

Paper-ID: VGI_196721



Zur Frage der Genauigkeit bei photogrammetrischen Katasterauswertungen

Ewald Werner ¹

¹ 8793 Trofaiach, Kehrgasse 2

Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen **55** (6), S. 176–188

1967

Bib_TE_X:

```
@ARTICLE{Werner_VGI_196721,  
Title = {Zur Frage der Genauigkeit bei photogrammetrischen  
Katasterauswertungen},  
Author = {Werner, Ewald},  
Journal = {{\u}sterreichische Zeitschrift f{\u}r Vermessungswesen},  
Pages = {176--188},  
Number = {6},  
Year = {1967},  
Volume = {55}  
}
```



Entnimmt man aus Abb. 1 den m_y -Wert nach der Helmert-Transformation für den Streifen Nr. 6 mit $\pm 16,5$ cm, den entsprechenden Wert nach der Affin-Umrechnung (aus Abb. 2) mit $\pm 5,5$ cm, so ergibt sich nach dem Quadratwurzengesetz ein konstanter Anteil aus dem Cronarfilm mit $\pm 15,5$ cm. Geht man von der Punktlage auf das flächige Modell über, so tritt dieser Wert an beiden Rändern auf. Man muß also mit einer Streuungsbreite von 31 cm rechnen. Das sind bei der durchschnittlichen Modellbreite von 1 km $\dots 0,30/00$, was als mittlerer Abstand zwischen der Durchschnitts-Helmert-Linie und der y -Affinfaktor-Linie in Abb. 11 zutage tritt. Ebenso entnimmt man für m_x (Streifen 6) ± 13 cm beziehungsweise ± 6 cm, was einen konstanten Anteil aus dem Cronarfilm von ± 11 cm gibt. Die Streuungsbreite ist daher 22 cm, was bei der x -Erstreckung der Modelle von 2 km $\dots 0,10/00$ bedeutet. Auch diese Größe tritt in Abb. 11 als Differenz zwischen der Helmert-Linie und der x -Affin-Linie schön in Erscheinung.

Zusammenfassend kann man daher sagen: der Cronarfilm hat nach einer Helmert-Transformation senkrecht zu seiner Längsrichtung noch einen wesentlich größeren, mehr oder weniger konstanten Deformationsanteil, als in seiner Bandrichtung. Vernachlässigt man den unter $\pm 0,10/00$ liegenden Verformungsanteil, den eine Helmert-Umrechnung eliminiert, so weist der Cronarfilm senkrecht zu seiner Längsrichtung eine konstante Schrumpfung von $0,2-0,40/00$ auf, das sind bei 23 cm Filmbreite $\dots 0,05-0,09$ mm, während senkrecht dazu, also *in* der Filmlängsrichtung eine durchschnittliche Dehnung von nur $0,10/00$ auftritt, was 0,02 mm ausmacht.

Durch *affine* Einrechnungen können diese Inhomogenitäten eliminiert werden.

In einem so bearbeiteten Operat konnten im Bundesamt Einschaltpunkte — nach zweifacher, unabhängiger *Analogauswertung* — mit einer mittleren Punktlage von $M = \pm 7$ cm bestimmt werden.

Somit konnte der, einer *photogrammetrischen* EP-Bestimmung auferlegten Forderung — Punktlagefehler unter ± 10 cm — eindeutig entsprochen werden und es steht zu erwarten, daß dies nicht nur, wie im vorliegenden Fall, in der Ebene, sondern auch in kupertem Gelände der Fall sein wird.

Zur Frage der Genauigkeit bei photogrammetrischen Katasterauswertungen

von Ewald Werner, Leoben

1. Einleitung

Allgemeines über die verwendete Methode

Im folgenden wird über einige Ergebnisse bei der Verwendung photogrammetrischer Methoden zur Schaffung der geodätischen Unterlagen für die Durchführung von zwei Grundzusammenlegungen bei steirischen Agrarbehörden berichtet.

Im ersten Fall (Zusammenlegung *Pöls*) handelt es sich um ein Gebiet von rund 500 ha Größe, wovon allerdings nur 260 ha Zusammenlegungsgebiet sind, während der Rest unter Mitwirkung der Katasterdienststelle für agrarische Operationen be-

arbeitet wurde. Hier wäre also der Einsatz der Photogrammetrie wegen des zu kleinen Gebietes nicht gerechtfertigt; die photogrammetrische Bearbeitung erfolgte mehr zu Schulungszwecken für das technische Personal.

Dagegen umfaßt die Zusammenlegung Feistritz-Weißkirchen ein Gebiet von 1250 ha mit etwa 300 Beteiligten, die von einer Operationsgruppe von nur vier technischen Beamten durchgeführt werden mußte und daher den Einsatz der Photogrammetrie zwingend erforderte.

In beiden Fällen hat sich die angewendete Methode als einfach und rasch durchführbar erwiesen. Für die Zusammenlegung Pöls wurde nach Vorbereitungsarbeiten im Herbst 1962, die lediglich die Vermarkung bestehenbleibender Grenzen betrafen, Anfang April 1963 mit der Stabilisierung des EP-Netzes begonnen (52 EP). Nach der Signalisierung erfolgte Ende April 1963 der Bildflug durch das Bundesamt in der üblichen Disposition, anschließend durch die Operationsgruppe die Paßpunkt-messung und die Auswertung am A 5 der agrartechnischen Abteilung in Graz. Im Juli konnten Besitzstandsausweis und Bewertungsplan aufgelegt und die neuen Grundstücke planmäßig zu Beginn Oktober 1963 provisorisch übergeben werden. Wenn dabei auch keine Zeitersparnisse gegenüber dem üblichen Verfahren erzielt wurden, so haben sich dabei auch keine besonderen organisatorischen Schwierigkeiten ergeben.

