



Numerische Rekonstruktion räumlicher Objekte aus Einzelbildern – Am Beispiel der Amateurbildauswertung von Unfallsituationen

Robert Kostka ¹, Anton Reithofer ²

¹ *Institut für Allgemeine Geodäsie und Photogrammetrie an der Technischen Universität in Graz, Rechbauerstraße 12, A-8010 Graz*

² *Institut für Allgemeine Geodäsie und Photogrammetrie an der Technischen Universität in Graz, Rechbauerstraße 12, A-8010 Graz*

Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen und Photogrammetrie **63** (3), S. 95–103

1975

Bib_T_EX:

```
@ARTICLE{Kostka_VGI_197509,  
Title = {Numerische Rekonstruktion r{"a}umlicher Objekte aus Einzelbildern --  
Am Beispiel der Amateurbildauswertung von Unfallsituationen},  
Author = {Kostka, Robert and Reithofer, Anton},  
Journal = {{{"0}sterreichische Zeitschrift f{"u}r Vermessungswesen und  
Photogrammetrie},  
Pages = {95--103},  
Number = {3},  
Year = {1975},  
Volume = {63}  
}
```



Numerische Rekonstruktion räumlicher Objekte aus Einzelbildern — Am Beispiel der Amateurbildauswertung von Unfallsituationen

Von Robert Kostka und Anton Reithofer, Graz.

Resumé

Pour prouver la rectification on emploie toujours plus souvent des prises de vues faites par des amateurs. Comme méthode restitution emporte en praxis la photogrammétrie d'un image singulier. On emploie cette méthode aussi pour des objets spaciales. Ce raport présente des systems des equations, des aspects de la précision et des discussions des traveaux pratiques.

Summary

For problems of demonstration more and more photos taken by amateurcameras are used, as a method of restitution in practice photogrammetry with single images prevails. This method also is used for three-dimensional objects. Systems of equations, accuracy aspects and discussions of practical works are the contents of this report.

1. Einleitung

Auf Grund ihrer Vorzüge werden photogrammetrische Verfahren in immer größerem Maße bei nichttopographischen Meßaufgaben im Nahbereich eingesetzt. Durch die instrumentellen Entwicklungen der letzten Jahre auf dem Gebiet der Aufnahmegeräte für die Nahbildmessung (siehe z. B. [1] und [2]) sowie durch Untersuchungsergebnisse an Amateurkamern, die ihre Brauchbarkeit für bestimmte Meßzwecke beweisen (so z. B. [3] und [4]), wird der Praktiker vor die Aufgabe gestellt bzw. wird ihm die Möglichkeit geboten, Instrumentarium, Aufnahmedisposition und Arbeitsaufwand seinem speziell gestellten Problem möglichst gut anzupassen.

Je nach Aufgabenstellung finden dabei die Methoden der Stereo- und der Einbildmessung bei Aufnahme und Auswertung Verwendung; Einbildaufnahmen werden in erster Linie für ebene Objekte (z. B. Lichtschnitte) herangezogen. Anwendung findet die Einbildmessung auch beim Aufnahmeverfahren mit Zeitbasis zur Deformationsmessung, es handelt sich dabei um Wiederholungsaufnahmen oder Bildfolgen von ein und demselben Standpunkt mit gleicher Orientierung, und zur Zustandserfassung von analytisch definierten Flächen (z. B. zur Rekonstruktion von Rotationsflächen in der Architekturphotogrammetrie [5]). Eine weitere Problemstellung der Einbildmessung liegt vor, wenn aus vorhandenem Bildmaterial zur Beweisführung, für Gutachtertätigkeiten, Meßgrößen entnommen werden müssen. Man ist dabei auf die Einzelbildauswertung angewiesen, auch wenn mehrere Bilder desselben Objektes vorliegen, da die Vorbedingungen für eine sinnvolle Stereoauswertung oder für Auswerteverfahren, für die eine Verknüpfung der Bildinhalte mehrerer Aufnahmen herangezogen wird, fast nie gegeben sind. Die primäre Aufgabe dabei ist vielfach, festzustellen, ob zufolge des Aufnahmegebietes, des vorhandenen Bildmaterials, der gewählten Aufnahmedisposition und der Art des Objektes eine zweckentsprechende Auswertung überhaupt möglich ist. Dabei ist numerischen Verfahren gegenüber Analogauswertungen sowie graphischen Lösungswegen der Vorzug zu geben.

