

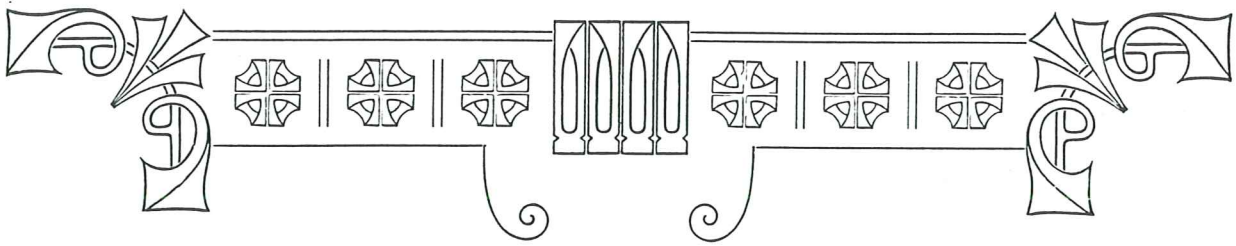
FEST-SCHRIFT

DES K. U. K. FLUGTECHNISCHEN
VEREINS ANLÄSSLICH DER ENT-
HÜLLUNG DER GEDENKTAFEL
FÜR WEILAND K. UND K. HAUPT-
MANN DES RUHESTANDES UND
oo KAPITÄN LANGER FAHRT oo

THEODOR SCHEIMPFLUG

WELCHE AM 6. DEZEMBER 1913,
11¹/₂ UHR VORMITTAGS IN WIEN
XVIII, STERNWARTESTRASSE 39
STATTGEFUNDEN HAT





Hauptmann Theodor Scheimpflugs (†) Aerophotogrammetrie.

Von Josef Viktor Berger, k. u. k. Hauptmann d. R.

I. Der Erfinder und sein Werk.

Dem Bankdirektor Scheimpflug wurde am 7. Oktober 1865 zu Wien ein Sohn geboren, welcher in der Taufe den Namen Theodor erhielt. Nach beendetem Gymnasialstudium folgte der Jüngling seiner Hinneigung zur See, bezog die Marineakademie in Fiume und trat im Jahre 1883 als Seekadett in die k. u. k. Kriegsmarine ein.

Fünf Jahre später wurde Scheimpflug Linienschiffsfähnrich, 1894 erwarb er das Patent als »Kapitän langer Fahrt«.

Sein Wissensdrang und seine Befähigung waren so groß, daß er bald zu besonderen Arbeiten verwendet wurde und 1896 die Technische Hochschule in Wien beziehen konnte.

Schon in der Marineakademie wurde seine Aufmerksamkeit auf die Photogrammetrie hingelenkt, bald sollte diese sein Lebenswerk werden.

Die Erkenntnis, daß mit eigener Kraft nicht viel zu erreichen sei, führte ihn dazu, um die Aufnahme in das k. u. k. Militär-Geographische Institut zu bitten. Im Herbst des Jahres 1897 wurde dieser Bitte stattgegeben; im Mai des folgenden Jahres wurde Scheimpflug zum Linienschiffsleutnant befördert. Ein Jahr später trat er als Hauptmann in den Armeestand über und wurde definitiv in den Verband des Militär-Geographischen Institutes aufgenommen.

Daselbst entfaltete er eine intensive und infolge seiner Arbeitskraft und Begabung äußerst erfolgreiche Tätigkeit, konnte es aber doch nicht verhindern, daß sich gar bald Mißhelligkeiten und Unstimmigkeiten ergaben, welche schließlich dazu führten, daß der geniale Offizier im Jahre 1900 das Militär-Geographische Institut und zugleich den aktiven Dienst verließ. Nun hatte er Muße, sich ganz seiner Vorliebe für photogrammetrische Studien zu widmen und er nützte die Gelegenheit auch gründlich aus, so daß an seinem jähren Lebensende, am 22. August 1911, das Ziel, die Photokarte, beinahe erreicht war. Das, was ihr noch zur Vollkommenheit fehlte, vollbrachte das »Institut Scheimpflug«, welches der Bruder des Verstorbenen, der k. k. Sektionsrat Dr. Karl Scheimpflug und des ersten langjähriger Mitarbeiter Ing. Gustav Kammerer begründeten.

Hauptmann Scheimpflugs Leib ist gestorben, sein Geist aber lebt weiter, und das Samenkorn, welches da in den Boden der Photogrammetrie versenkt wurde, sendet seine Triebe dem Lichte und dem Himmel entgegen.

„Aufwärts“ war Scheimpflugs Devise, und sie führte ihn, dessen Bild nebenstehende Reproduktion zeigt, in das Luftmeer.

Der unerschütterliche Glaube an den schließlichen Erfolg der Aeronautik und Aviatik ließ in ihm den Gedanken

entstehen, sich festsetzen und entwickeln, daß die Photogrammetrie einen gewaltigen Schritt vorwärts machen müsse, sobald es ihr gelingt, sich von den Fesseln zu befreien, welche jeder Landesaufnahme durch das Terrain angelegt werden. Es ist ganz klar, daß jedes geotopographische Verfahren mit nicht einzusehenden Räumen rechnen und damit eine bedeutende Erschwernis in Kauf nehmen muß, das ist aber noch nicht das Ärgste. Dieses tritt vielmehr erst dann ein, wenn man das nicht eingesehene Gelände auch nicht betreten kann, so daß eine Aufnahme unmöglich wird.

Hier kommt das an irdische Hindernisse nicht gebundene Luftschiff zu seinem Rechte. Vor allem werden es der Lenkballon und die Flugmaschine sein, welche infolge ihrer Fähigkeit, den Luftraum nach eigenem Ermessen in jeder Richtung hin zu durchheilen, den Begriff sowohl des nicht eingesehenen, wie den des nicht betretbaren Geländes aus der Welt schaffen.

Als Hauptmann Scheimpflug jedoch seine Arbeiten begann, stand ihm ein einheimisches Motorluftschiff noch nicht zur Verfügung. Er konnte nur mit Fessel- und Freiballons, dann mit gewöhnlichen Drachen arbeiten.

Das war allerdings nur insofern ein Mangel, als es die Durchbildung des Verfahrens verzögerte. Die theoretischen Grundlagen mußten jedoch die gleichen bleiben und an ihren Entwurf ging Hauptmann Scheimpflug mit der ihm eigenen zähen Energie gar bald heran. Wenn auch die Verwendung von Luftfahrzeugen zur Hochnahme photographischer Apparate von früher her bekannt war, so mußte doch ein Verfahren, welches über das gewöhnliche Landschaftsbild, wie es eine Photographie ist, zum topographischen Bilde, zur maßstabtreuen Karte, fortschreiten wollte, doch eigentlich von Grund aus neu geschaffen werden. Der Entwurf der Methode selbst brachte schon der Hindernisse genug; aber es kamen noch Schwierigkeiten und

Differenzen persönlicher Natur hinzu, die es oft als ausgeschlossen erscheinen ließen, überhaupt jemals an ein gezieltes Ende zu gelangen. Hier zeigte es sich, daß Hauptmann Scheimpflug das Prototyp des österreichischen Offiziers war. Ohne jeden Lärm, ohne die große Geste, schritt er unbeugsam und unbeirrt seinem Ziele entgegen, und wo er nicht frei ausschreiten konnte, schob er sich vor oder suchte einen neuen, besseren Weg. Diese Charakterbildung sicherte ihm wohl den schließlichen Erfolg, sie untergrub aber seine Gesundheit und führte zu vorzeitigem Tode.

Die Photogrammetrie, die k. u. k. Wehrmacht und auch die Monarchie haben alle Ursache, den frühzeitigen Heimgang Scheimpflugs aufs innigste zu bedauern. Da fiel ein Großer in der Fülle seiner Schaffenskraft!



Hauptmann Theodor Scheimpflug.

Wenn wir uns die Absicht verdeutlichen, welche Hauptmann Scheimpflug hegte, so erkennen wir gar bald, wie kühn sie war und welch freier Geist allein sie in die Welt setzen konnte. Von einem Luftschiff irgend eines Systems soll ein photographischer Apparat hochgenommen, zu Aufnahmen verwendet und letztere zu wirklichen Karten ausgestaltet werden.

Wir sehen da gleich, daß zu diesem Zwecke ganz besondere Instrumente und Theorien erforderlich sind. Es geht nicht an, daß die Aerophotogrammetrie wie ihre Schwester, die Geophotogrammetrie, mit Stativen arbeitet, daß sie ihren Aufnahmeapparat auf einem vorher sorgfältigst gewählten und hinsichtlich seiner Lage genauestens bekannten Punkt mit allen Finessen, welche uns die Geodäsie an die Hand gibt, aufstellt. Es geht nicht an, daß wir mit den üblichen kleinen Bildwinkeln von 50 bis 60° arbeiten, weil wir da gar leicht Gefahr laufen, daß mehr oder weniger große Teile des aufzunehmenden Geländes gar nicht auf die lichtempfindliche Platte fallen, und es geht schließlich nicht an, Höhenmessungen in üblicher Weise zu machen, um die Terrainplastik darstellen zu können. Ja selbst das Aneroidbarometer versagt unter den eigenartigen Verhältnissen, welche in einem Luftfahrzeug herrschen, und zeigt rund doppelt so große Fehler als bei der Verwendung auf gewachsenem Boden.