Mit den Vorarbeiten für die Zusammenlegung Feistritz-Weißkirchen wurde im Juli 1964 begonnen. In zwei Monaten wurden rund 170 EP stabilisiert und alle bestehenbleibenden Grenzen begangen und vermarkt. Weiters wurden etwa 1500 alte Grenzpunkte durch einfaches Anstreichen mit Chlorkautschuklack luftsichtbar gemacht, die zur Kontrolle des alten Besitzstandes dienten. Anfang September erfolgte die Befliegung durch das Bundesamt nach einer Flugbereitschaft von nur einem Tag, nachdem die Signalisierung von etwa 1200 Punkten durch Tafeln in drei Tagen erledigt war.

Nach Lieferung der Kontaktkopien wurde die Paßpunktmessung durchgeführt, wobei ebenso wie in Pöls das Geodimeter NASM 4 der 2. Lehrk. f. Geodäsie der Technischen Hochschule Graz für einige Tage zur Verfügung stand, wofür Herrn Prof. Dr. Rimmer der herzlichste Dank gebührt.

Die Auswertung der insgesamt 22 Modelle war bei einschichtigem Betrieb bis März 1965 beendet, wobei außer der numerischen Auswertung aller signalisierten Punkte der gesamte alte Besitzstand, Kulturen, Häuser usw. im Maßstab 1:1000 mitkartiert wurde. Überdies wurden für zwei geplante Ortsumfahrungen je einer Bundes- und Landesstraße mit insgesamt 6,5 km Länge Höhenauswertungen durchgeführt, die als Grundlage für die Detailprojektierung durch das Landesbauamt dienten. Die Absteckung der Trassen erfolgte im Rahmen der Absteckungsarbeiten für die Neueinteilung durch die Operationsgruppe. Über die Ergebnisse dieser Arbeiten, sowie über die Verwendbarkeit der Höhenauswertung zur Projektierung von Entwässerungs- und Weganlagen, wird gesondert berichtet werden.

Die zur Aufstellung von Besitzstandsausweis und Bewertungsplan erforderlichen Arbeiten einschließlich aller terrestrischen Ergänzungsmessungen waren mit Ende Juni 1965 abgeschlossen. Nach einer durch die Fertigstellung anderer Operate be-

dingten Pause wurden die Arbeiten erst im März 1966 wieder aufgenommen und die Zusammenlegung mit Ende September übergabereif abgeschlossen.

Die Arbeitersparnis ist im Falle Feistritz-Weißkirchen evident, denn bei normaler terrestrischer Bearbeitung würde etwa bei Zugrundelegung der bei der niederösterreichischen Agrarbehörde erreichten Leistungszahlen (vergl. Haas [6]) bei dem zur Verfügung stehenden Personal von nur vier Beamten eine Zeitdauer von drei Jahren folgen. Da das steirische Verfahren wegen der als notwendig erachteten Reambulierung des Katasters etwas aufwendiger ist, ergibt sich eine wahrscheinliche Zeitdauer von $3\frac{1}{2}$ Jahren, ein verfahrenstechnisch und auch psychologisch nicht vertretbarer Zeitraum.

Zweifellos ist das Verfahren in Abhängigkeit von der Gebietsgröße auch billiger, aber dieser Umstand tritt gegenüber der Zeit- und Personalsparnis zurück. Wesentlich ist die Verlagerung eines Teiles der Arbeiten auf angelerntes Hilfspersonal und damit eine Entlastung des technischen Fachpersonals sowie der höhere Anteil an automatisierbaren Vorgängen bei Verwendung der Photogrammetrie. Dazu kommt schließlich der hohe Informationsgehalt des Luftbildes, der sich gewiß nicht im geodätischen Detail erschöpft, sondern gerade bei der Flurbereinigung eine Fülle von Anwendungsmöglichkeiten wie bei der Bodenschätzung, der Projektierung gemeinsamer Anlagen usw. bietet.

2. Wirtschaftlichkeit und Genauigkeit

Die Frage der Wirtschaftlichkeit eines Einsatzes der Photogrammetrie im Flurbereinigungsverfahren wurde vor allem im Zusammenhang mit der Prüfung der Flächengenauigkeit der vorhandenen Katasterunterlagen an mehreren praktischen Arbeiten untersucht. Da alle diese Untersuchungen sich zwangsläufig auf bestimmte vorgegebene Verhältnisse beziehen, die sich mit anderen nicht oder nur schwer vergleichen lassen, sind sie auch nicht von allgemeinem Interesse. Ähnliches gilt für die etwa in [4], [5] und in einer Reihe anderer Publikationen mitgeteilten Untersuchungen über die Wirtschaftlichkeit, wobei dies natürlich keineswegs als Kritik gemeint ist. Aber die in der Flurbereinigung angewendeten Verfahren sind wegen der Verschiedenartigkeit der Grundlagen und gegebenen Strukturverhältnisse in der Landwirtschaft immer verschieden und daher nur schwer vergleichbar. So ergeben sich bereits bei Kostenvergleichen von Zusammenlegungen im mittleren Murtal und im steirischen Salzkammergut Unterschiede bis zu 100%. Für die praktische Arbeit ergeben sich aus solchen Untersuchungen gute Anhaltspunkte für eine rationelle Verwendung der Photogrammetrie, aber auch für die Organisation des Verfahrensablaufes.

Im Gegensatz dazu wurde den Fragen der Genauigkeit weniger Beachtung geschenkt, da hierüber genügend einschlägige Ergebnisse insbesondere des Bundesamtes vorlagen, die die nötige Genauigkeit und damit die Verwendbarkeit der Photogrammetrie zu garantieren schienen, zumindest was die Gebiete betrifft, in denen Zusammenlegungen normalerweise durchgeführt werden.

