

DIE KATASTERPHOTOGRAMMETRIE IM PRAKTISCHEN EINSATZ

Von Karl Kraus, Stuttgart

1. Die Entwicklung der Katasterphotogrammetrie in den beiden letzten Jahren

Vor etwa zwei Jahren ist das Institut für Photogrammetrie der Universität Stuttgart mit einigen Test- und ersten Anwendungsbeispielen aus der Katasterphotogrammetrie an die Öffentlichkeit getreten in der Hoffnung, daß die Praxis diese Anregungen aufgreift und der Photogrammetrie eine neue Chance gibt, sich im praktischen Einsatz zu bewähren [1], [2] und [3]. Diese Hoffnung hat sich erfüllt: Die Tabelle 1 dokumentiert, daß allein am Stuttgarter Institut in den letzten beiden Jahren 160 000 Messungen zur Koordinierung von 59 000 Grenzpunkten rechnerisch verwertet wurden. Diese Zahl ist in Relation zur Jahresleistung der Vermessungsverwaltungen der BRD zu setzen [4]: Die Landesvermessungsämter koordinieren jährlich mit photogrammetrischen Methoden 25 000 Punkte und die Landeskulturämter 350 000 Punkte.

Besonders bei der Kataster- und Landeskulturverwaltung in Baden-Württemberg lösten die neuen Methoden und die zur Verfügung gestellten Rechenprogramme eine verhältnismäßig starke Verbreitung der photogrammetrischen Katastervermessung aus. Von amtlicher Seite wurden diese Bemühungen mit der offiziellen Zulassung der Photogrammetrie am 14.10.1971 [5] im Kataster beantwortet.

Aber nicht nur in Baden-Württemberg stießen diese Meß- und Programme auf Interesse. So wendet z.B. das Landmessungsamt Kiel die Block- und Interpolationsmethode an, um einige Schlußvermessungen im Flurbereinigungsverfahren photogrammetrisch durchzuführen. Unabhängig von der Stuttgarter Programmentwicklung, aufbauend auf ähnlich allgemeinen methodischen Grundsätzen, wurde in den letzten Jahren bei der Niedersächsischen Katasterverwaltung die Photogrammetrie verstärkt im Kataster eingeführt [4]. Abgesehen von einigen Versuchen ist aus den übrigen Bundesländern keine Ausweitung der photogrammetrischen Methoden bekannt. Die Landeskulturverwaltung in Bayern [6] und Rheinland-Pfalz [7], die die Photogrammetrie seit vielen Jahren einsetzen, stellen - seit einigen Jahren unverändert - nach wie vor den größten Anteil der koordinierten Punkte.

Als Zwischenergebnis kann festgehalten werden, daß die Katasterphotogrammetrie - vor allem wo von den neuen rechenintensiven Methoden Gebrauch gemacht wurde - in den letzten Jahren an Boden gewonnen hat. Andererseits haben die terrestrischen Methoden durch die Entwicklung der selbstregistrierenden elektronischen Tachymeter neue Impulse erfahren, so daß es angebracht ist, den Einsatz der verschiedenen Methoden weiter zu diskutieren.

Bis vor etwa einem Jahr stand im Zusammenhang mit der Katasterphotogrammetrie die Genauigkeit im Mittelpunkt der Diskussion. Inzwischen wurde überzeugend nachgewiesen [4], [8] und [9], daß die Photogrammetrie mit Vergrößerung des Bildmaßstabes jede beliebige Genauigkeit - sogar im mm-Bereich [10] - erreichen kann. Hinsichtlich der Genauigkeit steht damit die Photogrammetrie gleichrangig neben den terrestrischen Methoden.

Zur durchgreifenden Kontrolle der photogrammetrischen Ergebnisse und zur Vervollständigung der ausgefallenen Punkte hatte man vor zwei Jahren ausführlich die beiden Möglichkeiten diskutiert [3]: Entweder Auswertung von zwei unabhängigen Bildverbänden des gesamten Gebietes (Doppelbefliegung) oder einmalige photogrammetrische Aufnahme mit terrestrischer Kontrolle (kombinierte photogrammetrisch-terrestrische Katastervermessung). In Zusammenarbeit mit dem Landesvermessungsamt Stuttgart und dem Landesamt für Flurbereinigung und Siedlung in Ludwigsburg hat das Institut für Photogrammetrie beide Möglichkeiten erprobt. Nach Auswertung der ersten Versuche, deren Ergebnisse noch mitgeteilt werden, kam man übereinstimmend zu dem Ergebnis - und so wurde es auch in den Verwaltungsvorschriften [5] festgelegt -, daß für eine vollständige Katasterneuvermessung und für eine Fortführungsvermessung die kombinierte photogrammetrisch-terrestrische Aufnahmemethode der Doppelbefliegung vorzuziehen ist. Anders liegen die Verhältnisse z.B. in Schleswig-Holstein, wo die Grenzpunkte nicht alle vermarktet werden und die photogrammetrisch koordinierten Punkte im wesentlichen die Funktion sogenannter Einschaltpunkte für terrestrische Folgevermessungen haben [11]. In diesem Fall ist die Frage der Kontrolle zweitrangig: Die bearbeiteten Verfahren für das Landesvermessungsamt Kiel sind einfache Bildverbände ohne einem zweiten Bildverband bzw. ohne terrestrische Kontrollmaße (Tabelle 1).

Nachdem diese technischen Fragen der Katasterphotogrammetrie im wesentlichen befriedigend geklärt sind, steht heute die Wirtschaftlichkeit dieser Methode im Vergleich zu anderen Verfahren im Vordergrund. Der zweite Teil dieses Vortrages ist ausschließlich dieser Frage gewidmet. Im ersten Teil werden anhand eines chronologischen Ablaufes die neuesten Erfahrungen mit der kombinierten photogrammetrisch-terrestrischen Katastervermessung wiedergegeben. Dabei war ich auf die Unterstützung der zuständigen Herren der Kataster- und Landeskulturverwaltung sowie auf ÜbVI und freie Mitarbeiter unseres Instituts angewiesen.

2. Ablauf einer kombinierten photogrammetrisch-terrestrischen Katastervermessung nach den neuesten Erfahrungen

2.1 Paßpunktbestimmung

Bei Flurbereinigungsverfahren mit einem flächenhaften Bildverband reichen in der Regel die vorhandenen trigonometrischen Punkte als Lagepaßpunkte für die Blockausgleichung aus, vor allem wenn man den Bildverband etwas über den Gebietsrand des Flurbereinigungsverfahrens hinaus erweitert, um zusätzliche trigonometrische Punkte einzubeziehen und um die genauigkeitsmäßig gefährdeten Randzonen des Blockes nicht verwenden zu müssen. Nur hin und wieder ist die Einschaltung eines Lagepaßpunktes bzw. die Verlegung eines vorhandenen TP erforderlich. Man kann durchschnittlich von 1 bis 2 zusätzlichen Lagepaßpunkten pro Flurbereinigungsverfahren, unabhängig von der Blockgröße, ausgehen. Höhenpaßpunkte sind in der Katasterphotogrammetrie nur zur näherungsweisen Horizontierung der Stereomodelle notwendig. In vielen Fällen reichen aus topographischen Karten entnommene Höhen bzw. Höhenangaben der TP aus. Nur in Ausnahmefällen sind einige Höhenpaßpunkte einzunivellieren oder mittels trigonometrischer Höhenmessung zu bestimmen.

Nicht so günstig liegen die Verhältnisse bei der Katasterfortführungsvermessung mit den streifenartigen Bildverbänden entlang von Straßen, Wasserläufen usw. Sofern noch keine neuzeitliche Polygonierung vorliegt, was die Regel sein wird, ist ein Polygonzug mit Seitenlängen bis zu 1 km zu legen. Die zur Reduktion der in der Regel elektronisch bestimmten Schrägentfernungen

zu messenden Höhenwinkel können vorteilhaft zur Höhenbestimmung der Polygonpunkte herangezogen werden, so daß ohne zusätzlichen Meßaufwand Polygonpunkte auch gleichzeitig Höhenpaßpunkte sind.

2.2 Signalisierung, terrestrische Kontroll- und Ergänzungsmessungen

Die Kombination der Photogrammetrie mit terrestrischen Methoden eröffnete neue Möglichkeiten in der Signalisierung. Früher war man bestrebt, jeden Grenzpunkt - auch in sichtgefährdeten und kontrastarmen Zonen - photogrammetrisch einzumessen, indem man umfangreiche Kontrastringe legte und mit Hilfssignalen die Punkte zu erfassen versuchte. Heute werden die Punkte nicht mehr signalisiert, die wirtschaftlicher mit terrestrischen Meßelementen bezogen auf einige photogrammetrisch bestimmte Punkte erfaßt werden können. Als terrestrische Bestimmungsstücke kommen der einfache und überbestimmte Bogenschnitt, orthogonale Messungslinien mit zwei und mehr bekannten Punkten, Polarstandpunkte mit freier und fester Stationierung und mit beliebig vielen Anschlußmessungen in Frage. Auf diese Weise steuert man bei der Signalisierung die Wirtschaftlichkeit der gesamten Aufnahme. Spalte 8 der Tabelle 1 enthält im wesentlichen diese terrestrisch festgelegten Punkte, die in manchen Fällen ein Viertel der gesamten Punktmenge ausmachen.