Es darf nicht wundernehmen, daß auch Hauptmann Scheimpflug Zeit brauchte, um alle diese Abweichungen, Einschränkungen und Sonderheiten zu erfassen und zu erkennen, daß nur völliger Neubau in theoretischer wie praktischer Beziehung Erfolg haben könne. Es hieß also, von Anfang an beginnen. Zuerst mußte der Aufnahmeapparat konstruiert, seine Befestigung am Luftschiffe studiert und seine Handhabung erprobt werden. Dann waren seine Erzeugnisse, die Photographie, so herzurichten, daß man mit dem „Plastizieren“, der Einzeichnung der Terrainformen, beginnen konnte, und schließlich mußte das gewonnene Bild in eine richtige Karte umgewandelt werden.

Diese kurzen Andeutungen genügen wohl schon, um erkennen zu lassen, daß man nicht mit einem Schlage das Problem lösen konnte, sondern Schritt für Schritt vorgehen mußte.

Ein Mann mag noch so genial sein, er wird, sei es versehentlich, sei es aus einer vorgefaßten und nachträglich als irrig erkannten Meinung, doch ein oder das andere Mal straucheln. Daran, wie er sich bei so einem Zwischenfall benimmt, erkennt man den genialen Forscher, der auch nach mehreren fehlgeschlagenen Versuchen durchaus nicht daran denkt, die Flinte in das Korn zu werfen, sondern einfach rechts oder links abbiegend seinem Drange nach vorwärts Folge gibt.

Ein solcher Forscher war auch Scheimpflug. Er hat deshalb sein Lebensziel auch beinahe erreicht. Nicht ein Fehler seines Systems, sondern ein tückisches, frühzeitigen Tod herbeiführendes Leiden hinderte ihn daran, effektiv an das Ziel zu kommen, tatsächlich den Fuß auf den Pol zu setzen.

Seine Nachfolger konnten erst diesen Schritt unternehmen und im laufenden Jahre durch Versuche, welche sowohl im In- wie im Auslande vorgenommen wurden, die Brauchbarkeit der Aerophotogrammetrie für Zwecke der Landvermessung nachweisen.

Es sei mir deshalb gestattet, das Scheimpflugsche Verfahren zu besprechen und in dieser Form den Manen meines toten Kameraden zu huldigen.

II. Die Aufnahme.

Zur Durchführung der Aufnahme bedarf es eines geeigneten Apparates, eines Trägers für denselben und des nötigen Personals.

Die Aufnahme selbst besteht aus dem Photographieren des Geländes. Der Umstand, daß Scheimpflug als Apparatträger ein Luftfahrzeug benützt, bringt es mit sich, daß die Aufnahme als Vogelperspektive resultiert. Deshalb steht sie der Karte, welche in orthogonaler Parallelperspektive gehalten ist, viel näher als eine geophotogrammetrische Aufnahme. Allerdings ist diese Ähnlichkeit noch lange keine Gleichheit. Aber sie ist doch so groß — und das erkannt

und ausgenützt zu haben, ist Hauptmann Scheimpflugs Hauptverdienst — daß aus den aufgenommenen Lichtbildern durch eine Reihe rein photographischer Prozesse eine maßstabtreue Karte hergestellt werden kann.

Weil die Landschaftsbilder später stereometrisch auszumessen sind, was nur möglich ist, wenn jeder Geländepunkt auf zwei Bildpanoramen vorhanden ist, müssen sich diese Panoramen wechselseitig übergreifen. Theoretisch würde hierbei das Maß von 50 Prozent genügen. In der Praxis zeigt es sich aber, daß man mit einer 75 bis 80prozentigen Überdeckung arbeiten muß, um sicher zu gehen, daß jeder Punkt tatsächlich auf zwei benachbarten Aufnahmen erscheint. Dann wird aber der Reinertrag, d. h. die Größe des in jedem Bild neu hinzutretenden Geländes auf 25 bis 20 Prozent sinken, also verhältnismäßig klein sein.

Um dem offenbaren Nachteil zu steuern, war Hauptmann Scheimpflug bestrebt, die Größe des von einer Aufnahme überdeckten Geländes tunlichst zu steigern. Hierzu standen zwei Wege offen. Der eine wies auf die Benützung eines Weitwinkelobjektivs, der andere auf die einer Vielfachkamera hin.

Jeder dieser Wege hat Vor- und Nachteile. Die Weitwinkelkamera gestattet wohl das Arbeiten mit einer einzigen Platte, bringt also eine Vereinfachung der manuellen Operationen mit sich, dagegen bedarf ihr Objektiv einer besonderen Blende und schließt Momentaufnahmen aus.

Letztere sind aber eine Grundbedingung für das Aufnehmen vom Bord der Luftfahrzeuge, weil diese als Träger des photographischen Apparates letzterem eine so schwankende Unterlage bieten, daß ein scharfes Bild nur bei äußerst kurzen Belichtungszeiten erzielbar ist.

Die Dauer derselben kann man auch rechnerisch finden, wenn es sich um Motorluftfahrzeuge (Lenkballons oder Aeroplane) handelt. Es ist klar, daß bei diesen beiden Maschinen die durch den Motor hervorgerufenen Erschütterungen die Arbeit der Kamera ganz bedeutend beeinflussen. Sollen, was selbstredend gefordert werden muß, derartige Störungen vermieden werden, so muß die Belichtungsdauer höchstens gleich, besser natürlich kürzer sein, als der zeitliche Abstand zweier Motorstöße, d. h. zweier Explosionen. Beim Viertaktmotor kommen vier Perioden vor, und zwar die Saug-, die Kompressions-, die Explosions- und die Auspuffperiode. Währenddessen macht der Kolben je zwei Hin- und Herbänge, seine Welle daher zwei Touren. Sei n die Tourenzahl pro Minute, so ist $\frac{n}{2}$ die Zahl der Explosionen während

dieser Zeit, und $\frac{n}{2 \times 60}$ jene pro Sekunde. Die Zeitdifferenz

zwischen zwei Explosionen ist daher $t = \frac{120''}{n}$, und das ist zugleich das Maximum der Belichtungszeit. Nehmen wir beispielsweise an, ein Motor oder ein Motoraggregat laufe mit einer Tourenzahl von 600, so erhalten wir die maximale Belichtungszeit mit

$$t = \frac{120}{600} = 0.2''$$

Die Aeroplanmotoren weisen Tourenzahlen von 1000 bis 1500, im Mittel also 1200 auf. Dem entspricht eine Belichtungszeit von $t = \frac{120}{1200} = 0.1''$.

Das Resultat dieser kurzen Übersichtsrechnung ist die Erkenntnis, daß Zeitaufnahmen ausgeschlossen sind, daher an die Verwendung von Weitwinkelobjektiven nicht gedacht werden kann. Deshalb mußte Hauptmann Scheimpflug den zweiten Weg gehen und eine Vielfachkamera bauen.

Die letzte Form derselben zeigt der in den Fig. 2 und 3 dargestellte ca. 20 kg wiegende Panorama-Apparat.

