

Kommission IV

A.G. IV/3

Freiwilliges Referat

Dipl.-Ing. Ralf Dörschel

Bayer. Landesvermessungsamt, 8 München 22

Die Photogrammetrie als Hilfsmittel zum Aufbau
eines modernen Vermessungs- und Kartenwerkes
in städtischen Siedlungsgebieten

Abstrakt

Today cadastral photogrammetry is capable of creating a cadastre point field with an accuracy equivalent to r.m.s. errors less than 2 cm. It may be advantageous to first determine only a free point field, secured perhaps by available utility covers, and to which all subsequent surveys may be referred. In order to achieve a complete graphical restitution, reversal color film and large photo scales should be used. Besides the desire for a user-oriented bundle adjustment program, the development of new computer programs has to be asked for, both for the subsequent numerical processing of the restitution of buildings, and for interpolating older surveys into the new point field. Only then the results of these working sections will meet the requirements of a coordinate cadastre. Finally, it will be emphasized that terrestrial and photogrammetric methods should be utilized in a complementary manner.

1. Die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich in erster Linie auf Siedlungsgebiete, wie sie etwa seit 1920 entstanden sind. Sie sind aber in ähnlicher Weise anwendbar auf die meist wesentlich kleineren Gebiete älterer Bebauung und die alten Stadt- oder Dorfkerne. Sie gelten auch für stark bewegtes, von Waldstücken und Kleinsiedlungen durchsetztes Gelände. Es sei vorausgesetzt, daß ein zusammenhängendes Vermessungswerk fehlt, verfallen ist oder vielleicht nur in unzulänglicher Genauigkeit vorhanden war. Alte Katasterkartenwerke können in kleinerem Maßstab vorliegen.
2. Ziel der geforderten Arbeit soll es sein, für das ganze Gebiet ein modernes Vermessungswerk aufzubauen, das sich nahtlos in seine Umgebung einfügt. Alle aufzumessenden, definierbaren Punkte sollen koordiniert, Kartierungen digital erstellt werden. Alle künftigen Vermessungen können dieses spannungsfreie System benutzen und tragen bei sachgerechter Ausführung durch das Aufsuchen alter und das Einmessen neuer Punkte automatisch zum Erhalt und Ausbau dieses Werkes bei.
 - 2.1 Unter einem "modernen Vermessungswerk" sei hier ein homogenes Punktfeld mit einem mittleren Koordinatenfehler von $\pm 1 - 2$ cm verstanden, das im Sinn eines Koordinatenkatasters gebraucht werden kann. Das tragende Punktfeld soll leicht auffindbar sein. Es muß über Jahre hinweg mit gleicher Genauigkeit erhalten werden können. Alle älteren Vermessungen sind in dieses System einzugliedern oder sie werden als unzulänglich ausgeschieden.
 - 2.2 Als modern ist ein Kartenwerk anzusehen, das digital gespeichert und jederzeit fortführungsfähig und abrufbar ist. Der Kartierungsmaßstab sei 1:1000. Alle dargestellten Objekte sollen mindestens mit Kartierungsgenauigkeit (1 dm in der Örtlichkeit = 0,1 mm in der Karte) erfaßt sein. Viele Objekte, die heute zur technischen Ausstattung einer modernen Stadt gehören - Schlagwort Leitungskataster -, sollten allerdings nicht in den Grundkarten, sondern nur in eigenen Deckfolien ausgewiesen werden.

3. Diesen Forderungen kann eine photogrammetrische Grundlagenvermessung gerecht werden. Die Photogrammetrie wird terrestrischen Vermessungsmethoden deshalb vorgezogen, weil sie

- im bebauten Gebiet unproblematisch ein homogenes Netz aufbauen kann,
- durch den fließenden wie ruhenden Verkehr bei sachgerechter Ausführung nur wenig behindert wird
- mit einem Bildflug die Grundlagen für die Koordinierung des Punktfeldes und
- für eine je nach den gestellten Ansprüchen mehr oder weniger intensive Objektauswertung schafft
- wenn erforderlich, schon mit ihren Luftbildern allein einen guten Überblick gibt über Struktur und Arbeitsumfang in dem zu bearbeitenden Gebiet.

4. Die hierfür notwendigen Arbeiten sollen nach folgenden Stichworten gegliedert besprochen werden:

- Paßpunktfeld am Rand
- Flächenhaftes Katasterfestpunktfeld
- Bildflugdaten
- Punkt- und Objektauswertung
- Bündelausgleichung
- Bearbeitung photogrammetrisch ausgewerteter Gebäude
- Einpassen früherer Messungen
- Kartierung.

