

Zeitschrift:	Schweizerische Zeitschrift für Vermessungswesen und Kulturtechnik = Revue technique suisse des mensurations et améliorations foncières
Herausgeber:	Schweizerischer Geometerverein = Association suisse des géomètres
Band:	44 (1946)
Heft:	7
Artikel:	Die letzten Fortschritte in der Horizont- und Statoskopvermessung
Autor:	Löfström, K.G.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-203912

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 18.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Koordinatennetz der Triangulation, als verbindendem Rahmen, eingefügt worden sind. Ein lithographiertes Blatt $60,5 \times 96,5$ cm dieses Übersichtsplans liegt im Stadtarchiv Chur. Es stammt aus der Anstalt Wurster-Randegger & Cie. in Winterthur.

(Fortsetzung folgt.)

Die letzten Fortschritte in der Horizont- und Statoskopvermessung

Von K. G. Löfström, Helsinki

Die seit 1928 in Finnland verwendete Methode zur direkten Bestimmung der äußeren Orientierung der Aufnahmekammer unter Verwendung von Horizontbildern und Statoskop hat in den letzten Jahren recht viel Interesse und eine rege Diskussion in den Fachkreisen erweckt. Die Ergebnisse einer umfangreichen, von der Firma Zeiß-Ärotograph im Jahre 1940 ausgeführten Untersuchung¹ ergaben, daß die mit dieser Methode erreichbare Genauigkeit für Entzerrungszwecke in allen Verhältnissen ausreicht und auch für die stereoskopische Auswertung in kleinen und mittleren Maßstäben bei der Äropolygonierung gut verwendbar ist.

Gemäß der genannten Untersuchung ist der mittlere Fehler der Neigungsbestimmung aus Horizontbildern etwa $\pm b^c$, wenn die Messung wie gewöhnlich mit einer Ausmeßplatte ausgeführt wird. Da die Einstellgenauigkeit der Neigungswinkel im Stereoplanigraphen dagegen etwa 2 bis 4^c beträgt, hat man in Finnland versucht, und neulich ist dies auch gelungen, die Genauigkeit der Horizontvermessung entsprechend zu erhöhen. Der mittlere Fehler der aus den Horizontbildern nach der neuen Methode bestimmten Neigungskomponenten beträgt gemäß den ausgeführten Untersuchungen nur etwa $\pm 2^c$.

Die neue *stereoskopische Horizontvermessungsmethode*² gründet sich darauf, daß die Neigungs- und Verkantungsvariationen der Aufnahmekammer, die als Verschiebungen der Horizontlinie und Horizonteinzelheiten in den in der selben Richtung aufgenommenen Horizontaufnahmen erscheinen, durch Vergleich dieser Aufnahmen mit einander unter Verwendung von stereoskopischer Parallaxmessung bestimmt werden. Hierbei wird die außerordentliche Schärfe ausgenützt, womit die menschlichen Augen die Parallaxen beobachten können, wenn auch die Teilbilder weniger scharf sind.

¹ O. v. Gruber: Horizontbilder und ihre Verwendung. Photogrammetrie, Jahrgang III, Heft 2, 1940. W. Brucklacher: Horizontbilder und ihre Verwendung. Bildmessung und Luftbildwesen XV, Heft 2, 1940.

² Patent angemeldet.

Zur Bestimmung der Neigungsvariationen werden die zu vergleichenden Horizontaufnahmen so in das Stereoskop eingelegt, daß ihre Horizontlinie senkrecht gegen die Betrachtungsbasis liegt, mit der räumlichen Meßmarke werden dann die Parallaxen oder Abstandsdi-
f-ferenzen der Horizontlinie und Rahmenmarken senkrecht zum Horizont gemessen.

Zur Bestimmung der Kantungsdifferenzen werden die Horizont-
aufnahmen dagegen um 100° gedreht, so daß die Horizontlinie parallel
mit der Betrachtungsbasis liegt; mit der räumlichen Marke werden dann
die Parallaxen der Horizonteinzelheiten und der Rahmenmarken gemessen.