Um eine Mittelplatte sind im regelmäßigen Heptagon sieben gegen erstere unter 45° Neigung verstellte Seitenplatten so angeordnet, daß die Objektive nach einwärts stehen. Die Seitenplatten übergreifen sich wechselseitig und mit der Mittelplatte, so daß auf der Gesamtheit der acht



Platten ein geschlossenes lückenloses Bild entsteht. Der Bildwinkel ist rund 140° . Vorsichtsweise rechnet man, daß

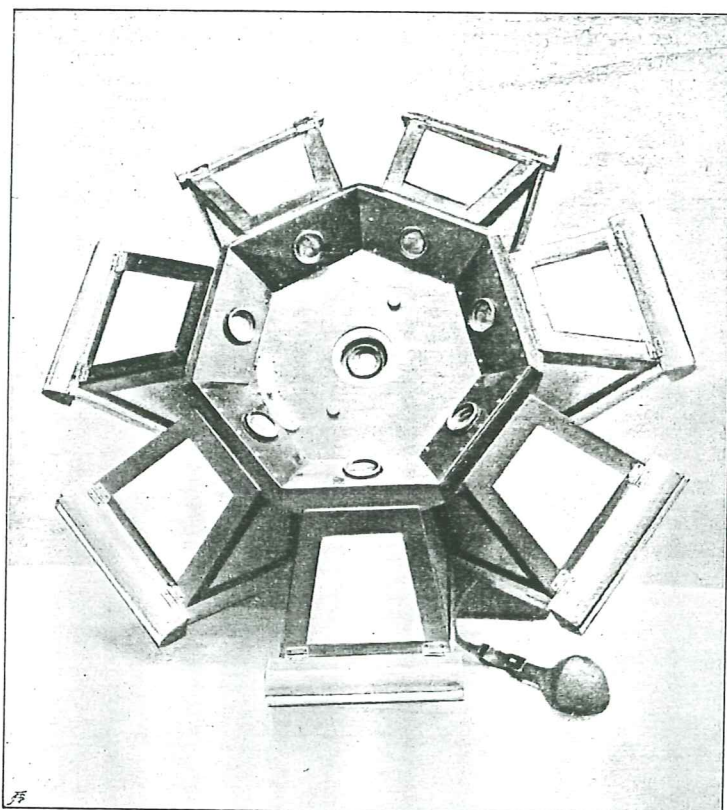


Fig. 2. Panorama-Apparat.

der Durchmesser des Bildkreises das Fünffache der Bildweite b betrage. Der Halbmesser r dieses Kreises ist dann

$$r = 2.5 b$$

und weil der Bildwinkel β nach Fig. 4 aus der Gleichung

$$\tan \frac{\beta}{2} = \frac{r}{b} = 2.5$$

folgt, ist

$$\frac{\beta}{2} = 68^\circ 12'$$

und

$$\beta = 136^\circ 24'$$

Um zu erkennen, welchen Einfluß die Schrägstellung der sieben Seitenkammern auf die Größe der aufgenommenen Fläche hat, betrachten wir nachstehende Fig. 5.

In dieser ist m die Mittelplatte und s eine der sieben Seitenplatten, daher der Winkel α bei B $\alpha = 45^\circ$. Da wir β von früher (Fig. 4) bereits kennen, ist γ aus dem rechtwinkligen Dreieck $O A C_0$ leicht zu rechnen mit

$$\gamma = 90^\circ - \beta.$$

Im Dreieck $B C C_0$ wäre somit nur mehr der Winkel θ bei C unbekannt. Er folgt jedoch aus dem Lehrsatz, daß die Winkelsumme in jedem Dreieck 180° betrage mit

$$\theta = 180^\circ - (\alpha + \gamma).$$

Setzen wir nun für

$$\alpha = 45^\circ$$

und

$$\gamma = 90^\circ - \beta,$$

wobei wegen

$$\beta = 68^\circ 12',$$

$$\gamma = 21^\circ 48' \text{ wird,}$$

so erhalten wir

$$\theta = 113^\circ 12'.$$

Aus der verhältnismäßigen kurzen Strecke $B C$ wird durch Verlängerung der Mittelplatte m nach und über C_0 die lange Strecke $B C_0$, d. h. das auf den Seitenplatten zusammengebrängte Bild dehnt sich bei seiner Transformation entsprechend dem Verhältnisse

$$\frac{B C_0}{B C}$$

Denken wir uns die Mittelplatte m horizontal, so entspricht die Strecke $A C_0$ dem Halbmesser jenes Bildes, das unsere in O befindliche Linse bei dem Bildwinkel $\beta = 68^\circ 12'$ zeichnen würde. Die Schrägstellung der Seitenplatten befähigt daher den Apparat bei kompensiöser Form große Flächen mit einem Male aufzunehmen.

Zahlenmäßig läßt sich der Vorteil der Schrägstellung mit Hilfe des Sinussatzes feststellen. Diesem zufolge besteht im Dreieck $B C C_0$ die Proportion:

$$B C_0 : B C = \sin \theta : \sin \gamma.$$

Da wir beide Winkel bereits kennen, vermögen wir auch das Verhältnis $\frac{B C_0}{B C}$ zu rechnen. Es ist:

$$\frac{B C_0}{B C} = \frac{\sin \theta}{\sin \gamma} = \frac{\sin 113^\circ 12'}{\sin 21^\circ 48'} = 2.475.$$

Die Befestigung des Panorama-Apparates erfolgt im allgemeinen in einer der Cardanischen Aufhängung ähnlichen Weise und ist selbstverständlich jedem Luftfahrzeuge besonders anzupassen.

Jedenfalls soll die Befestigung so erfolgen, daß der Aerophototopograph den Panorama-Apparat leicht von Hand aus annähernd horizontal stellen kann, damit die einzelnen Aufnahmen sich gegenseitig verlässlich zu $\frac{3}{4}$ bis $\frac{4}{5}$ übergreifen.

Eine mathematisch genaue Wagrechtstellung der Mittelplatte, bezw. Lotrechtstellung ihrer optischen Achse ist nicht zu erreichen. Das verhindert einmal die dem Luftfahrzeug entgegenströmende Luft, dann die durch den Motorgang hervorgerufene Erschütterung des Systems.

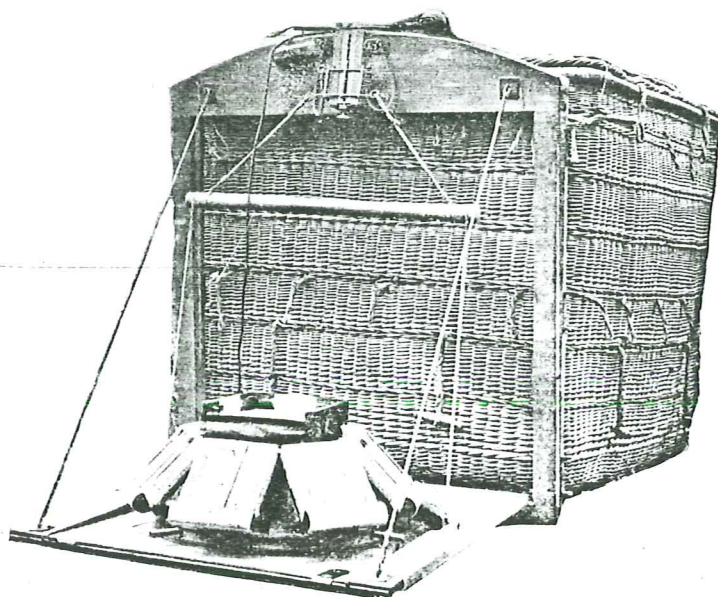


Fig. 3. Panorama-Apparat an eine Ballongondel montiert.



Deshalb verzichtet das Verfahren gänzlich darauf und gibt sich zufrieden, wenn die Überdeckung je zweier benachbarter Platten hergestellt ist.

Hierauf muß allerdings um so größeres Gewicht gelegt werden, als sonst die stereometrische Ausmessung unmöglich wird. Stereoskopisch, d. h. räumlich, sehen wir nur

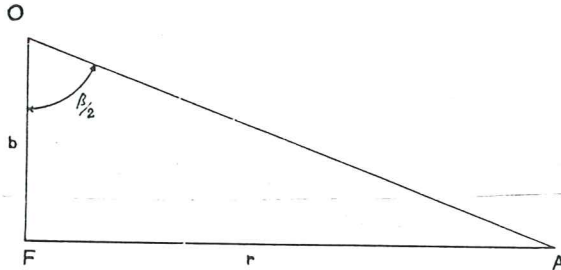


Fig. 4.

das, was uns auf zwei nebeneinander gelegenen und gleichzeitig in das Stereoskop eingeführten Bildern erscheint.

Bei Erzielung der Überdeckungen ist es unumgänglich notwendig, vollkommene Klarheit darüber zu gewinnen, daß jedes Motorluftfahrzeug dem Erdboden gegenüber eine doppelte Bewegung vollführt. Es fährt einmal mit der Kraft des eigenen Triebwerkes in der umgebenden Luft und bewegt sich zugleich mit dieser. Seine Ortsveränderung gegenüber dem Erdboden wird daher die Summe, bezw. Differenz der eigenen und der Windgeschwindigkeit sein. Darauf hat der Aerophotograph zu achten, denn der Abstand je zweier benachbarter Aufnahmen darf weder zu groß noch zu klein sein.

Wir wissen diesbezüglich bereits, daß der Durchmesser D des mit einer Aufnahme überdeckten Geländes das Fünffache der Aufnahmehöhe H ist, also

$$D = 5 H.$$

Wir wissen aber auch, daß von diesem Werte 75 bis 80 Prozent auf Überdeckung entfallen, so daß man, um ja recht sicher zu gehen, den Fortschritt F höchstens mit $0.2 D$ beziffern kann.

Dieser Fortschritt ist demnach

$$F = 0.2 \cdot 5 \cdot H = H,$$

d. h. es ist anzustreben, daß die Aufnahmepunkte um die Aufnahmehöhe voneinander absteigen. Im Flachlande wird man weitergehen können, im Gebirge, wo Böschungen über 45° vorkommen, nähergehen müssen.