Zur Kontrolle der aufgenommenen Grenzpunkte werden kurze Strecken innerhalb einer Bandmaßlänge und kurze Abstände (Ordinaten, Pfeilhöhen) eines dritten Punktes von der Geraden durch zwei andere Punkte gemessen. Außerdem bieten Anordnungen von Punkten in Geraden und rechten Winkeln, die vor allem durch zusätzliche Hilfspunkte erreicht

werden, eine gute Kontrolle ([3], Seite 114). Die Kontrollen, die sich auf Hilfspunkte beziehen, sind bei der Kataster- und Flurbereinigungsverwaltung sehr unterschiedlich aufgenommen worden: Die Flurbereinigung signalisiert so gut wie keine Hilfspunkte und bei der Katasterverwaltung werden zum Teil mehr Hilfspunkte als eigentliche Grenzpunkte luftsichtbar gemacht.

Bei den Flurbereinigungsverfahren mit mehreren Tausend Grenzpunkten wären in der ohnehin kritischen Zeit unmittelbar vor dem Flug diese Hilfspunkte zu signalisieren und die damit zusammenhängenden terrestrischen Kontrollelemente zu bestimmen. Eine Signalisierung der Hilfspunkte mit der Vermarkung kommt nämlich wegen der zu großen Zeitspanne zwischen Vermarkung und Flug nicht in Frage. Weiterhin liegen die aufzumessenden Eckpunkte des Wege- und Gewässernetzes zu diesem Zeitpunkt nicht auf Eigentums Grenzen, sondern in bewirtschafteten Flächen, die möglichst frei von Vermessungszeichen gehalten werden sollten. Anstelle der aufwendigen Messung langer Spanmaße bzw. der Festlegung solcher Hilfspunkte werden bei Flurbereinigungen vor allem die Abstände große Bedeutung erlangen. Diese Abstände können so wie die Spanmaße unabhängig vom Bildflug unmittelbar nach der Abmarkung gemessen werden. Da das Programm erst vor kurzem um die Abstände - ebenso um die rechten Winkel - erweitert wurde, hat man sie bisher nur beim letzten Verfahren "Ehningen" benutzt.

Solche Hilfspunkte werfen bei Fortführungsvermessungen nicht die angedeuteten Probleme auf. Am Vermessungsamt Biberach ging man vorwiegend auf zwei symmetrisch signalisierte Hilfspunkte je Grenzpunkt über. Zu diesem Zweck hat J. PETERLE eine kleine Signalisierungsvorrichtung

konstruiert, die es erlaubt, an einem Tag von zwei Herren bis zu 120 Grenzpunkte kontrolliert zu signalisieren. Die terrestrischen Kontrollelemente sind zwei 1 m-Spannmaße und eine Geradenbedingung. Besonders hervorzuheben ist, daß diese Kontrollelemente nicht aufgeschrieben und nicht abgelocht werden müssen, sondern aufgrund der Punktnummern vom Programm gefunden werden können. Die symmetrische Punktfiguration dient außerdem dem Auswerter als ausgezeichnete Identifizierungshilfe. Diese Dreiergruppen haben sich über den Amtsbereich Biberach hinaus bei der Katasterverwaltung Baden-Württemberg durchgesetzt. Die Verfahren Laupheim, Stetten, Achstetten und Reute der Tabelle 1 wurden zum großen Teil auf diese Weise signalisiert. Bei sehr dichten Punkthaufen werden anstelle der Dreiergruppen die kurzen Spannmaße gemessen. Eine vorgesehene Erweiterung der Signalisierungsvorrichtung auf rechtwinklige Punktanordnungen macht dieses Verfahren noch wesentlich anpassungsfähiger an die jeweiligen Geländeverhältnisse. Diese Signalisierungsvorrichtung kann bei Katasterfortführungsvermessungen besonders vorteilhaft auch zur Signalisierung der alten, oft stark verschmutzten und an Zäunen liegenden Grenzpunkten eingesetzt werden: Man wird auf die Signalisierung solcher Punkte ganz verzichten und nur die Hilfspunkte anbringen.

Eine erhebliche Verbesserung in der Signalisierung brachten darüber hinaus die inzwischen auf den Markt gekommenen Kontrastgrenzmarken mit geschwärzten Seitenflächen und weißem Kopf, die ohne Signalisierungsscheibchen unmittelbar im Luftbild angemessen werden können.

2.3 Bildflug

Der wichtigste Parameter der Bildflugplanung ist der Bildmaßstab. Die Randbedingungen des Bildmaßstabes betragen 1:6000, in dem die Grenzmarken von 10 x 10 cm gerade noch angemessen werden können, und aus flug-technischen Gründen der Maßstab 1:1000. Diesen Bereich wird man ausschöpfen, um die Genauigkeit den gestellten Anforderungen anzupassen. Im amtlichen Bereich wird die Genauigkeit der endgültigen Koordinaten in Form von Fehlergrenzen für Streckendifferenzen festgelegt:

$$\Delta s = c_1 \sqrt{s} + c_2 s + c_3 \quad (1)$$

Für die Photogrammetrie mit der bekannten hohen Absolutgenauigkeit ist es ausreichend, sich auf die Konstante c_3 zu beschränken. Beim Vergleich der gerechneten Strecken aus den endgültigen photogrammetrischen Koordinaten und der gemessenen Strecken setzt sich c_3 nach der Beziehung

$$c_3 = 3\sqrt{\sigma_{sp}^2 + \sigma_{st}^2} \quad (2)$$

zusammen (σ_{sp} = photogrammetrischer Streckenfehler, σ_{st} = Fehler der terrestrischen Strecken).

Der photogrammetrische Streckenfehler σ_{sp} , der sich aus dem mittleren Koordinatenfehler durch Multiplikation mit $\sqrt{2}$ ergibt, kann in Abhängigkeit des Bildmaßstabes angegeben werden (m_b = Bildmaßstabszahl).

Der mittlere Koordinatenfehler nach der Blockausgleichung, das entspricht dem Gewichtseinheitsfehler der Spannmaßausgleichung, beträgt $\pm 6 \mu\text{m}$ (Spalte 6 der Tabelle 2; weitere Werte in der Tabelle auf Seite 117 der Veröffentlichung [3]). Durch die Spannmaßausgleichung reduziert

sich dieser Koordinatenfehler auf $\pm 3.5 \mu\text{m}$ ¹⁾.

Demnach erhalten wir

$$\sigma_{sp} = \frac{3.5 \mu\text{m} \cdot m_b \cdot \sqrt{2}}{10^6} \quad (3)$$

Für kurze Spannmaße beträgt der mittlere Fehler σ_{st} der terrestrischen Strecken

$$\sigma_{st} = \frac{c_3}{3 \sqrt{2}} \quad (4)$$

Der Zusammenhang zwischen der Bildmaßstabszahl m_b und dem dritten Glied der Fehlergrenze c_3 ergibt sich damit zu

$$m_b \text{ (Tausender)} = \frac{c_3(\text{cm})}{2.1} \quad (5)$$

So wäre z.B. in Baden-Württemberg in Gebieten der Fehlerklasse 3 ($c_3 = 10 \text{ cm}$) der Bildmaßstab 1:4800 und in Gebieten der Fehlerklasse 2 ($c_3 = 5 \text{ cm}$) der Maßstab 1:2400 zu wählen. Bei den im Land Baden-Württemberg liegenden Projekten der Tabelle 1, Spalte 1, schwankt der Maßstab von 1:2800 bis 1:6000. Nur wenige Verfahren (z.B. Esslingen-Plochingen) liegen im Bereich der Fehlerklasse 2, der überwiegende Anteil im Bereich der Fehlerklasse 3.

1) Diese Genauigkeitssteigerung durch die Spannmaußgleichung erhält man nach dem Fehlerfortpflanzungsgesetz für die in Dreiergruppen signalisierten Grenzpunkte [21]. Sie trifft im wesentlichen auch für die anderen terrestrischen Kontrollen zu.

Mit dem Stichwort "Bildflug" ist auch der schwächste Punkt der Katasterphotogrammetrie in der jetzigen Form angesprochen, nämlich die oft nervenzehrende und kostspielige Wartezeit zwischen abgeschlossener Signalisierung und dem Bildflug. Diese kritische Zeitspanne läßt sich scheinbar nur dadurch verkürzen, daß man die konträren Interessenlagen der Bildflugfirma und des Auftraggebers, der die Signale überwacht, aufhebt und dafür den Bildflug und die Überwachung der Signale eventuell in eine Hand legt. Auf diese Weise würde von selbst beim Bildflug mehr riskiert und unter Umständen würde auch eine etappenweise Befliegung größerer Gebiete in Erwägung gezogen.

2.4 Ausmessung der Grenzpunkte und der Topographie am photogrammetrischen Auswertegerät

Bei den Katasterneuvermessungen der Flurbereinigungsverwaltung sind nur die Grenzpunkte und bei Katasterfortführungsvermessungen zusätzlich die Topographie auszuwerten. Die Ausmessung der Grenzpunkte ohne Topographie ist grundsätzlich an Stereokomparatoren möglich. Davon wurde bisher noch kein Gebrauch gemacht, sondern in allen Fällen Analog-Auswertegeräte eingesetzt. Nach den Untersuchungen in [9] ist der Stereokomparator im Vergleich zu Analog-Auswertegeräten wirtschaftlicher einzusetzen, wenn je Modell weniger als 40 bis 50 Punkte zu messen sind. Ohne die mit dem Stereokomparator verbundene beachtliche Genauigkeitssteigerung in Rechnung zu stellen, hätte man demnach die drei Verfahren der photogrammetrischen Einschaltpunkte und die Straßenschlußvermessung Esslingen-Plochingen günstiger mit dem Stereokomparator ausgewertet.

