

# EINIGE FEHLERQUELLEN DER PHOTOGRAMMETRISCHEN VERMESSUNGEN IM GROSSMASSSTAB

Von

Frau M. DOMOKOS

Lehrstuhl für Photogrammetrie,  
Technische Universität Budapest

(Eingegangen am 9. Juni 1969)

Vorgelegt von Prof. Dr. L. HOMORÓDI

## Einleitung

Die ungarische Volkswirtschaft erfordert zur Entwicklung und Regelung der Städte, zur Projektierung von Fabriken und Industrieanlagen, für die Modernisierung von Straßen und Eisenbahnstrecken, usw. vielerlei Kartierungen, bzw. Vermessungen. Bei Anwendung der herkömmlichen Vermessungsverfahren kann das Tempo mit dem Anstieg der Ansprüche nicht Schritt halten.

In den letzten 15 Jahren traten zur raschen und ökonomischen Herstellung der entsprechend genauen Karten die photogrammetrischen Meß- und Kartierungsverfahren immer mehr in der Vordergrund. Der praktische Anwendungskreis hat sich von der Anfertigung der staatlichen Grundkarten durch ein mit Photogrammetrie kombiniertes Verfahren zu der präzisen großmaßstäbigen photogeodetischen Kartierung erweitert.

Die Berechtigung der Durchführung von Vermessungen auf photogrammetrischen Grundlagen im Großmaßstab wird durch die erreichbare Genauigkeit stark beeinflusst.

In vorliegender Zusammenstellung werden einige gefährliche Fehlerquellen besprochen, die die auf photogrammetrischem Wege hergestellten großmaßstäbigen Vermessungen beeinflussen.

## Fehlerquellen

Vom Gesichtspunkt der Karte im Großmaßstab sind von den Fehlerquellen der photogrammetrischen Verfahren die Schrumpfung der Meßfilme und die verschiedenen Unsicherheiten der Identifizierung am bedeutendsten. Die sonstigen bekannten Fehlerquellen sind bei günstiger Fehlerverteilung nicht störend. Nachstehend wird über verschiedene Verfahren berichtet, die bei photogrammetrisch durchgeführten Kartierungen verwendet wurden im  $M = 1 : 1000$  oder noch größer, wo die Fehler merkbar und auch numerisch beweisbar waren.

Für Karten mit diesen Maßstabsgrößen kommen folgende Verfahren nach der Methode der photogrammetrischen Aufarbeitung in Frage (von der einfacheren zu der genaueren Lösung schreitend):

- einbildphotogrammetrisches Verfahren
- Modellverfahren (Stereophotogrammetrie)
- analytisches Verfahren

Beim einbildphotogrammetrischen Verfahren haben die unregelmäßigen Schrumpfungen und Identifizierungsfehler der Luftfilme und der photographischen Stoffe eine ungünstige Wirkung. Drei Methoden der Modellverfahren werden betriebsmäßig angewendet: die graphische, die numerische und die kombinierte numerische Lösung. Von diesen ist die graphisch optisch-mechanische Auswertung die häufigste. Dieses Verfahren ist außer den Identifizierungsfehlern bemerkbar durch affine, Differenz-, und unregelmäßige Schrumpfung der Luftfilme belastet.

Das numerische und das kombinierte numerische Verfahren sind teilweise frei von Fehlern der Filmschrumpfung, die Identifizierungsprobleme sind jedoch auch bei diesen Methoden unverändert schwerwiegend. Beim analytischen Verfahren kann prinzipiell die affine und Differenzschrumpfung vermieden werden. Die unregelmäßigen Filmfehler und die Identifizierungsschwierigkeiten bestehen aber auch hier.

Zur Erweiterung der Anwendungsmöglichkeit der photogrammetrischen Methoden müssen die Erscheinungsformen der angeführten Fehler, ihre Wirkung und die eventuellen Möglichkeiten ihrer Behebung festgestellt werden.

Daraus geht hervor, daß die wichtigste Aufgabe die Prüfung der Filmschrumpfung ist, nachher können die verschiedenen Identifizierungsfehler aufgedeckt werden.