Bei genauerem Hinsehen zeigt sich allerdings, daß es sich in den meisten Fällen um die Feststellung relativer Genauigkeiten (Streckenmeßfehler usw.) handelt oder um Vergleiche von photogrammetrisch bestimmten Koordinaten mit terrestrisch gemessenen von mangelhafter oder unbekannter Genauigkeit. So können etwa Detail-

punkte einer nach den üblichen klassischen Methoden aufgenommenen Neuvermessung mit den entsprechenden photogrammetrischen Koordinaten einfach nicht verglichen werden. Ebenso sind trigonometrisch bestimmte Koordinaten nur dann vergleichbar, wenn sie erheblich genauer sind als die entsprechenden photogrammetrischen. Hierüber wird unten noch einiges zu sagen sein. Dies liegt darin begründet, daß photogrammetrische Koordinatenfehler wegen der vielen auf sie wirkenden Einflüsse im allgemeinen als praktisch unabhängig zu betrachten sind. Das heißt, daß ihr Fehlertensor in jedem beliebigen Koordinatensystem nur Glieder in der Hauptdiagonale aufweist und die gemischten Glieder m_{xy} und m_{yx} zumindest praktisch verschwinden. Das gilt selbstverständlich nicht für trigonometrisch oder polygonometrisch bestimmte Punkte. Hier wären demnach von den bekannten Fehleruntersuchungen nur die von der OEEPE in Oberriet [1] und die von Wunderlich in Empelde (Niedersächsisches Flurbereinigungsamt) ausgeführten Messungen als Absolutmessungen zu betrachten. Auch die von Stickler und Waldhäusl in [3] mitgeteilten Untersuchungen liefern echte Fehlerwerte, da hier zwei gleichartige Messungen verglichen werden und die verwendete Helmerstransformation die Unabhängigkeit der Koordinaten nicht beeinflußt. Das behandelte Material ist überdies so umfangreich, daß den angegebenen Fehlergrößen zweifellos wesentliche Bedeutung zukommt.

Da es die einfachen geodätischen Verhältnisse und insbesondere der Einsatz des Geodimeters ohne Schwierigkeiten zuließen, wurden in den beiden Zusammenlegungen Pöls und Feistritz-Weißkirchen eine größere Anzahl von EP der Lage nach trigonometrisch, der Höhe nach durch Nivellement bestimmt und in der unten geschilderten Weise zu Genauigkeitsuntersuchungen verwendet. Da die photogrammetrisch bestimmten Koordinaten auf einem bereits durch etwa 15 Jahre in Betrieb stehenden A 5 gewonnen wurden, sind die erhaltenen Ergebnisse im Hinblick auf den genaueren A 7 zweifellos insoweit von Interesse, als die angegebenen Fehler mit dem A 7 ohne Schwierigkeiten unterboten werden können.

Im übrigen handelt es sich um die beim Bundesamt für Katasterzwecke üblichen Flugdispositionen (man vergleiche etwa [3] oder [6]); es können daher auch Vergleiche mit den dort angegebenen Werten angestellt werden.

Es darf schließlich hervorgehoben werden, daß dem Auswerter weder die Nummern der überbestimmten Punkte noch deren Koordinaten bekannt waren, wie überhaupt alle Kontrollmessungen so angelegt wurden, daß keine Absprachen oder Vergleiche vor ihrer Ablieferung möglich waren. Dazu kommt, daß eine gewisse Skepsis des verwendeten technischen Personals gegenüber der photogrammetrischen Methode ganz gewiß nicht zum Vertuschen von Fehlern geführt hat. Ebenso selbstverständlich wurden im Interesse der Sache keine Meßwerte ausgeschieden. Schließlich ist zu erwähnen, daß es sich um keine Versuchsmessungen in dem Sinne handelt, daß etwa besondere Vorkehrungen hinsichtlich der Meßgenauigkeit usw. getroffen wurden.

3. Die Genauigkeit der Vergleichspunkte

Von Seiten des Bundesamtes lagen für beide Zusammenlegungen kurz vorher ausgeführte Detailtriangulierungen mit der üblichen Punktdichte von 1 Punkt/km²

vor. Über ihre Genauigkeit wurden keine speziellen Angaben eingeholt, da sich anlässlich der Paßpunktmessungen genügend Anhaltspunkte zu ihrer Beurteilung ergaben.

Die Paßpunktmessung benutzte das vorhandene Triangulierungsnetz, ohne daß außerhalb des jeweiligen Detailnetzes gelegene Punkte verwendet wurden. Die Punkte wurden einzeln durch kombinierte Schnitte bestimmt, eine Reihe von Punkten, die nur zwei einfache Schnitte zuließen, wurden durch Streckenmessungen mit dem Geodimeter gesichert. Darüber hinaus wurden mehrere Längen bis zu 3100 m zu Kontrollzwecken gemessen. Die Koordinatenberechnung erfolgte zum Großteil durch Mittelung von mindestens drei Einzelschnitten, da sich bei einer Reihe von Punkten gezeigt hat, daß ein kombiniertes Einschneiden mit Ausgleich um höchstens 1 cm verschiedene Koordinaten ergab, so daß bei den übrigen Punkten auf eine Ausgleichung verzichtet wurde.

Bei insgesamt 20 überschüssigen Geodimeterseiten ergaben sich zwischen den gemessenen und gerechneten Längen

5 Abweichungen von 0 cm
11 Abweichungen von 1 cm
4 Abweichungen von 2 cm
0 Abweichungen über 2 cm

Bei Berücksichtigung von mm-Werten ergab sich in beiden Gebieten die geringfügige Tendenz eines in NS-(x-)Richtung etwas größeren Fehlers (< 1 cm). Hinzugefügt muß werden, daß die Geodimetermessungen von Herrn Dipl.-Ing. *Guttman* von der 2. Lehrk. f. Geodäsie der Technischen Hochschule Graz ausgeführt wurden und ihm außer für je eine Teststrecke keine Lagekoordinaten zur Verfügung standen.