Zur Beurteilung des von Aufnahme zu Aufnahme zu hinterlegenden Weges ist nach dem Gesagten die Zeit allein kein genügender Anhaltspunkt. Man wird wohl oder übel mit Landmarken arbeiten und selbe, ebenso wie es von Bord der Seeschiffe geschieht, regelrecht peilen müssen.

Die Rücksichtnahme auf die Bewegung der Luftfahrzeuge wird auch bei der Bestimmung des von diesen zu

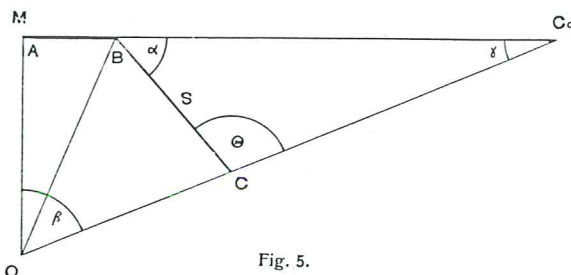


Fig. 5.

steuernden Kurses zum Ausdruck kommen müssen. Ich glaube, daß man diesbezüglich nicht an einem bestimmten System festhalten darf, sondern den jeweiligen Kurs den Windverhältnissen so anpassen muß, daß nicht aufgenommene Räume menschlicher Voraussicht nach ebenso vermieden werden, wie eine Vielfachaufnahme einzelner Geländepartien

oder ein übermäßiger, d. h. die früher angegebenen Prozentsätze übersteigender Grad gegenseitiger Überdeckung.

Deshalb muß vom Aerophotographen ein gewisses Maß von Erfahrung gefordert werden. Trotzdem wird auch dem erfahrensten unter ihnen ratsam erscheinen, vor dem ersten Aufnahmezug eine Aufklärungsfahrt zu unternehmen.

Das ist schon deshalb erforderlich, um eine Orientierung über die Lage der vorhandenen Triangulierungspunkte zu gewinnen. Damit sind wir bei einem viel umstrittenen Punkt des Scheimpflug'schen Verfahrens angelangt.

Dasselbe macht zwar, was im nächsten Kapitel eingehend behandelt werden soll, die engmaschige Triangulierung entbehrlich, gänzlich kann es jedoch auf Triangulierungspunkte nicht verzichten. Scheimpflug war des bekannten Wortes von Archimedes eingedenk: „Gebt mir einen Punkt, da sich die Welt aus den Angeln hebe!“ Also ohne Fixpunkte geht es nicht, aber weil deren Zahl eine geringe sein kann, und weil gerade die Festlegung derselben den größten Teil jener Kosten ausmacht, welche die Landesaufnahme verursacht, so erscheint das Scheimpflug'sche Verfahren ökonomisch vorteilhaft.

Ist der Aerophotograph vom Aufklärungsfuge rückgekehrt, so kann er an den Aufnahmezug denken. Damit dieser nicht erfolglos werde, muß vorher die Überzeugung gewonnen sein, daß die Seitenkameras tatsächlich unter

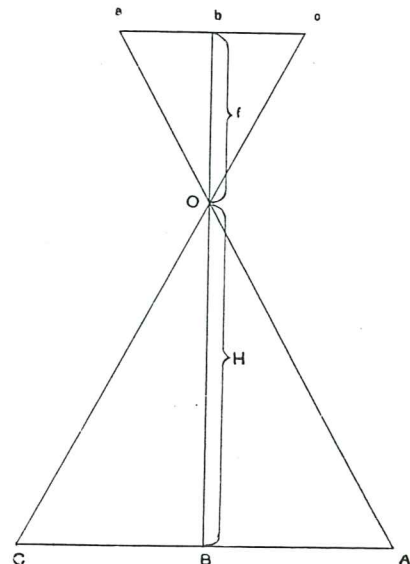


Fig. 6.

45° gegen die Mittelkamera geneigt sind, bezw. es muß die Abweichung von diesem Winkelwert bekannt sein. Auch hier gibt es also zwei Wege. Abermals wäre der erstgenannte der nächstliegende. Er setzt aber voraus, daß am Apparat Justiervorrichtungen angebracht sind, welche das Ausschalten eines eventuell erkannten Winkelfehlers gestatten.

Dieser Vorgang ist bei der Rektifikation geodätischer Instrumente allgemein üblich. Hier empfiehlt er sich aber nicht, denn er erhöht die Empfindlichkeit des Panorama-Apparates, und es liegt im Interesse der Aufnahme gerade diese möglichst gering zu machen. Nur ein robustes Gerät wird, ohne an seinem Gefüge Schaden zu nehmen, auf die Dauer den Hämmern der arbeitenden Explosionsmotoren Widerstand leisten können.

Deshalb baute Scheimpflug seinen Aufnahmeapparat sehr solid und vermied Justiervorrichtungen zur Gänze. Die auf den Fig. 2 und 3 sichtbaren Schrauben und Nieten dienen lediglich der Verbindung der einzelnen Teile des Apparates, nicht aber seiner Rektifikation. Letztere wird vielmehr durch sogenannte Sternaufnahmen besorgt. Zu diesem Behufe stellt man bei sternerlicher Nacht den Panorama-Apparat im Freien verkehrt, also mit den Objektiven gegen das Firmament auf, und macht eine Aufnahme. Unter den Fixsternen, deren Lage von der Astronomie her genau bekannt ist, sucht man sich jene, deren

Bilder auf die Seitenkammern fallen, heraus und bestimmt ihre Lage auf der verlängert gedachten Mittelplatte einmal praktisch, das andere Mal rechnungsmäßig. Die praktische Bestimmung erfolgt mit Hilfe des im nächsten Kapitel beschriebenen Universaltransformators, die Rechnung an Hand der Zeichnung Fig. 5. Wäre C ein solcher Fixstern, so muß sein Bild nach Co fallen, wenn α tatsächlich 45° beträgt. Besteht eine Differenz zwischen jener Lage von Co, welche aus dem Universaltransformator und derjenigen, welche aus der Rechnung folgt, so erkennt man, daß α einen von 45° abweichenden Wert α' angenommen hat, dessen Größe man mit Hilfe des Sinussatzes aus dem Dreiecke B C Co rechnen kann.

Will man sicher gehen, so können Sternaufnahme und Rechnung in jeder zwischen zwei Aufnahmetagen liegenden Nacht vorgenommen werden. Dann wird man anhaltend über die Neigung der Seitenplatten orientiert sein.

Weiters ist die Wahl der Flughöhe in Erwägung zu ziehen, wobei unter diesem Ausdruck die vertikale Erhebung des Luftfahrzeuges über die Schmiegungebene des aufzunehmenden Geländes, und unter der Schmiegungebene jene horizontale Fläche zu verstehen ist, welche dieses Gelände derart durchschneidet, daß sich die hierauf bezogenen Erhöhungen und Vertiefungen gegenseitig ausgleichen.

Für die Wahl der Flughöhe ist die Erwägung bestimmend, daß der Maßstab der herzustellenden Karte verkehrt proportional ihrer ersten Potenz ist, während die auf einmal vom Panorama-Apparat aufgenommene Fläche mit der zweiten Potenz wächst.

In Fig. 6 bedeuten

ABC einen Gegenstand in der Natur,

O das Objektiv eines photographischen Apparates,

f die Brennweite desselben,

abc das von der Linse O gezeichnete Bild des Gegenstandes ABC und

H die Aufnahmehöhe der Kamera, identisch mit der Flughöhe.

Das zwischen ABC und abc bestehende Verhältnis ist der gesuchte Maßstab, und laut Fig. 6 gleich dem Verhältnisse zwischen Brennweite und Aufnahme-Flughöhe. Weil die Brennweite konstant ist, ist die Flughöhe die den

Maßstab bestimmende Größe. Wählt man letztere mit beispielsweise 90 m, so ergibt sich der Maßstab mit 1:1000.

Die von einer Aufnahme überdeckte Fläche F ist

$$F = \pi R^2,$$

wenn R den Halbmesser des von den Randstrahlen gezogenen Kreises bezeichnet. Nach dem früher Gesagten besteht zwischen dem doppelten Werte desselben, dem Durchmesser D und der Aufnahmehöhe H die Beziehung

$$D = 5 H.$$

Daher ist

$$R = 2.5 H$$

und somit die Fläche einer Aufnahme

$$F = \pi \cdot 2.5^2 \cdot H^2 = 19.625 \cdot H^2$$

und der Reinertrag

$$E = 0.2 \cdot 19.625 \cdot H^2 = 4 \cdot H^2.$$

In nachstehender Tabelle sind für verschiedene Maßstäbe die erforderlichen Flughöhen, die von einem Panorama überdeckten Flächen und der Reinertrag einer Aufnahme unter der Voraussetzung einer rund 80prozentigen Überdeckung zusammengestellt.