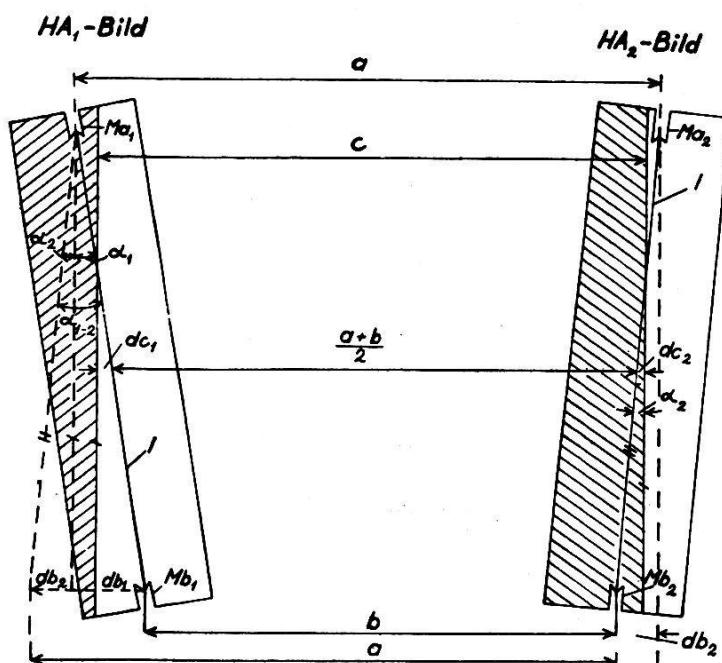


Abb. 1.

Die praktische Ausführung der stereoskopischen Horizontvermes-
sung geschieht geeigneterweise unter Verwendung eines Spiegelstereo-
skops mit Stereomikrometer und eines zweiteiligen Filmträgers, der eine
getrennte Drehung und Verschiebung der zu vergleichenden, von unten
beleuchteten Horizontnegative erlaubt (Abb. 5).

Eines von den in der selben Richtung aufgenommenen Horizont-
bildern (HA) einer Bildreihe wird als Referenzbild (HA_1 , Abb. 1) gewählt
mit dem die anderen verglichen werden.

Das Referenzbild HA_1 , das vom Hauptfilm losgeschnitten wird, ist
für die Neigungsmessung im linken Filmträger (Abb. 1) so einzustellen,
daß die Horizontlinie senkrecht zur Betrachtungsbasis liegt. Das zu ver-
gleichende Horizontbild, z. B. HA_2 wird in die entsprechende Lage rechts
eingelegt und unter stereoskopischer Betrachtung wird die Parallelität
der Horizontlinien mit dem Stereomikrometer genau eingestellt und der
Abstand c derselben abgelesen. Dann werden die Abstände a und b der

Rahmenmarken Ma_1 und Ma_2 bzw. Mb_1 und Mb_2 gleichfalls mit dem Stereomikrometer gemessen.

Unter Verwendung der Bezeichnungen in Abb. 1 erhält man für den Winkel $\alpha_{1,2}$ zwischen den Meßlinien (l) der Aufnahmen HA_1 und HA_2 den Ausdruck

$$\alpha_{1,2} = \alpha_1 - \alpha_2 = \frac{\rho^c}{l} db_1 - \frac{\rho^c}{l} db_2 = \frac{\rho^c}{l} (db_1 - db_2)$$