Im folgenden soll über Untersuchungen und praktische Arbeiten, die auf dem Gebiet der Einbildmessung am Institut für Allgemeine Geodäsie und Photogrammetrie der Technischen Hochschule in Graz durchgeführt wurden, berichtet werden.

2. Problemstellung und Lösungswege

Die photographische Abbildung wird u. a. in [6] so dargestellt, daß man in den Transformationsgleichungen der allgemeinen Kollineation

$$\begin{aligned}x &= \frac{a_{11} X + a_{12} Y + a_{13} Z + a_{14}}{a_{41} X + a_{42} Y + a_{43} Z + a_{44}} \\y &= \frac{a_{21} X + a_{22} Y + a_{23} Z + a_{24}}{a_{41} X + a_{42} Y + a_{43} Z + a_{44}} \\z &= \frac{a_{31} X + a_{32} Y + a_{33} Z + a_{34}}{a_{41} X + a_{42} Y + a_{43} Z + a_{44}}\end{aligned} \quad \dots(1)$$

für den Wert $z = -c$ setzt. Das bedeutet, daß eines der projektiv aufeinander bezogenen Gebilde eine Ebene, die Bildebene, ist. In ihr läßt sich das Wertepaar x, y mit

$$\begin{aligned}x &= \frac{a_1 X + b_1 Y + c_1 Z + d_1}{a_4 X + b_4 Y + c_4 Z + 1} \\y &= \frac{a_2 X + b_2 Y + c_2 Z + d_2}{a_4 X + b_4 Y + c_4 Z + 1}\end{aligned} \quad \dots(2)$$

als Funktion der Objektkoordinaten X, Y, Z darstellen. Betrachtet man einen Bildpunkt, liefert die Umkehrung Gleichungen für X, Y in der Form

$$\begin{aligned}X &= \frac{A_1' Z + B_1'}{A_4'} \\Y &= \frac{A_2' Z + B_2'}{A_4'}\end{aligned}, \quad \dots(3)$$

also Geradengleichungen. Die Zuordnung ist daher im allgemeinen nicht mehr eindeutig umkehrbar, da einem Punkt der Bildebene eine Gerade im Objektsraum entspricht.

Die Rekonstruktion des Objektes aus einer Zentralprojektion ist somit nur möglich, wenn

- 2.1 es sich um ein ebenes Gebilde handelt,
- 2.2 für die auszuwertenden Bildpunkte eine der Objektkoordinaten X, Y, Z angegeben werden kann,
- 2.3 es sich um ein analytisch definiertes Objekt handelt oder objektseigene Parameter angegeben werden können.

2.1 Ebene Gebilde

Die Gleichungen (2) liefern in ihren Umkehrungen

$$\begin{aligned}X &= \frac{a_1' x + b_1' y + d_1'}{a_4' x + b_4' y + 1} \\Y &= \frac{a_2' x + b_2' y + d_2'}{a_4' x + b_4' y + 1}\end{aligned} \quad \dots(4)$$

das Gleichungssystem für die Objektskoordinaten X, Y . Durch vier idente Punkte im Bild- und Objektskoordinatensystem können die acht Koeffizienten von (4) berechnet werden. Bei beliebiger Lage der Koordinatensysteme führt dies zu einem linearen Gleichungssystem mit acht Unbekannten, dessen Auflösung mit jedem Tischcomputer durchführbar ist. Steht für die Berechnung lediglich ein Kleinrechner zur Verfügung, so empfiehlt sich eine Vereinfachung der Auflösung des Gleichungssystems. Wählt man die Koordinatensysteme so, daß jeweils der Ursprung im identen Punkt i liegt und die $X(x)$ -Achse durch den Punkt $i + 1$ geht, also

$$X_i = Y_i = Y_{i+1} = 0 \quad \text{und} \\ x_i = y_i = y_{i+1} = 0,$$

werden die Koeffizienten d_1', d_2' und a_2' zu Null.

