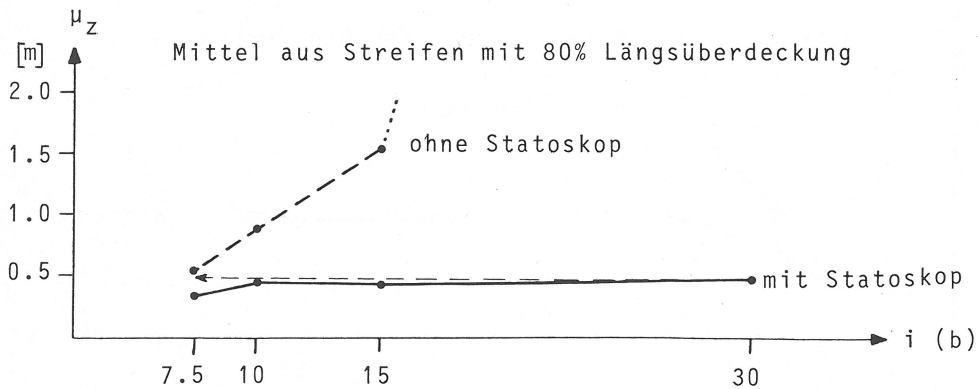
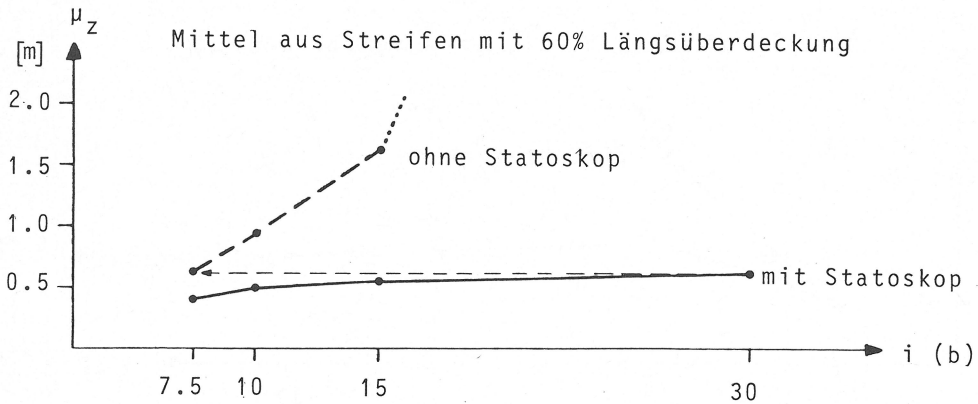


Abb. 5 Rückflug A 81 Herrenberg-Oberndorf (1981) Streifen 5-8, Höhengenaugigkeit mit und ohne Statoskopmessungen in Abhängigkeit von der Überbrückungsdistanz

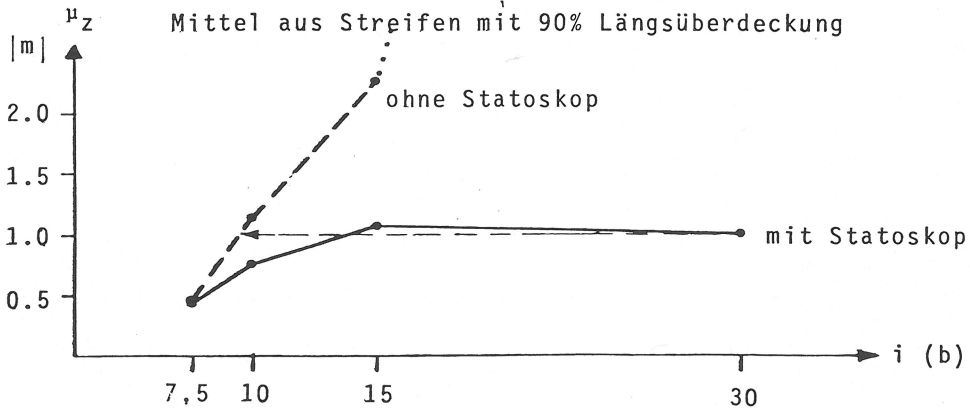
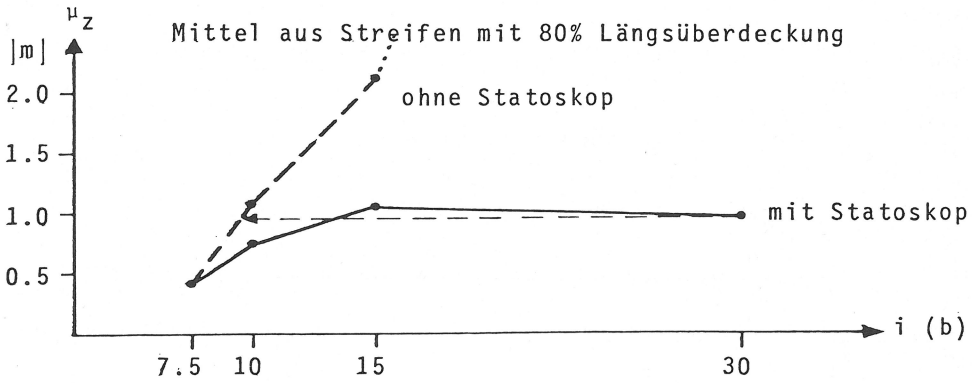
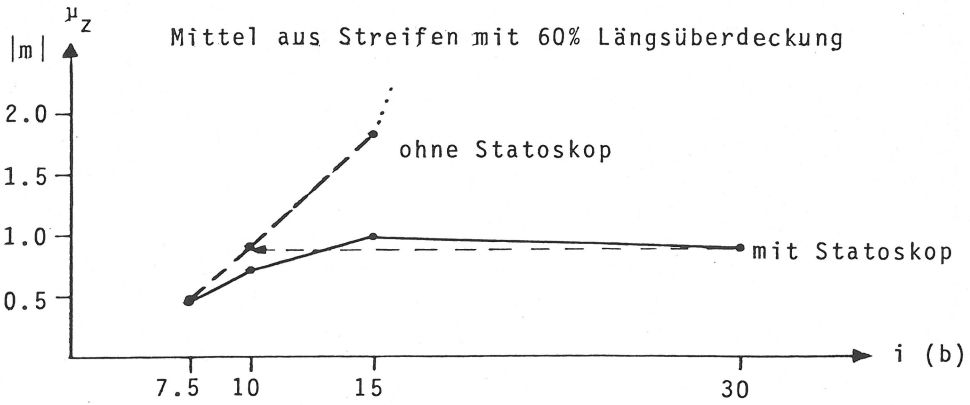