Die letzte Spalte dieser Tabelle enthält die Jahresleistung in Quadratkilometer, d. h. die in einem Jahre aufgenommene Fläche, wobei natürlich nur der Reinertrag in Rücksicht gezogen wurde.

Diese Leistung wurde folgend ermittelt: Unter der Annahme, daß ein Lenkballon den Panorama-Apparat trägt,

Maßstab	Aufnahme- Höhe	Bedeckte Fläche	Reinertrag	Jahres- leistung
	Meter	Quadratkilometer		
1 : 1.000	90	0.16	3.03	300
1 : 2.500	225	1.00	0.2	2.000
1 : 5.000	450	4.00	0.8	8.000
1 : 10.000	900	16.6	3.2	32.000
1 : 25.000	2250	100.0	20.0	200.000
1 : 50.000	4500	400	80.0	800.000

und letzterer von der Luftschiffgondel leicht zugänglich ist, kann vorliegenden Erfahrungen zufolge der Aerophototopograph

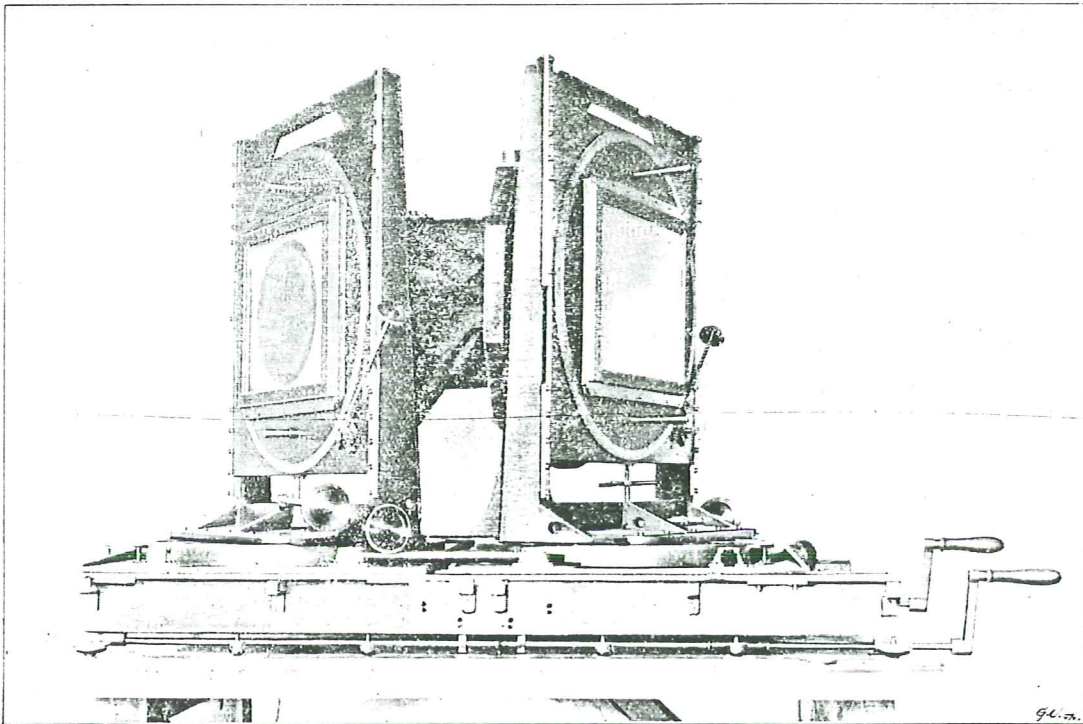


Fig. 8. Universaltransformator Scheimpflug-Kammerer.

in je 3 Minuten eine Aufnahme machen. Das gibt in der Stunde 20 Aufnahmen und bei der weiteren Voraussetzung einer durchschnittlichen Fahrtdauer von 5 Stunden täglich und von 100 Fahrttagen im Jahre eine Jahresleistung von $20 \times 5 \times 100 = 10.000$ Aufnahmen. Multipliziert man nun mit dem „Reinertrag“, so erhält man die in Quadratkilometer ausgedrückte Jahresleistung.

Ein Vergleich dieser Werte mit jenen anderer Aufnahmefethoden läßt die Überlegenheit der Scheimpflug-schen Aerophotogrammetrie erkennen.

Deshalb ist letztere auch das ökonomischste Vermessungsverfahren, vorausgesetzt, daß es mit einer ausreichenden, d. h. den anderen Methoden nicht nachstehenden Genauigkeit zu arbeiten vermag.

III. Die Ausarbeitung.

Mit dem Entwickeln und Fixieren der belichteten Platten beginnt die Hausarbeit. Legt man die acht zu einem Panorama gehörenden Aufnahmen in der gleichen Weise zusammen wie sie aufgenommen wurden, so erhält man die in der Tafel wiedergegebene Gruppierung.

Damit ist natürlich nichts gewonnen, denn diese Geländebilder sind vorderhand noch unbrauchbar. Man muß sie daher in eine andere Form bringen. Dies unternahm Hauptmann Scheimpflug in der Weise, daß er die sieben Seitenbilder in die Ebene des Mittelbildes, bzw. in eine zu dieser parallele Ebene überführte.

Hiezu mußte er vorerst allerdings einen eigenen Transformationsapparat, den Photoperspektographen, konstruieren. Ing. Kammerer hat dieses Instrument (in vorstehender Fig. 8 dargestellt) zum Universaltransformator vervollkommen.

Um den Aufbau und die Wirkungsweise des letzteren Apparates zu erfassen, wollen wir einen Blick auf die schematische Zeichnung der Fig. 9 werfen.

Es ist eine aus der Übung hervorgegangene Ansicht, daß eine Linse von einem Gegenstand nur dann ein scharfes Bild zu zeichnen vermag, wenn derselbe mit seiner Fläche auf der optischen Achse dieser Linse senkrecht steht. Weder ein optisches noch ein perspektivisches Gesetz stützt diese Ansicht und deshalb befreite sich auch Scheimpflug von ihr. Es war ihm aber doch vollkommen klar, daß die Bildebene E_1 , in welcher sich der abzubildende Gegenstand AB befindet, nicht beliebig zur Bildebene E_2 , in welcher sein Bild $A'B'$ erscheinen soll, liegen darf, sondern daß da eine bestimmte Gesetzmäßigkeit herrschen müsse, welche allerdings erst zu ergründen war. Dem unermüdlichen Forscher gelang die Feststellung dieser Gesetze und das Ergebnis ist folgendes:

Legt man senkrecht auf die optische Achse einer bikonvexen Linse O durch selbe eine vertikale Ebene und wiederholt gleiches durch ihre beiden Brennpunkte, so erhält man im Grundriß, wie ihn Fig. 9 darstellt, die drei zueinander parallelen Geraden $b_1 b_1$, OO und $b_2 b_2$. Zieht man nun unter einem beliebigen Winkel die im Grundriß ebenfalls als Gerade erscheinende Bildebene E_1 , so schneidet diese die Ebenen $b_1 b_1$ und OO nach je einer vertikalen, im Bilde als Punkt erscheinenden Geraden.

Der Schnitt der Ebenen E_1 und OO gibt die Kollineationsachse K , der Schnitt der Ebenen E_1 und $b_1 b_1$ gibt die Gegenachse I . Die durch IO gelegte Vertikalebene wird als Gegenebene G_1 bezeichnet. Die Lage der Bildebene E_2 ist nun dadurch bestimmt, daß diese Ebene durch die Kollineationsachse K gehen und zur Gegenebene G_1 parallel laufen muß. Ist diese Bedingung erfüllt, so erscheint der ebene Gegenstand AB scharf und eben im Bilde $A'B'$ auf E_2 .

Damit ist der Grundsatz ausgesprochen, daß bei gegebenem optischen System jeder Stellung der einen Bildebene E_1 nur eine ganz bestimmte Stellung der zweiten Bildebene E_2 entspricht.

Wird nun E_1 irgendwie, z. B. nach E_1' , bewegt, so ergibt sich die neue Gegenachse I' und ihr entsprechend die neue Gegenebene G_1' , zu welcher durch K als Parallele die neue Bildebene E_2' resultiert. Würde, was beim Photoperspektographen der Fall war, E_2 nicht bewegt werden können, so muß die Linse O beweglich sein. Man erhält ihren der Bildebene E_1' entsprechenden Ort O' , wenn man durch I' die zu E_2 parallele Gegenebene G_2' legt und mit OO' zum Schnitte bringt; G_2' ist dann parallel zu E_1' .

Der Universaltransformator entstand aus dem Photoperspektographen nicht mit einem Schlage, sondern es fand eine stufenweise Entwicklung dieses zu jenem statt.

