



Studie über die Bestimmung der äußeren Orientierung von Luftbildern mittels Hilfsaufnahmen der Sonne und des Mondes

Josef Krames ¹

¹ *korrespondierendes Mitglied der Österr. Akademie der Wissenschaften*

Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen **39** (1, 2), S. 5–10, 45–51

1951

Bib_TE_X:

```
@ARTICLE{Krames_VGI_195102,  
  Title = {Studie {\u}ber die Bestimmung der {\a}{\ss}eren Orientierung von  
    Luftbildern mittels Hilfsaufnahmen der Sonne und des Mondes},  
  Author = {Krames, Josef},  
  Journal = {{\0}sterreichische Zeitschrift f{\u}r Vermessungswesen},  
  Pages = {5--10, 45--51},  
  Number = {1, 2},  
  Year = {1951},  
  Volume = {39}  
}
```



Studie über die Bestimmung der äußeren Orientierung von Luftbildern mittels Hilfsaufnahmen der Sonne und des Mondes

Von Josef K r a m e s, Wien, korrespondierendes Mitglied der Österr. Akademie
der Wissenschaften

(Veröffentlichung des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen)

Nr. 1. *Vorbemerkungen.* Wer den Verlauf des 6. Internationalen Kongresses für Photogrammetrie (Den Haag, 1. bis 10. September 1948) aufmerksam verfolgte, konnte sich des Eindruckes nicht erwehren, daß die Luftphotogrammetrie an einem toten Punkt angelangt war. Jedenfalls kam bei den Aussprachen immer wieder zum Ausdruck, daß sowohl bei der gegenseitigen Orientierung eines Luftbildpaares wie besonders auch bei der Aerotriangulierung ohne Festpunkte die wünschenswerte *Genauigkeit noch nicht erreicht wird*. Die Tatsache, daß die endgültige Einpassung zweier Luftaufnahmen umso unsicherer wird, je kleiner die jeweils wegzuschaffenden Restparallelen geworden sind, war bereits bekannt¹⁾ und fand durch den kurz vorher vom Verfasser aufgedeckten einfachen Zusammenhang zwischen den Orientierungsbewegungen der beiden Bündel und gewissen „gefährlichen Raumgebieten“ eine überaus anschauliche geometrische Erklärung²⁾. Damit war zugleich die *Erhöhung der Orientierungsgenauigkeit* als ein wichtiges, jedoch noch offenes Problem gekennzeichnet.

Diese Sachlage spiegelte sich während des Kongresses recht deutlich wieder, einerseits in mehreren Vorschlägen, die eine (an gewisse Grenzen gebundene) *Genauigkeitssteigerung* zum Ziele hatten³⁾, andererseits aber auch in dem neuaufgelebten Interesse für die Hilfsaufnahmen der Sonne und des Horizontes, mit denen schon viel früher die Verbesserung der gegenseitigen Orientierung angebahnt wurde. Solche Aufnahmen wurden bekanntlich, durch örtliche Verhältnisse begünstigt, in dem einen Fall besonders in Italien, im anderen Fall in Finnland in die Praxis eingeführt⁴⁾. Darüber hinaus besteht kein Zweifel darüber, daß die *Landesaufnahme*

¹⁾ Siehe W. K. B a c h m a n n, Théorie des erreurs de l'orientation relative, Thèse, Lausanne 1943, p. 7 und 42 f., sowie H. K a s p e r, Zur Fehlertheorie der gegenseitigen Orientierung, Schweiz. Zeitschr. f. Verm. u. Kulturtechn. 45 (1947), S. 121—126.

²⁾ Siehe u. a. J. K r a m e s, Die Bedeutung der „gefährlichen Raumgebiete“ für das optisch-mechanische Orientieren von Luftaufnahmen, Photograph. Korr. 84 (1948), S. 41—50, Nr. 3.

³⁾ Vgl. hierzu u. a. G. P o i v i l l i e r s, Formation de l'image plastique dans les appareils de restitution, Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences, Paris, 226 (1948), p. 1770—1772, p. 1938—1941. — M. Z e l l e r, Das günstigste Verfahren der gegenseitigen Orientierung, Mitteilungen aus dem geod. Inst. der Eidg. Techn. Hochsch., Zürich 1948; sowie J. K r a m e s, Genauigkeitssteigerung der gegenseitigen Einpassung von Luftaufnahmen auf Grund noch nicht beachteter Bedingungsgleichungen zwischen den Orientierungsgrößen, Österr. Zeitschr. f. Verm. 36 (1948), S. 25—45, 56—61.

⁴⁾ Siehe E. S a n t o n i, Triangulation aérienne solaire, Rapport au VI^e Congrès International de Photogrammétrie, La Haye, Septembre 1948, bzw. A. R a i n e s a l o. — K. G. L ö f s t r ö m, Report of the Finnish Society of Photogrammetry 1938—1948, Helsinki, 1948, p. 1—8. — Die Verwendung von Sonnenaufnahmen für die Zwecke der Luftphotogrammetrie hat als Erster S. F i n s t e r w a l d e r bereits im Jahre 1916 vorgeschlagen.

im Wege der Luftphotogrammetrie noch durchgreifende Fortschritte erzielen wird, wenn es einmal gelingt, die äußere Orientierung jeder einzelnen Luftaufnahme unmittelbar mit zweckdienlicher Genauigkeit zu bestimmen. Der störende Einfluß der erwähnten „gefährlichen Raumgebiete“ wäre dann ebenso leicht auszuschalten wie die oft recht fatalen Genauigkeitssprünge der Aerotriangulierung. Aber auch im Interesse einer wünschenswerten Vereinfachung der Auswertverfahren und -instrumente kann wohl gesagt werden, daß die Bestimmung der äußeren Orientierung als ein *Kernproblem der Luftphotogrammetrie* anzusehen ist⁵⁾. Mit seiner Lösung wäre zugleich die eingangs erwähnte Schwierigkeit überwunden.

Bei den bisherigen Lösungsversuchen dieser Aufgabe wurde fast immer nur eine feste Raumrichtung in die Aufnahmestrahlbündel einbezogen, wie dies bei den genannten Hilfsaufnahmen der Sonne, im wesentlichen aber auch bei den Horizontaufnahmen der Fall ist. Für den gleichen Zweck hat man ferner die Verwendung eines im Flugzeug angebrachten *Kreisels* in Betracht gezogen und in dieser Richtung neuerdings sehr eingehende Untersuchungen in Angriff genommen⁶⁾. Auch hier handelt es sich um die Festlegung einer bekannten Raumrichtung innerhalb des mit der Aufnahme verbundenen Zielstrahlbündels.

