

Paper-ID: VGI_197105



Zur photogrammetrischen Bestimmung von Einschaltpunkten

Josef Kovarik ¹

¹ *Neugebäudestraße 18/10 St., Tür 7*

Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen **59** (2), S. 39–47

1971

Bib_TE_X:

```
@ARTICLE{Kovarik_VGI_197105,  
Title = {Zur photogrammetrischen Bestimmung von Einschaltpunkten},  
Author = {Kovarik, Josef},  
Journal = {{\0}sterreichische Zeitschrift f{"u}r Vermessungswesen},  
Pages = {39--47},  
Number = {2},  
Year = {1971},  
Volume = {59}  
}
```



Zur photogrammetrischen Bestimmung von Einschaltpunkten

Von Josef Kovarik, Wien

Immer wieder macht man sich in Fachkreisen darüber Gedanken, ob die Photogrammetrie bei der Bewältigung der heute in stets wachsendem Maße anfallenden Vermessungsaufgaben schon an der Grenze ihrer Leistungsfähigkeit angelangt ist. (Siehe etwa [1], [2], [3].) Daher nimmt es nicht wunder, daß in der numerischen Bildmessung auch gelegentlich Vorschläge zur Genauigkeitssteigerung gemacht werden.

Mit der Einführung des Gesetzes über die Landesvermessung und den Grenzkataster (Vermessungsgesetz) ist auch in Österreich eine Frage wieder besonders interessant geworden: Sollte es nicht möglich sein, mehr oder weniger dicht liegende Festpunkte, vor allem Einschaltpunkte (EP), mit der nun geforderten, höheren Genauigkeit auch photogrammetrisch zu bestimmen?

Dazu sollen im folgenden einige Gedanken geäußert werden, die absolut nicht Anspruch darauf erheben die ideale Lösung darzustellen, die aber einen Weg weisen, wie man es, bei Vorliegen gewisser Voraussetzungen unter Umständen auch machen kann.

A) Theoretische Überlegungen

Es wird nun ein EP-Feld vorausgesetzt, das mit signalisierten Punkten in einer gewissen gleichmäßigen Dichte besetzt ist und für die „Näherungskordinaten“, mit einem mittleren Fehler m_0 behaftet, schon bekannt sein sollen. Dabei wird es für die weiteren Überlegungen bedeutungslos sein, woher diese Werte stammen.

Steht man jetzt vor der Aufgabe die Genauigkeit des Punktfeldes merklich zu erhöhen, dann ist die Befliegung in einem entsprechend größeren Maßstab nicht zu umgehen. Damit erhebt sich aber sofort die Frage nach der Verarbeitung der Maschinenkoordinaten. Und dazu sollen einige Überlegungen angestellt werden.

In [4] und [5] hat der Verfasser jene Einflüsse der Paßpunktunsicherheiten untersucht, die bei der genauesten Art der Umrechnung, der Einzelmodelltransformation, auftreten. Dabei hat sich gezeigt, daß, bei der Umrechnung eines gegebenen Maschinen-Systems etwa, die Genauigkeit der in diesem System ausgewerteten Punkte — zusätzlich zu den eigenen Fehlern — durch die Unsicherheit der Transformation noch mehr oder weniger belastet wird. Hat man daher eine gewisse Anzahl gemeinsamer Punkte in beiden Systemen (Maschinen- und Landes-System etwa), so kann man bekanntlich aus den Restfehlern dieser Paßpunkte einen mittleren Einheits-Einpaßfehler m_0 ermitteln. Die Genauigkeit der Umrechnung der Maschinenwerte in das Landes-System ist dann gleich dem Wert von m_0 mal einer Funktion der *Anzahl* und der *Lage* der Paßpunkte.

Nimmt man nun an, daß in einem Gebiet eine mehr oder weniger gleichmäßige Verteilung von Punkten vorliegt, so werden in einem Modell im Durchschnitt n Punkte zu liegen kommen. Haben alle Punkte auch im Landes-System schon — mit einer gewissen Ungenauigkeit behaftete — Koordinaten, so wird die Unsicherheit der Transformation entsprechend den Kurven in Abbildung 1 mit der Anzahl der Punkte abnehmen. (Siehe dazu auch [4] und [5].)