Außer den zur Einzelmodell-Auswertung erforderlichen Paßpunkten wurden in beiden Gebieten zusammen rund 50 Punkte zusätzlich bestimmt, die für die nachfolgend mitgeteilten Kontrollen verwendet wurden. Bei 4 Punkten in Pöls und bei 8 Punkten in Weißkirchen wurden ihre Koordinaten durch kombiniertes Einschneiden mit Ausgleich gerechnet. Die Fehlerellipsen waren in beiden Gebieten jeweils ziemlich gleichartig; es war etwa in Weißkirchen:

die große Halbachse A 3,5 cm bis 4,1 cm
die kleine Halbachse B 1,0 cm bis 1,8 cm
die Richtung von A 5° bis 35°

und die Punktlagefehler

m_y zwischen 1,0 cm und 1,6 cm
 m_x zwischen 2,1 cm und 3,2 cm
 M zwischen 3,0 cm und 3,4 cm

Bei den durch einfache Mittelung der Einzelschnitte gerechneten Punkten ergaben sich die Fehler

Weißkirchen	Pöls
$m_y = \pm 2,0$ cm	$m_y = \pm 2,5$ cm
$m_x = \pm 2,8$ cm	$m_x = \pm 3,5$ cm
$M = 3,4$ cm	$M = 4,3$ cm

Im Hinblick auf die folgenden Vergleiche mit den photogrammetrisch bestimmten Koordinaten wäre festzuhalten:

Der mittlere Punktlagefehler ist im Falle Pöls um etwa 1 cm größer als in Weißkirchen. In beiden Fällen ist eine deutliche Tendenz $m_x > m_y$ vorhanden.

Die Höhen wurden überall durch Nivellement mit dem Zeiss Ni 2 gemessen. Sie sind daher ohne weitere Untersuchung gegenüber der photogrammetrischen Bestimmung als fehlerfrei anzusehen.

4. Die Genauigkeit der photogrammetrisch bestimmten Punkte

A) die Genauigkeit der Lagekoordinaten

Zur Untersuchung wurden die überzählig bestimmten Vergleichspunkte verwendet; sie waren über das jeweilige Auswerteggebiet verteilt und lagen

- in einem Modell: einfach photogrammetrisch bestimmt;
- in zwei Modellen: doppelt photogrammetrisch bestimmt;
- in drei oder vier Modellen: dreifach photogrammetrisch bestimmt.

Vierfache Punkte lagen nur drei vor, so daß sie nicht gesondert behandelt werden können.

Nun werden folgende Gruppierungen von Differenzen zwischen photogrammetrischen und trigonometrischen Koordinaten untersucht:

- alle einfach photogrammetrisch bestimmten und jede einzelne Auswertung der mehrfach bestimmten Punkte,
- die Mittel aller zweifach bestimmten und aller Zweierkombinationen der drei- und vierfach bestimmten Punkte,
- die Mittel aller dreifach bestimmten und aller Dreierkombinationen der vierfach bestimmten Punkte.

Für jede einzelne Gruppe wurden die aus den einzelnen Differenzen folgenden mittleren Koordinatenfehler m_y , m_x und der totale Punktlagefehler M gerechnet und in der nachstehenden Tabelle 1 zusammengestellt. Zur Orientierung sind auch die jeweils vorkommenden Maximalfehler und die Verteilung von M angegeben.

Bevor man darangeht, aus den angeführten Ergebnissen irgendwelche Schlüsse zu ziehen, muß man sich zunächst überzeugen, wieweit die erhaltenen Fehlerwerte für die sie repräsentierende Verteilung auch wirklich charakteristisch sind. Statistisch gesehen, handelt es sich bei jeder einzelnen Zeile von Tabelle 1 um eine Stichprobe

Tabelle 1

I. Zusammenlegung Feistritz-Weißkirchen

Art d. phot. Bestimmung	m_x m_y	Maxima		M	Maxi- mum	Verteilung f. M.			n
		-	+			$\pm M$	$\pm 2M$	$\pm 3M$	
a) einfach	8,2cm 10,1cm	19cm 25cm	18cm 21cm	13,0cm	25cm	65%	100%	100%	65
b) doppelt	5,8cm 6,8cm	13cm 14cm	10cm 15cm	8,9cm	17cm	65%	100%	100%	45
c) dreifach	3,7cm 4,4cm	8cm 8cm	6cm 8cm	5,8cm	9cm	67%	100%	100%	15

n = Anzahl der Messungen

II. Zusammenlegung Pöls

Art d. phot. Bestimmung	m_y m_x	Maxima		M	Maxi- mum	Verteilung f. M.			n
		-	+			$\pm M$	$\pm 2M$	$\pm 3M$	
a) einfach	$\pm 8,1$ cm $\pm 9,9$ cm	23cm 29cm	21cm 17cm	$\pm 12,8$ cm	29cm	70%	93%	100%	40
b) doppelt	$\pm 7,1$ cm $\pm 7,5$ cm	17cm 15cm	8cm 17cm	10,3cm	24cm	68%	96%	100%	25
c) dreifach	$\pm 4,8$ cm $\pm 5,7$ cm	10cm 9cm	4cm 9cm	7,4cm	13cm	70%	100%	100%	10

S_i mit der Streuung M_i ; zu untersuchen ist, wieweit M_i mit der Streuung der als normal verteilt angenommenen Grundmannigfaltigkeit übereinstimmt, aus der S_i entnommen ist. Oder mit anderen Worten: wieweit die angegebenen Fehlerwerte M_i für die einfach, doppelt oder dreifach bestimmten Punkte repräsentative Fehlerwerte darstellen. Die gestellte Aufgabe läßt sich durch statistische Methoden lösen. Man kann sich das ganze aber auch auf einfachem Wege zumindest plausibel machen, wenn schon nicht streng beweisen.

