

Paper-ID: VGI\_197116



## Praktische Methoden der Paßpunktbestimmung für Luftbildauswertungen

Hans Schmid <sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Technische Hochschule Wien, Institut für Landes- und Katastervermessung, 1040 Wien, Karlsplatz 13*

Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen **59** (6), S. 161–173

1971

Bib<sub>T</sub>E<sub>X</sub>:

```
@ARTICLE{Schmid_VGI_197116,  
  Title = {Praktische Methoden der Pa{\ss}punktbestimmung f{"u}r  
    Luftbildauswertungen},  
  Author = {Schmid, Hans},  
  Journal = {{\0}sterreichische Zeitschrift f{"u}r Vermessungswesen},  
  Pages = {161--173},  
  Number = {6},  
  Year = {1971},  
  Volume = {59}  
}
```



# ÖSTERREICHISCHE ZEITSCHRIFT FÜR VERMESSUNGSWESEN

Herausgegeben vom

**Österreichischen Verein für Vermessungswesen**

Offizielles Organ

des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen (Gruppen f. Vermessungswesen),  
der österreichischen Kommission für die Internationale Erdmessung und  
der Österreichischen Gesellschaft für Photogrammetrie

REDAKTION:

emer. o. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. H. Rohrer  
o. Prof. Hofrat Dr. phil., Dr. techn. h. c., Dr.-Ing. E. h. K. Ledersteger und  
Hochschuldozent Hofrat Dipl.-Ing. Dr. techn. Josef Mitter

Nr. 6

Baden bei Wien, Ende Dezember 1971

59. Jg.

---

## **Praktische Methoden der Paßpunktbestimmung für Luftbildauswertungen**

Von *Hans Schmid*, Wien

### 1. *Einleitung*

Die Kosten der Paßpunktmessung bei der Luftbildauswertung sind bekanntlich ein sehr wesentlicher Summand. Es ist daher die Auswahl dieser Punkte bzw. deren Sichtbarmachung im Luftbild ein außerordentlich wichtiger Arbeitsprozeß. Bekanntlich ist die „Grubersche Punktlage“ sowohl für die Relativ- als auch für die Absolutorientierung sehr vorteilhaft, jedoch muß auch die Frage gestellt werden, ob die auszuwertende Streifenbreite und die erforderliche Genauigkeit den mitunter großen Aufwand, den diese Punktlage in besonders gelagerten Fällen erforderlich macht, rechtfertigt. Insbesondere wird man im Gebirge immer wieder Fehlerabschätzungen vornehmen müssen, um die Lage der Paßpunkte auch dort vorsehen zu können, wo sie noch erreichbar sind, wenngleich sie nicht mehr mit der idealen Punktlage übereinstimmen.

Dieser Aufsatz, der sich vor allem an die mit den photogrammetrischen, praktischen Arbeitsmethoden weniger gut vertrauten Kollegen wendet, soll zeigen, welche große Zahl von Möglichkeiten bei der Paßpunktbestimmung bestehen, wenn man alle vorhandenen Vermessungsunterlagen, die bei den Vermessungsstellen des Bundes, der Länder, der Gemeinden, der Elektrizitätsgesellschaften, der Österr. Bundesbahnen usf. aufliegen, sinnvoll verwendet. Es werden hauptsächlich die Verhältnisse bei den großen und mittleren Maßstäben bis etwa 1:10000 behandelt, da dies für österreichische Verhältnisse am wichtigsten ist. Es wird über die Größe und Art des Signalisierungsmaterials und die zu verwendenden Farbanstriche berichtet. Weiters werden die Methoden der Punktbestimmung beschrieben und schließlich

die Möglichkeiten erörtert, die bei der Entnahme von Daten aus bereits vorhandenen Vermessungsoperaten bestehen.

Die wichtigste Frage bei der Bestimmung der Paßpunktkoordinaten und Höhen ist die nach der gewünschten oder besser erforderlichen Genauigkeit. Die Tabelle 2 in [1] gibt auf Grund zahlreicher praktischer Ergebnisse Antwort auf diese Frage. Durch diese Genauigkeitsangaben sind die Meßverfahren im großen und ganzen bereits zwangsläufig bestimmt. Sie umfassen für die Lagebestimmung alle geodätischen Verfahren von der Triangulierung bis zur graphischen Koordinatentnahme und für die Höhenbestimmung vom Nivellement bis zur Entnahme aus topographischen Karten. Wie bei fast allen Genauigkeitsüberlegungen in der Geodäsie gilt auch hier als Grenze die erforderliche und nicht die erzielbare Genauigkeit.