Als Standardverfahren für die Ausmessung der Grenzpunkte ohne zusätzliche Topographie wurde bisher die Methode der unabhängigen Modelle mit genäherter Horizontierung im Analog-Auswertegerät angewandt (L in Spalte 2 der Tabelle 1). Obwohl die Höhenpaßpunkte für die Horizontierung aus Karten entommen werden können, wird man in Zukunft immer mehr dazu übergehen, die Modelle nur noch relativ zu orientieren und die Daten für eine räumliche Blockausgleichung aufzubereiten (R in Spalte 2 der Tabelle 1).

Ist zusätzlich zu den Grenzpunkten auch Topographie - wie bei allen Fortführungsvermessungen - auszuwerten, werden zur Zeit zwei verschiedene Wege beschritten. Beim ersten Weg legt man die Bilder zweimal ein: Einmal zur Ausmessung der Grenzpunkte im relativ orientierten Modell und ein zweites Mal nach der Blockausgleichung zur Ausmessung der Topographie im absolut orientierten Modell. Im Abschnitt 6. wird eine methodische Weiterentwicklung angedeutet, wie das zweimalige Einlegen der Bilder umgangen werden kann. Beim zweiten Weg legt man vor der Blockausgleichung die Bilder nur einmal ein, orientiert mit "graphischer" Genauigkeit die Modelle absolut und mißt sowohl die Grenzpunkte (numerisch bleiben es unabhängige Modelle) als auch die Topographie aus. Welcher Weg vorzuziehen ist, hängt davon ab, ob mit geringem Aufwand die erforderlichen Paßpunkte beschafft werden können.

Zur Auswertung der Grenzpunkte ist noch zu vermerken, daß in der Regel nur ein Durchgang gemessen wird.

2.5 Blockweise Berechnung der Koordinaten der signalisierten Punkte

In diesem Abschnitt werden die unabhängig gemessenen Stereomodelle rechnerisch aneinandergesetzt und gleichzeitig auf die terrestrischen Paßpunkte eingepaßt. Das Programm PAT-M43 wird verwendet, wenn die Modelle nur relativ orientiert wurden, und die Programmversion PAT-M4, wenn zusätzlich näherungsweise horizontiert wurde [12] (L bzw. R in der Spalte 2 der Tabelle 1). Würden die Bilder an einem Stereokomparator ausgemessen, müßten sie vorher rechnerisch zu Modellen vereinigt oder mit Hilfe eines Bündelausgleichungsprogrammes (wie z.B. am Landesvermessungsamt Hannover [4]) ausgewertet werden.

Die Anwendung der Blockausgleichung in der Katastervermessung wurde in den Veröffentlichungen [1], [2], [8], [9] ausführlich beschrieben und braucht hier nicht wiederholt zu werden. Die guten Ergebnisse der ersten Anwendungsbeispiele haben sich im Laufe dieser beiden Jahre bestätigt: Der Gewichtseinheitsfehler σ_0 (Spalte 1 der Tabelle 2) liegt im Mittel unter $10 \mu\text{m}$. In der Variation von 5.7 bis $13.1 \mu\text{m}$ spiegeln sich die unterschiedlichen Bedingungen im Routinebetrieb wider. Nach Rücksprache mit den Auswertern scheint der Bildflug - Bewegungsschärfe und schlechte Bildqualität - der einflußreichste Parameter zu sein, wie z.B. bei den Projekten Oberrottweil, Kenzingen und Sandhausen. Zum Teil äußern sich im σ_0 auch Spannungen im Netz der Paßpunkte (z.B. Grombach und Barga-Mauenheim).

Die Netzspannungen sieht man noch deutlicher im quadratischen Mittelwert \bar{v}_{pp} der Restfehler (= Verbesserungen) an den terrestrischen Paßpunkten (Spalte 2 der Tabelle 2). Bei fehlerfreien Paßpunkten und von systematischen Fehlern freie photogrammetrische Modellkoordinaten müßte \bar{v}_{pp} identisch sein mit \bar{v}_{vp} , dem quadratischen Mittelwert der Verbesserungen an den Verknüpfungspunkten (Spalte 3 der Tabelle 2). Tatsächlich unterscheiden sich beide Werte im Mittel um den Faktor 2.5 (max. 3.4). Dieser Effekt, der auch bei den ersten Testbeispielen [1], [2] auftrat, wurde bisher mehr auf die Photogrammetrie und weniger auf Spannungen im trigonometrischen Netz geschoben.

Im Rahmen der Auswertung der Doppelbefliegung Grombach ließ sich eindeutig nachweisen, daß es in erster Linie Netzspannungen sind. In der Normalversion, dem Bildflug 1:4300 in Ost-West-Richtung betragen die Werte $\bar{v}_{pp} = \pm 10.3$ cm und $\bar{v}_{vp} = \pm 3.0$ cm (Tabelle 2). Die Auswertung eines davon völlig unabhängigen Bildverbandes 1:6000 in Ost-West-Richtung ergab etwa die gleichen Werte. Die Kombination dieses Bildverbandes mit einem weiteren Flug 1:6000 in Nord-Süd-Richtung zu einem Doppelflug ergab ebenfalls die gleichen Verhältnisse, die sich schließlich auch bei der Kombination der beiden Bildverbände 1:6000 und 1:4300 zu einem zweiten Doppelflug einstellten. Für alle 4 Versionen sind die Restfehler an den Paßpunkten in der Abb. 1 ausgezeichnet. Die mehr oder weniger unabhängigen photogrammetrischen Auswertungen führen im wesentlichen jeweils auf das gleiche Vektorbild, so daß die Ursachen zum größten Teil den Netzspannungen zuzuschreiben sind.

Diese Erkenntnisse sollten dazu ermutigen, an schlecht passenden trigonometrischen Punkten - vor allem im Block-

RESTFEHLER NACH DEN 4 BLOCKAUSGLEICHUNGEN

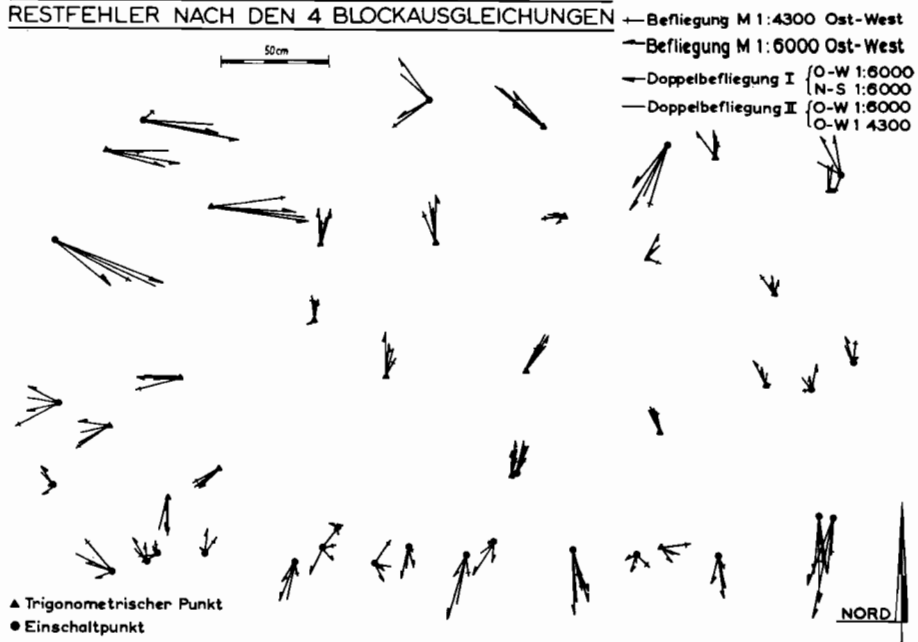


Abb. 1

RESTFEHLER NACH DER INTERPOLATION

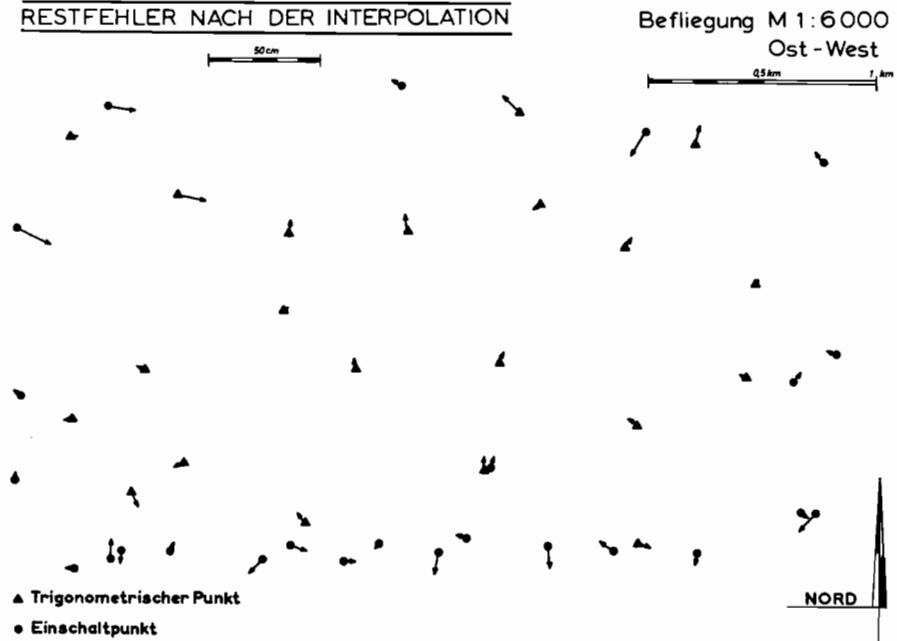


Abb. 2

inneren - die terrestrischen Koordinaten durch die photogrammetrischen zu ersetzen, um auf diese Weise eine allmähliche Verbesserung des Vermessungswerkes zu erreichen. Etwaige Anpassungen am Gebietsrand und wie man insgesamt mit Netzspannungen fertig werden kann, bringt der folgende Abschnitt.