### 1. Prüfung der Filmschrumpfung

Die Abmessungen der für Serienaufnahmen üblichen Luftfilme sind im allgemeinen 60 m in Längsrichtung und je nach der Kamera-Typ 20 bzw. 25 cm in der Querrichtung.

Die Luftfilme, obzwar ihr Grundstoff im allgemeinen maßhaltend ist, können zufolge ihrer sehr abweichenden Ausdehnung in den zwei erwähnten Richtungen in verschiedenem Ausmaß verzerrt sein. Die Schrumpfung hat regelmäßige, affine und unregelmäßige Anteile. Bei den zusammengehörigen Bildern, d. h. bei den Bildpaaren meldet sich die relative oder Differenzverzerrung.

Der Luftfilm — Schichtträger und Schichte — deformieren sich, ändern ihre Abmessungen in Raum und Zeit, vom Zeitpunkt der Herstellung, zufolge der inneren physikalischen Eigenschaften und der äußeren, chemischen,

physikalischen und mechanischen Wirkungen. Auf Grund der Rahmenmarken ist die Änderung der Abmessungen des Films vom Moment der Luftaufnahme erfaßbar. Wie bekannt, werden bei der Belichtung auf dem Negativ die Rahmenmarken auch aufgenommen. Zur Untersuchung der Filme kann der Abstand zwischen den Rahmenmarken der Fabriksangaben mit den Meßwerten des Films verglichen werden. Die vier Seiten des Rahmens sind praktisch gleich groß, doch kann in einzelnen Fällen eine Abweichung von 0,01 mm vorkommen. Der Wert der einzelnen Seiten wurde mit  $a$  und die zwischen den Seiten meßbaren Diagonalen mit  $d$  bezeichnet.

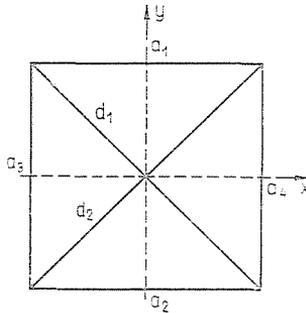


Abb. 1

Zur Bestimmung der Schrumpfungen müssen alle vier Seiten des Negativs mit einer Genauigkeit von 0,01 mm gemessen werden. Abb. 1. zeigt die vier Seiten eines beliebig großen Negativs ( $A_1 \dots \dots \dots a_4$ ) und seine zwei Diagonalen ( $d_1$  und  $d_2$ ).

Die zur Bestimmung der Verzerrungen durchgeführten Messungen können für die vier Seiten verschiedene Ergebnisse liefern. Wenn festgestellt wird, daß

$$a_1 = a_2 = a_3 = a_4 \neq a$$

so hat sich der Film regelmäßig verzerrt. Wird aus den Meßergebnissen festgestellt, daß

$$a_1 = a_2 \neq a_3 = a_4$$

so hat der Film einen affinen Schrumpf. Ergeben die Meßergebnisse, daß

$$a_1 \neq a_2 \neq a_3 \neq a_4$$

so ist das eine unregelmäßige Schrumpfung. (Von den inneren, eventuellen Verformungen wird vorderhand abgesehen und der an den vier Seiten meßbare Schrumpf wird als Kennwert betrachtet.)

Die Meßergebnisse können für die gegenüber liegenden Seiten im Falle einer Abweichung von 0,01 mm als übereinstimmend betrachtet werden, da die bekannten Kamera-Angaben ebenfalls von dieser Genauigkeit sind.

Der regelmäßige und affine Schrumpfung der Luftfilme beeinflusst die Meßergebnisse unmittelbar, in der in Abb. 2 ersichtlichen Weise.

Es kann bewiesen werden, daß bei regelmäßigem Schrumpfung die Bildlängen in jeder Richtung gleichwohl  $M$ -ste Teile der Geländelängen sind, d. h. es zeigt sich eine proportionale Maßstabänderung in Vergleich zur Kamera-Angaben. In den zwei Bildhaupttrichtungen ist die Proportion der Längen  $M_1$  und  $M_2$ , während in allen anderen Richtungen veränderliche Werte  $M_i$ ,  $M_j$ ,  $M_k$  usw. festgestellt werden.