4.1 Paßpunktfeld am Rand:

Vorausgesetzt wird ein spannungsfreies Festpunktfeld nach Lage und Höhe mit einem Punktabstand von 2 bis 4 km. Oft ist aber das Ausgangspunktfeld nicht spannungsfrei und muß trotzdem angehalten werden. Photogrammetrische Punktbestimmungsverfahren (Bündelausgleichungen) sind durch ihre zahlreichen Überbestimmungen und flächenhaften Verflechtungen meist zu steif, um solchen lokalen Deformationen folgen zu können. Dann muß das photogrammetrisch bestimmte Punktfeld nachträglich in einer eigenen Umformung dem Festpunktfeld angepaßt werden. Zur Paßpunktbestimmung muß terrestrisch nur am Rand ein Punktfeld mit 0,5

bis 1 km Abstand geschaffen werden. Um hier Zentimetergenauigkeit zu erreichen, müssen moderne Meßmittel (elektrooptischer Distanzmesser, Sekundentheodolit) eingesetzt und alle umliegenden Ausgangspunkte zur Punktbestimmung herangezogen werden.

4.2 Flächenhaftes Katasterfestpunktfeld:

Die Verdichtung des Katasterfestpunktfeldes erfolgt photogrammetrisch. Hier müssen beträchtliche Punktmengen in kurzer Zeit luftsichtbar gemacht werden. Unabdingbare Voraussetzung ist natürlich, daß im Straßenraum oder in den von den Straßen aus zugänglichen Grundstücken eine Signalisierung über einen gewissen Zeitraum ohne ständige Pflege aufrechterhalten werden kann. Auf unausgebauten Straßen, Straßen mit starken Baustellen- oder landwirtschaftlichem Verkehr ist dies meist nicht möglich. Die signalisierten Punkte sollen ohne große zusätzliche Vermarkungsarbeit über Jahre hinweg unverändert und leicht auffindbar bleiben. Sehr günstig wäre es, wenn man ein ideales Punktfeld selbst neu vermarken oder später benötigte alte Vermessungspunkte aufsuchen und signalisieren könnte. Oft bleibt dafür in den Wochen vor dem Bildflug keine Zeit. Wesentlich einfacher und in vielen Fällen auch dauerhafter dürfte es sein, auf das in Städten meist vorhandene Feld gemauerter, symmetrisch gebauter Schachtdeckel zurückzugreifen. Sie müssen allerdings entweder ohne Signalisierung scharf luftsichtbar sein oder exakt und dauerhaft signalisiert werden können. Die meisten derzeit bei uns verwendeten Kanaldeckel entsprechen dieser Forderung. Eine Signalisierung scheint allerdings unerläßlich. Bei einem großangelegten Versuch wurden folgende Zahlen ermittelt - (1) normal signalisierte Punkte, (2) nicht signalisierte Kanaldeckel:

	Punktzahl	davon nicht sichtbar	Koordinatenfehler
(1)	440	37 = 8,4 %	± 1,0 cm
(2)	167	34 = 20,4 %	± 2,2 cm

Der Koordinatenfehler wurde durch Vergleich kurzer gemessener Strecken mit den aus photogrammetrischen Koordina-

ten errechneten Strecken berechnet.

Die exakte Signalisierung aller Kanaldeckel eines Gebietes kann mit gewissenhaften, aber sonst fachlich nicht vorgebildeten Arbeitskräften ausgeführt werden. Bei dem oben angeführten Beispiel wurden 900 Punkte in 400 ha von drei Arbeitsgruppen in 6 Arbeitstagen signalisiert. Mit der Verwendung der Kanaldeckel spart man sich Zeit, die man sonst für Vermarkung und Fertigung von Anmessungsskizzen aufwenden müßte. Kann man darauf nicht zurückgreifen, dann sollte man bei einem freien Punktfeld die Vermarkung so einfach wie möglich halten und an Straßenkreuzungen und -einmündungen bestimmte Punktlagen vorschreiben, um wenigstens für die erste Zeit keine Anmessungsskizzen anfertigen zu müssen. In freien Lagen sollte man ein Vermarkungsmaterial verwenden, das mit einer genauen Unterversicherung versehen werden kann. Es sollte eine genügend große weiße Oberfläche haben, auf der man zusätzlich noch eine Signalplatte aufnieten kann. Nicht fest mit dem zu signalisierenden Punkt verbundene Signalplatten sollten durch zwei weitere symmetrisch ausgelegte Signalplatten nach der Auswertung rechnerisch kontrolliert werden können.