2.6 Beseitigung der Netzspannungen und die Einpassung am Gebietsrand

Im Kataster steht die Nachbargenauigkeit im Vergleich zur Absolutgenauigkeit im Vordergrund. Die unterschiedlichen Werte für \bar{v}_{pp} und \bar{v}_{vp} können auch so interpretiert werden, daß der photogrammetrische Punkthaufen in sich um den Faktor 2.5 homogener ist als die Nahtstelle zwischen photogrammetrischen und terrestrischen Koordinaten. Da in der Regel die terrestrischen Koordinaten der Paßpunkte die höhere Priorität haben, ist der photogrammetrische Punkthaufen so zu deformieren, daß sich die terrestrischen Koordinaten der Paßpunkte spannungsfrei in den photogrammetrischen Punkthaufen einfügen. Zur Lösung dieser Interpolationsaufgabe eignet sich besonders die Interpolation nach kleinsten Quadraten [2], [13]. Ihre Wirkungsweise demonstriert Abb.2, die die Restfehler an den Paßpunkten nach der Deformation des photogrammetrischen Punkthaufens für die Befliegung 1:6000 Ost-West enthält.

Spalte 7 der Tabelle 1 läßt erkennen, daß wir - mit geringen Ausnahmen - alle Blockausgleichungsergebnisse auf diese Weise rechnerisch nachbehandeln müssen. Die Spalten 4 und 5 der Tabelle 2 enthalten die Ergebnisse: Links sind die Restfehler vor und rechts nach der Interpolation aufgeführt. Im wesentlichen wird erreicht, daß \bar{v}_{sp} (nach) etwa mit dem quadratischen Mittelwert \bar{v}_{vp} der Verbesserungen an den Verknüpfungspunkten übereinstimmt.

Von großer praktischer Bedeutung ist noch, daß die Zahl der Stützpunkte bei der Interpolation nach kleinsten Quadraten (Spalte 7 der Tabelle 1) in vielen Fällen wesentlich höher ist als die Paßpunkte der Blockausgleichung. In der Regel handelt es sich um signalisierte Grenzpunkte am Gebietsrand, die bereits aus älteren Vermessungen Koordinaten haben. Wegen der verhältnismäßig hohen Fehlerquote ist es nicht ratsam, diese Punkte als Paßpunkte in die Blockausgleichung einzuführen, sondern nur als Vergleichspunkte (Gewicht = 0), um die Differenzen zwischen den photogrammetrischen und den terrestrischen Koordinaten zu bekommen. Anhand dieser Differenzen können dann Recherchen angestellt und von Fall zu Fall entschieden werden, ob die Differenzen rechnerisch zu beseitigen sind oder ob grobe Fehler vorliegen. In mehreren Fällen wurden grobe Fehler in den terrestrischen Koordinaten der älteren Vermessungen festgestellt; in anderen Projekten hat man sich nach langen Nachprüfungen entschlossen, auch größere Spannungen mit Hilfe der Interpolation nach kleinsten Quadraten zu beseitigen.

Als Initiator der Methode möchte ich in diesem Zusammenhang doch auf die Gefahren dieses Vorgehens hinweisen. Die Methode erlaubt auf elegante Art mit den Schwierigkeiten der Praxis fertig zu werden, doch sollte man eine gewisse kritische Einstellung behalten. Vor allem sollte man mehr dazu übergehen, den alten in vielen Fällen ungenaueren Bestand an das Neue anzugleichen und nicht - wie bisher - das Neue an das Alte.

2.7 Einrechnen der nichtsignalisierten bzw. der ausgefallenen Punkte

Nach der Interpolation liegen von den signalisierten Punkten, die am Auswertegerät angemessen werden konnten, vorläufige Landeskoordinaten vor. Dieses Koordinatenverzeichnis ist nun um die nicht signalisierten, aber mit terrestrischen Bestimmungselementen festgelegten Grenzpunkte zu ergänzen. Welche terrestrische Bestimmungselemente hier in Frage kommen und in welchem Umfang sie auftreten, wurde im Abschnitt 2.2 bereits ausgeführt. Zusätzlich zu den schlecht luft-sichtbaren und deshalb absichtlich nicht signalisierten Punkten werden an dieser Stelle auch von den signalisierten, aber im Luftbild nicht sichtbaren Punkten, das sind etwa 2 bis 4 %, vorläufige Landeskoordinaten berechnet. Das Verzeichnis dieser ausgefallenen Punkte legt der Operateur während der Auswertung an. Ein großer Teil der ausgefallenen Punkte kann ohne Außendienst mit Hilfe der terrestrischen Kontrollmaße festgelegt werden. Diese Einrechnungen werden vom Vorprogramm des Programms "Spannmaßausgleichung" besorgt [3].

Sind größere zusammenhängende Teile des Gebietes photogrammetrisch aufwendiger als terrestrisch aufzunehmen, bietet sich noch die Möglichkeit an, die blockweise Ausgleichung der Polarelemente mit der photogrammetrischen Blockausgleichung zu kombinieren [14], [15]. Zu diesem Zweck wird man die Polarkoordinaten der einzelnen Standpunkte in lokale kartesische Koordinaten umrechnen und gemeinsam mit den photogrammetrischen Modellen ausgleichen.

2.8 Rechnerische Grenzprüfung

Wir verstehen darunter die Aufgabe, die vorgefundene und photogrammetrisch eingemessene Abmarkung mit den Zahlen des Grenznachweises - in der Regel orthogonale Maße isolierter Messungslinien - auf rechnerischem Wege zu überprüfen und evtl. Unstimmigkeiten zu beheben. Gleichzeitig sind für die Punkte mit fehlender Abmarkung die Landeskoordinaten zu beschaffen. Diese Aufgabe tritt allgemein bei Katasterfortführungsvermessungen und bei Flurbereinigungen nur am Gebietsrand auf.

In dem Programmsystem kann die rechnerische Grenzprüfung entweder aufbauend auf einfachen Helmert-Transformationen im Vorprogramm des Programmes "Spannmaßausgleichung" oder mittels verketteter Ähnlichkeitstransformation als Blockausgleichung durchgeführt werden. Im Verfahren Ehningen wurden mit Hilfe der einfachen Helmert-Transformation 519 Grenzpunkte rechnerisch überprüft und von 430 nicht mehr vermarkten Punkten auf diese Weise die Landeskoordinaten bestimmt. Die einfache Helmert-Transformation hat gegenüber der blockweisen Bearbeitung den entscheidenden Vorteil, daß die vielen groben Fehler leichter gefunden werden können.

Die blockweise rechnerische Grenzprüfung hat den Vorteil, daß man bei schlechtem Abmarkungszustand noch Grenzprüfungen durchführen kann, die in sukzessiver Anwendung der einfachen Helmert-Transformation nicht mehr bzw. nur sehr unsicher bearbeitet werden könnten. Abb. 3 zeigt ein typisches Beispiel einer blockweisen rechnerischen Grenzprüfung aus dem Projekt Ehningen. Bei dieser Blockausgleichung sind alle inzwischen koordinierten Punkte als "Paßpunkte", die gruppenweise mit verschiedenen Gewichten zu belegen sind, und die orthogonalen Messungslinien, die zum Teil über identische Grenzpunkte verknüpfen, als "Modelle" aufzufassen. Die unterschiedlichen Genauigkeiten der orthogonalen Messungslinien könnte man in mehreren aufeinanderfolgenden Blockausgleichungen berücksichtigen.

Abb. 3

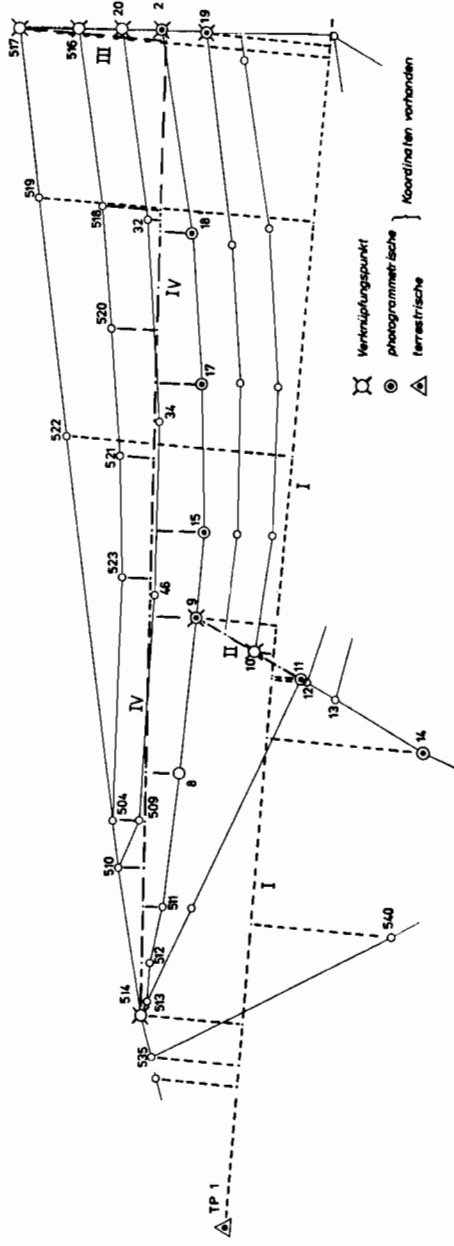
Rechnerische Grenzprüfung

mit Hilfe der

verketteten Ähnlichkeitstransformation



Beispiel aus
Straßenaufmessung Ethingen-Dagersheim



I	II	III	IV
9	9	2	2
10	10		9
11	11	19	
19		20	20
514	514	516	516
517	517	517	517
TP1			8
12			17
14			18
16			32
22			33
23			34
24			46
508			508
509			509
510			510
511			511
512			512
513			513
518			518
520			520
521			521
523			523
540			540