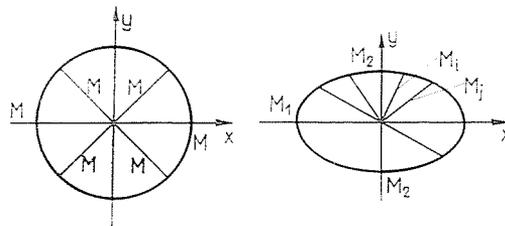


Abb. 2

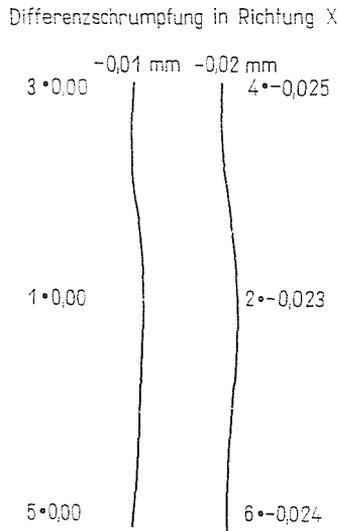
Auf dem regelmäßig verzerrten Film bleibt das Punktfeld winkeltreu auf dem in affiner Weise oder unregelmäßig verzerrten Film hingegen nicht.

Um die Größe der regelmäßigen, d. h. spezifischen und des Affinschrumpfunges in der praktischen Arbeit feststellen zu können, wurden 94 Einzelbilder untersucht, davon 54 mit Abmessungen von  $18 \times 18$  cm und 40 Einzelbilder mit  $23 \times 23$  cm. Es wurden die vier Seiten  $a_1, a_2, \dots, a_4$  der ausgewählten Filme mit einer Hunderstel-mm-Einteilung gemessen. Aus dem Vergleich des originalen Fabrikwertes  $a$  und den Meßwerten wurden die Schrumpfung  $\Delta a_x$  und  $\Delta a_y$  in Richtung  $x$  und  $y$  berechnet, deren Differenz  $\Delta a_4$  der Affinschrumpfung ist. Im großen Untersuchungsmaterial wurde kein regelmäßiger Filmschrumpfung gefunden. Alle Einzelbilder, sogar die auf Estar Grundlage, schrumpften auf affine Weise.

Das Maß des Affinschrumpfunges wurde für die  $18 \times 18$  cm Filme (Innenmaß 16,4 cm) und die  $23 \times 23$  Filme (Innenmaß 21,2 cm) separat berechnet. Das kleinere Format zeigte die größere Änderung und bei dem größeren Format war das Schrumpfungsverhältnis günstiger. Die Ergebnisse wurden tabellenmäßig aufgearbeitet. Die verwendeten Bezeichnungen sind aus der Tabelle eindeutig klar. Der Abstand der Rahmenmarken ist nur mit mm-Genauigkeit angegeben, so soll die berechnete affine und die letzte Ziffer der Längsverzerrung je Einheit als aufgerundeter Wert betrachtet werden. Der

Affinschrumpfung ist bei statistischer Wertung eine Quantität von wechselndem Vorzeichen. Je Filmrolle kommt sie aber — unserer Erfahrung nach — nur mit einerlei Vorzeichen vor.

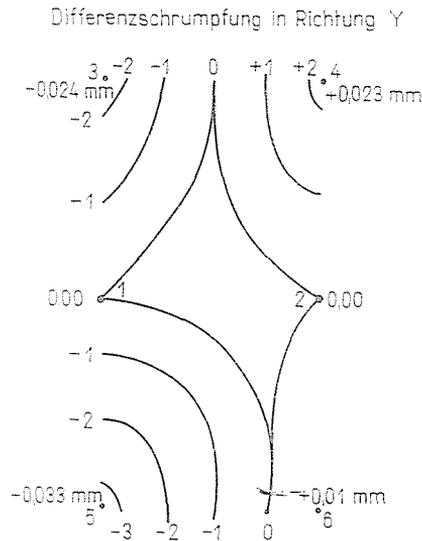
Um die Untersuchung zu ergänzen, wurden auch Netzaufnahmen bearbeitet und an ihnen die erwähnten Messungen und Berechnungen durchgeführt. Das Ergebnis war ähnlich wie oben, es gab keine regelmäßig verzerrte Aufnahme, überall fanden wir einen affinen oder unregelmäßigen