## 2. Die im Luftbild sichtbare Stabilisierung der Paßpunkte

### 2.1 Vermarktungsmaterial

Zur Sichtbarmachung der Bodenpunkte werden meist Hartfaserplatten oder Kunststoffplatten verwendet, die, mit einer hellen Farbschicht versehen, zentrisch über den Bodenpunkten befestigt werden. Der Bodenpunkt ist dauerhaft zu vermarken, da er meistens den nachfolgenden Vermessungsarbeiten als Anbindepunkt dienen soll, damit das photogrammetrische und das geodätische Festpunktsystem einheitlich werden. Insbesondere ist hier an die Absteckungsarbeiten gedacht. Die dauerhafte Vermarktung erfolgt daher durch Stahlrohre, jetzt immer häufiger durch Plastikmarken oder Kunststoffplatten, seltener oder fast nicht mehr durch Steine. Die Befestigung der Hartfaserplatten geschieht durch zentrisches Festnageln auf zwei Holzpflocken, die in der Diagonale der Platte liegen. Mit großem Vorteil werden auch Kunststoffmarken verwendet, die einen mattweißen Farbanstrich haben und auf einen in den Boden zu rammenden Metalldorn aufgesetzt und mittels Feder gehalten werden. Diese Zeichen haben sich sehr gut bewährt, wie der Autor aus eigener Erfahrung berichten kann. Die Größe der quadratischen Flächen ist im wesentlichen eine Funktion des Bildmaßstabes. Es gilt die Formel  $d = \frac{m}{N}$  in cm, wobei  $m$  die Bildmaßstabszahl und  $N$  ein Faktor ist, den Brucklacher mit 650 und O. Hofmann mit 300 angibt [2]. Die Praxis hat gezeigt, daß  $N$  ebenfalls mit dem Bildmaßstab variabel ist. Für große Maßstäbe bis etwa 1:12000 gilt  $N = 300$ , dieser Wert nimmt dann für kleinere Maßstäbe zu, bis er beim Maßstab 1:25000 etwa den Wert  $N = 500$  erreichen soll. Diese Angaben stimmen gut mit Schwidofsky's Werten [5] überein, der eine Signalgröße von 0,05 bis 0,02 mm im Bild fordert. Hier gilt für die großen Maßstäbe der Wert 0,04 mm (bis 1:5000) und ab 1:15000 der Wert 0,02. Praktische Erfahrungen des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen und eigene Erfahrungen haben gezeigt, daß die nachstehenden Faustregeln gute Sichtbarkeit im Luftbild gewährleisten:

Große Maßstäbe bis 1:12000 erfordern eine Signalgröße von  $20 \times 20$  cm<sup>2</sup>.

Große Maßstäbe bis 1:20000 erfordern eine Signalgröße von  $30^2$  bis  $40^2$  cm<sup>2</sup>.

Große Maßstäbe bis 1:30000 erfordern eine Signalgröße von  $50^2$  bis  $60^2$  cm<sup>2</sup>.

Über Farb- und Kontrastwirkungen wurden Versuche unternommen, die in [3] und [4] ihren Niederschlag finden. Als Ergebnis beider Versuchsreihen ergab sich,

daß gelbe und weiße Signalfarben am besten sichtbar sind, wobei Weiß stärker überstrahlt als Gelb. Rot überstrahlt nicht, ist aber weniger gut sichtbar. Neueste Untersuchungen ergaben, daß auch Rosa sehr gut sichtbar ist und wenig überstrahlt. Neben den Kunststoffplatten haben sich auch emaillierte Blechscheiben sehr gut bewährt. Den besten Kontrast liefern die Farben gelb auf heliogenblauem Untergrund. Es empfiehlt sich daher bei hellem Untergrund die gelbe Signaltafel mit einem heliogenblauen, etwa 10 bis 20 cm breiten, Farbrand zu umgeben. Weiters ergab sich, daß Grenzsteine ohne Markierung unsichtbar bleiben. Im Stadtgebiet wird es meist genügen, zentrisch um den Paßpunkt (Gasrohr, Nagel) ein gelbes oder weißes Farbquadrat auf den Boden aufzubringen, wobei allerdings unbedingt der Kontrastkranz vorzusehen ist.

## 2.2 Auswahl der Punktorte

Wir wollen die beiden signifikantesten Beispiele, nämlich den Flächen- oder Blockflug und den Streifenflug in unseren Betrachtungen behandeln.

### 2.2.1 Streifenflug

Hier wird es sich meist um die Erstellung einer Projektgrundlage für einen Linienbau (Straße, Eisenbahn, Autobahn, Fluß) handeln.

Die in Tabelle 2 von [1] angegebenen Werte sollen hier kurz wiederholt werden:

Maßstäbe	Punktgenauigkeit in Meter	
	Lage	Höhe
1:500	0,03	0,03—0,04
1:1000	0,03	0,05—0,06
1:2000	0,05—0,06	0,05—0,11
1:5000	0,11—0,15	0,12—0,27
1:10000	0,23—0,30	0,23—0,53

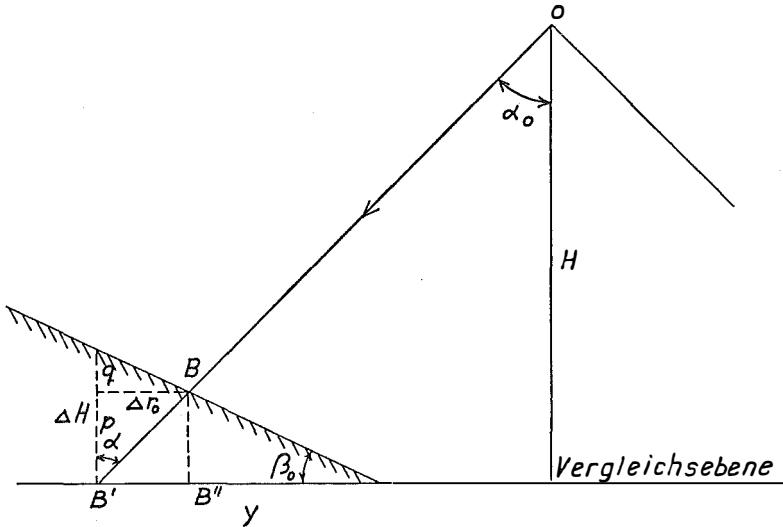
Diese Zahlen veranschaulichen, daß für die Maßstäbe 1:500 bis 1:2000 zwecks ausreichender Punktidentifikation eine Signalisierung vor dem Bildflug vorgenommen werden muß. Für die Maßstäbe 1:5000 und kleiner ist die Verwendung von natürlichen im Luftbild erkennbaren Punkten ausreichend. Es kann sich jedoch auch bei diesen Maßstäben als notwendig erweisen, zusätzlich Punkte vor dem Bildflug zu signalisieren, wenn es die Bodenbeschaffenheit erfordert. Dies wird in Gebirgsregionen, Steppen- und Wüstengebieten, Seen- und Gletschergebieten oft der Fall sein. Für die Durchführung einer Befliegung zum Zwecke der Herstellung eines Lage- und Höhenplanes von 1:1000 bis 1:2000 erfordert das Versetzen der Paßpunkte die ausgearbeitete Flugplanung, welche auf der ÖK 1:50000 durchgeführt wird. Ist ein generelles Projekt vorhanden, so daß Planunterlagen etwa 1:5000 greifbar sind, überträgt man sie vorteilhaft in dieses Operat.