Dazu denkt man sich die aus den Koordinatendifferenzen folgenden Punktlagefehler M_i in irgendeiner Reihenfolge etwa für die Gruppe I a) angeschrieben und numeriert. Die Stichprobe bildet dann eine Zahlenfolge

$$(M_i) = M_1, M_2, M_3, \dots, M_n$$

Setzt man voraus, daß sie eine normal verteilte Grundgesamtheit repräsentieren soll, so muß sie eine normale Wahrscheinlichkeitsfolge₁₎ sein. Das bedeutet, daß jede aus (M_i) entnommene Teilfolge ebenfalls normal sein und insbesondere die gleiche Streuung M wie (M_i) haben muß. Solche Teilfolgen werden nun aus der Folge (1) der Gruppe I a) entnommen, indem man nur die M_i mit ungeraden Nummern, nur die mit geraden Nummern, Dreierkombinationen und schließlich eine Folge, bei der nur jeder sechste Wert M_i genommen wird. Für jede solche Teilfolge (M'_i) wird die zugehörige Streuung M' berechnet und mit der Streuung M der Gesamtfolge (M_i), d. h. dem mittleren Punktlagefehler der Gruppe I a) verglichen. Das gleiche geschieht mit den Gruppen I b) und I c).

Dabei ergibt sich:

Gruppe I a)

- a) Die Teilfolge M_1, M_3, M_5 hat 33 Glieder und die Streuung ... $M' = 12,9$ cm
- b) die Teilfolge M_2, M_4, M_6 hat 32 Glieder und die Streuung ... $M' = 13,2$ cm
- c) die Teilfolge M_1, M_4, M_7, M_{10} hat 22 Glieder und die Streuung $M' = 13,3$ cm
- d) die Teilfolge M_1, M_7, M_{13}, M_{19} hat 11 Glieder und die Streuung $M' = 13,5$ cm
- Streuung der gesamten Stichprobe $M = 13,0$ cm

Gruppe I b)

- a) Teilfolge $M_1 M_3 M_5$ 23 Glieder, Streuung $M' = 9,2$ cm
- b) Teilfolge $M_2 M_4 M_6$ 22 Glieder, Streuung $M' = 8,8$ cm
- c) Teilfolge $M_1 M_4 M_7$ 15 Glieder, Streuung $M' = 8,9$ cm
- d) Teilfolge $M_2 M_7 M_{12}$ 9 Glieder, Streuung $M' = 8,4$ cm
- Streuung der gesamten Stichprobe $M = 8,9$ cm

Gruppe I c)

a) Teilfolge $M_1 M_3 M_5$	8 Glieder, Streuung $M' = 6,3$ cm
b) Teilfolge $M_2 M_4 M_6$	7 Glieder, Streuung $M' = 5,5$ cm
c) Teilfolge $M_1 M_4 M_7$	5 Glieder, Streuung $M' = 5,6$ cm
d) Teilfolge $M_2 M_5 M_8$	5 Glieder, Streuung $M' = 5,5$ cm
e) Teilfolge $M_3 M_6 M_9$	5 Glieder, Streuung $M' = 5,9$ cm
Streuung der gesamten Stichprobe	$M = 5,8$ cm

Dieser Auswahlvorgang läßt sich natürlich beliebig fortsetzen. So wurden aus Gruppe I b) zwei Teilfolgen zu je 20 Gliedern durch Ziehen der Nummern aus einer Urne ausgewählt. Die Berechnung der Streuungen ergab 8,7 cm bzw. 8,8 cm gegenüber $M = 8,9$ cm der gesamten Stichprobe.

Wenngleich natürlich das geschilderte Verfahren keinen strengen Beweis darstellt, so schien es doch anschaulicher als die Anwendung eines statistischen Prüfverfahrens.

Die genau gleichen Resultate gelten auch für die Gruppen II a), b) und c), wobei auf die Anführung der Ergebnisse verzichtet ist. Man kann daher zusammenfassen:

Die mittleren totalen Punktlagefehler M der photogrammetrisch bestimmten Punkte gemäß Tabelle 1 sind die jeweiligen Streuungen von mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit normal verteilten Grundgesamtheiten. Sie sind demnach im gleichen Maße repräsentativ für diese Gesamtheiten, also für die photogrammetrischen Lagefehler der einfach, doppelt und dreifach photogrammetrisch bestimmten Punkte.

Es folgt ferner, daß die Anzahl der Messungen, d. h. die Anzahl der trigonometrisch überbestimmten Punkte zur sicheren Angabe dieser Fehlergrößen ausreicht. Es folgt sogar, und das ist ein weiterer Vorteil des oben angewandten Auswahlverfahrens, daß die gleichen Angaben schon aus einer wesentlich geringeren Anzahl von Messungen folgen würde. Es würde genügen, zur Beurteilung der Genauigkeit eines photogrammetrischen Operates etwa 6 über das Gebiet verteilte Punkte einwandfrei trigonometrisch zu bestimmen, die im Mittel dreifach ausgewertet werden können, um sichere Fehlerangaben für die photogrammetrisch einfach, doppelt oder dreifach bestimmten Punkte machen zu können. Es liegen dann nämlich 18 einfache, 18 doppelte und 6 dreifache Messungen vor, aus denen nach dem oben Gezeigten repräsentative Werte für die Streuungen dieser Stichproben erhalten werden.

Die oben zusammengefaßten Folgerungen hinsichtlich der Normalverteilung konnten allerdings nur für den mittleren Punktlagefehler M gezogen werden. Die gleiche Behandlung der Koordinatenfehler m_y, m_x liefert für die entsprechenden Werte m'_y, m'_x der ausgewählten Teilfolgen Werte, die sich bis zu maximal 2,5 cm von den zugehörigen Werten der Gesamtfolge unterscheiden. Hier ist also offensichtlich die Normalverteilung für m_y, m_x nicht mehr in dem Maße gegeben wie für M . Die Erklärung dafür kann nur darin gesucht werden, daß sich die bei den Paßpunktfehlern festgestellte Tendenz $m_x > m_y$, unverändert auf die entsprechenden photogrammetrischen Fehler fortpflanzt und die Normalverteilung stört.