Das erste Modell des Photoperspektographen hatte überhaupt keine Bewegungsvorrichtungen und vermochte daher nur unter einem ganz bestimmten Winkel die eingelegten Bilder zu transformieren.

Beim zweiten Modell wurde durch Einbau von Bewegungsvorrichtungen die Transformation für bestimmte Winkel oder bestimmte Maßstäbe ermöglicht. Das Modell III gestattete die Transformation unter beliebigen, aber nicht zu kleinen Winkeln und unter beliebigen Maßstäben.

Das Modell IV, von Ing. Kammerer als „Universaltransformator“ bezeichnet, gestattet die Um-

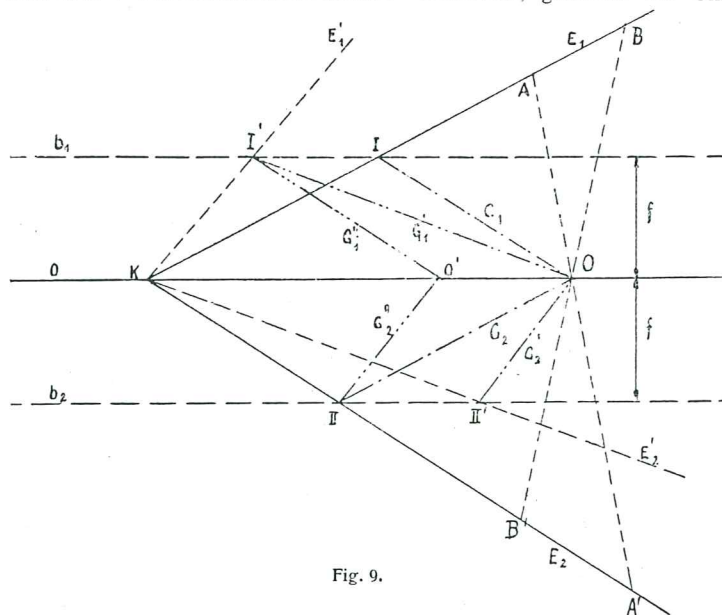


Fig. 9.

formung unter allen Winkeln und Maßstäben, wie gewöhnliche Vergrößerungen und Verkleinerungen, und findet auch zu der später noch abzuhandelnden Zentransformation Verwendung. Diese Vielseitigkeit läßt die Umbenennung vom „Photoperspektographen“ zum Universaltransformator als gerechtfertigt erscheinen.

Die Arbeit selbst besteht aus zwei, theoretisch streng voneinander zu scheidenden Teilen, der Maßstab- und der Winkeltransformation. Wenn auf der einen Seite des Apparates ein Bild eingeführt wird, so bildet die Linse O (s. Fig. 9) auf der zweiten Bildebene ein dem Kollineationswinkel $E_1 K E_2$ entsprechendes, in ganz bestimmtem Maßstabe gehaltenes Bild von dem nun als Objekt aufzufassenden ursprünglichen Bilde.

Wird gleichzeitig ein bestimmter Maßstab verlangt, so führt diese Forderung zu einer Überbestimmung. Es ist zufällig möglich, aber durchaus nicht unbedingt notwendig, daß $A'B'$, das Bild von AB in Fig. 9, gerade in dem gewünschten Maßstabe erscheine.

Beim Universaltransformator kann man diesem Dilemma dadurch ausweichen, daß man zuerst die Winkeltransformation besorgt und dann die eventuell noch erforderliche Maßstabänderung nachholt. Bei letzterer müssen natürlich die beiden Bildebenen E_1 und E_2 zueinander parallel stehen.

Die Durchführung der photographischen Arbeit erfolgt diesmal, wie auch bei allen anderen Gelegenheiten, die Auf-



nahme ausgenommen, nicht mit Sonnen-, sondern mit Quecksilberlicht.

Von der im vorigen Kapitel beschriebenen „Sternaufnahme“ her kennen wir den „Transformations-

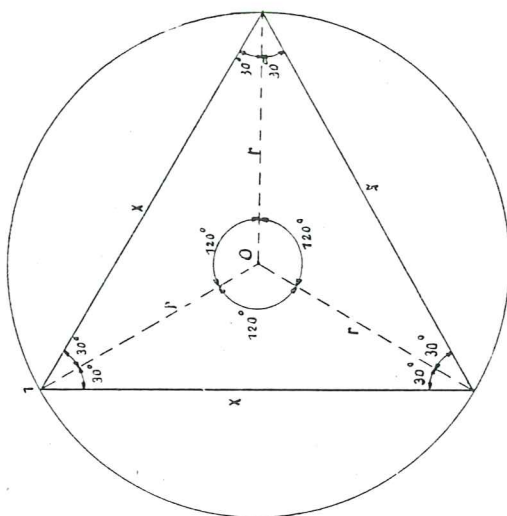


Fig. 10.

winkel“ und können nun diese Operation so vornehmen, daß wir entweder die beiden Bildebenen um diesen Winkel zueinander verstellen oder von der umzuphotographierenden rechteckigen Platte, dem Transformationswinkel entsprechend, die Umfassungsfigur, ein Trapez, ermitteln, dieses auf einer Paßplatte aufzeichnen und nun diese Platte mit der umzubildenden durch entsprechende Handhabung der Bewegungseinrichtungen des Universaltransformators zur Deckung, zur optischen Koinzidenz, bringen. Dann wird die Paßplatte durch eine lichtempfindliche ersetzt, das Quecksilberlicht aktiviert und die Aufnahme vorgenommen.

Hiebei befindet sich der Operateur auf der Seite der Paßplatte. Er sieht also durch sie und die Linse auf das im Bedarfsfalle entsprechend zu beleuchtende Bild. Will ihm die Herbeiführung der optischen Koinzidenz nicht gelingen, so deutet dies auf eine fehlerhafte Ermittlung entweder des Winkels oder des Maßstabes der Transformation. Beides erkennt der Operateur leicht durch folgende Betrachtung. Will sich das Trapez als Bild des zu transformierenden Rechteckes mit dem Original des letzteren nach keiner Richtung hin decken, so ist eine Änderung des Transformationswinkels notwendig. Erscheint das Bild des Originalrechteckes als dem Transformationstrapez ähnlich, also winkelgleich, aber größer oder kleiner als dieses, so muß letzteres eine Maßstabänderung erfahren.

Um diese Arbeit in einem Apparate durchzuführen, hat Ing. Kammerer eben den Photoperspektographen zum Universaltransformator entwickelt.

Mit der Transformation allein ist natürlich die Arbeit des „Planierens“ nicht beendet. Es müssen noch die acht Einzelaufnahmen zu einem einheitlichen Bilde, dem Bildpanorama, auch kurzweg Panorama genannt, vereinigt werden. Dies wird natürlich auch auf photographischem Wege erzielt und hiezu ein trommelförmiger Paßapparat verwendet.

Dieses vertikal stehende Instrument hat oben eine Paß-, unten eine lichtempfindliche Platte. Auf ersterer sind die Konturen der acht transformierten Platten eingeritzt. Von ihnen wird nun eine nach der anderen genau aufgelegt und ringsum in allen Teilen lichtdicht überdeckt. Mit Hilfe des Quecksilberlichtes erfolgt jetzt das sukzessive Umphotographieren der Platten. Das Ergebnis ist ein einheitliches und zugleich auf die Brennweite von 90 mm gebrachtes Panorama. (Siehe Tafel I, Fig. 7 und 7a.)

Dieses Panorama gibt ein Bild des aufgenommenen Geländes unter jener Neigung wieder, welche der Panorama-Apparat zur Zeit der Aufnahme hatte. Weil aber Karten

selbstredend genau horizontal sein müssen, ist ein geneigtes Bild für selbe unbrauchbar und es muß deshalb eine besondere, als Horizontieren bezeichnete Operation ausgeführt werden. Dies kann entweder mit Hilfe der bereits bekannten „optischen Koinzidenz“ oder mittels Rechnung erfolgen. In jedem Falle braucht man hiefür ein System von Stützpunkten in der Natur, die Triangulierung.

Wir wollen nun feststellen, welchen Umfang letztere haben muß.

Aus dem vorhergehenden Kapitel wissen wir bereits, daß der Halbmesser r des von einer Aufnahme überdeckten Kreises das 2,5fache der Aufnahmehöhe h ist

$$r = 2,5 h.$$

Wenn wir nun auf die außerhalb dieses Kreises fallenden und ganz unbedeutenden Partien der Aufnahme verzichten, so können wir sagen, daß die größte Länge einer Triangulierungsseite erhalten wird, wenn man in den Aufnahmekreis ein gleichseitiges Dreieck (Fig. 10) konstruiert.