Bei der Auswahl der Punktorte hat man nun eine Reihe von Zwangsbedingungen zu beachten, und zwar:

a) Die Höhenunterschiede im Modell, die Flughöhe (Basislänge) und die Längs- und Querüberdeckung.

b) Den Bodenbewuchs bzw. die Höhe von Objekten, den Verbauungsgrad und die verwendete Aufnahmekammer.

zu a) Bekanntlich bewirken Höhenunterschiede im Gelände eine radiale Versetzung der Abbildung des Geländepunktes im Bezug auf das gedachte Bild seines Grundrisses, bezogen auf eine Vergleichsebene, etwa die Horizontalebene durch den absolut tiefsten Geländepunkt. Diese radiale Versetzung ist leicht zu bestimmen, so daß man in Gebirgstälern sofort den tatsächlichen Aufnahme- bzw. Überdeckungsbereich bestimmen kann. Die Geländeneigung und den Höhenunterschied  $\Delta H$  entnimmt man der Flugplanungsgrundlage, woraus sich  $\Delta r$  für jede Grundrißrichtung des Aufnahmestrahles bestimmen läßt. Für  $\tan \alpha$  variieren die Werte je nach der



$$\Delta H = p + q = \frac{\Delta r}{\tan \alpha_0} + \frac{\Delta r}{\cot \beta_0}$$

$$\Delta r = y \frac{\tan \alpha_0}{\cot \beta_0 + \tan \alpha_0}$$

$$\Delta r = y \cdot \frac{1}{1 + \frac{y}{\Delta H}}$$

für  $\alpha_0 = 50^\circ$

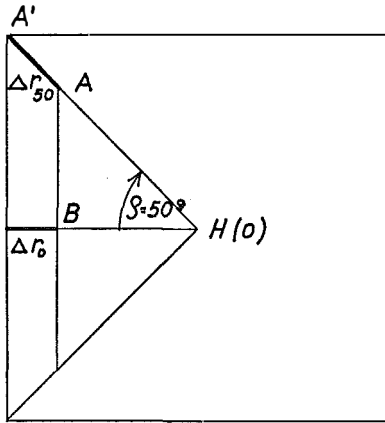


Abb 1

Größe von  $\rho$  von  $1 \times Q$  bis  $Q \times \sqrt{2}$ , wobei  $Q$  der Quotient aus halbem Bildformat durch Brennweite bedeutet. Bei großen Höhenunterschieden  $\Delta H$  sind diese Änderungen des Öffnungswinkels zu berücksichtigen. Die Geländeneigung ist, wie Abb. 1 zeigt, in Richtung des Radialstrahles (Grundriß des Aufnahmestrahles) zu bestimmen. In Abb. 2 wird die tatsächlich stereoskopisch überdeckte Fläche im Falle eines

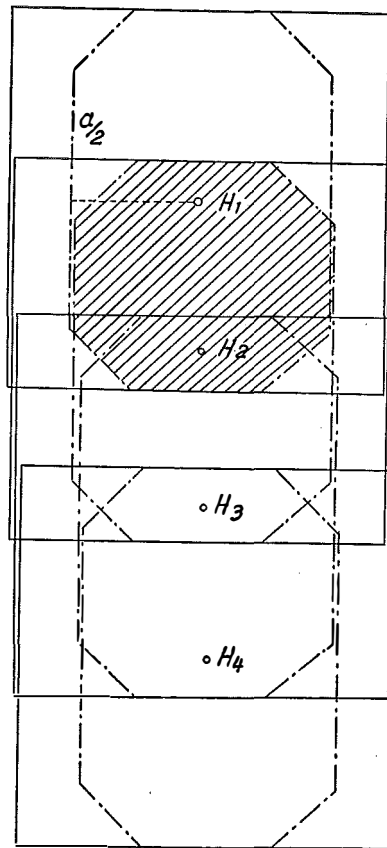
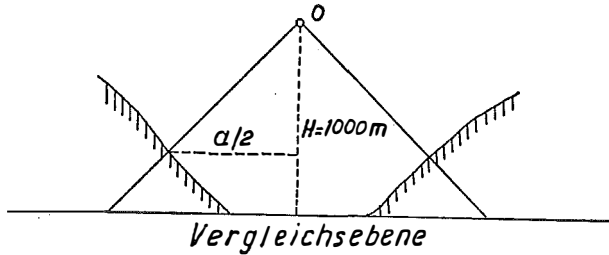


Abb. 2

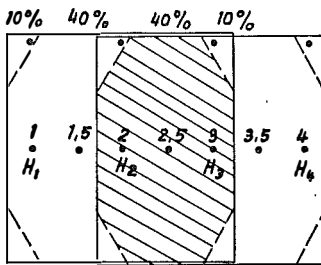
U-Tales dargestellt. Die Flughöhe beträgt 1000 m über der Talsohle und die Hänge hätten eine Neigung von 100% ( $\cot \beta = 1$ ) und  $\Delta H = 60\% H$ , (Verhältnisse, wie sie in unseren Alpentälern häufig vorkommen). Aus Abb. 2 sieht man erstens, daß es unbedingt notwendig ist, vor dem Auslegen der Punktsignale die Konstruktion

der tatsächlich stereoskopisch gedeckten Fläche durchzuführen und daß zweitens in dem zur Flugrichtung senkrechten Vertikalschnitt durch die Hauptpunkte die Randpaßpunkte *nicht* vorzusehen sind, da diese Räume nur einfach gedeckt sind.