Weitere Möglichkeiten eines einfacheren Lösungsweges bestehen durch Einführung schiefwinkliger oder homogener Koordinaten [7], [8].

Sind mehr als vier idente Punkte gegeben, so kann man die Koeffizienten durch ein Ausgleichsverfahren bestimmen.

2.2—2.3 Räumliche Objekte

Für die Berechnung der elf Koeffizienten in den Gleichungen (2) benötigt man sechs idente Punkte, wenn keine weiteren Angaben über das abgebildete Objekt vorliegen. Für den, unter 2.2 in der Praxis häufigsten Fall, daß Z -Werte von Objektpunkten angegeben werden können, liefern die Umkehrungen von (2) Gleichungen in der Form

$$X = \frac{(A_1'Z + A_2')x + (A_3'Z + A_4')y + (A_5'Z + A_6')}{C_1'x + C_2'y + C_3'} \quad \dots(5) \\ Y = \frac{(B_1'Z + B_2')x + (B_3'Z + B_4')y + (B_5'Z + B_6')}{C_1'x + C_2'y + C_3'}$$

zur Berechnung der Objektskoordinaten X, Y .

Ist das abgebildete Objekt nach 2.3 durch die Funktion $Z = f(X, Y)$ gegeben, kann das rekonstruierte Strahlenbündel mit der Fläche zum Schnitt gebracht werden. Sind Näherungswerte der Objektskoordinaten Z der zu transformierenden Bildpunkte vorhanden, so kann die Berechnung von X, Y durch Iteration erfolgen, wenn die Bildpunkte auf einer digital darstellbaren Fläche liegen. Zusätzliche Angaben über das Objekt liefern Bedingungen, die die Anzahl der identen Punkte verringern.

Bei Überbestimmungen werden die Koeffizienten in (5) durch Ausgleich ermittelt. Für diese Rechenoperationen sind Großrechenanlagen erforderlich.

3. Genauigkeits- und Fehlerbetrachtungen

Die Genauigkeit des Auswertergebnisses ist einerseits vom Aufnahmegerät und andererseits von der Aufnahmedisposition sowie den Auswertemethoden, die auf das vorhandene Bildmaterial abgestimmt sein sollen, abhängig. Als Aufnahmegeräte kommen photogrammetrische Meßkammern und Amateurlinienkamern in Frage,

als Schichtträger finden bei der Bildkoordinatenmessung Glasplatten, Planfilme, handelsübliche Rollfilme sowie Papierabzüge Verwendung. Die Auswirkung von Verzeichnung und Filmverzug auf die Genauigkeit der Bildkoordinaten wurde am Lotlinientestfeld untersucht. Diese Untersuchungen wurden sowohl für Meßkammern als auch für eine Reihe von Nichtmeßkammern durchgeführt.

Eine Trennung des Einflusses von Verzeichnung und Filmverzug auf die Bildkoordinaten wurde nicht angestrebt, sondern eine Aufgliederung in einen linearen und einen nichtlinearen Anteil.

Als mathematisches Modell zur Darstellung dieser Einflüsse wurde nach [4] das Formelpaar

$$\begin{aligned}\Delta x &= a_1 + a_2x + a_3y + \bar{x}k_1 [(x - x_s)^2 + (y - y_s)^2] \\ \Delta y &= a_4 + a_5x + a_6y + \bar{y}k_1 [(x - x_s)^2 + (y - y_s)^2]\end{aligned}\quad \dots(6)$$

verwendet.

Der lineare Anteil von (6) wird bei der Koeffizientenberechnung für die Transformation im Formelsystem (2) bereits berücksichtigt, so daß für die Praxis lediglich der nichtlineare Einfluß von Bedeutung ist. Dieser muß bei größeren Genauigkeitsansprüchen berücksichtigt werden.

Für die Meßkammern ergaben sich Werte, die unter der Meßgenauigkeit der Bildkoordinatenmessung lagen, für die Amateurkameras ergaben sich nichtlineare Anteile dieses Einflusses bis etwa 0,1 mm. Bei Papiervergrößerungen und Polaroidfilmen wurden größere Abweichungen festgestellt.