Im Gegensatz zu allen diesen Teillösungen des Kernproblems soll hier ein *neues Prinzip* beschrieben werden, bei dem sogleich die vollständige *äußere Orientierung jeder Luftaufnahme gegen das Lot und die Nord-Südrichtung* gefunden wird, und zwar mittels *zweier fester Raumrichtungen*. Zur Festlegung solcher Richtungen bedienen wir uns dabei *je zweier Hilfsaufnahmen der Sonne und des Mondes*, die immer *gleichzeitig mit jeder Geländeaufnahme* hergestellt werden, eine davon *im Flugzeug*, die andere *von der Erde aus*⁷⁾. Solche Aufnahmen setzen selbstverständlich eine günstige astronomische und meteorologische Situation voraus. Daß Mondaufnahmen für photogrammetrische Zwecke bisher nicht in Erwägung gezogen wurden, ist wohl auf die besonderen Schwierigkeiten zurückzuführen, die mit der Berechnung der Mondkoordinaten verbunden sind. Für den vorliegenden Zweck gelingt es jedoch, mittels des Kunstgriffes, *die Gestirne auch von der Erde aus aufzunehmen*, alle derartigen Zwischenrechnungen zu umgehen. Ferner läßt sich die Anwendbarkeit des Prinzips auch auf den allgemeinen Fall ausdehnen, bei dem zwischen dem Flugzeug und dem Aufnahmeort auf der Erde eine beliebige Entfernung angenommen ist. Dieses verallgemeinerte Verfahren ermög-

⁵⁾ Vgl. auch die Schlußbemerkungen in J. K r a m e s, Untersuchungen über „gefährliche Flächen“ und „gefährliche Räume“ mittels des Aeroprojektors „Multiplex“, Österr. Ing. Archiv, 2 (1948), S. 123—132.

⁶⁾ Dies wurde während des Kongresses bloß gesprächsweise mitgeteilt; in den Vorträgen und Diskussionen kam dieses Thema nicht zur Erörterung. Dagegen waren in der mit dem Kongreß verbundenen Ausstellung einige Bilder von der beim französischen Service de Cadastre verwendeten Kreisellapparat zu sehen.

⁷⁾ Dieser Vorgang wurde erstmalig in der Patentanmeldung: J. K r a m e s, „Verfahren und Gerät zur Rekonstruktion der Erdoberfläche mittels Aufnahmen aus der Luft“ beschrieben, die am 17. Juli 1940 vom ehemaligen Reichspatentamt in Berlin unter Aktenzeichen K 158 140 IXb/42 c in Behandlung genommen wurde. — Die prinzipielle Bedeutung der Aufnahmen zweier Gestirne für die Bestimmung der äußeren Orientierung wurde bereits von R. F i n s t e r w a l d e r, Photogrammetrie, Berlin 1939, S. 180, kurz erwähnt.

licht auch dann noch eine (wenigstens angenäherte) Bestimmung der äußeren Orientierung, wenn anstelle des Mondes ein anderer Zielpunkt (Berggipfel, Ballon) von beiden Standpunkten aus aufgenommen werden kann. Es ist nur noch die Verwertbarkeit für die Praxis zu untersuchen.

Vor der näheren Erklärung der Grundgedanken sind einige vorbereitende Überlegungen am Platze.

Nr. 2. *Über Gestirnaufnahmen.* In der Geometrie bezeichnet man als Fernpunkte die fiktiven unendlichfernen Punkte des Raumes, von welchen jeder einer bestimmten Raumrichtung zugeordnet ist⁸⁾. Einen solchen Fernpunkt kann man sich angenähert durch einen Fixstern veranschaulichen. Wir werfen nun die Frage auf: *Unter welchen Voraussetzungen können zwei Geraden oder Richtungen des Raumes vom Standpunkt der Photogrammetrie als untereinander parallel angesehen werden?* Dies ist offenbar gleichbedeutend mit der Frage nach dem größten Winkel zwischen zwei photographischen Aufnahmestrahlen, deren Bildpunkte auf der Platte nicht mehr unterscheidbar sind. Wir nehmen die Meßgenauigkeit auf den in der Photogrammetrie üblichen Bildschichten mit 0.02 mm an, obschon heute bereits kleinere Werte erreicht werden. Setzt man eine Brennweite von 200 mm voraus, so bedeutet dies, daß der fragliche Winkel (je nach der Lage der Bildpunkte auf der Platte) zwischen rund $46''$ und $64''$ (d. s. $15''$, bzw. $21''$) liegt⁹⁾. Die Kleinstwerte gelten für die äußersten Ecken des Gesichtsfeldes und für radiale Lage der beiden benachbarten Punkte. Wird von diesen extremen Stellungen abgesehen, so können wir kurz sagen: *Zwei Zielstrahlen, die einen Winkel von weniger als $50''$ ($16''$) miteinander bilden, sind praktisch zusammengefallen.* Diese Genauigkeitsgrenze der photographischen Bildstrahlen ist für das Folgende von grundlegender Wichtigkeit. Wir wollen in diesem Zusammenhang kurz von „*photographischer*“ Genauigkeit sprechen, insbesondere von „*photographisch*“ gleichen Winkeln usw.

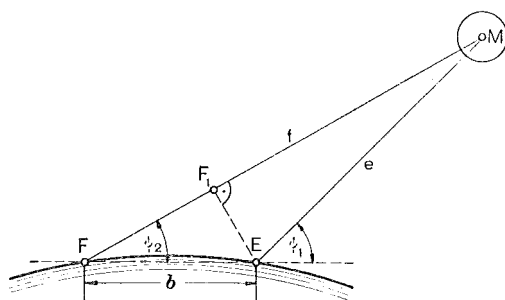


Abb. 1

Bei der Aufnahme eines Gestirnpunktes, z. B. des Mondmittelpunktes M , aus zwei Zentren E und F_1 sind die von E und F_1 nach M zielenden Strahlen e und f nur dann (im soeben erklärten Sinne) „*photographisch*“ parallel ($\sphericalangle ef < 50''$),

⁸⁾ Siehe etwa J. K r a m e s, *Darstellende und Kinematische Geometrie für Maschinenbauer*, Wien 1947, Nr. 3.