2.9 Spannmaßkontrolle - Nachmessungen

Die Kontrolle der bisher koordinierten Punkte erfolgt mit den zu diesem Zweck gemessenen terrestrischen Kontroll-elementen. Aus den Koordinaten werden Strecken, Geraden- und Rechtwinkelanordnungen sowie Abstände der Punkte von Geraden abgeleitet und den terrestrischen Werten gegenübergestellt. Zusätzlich wird durch Vergleich mit passend gewählten Schwellenwerten noch vermerkt, ob die Abweichungen nur auf unregelmäßige oder auf grobe Fehler zurückzuführen sind. Außerdem bekommt man Hinweise auf fehlende Punkte usw. Dieses Protokoll ist dann Grundlage für die Bereinigung des Datenmaterials, die in der Regel mit einer Nachmessung im Gelände verbunden ist. In Ausnahmefällen, z.B. Sandhausen, konnte die gesamte Abstimmung in 3 Stunden am Schreibtisch erledigt werden. In Laupheim fielen 22 (2.5%) Grenzpunkte aus und 14 (1.5%) waren grob falsch. Die Nachmessung im Feld betraf 9 Punkte, die restlichen konnten mit den Kontrollmaßen - hier Signalisierung in Dreiergruppen - behoben werden.

Das andere Extrem waren die Beispiele Oberrottweil und Kenzingen. Bei beiden Verfahren wiesen über 10 % der Kontrollrechnungen auf grobe Fehler hin, die bekanntlich etwa zur Hälfte auf photogrammetrische und zur Hälfte auf terrestrische Messungsfehler zurückzuführen sind.

Das Einrechnen der Nachmessungen erfolgt in der Regel mit dem Lauf der im folgenden Abschnitt zu besprechenden Spannmaßausgleichung. Bei hohen Fehlerquoten werden die Nachmessungen in einem getrennten Lauf eingerechnet und ein weiteres Kontrollverzeichnis für eine zweite Abstimmung ausgedruckt (Spalte 11 der Tabelle 2).

2.10 Spannmaßausgleichung

Für die Bestimmung der Koordinaten wurde ein Teil der Informationen, nämlich die terrestrischen Kontrollelemente, bisher nicht ausgeschöpft. Deshalb wurde bisher nur von vorläufigen Landeskoordinaten gesprochen. Die Daten, wie sie zur Spannmaßkontrolle zusammengestellt sind, können in dem Programm "Spannmaßausgleichung" [3] zur Verbesserung der vorläufigen Koordinaten verwertet werden. Diese Ausgleichung bringt eine beachtliche Steigerung der Absolutgenauigkeit [3], [8], [21]. Außerdem reduzieren sich nach der Spannmaßausgleichung die Widersprüche zwischen gemessenen und gerechneten Spannmaßen auf etwa ± 1 cm [9], [16] und die Koordinaten der Grenzpunkte in Geraden und rechten Winkeln erfüllen exakt diese Bedingungen, was für ein Koordinatenkataster von besonderer Bedeutung ist. Nach Abschluß dieses hybriden Meß- und Rechensystems erhalten nur wenige Promille der Punkte keine Koordinaten und ebensowenig Kontrollen liegen außerhalb der Schwellenwerte (Spalten 7 bis 10 bzw. 12 der Tabelle 2).

3. Besonderheiten der Doppelbefliegung

Wie einleitend erwähnt, wurde parallel zur kombinierten photogrammetrisch-terrestrischen Katastervermessung die sogenannte Doppelbefliegung erprobt. Im Mittelpunkt stand die Frage, inwieweit ist die Auswertung eines zweiten unabhängigen Bildverbandes in der Lage, die groben Fehler aufzudecken. Beim Flurbereinigungsverfahren Grombach blieben 16 (6%) grobe Fehler unerkannt und bei der Straßenschlußvermessung Laupheim wären von 4 (4%) Grenzpunkten falsche Koordinaten in das Liegenschaftskataster eingegangen [18]. Der Wert von Laupheim ist für die Doppel-

befliegung etwas zu günstig ausgefallen, denn die meisten Grenzpunkte waren in Form von Dreiergruppen signalisiert und demzufolge eine große Identifizierungshilfe für den Auswerter. Man hat aber weniger den Eindruck, daß die Entscheidung der Baden-Württ. Behörden zugunsten der kombinierten photogrammetrisch-terrestrischen Katastervermessung wegen dieses Anteiles der unerkannten Fehler gefallen ist. Vielmehr war man mit dem "Spannmaß" als Kontrollelement der klassischen terrestrischen Aufnahme vertraut und es blieb gewährleistet, daß der Grenzpunkt wenigstens im Zeitpunkt der Kontrolle direkt angemessen wird. Im Falle der Abmarkung großer Punktmengen kommt noch hinzu, daß zwischen Abmarkung und Flug eine verhältnismäßig große Zeitspanne liegt, in der einzelne Punkte durch die Bewirtschaftung wieder verdeckt werden können. Das Aufsuchen dieser Punkte vor dem Bildflug ohne terrestrische Kontrollelemente ist äußerst schwierig. Aus rechtlichen Gründen wäre in diesem Zusammenhang noch einzuwenden, daß ohne terrestrische Kontrollelemente keine Grenzsicherung zwischen dem Zeitpunkt der Abmarkung und der Befliegung gegeben ist.

4. Zusammenfassung

Die vielfältigen Methoden und die zahlreichen Arbeitsabschnitte der kombinierten photogrammetrisch-terrestrischen Katastervermessung machen das Verfahren sehr anpassungsfähig an die jeweiligen Verhältnisse der Praxis. Man kann einige Arbeitsabschnitte überspringen und andere in einem Computerlauf zusammenfassen. Damit kann die Bearbeitungszeit verhältnismäßig kurz gehalten werden. Als Paradebeispiel diene das Flurbereinigungsverfahren Neckarwestheim: 10.1.72 Beginn der Messung am photogrammetrischen Analog-Auswertegerät, 6.3.72 endgültiges Koordinatenverzeichnis der ausgeglichenen Punkte. Dazwischen lag eine Berichtigung der Daten mit Nachmessungen im Gelände.

Der Praxis steht damit zur Lösung vieler dringender Probleme ein technisch ausgereiftes Verfahren zur Verfügung. Neben den in der Tabelle 1 aufgeführten Projekten sind sowohl bei der Kataster- als auch der Flurbereinigungsverwaltung sowie bei ÜbVI mehrere Projekte im Stadium der ersten Bearbeitungsphase bzw. in der Planung.

5. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der kombinierten photogrammetrisch-terrestrischen Katastervermessung

Die absoluten Kosten eines technischen Verfahrens sind zweitrangig gegenüber der Kostendifferenz zu einem zweiten technischen Verfahren, mit dem etwa die gleiche Aufgabe gelöst werden kann. Übertragen auf die Katastervermessung steht heute der Kostenvergleich zwischen Photogrammetrie und der Aufnahme mit selbstregistrierenden Tachymetern an. Die Wirtschaftlichkeit der beiden Verfahren wurde soweit als möglich auf der gleichen Kostenbasis aufgebaut. Für eine Stunde Arbeitszeit wurden folgende Richtwerte zugrunde gelegt: DM 42.-- Dipl.-Ingenieur, DM 30.-- Ingenieur, DM 25.-- Techniker, DM 18.-- Meßgehilfe. Die Kostenermittlung für das photogrammetrische Verfahren beruht auf den Erfahrungen, die die Kataster- und Landeskulturverwaltung Baden-Württemberg sowie ÜbVI bei der Bearbeitung der in Tabelle 1 aufgeführten Projekte gemacht haben. Obwohl infolge verschiedener Parameter die Kosten von Projekt zu Projekt stark schwanken, wird im wesentlichen ein repräsentativer Mittelwert angegeben. Dieser Wert wird von einem Amt oder ÜbVI nach einer gewissen Einarbeitungszeit nach dem ersten oder zweiten bearbeiteten Projekt erreicht. Als Bezug für die Kosten dient ein ausgewerteter und kontrollierter Grenzpunkt.

5.1 Kosten der Paßpunktbestimmung (Abschnitt 2.1)

Der Anteil der Kosten für die Lage- und Höhenpaßpunktbestimmung bezogen auf einen Grenzpunkt ist stark von der Anzahl der Grenzpunkte im jeweiligen Verfahren abhängig. Diese Abhängigkeit ist bei den Flurbereinigungsverfahren stärker als bei Katasterfortführungsvermessungen. Es ergaben sich im Mittel die in der Abb. 4 wiedergegebenen Kosten.