Sind in einem Modell also zum Beispiel 30 Punkte, über die gesamte Fläche verteilt, enthalten, dann beträgt die Unsicherheit der Umrechnung in der Modellmitte nur noch $0,18 m_0$. Der Fehler im terrestrischen Wert eines, beiden Systemen gemeinsamen Punktes wird zwar bei der für die betreffende Umrechnung erforderlichen Mindestanzahl von Paßpunkten¹⁾ in seiner ganzen Größe wirksam, verliert aber mit zunehmender Anzahl von Punkten seinen Einfluß.

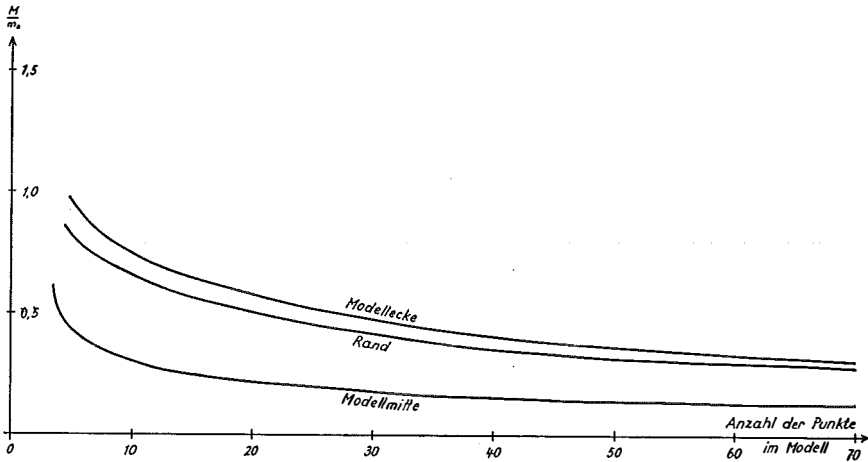


Abb. 1

Das heißt, daß man auch ein relativ genaues Maschinen-System in ein weniger genaues Landes-System so umrechnen kann, daß die Unsicherheiten der Landeswerte in der Transformation nur mehr zu einem geringen Teil fühlbar werden — also die Genauigkeit der Maschinenwerte im Wesen erhalten bleibt —, wenn man nur eine genügend große Anzahl von Punkten zur Verfügung hat!

Die Anzahl der Punkte im Modell hängt aber, abgesehen von der Kammerkonstanten, einerseits von der Flughöhe über Grund, andererseits von dem gegenseitigen durchschnittlichen Abstand der Punkte im Gelände ab. Beiden Größen sind Grenzen gesetzt, sowohl nach oben, als auch nach unten. Nimmt man ein Weitwinkelobjektiv an ($f = 152$ mm bei einer Bildgröße von $23 \text{ cm} \times 23 \text{ cm}$) und drei unterschiedliche Punktabstände im Gelände (200 m, 300 m und 400 m), dann ergeben sich folgende, am besten graphisch darzustellende Zusammenhänge:

Je größer der durchschnittliche Punktabstand und je kleiner der abgebildete Geländeteil ist, umso weniger Punkte sind in einem Modell enthalten und um so fühlbarer wird es, wenn einige wenige Punkte unter Umständen knapp am Rand liegen und nicht mehr erfaßt werden.

Verwendet man zur Aufnahme als Negativmaterial Cronarfilm oder einen, in seinem Verhalten diesem ähnlichen, dann wird man i. a. nach der photographischen Bearbeitung mit keinem unregelmäßigen, lokalen Schichtverzug rechnen brauchen. Das einzige, was bei einem großen Versuch im Bundesamt f. E. u. V. in

¹⁾ Das sind 2 Punkte bei einer Ähnlichkeits- und 3 Punkte bei einer Affintransformation.