⁹⁾ Bei Verwendung kurz Brennweitiger Weitwinkelobjektive erhöhen sich obige Werte um entsprechende Beträge. — Vgl. auch R. F i n s t e r w a l d e r, a. a. O., S. 133.

wenn die Entfernung b_1 zwischen \mathbf{E} und \mathbf{F}_1 eine gewisse Grenze nicht überschreitet. Wird vorerst angenommen, daß \mathbf{e} und \mathbf{f} zur Strecke $\mathbf{E F}_1$ annähernd normal sind (Abb. 1), so erhält man aus den bekannten Entfernungen der Gestirne von der Erde die in nachstehender Tabelle angegebenen Maximalentfernungen b_1 , b_2 zwischen \mathbf{E} und \mathbf{F}_1 :

	Mond	Venus	Mars	Sonne
Entfernung von der Erde:	363.310 bis 405.530 <i>km</i>	38 bis 258 Millionen <i>km</i>	54 bis 397 Millionen <i>km</i>	146 bis 151 Millionen <i>km</i>
b_1	28 <i>km</i>	3600 <i>km</i>	6000 <i>km</i>	ein Vielfaches des Erddurchmessers
b_2	31 <i>km</i>	ein Vielfaches des Erddurchmessers		

Dabei gehören b_1 und b_2 zu jenen Stellungen der Gestirne, bei denen diese von der Erde ihre kleinste, bzw. größte Entfernung haben. Bilden ferner die Strahlen \mathbf{e} und \mathbf{f} mit der Basis $\mathbf{E F}$ die Winkel $\psi_1 \approx \psi_2 \approx \psi$ (s. Abb. 1), dann ergeben sich die Maximalentfernungen

$$b \approx b_1 : \sin \psi \quad \text{bzw.} \quad b \approx b_2 : \sin \psi. \quad (1)$$

Wenn wir nun voraussetzen, daß die aufgenommenen Gestirne wenigstens rund 25° über dem Horizont stehen, dann kann ψ nur bis auf diesen Betrag absinken, wobei die Länge b z. B. für den Mond bis auf etwa 70 *km* ansteigen könnte. Aus obiger Aufstellung ist zu entnehmen, daß zwei Standpunkte \mathbf{E} und \mathbf{F} , in welchen die Zielstrahlen \mathbf{e} und \mathbf{f} „photographisch“ parallel sein sollen, nur beim Mond einer beachtlichen Beschränkung unterworfen sind. Hingegen wäre bereits bei der Venus die (für größte Erdnähe geltende) Basislänge $b_1 = 3600$ *km* für alle späteren Betrachtungen völlig ausreichend. Es ist indessen noch die Frage, ob dieses Gestirn bei Tag neben der Sonne überhaupt in Momentaufnahmen festgehalten werden kann. Da dies trotz der seit einigen Jahren erzielten Empfindlichkeitssteigerung unseres Negativmaterials (bis zu 400%)¹⁰⁾ derzeit noch keineswegs sichergestellt ist, beschränken wir uns im folgenden auf das Studium der durch Sonnen- und Mondaufnahmen gegebenen Orientierungsmöglichkeiten.

Zu diesem Zweck untersuchen wir ferner, unter welchen Bedingungen die scheinbaren Durchmesser $\delta^{\mathbf{E}}$ und $\delta^{\mathbf{F}}$ des Mondes, wie sie zu gleicher Zeit in zwei verschiedenen Standpunkten \mathbf{E} und \mathbf{F} zu beobachten sind, „photographisch“ genau übereinstimmen. Da der Halbmesser des Mondes $r = 1736.6$ *km* und der größte Erdradius $R = 6377.4$ *km* beträgt, kann die kleinste Entfernung eines irdischen Beobachtungspunktes \mathbf{E} von der Mondmitte \mathbf{M} mit rund 356.930 *km* angenommen werden. Demnach ist

$$\delta^{\mathbf{E}} = 2 \arcsin \frac{1736.6}{356.930} = 61' 94'' (33' 27''). \quad (2)$$

¹⁰⁾ Siehe V. Oberguggenberger, Untersuchungen zum Problem der Übersensibilisierung photographischer Emulsionen mit Quecksilberdampf, Sitzungsber. d. österr. Akad. d. Wissensch., math.-nat., II a, 155 (1946), S. 45–61, wo auch weitere Literatur zu finden ist

Soll im anderen Standpunkt **F**, der von **M** um x km weiter entfernt sei als **E**, der scheinbare Durchmesser um $50''$ ($16''$) weniger, also

$$\delta^F = 2 \arcsin \frac{1736.6}{356.930 + x} = 61'44'' (33'11'') \quad (3)$$

betragen, so ergibt sich für x rund 2900 km. In dem angenommenen Fall, wo **E** dem Mond am nächsten liegt (Abb. 2), überdecken somit alle Standpunkte **F**, in denen der scheinbare Durchmesser des Mondes mit dem in **E** „photographisch“ übereinstimmt, nahezu ein Viertel $\frac{1}{4}$ der Erdoberfläche. Man entnimmt daraus, daß **E** und **F** beim Mond mindestens 6000 km voneinander entfernt sein können. Für andere Lagen von **E** und **M** ist der Spielraum $\frac{1}{4}$ für **F** noch beträchtlich größer. Da derartige Entfernungen für unsere Überlegungen nicht in Frage kommen, können wir somit feststellen, daß der Mond in jedem Augenblick in den beiden Standpunkten **E** und **F** „photographisch“ genau denselben Durchmesser darbietet. Gleiches gilt selbstverständlich auch für alle anderen Gestirne, insbesondere für die Sonne.

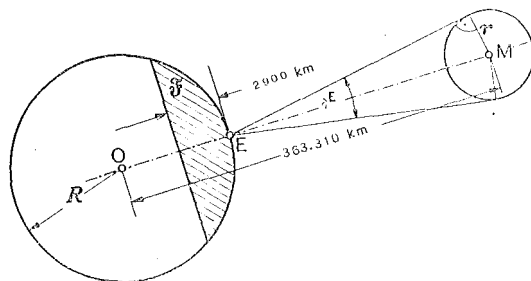


Abb. 2

Nr. 3. Flugzeugortung mittels Funkeinrichtungen. Zur Bestimmung des Standortes eines unterwegs befindlichen Vermessungsflugzeuges eignet sich vor allem die *Funkmessung* und die *Funkepeilung*, z. B. mittels *Radargeräten*. Wie ebenfalls am Haager Kongreß ausführlich berichtet wurde¹¹⁾, sind diese Verfahren heute schon so weit entwickelt, daß der Flugzeugort bei einer Entfernung von einigen hundert Kilometern bis auf einen mittleren Fehler von 30 bis 60 m genau festgestellt werden kann. Bei einer umfangreichen Versuchsreihe betrug der Maximalfehler (in einem einzigen Fall) 300 m. Betrachten wir die Erdoberfläche der Einfachheit halber vorerst als Kugel, so haben zwei Standpunkte **E** und **F**, in denen die Kugelnormalen \mathbf{n}^E , bzw. \mathbf{n}^F um $50''$ ($16''$) voneinander abweichen (vgl. Nr. 2), eine Entfernung von 500 m. Für umfangreichere Aufnahmegebiete hat man jedoch die Lote normal zum Erdellipsoid anzunehmen. Wie leicht zu bestätigen ist, haben sodann zwei Punkte **E** und **F**, deren Lote miteinander $50''$ einschließen — je nach der Lage dieser Punkte auf der Erdoberfläche —, eine Entfernung von rund 497 bis 503 m.