$$(1) \quad \alpha_{1,2} = \frac{\rho^c}{l} (b - a)$$

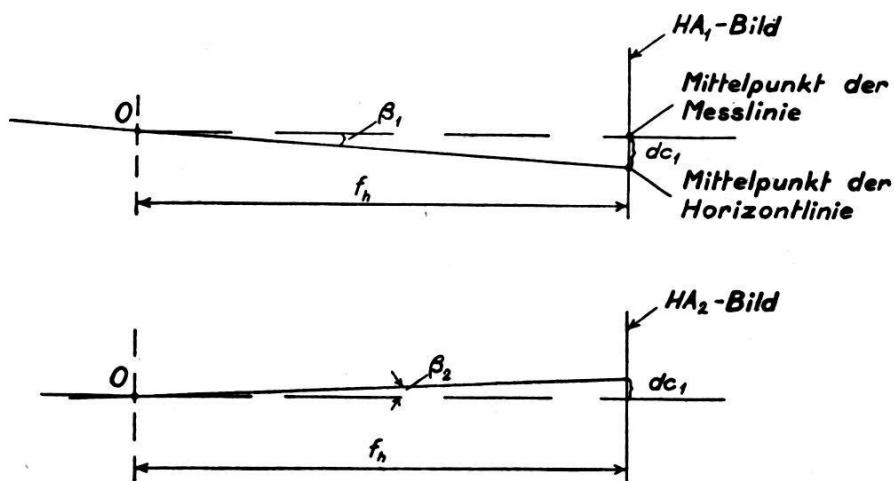


Abb. 2.

Dieser Winkel zeigt wieviel sich die Neigung der Kammer senkrecht zur Aufnahmerichtung der AH-Bilder von Bild 2 zu 1 verändert hat. Anderseits erhält man aus denselben Horizontaufnahmen HA_1 und HA_2 auch die Neigungsveränderung $\beta_{1,2}$ in der Aufnahmerichtung dieser Aufnahmen. Die Bezeichnung zwischen diesem Neigungswinkel (β) und der Horizonthöhe (dc) geht aus Abb. 3 vor.

$$\beta_1 = \frac{\rho^c}{f_h} dc_1; \beta_2 = \frac{\rho^c}{f_h} dc_2$$

$$\beta_{1,2} = (\beta_1 - \beta_2) = \frac{\rho^c}{f_h} (dc_1 - dc_2)$$

Gemäß Abb. 1 ist also

$$(2) \quad \beta_{1,2} = \frac{\rho^c}{f_h} \left(c - \frac{a + b}{2} \right)$$

Aus diesem Horizontbildpaar wird also die Veränderung der Kammerneigung in zwei zu einander senkrechten Richtungen bestimmt und durch

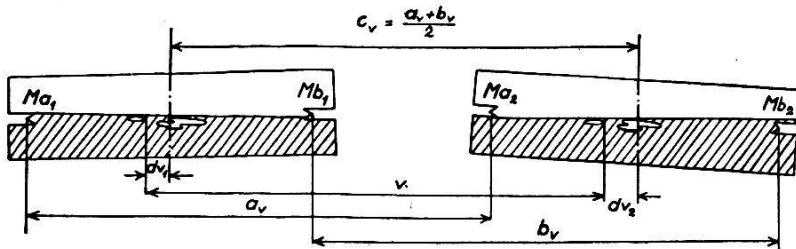


Abb. 3.

Vergleich von allen *HA*-Bildern mit dem Referenzbild *HA*₁ werden die Neigungsvariationen für die Aufnahmen der ganzen Bildreihe erhalten. Aus verschiedenen Gründen ist es jedoch zweckmäßig, zwei Horizontbilder für jedes Gelände Bild aufzunehmen und aus ihnen die Neigungsvariationen in derselben Weise zu bestimmen. Hierdurch erhält man eine unmittelbare Kontrolle und Genauigkeitsprüfung und kann als Resultat das Gewichtsmittel verwenden. Es ist leicht herzuleiten, daß das Verhältnis des Gewichts p_s der nach der Formel (1) gerechneten Winkel zum Gewichte p_h der nach der Formel (2) gerechneten Winkel gleich $l^2 : 4 f_h^2$ ist, wo f_h die Bildweite des Horizontobjektivs und l der Abstand der Rahmenmarken im Horizontbilde ist.