Als Beispiel sei hier eine Fehlerfigur angeführt, die symmetrischen Charakter zeigte: Contax mit dem Objektiv Sonnar 1:1,5, $f = 50$ mm, wies mit dem Schichtträger Rollfilm Ilford FP 4, 22 DIN Schwarz-Weiß 24×36 eine maximale Abweichung der Lotlinien im Bild von 0,08 mm auf.

Bei der Wahl der Aufnahmedisposition wird die Genauigkeit der Koeffizientenberechnung neben dem Bildmaßstab durch die optimale Verteilung der identen Punkte in bezug auf das zu rekonstruierende Objekt bestimmt, das schließlich innerhalb der Paßpunktconfiguration liegen soll.

Weiters sind die Überhöhung Aufnahmestandpunkt — Objektsbereich sowie die Genauigkeit der Höhenangaben für die Ermittlung der Objektskoordinaten von entscheidender Bedeutung.

Für den Sonderfall horizontaler in der Y-Achse liegender Aufnahmerichtungen ergibt sich zur Abschätzung folgendes:

3.1 Der Einfluß der Unsicherheiten in der Bildkoordinatenmessung auf die Objektskoordinaten wird mit

$$\begin{aligned}dX &= \frac{Y - Y_o}{c} dx \\ dY &= -\frac{1}{c} \frac{(Y - Y_o)^2}{(Z - Z_o)} dz\end{aligned}\quad \dots(7)$$

im Diagramm Abb. 1 dargestellt. (Die Angabe erfolgt nur für dY/Y).

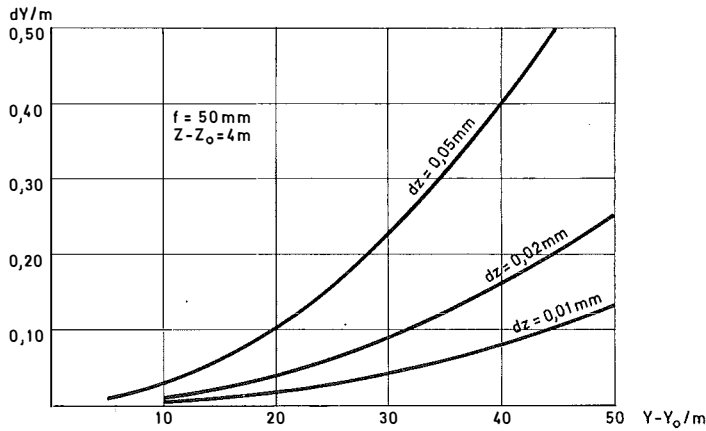


Abb. 1

Die Auswirkung der Kippung der Aufnahme auf die Genauigkeit der Objektkoordinaten X , Y lässt sich an Hand der Formeln

$$dX = \frac{(Y - Y_0) \cos \omega - (Z - Z_0) \sin \omega}{c} dx$$

$$dY = \frac{[(Y - Y_0) \cos \omega - (Z - Z_0) \sin \omega]^2}{(Z - Z_0) c} dz \quad \dots(8)$$

leicht abschätzen.

3.2 Auf Grund der Formeln (7) kann außerdem leicht die Bedeutung der Überhöhung für die Genauigkeit der Objektkoordinaten in Diagrammform angegeben werden.

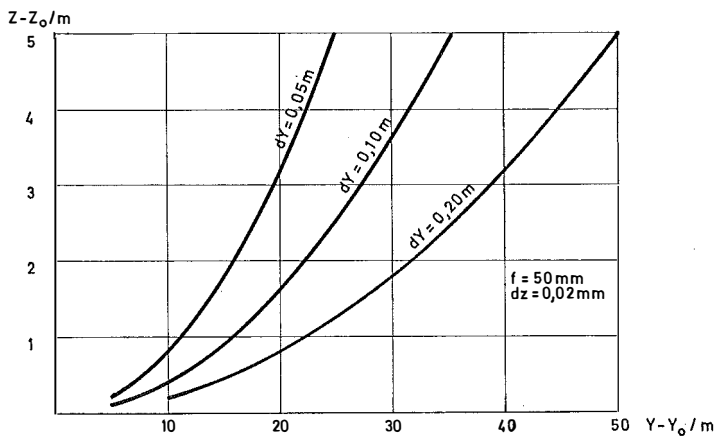


Abb. 2

3.3 Die Auswirkung eines Höhenfehlers auf Y kann durch den elementaren Zusammenhang

$$dY = \frac{Y - Y_0}{Z - Z_0} dZ \quad \dots(9)$$

angegeben werden. Er stellt in Verbindung mit den in der Praxis üblichen Aufnahme-dispositionen ein äußerst wichtiges Ergebnis dar.