Schrumpfung. Aus den Ergebnissen der serienweise nacheinander folgenden Aufnahmen ergab sich, daß die Schrumpfung der Einzelbilder auch von ihrer Lage innerhalb der Filmrolle abhängig ist. Daraus folgt, daß die überlappten Bereiche der nacheinander folgenden Aufnahmen ebenfalls eine unterschiedliche Schrumpfung aufweisen, diese Abweichung ist der *Differenzschrumpfung*. Die Größe des Differenzschrumpfes kann aus der Ausmessung der Netzaufnahmen oder bei Betriebsbedingungen an den Negativen festgestellt werden, wo die 8 Rahmenmarken-Messungen mit den Fabriksangaben verglichen werden. Bei unseren Untersuchungen konnten aus den Netzmessungen auch die Differenzschrumpfungen festgestellt werden, wo die rechte Hälfte der linken Netzaufnahme und die linke Hälfte der rechten Netzaufnahme als Grundlage dienten. Der Differenzschrumpfung zeigt sich für Richtung  $x$  und  $y$  separat. Der Differenzschrumpfung der untersuchten 2 Netzaufnahmen ist in Richtung  $x$  und  $y$  aus Abb. 3 und 4 ersichtlich.

Affinschrumpfung	Rahmenmarkenabstand		Affine Längsschrumpfung		Längsverzerrung je Einheit	
	164 mm	212 mm	164 mm	212 mm	bei 164 mm	bei 212 mm
Durchschn. in mm	$\pm 0,191$	$\pm 0,059$	0,00115	0,0028	1/869	1/3571
Minimum in mm	$\pm 0,136$	$\pm 0,023$	0,00083	0,0011	1/1200	1/9091
Maximum in mm	$\pm 0,253$	$\pm 0,096$	0,00154	0,00046	1/649	1/2174

Affin- und Differenzschrumpfung deformieren unterschiedlich die Meßwerte  $x$ ,  $y$ ,  $z$  der verzerrten Bilder, in Abhängigkeit von Platz, die sie im Bild einnehmen.



## 2. Der Identifizierungsfehler

Die Verwendung photogrammetrischer Stoffe wird durch die Art ihrer Tönungsprojektion erschwert. Bei der Herstellung des Luftbildplanes hängt die Möglichkeit der Tönungsabgrenzung von der Korngröße des Negativs und dem Maß der Vergrößerung ab. Auch bei höchst idealen Umständen kann keine bessere Lagegenauigkeit als 0,05 mm erreicht werden. Bei der stereophotogrammetrischen Auswertung häufen sich die Fehlermöglichkeiten, denn die Abgrenzung der Tönungen geschieht nicht auf dem Gelände durch tatsächliche Beobachtung, sondern während der Betrachtung des hergestellten Raumbildes. Die Unsicherheiten der Abgrenzungen verursachen Identifizierungsfehler, die mehrerlei sein können.

*Identifizierungsfehler der Lage und des Inhalts.* Der Identifizierungsfehler ist eine der gefährlichsten Fehlermöglichkeiten der photogrammetrischen oder photogeodetischen Vermessungen im Großmaßstab. Der Identifizierungsfehler zeigt sich in zweierlei Weise, einerseits inhaltlich (Fehlbeurteilung), andererseits der Lage nach (Verdeckung). Die Inhalts- und Lagefehler sind auch aus zwei weiteren Gesichtspunkten prüfbar, so gibt es praktische und prinzipielle Inhalts-, sowie Lage-Identifizierungsfehler.

Der Identifizierungsfehler dem Inhalt nach bedeutet falsche Beurteilung der Luftbildtönungen, z. B. unrichtige Wertung der Anbau- und der Grundstücksgrenze oder des Zaunes, usw. Der inhaltliche Identifizierungsfehler kann durch Feldvergleich zum größten Teil behoben werden.