In der praktischen Vermessung ist es nicht notwendig die Horizontlinien der zu vergleichenden Horizontaufnahmen exakt parallel einzustellen, sondern man kann auch die Parallaxe der beiden Enden dieser Linien messen und in geeigneter Weise bei den späteren Berechnungen berücksichtigen. Die Einstellung der Parallelität ist jedoch unter Verwendung geeigneter Anordnungen sehr einfach und dürfte vorzuziehen sein.

Die in oben erwähnter Weise bestimmten relativen Neigungsvariationen können nun in absolute Neigungswerte umgerechnet werden, wenn die absolute Neigungskomponente einer einzigen Aufnahme der Bildreihe bekannt ist.

Zur Bestimmung der Kantungsdifferenzen werden vorzugsweise nur in der Flugrichtung oder rückwärts aufgenommene Horizontbilder (*HA*) verwendet, um die Einwirkung der Vorwärtsbewegung des Flugzeugs auf die Meßergebnisse zu vermeiden. Das Referenzbild *HA*₁ wird im Stereoskop so eingestellt (Abb. 3), daß die Horizontlinie ca. parallel zur Betrachtungsbasis ist. Das zu vergleichende Horizontbild *HA*₂ wird so gedreht, daß dessen Horizontlinie parallel zu der Horizontlinie des Bildes *HA*₁ liegt. Mit dem Stereomikrometer werden die etwa gleich großen Abstände a_v und b_v der Rahmenmarke gemessen und aus diesen wird der Abstand $c_v = \frac{a_v + b_v}{2}$ zwischen den Mittelpunkten der Horizontlinien berechnet. Mit dem Stereomikrometer mißt man weiter den Abstand v eines in der Nähe der Mitte des Horizontbildes *HA*₁ liegenden Detailpunktes vom entsprechenden Punkte im Bilde *HA*₂. Die Parallaxe

$v - c_v = dv_2 - dv_1 = dv_{1,2}$ gibt dann die Verkantungsdifferenz zwischen den Bildern 1 und 2 an; unter Verwendung der Bezeichnungen von Abb. 4, wo f_h die Bildweite des Horizontobjektivs ist, erhält man für den Kantungswinkel $\kappa_{1,2}$ den Ausdruck

$$(3) \quad \kappa_{1,2} = \frac{\rho^c}{f_h} dv_{1,2} = \frac{\rho^c}{f_h} \left(v - \frac{a_v + b_v}{2} \right)$$

In derselben Weise werden alle HA-Bilder mit dem Referenzbild HA_1 verglichen; als Resultat erhält man die Kantungsvariationen der ganzen Bildreihe in bezug auf Bild 1.

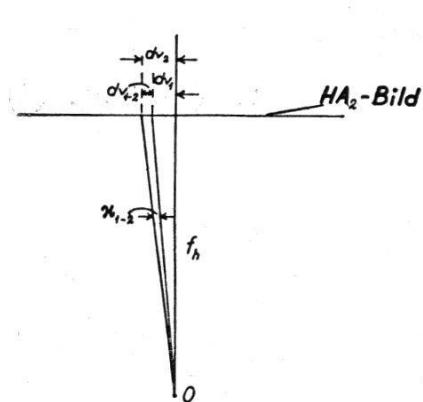


Abb. 4.