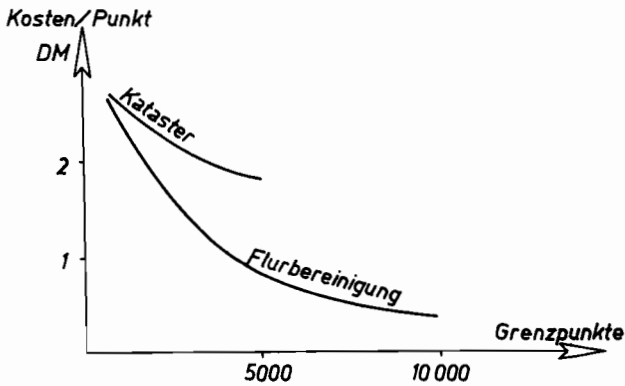


Abb. 4 Kosten der Paßpunktbestimmung

5.2 Kosten für die Signalisierung, die terrestrische Kontroll- und Ergänzungsmessung (Abschnitt 2.2)

Die Signalisierung, die Überwachung der Signalisierung und das Signalisierungsmaterial sowie die terrestrische Kontrollmessung einschließlich Ablochung kosten je Grenzpunkt 7.50 DM bzw. 7.-- DM. Der erste Betrag ist zu erwarten, wenn man - wie z.B. bei Flurbereinigungsverfahren - keine Hilfspunkte, sondern nur kurze Spannmaße und Abstände zur Kontrolle verwendet. Der zweite Betrag trifft

für die überwiegende Signalisierung mit Dreiergruppen zu. Die 7.50 DM setzen sich etwa zu gleichen Teilen aus der Signalisierung und den terrestrischen Kontrollmaßen zusammen, die 7.-- DM aus 5.50 DM für die Signalisierung und 1.50 DM für die terrestrischen Kontrollmaße. Über die terrestrische Ergänzungsmessung liegen noch zu wenig Erfahrungen für eine Kostenangabe vor. Mit Sicherheit werden diese Kosten den Punktpreis auf keinen Fall nennenswert erhöhen.

5.3 Kosten des Bildmaterials (Abschnitt 2.3)

Sie hängen stark von der Größe des Gebietes ab, wie die folgende Abb. 5 veranschaulicht.

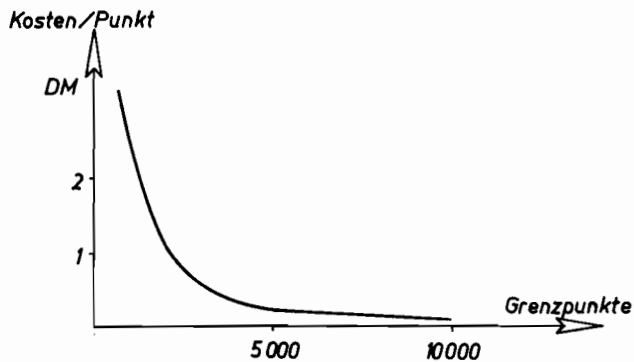


Abb. 5 Kosten des Bildmaterials

5.4 Kosten der photogrammetrischen Koordinatenmessung (Abschnitt 2.4)

Ausgehend von der Methode der unabhängigen Modelle ohne Horizontierung und einem Stundensatz von DM 60.-- am

Analog-Auswertegerät kommt man auf 2.50 DM bzw. 3.50 DM für den ausgewerteten Grenzpunkt. Der erste Betrag bezieht sich auf Signalisierungen ohne nennenswerte Hilfspunkte, der zweite auf die Signalisierung von Dreiergruppen. Auf die Kosten der topographischen Auswertung wird im Abschnitt 5.9 eingegangen.

5.5 Kosten der Berechnungen

Die Rechen- und Bearbeitungskosten betragen für die Blockausgleichung (Abschnitt 2.5) je Grenzpunkt DM 1.-- (0.53 + 0.47), für die Interpolation nach kleinsten Quadraten (Abschnitt 2.6) DM 0.20 (0.08 + 0.12) und für die Spannmaußausgleichung (Abschnitt 2.10) DM 0.80 (0.36 + 0.44). In dem Betrag für die Spannmaußausgleichung sind auch die Einrechnungen der nichtsignalisierten bzw. ausgefallenen Punkte (Abschnitt 2.7) sowie die Spannmaßkontrolle (Abschnitt 2.9) enthalten. Die rechnerische Grenzprüfung (Abschnitt 2.8) ist unabhängig von der Aufnahmemethode und soll hier - nachdem noch nicht genügend Erfahrungen vorliegen - unberücksichtigt bleiben. In Klammern wurde angegeben, wie sich die jeweiligen Beträge aus Rechen- und Bearbeitungskosten zusammensetzen. Diese Rechenkosten fallen an, wenn ein beliebiger Kunde mit den Programmen am privaten Rechenzentrum der CDC 6600 rechnet. Dabei wurde die Sekunde System-Rechenzeit zu DM 1.20 angesetzt. Die Bearbeitungskosten ergeben sich aus den Bearbeitungszeiten und einem Stundensatz von DM 35.-- für den Arbeiter. Bei Blockausgleichungen hängen die Kosten stark von der Anzahl der notwendigen Läufe zur Bereinigung des Datenmaterials ab. Im Mittel waren je Projekt 3.4 Läufe (max. 10) erforderlich. Alle drei Rechnungsarten zusammen ergeben für den ausgeglichenen Punkt DM 2.--. Eine Amortisation für die Programme soll hier ohne Ansatz bleiben.

Sie würde für die beiden hier zur Diskussion stehenden Verfahren etwa gleich hoch und im Verhältnis zu den Gesamtkosten je Grenzpunkt vernachlässigbar klein sein.

5.6 Kosten der Berichtigungen und Nachmessungen (Abschnitt 2.9)

Die Berichtigungen aufgrund der Spannmaßkontrolle und die häufig damit verbundenen Nachmessungen im Gelände sind mit DM 1.-- bzw. DM 1.50 je Grenzpunkt zu veranschlagen. Erfahrungsgemäß können diese Nachmessungen bei den signalisierten Dreiergruppen (DM 1.--) wirtschaftlicher als ohne solche Hilfspunkte (DM 1.50) durchgeführt werden.

5.7 Zusammenspiel der einzelnen Komponenten

Die beiden verschiedenen Signalisierungsarten wirken sich zwar in den einzelnen Komponenten signifikant verschieden aus, das zur Verfügung stehende Zahlenmaterial reicht aber nicht aus, im Gesamtprozeß in Abhängigkeit dieses Parameters verschiedene Kosten anzugeben. Damit beläuft sich in jedem Fall der von der Anzahl der Punkte unabhängige Kostenanteil auf DM 13.50. Zu diesem Betrag kommen die in den Abb. 4 und 5 enthaltenen Anteile hinzu, die stark von der Anzahl der aufgenommenen Grenzpunkte abhängen. Wir erhalten z.B. für Gebiete mit 750 Punkten DM 19.10, mit 3000 Punkten DM 15.50 (DM 16.10) und mit 10 000 Punkten DM 14.00 Gesamtkosten für den photogrammetrisch koordinierten und kontrollierten Punkt. Die erste Zahl bezieht sich auf Flurbereinigungen und die in Klammern gesetzte auf Katasterfortführungsvermessungen.

5.8 Wirtschaftlichkeit der Doppelbefliegung

Obwohl die Doppelbefliegung aus den im Abschnitt 3. aufgeführten Gründen von der Katasterverwaltung abgelehnt

wurde, seien aufgrund der Versuchsauswertungen trotzdem einige Punkte zur Wirtschaftlichkeit angemerkt. Bei der terrestrischen Kontrollmessung könnte man DM 3.50 einsparen (Abschnitt 5.2). Dieser Einsparung stünden an Mehrausgaben DM 2.50 für die Koordinatenmessung (Abschnitt 5.4) und höhere Kosten für das Bildmaterial und für die Berichtigungen sowie Nachmessungen gegenüber, so daß auch aus Gründen der Wirtschaftlichkeit dem Doppelflug keine Bedeutung zukommt.

5.9 Vergleich mit dem Einsatz selbstregistrierender Tachymeter

An die Stelle der Signalisierung und der terrestrischen Kontrollmessung sowie des Bildmaterials und der Koordinatenmessung am photogrammetrischen Auswertegerät tritt beim Einsatz selbstregistrierender Tachymeter die Aufnahme im Feld. Ausgehend von den in [17] veröffentlichten Angaben und einigen Erfahrungen der amtlichen Stellen in Baden-Württemberg beträgt dieser Kostenanteil für den aufgemessenen und mit einer Zweitaufnahme kontrollierten Grenzpunkt DM 10.90. Dabei wurde ein Meßtrupp mit 1 Ingenieur, 1 Techniker und 4 Meßgehilfen angenommen, der täglich 110 Punkte kontrolliert aufmißt. Der Abschreibung des Gerätesystems liegen 100 Arbeitstage im Jahr und 5 Jahre Abschreibungszeit zugrunde. Wenn man auch bei der Polaraufnahme die blockweise Bearbeitung [14] anstrebt, ist für Rechenkosten ebenfalls der Betrag von DM 2.-- anzusetzen. Die Bearbeitung der Polaraufnahme erfordert in manchen Fällen auch eine Verdichtung des trigonometrischen Netzes. Die Kosten dürften aber geringer als bei der Photogrammetrie sein. Schätzungsweise werden die halben Kosten der Abb. 4 (Flurbereinigung) eingeführt. Schließlich wird für Nachmessungen und Berichtigungen der gleiche Betrag (DM 1.50) wie bei der Photogrammetrie eingesetzt, obwohl die Nach-

messungen in diesem Fall voraussichtlich mehr Außen-
dienst erfordern und weniger am Schreibtisch erledigt
werden können. Daraus ergeben sich als Vergleichswerte
zum photogrammetrischen Verfahren (Abschn. 5.7) die
Zahlen: Gebiete mit 750 Punkten DM 15.60, mit 3000
Punkten DM 15.10, mit 10 000 Punkten DM 14.60.