Abb. 6 Hinflug A 81 Herrenberg-Oberndorf (1981) Streifen 1-4, Höhengenaugigkeit mit und ohne Statoskopmessungen in Abhängigkeit von der Überbrückungsdistanz

Literatur

- [1] MEIER, H.-K.: Ein neues Statoskop mit elektrischer Registrierung. – BuL, Sonderheft zum VII. Internationalen Kongreß für Photogrammetrie in Stockholm 1956, S. 60–69.
- [2] ZARZYCKI, J. M.: The Use of Auxiliary Data in Aerial Triangulation. – Invited Paper, Com. III, ISP Congress Ottawa 1972.
- [3] JERIE, H. G.: Theoretical Height Accuracy of Strip and Block Triangulation with and without Use of Auxiliary Data. – Photogrammetria 23 (1968), S. 19–44.
- [4] KLEIN, H.: Blocktriangulation mit Hilfsdaten. – Numerische Photogrammetrie, F. Ackermann, Sammlung Wichmann Neue Folge, Band 5, S. 127–151, 1973.
- [5] ACKERMANN, F.: Progress in Aerial Triangulation for Medium-Scale and Small-Scale Topographic Mapping. – Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie, Universität Stuttgart, Heft 3, S. 159–169, 1976.
- [6] KLEIN, H.: Genauigkeit von Höhenblöcken mit gemeinsamer Ausgleichung von Statoskop- oder APR-Hilfsdaten. – Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie, Universität Stuttgart, Heft 1, S. 5–16, 1976.
- [7] FAIG, W.: Independent Model Triangulation with Auxiliary Vertical Control. – Presented Paper to Com. III, ISP Congress Helsinki 1976.
- [8] ALLAM, M. M., CHALY, C. K., WONG, C. K.: Geometrical Distribution of Vertical Control and the Simultaneous Adjustment of Auxiliary Data in Independent Model Triangulation. – Presented Paper to Com. III, ISP Congress Helsinki 1976.
- [9] VON STUDNITZ, H. J. C.: O Uso do Estatoscopio no Mapeamento em Escalas Medias e Pequenas. – VIII. Congresso Brasileiro de Cartografia 1977.
- [10] ACKERMANN, F.: Accuracy of Statoscop-Data – Results from the OEEPE-Test ‚Oberschwaben‘. – Proceedings of the Symposium, ISP Com. III, Stuttgart 1974, DGK Heft 214, Reihe B, S. 280–286.
- [11] FAIG, W.: Independent Model Triangulation with Statoscope. – Report submitted to Dept. of Energy, Mines and Resources, 1975.
- [12] EL HAKIM, S.: The Utilization of Auxiliary Vertical Control in Aerotriangulation with PAT-M. – M. Sc. E Thesis, Dept. of Surveying Engineering, U.N.B., 1976.
- [13] FAIG, W., EL HAKIM, S.: Some Factors Affecting the Accuracy of Aerotriangulation with Auxiliary Data. – Proceedings of the 42nd Annual Meeting of the A.S.P., Washington DC, 1976.
- [14] KURE, J.: APR-Experience and Application. – ITC Journal 1973-4, S. 618–639.
- [15] KURE, J., RADWAN, M. M.: The Use of Refined Auxiliary Data in Strip and Block Adjustments. – ITC Journal, 1980-3, S. 434–451.
- [16] ARP, H.: Mapping in Tropical Forests: A New Approach Using the Laser APR. – Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 48 (1982) S. 91–100.
- [17] SCHNEIDER, W.: Neue Versuchsergebnisse von Statoskop-Flügen. – Vortrag 38. Photogrammetrische Woche, Stuttgart 1981.