Der Identifizierungsfehler der Lage stammt von der nicht eindeutigen Abgrenzungsmöglichkeit der unbestimmten Ränder der Tönungen oder vom Weglassen der nicht sichtbaren Teile zufolge der Geländeüberdeckung oder der Schatten; in der Praxis z. B. verdecken die Dachrinnen-Linien die Sockel der Wandflächen, bei Obstgarten- und Gartenbebauung verdeckt das Laub das Gebäude, usw. Der Identifizierungsfehler der Lage kann nur durch Kontrollmessungen im Felde ausgebessert werden.

*Unserer Meinung nach ist dies das größte, beinahe unüberwindliche Problem bei der großmaßstäbigen photogrammetrischen Kartierung.* Das bisher Gesagte klärte für die weitere Gruppierung den Begriff des »praktischen« Inhalts- und Lagefehlers.

»Prinzipielle« Inhalts- und Lagefehler bedeuten eine ganz abweichende Gruppe. Ihre Grundlage ist, daß aus den Luftbildern nicht der für die Vermessung wichtige prinzipielle Inhalt gemessen werden kann, sondern nur was gut sichtbar ist. Nämlich, daß die Besitzverhältnisse, die Festpunkte, die Bauwerksockel, verschiedene Leitungen usw., d.h. erst- und zweitrangige Geländeobjekte nicht oder nur teilweise ausgewertet werden können. Wie bekannt, sind auf dem Luftbild die wichtigen und unwichtigen Gegenstände nach der in der Natur vorhandenen objektiven Realität sichtbar und die unwichtigen Teile sogar besser erkennbar.

Abb. 5 zeigt einen Teil einer großmaßstäbigen Luftaufnahme, wo an den angezeichneten Stellen die erwähnten Identifizierungsfehler gut sichtbar sind. Die Abbildung ist ein anschaulicher Beweis für das bisher Besprochene.

### 3. Feststellungen

Es wurde getrachtet, die zwei bedeutenden Fehlerquellen der großmaßstäbigen photogrammetrischen Vermessungen genau zu studieren. Es ist wichtig, die aus den Untersuchungsangaben folgenden Tatsachen festzustellen. So kann aus den numerischen Angaben des Affinschrumpfes der Luftbilder entnommen werden, daß bei der Anfertigung eines Luftbildplanes