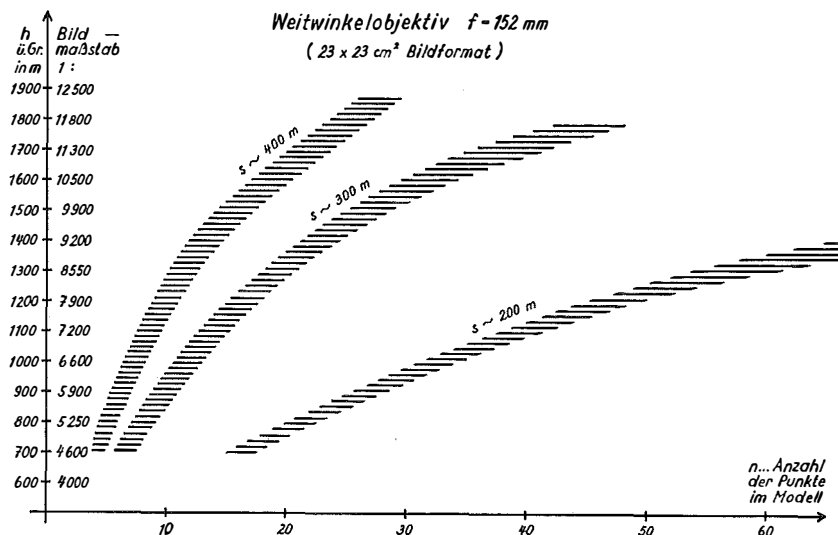


Abb. 2

Wien festgestellt wurde, war ein geringer, aber ziemlich konstanter Maßstabsunterschied in der Filmlängsrichtung und senkrecht dazu, siehe [6].

Daher wird man vorteilhafterweise die Werte des Maschinen-Systems affin in Landeskoordinaten transformieren. So berücksichtigt man die beiden unterschiedlichen Maßstäbe und kann damit für die folgenden Überlegungen den Einfluß des Aufnahmемaterials außer Betracht lassen.

Erfolgt die Geräteauswertung schließlich noch unter Zuhilfenahme von Kompensationsplatten, dann kann man die Maschinenwerte auch als fehlerfrei im Hinblick auf Restverzeichnungen der Aufnahmeoptik ansehen.

Die i. a. nur in ihrem Zusammenwirken spürbaren Einflüsse des Einstell- und Ablesefehlers sowie der inneren Geräteunsicherheit sollen zu *einem* Gerätefehler zusammengefaßt und im Mittelwert mit $\pm m_g$ (in der Bildebene) bezeichnet werden. Dieser Fehler wird beim Übergang auf das Landes-System entsprechend dem Bildmaßstab vergrößert und sodann durch den Fehler der Transformation²⁾ (Mittelwert $\dots \pm m_r$) überlagert.

Die genannten beiden Fehlereinflüsse zeigen aber in gewisser Hinsicht eine gegenläufige Tendenz. Der Anteil von m_g wirkt sich mit zunehmender Bildmaßstabszahl immer stärker aus, während m_r — durch die größer werdende Punktanzahl im Modell — bei gleichbleibendem m_0 , abnimmt!

In der Praxis wird die Flughöhe über Grund nach oben schon durch die Sichtbarkeit der signalisierten Punkte begrenzt, nach unten aber nicht nur durch die

2) Dabei kommt also nicht die Unsicherheit von 2 (bzw. 3) speziellen terrestrisch eingemessenen Punkten zum Tragen, sondern die *Gesamtheit* aller im Modell enthaltenen Punkte. Bei einer Helmert-Umrechnung ohne Überbestimmung z. B., also nur über 2 Punkte, kann es so weit kommen, daß der mit einem größeren Lagefehler behaftete terr. Wert streng genommen schon einen anderen als den Bildpunkt darstellt. Der Gerätewert und der terrestrische beziehen sich also dann auf 2 verschiedene, nicht idente Punkte!

Notwendigkeit einer sicheren Navigation auch in detailarmem, gleichförmigem Gelände, sowie die Begrenzung der Fluggeschwindigkeit im Hinblick auf die Bildwanderung, sondern vor allem durch die immer geringer werdende Punktzahl im Modell.

Für die Bildmaßstäbe 1:6000, 1:8000, 1:10000 und 1:12000 wird nun bei 3 verschiedenen, aber jeweils homogenen Punktverteilungen, mit der jeweils im Modell durchschnittlich enthaltenen Anzahl von n Punkten, der durch die Transformation ins Landes-System zu erwartende Punktlagefehler berechnet, einmal für einen Einheitsfehler $m_0 = \pm 10$ cm und einmal für ± 20 cm.