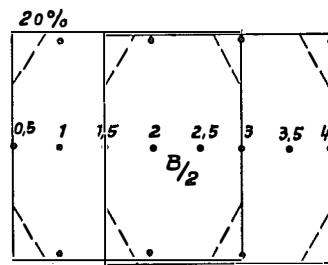
Man hat also in den Vertikalebene  $x_i = \frac{B}{2} + iB$  ( $i = 0, 1, 2, 3, \dots$ ) die Randpunkte vorzusehen, wobei dazu die navigatorisch sehr schwer zu erfüllende Zwangsbedingung der Hauptpunktzentrierung kommt.

Das Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen lehnt es i. a. ab, Aufträge für sogenannte Punktflüge zu übernehmen, weil dies namentlich im Gebirge außerordentlich schwierig ist. Man kann dieser Schwierigkeit begegnen, wenn man nun in jeder Vertikalebene  $x = i \cdot \frac{B}{2}$  einen Paßpunkt im Grundriß der Flugachse vorzusehen, wobei diese Paßpunkte in einem entsprechenden Abstand vom herzustellenden Objekt vorzusehen sind, damit sie später für die Absteckung verwendet werden können. Es ist daher der Abstand von  $\frac{B}{2}$  durchaus nicht zu klein, vielmehr wird man sogar häufig einen Polygonzug vorsehen, wobei die Polygonpunkte für den Bildflug sichtbar gemacht werden. Über die Vermessung eines derartigen Zuges wird im nächsten Abschnitt berichtet.

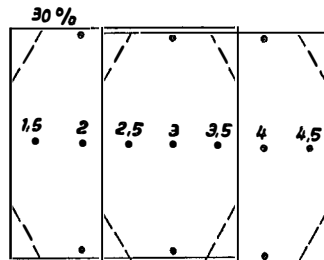
Für den Aufnahmefall von Abb. 2 beträgt  $\frac{B}{2}$  20% von  $6667 \times 23:100$  in Metern, d. s. rund 300 m, so daß man hier noch 2 bis 3 Polygonpunkte dazwischenschalten wird. An den Modellrändern hat man die Paßpunkte im entsprechend reduzierten  $y$ -Abstand, wie er sich aus der Konstruktion oder Berechnung für  $\Delta r$  ergibt, ab-



0% Verschiebung  
Abb 3a



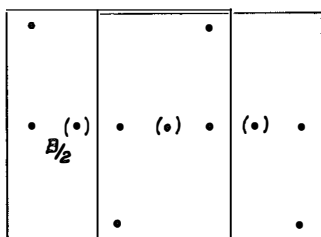
10% Verschiebung  
Abb 3b



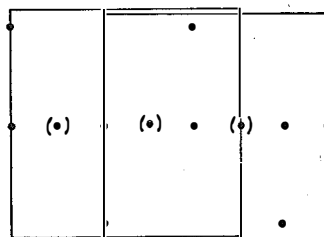
20% Verschiebung  
Abb 3c

wechselnd im Vertikalschnitt  $x = \frac{B}{2} \cdot i$ , am oberen bzw. am unteren Bildrand usf. vorzusehen. Diese Situierung im Gelände liefert bei einem Minimum an signalisierten Punkten ein Optimum an Orientierungssicherheit für den Maßstab und die Längsneigung  $\varphi$ . Zur besseren Bestimmung der Querneigung werden im folgenden Abschnitt noch zusätzliche Möglichkeiten angegeben. Wie die folgenden Abbildungen 3 a, b, c zeigen, erhält man minimal 4 Paßpunkte je Modell. Sollte unglücklicherweise der Fall c) eintreten, d. h. ein Paßpunkt der Hauptpunktreihe an oder sehr in die Nähe des Bildrandes fallen, so könnten unter Umständen nur 2 Paßpunkte im Modell abgebildet werden, wenn die Randpunkte durch die topographische Konfiguration bedingt nur einfach gedeckt sind. In diesem Fall ist noch der eine oder andere Randpaßpunkt zusätzlich vorzusehen. Man sieht daraus, daß gerade im Gebirge die topographischen Vorstudien sehr wichtig und notwendig sind und man nichts dem Zufall überlassen darf, soll die Genauigkeit der Auswertung erhalten bleiben.

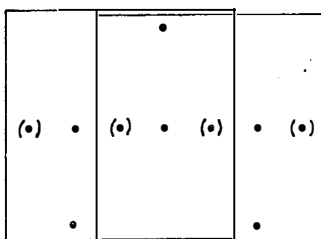
Im ebenen Gelände wird man die Randpunkte nur im Abstand  $x_i = B \cdot i$  abwechselnd am oberen und unteren Modellrand vorsehen müssen, wie dies die Abbildungen 4a, b, c veranschaulichen. Hier ergeben sich im Maximum 5 und im Minimum 3 Paßpunkte, da man in der Flugachse immer die Abstände  $\frac{B}{2}$  vorsehen wird.