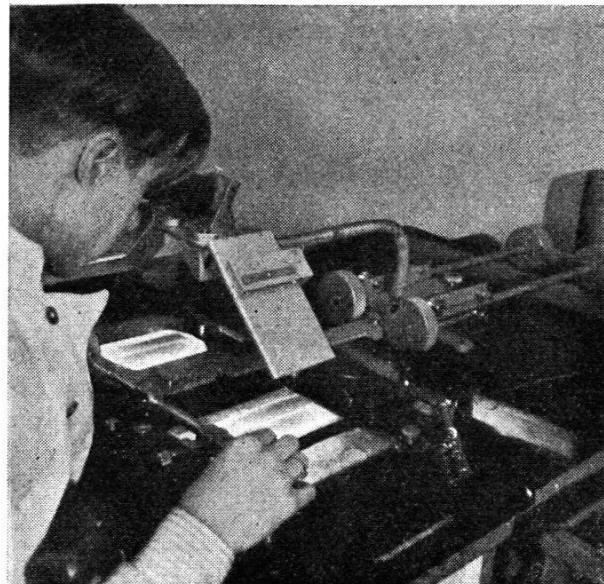


Abb. 5

Die Genauigkeit der stereoskopischen Horizontvermessung lässt sich leicht beurteilen, weil bei der Neigungsmessung eine Doppelbestimmung vorliegt. Bei der Kammer RMK HS 1818 sind die Bildweiten der beiden Horizontobjektive $f_h = 139$ mm und der Abstand der Rahmenmarken ist $l = 95$ mm. Die Gewichte der nach der Formel (1) und nach der Formel (2) berechneten Neigungswinkel verhalten sich also wie

$$\frac{p_s}{p_h} = \frac{l^2}{4 f_h^2} \leqq \frac{1}{8,5}$$

Der mittlere Fehler m_k des Gewichtsmittels berechnet sich aus dem Ausdruck

$$(4) \quad m_k = \frac{1}{[p]} \sqrt{\frac{p_s p_h [dd]}{n}} = \frac{1}{9.5} \sqrt{\frac{8.5 [dd]}{n}} = 0.31 \sqrt{\frac{[dd]}{n}}$$

wo d die Differenz und n die Anzahl der doppelbestimmten Neigungswinkel ist.

In der beigefügten Tabelle sind die Resultate einer stereoskopischen Horizontvermessung mit der obengenannten Kammer angegeben. Für die Bilder Nr. 62–89 (Spalte 1) sind die Neigungsvariationen α (Spalten 2–6) bzw. β (Spalten 7–11) doppelbestimmt. Als Referenzbilder sind die Horizontaufnahmen der Bilder 64, 72, bzw. 85 verwendet worden. Die Spalten 2 bzw. 7 geben die nach der Formel (1) und die Spalten 3 bzw. 8 die nach der Formel (2) berechneten Neigungswinkel an. Die Differenzen d und dd sind in den Spalten 4, 5 bzw. 9, 10 und die Gewichtswinkel in den Spalten 6 bzw. 11 angegeben.

Der mittlere Fehler des Gewichtsmittels ist

$$(4) \quad \text{für } m_k = 0.31 \sqrt{\frac{713}{28}} = \pm 1,6^\circ \text{ und}$$

$$\text{für } m_k = 0.31 \sqrt{\frac{640}{28}} = \pm 1,5^\circ$$

Die mittleren Fehler m_s bzw. m_h der nach Formel (1) bzw. (2) bestimmten Neigungswinkel sind

$$m_s = m_k \sqrt{\frac{[p]}{p_s}} = \pm 1.6 \sqrt{\frac{9.5}{1}} = \pm 5.0^\circ$$

$$m_h = m_k = \pm 1.6 \sqrt{\frac{9.5}{8.5}} = \pm 1.7^\circ$$

Die Neigungsbestimmung aus der Horizonthöhe ist also etwa dreimal genauer als aus der Horizontneigung. Das ist leicht erklärlich, wenn man die Formeln (1) und (2) näher betrachtet. Einerseits enthält nämlich die erste die Differenz und die letzte den Mittelwert der selben Größen; andererseits ist die Brennweite f_h etwa 50% länger als die Meßlinie l .

Im vorliegenden Falle waren durchaus keine besonders scharfen Horizontaufnahmen vorhanden, denn die Flughöhe war 4000 m und der Horizont wolkenlos. Es dürfte also zu erwarten sein, daß die stereoskopische Horizontvermessung immer einen mittleren Fehler unter $\pm 2^\circ$ für die Neigungsbestimmung gibt.