4.3 Bildflugdaten:

Für die angestrebte Genauigkeit ist ein großmaßstäblicher Flug mit etwa gleichmäßiger Längs- und Querüberdeckung erforderlich, ebenso eine Mindestzahl scharf signalisierter Punkte in regelmäßiger Verteilung im Bild (etwa 25 bis 30 Stück). Dann sollten bei einer modernen Bündelausgleichung, eine genaue Auswertung von ± 2 um vorausgesetzt, ein mittlerer Fehler der einzelnen Beobachtung von

$\pm 5 \mu\text{m}$ erreichbar sein. Da die Koordinaten eines Neupunktes aber meist aus mehr als 2 Beobachtungen ermittelt werden, ist der mittlere Koordinatenfehler eines Punktes stets kleiner als der oben angegebene Wert. So wurden in 2 Bündelausgleichungen mit einem Gewichtseinheitsfehler von $\pm 4,2 \mu\text{m} = \pm 1,7 \text{ cm}$ bei einer Überprüfung der Koordinaten durch eine Nachrechnung kurzer Strecken

ein mittlerer Koordinatenfehler von $\pm 1,3$ cm aus insgesamt 320 Strecken errechnet. Einige charakteristische Werte für Bündelausgleichungen sind in nachfolgender Tabelle zusammengestellt:

- (1) Mittelwert aus 20 Bündelausgleichungen der Jahre
 (2) Befliegung Schalding 1977 1973-1976
 (3) Befliegung Nürnberg-Nord II 1977
 (4) Befliegung Fürth 1979

	(1)	(2)	(3)	(4)
Bildmaßstab 1:	4000	4000	4000	3300
Zahl der Bilder	36	49	35	55
Fläche (ha)	310	660	530	400
Zahl der Neupunkte	700	1350	1200	800
Zahl der Beobachtungen	6000	10600	10800	7000
Zahl der Unbekannten	2300	4400	3800	3000
Redundanz	3700	6200	7000	4000
m.F.d.Beobachtung	$\pm 5,3 \mu\text{m}$	$4,2 \mu\text{m}$	$4,8 \mu\text{m}$	$\pm 5,0 \mu\text{m}$
	= $\pm 2,1 \text{ cm}$	$1,7 \text{ cm}$	$1,9 \text{ cm}$	$\pm 1,7 \text{ cm}$

Die Punktauswertung würde die Verwendung von Bildmaßstäben bis zu 1:6000 gestatten, wenn man eine Koordinatengenauigkeit der ausgeglichenen Punkte von ± 2 cm einhalten will.

Für die Objektauswertung sollten im allgemeinen keine Signalisierungsarbeiten durchgeführt werden müssen. Ausnahmen sind Brückenbauten und unter Umständen Hochspannungsmasten, bei denen die für die Kartierung wesentlichen Punkte im räumlichen Modell oft nicht zu erfassen sind. In allen übrigen Fällen hängt die vollständige und lagerichtige Auswertung nur von der Erkennbarkeit des Objektes im Bild ab. Diese Erkennbarkeit ist aber nur zu verbessern durch Wahl eines großen Bildmaßstabes und durch die Verwendung von Colorumkehrfilm statt Schwarzweißfilm. Der derzeit vertretbare größtmögliche Bildmaßstab liegt bei 1:2000 - 3000; bei unseren eigenen Arbeiten war er im allgemeinen 1:4000. Für künftige Arbeiten seien deshalb zwei unterschiedliche Bildfluganordnungen zur Diskussion gestellt:

- Bildmaßstab 1:4500 (für bayerische Flurkarten 1:4000)
Abstand der Flugstreifen = Flurkartenbreite, die Flugstreifen jeweils in der Mitte der Flurkarten. Querüberdeckung 45 - 55 %.
- Bildmaßstab 1:3000 und 1:6000
Anordnung der Flugstreifen wie oben. Geflogen wird mit zwei Bildkammern.
 - 1.Kammer: Weitwinkelobjektiv, Schwarzweißfilm, Aufnahmen nur in jedem 2.Streifen, allein für Punktauswertung
 - 2.Kammer: Normalwinkelobjektiv, Colorumkehrfilm, für Punkt- und Objektauswertung.