Anschrift der Verfasser: Prof. Dr.-Ing. FRIEDRICH ACKERMANN, Dipl.-Ing. (FH) WERNER SCHNEIDER, Institut für Photogrammetrie, Universität Stuttgart, Keplerstraße 11, 7000 Stuttgart 1
Eingang des Manuskriptes: 7. 7. 1982

Prof. Dr.-Ing. habil. RUDOLF FÖRSTNER 70 Jahre

Wieder ist der 70. Geburtstag Anlaß zur Würdigung eines Wissenschaftlers des Vermessungswesens, der im In- und Ausland durch sein verdienstvolles Wirken bekannt geworden ist.

Am 15. Oktober 1912 in Geislingen an der Steige geboren, folgte RUDOLF FÖRSTNER bei der Berufswahl der Familientradition, studierte 1931–1935 an der TH Stuttgart Geodäsie und absolvierte sodann in mehreren Städten seines Heimatlandes Württemberg den Referendardienst, den er 1938 mit der Großen Staatsprüfung planmäßig abschloß. Seinen Berufsweg setzte der Assessor aber nicht bei einer württembergischen Vermessungsbehörde fort, sondern trat am 1. November 1938 als Angestellter bei der Firma Hansa Luftbild GmbH Berlin ein. Ob es das Interesse an neuartigen Aufgaben oder der Reiz der Weltstadt Berlin oder irgend ein anderer Grund war, sei dahingestellt. Der Wechsel vom Geometer zum Photogrammeter wurde in der Stereomeßabteilung eingeleitet. Als einziger Vermessungsassessor des Hauses wurde R. FÖRSTNER aber häufig mit Paßpunktbestimmungen beauftragt. Mit der Erstellung des Paßpunkt- und Kontrollpunkt-Netzes war er auch am Versuch „Helmstadt“ beteiligt, bei dem es darum ging, die Leistungsfähigkeit der photogrammetrischen Koordinaten-

messung für Zwecke der Flurbereinigung und des Katasters zu untersuchen. Bei diesen Arbeiten sammelte er die Erfahrungen und Daten für seine Dissertation „Paßpunktbestimmung, ein Beitrag zur indirekten Streckenmessung“, mit der er 1943 an der TH Berlin promovierte (veröff. in „Luftbild und Luftbildmessung“ Nr. 26). Mit der Leitung einer neu eingerichteten Forschungsabteilung der Hansa Luftbild betraut, befaßte sich R. FÖRSTNER auch mit weiträumigen Vermessungs- und Kartierungsaufgaben. Davon sind die grundlegenden, umfangreichen Versuchsarbeiten zur Radialschlitztriangulation (veröff. in „Luftbild und Luftbildmessung Nr. 29“) und die Herstellung der Übersichtskarte 1:1 500 000 von Neu-Schwabenland als erstes kartographisches Ergebnis der Deutschen Antarktischen Expedition 1938/39 zu erwähnen. Im Hinblick auf die kürzlich begonnene Beteiligung der Bundesrepublik Deutschland an der Antarktisforschung darf auf diese Karte wie auch auf die anschließenden Detailkartierungen durch Prof. Dr. O. v. GRUBER besonders hingewiesen werden. In den letzten Kriegsjahren war unser Jubilar je nach Umständen und Gesprächspartner der „Doktor Förstner“ oder der „Flieger Förstner“, letzterer als Soldat der sog. Sonderluftbildabteilung (Sobia), zu der die Hansa Luftbild damals umfunktioniert worden war.

Weil nach Kriegsende vorerst keine photogrammetrische Betätigung möglich war, kehrte R. FÖRSTNER nach Württemberg zurück und arbeitete länger als 7 Jahre beim Feldbereinigungsamt Besigheim. In diese Zeit fällt auch seine Tätigkeit als Vorsitzender des DVW-Landesvereins in Württemberg (1948–1953). Auch während dieser Periode blieb er der Wissenschaft und der Photogrammetrie verbunden, das beweist seine Habilitationsschrift „Die Richtungsfehler geneigter Luftaufnahmen bei der Radialtriangulation“, mit der er sich 1947 an der TH Stuttgart habilitierte. Damit begann seine Lehrtätigkeit an dieser Hochschule, die ihn 1957 zum apl. Professor ernannte. Auch die 1952 gemeinsam mit H. RICHTER (ehemals Hansa Luftbild Berlin) veröffentlichte Denkschrift „Rationalisierung der Flurbereinigung und Katastermessung durch Photogrammetrie“ ist zu nennen.