Aus diesem Bilde folgt gemäß dem Sinussatz die Proportion

$$x : r = \sin 120^\circ : \sin 30^\circ$$

und daraus

$$x = \frac{\sin 120^\circ}{\sin 30^\circ} \cdot r$$

Wegen $\sin 120^\circ = \cos 30^\circ$, und $\frac{\cos 30^\circ}{\sin 30^\circ} = \cotg 30^\circ = 1,73205$, wird $x = 1,73205 \cdot r$ und wegen $r = 2,5 h$ und $2,5 \cdot 1,73205 = 4,33$

$$x = 4,33 h.$$

Die Originalaufnahme ist gemäß den Ausführungen des 2. Kapitels im Maßstabe 1 : 10.000 gedacht. Diesem entspricht eine Aufnahmehöhe von 900 m, und die Einführung letzteren Wertes ergibt

$$x = 4,33 \times 900 = 3897 \text{ m}$$

d. h. die Seite eines Triangulierungsdreieckes darf, wenn alle drei Punkte desselben auf ein Panorama fallen sollen, die Länge von 4 km nicht ganz erreichen.

Nun ist es aber nicht notwendig, daß alle drei Punkte auf eine Platte (ein Panorama) fallen. Es wurde vielmehr schon gesagt, daß es vollkommen genügt, wenn sich diese

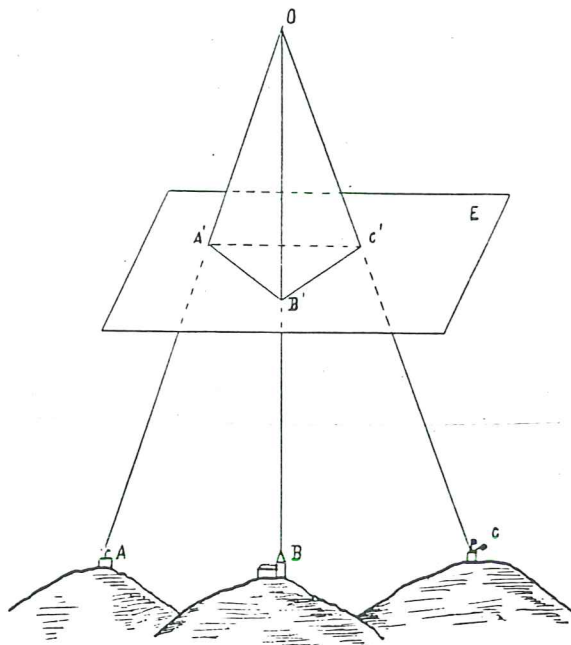


Fig. 11.

Triangulierungspunkte auf eine Gruppe zusammenhängender Panoramen verteilen. Es muß dann nicht ein dem oben errechneten Werte entsprechendes Triangulierungsnetz IV



Ordnung (Seitenlänge nicht über 5 km) festgelegt werden, sondern man kann mit einem viel weitmaschigeren, daher auch billigeren Netze auslangen.

Aber auch die Bedingung, daß alle drei Triangulierungspunkte auf einem Panorama zu liegen haben, erfordert kein komplettes Triangulierungsnetz von 4 km Seitenlänge, denn auch da werden die angrenzenden und die bereits horizontierte Platte übergreifenden Panoramen nach dieser und nicht mit Hilfe von terrestrischen Fixpunkten horizontal gestellt.

Beides kann auf Grund von je zwei benachbarten Platten genau festzustellenden identen Punkten entweder durch optische Koinzidenz oder durch Rechnung erfolgen.

Die Horizontierung geschieht bei der optischen Koinzidenz in der bei der Besprechung der Transformation der seitlichen Platten bereits angegebenen Weise, nur wird diesmal auf der Paßplatte das bekannte Triangulierungsdreieck ersichtlich gemacht. Will sich die optische Übereinstimmung der beiden Dreiecke nicht erzielen lassen, so besteht eine Maßstabdifferenz, welche in der bereits geschilderten Weise mit Hilfe des Universaltransformators ermittelt und nach Parallelstellen seiner beiden Bildebenen behoben werden kann.

Zur Rechnung wird immer gegriffen werden müssen, wenn, was hier stillschweigend vorausgesetzt wurde, die drei Triangulierungspunkte nicht auf einem Panorama liegen. Die Horizontierung erfolgt dann mit Zuhilfenahme der analytischen Geometrie des Raumes. Natürlich kann man sie auch anwenden, wenn alle drei Triangulierungspunkte auf ein Panorama fallen.

Wie in diesem Falle vorzugehen ist, möge an Hand der vorstehenden Fig. 11 erläutert werden:

Auf der Bildebene E des betreffenden Panoramas erscheinen die Bilder $A'B'C'$ der drei Triangulierungspunkte

$A B C$. Die Horizontierung ist gelungen, wenn man mit Hilfe der bekannten Bildweite die Pyramide $O A' B' C'$ konstruiert und daraus jene $O A B C$ ermittelt hat. Es müssen also folgende Punktpaare in je eine Gerade gebracht werden: $O A' B$, $O B' B$ und $O C' C$.

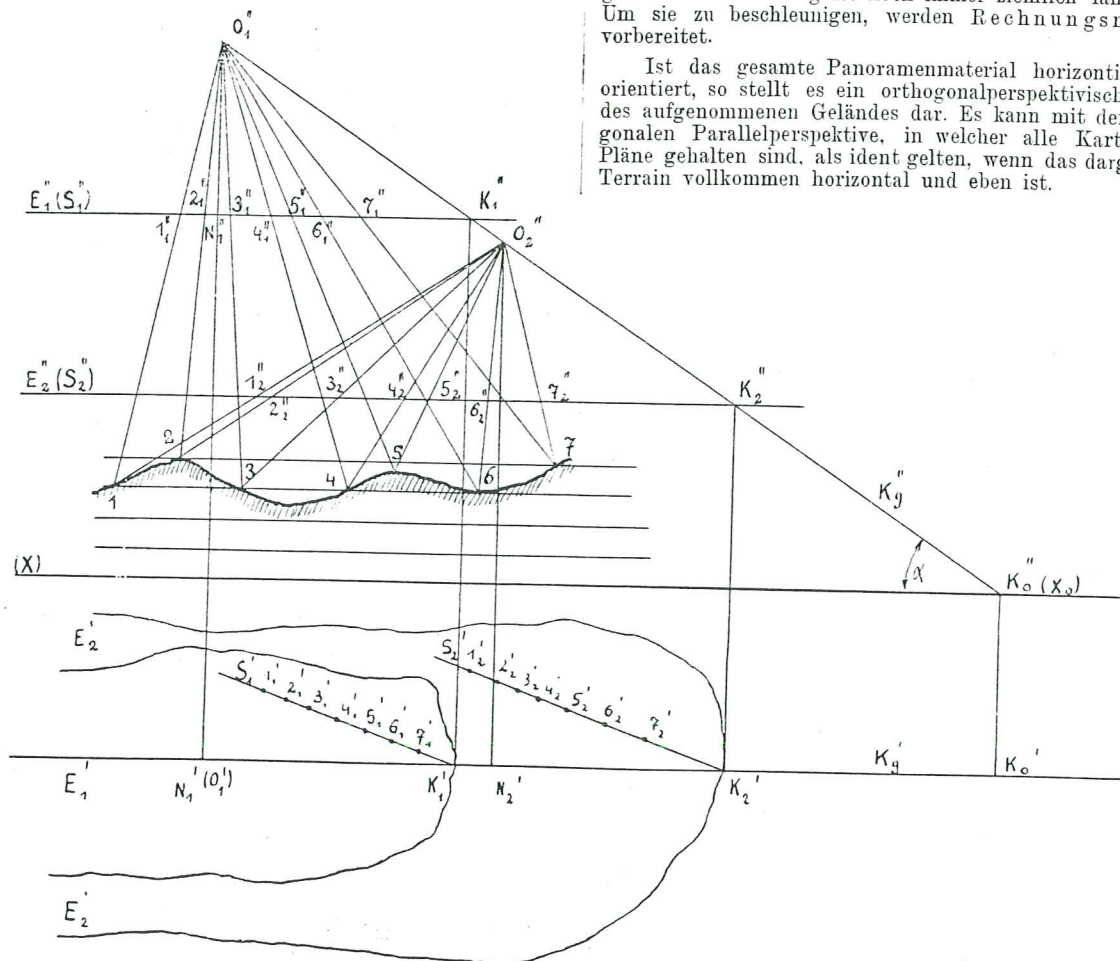
Um zu diesem Ziele zu gelangen, löst man zuerst die kleine Pyramide $O A' B' C'$ auf, damit man von ihr alle Seiten und Winkel kennt. Sodann legt man durch irgend einen der drei Triangulierungspunkte, z. B. durch A, ein Raumkoordinatensystem derart, daß die X-Achse in der Zeichenebene horizontal verläuft, die Y-Achse in der Horizontalen zum Beschauer aus der Zeichenebene heraustritt und die Z-Achse, in der Zeichenebene liegend, eine vertikale Richtung erhält. Weiters legt man mit den Mittelpunkten nacheinander in A, B und C durch die Spitze O je eine Kugel. Zwei Kugeln schneiden sich bekanntlich nach einem Kreise, also in einer Ebene, zwei Ebenen in einer Geraden, zwei Gerade in einem Punkte. Die drei von uns gelegten Kugeln geben daher drei Schnittebenen, und zwar jene, in welchen die Pyramidenseiten

$$\begin{aligned} &O A' A \quad B B' O \\ &O B' B \quad C C' O \\ &\text{und } O C' C \quad A A' O \end{aligned}$$

liegen, ferner drei Schnittgerade $O A' A$, $O B' B$ und $O C' C$ und schließlich einen Schnittpunkt O, denn dieser ist den drei obgenannten Geraden gemeinsam. Die gänzlich durchgeführte Rechnung gibt daher den Punkt O als Schnitt dreier Geraden, kontrolliert also dessen durch den Schnitt von zwei Geraden bereits bestimmte Lage. Das Ergebnis ist die genaue Kenntnis einer zwischen E und dem Horizont eventuell bestehenden Neigung, die auszuschalten der Universaltransformator bestimmt ist.