gleich- mäßige Punkt- verteilung mit	Bildmaßstab							
	1:6000		1:8000		1:10000		1:12000	
	$m_0 =$		$m_0 =$		$m_0 =$		$m_0 =$	
	± 10 cm	± 20 cm	± 10 cm	± 20 cm	± 10 cm	± 20 cm	± 10 cm	± 20 cm
$s \sim 200$ m	$\pm 2 - 5$	$\pm 4 - 10$	$\pm 1,5 - 4$	$\pm 3 - 7,5$	$\pm 1 - 3$	$\pm 2,5 - 5$	$\pm 1 - 2$	$\pm 2 - 4$
$s \sim 300$ m	$\pm 3 - 7$	$\pm 6 - 13,5$	$\pm 2,5 - 6$	$\pm 5 - 12$	$\pm 2 - 5$	$\pm 4 - 9,5$	$\pm 1,5 - 3,5$	$\pm 3 - 7$
$s \sim 400$ m	$\pm 3,5 - 8$	$\pm 7,5 - 16$	$\pm 3 - 7$	$\pm 6 - 14$	$\pm 2,5 - 6$	$\pm 5 - 12$	$\pm 2 - 4,5$	$\pm 4 - 9$

Abb. 3

Man sieht, daß bei einem „Tiefflug“ (900–1000 m über Grund, was hier einem Bildmaßstab von ca. 1:6000 entspricht) die Unsicherheit eines vom Maschinen- ins Landes-System umgerechneten Punktes allein durch die Transformation, an den Modellrändern, je nach Punktdichte, ± 5 bis 7 cm beträgt (bei $m_0 = \pm 10$ cm) und bei der hier angenommenen minimalsten Punktdichte (bei $s \approx 400$ m) sowie geringerer Paßpunktgenauigkeit (± 20 cm) bis auf ± 16 cm ansteigt.

Hingegen betragen dieselben Fehlereinflüsse bei einem „Hochflug“ (1800–1900 m über Grund, was dem Bildmaßstab von etwa 1:12000 entspricht) für $m_0 = \pm 10$ cm nur ± 2 bis 3 cm und steigen bei 400 m Punktabstand, sowie $m_0 = \pm 20$ cm, erst an den Modellrändern auf knapp ± 9 cm an.

Nimmt man nun die beiden genannten, bestimmenden Kardinalfehler als voneinander unabhängig an³⁾, so erhält man schließlich die Unsicherheit der endgültigen Landeskoordinaten durch Überlagerung der Einzelfehler entsprechend

$$M^2 = (m_g \times \text{Bildmaßstabszahl})^2 + (m_r)^2$$

Für die verschiedenen Bildmaßstäbe ergeben sich damit die totalen, mittleren Punktlagefehler immer mit 2 Extremwerten, einem kleinsten, der jeweils die Unsicherheit in der Modellmitte darstellt, sowie einem größten, der den Modellrändern entspricht. Daraus kann man schon einen wichtigen Schluß ziehen, je größer nämlich die Querüberdeckung benachbarter Modelle, umso mehr kann man sich auf die Auswertung ihrer Mittelteile beschränken und umso weniger werden sich die Unsicherheiten der transformierten Punkte innerhalb eines Modelles unterscheiden! (Ein weiterer Vorteil liegt noch darin, daß dann Abweichungen von der theoretischen Bildebene durch Schichtunebenheiten nicht bzw. nur zu einem geringen Teil in die Lage eingehen.)

³⁾ Was man ohne weiteres kann, da der erste Anteil i. a. aus einem Tiefflug stammt, während der entscheidende Faktor des zweiten Anteiles, m_0 , von der Qualität der Näherungswerte abhängt.

In den beiden folgenden Darstellungen 4a und 4b wurde eine mittlere Geräteunsicherheit von $\pm 0,01$ mm in der Bildebene angenommen, dazu in 4a ein Einpaßfehler von ± 10 cm, dagegen in 4b ein solcher von ± 20 cm.