Das Jahr 1953 brachte für R. FÖRSTNER die Rückkehr zur hauptberuflichen Tätigkeit in der Photogrammetrie. Am 1. August 1953 begann er den Dienst als Leiter des Fachbereichs Photogrammetrie des Instituts für Angewandte Geodäsie (IfAG; Bundesbehörde im Geschäftsbereich des Bundesministers des Innern, Abteilung II des Deutschen Geodätischen Forschungsinstituts) in Frankfurt am Main und wurde alsbald zum Regierungvermessungsrat ernannt. Seine Fähigkeiten, Erfahrungen und Neigungen konnte er beim Aufbau dieses Fachbereichs, der 1958 den Status einer Abteilung erhielt (neben den Abteilungen für Geodäsie und für Kartographie) und bei verschiedenartigen Forschungs- und Versuchsarbeiten erfolgreich anwenden. Aufgrund seiner mathematischen Begabung – mit der übrigens, wie häufig, eine musikalische verbunden ist – waren es vorzugsweise Untersuchungen zur numerischen Luftbilddauswertung (Koordinatenmessung, Aerotriangulation), zur Fehlertheorie und zur Rechentechnik, mit denen er sich wissenschaftlich beschäftigte. Auf Detailangaben soll hier verzichtet werden, da die alljährlichen Tätigkeitsberichte des IfAG und besonders die Jubiläumsschrift „25 Jahre Institut für Angewandte Geodäsie 1952–1977“ (Nachrichten aus dem Karten- und Vermessungswesen, Reihe I, Heft Nr. 73) diese enthalten.

Besondere Würdigung verdient die Mitarbeit von Prof. FÖRSTNER in der OEEPE (Europäische Organisation für Experimentelle Photogrammetrische Untersuchungen), in deren wissenschaftlichen Kommissionen „Aerotriangulationen für kleine bzw. große Maßstäbe“ – Kommission A bzw. B – und „Großmaßstäbige Karten und Katastervermessung“ – Kommission C – er seit der Gründung der Organisation im Jahre 1953 aktiv tätig war. Die Kommission C hatte ihm 1959 das Amt des Präsidenten anvertraut (als Nachfolger von Prof. LEHMANN, Hannover, und Prof. GOTTHARDT, Stuttgart). Die Versuchsprogramme „Reichenbach“ (Koordinatenmessung in bergigem Gelände; Ergebnis veröffentlicht in „Nachrichten aus dem Karten- und Vermessungswesen“, OEEPE-Sonderveröffentlichung Nr. 5, 1969) und „Dordrecht/Wien“ (Photogrammetrische Stadtvermessung) wurden unter seiner Leitung durchgeführt. An der Einrichtung des Versuchsfeldes für das Programm „Reichenbach“ – auf der Schwäbischen Alb, nahe seines Geburtsorts gelegen – wie auch beim Versuchsfeld „Oberschwaben“ für die Kommission A hat er selbst intensiv mitgearbeitet. Die zahlreichen Veröffentlichungen des Jubilars zeigen, daß er nicht nur bei den technischen Daten und wissenschaftlichen Analysen, sondern auch bei der sprachlichen Formulierung mit Akribie zu Werke ging.

Den Gipfel seines Berufsweges erreichte Prof. FÖRSTNER am 1. Februar 1975 mit der Ernennung zum Direktor des Instituts für Angewandte Geodäsie als Nachfolger von Prof. Dr.-Ing. E. h. E. GIGAS (1952–1964, gestorben 1976) und Prof. Dr.-Ing. H. KNORR (1964–1975). Bis zum 31. Oktober 1977, als er in den Ruhestand trat und mit dem Bundesverdienstkreuz der Bundesrepublik Deutschland ausgezeichnet wurde, hat er auch als Leiter einer Bundesbehörde und deshalb als Mitglied einer Reihe von Spitzengremien (AdV, DGK, OEEPE-Direktionskomitee u. a.) seinen Mann gestanden. Aus dieser Amtszeit ist sein erfolgreiches Bemühen um die endgültige Planung des 2. Neubauabschnitts für das IfAG (auf dem Gelände der sog. Villa Mumm, eingeweiht am 27. November 1981) und bei der Neugliederung des DGFII bemerkenswert. Im verständlicherweise eingeschränk-