Ein Vergleich mit den entsprechenden am Stereoplanigraph auf Grund bekannter Fixpunkte bestimmten Neigungswerten gab einen mittleren Fehler von etwa $\pm 4^\circ$, aber wegen verschiedenen Ursachen waren die Stereoplanigraphenwerte in sich nicht befriedigend genug, um eine endgültige Beurteilung zu ermöglichen. Weitere Untersuchungen in dieser Hinsicht sind geplant.

Die Genauigkeit der Kantungsmessung kann im allgemeinen nicht durch Doppelbestimmung beurteilt werden, weil man nur in einer Richtung aufgenommene Horizontbilder mißt. Es ist jedoch zu erwarten,

Genauigkeit der stereoskopischen Horizontvermessung

Aufnahmeno.	Neigungswinkel α						Neigungswinkel β					
	bestimmt durch Horizontneigung α_s		$d =$ $\alpha_s - \alpha_h$		Gewichtsmittel a_m		bestimmt durch Horizontneigung β_s		$d =$ $\beta_s - \beta_h$		Gewichtsmittel β_m	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
62	+0.358	+0.258	+0.258	+0.04	100	+0.268	-1.188	-1.298	+1.11c	121	-1.28g	
63	-0.74	-0.78	-0.78	0	16	-0.78	+1.31	+1.25	+0.06	36	+1.26	
64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
65	+0.83	+0.87	-0.87	-0.04	16	+0.87	+0.65	+0.67	-0.02	4	+0.67	
66	-0.42	-0.47	-0.47	+0.05	25	-0.46	+1.07	+1.09	-0.02	4	+1.09	
67	-0.03	-0.11	-0.11	+0.08	64	-0.10	+1.97	+1.96	+0.01	1	+1.96	
68	-0.60	-0.62	-0.62	+0.02	4	-0.62	+1.66	+1.66	+0.00	0	+1.66	
69	-0.72	-0.74	-0.74	+0.02	4	-0.74	+0.65	+0.55	+0.10	100	+0.56	
70	+0.21	+0.19	+0.19	+0.02	4	+0.19	+1.45	+1.43	+0.02	4	+1.43	
71	-0.28	-0.20	-0.20	-0.08	64	-0.21	+0.28	+0.27	+0.01	1	+0.27	
72	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
73	+0.28	+0.24	+0.24	+0.04	16	+0.24	+0.76	+0.79	-0.04	16	+0.78	
74	+0.12	+0.17	+0.17	-0.05	25	+0.17	+0.17	+0.17	+0.00	0	+0.17	
75	-0.30	-0.32	-0.32	+0.02	4	-0.32	+0.72	+0.72	+0.00	0	+0.72	
76	+0.03	+0.04	+0.04	-0.01	1	+0.04	+0.21	+0.24	-0.03	9	+0.24	
77	+0.24	+0.23	+0.23	+0.01	1	+0.23	-0.47	-0.49	+0.02	4	-0.49	
78	+0.63	+0.73	+0.73	+0.10	100	+0.72	+0.17	+0.24	-0.07	49	+0.23	
79	+0.36	+0.27	+0.27	+0.09	81	+0.28	+0.72	+0.77	-0.05	25	+0.76	
80	-1.72	-1.79	-1.79	+0.07	49	-1.78	-0.79	-0.78	-0.01	1	-0.78	
81	-0.28	-0.30	-0.30	+0.02	4	-0.30	-0.30	-0.28	-0.02	4	-0.28	
82	+0.43	+0.44	+0.44	-0.01	1	+0.44	-0.10	-0.16	+0.06	36	-0.15	
83	-1.16	-1.14	-1.14	-0.02	4	-1.14	-0.48	-0.51	+0.03	9	-0.51	
84	-1.51	-1.49	-1.49	-0.02	4	-1.49	-1.00	-1.02	+0.02	4	-1.02	
85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
86	+0.38	+0.44	-0.44	-0.06	36	+0.43	-0.92	-0.93	+0.01	1	-0.93	
87	-2.19	-2.23	-2.23	+0.04	16	-2.22	-0.76	-0.69	-0.07	49	-0.70	
88	-0.83	-0.91	-0.91	+0.07	49	-0.90	-0.91	-0.82	-0.09	81	-0.83	
89	-1.16	-1.21	-1.21	+0.05	25	-1.20	-0.27	-0.18	-0.09	81	-0.19	