¹¹⁾ Siehe die dem Kongreß vorgelegten Schriften zu den Vorträgen der Commission I: J. A. E d e n, Survey operation with Radar equipment, p. 6, 8, 10, sowie J. Th. V e r s t e l l e, Lecture on Decca, I: Elementary principle of Decca, II: Practical survey-applications of Decca and accuracy from operational trials.

Man erkennt daraus, daß die Genauigkeit der Funkrichtung bereits wesentlich über jener liegt, die im Hinblick auf die „photographische“ Genauigkeit der Lotstrahlen erforderlich wäre. Danach kann die Lotrichtung \mathbf{I}^F des jeweiligen Flugzeugstandortes F in jedem beliebigen Erdstandpunkt E zumindestens mit „photographischer“ Genauigkeit eingestellt werden. Hingegen ist die mittels Funkpeilung bestimmte Richtung von E nach F nach Obigem bloß auf etwa $1'$ bis $2'$ genau gegeben.

Wir denken uns nun die zu einem Standpunkt F gehörige Lotrichtung \mathbf{I}^F in das Zielstrahlbündel einer Aufnahme einbezogen, die von einem anderen Standpunkt E aus hergestellt wird (s. Abb. 3). Zu diesem Zweck kann der Nadirpunkt L^E , d. i. der Fluchtpunkt von \mathbf{I}^F auf der zu E gehörigen Bildebene Π^E , beispielsweise durch Markenpaare angegeben werden. Ferner soll die Richtung der Erdachse \mathbf{a} etwa durch den auf Π^E gelegenen Bildpunkt A^E des einen Himmelspoles festgelegt sein (Abb. 3). Legt man durch den Standpunkt F die zur Erdachse und

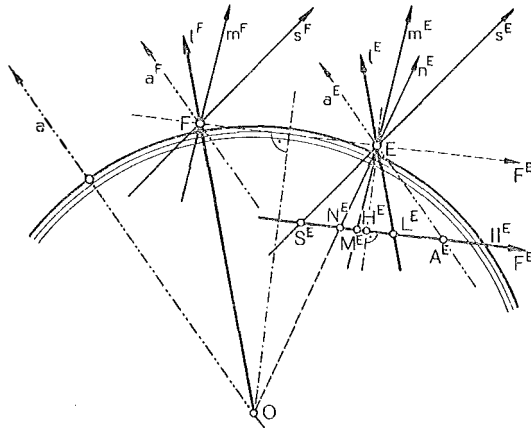


Abb. 3

zur Lotrichtung \mathbf{I}^F parallele Ebene, so enthält diese bereits den durch F gehenden Meridian und bestimmt daher die in F vorhandene Nord-Südrichtung. Die Erdachsenrichtung kann nach bekannten Methoden der Geodäsie ebenfalls überall mit weitans höherer als „photographischer“ Genauigkeit eingestellt werden.

Nach diesen Vorbereitungen kann das in Rede stehende Prinzip wie folgt leicht klargemacht werden. (Schluß folgt.)

Die flächentreue Meridianstreifenabbildung des Rotationsellipsoids in die Ebene im Vergleiche mit der flächentreuen querachsigen Zylinderabwicklung

Von F. H a u e r, Wien

I

Aus jeder Abbildungsart der Kugeloberfläche in die Ebene lassen sich unendlich viele andere ableiten, wenn an Stelle der Erdpole in der Abbildung zwei diametrale, aber sonst beliebig ausgewählte Punkte der Kugeloberfläche als Haupt-

Nun erkennt man aber leicht, daß man bei der sukzessiven Aufsummierung der Höhenunterschiede die Multiplikation mit dem Cosinus des Zwischenwinkels unterdrücken darf. Selbst bei einem so großen Zwischenwinkel wie 1^0 weicht der \cos erst um 0.0002 von der Einheit ab. Nimmt man noch an, daß die Höhenunterschiede bereits auf 10 mm angewachsen sind, so beträgt der Fehler bei der folgenden Seite erst 2 mm, liegt also weit innerhalb der Abschlußfehler der einzelnen Dreiecke.

Die jeweilige Verschiebung unserer Referenzfläche entlang der Flächennormalen im gerade erreichten Endpunkt des Polygonzuges ist ein reines Gedankenexperiment, um den Voraussetzungen der Formel (14) oder (15) gerecht zu werden. Die Höhen (16) beziehen sich demnach einheitlich auf jene Lage des Referenzellipsoides, für die $h_A = 0$. Denken wir uns aber nachträglich das Ellipsoid so verschoben, daß sein Mittelpunkt mit dem Erdschwerpunkt zusammenfällt, so kann prinzipiell eine größere Ausgangshöhe h_A auftreten, und die bisherigen Höhen (16) gehen über in:

$$h_K \rightarrow h_K + h_A \cos (AK). \quad (17)$$

(Schluß folgt)

Studie über die Bestimmung der äußeren Orientierung von Luftbildern mittels Hilfsaufnahmen der Sonne und des Mondes

Von Josef K r a m e s, Wien, korrespondierendes Mitglied der Österr. Akademie
der Wissenschaften

(Veröffentlichung des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen)

(Schluß)