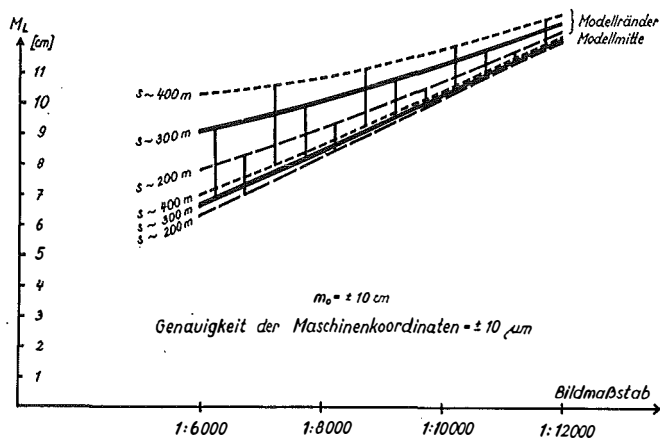


Abb. 4a

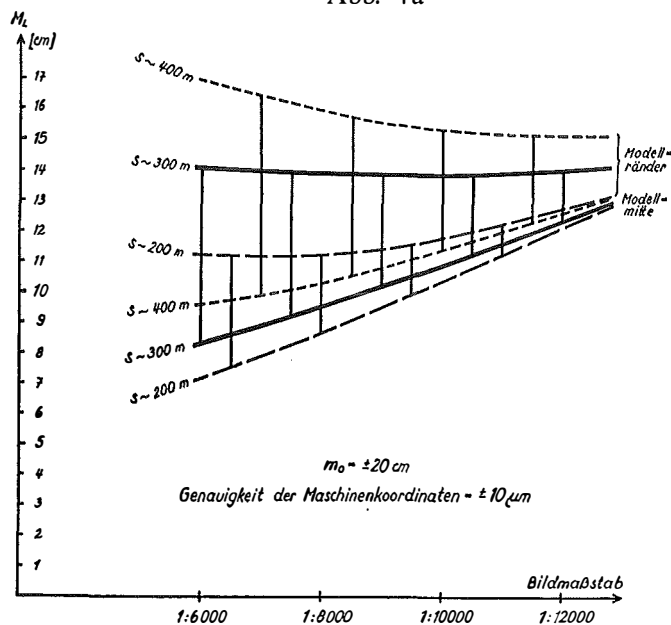


Abb. 4b

Den beiden folgenden Darstellungen wird nun eine mittlere Geräteunsicherheit in der Lage von $\pm 5 \mu\text{m}$ (in der Bildebene) zugrunde gelegt⁴⁾. Bei 4c wird wieder $m_0 = \pm 10$ cm angenommen, bei 4d ist $m_0 = \pm 20$ cm.

4) In der photogrammetrischen Abteilung des BAFEuV in Wien kann (unter den für numerische Arbeiten vorgesehenen Bedingungen) an den Analogauswertegeräten im Modellhorizont mit einer mittleren Unsicherheit des Maschinen-z von $\pm 0,025 - 0,03$ mm gerechnet werden, im Maschinen-y,

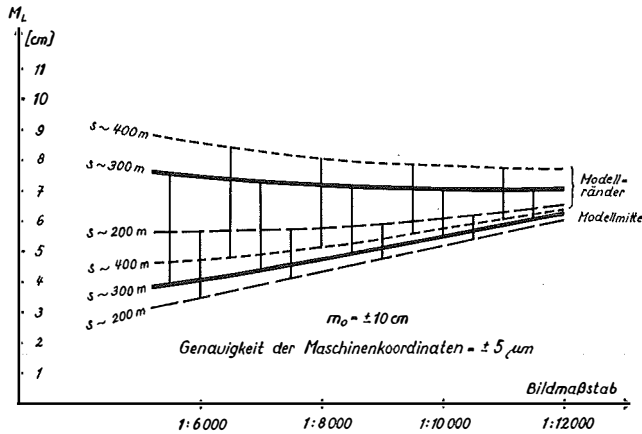


Abb. 4c

Vergleicht man die vier Abbildungen 4a bis 4d, dann muß man feststellen, daß bei jedem Bildmaßstab die Unterschiede der totalen Lagefehler zwischen den Modellmitten und den Rändern sowohl von dem durchschnittlichen Punktabstand s abhängen, als auch von der Genauigkeit der Näherungswerte, aber ebenso von der Geräteunsicherheit.