Interessant ist ferner ein Vergleich der Punktlagefehler in Pöls und Weißkirchen. Während der etwas größere Paßpunktfehler in Pöls in den Gruppen a) keine Wirkung zeigt, verstärkt sich diese Wirkung von b) nach c). Dies dürfte darauf zurückzuführen

sein, daß sich in a) der photogrammetrische Punktlagefehler außerhalb des Grenzfehlers der Paßpunkte befindet, während er sich in c) bereits im Bereich $\pm 2M$ des Paßpunktfehlers befindet. In diesem Bereich können aber bereits etwa ein Drittel aller Paßpunktfehler liegen. In dieser Beurteilung sind also die Ergebnisse der Zusammenlegung Weißkirchen in Abhängigkeit von der Paßpunktgenauigkeit als etwas besser zu bezeichnen als die der Zusammenlegung Pöls. Dies zeigt außerdem, welche hohen Anforderungen an die Genauigkeit der Paßpunkte gestellt werden müssen, damit nicht die photogrammetrischen Ergebnisse durch Ungenauigkeiten der Paßpunkte verschlechtert werden.

Vergleicht man schließlich den Wert $M = 9$ cm der Gruppe I b) für doppelt bestimmte Punkte mit den von Stickler und Waldhäusl in [3] angegebenen Wert $M_0 = 8$ cm, der ja aus Doppelmessungen folgt, so ergibt sich bei Berücksichtigung der zweifellos etwas höheren Genauigkeit des A 7 auch hier ausgezeichnete Übereinstimmung.

B) Die Genauigkeit der Höhen

Hier lagen die durch Nivellement bestimmten Höhen von 77 Punkten in beiden Operaten vor, die zusätzlich zu den erforderlichen Paßpunkten eingemessen wurden. Hiervon lagen 26 Punkte in zwei Modellen, so daß wie oben die Gruppierungen

103 einfache Messungen

26 doppelte Messungen

untersucht werden konnten. Das Ergebnis des Vergleiches der photogrammetrisch bestimmten Höhen mit den Nivellementhöhen ist in Tabelle 2 zusammengestellt.

Tabelle 2

Art. d phot. Bestimmung	m_h	Maxima		Verteilung			n
		—	+	m_h	$2m_h$	$3m_h$	
einfach	± 16 cm	43cm	39cm	77%	93%	100%	103
doppelt	± 9 cm	25cm	13cm	81%	93%	100%	26

C) Verschiedene sonstige Kontrollen

Im Gebiet Weißkirchen wurden 12 doppelt photogrammetrisch bestimmte EP in Hauptpolygonzügen mitgerechnet und die so bestimmten Koordinaten mit den photogrammetrischen verglichen. Es ergab sich dabei wieder deutlich die Tendenz $m_x > m_y$, aber der wesentlich größere totale Punktlagefehler $M = 11,5$ cm gegenüber 8,9 cm in Tabelle 1. Hier zeigt sich zweifellos die Problematik solcher Vergleiche.

Im gleichen Gebiet wurden unter eher ungünstigen Umständen (Wald usw.) Polygonzüge zwischen EP gemessen. Dabei waren

a) 10 Züge zwischen je einem trigonometrischen und einem photogrammetrisch bestimmten Endpunkt und

b) 10 Züge zwischen zwei photogrammetrisch bestimmten Endpunkten gemessen worden. Die Züge hatten durchschnittlich 3 Zwischenpunkte und eine mittlere Seitenlänge von 92 m, das Ausbiegungsmaß betrug im Mittel 1,16. Die in der Dienstvorschrift 14 für die Genauigkeitsstufe II vorgeschriebenen Grenzwerte für f_β , f_l , f_q wurden durchschnittlich zu 14% bis 33% erreicht; es lagen jeweils 67–90% im Be-

reich $\Delta f/3$, 100% im Bereich $2\Delta f/3$, Überschreitungen von $2/3$ der jeweiligen Fehlergrenze kamen in keinem Fall vor. Interessant ist, daß der systematische Längsfehler im Falle a) 13 cm je Kilometer, im Falle b), also bei Verbindung von zwei photogrammetrisch bestimmten Punkten aber nur 1 cm je Kilometer betrug. Alle Züge wurden vom gleichen Beobachter mit dem gleichen Instrument gemessen.

5. Der photogrammetrische Streckenfehler

Hier werden nur die Ergebnisse im Gebiet Weißkirchen angeführt, da die entsprechenden Werte in Pöls nicht wesentlich anders waren, jedenfalls keine anderen Gesichtspunkte brachten. Da im vorliegenden Fall verlässliche Angaben über die Größe des photogrammetrischen Punktlagefehlers vorliegen, bietet sich die Möglichkeit, Vergleiche zwischen diesem und dem photogrammetrischen Streckenfehler m_s anzustellen.

Die gegebene Situation erforderte lediglich die Messung von 277 Strecken zu Kontrollzwecken. Die hierbei sich ergebenden Mittelwerte der nach Streckenlängen geordneten Differenzen zwischen gerechneten und gemessenen Längen sind in der folgenden Tabelle 3 zusammengestellt. Hierbei wurde kein Meßwert ausgeschieden.