Nr. 4. *Die äußere Orientierung einer Luftaufnahme.* Wir betrachten vorerst zwei Himmelsaufnahmen, die im gleichen Augenblick von einem Flugzeug **F** und von einem festen Erdstandpunkt **E** aus hergestellt werden. Greift man aus den zugehörigen Zielstrahlbündeln die zu bestimmten Raumrichtungen parallelen Strahlen heraus, so bilden die so mittels Parallelität einander zugeordneten (gerichteten) Strahlenpaare zwei untereinander *kongruente Bündelfiguren*. Diese können durch eine reine *Parallelverschiebung* zur Deckung gebracht werden. Bringt man nun das Bündel (**F**) der Flugzeugaufnahme in irgend eine andere Lage (wie dies dem Vorgang bei der Auswertung von Luftbildern entspricht), so kann man das Bündel (**E**) der zweiten Aufnahme immer so bewegen, daß zwei seiner Strahlen mit ihren entsprechenden, d. h. ursprünglich parallelen Strahlen von (**E**) (auch der Zielrichtung nach) zur Deckung kommen. *Bei diesem Vorgang fällt jeder Strahl mit seinem entsprechenden zusammen, kurz gesagt, die beiden Bündelfiguren vereinigen sich.* Wir betrachten nun insbesondere die zur Erdachse **a** und zur Lotrichtung im Flugzeugstandpunkt **F** parallelen Bündelstrahlen **a^F**, **a^E** und **l^F**, **l^E** (s. Abb. 3). Sind in beiden Bündeln die zu zwei weiteren Raumrichtungen parallelen Zielstrahlen **s^E**, **m^E**, bzw. **s^F**, **m^F** bekannt und bringt man **s^E** mit **s^F** und zugleich **m^E** mit **m^F** zur Deckung, so fallen nach Obigem auch die Strahlen der Paare **l^E**, **l^F** und **a^E**, **a^F**

zusammen. Damit eröffnet sich die Möglichkeit, die Lotrichtung \mathbf{l}^F und die Richtung \mathbf{a} der Erdachse aus dem Zielstrahlbündel (\mathbf{E}) in das der Flugzeugaufnahme zu übertragen. Hiefür ist nur erforderlich, daß in beiden Aufnahmebündeln durch die Bildpaare zweier Gestirnpunkte zwei Paare „photographisch“ paralleler Zielstrahlen $\mathbf{s}^E, \mathbf{s}^F$ und $\mathbf{m}^E, \mathbf{m}^F$ vorhanden sind. Daraus ergibt sich folgende, im Grunde genommen einfache Bestimmung der äußeren Orientierung einer Luftaufnahme des Geländes:

1) Gleichzeitig mit jeder Geländeaufnahme werden sowohl im Flugzeug \mathbf{F} wie auch in einer festen Erdstation \mathbf{E} die Sonne und der Mond (oder zwei andere Gestirne), zum Beispiel mittels eines Weitwinkelobjektives von extrem großem Öffnungswinkel¹²⁾ aufgenommen. Dabei wird zunächst vorausgesetzt, daß die Entfernung zwischen \mathbf{E} und \mathbf{F} die in Nr. 2 angegebene Maximallänge b (beim Mond rund 30, höchstens 70 km) nicht überschreitet.

2) In die Stationsaufnahme werden die Richtungen der Erdachse \mathbf{a} und des Lotes \mathbf{l}^F im Flugzeugstandpunkt \mathbf{F} (letztere auf Grund einer Funkortung während des Bildfluges, s. Nr. 3) etwa mit Hilfe von Markenpaaren einbezogen.

3) Durch Vereinigen der zum Sonnen- und Mondmriß gehörigen Zielstrahlkegel Σ^E, Λ^E der Stationsaufnahme mit den entsprechenden Kegeln Σ^F, Λ^F der Luftaufnahme werden die Richtungen der Erdachse \mathbf{a} und des Lotes \mathbf{l}^F aus der Stationsaufnahme in die Luftaufnahme übertragen.

Damit ist die äußere vollständige Orientierung der Geländeaufnahme gegen das Lot und die Nord-Südrichtung bestimmt (vgl. Nr. 3). Hiezu sei im einzelnen noch folgendes bemerkt:

Zu 1): Die Gleichzeitigkeit der Aufnahmen wird durch eine Funkverbindung zwischen Flugzeug und Erdstation leicht gewährleistet. Die im Flugzeug verwendete Gestirnkammer muß mit der Geländekammer derart gekoppelt sein, daß die Zielstrahlbündel dieser beiden Aufnahmen genau zur Deckung gebracht werden können. Die Frage, ob Sonne und Mond zweckmäßig mittels getrennter Kammern, verschiedener Filter usw. aufzunehmen sind, wird hier nicht näher behandelt.

Zu 2): Da die äußere Orientierung der Stationsaufnahme ein für allemal bekannt ist, kann das Einstellen der Lotrichtung \mathbf{l}^F usw. auch nach dem Bildflug (beim Auswerten) erfolgen.

Zu 3): Die Kegel Σ^E, Σ^F , bzw. Λ^E, Λ^F haben immer „photographisch“ gleiche Öffnungswinkel, wenn die Entfernung zwischen \mathbf{E} und \mathbf{F} die am Schluß von Nr. 2 angegebenen beträchtlichen Grenzen (6000 km) nicht überschreitet.

Durch die gleichzeitig mit der Luftaufnahme hergestellte Stationsaufnahme der Gestirne erübrigt sich die Registrierung der genauen Aufnahmezeit jeder einzelnen Aufnahme und vor allem jede darauf gegründete *unständige Berechnung des Standortes der Sonne und des Mondes*. Darin ist ein beachtenswerter Vorzug der beschriebenen Operationen zu erblicken¹³⁾, besonders wenn man noch bedenkt, daß sich die

¹²⁾ Ein Objektiv von dieser Art ist das um 1940 bei Zeiss in Jena entwickelte „P l c o n“, siehe O. S. R e a d i n g - J. J. D e e g, Report of Commission I to the sixth international Photogrammetry Congress and Exhibition, The Hague, Sept. 1948, p. 31—36, Fig. 21—24.

¹³⁾ Denn die Photogrammetrie ist ja (nach K. S c h w i d e f s k y, Einführung in die Luft- und Erdbildmessung, Leipzig und Berlin 1939, S. III) „d i e K u n s t, R e c h n u n g e n z u v e r m e i d e n“.

Gestirne bis zu rund 15 Bogensekunden (46 Neusekunden) in der Sekunde fortbewegen. Demgegenüber ist z. B. bei Verwendung des „*Sonnenperiskopes*“ von E. Santoni¹⁴⁾ für jede einzelne Luftaufnahme des Geländes ein *sphärisches Dreieck zu berechnen*, das durch den genauen Zeitpunkt der Aufnahme und die geographischen Koordinaten des Flugzeugstandpunktes bestimmt ist. Dabei bleibt aber für die Ermittlung der äußeren Orientierung gegen das Lot und die Nord-Südrichtung immer noch ein Bestimmungsstück unbekannt.