[dd] = 713

 Der mittlere Fehler von a_m $m_k = \pm 1.6^c$, von β_m $m_k = \pm 5.0^c$
 α_s und β_s $m_s = \pm 1.7^c$
 α_h und β_h $m_h = \pm 1.7^c$

[dd] = 640

daß die mittleren Fehler der Kantungsdifferenzen kaum den Wert $\pm 3^\circ$ überschreiten.

Die Statoskopvermessung hat sich sehr bewährt, nachdem einerseits das registrierende Statoskop unmittelbar an die Kammer angehängt und der Ausschlag desselben durch Spiegel-, Objektiv- und Beleuchtungsanordnungen direkt auf dem Hauptfilm gleichzeitig mit jeder Exposition abgebildet wird. Anderseits werden sowohl das Führer- wie das Kammerstatoskop an den *statischen Druck* im Flugzeuge angeschlossen, um unerwünschte Einwirkung von Luftströmungen in der Kabine zu vermeiden.

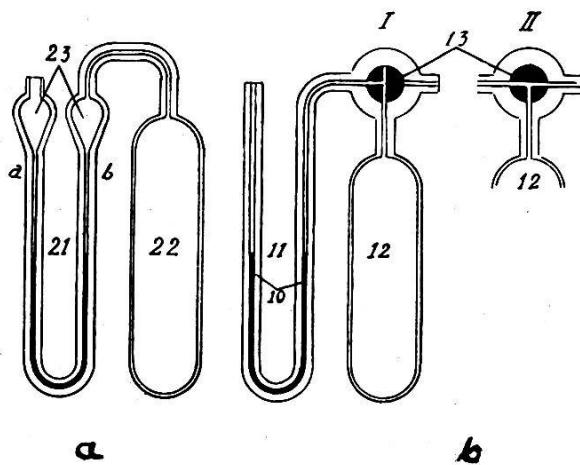


Abb. 6

Die Statoskopkonstruktion ist in Finnland neulich verbessert worden, indem es gelungen ist, ein *hahnloses Statoskop*¹ (Abb. 6a) zu bauen, dessen Funktion zuverlässiger und die Handhabung einfacher ist als die des mit Hahn versehenen Statoskops (Abb. 6b). In den letztgenannten wird der Referenzdruck in den Luftbehälter 12 durch einen Dreiweghahn 13 (Stellung II) eingelassen, der auf der erwünschten Flughöhe geschlossen wird (Stellung I); dann zeigen die Flüssigkeitssäulen 10 im Manometerrohr 11 die Variationen des äußeren Luftdruckes und also auch der Flughöhe an. In der neuen Konstruktion gibt es keinen Hahn, sondern die Veränderung des Referenzdruckes geschieht durch das Manometerrohr selbst. Wenn nämlich der äußere Druck sinkt, z. B. wenn das Flugzeug steigt, steigt die Flüssigkeitssäule *a* und die Flüssigkeit sammelt sich in der Erweiterung 23, bis der Überdruck im Behälter 22 durch die Flüssigkeit ins Freie herausbrodelt. Dieses Brodeln dauert während des ganzen Aufstieges; wenn die erwünschte Flughöhe erreicht ist, hat der Pilot nur etwa 30 m herunterzugehen, um die Flüssigkeitssäulen in gleiche Höhe zu bringen, worauf das Statoskop in normaler Weise arbeitet. Während die aus Glas gebauten Statoskope bisher durch die etwas unsorgfältige Handhabung im Flugzeuge leicht zerbrochen sind, wird mit der neuen Konstruktion der große Vorteil erreicht, daß das Statoskop während des

¹ Patent gesucht.