Tabelle 3

Intervall	Anzahl d. Strecken	M_s	Max.	Anzahl d. Überschreitungen $\Delta f_s''$	
				Zahl	%
0–5 m	11	5,2 cm	11 cm	1	9,1%
5–8 m	59	6,1 cm	13 cm	3	5,1%
8–11 m	34	6,7 cm	15 cm	4	11,7%
11–15 m	29	7,7 cm	17 cm	2	6,9%
15–19 m	41	6,5 cm	17 cm	2	4,9%
19–24 m	26	7,4 cm	27 cm 1*)	2	7,7%
24–30 m	25	7,5 cm	16 cm	0	0%
30–36 m	15	8,5 cm	17 cm	0	0%
36–43 m	12	7,1 cm	17 cm	0	0%
43–50 m	11	5,0 cm	8 cm	0	0%
über 50 m	14	8,6 cm	20 cm	0	0%

Es werden demnach die Fehlergrenzwerte $\Delta f_s''$ der D. V. 14 bei Längen von 0 bis 24 m im Mittel in 7% aller Fälle überschritten:

Berechnet man unter der Voraussetzung

$$m_s = \text{const.}$$

den mittleren Fehler aller Messungen, so ergibt sich

$$m_s = 6,6 \text{ cm} \quad \dots (1)$$

Der Grenzfehler wäre demnach 3 m = 19,8 cm; dieser Grenzfehler wird nur in einem einzigen Fall bei einer rund 20 m langen Strecke in eindeutiger Weise überschritten (siehe 1* in Tabelle 3). Dieser Wert liegt aber auch außerhalb des dreifachen mittleren Fehlers von 7,4 cm dieses Intervalls. Bei Zugrundelegung der Fehlergrenze

(1) wird die zulässige Fehlergrenze nach D. V. 14 erst ab einer Streckenlänge von rund 52 m erreicht; alle kürzeren Strecken wären demnach außerhalb dieser Grenze. Nun ergibt sich aber aus den Meßwerten, daß bereits ab etwa 24 m, ganz sicher aber ab etwa 35 m keine Überschreitungen von $\Delta f_s''$ mehr vorkommen. Dies legt doch offenbar nahe, anstelle eines Grenzfehlers von $\Delta m_s = \text{const.}$ eine lineare Beziehung zur Seitenlänge in der Form

$$\Delta m_s = a \cdot s + b \quad \dots (2)$$

anzunehmen. Aus einer etwas umständlichen Berechnung von a und b durch Ausgleichung aller 277 Differenzen ergibt sich schließlich dafür

$$\Delta m_s = 0,020 \cdot s + 17 \quad \dots (3)$$

für $0 \leq s \leq 80$ m, s in m, m_s in cm.

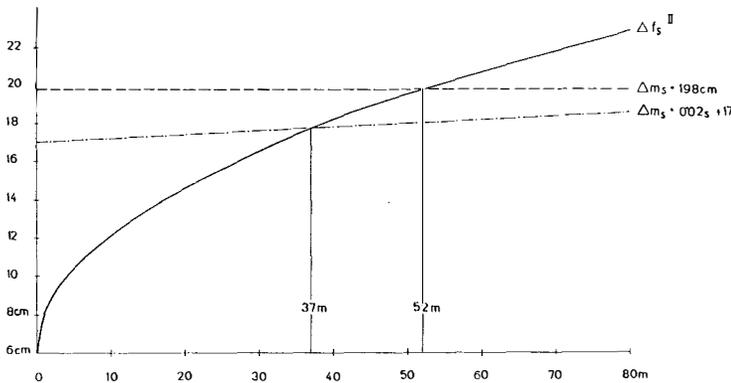


Abb. 1

In der Abb. 1 sind nun eingetragen:

$\Delta f_s''$ nach Dienstvorschrift 14

Δm_s nach (1)

Δm_s nach (3)

Daraus ergibt sich, daß bei Annahme der Fehlergrenze (3) die Fehlergrenze $\Delta f_s''$ ab Längen von etwa 37 m unterschritten wird.

Wenngleich das zur Ermittlung des Streckenfehlers zur Verfügung stehende Material nicht allzu umfangreich ist, so ergeben sich daraus doch eine Reihe von Folgerungen, die sich zumindest als wahrscheinlich anbieten.

Vergleicht man den in 4. a) angegebenen mittleren Punktlagefehler für einfach photogrammetrisch bestimmte Punkte von

$$M = 13 \text{ cm}$$

mit dem Wert (1) von $m_s = 6,6$ cm, so fällt die ausgezeichnete Übereinstimmung mit der in Oberriet, Härry [1], erhaltenen Beziehung

$$m_s = 0,496 M$$

auf. Es ist daher unerfindlich, wie die in der Literatur zu findende Behauptung

$$M = m_s \quad \dots (4)$$

zustande kommen kann; aus keiner der vorliegenden praktischen Messungen kann

sie jedenfalls hergeleitet werden. Auch bei Zugrundelegung der besseren Beziehung (3) für den Grenzfehler würde die ungefähre Gleichsetzung nach (4) erst für Längen ab etwa 1000 m gelten, ganz abgesehen davon, daß eine so weitgehende Extrapolation von (3) völlig unzulässig ist. Die einleuchtende Erklärung, daß M mit einem hohen Anteil von systematischen Fehlern behaftet ist²⁾, die auf beide Endpunkte in gleicher Richtung wirken und daher m_s kleiner werden lassen als M , wird auch im vorliegenden Fall zweifelsfrei bestätigt.

Interessant ist hier ein Vergleich mit dem von Stickler in [2] mitgeteilten Streckenfehler von etwa 4 cm. Da es sich hierbei um Strecken zwischen durchwegs doppelt bestimmten Endpunkten handelt, wäre nach dem oben Gesagten mit einem Punktlagefehler von rund 8 cm zu rechnen; das ist in guter Übereinstimmung mit dem Wert für M in Gruppe I b) in Tabelle 1. Bei doppelt bestimmten Punkten ist daher ein Streckenfehler von 4 cm ohne größere Schwierigkeiten erreichbar; man würde allerdings erheblich danebengehen, wollte man diesen Wert als mittleren Punktlagefehler nach (4) auffassen. Hier zeigt sich übrigens klar die Bedeutung der in [2] verwendeten 50%igen Querüberdeckung, da sie die mindestens zweifache Bestimmung jedes Punktes erlaubt.

Auch der in [3] mitgeteilte Punktlagefehler $M_0 = 8$ cm ist aus Doppelmessungen entstanden, wobei der Transformation der Zweitmessung auf die ursprüngliche Koordinaten etwa die Rolle der Mittelbildung zukommt.