Nr. 5. *Verallgemeinerung für beliebige Lage der Erdstation.* Die praktische Anwendung des angegebenen Verfahrens wäre besonders beim Überbrücken größerer festpunktloser Räume einschneidend behindert, wenn die in Nr. 2 erwähnte Beschränkung für die Entfernung zwischen Flugzeug **F** und Erdstation **E** unbedingt einzuhalten wäre. Theoretisch ließe sich damit zwar das Auslangen finden, weil man ja eine geeignet ausgerüstete (fahrbar) Erdstation **E** in die erforderliche Lage zum Aufnahmegebiet bringen könnte. Aus verschiedenen naheliegenden Gründen ist jedoch ein fester Aufnahmestandpunkt **E** in beliebiger Entfernung vom Gelände (z. B. bei einer Wetterstation auf einem Berggipfel) weitaus vorzuziehen.

Wir können nun zeigen, daß die Bilder des Mondes auch dann noch im wesentlichen ebenso wie bereits erläutert verwertbar sind, wenn diese Entfernung **E F** selbst bis an die (am Schluß von Nr. 2 vermerkte) Grenze von 6000 km heranreicht. Wir bezeichnen zu diesem Zweck die von **E** und **F** aus zum Sonnen- und Mondmittelpunkt zielenden Strahlen mit s^E , m^E , bzw. s^F , m^F und setzen jetzt voraus, daß die Basisstrecke **E F** die Maximallänge b (s. Tabelle und Gl. 1) überschreitet. Danach sind die Winkel

$$\varphi = \sphericalangle s^E m^E \quad \text{und} \quad \mu = \sphericalangle s^F m^F$$

nicht mehr „*photographisch*“ gleich. Da ferner die Richtung von **E** nach **F** einigermaßen genau bekannt ist (Nr. 3), läßt sich auch das (geometrisch bestimmte) Bild F^E des Standpunktes **F** auf der Bildebene Π^E der Stationsaufnahme angeben. F^E fällt z. B. in einen Fernpunkt von Π^E , wenn **E** und **F** sich annähernd auf gleicher Meereshöhe befinden¹⁴⁾ und überdies die Aufnahmekammer in **E** so aufgestellt wurde, daß die Nadirpunkt N^E und L^E auf Π^E zum Hauptpunkt H^E symmetrisch liegen (siehe Abb. 3). *Wir suchen nun zuerst innerhalb des Zielstrahlbündels (**E**) jenen Strahl m^x , der in der Aufnahmelage zum Zielstrahl m^F des Bündels (**F**) „*photographisch*“ parallel war.* m^x liegt innerhalb der Verbindungsebene α von m^E mit F^E (oder **F**), die für die beiden Gestirnaufnahmen aus **E** und **F** zugleich als *Kernebene* gelten kann. Überdies schließt m^x mit s^E einen mit $\mu = \sphericalangle m^F s^F$ „*photographisch*“ gleichen Winkel ein. Mithin ergibt sich der Schnittpunkt M^x von m^x mit Π^E sehr einfach mittels des Drehkegels Δ , der seinen Scheitel im Zentrum **E**, seine Achse im Zielstrahl s^E und den Öffnungswinkel 2μ hat. Die Spurkurve zweiter Ordnung **c** von Δ auf Π^E schneidet die Spur **k** von α auf Π^E , d. i. die Verbindungsgerade von M^E mit dem Fernpunkt F^E , im gesuchten Punkt M^x (s. Abb. 4). Da die Winkel φ und μ (sogar für $E F = 6000$ km) höchstens um rund 1' verschieden sind, *liegt M^x stets so nahe an M^E , daß eine Verwechslung mit dem zweiten Schnittpunkt von **c** und **k***

¹⁴⁾ Dies böte auch den Vorteil, daß sich die Refraktion der Erdatmosphäre auf die beiden in **E** und **F** hergestellten Gestirnbilder ungefähr gleich auswirken würde.

nicht zu befürchten ist. Wohl aber kann die Lösung ungenau werden, nämlich sobald \mathbf{c} und \mathbf{k} einander berühren, d. h. sobald sowohl \mathbf{s}^E wie auch \mathbf{m}^E auf die Verbindungsgerade der Aufnahmezentren \mathbf{E} und \mathbf{F} (annähernd) normal stehen.

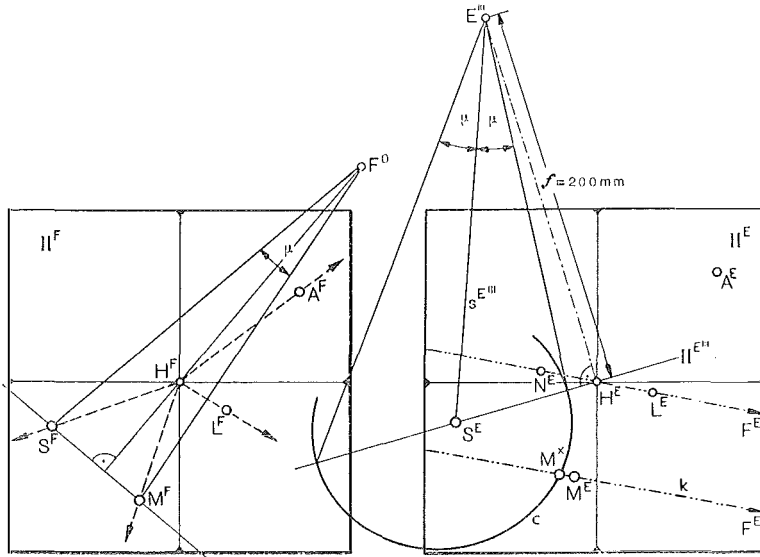


Abb. 4

Der so gewonnene Punkt \mathbf{M}^x wird auch erhalten, wenn man sich den Mond vom Standpunkt \mathbf{F} aus derart zentrisch ähnlich verändert (gestreckt) denkt, daß sein Durchmesser und sein Erdbstand etwa hundertfach vergrößert werden. (Im selben Verhältnis erhöht sich sodann auch die in Nr. 2 angegebene Maximalentfernung zwischen \mathbf{E} und \mathbf{F}). Bei dieser räumlichen Transformation bleibt der dem Mond aus dem Punkt \mathbf{F} umschriebene Kegel Λ^F und daher auch das Mondbild auf der Plattenebene Π^F völlig ungeändert. Hingegen erfährt das Bild des Mondes auf Π^E hauptsächlich eine kleine Verschiebung in der Richtung $\mathbf{M}^E \rightarrow \mathbf{F}^E$. Wie man sich mittels Gl. (3) leicht überzeugt, hat aber der dem transformierten Mond aus \mathbf{E} umschriebene Kegel Λ^x immer noch denselben Öffnungswinkel wie Λ^E und Λ^F .