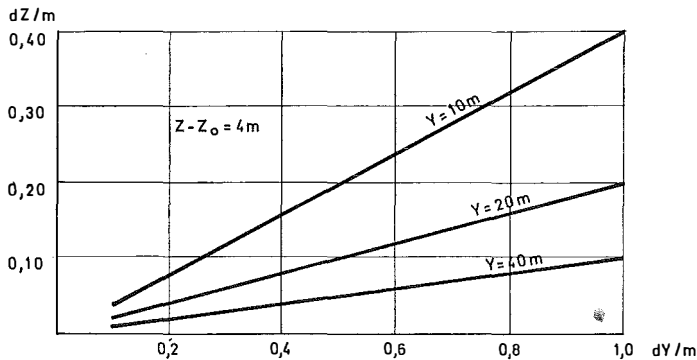


Abb. 3

Dieses Diagramm erlaubt die Abschätzung, ob das Objekt (z. B. eine Straßenfläche) bei entsprechender Aufnahmedisposition als Ebene oder als räumliches Objekt behandelt werden kann. Nomogramme würden umfassendere Abschätzungen zulassen. Für beliebige Aufnahmedispositionen werden die Fehlereinflüsse auf die Objektkoordinaten durch Unterprogramme gleichzeitig mit der Koeffizientenberechnung ermittelt.

4. Diskussion praktischer Arbeiten

Um die Formelsysteme und erstellten Programme nach Punkt 2 sowie die Abschätzungen nach Punkt 3 zu erproben, wurden einige praktische Arbeiten durchgeführt.

4.1 Das Testfeld Rosenhain

Durch einen Punktraster mit den Ausmaßen $25 \times 12\text{ m}^2$ wurde eine Straßenkuppe mit einem Ausrundungshalbmesser von 100 m simuliert. Die maximalen Höhenunterschiede im Punktfeld betragen $0,50\text{ m}$. Die Aufnahmedisposition wurde so gewählt, daß die mittlere Überhöhung des Aufnahmeestandpunktes 4 m , die Aufnahmeentfernungen zwischen 20 und 60 m betragen. Aufnahmen wurden sowohl mit Meß- als auch Amateurkamern durchgeführt, verschiedene Auswertemethoden wurden angewendet.

4.1.1 Die Fläche wurde als Ebene mit einer mittleren Höhe angenähert und die Objektkoordinaten nach den Gleichungen (4) errechnet. Es ergaben sich maximale Abweichungen von den Sollwerten der Koordinaten von $0,95\text{ m}$ in der Aufnahme-richtung. Diese Abweichungen stimmen mit den vorausberechneten theoretischen Werten nach (9) überein.

Danach wurde das gleiche Bildmaterial nach Formel (5) ausgewertet; hier betragen die maximalen Abweichungen nur $0,08\text{ m}$. Damit ist an einem praktischen Beispiel aufgezeigt, daß ein Straßenstück als räumliches Objekt zu behandeln ist und nur in Ausnahmefällen als Ebene angenähert werden kann.

4.1.2 Mit dem Bildmaterial von zwei Aufnahmegeräten wurde die Genauigkeit von verschiedenen Berechnungsmethoden untersucht und in der Tabelle 1 zusammengestellt.