0% Verschiebung  
4 (5) Paßpunkte  
Abb 4a



10% Verschiebung  
2 (3) Paßpunkte  
Abb 4b



20% Verschiebung  
2 (4) Paßpunkte  
Abb 4c

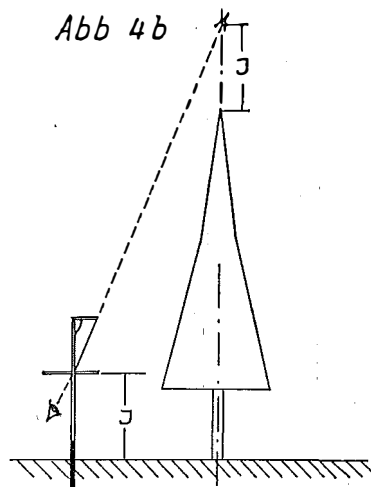


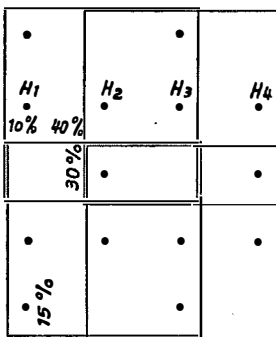
Abb 5



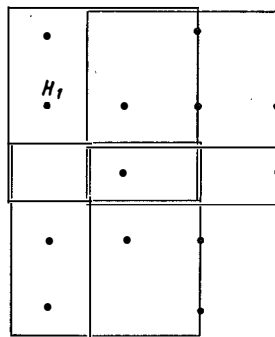
zu b) Der Bodenbewuchs und der Baumbestand bzw. die Art der Verbauung bilden einen weiteren Zwang bei der Auswahl der Paßpunktorte. Im geschlossenen Waldgebiet ergibt sich i. a. nur die Möglichkeit, Signaltafeln auf Baumwipfeln vorzusehen. Sowohl die Anbringung wie auch die Einmessung ist sehr zeitraubend. Man wird daher jede Waldlichtung als Paßpunktort unbedingt ausnützen. Hier erfordert nicht der gewünschte Kartenmaßstab das Auslegen der Paßpunkte vor der Befliegung, sondern lediglich der Mangel an natürlichen Paßpunkten überhaupt. Insbesondere bei der Erstellung von Grundlagen für Forsteinrichtungen wird dieses Problem auftreten. Will man auf einer Waldlichtung Paßpunkte auslegen, so hat man neben der Baumhöhe auch den maximalen Öffnungswinkel der Aufnahmekammer zu beachten. Es gilt  $\frac{1}{2}\alpha_{\max} = \zeta_{\max}$ , wobei man unter  $\zeta_{\max}$  die maximale Zenitdistanz zu verstehen hat, unter der ein Aufnahmestrahle in das Gelände einfallen kann. Es ist daher zweckmäßig für die Punktauswahl im Gelände ein einfaches Hilfsgerät zu verwenden, das aus 2 Holzstäben und einem Stück Draht besteht, welche, wie Abb. 5 zeigt,  $\zeta_{\max}$  darstellen. Die Senkrechtstellung erfolgt durch eine Stabwaage und die ganze Einrichtung ist drehbar auf einem Holzbrettchen anzubringen. Stellt man nun die „optische Achse“ senkrecht, so zeigt die Parallele zum Visurstrahl an, ob eine Abbildung wegen der Baumhöhe erfolgen kann oder nicht. Natürlich hat die Flugplanung dafür zu sorgen, daß diese so wichtige Waldlichtung im stereoskopisch gedeckten Raum liegt. Um die „Instrumentenhöhe“  $I$  muß der Visierstrahl über die höchsten Baumwipfel hinweggehen.

### 2.2.2. Flächen- oder Blockflug

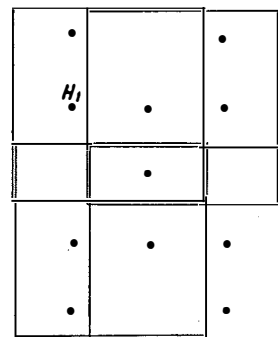
Hier hat man besonders darauf zu achten, daß die Randpunkte in zwei benachbarten Bildstreifen verwendet werden können. In Fällen, wo die Sichtbarkeit der Randpunkte in beiden Streifen fraglich wird, empfiehlt es sich daher, sogenannte Zwillingspunkte zu setzen, da die Einmessung des „Zwillings“ sehr einfach durchzuführen ist. Diese Fälle können durch Höhenunterschiede im Modell, durch Verbauungsformen oder durch den Bodenbewuchs eintreten. Im verbauten Gebiet gibt es meist eine große Anzahl von natürlichen Paßpunkten, die durchaus den Genauigkeitsansprüchen einer großmaßstäblichen Auswertung genügen [2]. Wenn zusätz-



0% Verschiebung  
Abb. 6 a



10% Verschiebung  
Abb. 6 b



20% Verschiebung  
Abb. 6 c

liche Punkte signalisiert werden müssen, so empfiehlt es sich meist, die im Punkt 2.1 bereits beschriebene Kontrastmarkierung anzuwenden. Das Minimum an Punkten im ebenen oder fast ebenen Gebiet ist durch die Abbildung 6 dargestellt. Hier erhält man je Modell 4, im Minimum nur 2 Paßpunkte. Bei einem Bildmaßstab 1:4000 und dem Format  $23 \times 23$  beträgt die Basis 370 m. Ein 10%iger Versetzungsfehler betrüge also 90 m d. s. 2 mm in der Ö. K. 1:50000. Ein derartig kleiner Orientierungsfehler ist durchaus im Bereich der Möglichkeiten. Auch der seitliche Versetzungsfehler darf im Maximum nur 10% des Bildformates in der Natur betragen, sollen die Randpaßpunkte in beiden Bildstreifen in den noch günstigen Auswertezonen abgebildet werden.

### 2.2.3 *Folgerungen*

Wie bereits angedeutet, soll man im Randbereich von 10% des Bildformates i. a. nicht mehr auswerten und daher noch weniger Paßpunkte in dieser Zone vorsehen. Es folgt daraus, daß es angezeigt erschiene, der Flugzeugbesatzung Orientierungshilfen, besonders zur Vermeidung der seitlichen Versetzung, zu geben, die darin bestehen könnten, an den Enden der Flugstreifen eine Reihe von aus der Luft leicht erkennbaren Punkten in der Verlängerung der Hauptpunktreihen anzuordnen. Der Versetzung in der Flugrichtung begegnet man einfach dadurch, daß man eine Überdotierung mit Signalen vornimmt, und nach erfolgtem Bildflug die Auswahl der einzumessenden Paßpunkte durchführt. Es muß von Fall zu Fall die Wirtschaftlichkeit überprüft werden. In schwierigem Gelände wird das Auslegen von Orientierungspunkten vorzuziehen sein.