Da die Punkte \mathbf{M}^E und \mathbf{M}^x auch im äußersten Fall nur wenige Millimeter voneinander entfernt sind, hat ein Richtungsfehler der Geraden \mathbf{k} im angegebenen Ausmaß von 1' bis 2' (Nr. 3) auf die „photographische“ Genauigkeit der Bestimmung des Punktes \mathbf{M}^x keinerlei Einfluß. Übrigens könnte der Fehler von \mathbf{k} noch beträchtlich größer sein. Wird nun der Zielstrahl \mathbf{m}^E durch den mit \mathbf{M}^x bestimmten Bündelstrahl \mathbf{m}^x (oder der Kegel Λ^E durch Λ^x) ersetzt, so ist die weitere Ermittlung der äußeren Orientierung auf den in Nr. 4 behandelten Fall zurückgeführt. In Abb. 4 sind auch die Schnittpunkte der Strahlen \mathbf{l}^F und \mathbf{a}^F des Bündels (\mathbf{F}) mit der Bildplatte Π^F , also der Nadirpunkt \mathbf{L}^F und der Fluchtpunkt \mathbf{A}^F der Erdachse eingetragen. Diese Punkte ergaben sich aus den entsprechenden Punkten \mathbf{L}^E und \mathbf{A}^E von Π^E mittels einfacher darstellend-geometrischer Konstruktionen. Dies diene hier nur zur Veranschaulichung der besprochenen Bündelvereinigung; für eine praktische Auswertung von Luftbildern kommen solche Konstruktionen kaum in Frage.

Hat der Bildpunkt \mathbf{F}^E des Zentrums \mathbf{F} auf der Bildebene Π^E eine beliebige Lage (meist außerhalb des Gesichtsfeldes), so kann die Vereinigung der beiden Bündel auch ohne Verwendung des Zielstrahles \mathbf{m}^x (oder des Kegels Λ^x) u. a. wie folgt herbeigeführt werden: Man legt innerhalb des Bündels (E) durch den Zielstrahl nach \mathbf{F}^E die beiden möglichen Tangentialebenen τ_1 und τ_2 an das auf Π^E vorhandene Mondbild und bringt (E) vorerst in eine solche Lage, daß der Sonnenkegel Σ^E mit dem entsprechenden Kegel Σ^F des Bündels (F) zusammenfällt. Hierauf wird (E) um die Achse \mathbf{s}^F von Σ^F noch derart verdreht, daß die Ebenen τ_1, τ_2 den Kegel Λ^F berühren. Dieser Vorgang ist in Abb. 5 veranschaulicht, wobei die Bündel (E) und (F) im Schnitt mit zwei (ineinander bewegbaren) Kugelkalotten dargestellt sind; die gemeinsame Mitte dieser Kugeln liegt in $\mathbf{F} = \mathbf{E}$.

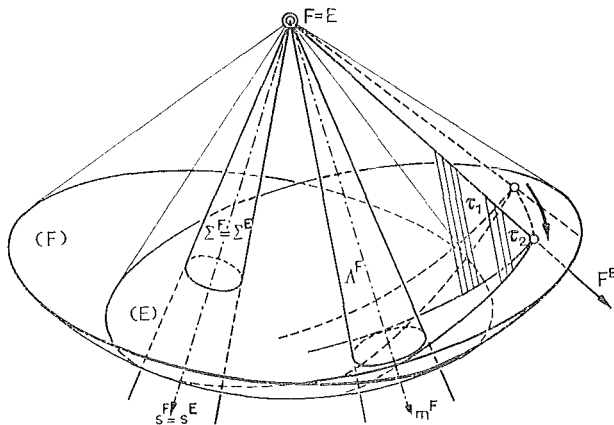


Abb. 5

Das soeben gekennzeichnete verallgemeinerte Prinzip ist auch dann noch anwendbar, wenn an die Stelle des Mondes irgend ein anderer Zielpunkt \mathbf{M} tritt, der von beiden Standpunkten aus aufgenommen werden kann. Ein solcher Punkt steht unter Umständen auf einem Berggipfel oder auf einem Fesselballon zur Verfügung. Obige Konstruktion des zum Zielstrahl \mathbf{m}^F von \mathbf{F} nach \mathbf{M} parallelen Strahles \mathbf{m}^x durch \mathbf{E} kann sodann ebenfalls ausgeführt werden, jedoch mit dem Unterschied, daß hier die Winkel φ und μ im allgemeinen stärker voneinander abweichen. Dies hat zur Folge, daß der Strahl \mathbf{m}^x nur minder genau erhalten wird (sofern nicht der in (E) enthaltene Zielstrahl nach \mathbf{F} genauer bestimmbar ist als oben angenommen wurde). Dennoch kann auch diese Bestimmung der äußeren Orientierung für besondere Zwecke (etwa bei der Auswertung eines einzelnen Bildpaares) von cinigem Nutzen sein. Dabei könnten u. a. \mathbf{E} und \mathbf{M} am aufgenommenen Gelände liegen und die Sonne und das Flugzeug \mathbf{F} gleichzeitig von \mathbf{E} aus photographiert werden.

Nr. 6. *Instrumentelle Erfordernisse.* Von der rein theoretischen Darlegung eines Orientierungs- und Auswertverfahrens für Luftaufnahmen bis zu seiner praktisch brauchbaren Durchbildung ist meistens noch ein weiter Weg zurückzulegen. Im vorliegenden Fall würde es sich in erster Linie darum handeln, die oben beschriebenen geometrischen Operationen und Konstruktionen durch geeignete *mechanische*

und optische Vorgänge zu ersetzen. Insbesondere wären Vorrichtungen zu entwickeln, mit deren Hilfe folgende Operationen leicht ausführbar sind:

A) Das Einstellen der Lotrichtung $\mathbf{l}^E \parallel \mathbf{l}^F$ des jeweiligen Flugzeugstandpunktes \mathbf{F} an der Kammer der Stationsaufnahme (auf Grund der Funkortung während des Fluges).

B) Die Einstellung oder Festlegung des Bildpunktes \mathbf{F}^E von \mathbf{F} auf der Ebene der Bildplatte Π^E für das nach Nr. 5 verallgemeinerte Verfahren.

C) Die Übertragung der Richtungen des Lotes \mathbf{l}^E und der Erdachse aus dem Bündel (\mathbf{E}) in das der Luftaufnahme im Sinne von Nr. 4 sowie die Vereinigung der durch die Luftaufnahmen des Geländes und der Gestirne bestimmten Zielstrahlbündel.