Dies hat den Vorteil, daß für die Objektauswertung der große Maßstab 1:3000 zur Verfügung steht. Die doppelte Überdeckung des gesamten Gebietes und die stärkere Querüberdeckung wird durch die gleichzeitige Ausgleichung der Punktauswertung beider Maßstäbe in einer Bündelausgleichung erreicht. In diesem Fall kann man auch die Befliegung 1:6000 zunächst allein nutzen für eine vorläufige Triangulation oder eine Übersichtskartierung oder einen provisorischen Luftbildplan.

4.4 Punkt- und Objektauswertung:

Die Auswertung wird heute meist getrennt nach Punkt- und Objektauswertung mit Komparatoren und Analoginstrumenten durchgeführt. Wesentlich ist bei der Auswertung die digitale Ausgabe nicht nur für die Punkt-, sondern auch für die Objektauswertung. Ein (Intern-) Zeichentisch zum Sichtbarmachen des ausgewerteten Bildinhalts sollte selbstverständlich sein. Durch mitlaufende Steuerzeichen muß definiert werden, um welche Objektart es sich handelt und inwieweit eine zusätzliche Weiterverarbeitung z.B. bei Gebäuden, Brücken oder Böschungen vorgesehen ist. Die Datenausgabe muß so erfolgen, daß vom Auswertgerät ab ein ungehinderter Datenfluß einsetzt, der erst bei der Abspeicherung der Koordinaten und der Abgabe der fertigen Kartierung endet.

4.5 Bündelausgleichung:

Das Bündelausgleichungsprogramm zur Umrechnung der

zweidimensionalen Bild- in dreidimensionale Geländekoor-
dinaten sollte benutzerfreundlich ausgelegt sein. Es darf
nicht programmeigene, zusätzlich einschränkende Bedin-
gungen über die Reihenfolge der Eingabewerte, Punktnume-
rierung u.ä. stellen. Es sollte gegen eingegebene fehler-
hafte Werte insoweit immun sein, daß es wenn möglich die
Rechnung zu Ende führt und dabei die groben Fehler von
selbst ausscheidet. Es sollte unter normalen Bedingungen
mit wenigen Läufen zu einem endgültigen Ergebnis kommen.
Das Ergebnis der Bündelausgleichung, die Neuberechneten
Koordinaten, sollten ohne größere Manipulation der weite-
ren Datenverarbeitung zur Verfügung stehen.

4.6 Bearbeitung photogrammetrisch ausgewerteter Gebäude:

Zur exakten Kartierung der Gebäude sind im Feld Gebäude-
seitenlängen und Dachüberstände zu messen. Dann sind re-
lativ umständliche Ansätze und Umrechnungen erforderlich,
um rechnerisch von den Dachecken- zu den Gebäudekoordina-
ten zu kommen. Bei dieser Berechnung könnten aber kleine
Fehler der Auswertung, die auf die Schwierigkeit zurück-
zuführen sind, Dachecken im Raummodell genau einzustel-
len, kompensiert werden durch die Zwangsbedingung des
rechtwinkligen Gebäudegrundrisses und der starr anzuhäl-
tenden gemessenen Gebäudeseitenlänge. Versuche mit ein-
fachen Transformationsansätzen sind bereits mit gutem Er-
folg gelaufen. Für die vielfältigen Möglichkeiten, die
allgemein bei Gebäudeeinmessungen angetroffen werden,
sind wesentlich kompliziertere Ansätze notwendig. Das
Ziel dabei ist, daß die photogrammetrische Auswertung,
die terrestrische Messung und der zur Berechnung notwen-
dige Ansatz möglichst einfach gehalten werden können und
trotzdem die tatsächlich vorhandenen Gegebenheiten voll
ihre Berücksichtigung finden. Ganz bewußt soll eine rein
photogrammetrische Gebäudekoordinierung entwickelt wer-
den. Mit einfachen terrestrischen Messungen können nur
straßennahe Gebäude erfaßt werden. Wird aber die Methode
der photogrammetrischen Gebäudekoordinierung entwickelt,
dann ist zu erwarten, daß bei einem Bildmaßstab von

1:3000 - 1:4000 die endgültig errechnete Gebäudeeckkoordinate einen mittleren Fehler von etwa ± 5 cm haben wird. Damit kann z.B. eine Messungslinie, die sich allein auf mehrere solcher Ecken stützt, mit genügender Genauigkeit in das Punktfeld eingepaßt werden.