Ohne daß hierbei ein Anspruch auf allgemeine Gültigkeit erhoben würde, kann man die angeführten Ergebnisse kurz zusammenfassen:

1. Die Beziehung $m_s = \text{const.}$ wird besser durch eine lineare Beziehung der Form (2) mit sehr schwacher Steigung ersetzt.

2. Die zweifellos für Entfernungen bis etwa 80 m falsche Gleichsetzung $m_s = M$ wird näherungsweise durch die Beziehung

$$m_s = 0,5 M \quad \dots (5)$$

ersetzt.

Die Gültigkeit von (5) bzw. (3) für längere Strecken könnte lediglich durch Geodimetermessungen festgestellt werden. Hierfür lagen aber in den beiden Operaten zu wenige Messungen vor. Einen gewissen Anhaltspunkt dafür liefern die Zugmessungen in 4. C). Sie ergeben für eine mittlere Zuglänge von 370 m eine mittlere Differenz zwischen der gemessenen und der gerechneten Schlußlinie von 8,3 cm. Dies würde einen Grenzfehler von rund 25 cm bedeuten, während man aus (3) für 370 m den Wert 24,4 cm errechnet. Die gute Übereinstimmung dürfte Zufall sein, aber jedenfalls scheint durch (3) eine gute Anzeige der vorhandenen Tendenz auch für längere Strecken gegeben.

Die Beziehung (5) erlaubt außerdem eine überschlägige Kontrolle des auf direktem Weg nach 4. A) ermittelten Koordinatenfehlers durch Streckenmessungen.

Was schließlich die mehrfach beobachteten Sprünge an Modellgrenzen betrifft, so ist festzuhalten, daß in den beiden Arbeiten derartige Tendenzen weder bei Polygonanschlüssen noch bei Streckenmessungen festgestellt werden konnten. Ob das vorhandene Material allerdings ausreicht, hier eindeutige Aussagen zu machen, muß dahingestellt bleiben.

Literatur

- [1] *Härry*: Bericht IGP, Kommission IV über die kontrollierten Versuchsauswertungen „Oberriet“ für Katasterphotogrammetrie, Photogrammetria XIV, Nr. 4, S. 141 ff.
 [2] *Stickler*: Der Versuch Gedorf, ÖZfV, 1962, S. 59ff.
 [3] *Stickler* und *Waldhäusl*: Untersuchung der Genauigkeit photogrammetrisch bestimmter EP, ÖZfV, Jahrg. 53, 1965, S. 185ff.
 [4] *Sander*: Über die Wirtschaftlichkeit der Luftbildmessung in der Flurbereinigung, BuLW 1964, S. 106ff.
 [5] *Schmidt-Falkenberg*: Photogrammetrie in der Flurbereinigung, AVN 1959, Heft 2.
 [6] *Haas*: Der Einsatz der Photogrammetrie bei der Gerippeaufnahme bei Grundstückszusammenlegungen, ÖZfV 1965, S. 192ff.
 [7] *Thompson*: A Note of Systematic Error, Photogrammetria, 1953/54, Nr. 2, S. 43.

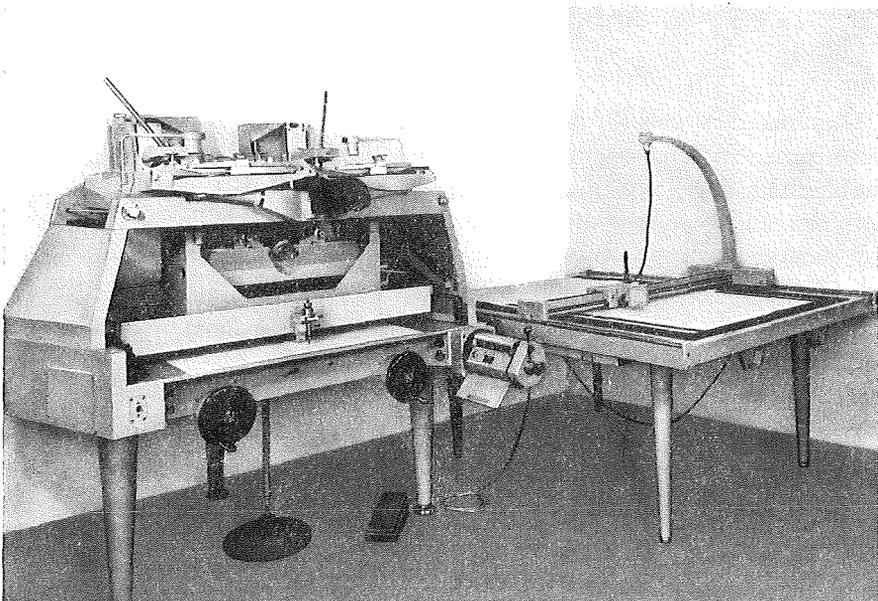
Referat

Die 31. Photogrammetrischen Wochen in Karlsruhe vom 25. September bis 6. Oktober 1967

Von *Peter Waldhäusl*, Wien

Anlässlich der 31. Photogrammetrischen Wochen hat die Firma Carl Zeiss Oberkochen drei neue Geräte der Öffentlichkeit vorgestellt:

Erstens wurde das neue Präzisionsauswertegerät II. Ordnung „Planimat“ gezeigt, das durch seine einfache Konstruktion hohe Genauigkeit und Stabilität erwarten läßt. Es soll hauptsächlich für die Kartierung in mittleren und großen Maßstäben dienen. Ein großer, unmittelbar einstellbarer Brennweitenbereich zwischen 85 mm und 310 mm gestattet eine universelle Anwendung. Der Planimat ist so konstruiert, daß alle Zusatzeinheiten zum Planigraphen C 8 nun auch an ihn angeschlossen werden können: Das Druckzählwerk, das Koordinatenregistrierwerk Ecomat, der Stempel-



Planimat Plan