In Anbetracht der bekannten Unsicherheiten solcher Ab-
schätzungen kann keinem der beiden Verfahren mit Sicher-
heit eine günstigere Position eingeräumt werden, worauf
bereits in [19] hingewiesen wurde. Aufgrund der erarbeitete
Zahlen bietet sich für kleine Gebiete mehr die Aufmessung
mit selbstregistrierenden Tachymetern und für größere Ge-
biete mehr die Photogrammetrie an. Falls keine Kosten für
die Paßpunktbestimmung, wie z.B. bei Rebflurbereinigungen,
anzusetzen sind und/oder die Flugkosten durch eine gemein-
same Befliegung mehrerer kleiner Projekte niedrig gehalten
werden können, kann die Photogrammetrie auch zur Aufmessung
von verhältnismäßig kleinen Gebieten wirtschaftlich sein.
Die bisherigen Überlegungen beschränken sich auf die ko-
ordinatenmäßige Festlegung der Grenzpunkte. Durch die Ein-
beziehung der Topographie verschiebt sich das Verhältnis
deutlich zugunsten der Photogrammetrie, so daß vor allem
im Fortführungsvermessungsdienst auch bei verhältnismäßig
kleinen Verfahren der Photogrammetrie der Vorzug einzu-
räumen ist. Im Hinblick auf die immer mehr geforderte viel-
seitige Verwendung der Katasterkarten kann die Bedeutung
der Topographie nicht genügend herausgestellt werden.

Die Diskussion über die Wirtschaftlichkeit soll mit dem
Hinweis abgeschlossen werden, daß es heute weniger um
die Frage Photogrammetrie oder selbstregistrierende Tachy-
meter geht, sondern um einen Pluralismus der Methoden, auf
die je nach den gestellten Aufgaben der Praktiker zurück-

greifen können muß [15]. Einen anderen interessanten Gesichtspunkt deutet ACKERMANN [9] an: Angesichts des Personalmangels sind übergeordnete Fragen der Kapazitätsreserven, der Eignung zur Automation und allgemein der Zwang zur Produktionssteigerung gegebenenfalls ausschlaggebender als reine Kostengesichtspunkte.

6. Kostensenkende methodische Weiterentwicklungen

Hier ist der Übergang von den unabhängigen Modellen und Analog-Auswertegeräten zu Stereokomparatoren und Bündelausgleichungen zu nennen. Dadurch ist eine Leistungssteigerung bei der Auswertung extrem großmaßstäbiger Bilder - z.B. Fehlerklasse 2 in Baden-Württemberg - zu erwarten.

Den allgemeinen Regeln der Automation folgend, wäre zu erwarten, daß mit Vergrößerung des Datenumfanges die Wirtschaftlichkeit ansteigt. Im Bereich der Rechenarbeiten, die stark durch die Programme des Stuttgarter Instituts geprägt sind, ist vor allem bei der Bearbeitung der Blockausgleichungen die umgekehrte Tendenz zu beobachten. Daraus ist zu folgern, daß die Bearbeitung stärker automatisiert werden muß, was auf eine automatische Suche der groben Fehler hinausläuft. Für die blockweise Auswertung der Polaraufnahme wurde in [20] eine solche Möglichkeit vorgestellt.

Die im Blockausgleich zu eliminierende Fehlerquote liegt bei der Aufnahme mit selbstregistrierenden Tachymetern bei 2% [17]. Obwohl der entsprechende Prozentsatz in der Photogrammetrie etwas günstiger liegt, brachte auch bei photogrammetrischen Blockausgleichungen diese "automatische Fehlersuche" beachtliche Zeitgewinne [20]. Neben der Zeitersparnis ist die Objektivierung der Bearbeitung hervorzuheben. Noch dringender ist man auf eine automatische Fehlersuche im Rahmen der blockweisen Bearbeitung der rechnerischen Grenzprüfung angewiesen. Denn nach den ersten Erfahrungen sind bei der Ausgleichung der orthogonalen Messungslinien 10% der Messungen zu eliminieren.

Schließlich sei auf die Möglichkeit der Kombination der digitalen Grundrißkartierung mit der blockweisen Bearbeitung der Katastervermessungen hingewiesen. Man kann im relativ orientierten Modell - ohne Horizontierung - die Topographie digitalisieren, dann mit einem abgewandelten Blockausgleichsprogramm die digitalisierten Grundrißpunkte in das Landeskoordinatensystem transformieren und zum Schluß an einem Zeichenautomaten den Grundriß auszeichnen lassen. Auf diese Weise könnte man das zweimalige Einlegen der Bilder und die manuelle absolute Orientierung der Stereomodelle ersparen (Abschn. 2.4). Mit der digitalen Grundrißkartierung wäre auch die Reinzeichnung der Topographie auf automationsgerechte Weise gelöst.

7. Ausblick und weitere Anwendungsmöglichkeiten

Die kombinierte photogrammetrisch-terrestrische Katastervermessung ist z.Z. mehr oder weniger auf das Land Baden-Württemberg beschränkt. Die bevorstehende Installation des gesamten Programmsystems in verschiedenen Ländern der BRD kann Anstoß für die weitere Verbreitung dieser Methoden sein.

Neben dieser regionalen Ausweitung kann dieses System auch auf den dreidimensionalen Katasternachweis und auf die Vermessung von Ortslagen ausgebaut werden [15].

Tabelle 1: DATEN DER KATASTERPROJEKTE

Projekt	Bildmaßstab			Blockausgleichung			Int.n.kl.Quadr.	Spannmaßeausgleichung						Bemerkungen	
	1	2	3	Modelle	Modellpunkte (Grenz)	Neupkte (Grenz)		Paßpunkte	Stützpunkte	terr. Ergänzungspunkte	Punkte insgesamt	Spannmaße	Geraden		Rechtw. Abstände
Kirchardt	1:4300	L	54	5323	3178	65	65	65	-	-	-	-	-	-	Flurbereinigung
Gangkofen	1:8000	L	14	1610	656	18	18	18	-	-	-	-	-	-	Vereinf. Kat. Neuv.
Weinsberg	1:5000	L	12	2443	2161	17	17	17	110	2834	16	-	-	17	Strab. Schl. Verm.
Grombach	1:4300	L	10	2917	4586	69	47	47	-	337	3231	16	-	53	Flurbereinigung
Oberrang	1:6000	L	42	2413	1845	9	62+20	62+20	-	4918	5216	1	-	158	Flurbereinigung
Oberrottweil	1:6000	L	3	2413	1845	9	9+28	9+28	-	1882	2290	376	-	37	Rebflurbereinig.
Föhr	1:7500	L	170	2981	1057	46	46	46	-	-	-	-	-	-	Einschaltpunkte
Glengen	1:4200	L	6	590	453	34	-	-	83	348	410	21	-	34	Strab. Schl. Verm.
Hesselberg	1:10000	L	6	-	-	-	-	-	-	1881	1975	55	-	12	Flurbereinigung
Weinheim	1:4000	L	46	5527	2925	19	19+125	19+125	-	3250	5000	160	-	148	Flurbereinigung
Kenzingen	1:6000	L	5	5288	3811	11	11	11	483	4022	4812	363	-	11	Rebflurbereinig.
Bliesheim	1:6000	L	3	1092	92	8	8+28	8+28	b	968	1186	308	-	36	Einschaltpunkte
Goldbecht	1:7500	L	121	4269	182	13	99	99	b	1193	1900	250	-	13	Rebflurbereinig.
Neckarwestheim	1:6000	L	17	3505	2500(800)	37	-	-	78	939	1965	875	-	37	Rebflurbereinig.
Abstatt	1:6000	L	3	1914	1562	14	14+9	14+9	65	1651	2650	295	-	59	Strabenschl. Verm.
Edderungen	1:6000	L	55	1210	474	44	44	44	-	-	-	-	-	-	Einschaltpunkte
Kippenheim	1:5000	L	1	981	974	7	7	7	372	1386	1934	183	-	79	Rebflurbereinig.
Neusatz	1:5000	L	7	2250	1314	7	7+53	7+53	21	1338	1863	238	-	62	Rebflurbereinig.
Güggingen	1:5000	L	21	4234	3032	27	27+67	27+67	257	3372	4003	143	-	102	Flurbereinigung
Weinsberg	1:4000	R	14	5337	1499	57	-	-	127	1486	1491	229	-	42	Strab. Schl. Verm.
Esslingen/Plochingen	1:2800	R	18	736	468	45	-	-	290	143	2235	336	-	42	Strab. Schl. Verm.
Biberstadt	1:5000	R	7	2039	1058	8	21	21	77	1117	1192	36	-	21	Rebflurbereinig.
Saberschlacht	1:4000	R	5	2192	1409	65	65	65	77	1117	1192	36	-	8	Rebflurbereinig.
Esslingen	1:4000	R	11	2192	1409	65	65	65	52	1050	1534	412	-	65	Strab. Schl. Verm.
Bargen-Maunheim	1:5000	L	4	1262	902	33	33+60	33+60	52	1050	1409	389	-	177	Rebflurbereinig.
Lehrstetten	1:5000	L	51	11387	7101	29	29+221	29+221	b	7142	11352	723	-	250	Flurbereinigung
Achtstetten	1:5000	L	7	415	385	19	19	19	22	407	561	88	-	22	Rebflurbereinig.+
Lehrstetten	1:4000	L	7	1629	1172	19	6+23	6+23	b	2330	2600	530	-	29	Strab. Schl. Verm.
Wasenweiler	1:4000	R	5	2720	2256	6	22	22	b	b	b	b	-	b	Strab. Schl. Verm.
Setten	1:4000	R	5	756	587	22	22	22	b	b	b	b	-	b	Strab. Schl. Verm.
Reute	1:4000	L	7	1031	839	22	22	22	b	b	b	b	-	b	Strab. Schl. Verm.
Ermingen	1:4000	L	11	1691	1206	46	-	-	524	1776	1400	275	-	46	Strab. Schl. Verm.
Summe			760	85773	56565	966			2825	52254	67280	6352	67	1596	