4.7 Einpassen alter Messungen:

Meist werden in dem Arbeitsgebiet bereits ältere Vermessungen vorliegen. Diese sind, soweit es durch eine Signalisierung ihrer Ausgangspunkte nicht bereits geschehen ist, mit ihren tragenden Punkten auf das neue Feld zu beziehen, damit alle Punkte der alten Messung neu koordiniert werden können. Dabei besteht immer die Gefahr, daß sich alte Fehler oder Fehler einer mehrfachen Wiederherstellung alter Punkte in das neue Punktfeld einschleichen, besonders wenn die alten Messungen zu verschiedenen Zeiten ausgeführt sind. Auch hier sollte, ähnlich wie bei der Gebäudekoordinierung, durch aufwendige Rechenverfahren bei einfachen Ansatzvorschriften dafür gesorgt werden, daß die übernommenen Maßzahlen weitgehend kontrolliert werden. Bei Siedlungsgebieten, die ohne ein Netz von Ausgangspunkten stückweise aufgenommen wurden, kann dieser Arbeitsteil sogar den größten Teil der Gesamtarbeit beanspruchen. Da hierbei die Arbeit vieler Vorgänger wieder aktualisiert und gegenüber einer Neuaufnahme viel Außendienstzeit eingespart wird, lohnt es sich bestimmt, in die Programmierung für diese Arbeit soviel zu investieren, daß das Ergebnis nicht nur "den Rahmen füllt", sondern ein gleichwertiger Teil des Gesamtwerkes wird.

4.8 Kartierung:

Wieweit die Kartierung nur noch eine Redaktion der automatischen Ritzung ist oder ob noch große Teile dazukartiert oder hochgeritzt werden müssen, hängt von dem Grad der Digitalisierung und von der Leistungsfähigkeit der eingesetzten Programme ab. Von der Notwendigkeit, unter Umständen mit Deckfolien zu arbeiten, wurde bereits oben gesprochen. Im übrigen ist die Kartierung einer in diesem Sinn aufbereiteten Arbeit dann kein wesentliches Problem mehr.

5. Abschließend seien noch einige Gedanken zusammengestellt zu dem Verhältnis moderner terrestrischer Meßmittel zur Katasterphotogrammetrie.
- 5.1 Ein Vorteil der Photogrammetrie ist es, daß manche Arbeitsabschnitte fast ohne Fachpersonal (4.2), manche nur mit geringem Personaleinsatz auskommen (4.4 und 4.5), wobei diese Arbeiten in geschlossenen Räumen ausgeführt werden können. Auch die Gebäudeeinmessung ist nach einer photogrammetrischen Auswertung sehr einfach. Man braucht hierfür auf kein Liniennetz oder Punktfeld zurückgreifen. Die photogrammetrisch ausgewerteten Gebäude können über eine Vergrößerung der Stereokartierung oder die Hochzeichnung eines Orthophotos schon vorweg in den Rissen eingetragen werden.
- 5.2 Der Einsatz automatisch registrierender elektronischer Tachymeter erfordert immer einen erhöhten Personaleinsatz und eine genaue Vorplanung. Dafür hat der Außendienstleiter den Arbeitsablauf fest in der Hand. Nachteilig ist, daß die Aufmessung eines jeden Punktes, gleichgültig ob Katasterfestpunkt oder topographischer Punkt, praktisch den gleichen Aufwand erfordert und daß eigentlich jede Aufmessung eigens kontrolliert werden sollte, wenn sich nicht im Lauf der Arbeit anderweitig Kontrollen ergeben.
- 5.3 Für eine wirklich rationelle Lösung großer Vermessungsaufgaben sollten beide Verfahrensweisen zusammen eingesetzt werden. Die Möglichkeiten nicht wahrzunehmen, die Luftbilder heute dem Vermessungsingenieur bieten, halte ich für ebenso falsch wie den Versuch, möglichst viel, koste es was es wolle, nur photogrammetrisch zu bearbeiten. Paßpunktverdichtung sollte selbstverständlich terrestrisch, eine flächenhafte Punktverdichtung ebenso selbstverständlich photogrammetrisch erfolgen. Den Umfang der weiteren terrestrischen Arbeiten einerseits und der notwendigen Objektauswertung andererseits sollte ein Ingenieur festlegen, der über die Möglichkeiten und Grenzen beider Verfahren einen gesicherten Überblick hat.