D) Die Ermittlung des zu \mathbf{m}^F „photographisch“ parallelen Zielstrahles \mathbf{m}^x der Stationsaufnahme (siehe Nr. 5) auf optisch-mechanischem Wege (vgl. Abb. 5).

Für die zuletzt genannten Zwecke sind Instrumente von der Art der bekannten Entzerrungsgeräte erforderlich, an denen jedoch die Brennweiten der verwendeten Aufnahmen genau einstellbar sein müßten.

Hat man nun die vollständige äußere Orientierung jeder einzelnen Geländeaufnahme hergestellt, so kann das gegenseitige Einpassen je zweier Folgebilder wesentlich einfacher als bisher üblich erfolgen. Hiefür genügt jetzt nämlich ein Instrument, in dem die betreffenden Zielstrahlbündel bloß parallel gegeneinander zu verschieben sind, nachdem ihre Lotstrahlen und Nord-Südrichtungen parallel eingestellt wurden. Da die b_y -Schiebungen bekanntlich durch gemeinsame Verkantungen um genau gleiche Winkel ersetzbar sind, kommt vor allem ein Orientierungsgerät in Betracht, das neben solchen gemeinsamen Verkantungen (die durch einen Zahnradtrieb gewährleistet werden) nur noch die b_z -Schiebungen ermöglicht¹⁵⁾. Allenfalls können zur Beeinflussung des Maßstabes des Raummodells noch Basisänderungen vorgesehen sein.

Mit derartigen Vereinfachungen der Geräte und mit der unmittelbaren Bestimmung der äußeren Orientierung jeder einzelnen Luftaufnahme (noch vor dem gegenseitigen Einpassen) wäre zweifellos eine ansiebige Genauigkeitssteigerung verbunden. Vielleicht könnte es nun sogar gelingen, z. B. die Winkelfehler der gegenseitigen Orientierung bis nahe an die „photographische“ Genauigkeit herabzudrücken. Damit wäre aber der eingangs erwähnte tote Punkt der Luftphotogrammetrie überwunden.

Nach Bereitstellung der angedeuteten instrumentellen Einrichtungen würde sich auch der erforderliche materielle und personelle Aufwand in mäßigen Grenzen halten, besonders da ja nur ein Vermessungsflugzeug gebraucht wird¹⁶⁾ und das gegenseitige Einpassen grundlegend vereinfacht ist. Weitere Verbesserungen sind ferner zu erwarten, wenn es einmal gelingt, auch andere Gestirne von einem Flugzeug aus bei Tag zu photographieren.

¹⁵⁾ Ein derartiges Orientierungsgerät wurde bereits in der mit Fußn. 7 zitierten Patentanmeldung näher beschrieben.

¹⁶⁾ Demgegenüber hat E. S a n t o n i am Schluß seines „Rapport“ (s. Fußn. 4) ein Orientierungsverfahren vorgeschlagen, bei dem gleichzeitig zwei Flugzeuge zum Einsatz kämen. — Ferner verwenden H. D o c k und K. K i l l i a n in „Verfahren und Einrichtung zur Überbrückung festpunktloser Räume“, D. R. P. Nr. 746502 (1943) gleichzeitig drei Aufnahmeflugzeuge.

Wenn auch ein Nachteil des beschriebenen Verfahrens, nämlich die Erschwerung der Bildflugplanung zufolge der seltener erfüllten astronomischen und meteorologischen Voraussetzungen, nicht zu übersehen ist, so dürfte dennoch die theoretische Erörterung der aufgezeigten Orientierungsmöglichkeiten für die Luftphotogrammetrie von einigem Nutzen sein.

Die Liesganig'sche Gradmessung

Von Dipl.-Ing. Dr. techn. Paula Embacher

(Veröffentlichung des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen)

(Schluß)

Vergleichende Beobachtungen

Um ein Urteil über die Güte der Arbeit Liesganig's zu erhalten, wurde versucht, möglichst viele Punkte Liesganig's mit Punkten des heutigen Landesdreiecksnetzes zu identifizieren. In erster Linie waren Spuren der Endpunkte der Marchfelder Basis in Seyring und in Glinzendorf aufzusuchen. Durch Koordinatentransformation und Einzeichnen der Endpunkte in die Katastermappe wurden an Ort und Stelle Nachforschungen unter Vornahme vergleichender Winkelmessungen durchgeführt. Diese Arbeit war ergebnislos, da äußerlich nicht die geringsten Merkmale einer Bezeichnung vorgefunden werden konnten, denn die in die Natur übertragenen Punkte liegen inmitten von Ackerparzellen. Die nächste Untersuchung galt dem Punkt Oberleis. Aber auch dieser ist verlorengegangen, von der bei der Gradmessung verwendeten Marienkirche stehen nur mehr Reste der Grundmauern und die Pfarrkirche steht heute etwa 200 m weiter westlich. Ebenfalls konnte die alte Lage der Kapelle Schrick, die Liesganig als Triangulierungspunkt benützte, nicht mehr festgestellt werden, denn die Reichsstraße ist dort etwas nach Westen verlegt und die Kapelle an die neue Straße überstellt worden. An der alten Stelle befinden sich nur mehr zwei hohe, weithin sichtbare Bäume.

Punkte, die aller Voraussicht nach als ident angenommen werden können, sind: Brünn, Spielberg; Leopoldsberg; die beiden Endpunkte der Wiener-Neustädter Basis; Neunkirchen; Rosalia; Graz, Observatorium des P. Guldin; Graz, St. Johann und Paul; Riegersburg; Wildon; St. Urban bei Marburg; St. Magdalena; St. Urban bei Ankenstein; Warasdin, Jesuitenkolleg.

Bei der Triangulierung ist ein grober Fehler in dem Dreieck Wildon—St. Urban—St. Magdalena unterlaufen. Um dies zu untersuchen, wurde zunächst die vermutliche Lage des Liesganig'schen Zeichens durch Messungen in Wildon festgestellt. Der Festpunkt, der nach Protokoll Nr. 9 der Militärtriangulierung mit dem bei Hauptmann Fallon³⁾ gemessenen Punkt vollständig ident ist, konnte auf Grund der vorliegenden im Meridianstreifensystem *M 34* errechneten Koordinaten ausgesteckt werden; dann begann die Nachgrabung. In nächster Nähe dieser Stelle sind auch die Richtungen nach den im Liesganig'schen Netz vorkommen-

³⁾ Hauptmann Fallon war beteiligt an der Militärtriangulierung 1808.