Tabelle 1

Kammer	Objektiv Brennweite in mm	Schichttr. Format	Auswerte- methode	mittlerer red.Fehler	mittl.Ab- weichung in X,Y	Aufnahme- entfernung in m	Idente Punkte
TAN	Orthoprotar f = 190	Platte 13 x 18	1	-	0,10 m	20 - 50	13
TAN	Orthoprotar f = 190	Platte 13 x 18	2	$\pm 0,013$ mm	0,04 m	20 - 50	13
TAN	Orthoprotar f = 190	Platte 13 x 18	3	$\pm 0,011$ mm	0,03 m	20 - 50	13
YASHICA	Yashinon f = 50	Rollfilm 24 x 36	1	-	0,20 m	20 - 50	10
YASHICA	Yashinon f = 50	Rollfilm 24 x 36	2	$\pm 0,013$ mm	0,11 m	20 - 50	10
YASHICA	Yashinon f = 50	Rollfilm 24 x 36	3	$\pm 0,013$ mm	0,10 m	20 - 50	10

Auswertemethode 1: Berechnung ohne Überbestimmung

Auswertemethode 2: Berechnung mit Ausgleich

Auswertemethode 3: Berechnung mit Ausgleich unter Einführung von Gewichten als Funktion der Aufnahmeentfernung und des Schnittwinkels des Aufnahmestrahles mit dem Objekt.

4.1.3 Als dritter Versuch wurde die analytisch definierte Straßenkuppe (Kreiszyylinder) nach Punkt 2.3 behandelt.

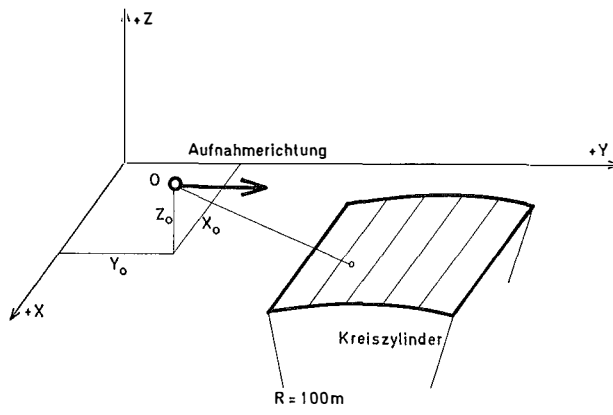


Abb. 4

Die Auflösung der Gleichungen

$$Y = k_1 Z + k_2, \quad X = k_3 Z + k_4$$

$$(Y - Y_0)^2 + (Z - Z_0)^2 = R^2$$

liefert die Objektskoordinaten X , Y . Das Ergebnis stimmt mit der Berechnung nach 2.2 überein.

4.2 Versuch Schloßberg — Spurenrekonstruktion für eine simulierte Verkehrsunfallaufnahme.

In einem verwundenen Straßenstück mit einer Längsneigung von ca. 20% wurde in einer Größenordnung, die vielen praktischen Fällen entspricht, ein Punktfeld eingerichtet. Diese Punkte, an denen auch verschiedene Signalisierungsmöglichkeiten für Bremsspuren erprobt wurden, wurden geodätisch mit Zentimetergenauigkeit eingemessen. Von drei Standpunkten *A*, *B*, *C* mit unterschiedlicher Überhöhung wurden Aufnahmen mit verschiedenen Kamern durchgeführt.

4.2.1 Die Bedeutung der Überhöhung für die Genauigkeit des Auswertergebnisses läßt sich an der Tabelle 2 ablesen.

Tabelle 2

Standpkt.	mittl. Überhöhung	Aufnahmekammer	Objektiv Brennweite in mm	mittl. Bildkoordinatenfehler	max. Objektkoordinatenfehler	Bildmaßstab
A	0,0 m	YASHICA	Yashinon f = 50	$\pm 0,026$ mm	0,28 m	100 - 400
	0,0 m	CONTAX	Biogon f = 21	$\pm 0,019$ mm	0,43 m	200 - 1000
B	2,5 m	YASHICA	Yashinon f = 50	$\pm 0,018$ mm	0,14 m	100 - 400
	2,5 m	CONTAX	Biogon f = 21	$\pm 0,026$ mm	0,14 m	200 - 1000
C	5,5 m	YASHICA	Yashinon f = 50	$\pm 0,025$ mm	0,05 m	100 - 400
	5,5 m	CONTAX	Biogon f = 21	$\pm 0,025$ mm	0,04 m	200 - 1000

Objektpunkte, für die $Z - Z_0$ kleiner als 0,50 m war, wurden nicht berücksichtigt. Bei ungefähr gleichbleibender Genauigkeit der Bildkoordinatenmessung steigt die Genauigkeit der Objektkoordinaten mit zunehmender Überhöhung in einem Maß, das sich schon nach Diagramm Abb. 2 abschätzen ließ.