Fluges nicht angerührt zu werden braucht, sondern nur auf dem Flugplatz beim Füllen mit Eis und Wasser. Wegen der äußerst einfachen Konstruktion haben sich diese sogenannten *Kotka-Statoskope* als sehr betriebssicher und leicht handhabbar erwiesen.

*Vergleich zwischen Statoskopangaben
und absoluten Flughöhdifferenzen.*

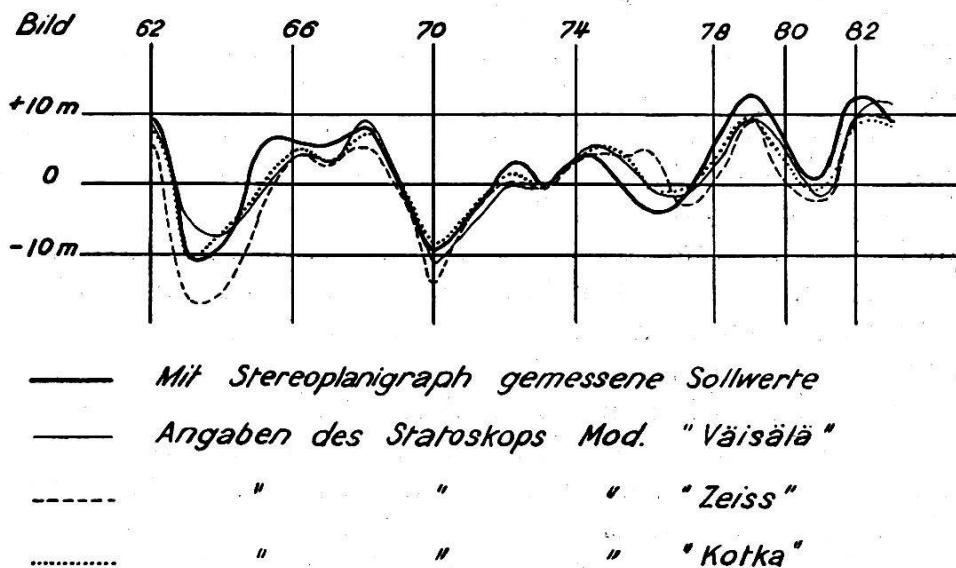


Abb. 7

Die *Genauigkeit* der registrierten Statoskopangaben ist während zehnjähriger praktischer Arbeit für die Entzerrung bei Herstellung von Luftbildplänen als ausreichend gefunden worden. Um das neue Statoskop zu prüfen, wurde eine besondere Untersuchung durchgeführt, wobei drei Statoskope gleichzeitig registriert und die absoluten Flughöhen mit dem Stereoplanigraph gemessen wurden. Das Resultat der bisher ausgeführten Messungen zeigt Abb. 7, wo einerseits die Variationen der absoluten Flughöhe und anderseits die Ausschläge aller drei Statoskope, „Väisälä“, „Zeiß“ und „Kotka“ angegeben sind. Wie ersichtlich, zeigen die Angaben des Statoskops Kotka die kleinsten Abweichungen von den Sollwerten und die maximalen Differenzen sind im allgemeinen unter ± 5 m. Da jedoch die „Sollwerte“ schon in sich mit Fehlern behaftet sein können, ist eine endgültige Beurteilung der Genauigkeit noch nicht möglich. Weitere Untersuchungen über die Zuverlässigkeit der Statoskopangaben werden in nächster Zukunft gemacht.

Die oben angeführten Fortschritte und Neuheiten in der Horizont- und Statoskopvermessung sind während der praktischen Arbeit entwickelt und geprüft worden, durch sie eröffnen sich für diese direkte Methode neue Möglichkeiten, die für die Luftbildmessung im allgemeinen und besonders für die Äropolygonierung von größter Bedeutung sein dürften.