Weiters sind vor der Befliegung unbedingt alle im Aufnahmegelände liegenden Triangulierungs-, Polygon- und Einschaltpunkte zu signalisieren, da sie eine sehr wertvolle Ergänzung des Paßpunktbestandes liefern. Auch die Signalisierung von Nivellementpunkten hat sich stets sehr gut bewährt. Es muß vorweggenommen werden, daß auch bei einer Minimaldotierung mit Lagepunkten immer noch zusätzlich Höhenpunkte nach erfolgtem Bildflug auf Grund der Kontaktabzüge eingemessen werden sollen. Diese Bestimmung ist leichter als die Lagebestimmung und liefert eine sehr gute Stützung für die absolute Orientierung. Eine praktische Grundregel ist daher, die Anzahl der Lagepunkte möglichst auf das Minimum zu reduzieren, dafür jedoch Höhenpunkte zur Kontrolle in größerer Zahl vorzusehen, da sie bekanntlich auch zur Maßstabkontrolle verwendbar sind. Drei Lagepunkte je Modell sind das Maximum einer wirtschaftlichen Arbeit. Höhenpunkte sollen über das ganze Modell zusätzlich verteilt sein. Sollen bestimmte Punkte, etwa Anbindepunkte von vorhandenen und einzuarbeitenden Operaten, Koordinaten erhalten, so wird man jene auch signalisieren. Eine unentbehrliche Hilfe für den Auswerter ist die Anfertigung von Topographien der signalisierten Punkte, wobei zu beachten ist, daß sie so darzustellen sind, wie sie im Luftbild abgebildet werden, d. h. daß nur Details darzustellen sind, die im Luftbild noch aufgelöst werden können. Entfernungsangaben sind in Metereinheiten zu machen, da z. B. im Bildmaßstab 1:4000 einem Meter eine Strecke von 0,25 mm entspricht.

### 3. Paßpunktbestimmung

#### 3.1 Vermessungsmethoden

##### 3.1.1 Triangulierung und Polygonisierung

Im allgemeinen werden die trigonometrischen und polygonometrischen Methoden angewendet. Bei der Punkteinschaltung auf trigonometrischem Wege erübrigt sich die strenge Ausgleichung immer. Die Bildung des arithmetischen Mittels bzw. in besonderen Fällen die graphische Ausgleichung liefern ausreichend genaue Ergebnisse. Bei der Polygonzugmessung werden die Wellenmeßgeräte mit Vorteil eingesetzt. Die Genauigkeit sowohl der lichtoptischen, als auch der elektromagnetischen Geräte ist völlig ausreichend, wenn bei der Winkelmessung mit Zwangszentrierung gearbeitet wird. Damit die Seitenlängen möglichst groß werden, hat es sich in der Praxis als vorteilhaft erwiesen, etwa im Hauptpunktspolygon nur jeden zweiten oder gar dritten signalisierten Punkt als Polygonpunkt zu verwenden und die dazwischen liegenden kontrolliert einzubinden. Die Ergebnisse der Berechnung derartiger Feinpolygonzüge zeigen, daß die Genauigkeit der Punktlage die gleiche ist wie bei den Triangulierungsmethoden [6]. Die seitlichen Paßpunkte werden einfach als Polarpunkte angehängt und durch Richtungsmessungen oder Streckenmessungen kontrolliert.

##### 3.1.2 Kombinierte Methode

Häufig ergibt sich der Fall, daß nur ein schmaler Geländestreifen auszuwerten und darzustellen ist. Dies wird bei der Schaffung von Projektgrundlagen für den Linienbau eintreten. Für die Absolutorientierung ist dann die Bestimmung der Querneigung nicht in aller Strenge vonnöten. Man bedient sich daher gerne einer Iterationsmethode: in der Normalprojektion der Flugachse auf die Geländeoberfläche wird ein Polygonzug luftsichtbar signalisiert. Nach erfolgtem Bildflug wird anläßlich der Polygonzugmessung die Zenitdistanz von seitlich gelegenen, mit den Kontaktabzügen in der Natur gut identifizierbaren Gelände- oder Objektpunkten miteingemessen. Die Seitpunkte sind so auszuwählen, daß die Verbindungsstrecke Polygonpunkt—Seitpunkt in einem Stereomodell liegt. Man kann dann bei der Absolutorientierung die Länge dieser Strecke sofort graphisch entnehmen. Ist dies aus gegebenen topographischen Umständen nicht möglich, so muß man bei der Absolutorientierung die Strecke aus Koordinaten berechnen, wobei die Seitpunktkoordinaten graphisch entnommen werden müssen. Aus den Ergebnissen der Polygonberechnung (Lage und Höhe) leitet man die Werte für den Maßstab, die Verkantung und die Längsneigung  $\Phi$  ab. Mit diesen Daten beginnt man die absolute Orientierung. Für die Querneigung wird ein beliebiger Wert angenommen oder aber ein vorläufiger sich aus Hilfsgeräten (Libellenstand) ergebender Betrag eingedreht. Jetzt wird der Seitpunkt mit der Raummarke und eingekuppeltem Kartiergerät erfaßt und der Punkt markiert. Die Distanz Polygonpunkt—Seitpunkt wird abgegriffen oder wie bereits beschrieben berechnet. Die Streckenlänge wird mit dem  $\cot$  der Zenitdistanz multipliziert und man erhält so den Höhenunterschied von Polygonpunkt—Seitpunkt. Die Differenz Instrumentenhöhe—Zielhöhe ist additiv anzubringen. Korrekturen wegen Refraktion und Erdkrümmung sind meist zu vernach-