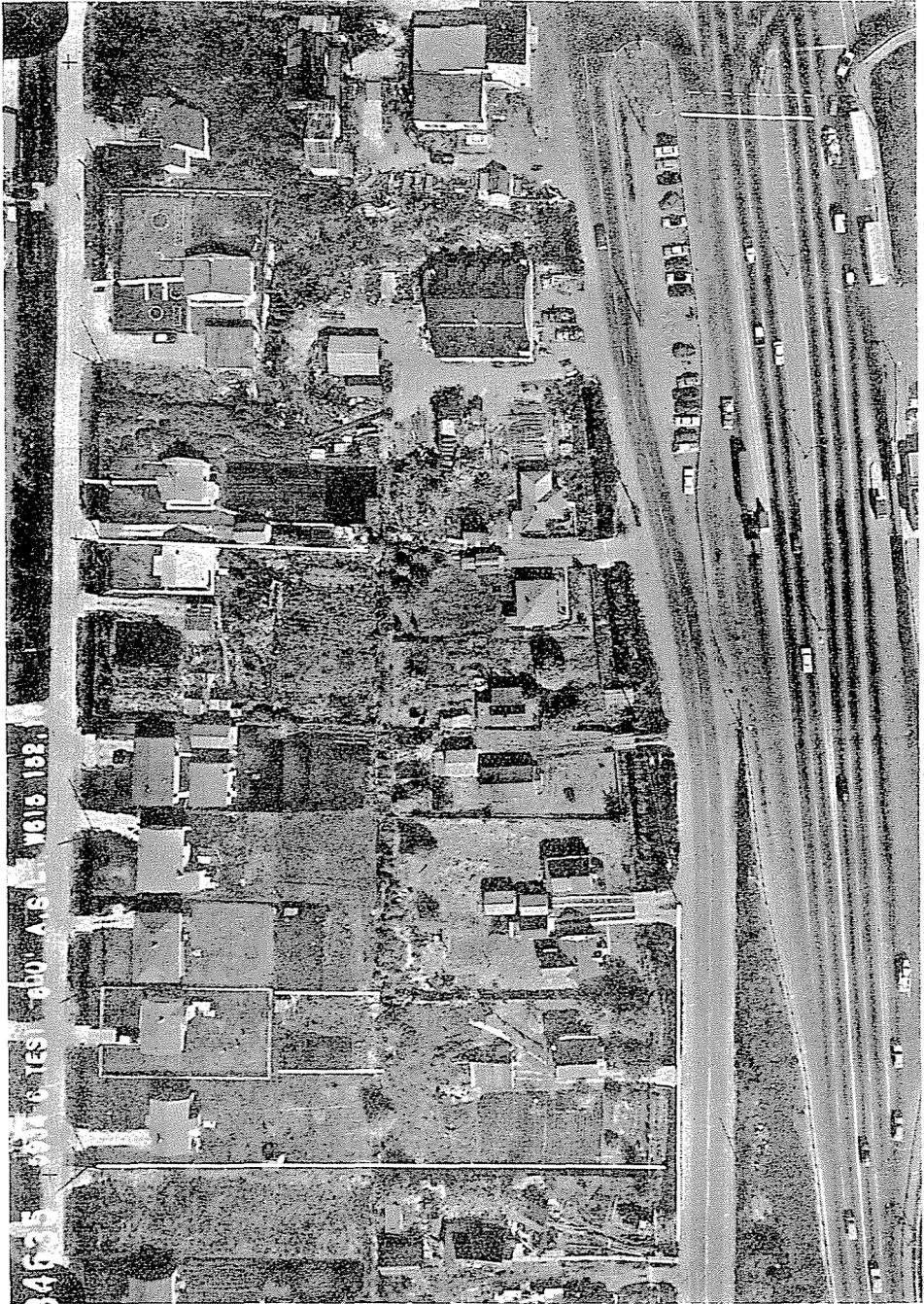


Abb. 5

und bei der optisch-mechanischen graphischen Stereoauswertung der Lageplan sich auf affine Weise in der einen Hauptrichtung verzerrt. Das Verzerrungsmaß beträgt in Abhängigkeit des Negativs der Länge nach im Durchschnitt  $1/1000$ — $1/3500$ . Wenn in Betracht genommen wird, daß der zulässige Wert der Abbildungsverzerrungen  $1/10\ 000$  beträgt, so ist bei großmaßstäbiger Kartierung  $1/1000$ — $1/3500$  sehr ungünstig.

Auf Grund der Untersuchungswerte — die auf das Bildformat bezogen wurden — scheint für die Kartierung im Großmaßstab die Verwendung des Formats  $23 \times 23$  cm am zweckmäßigsten zu sein.

Auf Grund der Feststellungen für Identifizierungsfehler muß ausgesagt werden, daß die photogrammetrische Kartierung nur angewendet werden darf, wenn keine Rechtsfolgen zu befürchten sind, die kartierten Grundstücksgrenzen nicht die tatsächlichen Besitzverhältnisse spiegeln, sondern den in der Natur bestehenden Zustand darstellen.

Die bisher Besprochene zusammenfassend kann festgestellt werden, daß die für die herkömmlichen Vermessungsverfahren vorgeschriebenen Genauigkeitsanforderungen bei der Anwendung photogrammetrischer Methoden nicht 100%ig eingehalten werden können.

### Zusammenfassung

Zwei Fehlerquellen der großmaßstäbigen, photogrammetrischen Vermessung werden behandelt. Prüfungen hinsichtlich der Feststellung des Affinschrumpfes der Luftbilder ließen die auf die Einheit fallende Längsverzerrung ableiten. Auch die verschiedenen Identifizierungsfehler, und deren Einfluß werden besprochen.

Oberassistentin Frau Maria DOMOKOS, Budapest XI., Műgyetem-rkp. 3, Ungarn