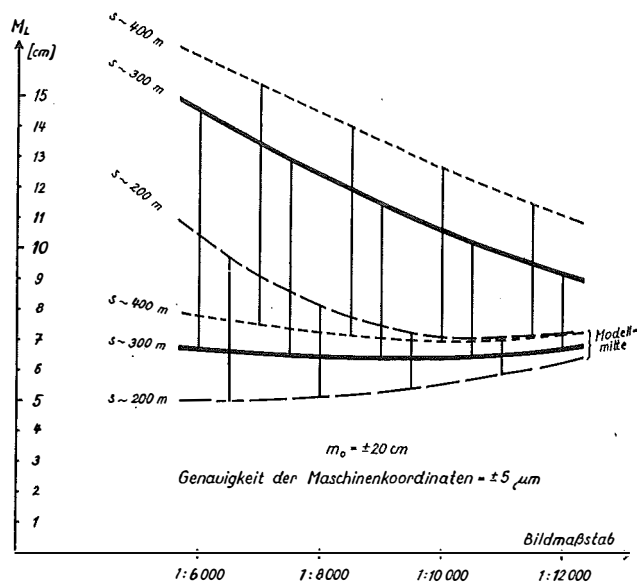


Abb. 4d

also in der größeren Modellerstreckung, mit etwa $\pm 0,015$ mm und im Maschinen- x mit etwas über $\pm 0,01$ mm. Das entspricht einer mittleren Unsicherheit des Modellhorizontes von $\pm 1^\circ$, während sich die mittlere Unsicherheit in der Grundrißlage aus den genannten Werten mit rund $\pm 0,02$ mm ergibt. Überträgt man diese Größe von dem Modellhorizont in den des Bildes (ca. 2,5:1), so hat man in der Bildebene mit knapp $\pm 0,01$ mm Unsicherheit zu rechnen. Wie sich bei ausgedehnten Versuchsmessungen gezeigt hat, läßt sich aber dieser mittlere Fehler durch Mehrfachmessungen noch auf $\pm 5 \mu\text{m}$ herunterdrücken.

Der geringste Streuungsbereich ist unter den Voraussetzungen der Abb. 4a zu finden, die kleinsten Werte unter den Bedingungen von 4c. Will man daher, bei den Verhältnissen von 4a zum Beispiel, eine gegebene Punktlageunsicherheit von ± 10 cm verringern, so würde man ohne weiteres auf einen Bildmaßstab von etwa 1:6000 heruntergehen können. Bei einem durchschnittlichen Punktabstand von $s \approx 200$ m würde der Punktlagefehler der Landeskoordinaten in den Modellmitten bei ± 6 cm liegen und in den Modellrandpunkten bis auf ± 8 cm ansteigen. Diese Inhomogenität in der Genauigkeit könnte schließlich durch die vom Verfasser schon in [4] beschriebene Doppeldeckung des Arbeitsgebietes ausgeglichen werden. Die Endmittelwerte hätten sodann eine Genauigkeit von ± 5 cm.

Es zeigt sich aber auch, daß eine beliebig weit geführte Maßstabsvergrößerung nicht immer zu dem besten Ergebnis führen muß. Sie kann, siehe 4b und 4d, ins Gegenteil umschlagen.

Daher müssen Geräteunsicherheit, Lagegenauigkeit der Näherungswerte und Bildmaßstab in einem gewissen Verhältnis zueinander stehen. Abbildung 4d zeigt deutlich, daß eine geringe Geräteunsicherheit zufolge Mehrfachmessungen ($\pm 5 \mu\text{m}$) bei groben Näherungswerten (hier z. B. nur auf ± 20 cm genau) vollkommen zwecklos ist, also einen unnützen Aufwand darstellt. Bei $s \approx 400$ m und dem Bildmaßstab 1:6000 ist der Genauigkeitsunterschied zwischen der Modellmitte und dem Rand allein schon fast 10 cm.

Die Verhältnisse von Abb. 4d werden also (unter den gemachten Voraussetzungen) als nicht gut aufeinander abgestimmt, i. a. abzulehnen sein. Eine grundlegende Änderung würde erst durch einen wesentlich geringeren Punktabstand herbeigeführt werden können, wenn dadurch die Punktzahl im Modell erheblich zunähme.

Bei einem Vergleich von 4a, 4b und 4c fällt schließlich auf, daß ein durchschnittlicher Punktabstand von $s \approx 400$ m nicht in allen Fällen vorteilhaft ist. Er bringt an den Modellrändern fallweise Genauigkeitsverluste gegenüber kleineren Bildmaßstäben. So betrachtet wird man daher eine Punktdichte von $s \approx 300$ m als optimal ansehen können, da man bei ihr, noch dazu wenn man nicht bis in die äußersten Modellecken auswerten muß, nicht in Gefahr gerät, an den Modellrändern mit kleiner werdender Bildmaßstabszahl Genauigkeit einzubüßen.