lässigen, da sie bei einer Distanz von 300 m nur rund 1 cm betragen. Diese sich so ergebende absolute Höhe des Seitpunktes wird nun mit der sich aus dem Auswertegerät ergebenden, abgelesenen Höhe verglichen. Diese Differenz  $\delta H$  gestattet eine erste Berechnung der allgemeinen Querneigung  $\Omega$ . Nach Eindrehen dieses Betrages am Gerät wird der Vorgang solange wiederholt, bis sich keine Seitenänderung mehr ergibt. Meist wird dies ohne Wiederholung des Vorganges der Fall sein, d. h. die erste Bestimmung liefert bereits das Endergebnis. Aus Abbildung 7 liest man die Gleichung für die Längenänderung  $\Delta s$  wegen  $\Omega$  und die Gleichung für die Berechnung von  $\Omega$  aus der Höhendifferenz  $\delta H$  ab. Man sieht, daß die Seitenänderung nur

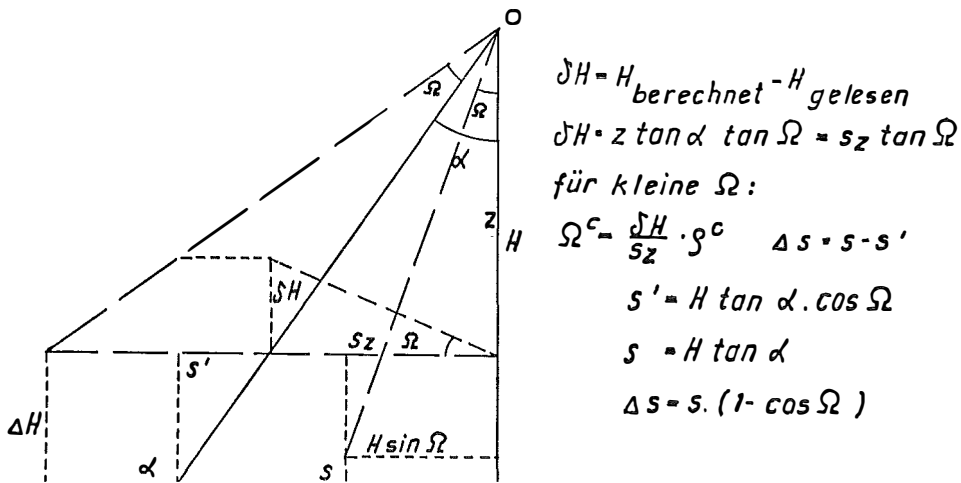


Abb 7

sehr gering ist. Die Spalte 2 der Tabelle 1 gibt die Verkürzung bei wachsendem  $\Omega$  an. Unter der Annahme eines Abstandes von 500 m wird die Seite bei einer Querneigungsänderung von  $5^\circ$  nur um 1,54 m kürzer. Flughöhe und Öffnungswinkel haben keinerlei Einfluß auf die Verkürzung der Strecke. Die Spalten 3 bis 7 der Tabelle 1 zeigen die Änderungen der Höhenunterschiede als Folge der Seitenverkürzung (Gl. 2), wir bezeichnen sie als Sekundäränderungen.

Man könnte nun diese Sekundäränderungen vor der endgültigen Bestimmung der Querneigung  $\Omega$  aus einer Tabelle ähnlich der Tabelle 1 für verschiedene Seitenlängen und Zenitdistanzen entnehmen. Die Praxis zeigt jedoch, daß diese Änderungen ohne wesentlichen Einfluß aus bereits erläuterten Gründen bleiben. Häufig wird es auch möglich sein Höhen aus bereits vorhandenen Operaten zu entnehmen, so daß sich die Paßpunktbestimmung auf die Polygonzugsmessung und dessen Berechnung beschränkt. Besonders in ebenem Gelände wird diese Methode rasch zum Ziel führen. In besonders gelagerten Fällen kann man für eine reine Lageauswertung sogar Höhen aus topographischen Karten entnehmen, wenn die entsprechenden Punkte einwandfrei zu identifizieren sind und dies auch bei großen Maßstäben wie etwa 1:1000! Eine Variation dieser Methode besteht darin, daß man das erste Modell mit Paßpunkten voll dotiert und für das Anschlußmodell Höhenpunkte photogrammetrisch setzt. Aus den Zenitdistanzen und den graphisch entnommenen Strecken

ergeben sich wieder Absoluthöhen, die eine durchgreifende Kontrolle der Absolutorientierung gestatten.

Tabelle 1

$$s = H \tan \alpha = 500 \quad \Delta(\Delta H) = \Delta s \tan \alpha$$

$\Omega$	$\Delta sm$	Änderung von $\Delta H$ wegen $\Delta s$ für $\alpha$ von:				
		10 <sup>c</sup>	1 <sup>g</sup>	10 <sup>g</sup>	20 <sup>g</sup>	50 <sup>g</sup>
10 <sup>c</sup>	0	—	—	—	—	—
50 <sup>c</sup>	0,02	—	—	—	0,01	0,02
1 <sup>g</sup>	0,06	—	—	0,01	0,02	0,06
5 <sup>g</sup>	1,54	—	0,02	0,24	0,50	1,54