L : Lageblockausgleichung
R : Räumliche Blockausgleichung
b: in Bearbeitung

Tabelle 2: ERGEBNISSE DER KATASTERPROJEKTE

Projekt	Blockausgleichung			Interpolation n. kl. Quadraten		σ_0 (μm) (cm)	σ_0 (μm) (cm)	Schwellenwertüberschreitungen nach d. Ausgl. Zahl der Punktausfall										
	σ_0 (μm) (cm)	V_{PP} (cm)	V_{VP} (cm)	V_{SP} (vor) (cm)	V_{SP} (nach) (cm)			6	7	8	9	10	11	12				
Kirchardt	10,3	4,4	7,5	7,5	2,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gangkofen	4,8	3,9	5,1	5,1	2,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Weinsberg	9,0	4,5	9,0	9,0	4,0	4,6	2,3	41	(1,3%)	0	0	0	0	0	2	0	0,1%	
Grombach	11,2	4,8	10,3	10,3	3,0	5,4	2,0	86	(1,1%)	0	0	0	0	0	14	0	0,1%	
Berwang	11,3	4,8	9,6	9,3	4,0	4,8	2,0	93	(1,8%)	0	0	0	0	0	1	0	0,3%	
Oberrottwil	13,1	7,8	20,0	14,5	5,5	4,8	2,0	6	(0,3%)	0	0	0	0	0	2	0	0,3%	
Föhr	7,6	5,7	7,3	7,3	4,1	7,4	3,1	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	
Giengen	12,0	5,1	5,0	-	-	7,4	3,1	8	(0,4%)	0	0	0	0	0	2	0	0	
Hesselberg	-	-	-	-	-	6,0	6,0	8	(0,4%)	0	0	0	0	0	1	0	0,0%	
Kenning	10,3	4,1	8,9	12,5	4,9	5,8	2,3	5	(0,1%)	0	0	0	0	2	1	0	0,1%	
Leinigen	11,7	7,0	13,9	13,9	4,4	5,8	2,3	19	(0,4%)	0	0	0	0	2	2	0	0,1%	
Birchheim	10,0	6,0	9,0	4,0	5,1	4,4	-	b	-	0	0	0	0	0	0	0	0	
Walden	5,7	3,7	4,4	6,4	4,4	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	
Neckarwestheim	7,3	2,9	4,4	-	-	5,8	3,4	6	(0,3%)	1	(0,4%)	0	0	0	0	0	0	
Laupheim	6,6	4,0	8,4	-	-	5,8	3,0	5	(0,2%)	0	0	0	0	0	0	0	0	
Abstatt	5,3	5,8	6,1	7,3	1,9	5,0	3,0	5	(0,2%)	0	0	0	0	0	0	0	0	
Fedderungen	5,9	3,6	6,1	5,8	3,7	6,0	3,6	3	(1,6%)	0	0	0	0	0	0	0	0	
Kippenheim	9,5	4,7	8,5	12,0	5,0	-	-	4	(0,2%)	0	0	0	0	0	0	0	0	
Neusatz	10,1	5,0	7,2	8,2	2,5	2,5	-	3	(0,2%)	0	0	0	0	0	0	0	0	
Göggingen	8,5	3,4	2,5	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	
Weinsberg	8,5	3,4	2,5	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	
Eilingen-	9,3	2,6	2,9	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	
Eberchangen	8,3	2,9	3,0	6,9	3,2	2,2	-	5	(0,2%)	0	0	0	0	0	0	0	0	
Haberschlacht	9,3	4,2	6,3	3,2	3,2	3,2	-	17	(1,0%)	0	0	0	0	0	0	0	0	
Sandhausen	12,4	5,0	8,0	8,0	1,8	1,8	-	1	(0,1%)	0	0	0	0	0	0	0	0	
Cleebronn	7,6	3,8	8,7	8,1	4,4	4,4	-	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	
Burgen-Mauen-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
heim	12,8	6,4	14,0	17,8	5,9	5,9	-	b	-	b	b	b	b	b	b	b	b	
Lehrensteinfeld	12,0	6,0	8,3	2,5	2,9	7,2	3,6	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	
Achstetten	7,0	2,8	3,8	3,8	2,0	2,0	-	b	-	b	b	b	b	b	b	b	b	
Wasenweiler	8,2	3,3	3,9	5,6	2,4	2,4	-	b	-	b	b	b	b	b	b	b	b	
Stetten	8,2	3,3	5,3	2,3	2,1	2,1	-	b	-	b	b	b	b	b	b	b	b	
Beate	7,5	3,0	3,7	5,3	1,8	1,8	-	b	-	b	b	b	b	b	b	b	b	
Bhningen	6,4	2,5	4,0	-	-	5,5	2,2	11	(0,8%)	5	(1,8%)	0	0	0	0	0	0	
Mittelwerte	9,4	8,3	3,3	9,5	3,9	5,8	-	(0,4%)	0	(0,2%)	0	0	0	0	0	0	0	

σ_0 (Spalte 1) = mittlerer Gewichtseinheitsfehler, d.h. Genauigkeit der gemessenen Modellkoordinaten
 V_{PP} = quadratischer Mittelwert der Verbesserungen (Restfehler) an den terrestrischen Maßpunkten
 V_{VP} = quadratischer Mittelwert der Verbesserungen an den Verknüpfungspunkten
 V_{SP} (vor) = quadratischer Mittelwert der Restfehler an den Stützpunkten vor der Interpolation
 V_{SP} (nach) = quadratischer Mittelwert der Restfehler an den Stützpunkten nach der Interpolation
 σ_0 (Spalte 6) = mittlerer Gewichtseinheitsfehler, d.h. Genauigkeit der Koordinaten nach der Blockausgleichung
b = in Bearbeitung

Literatur

- [1] Ackermann, F.: Lageblockausgleichung mit großen Punktmengen, BuL 38, 232-240, 1970.
- [2] Kraus, K.: Blockausgleichungen im Kataster und in der Flurbereinigung, Nachrichten aus dem Karten- und Vermessungswesen, Frankfurt, Reihe I, Heft 53, 73-97, 1971.
- [3] Kraus, K.: Kombinierte photogrammetrisch-terrestrische Katastervermessung, Nachrichten aus dem Karten- und Vermessungswesen, Frankfurt, Reihe I, Heft 53, 99-122, 1971.
- [4] Brindöpke, W.: Analytische Photogrammetrie in der Vermessungsverwaltung, ZfV 97, 23-30, 1972.
- [5] Verwaltungsvorschriften für die Anwendung der Photogrammetrie bei Katastervermessungen vom 14.10.1971 Nr. 115 2002/96.
- [6] Sander, W.: Erfahrungen mit der Aerotriangulation in der Deutschen Flurbereinigung, BuL 36, 50-54, 1968.
- [7] Kersting, R.: Photogrammetrie und Flurbereinigung, BuL 39, 205-208, 1971.
- [8] Ackermann, F.: Die photogrammetrische Straßenschlußvermessung Neckarsulm, AVN 79, 259-271, 1972.
- [9] Ackermann, F. und Bettin, R.: Anwendungsmöglichkeiten der Photogrammetrie bei der Katastervermessung von Straßen, Forschungsbericht über die Straßenschlußvermessung Neckarsulm, Stuttgart 1972.
- [10] Förstner, W. und Gönnerwein, H.: Photogrammetrische Punktbestimmung aus extrem großmaßstäbigen Bildern. - Der Versuch Böhmenkirch, AVN 79, 271-281, 1972.
- [11] Unger, H. und Gerigk, J.: Photogrammetrie bei Katastervermessungen in Schleswig-Holstein, BuL 39, 199-204, 1971.

- [12] Ackermann, F., Ebner, H., Klein, H.: Ein Programm-paket für die Aerotriangulation mit unabhängigen Modellen, BuL 38, 218-224, 1970.
- [13] Kraus, K.: Interpolation nach kleinsten Quadraten in der Photogrammetrie, BuL 40, 7-12, 1972.
- [14] Ackermann, F.: Ergebnisse einer Programmentwicklung zur Blockausgleichung großräumiger Polaraufnahmen, Vortrag 2. Geo-Instrumentenkurs (bei Wichmann i.Druck).
- [15] Kraus, K.: Beitrag der Photogrammetrie zur Aufstellung und Fortführung des Koordinatenkatasters, Mitteilungsblatt des Landesvereins Bayern des DVW, 67-91, 1972.
- [16] Brettschneider, U.: Ein Beispiel zum Einsatz der Photogrammetrie in der Katastervermessung, Mitteilungsblatt Bund der ÖbVI, S. 25-33, 1972.
- [17] Rose, W.: Die Wirtschaftlichkeit elektronischer Tachymetrie in Abhängigkeit von Sicherheitsforderungen, Genauigkeit und Festpunktnetz, ZfV 97, 555-556, 1972.
- [18] Aichele, G. und Kolb, H.: Diplomarbeiten an der Universität Stuttgart, Fachbereich Geodäsie, 1972.
- [19] Heiland, K.: Die Anwendung der integrierten photogrammetrischen Datenverarbeitung in der Flurbereinigung, Nachrichten aus dem Karten- und Vermessungswesen, Frankfurt, Reihe I, Heft 53, 123-134, 1971.
- [20] Kraus, K. und Krack, K.: Detailprobleme und Erfahrungen bei der Bearbeitung großräumiger Polaraufnahmen, Vortrag 2. Geo-Instrumentenkurs, Oberkochen (bei Wichmann im Druck).
- [21] Kraus, K.: Einbeziehung terrestrischer Meßelemente in die photogrammetrische Katastervermessung, ZfV 94, 353-356, 1969.