Das zu Beginn aufgeworfene Problem und seine Lösung stellen sich daher zusammenfassend folgendermaßen dar. Soll man in einem Gebiet, das mit flächig und gleichmäßig verteilten, in einem durchschnittlichen, gegenseitigen Abstand s liegenden, signalisierten Punkten besetzt ist, die Landeskoordinaten dieser Punkte (z. B. EP) mit verhältnismäßig hoher Genauigkeit photogrammetrisch bestimmen, so kann man diese Aufgabe in 2 Schritten lösen. Dabei stellt die Ermittlung von Näherungswerten, zum Beispiel aus einem Hochflug, den ersten Schritt dar. In einem zweiten müssen sodann die Auswertedaten eines Tieffluges über die Gesamtheit der Näherungswerte aller Punkte modellweise in das System der Landeskoordinaten transformiert werden. Ohne daß zusätzliche terrestrische Messungen dazu erforderlich wären, sind dann die so erhaltenen Koordinaten aus dem Tiefflug umso genauer, je besser die verschiedenen Umstände vorher aufeinander abgestimmt worden sind!

Natürlich kann man diese Dispositionen zusätzlich noch mit der vom Verfasser schon in [4] beschriebenen Doppeldeckung kombinieren und damit die Punktlagegenauigkeit sowohl weiter erhöhen, als auch homogenisieren.

B) Ein praktischer Versuch und seine Ergebnisse

Auf Grund der oben dargestellten Überlegungen wurde von der photogrammetrischen Abteilung des Bundesamtes f. E. u. V. in Wien das EP-Feld Neukirchen in Oberösterreich zum Testgebiet erklärt und nach Vorschlägen des Verfassers, folgenden Dispositionen entsprechend, befliegen beziehungsweise ausgewertet.

Zuerst Beschaffung von Näherungswerten aus Hochflügen mit einem Bildmaßstab von ca. 1:15000 und anschließend daran Ermittlung von gesicherten Koordinaten aus Tiefflügen mit einem Bildmaßstab zwischen 1:7000 bis 1:8000.

Die zu bearbeitende Fläche war über 100 km² groß und der durchschnittliche gegenseitige Festpunktastand s betrug rund 300 m.

Hochflug		Tiefflug
Bildformat 23 cm × 23 cm, $f = 15$ cm, Längsüberdeckung 1 = 60%		
sämtliche Bildflüge erfolgten am 13. Mai 1969		
Doppeldeckung mit Aufnahmen aus $h_g = 2140-2270$ m ü. Gr.		Doppeldeckung mit Aufnahmen aus $h_g = 1090-1220$ m ü. Gr.

Die Gerätedaten der Hochflüge wurden modellweise über 5 terrestrisch eingemessene Paßpunkte in das Landes-System umgerechnet. Die so bestimmten Näherungskordinaten der EP hatten mit Hilfe der Doppeldeckung einen mittleren, totalen Punktlagefehler von $\pm 9,5$ cm. (Es standen rund 1000 Wertepaare zur Genauigkeitsbestimmung zur Verfügung, also eine in jeder Hinsicht repräsentative Anzahl.)

Die Berechnung der Tiefflüge erfolgte sodann ebenfalls in Einzelmodellen auf die aus den Hochflügen gewonnenen und gespeicherten Näherungswerte, durch Transformation der Maschinenkoordinaten über alle jeweils in einem Modell vorkommenden Punkte. (Die Geräteunsicherheit lag durch Mehrfachmessungen bei ca. ± 5 μ m in der Bildebene.)

Die so erhaltenen Koordinaten der EP hatten eine Genauigkeit von ± 5 cm mittlerem, totalen Lagefehler in den Modellmitten und ± 7 cm an den Modellrändern, was den vorausberechneten Soll-Werten sehr gut entspricht. (Siehe Abb. 4c für $s \approx 300$ m.)

Da auch das Tieffluggebiet versuchsweise in 1:8000 doppelt gedeckt worden war, konnte sogar anschließend noch eine Mittelbildung aller 8000er-Einzelwerte vorgenommen werden. Diese führte zu einer praktisch homogenen EP-Genauigkeit von $\pm 4,5$ cm totalem, mittleren Punktlagefehler!

Damit aber war der klare Beweis erbracht worden, daß man signalisierte Festpunkte für den Kataster mit der jetzt in Österreich geforderten höheren Genauigkeit auch photogrammetrisch einwandfrei bestimmen kann!