4.2.2 Um die Brauchbarkeit verschiedener handelsüblicher Amateurkamern zu testen, wurden vom Standpunkt *C* Aufnahmen nach Tabelle 3 durchgeführt.

Tabelle 3

Kammer	Objektiv Brennweite in mm	Schichtträger	Identepunkte	mittl. Bildkoordinatenfehler	max. Objektkoordinatenfehler	Aufnahmeentfernung
CONTAX	Sonnar f = 50	Rollfilm schwarz-weiß	13	$\pm 0,035$ mm	0,05 m	5 - 20 m
CONTAX	Biogon f = 21	Rollfilm schwarz-weiß	13	$\pm 0,027$ mm	0,04 m	5 - 20 m
YASHICA	Yashinon f = 50	Rollfilm schwarz-weiß	10	$\pm 0,031$ mm	0,05 m	5 - 20 m
KODAK INSTAMATIC 104	-	Farbnegativ Kassettenfilm	10	$\pm 0,038$ mm	0,05 m	5 - 20 m
POLAROID ZIP	-	Polaroidfilm	8	$\pm 0,05$ mm	0,06 m	5 - 20 m

Bei entsprechender Aufnahme disposition liefern auch einfache Aufnahme geräte praktisch brauchbare Ergebnisse.

4.2.3 Um Aussagen über die in der Praxis häufig vorliegenden Papiervergrößerungen machen zu können, wurden schließlich noch verschiedene Schichtträger getestet. Um die Verzeichnung auszuschalten, wurde als Aufnahme gerät die Wild-P 32 eingesetzt.

Tabelle 4

Schicht-träger	Format in cm	max. Objekts-koordinaten-fehler
Agfa-Gevaert 22 DIN Ortho-platte Geva-chrom 32	6,5 x 9	0,03 m
Rollfilm Ilford FP 4	6,5 x 9	0,04 m
Papier Forte BH 5	8 x 12	0,08 m
Papier Tura PE-S	8 x 12	0,08 m

Wie die beiden hier angeführten Versuche zeigen bzw. wie bei zahlreichen praktischen Arbeiten zur Gutachtenserstellung festgestellt wurde, lassen sich Ergebnisse mit brauchbaren Genauigkeitsangaben nur erwarten, wenn bestimmte Richtlinien bei der Auswahl der Aufnahme disposition eingehalten werden. Im wesentlichen sind das die Paßpunktverteilung im Bildinhalt, die Wahl des Bildmaßstabes und der Aufnahme richtung sowie die Überhöhung des Aufnahme standpunktes.

Zusammenfassung

Zur Beweisführung werden immer häufiger Amateuraufnahmen herangezogen, als Auswertemethode überwiegt in der Praxis die Einbildmessung. Dieses Verfahren wird auch bei räumlichen Objekten angewendet. Formelsysteme, Genauigkeitsabschätzungen und Diskussionen praktischer Arbeiten werden im vorliegenden Bericht mitgeteilt.

Literatur

- [1] Voss, G.: Neue Geräte im System Industriephotogrammetrie des VEB Carl Zeiss, Jena, Vermessungstechnik 1973.
- [2] Kägi, R., Hardegen, L.: Wild Aufnahme- und Auswertegeräte für die Architekturphotogrammetrie, Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik 1/1975.
- [3] Döhler, M.: Nahbildmessung mit Nicht-Meßkammern, Bildmessung und Luftbildwesen 2/1971.
- [4] Karara, H. M., Abdel-Aziz, Y. I.: Accuracy aspects of non-metric imageries, Photogrammetric Engineering 1974.
- [5] Grün, A.: Die photogrammetrische Rekonstruktion von Rotationsflächen aus Einzelbildern, Bildmessung und Luftbildwesen 5/1974.
- [6] Hubeny, K.: Photogrammetrie 1, Hochschulkriptenreihe, Technische Hochschule in Graz 1974.
- [7] Jordan, Eggert, Kneissl: Band IIIa/1 Photogrammetrie.
- [8] Killian, K.: Beitrag zur numerischen und graphischen Auswertung von Luftbildern, Österr. Zeitschrift für Vermessungswesen 1957.