### 3.1.3 Photogrammetrische Methoden

Es ist festzuhalten, daß sich die photogrammetrische Paßpunktbestimmung i. a. nicht für großmaßstäbliche Auswertungen eignet. Für Planmaßstäbe 1:5000 und kleiner kann jedoch diese Methode sehr wirtschaftlich sein. Aus einem vorhandenen, mit Paßpunkten ausreichend dotierten Bildflug werden Punkte ausgewählt, die im auszuwertenden Bildflug eindeutig identifizierbar sind. Für diese Punkte werden Koordinaten und Höhen photogrammetrisch bestimmt und bilden in ihrer Gesamtheit die Paßpunkte des neuen Bildfluges. Gerade in Österreich tritt dieser Fall häufig auf, da für das gesamte Bundesgebiet Ö. K.-Flüge vorhanden sind, die sich für die Herstellung von Planunterlagen 1:5000 gerade noch eignen. Eine kombiniert photogrammetrische Methode ist auch das Überbrücken von wenigen Modellen durch Setzen von Randpunkten, wie dies bereits in einem anderen Zusammenhang geschildert wurde. In diesem Fall ist jedoch unter allen Umständen für terrestrisch bestimmte Kontrollpaßpunkte zu sorgen, um das „Bridgen“ kontrollieren zu können. Die Summe der Triangulierungspunkte und der Nivellementpunkte mit ihren Topographien bilden eine wertvolle Ergänzung, da häufig ihre Lage im Modell recht gut festlegbar ist. Hier handelt es sich um *nicht* luftsichtbar gemachte Festpunkte.

### 3.2 Entnahme aus Operaten

Wir stellten eingangs fest, daß diese Art der Paßpunktbestimmung nur für Operate geringer Genauigkeitsanforderung und damit kleinem Maßstab, also 1:10000 und kleiner, geeignet ist. Die Summe der zu verwendenden Operate besteht aus:  
 der Katastermappe,  
 der Österr. Karte 1:50000,  
 der Summe der Triangulierungs-, Polygon- und Einschaltpunkte,  
 der Summe der Punkte des Technischen und des Präzisionsnivellements und schließlich  
 aller vorhandenen sonstigen Planunterlagen in geeignetem Maßstab.

Wir haben festzustellen, woher erstens die lagemäßige Festlegung und damit der Maßstab gewonnen werden soll und wie zweitens der Höhenanschluß vorzunehmen ist. Es sind daher meist zwei voneinander unabhängige Operategruppen zu

verwenden. Die Lage kann etwa aus der Katastermappe gefunden werden, wobei idente Paßpunkte oder besser „Paßfelder,, in den geforderten Planmaßstab übertragen werden. Dies geschieht je nach Größe der Aufgabe auf photographischem oder zeichnerischem Wege. In diese Unterlage sind nun ausreichend Höhenpunkte einzutragen, die aus der Ö. K., den Trig.-Operaten und den Nivellementsoperaten entnommen werden können. Hierbei leisten Punktstopographien und Grundstücksverzeichnisse wertvolle Unterstützung. Vorhandene Planunterlagen, wie Projektgrundlagen in Form von Lage- und Schichtplänen, können für die Modellorientierung wertvolle Hilfe bedeuten. Es lohnt und empfiehlt sich eventuell auch, zu Identifizierungszwecken mit Plan und Luftbild eine Geländerekognosizierung anzusetzen, da man dadurch die kostspielige Paßpunktmessung z. T. reduzieren kann. Hierher gehört auch die barometrische Höhenbestimmung an gut identifizierbaren Geländepunkten.

#### 4. *Schlußfolgerungen*

Die Fülle der aufgezeigten Möglichkeiten der Paßpunktbestimmung läßt es unbedingt geraten erscheinen, vor Beginn der einschlägigen Arbeiten eine möglichst sorgfältige „Grundlagenerhebung“ vorzunehmen. Aus der Fülle dieses Materials und aus der notwendigen Genauigkeit des Ergebnisses ist die Methode der Paßpunktbestimmung abzuleiten. Meist wird eine Kombination der mannigfachen Möglichkeiten die wirtschaftlichste Lösung der Aufgabe bringen. Der mit Paßpunktbestimmungen beschäftigte Vermessungsingenieur sollte vor Inangriffnahme der Arbeiten unbedingt und in jedem Fall mit dem photogrammetrisch Versierten Kontakt aufnehmen, da die Bestimmung der Paßpunkte und ihre Verwendung im Orientierungsvorgang zwei eng „korrelierte“ Vorgänge sind.

#### Literatur

- [1] *Schmid u. Stickler*: Über die Genauigkeit der Paßpunktmessung... ÖZfV 1968, S. 104ff.
- [2] *Hirn, Stickler, Waldhäusl*: Zur Signalisierung in Stadtgebieten, ÖZfV 1966, S. 158ff.
- [3] *Hlawaty u. Stickler*: Signalisierungsversuch, Photogrammetria 1955—56, S. 236ff.
- [4] *Schwedefsky u. Kellner*: Beiträge zur Punktsignalisierung... Bildm. u. Luftb. 37. Jahrg., S. 97ff.
- [5] *Schwedefsky*: Grundriß der Photogrammetrie, Teubner-Verl., Stuttgart 1963, 6. Aufl., S. 331.
- [6] *Hörmannsdorfer*: Der Geodimeteereinsatz... ÖZfV 1969, S. 74ff.

## Messung von Vertikalgradienten im kleinen Vermessungsbereich

Von *Bruno Bauer*, Innsbruck

#### Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wird eine der Möglichkeiten aufgezeigt, im sehr begrenzten Vermessungsbereich mit einem modernen Gravimeter selbst feine Strukturen im Untergrund zu erfassen. Die Genauigkeit eines heutigen astasierten Schweremessers gestattet es, Horizontal- und Vertikalgradienten zu messen, wobei die Meßstationen nicht mehr als 1,5 bis 2 m voneinander entfernt sind. Die voraus berechneten Werte für ein bestimmtes Massendefizit konnten durch Messungen selbst bestätigt werden.