Die hier nur ihrem prinzipiellen Verlaufe nach vorgezeichnete Rechnung ist noch immer ziemlich langwierig. Um sie zu beschleunigen, werden Rechnungsmuster vorbereitet.

Ist das gesamte Panoramenmaterial horizontiert und orientiert, so stellt es ein orthogonalperspektivisches Bild des aufgenommenen Geländes dar. Es kann mit der orthogonalen Parallelperspektive, in welcher alle Karten und Pläne gehalten sind, als ident gelten, wenn das dargestellte Terrain vollkommen horizontal und eben ist.



Das wird aber stets ein Ausnahmefall sein, und deshalb ist als weitere photogrammetrische Arbeit die Ersichtlichmachung der Geländeformen, das Plastizieren, vorzunehmen. Auch da hat Hauptmann Scheimpflug zwei Wege gewiesen, welche beide die Konstruktion äquidistanter Höhenschichtenlinien zum Ziele haben. Der eine Weg, als Kernflächenmethode bezeichnet, nimmt eine geometrische Konstruktion zu Hilfe, während beim zweiten ein auf den Prinzipien der Stereometrie aufgebauter „Schichtenzeichner“ Verwendung findet.

Die Kernflächenmethode möge an Hand der vorstehenden Fig. 13 erläutert werden. X ist die Abszissenachse eines rechtwinkligen Koordinatensystems, E_1 und E_2 sind zwei horizontierte und gegenseitig orientierte Panoramen, welche mit E_1'' , bzw. E_2'' für den Aufriß und E_1' , bzw. E_2' für den Grundriß bezeichnet werden mögen.

Infolge der vorausgesetzten Horizontierung und Orientierung kennt man auch die beiden Aufnahmepunkte O_1'' und O_2'' , nebst ihren Nadiren N_1'' und N_2'' , im Grundriß deckt sich O_1' mit N_1' , O_2' mit N_2' . Die geradlinige Verbindung von O_1'' mit O_2'' gibt die Kerngerade Kg' (bzw. Kg'').

Ist sie, wie in Fig. 13 dargestellt, gegen den Horizont geneigt, so schließt sie mit demselben den Kernwinkel α ein. Dann durchstoßt sie die beiden Bildebenen und den Horizont. Diese Punkte bezeichnet man als Kernpunkte K_0' , K_0'' , K_1' , K_1'' , K_2' , K_2'' . Wird der Kernwinkel $\alpha = 0$, so liegt die Kerngerade horizontal und die Kernpunkte fallen in unendliche Entfernung.

Jede durch diese Gerade gelegte Ebene heißt Kernfläche, ihr Schnitt mit einer Bildebene Kernspur. Jene Kernfläche, welche durch die Nadire (N_1' N_1'' , bzw. N_2' N_2'') geht, wird Hauptkernfläche und ihre Spur demgemäß Hauptkernspur genannt. Im Grundriß decken sich letztere und die Kerngerade. Liegen die Kernpunkte in endlicher Entfernung, so müssen sich alle Kernspuren einer Bildebene im Kernpunkte dieser Ebene schneiden. Fallen die Kernpunkte in die Unendlichkeit, so laufen im Grundriß die Kernspuren zur Hauptkernspur, d. i. die geradlinige Verbindung der beiden Nadire, parallel.

Jede im Grundriß durch den Kernpunkt eines Panoramas gezogene Gerade ist daher eine Kernspur. Die ihr im zweiten Panorama entsprechende Spur findet man mit Hilfe der Überlegung, daß eine Ebene (hier die Kernfläche) zwei horizontale also zueinander parallele Ebenen (hier die beiden Bildebenen) nur nach parallelen Geraden schneiden kann. Es ist also

$$S_1 \parallel S_2 \text{ und } \rho_1 = \rho_2$$

Die Linse des Aufnahmeapparates^{*)} oder auch das Auge des Beobachters bewegen sich stets in der Kerngeraden. Beiden erscheint daher jede Kernfläche nur als eine Gerade, und zwar als die Kernspur.

Zieht man daher irgend eine Kernspur, z. B. S_1 und wählt auf dieser einige leicht kenntliche Punkte $1_1'$ bis $7_1'$, so müssen auf der entsprechenden (konjugierten) Kernspur S_2' diese Punkte in $1_2'$ bis $7_2'$ ebenfalls erscheinen. Drehen wir beide Kernspuren in die Hauptkernspur, so erscheinen sie im Aufriß als in E_1'' , bzw. E_2'' , liegend. Gleiches gilt von den Punkten $1_1''$ bis $7_1''$ und $1_2''$ bis $7_2''$. Zieht man nun zu letzteren die „Kernstrahlen“, das sind die entsprechenden Verbindungen mit den Augpunkten O_1'' , bzw. O_2'' , so muß in jedem derselben der gleich bezeichnete Raumpunkt 1 bis 7 liegen. Er liegt daher im Schnitte je zweier zusammengehörender Kernstrahlen. Auf diese Weise gelangt man zum Profil 1 bis 7.

Wegen der vorausgegangenen Horizontierung kennt man nun in jedem Panorama mindestens einen Punkt (den Triangulierungspunkt) seiner

Seehöhe nach. Mit Hilfe des Stereokomparators ist es möglich, die Seehöhe eines jeden anderen Punktes im Panorama zu bestimmen, wenn nur dieser Punkt in jener Zone liegt, welche beiden, einander übergreifenden Panoramen gemeinsam ist. Man kann deshalb auch in jedem Profil die Seehöhe beliebig vieler Punkte bestimmen und daraus mittels Interpolation die für den beabsichtigten Kartenzweck als erforderlich erkannten Schichten, z. B. jene mit 10, 20, 50 oder 100 m Höhenabstand, ermitteln. Sie alle erscheinen im Profil als gerade Linien (siehe Fig. 13). Ihr Schnitt mit der Profillinie gibt einen Punkt der gesuchten Höhenschichtenkurve. Er wird mit Hilfe des Kernstrahles in die Bildebenen E_1'' und E_2'' überführt und von diesen in den Grundriß übertragen, indem man seinen Abstand vom Kernpunkte, die Kernlänge, z. B. $K_1'' 1_1''$ u. s. w., von K_1' gegen S_1' zu aufträgt. Beschreibt man jeden dieser Kurvenpunkte mit der zugehörigen Seehöhe, und wird das Verfahren genügend oft wiederholt, so resultiert für jede Höhenschichte in den Panoramen je eine Punktreihe und nach deren stetiger Verbindung eine Kurve, deren richtigen Verlauf man durch Übereinanderlegen der einander übergreifenden Panoramen kontrollieren und sodann im Bedarfsfalle richtigstellen könnte, wenn diese Panoramen in orthogonaler Parallel- und nicht in ebensolcher Zentralperspektive gezeichnet wären.

Um diese Prüfung und Richtigstellung zu ermöglichen, muß daher vorerst eine Transformierung aus den zentralen in die Parallelperspektive vorgenommen werden. Sie ist auch im zweiten Falle, beim stereometrischen Verfahren notwendig und soll daher nach dessen Besprechung behandelt werden.

Die Grundlage des letztgenannten Verfahrens ist die Ausnützung des Stereoskops, des bekannten, die ebenen Bilder körperlicher Gegenstände auch körperlich zeigenden Instruments.

Dieses bekannte Gerät hat Dr. Pulfrich in Jena durch Beigabe einer Mikroskopoptik, sowie geeigneter Antriebs- und Meßvorrichtungen zu dem in Fig. 13 dargestellten Präzisionsinstrument ausgestaltet.

Auf einem eisernen Unterbau befinden sich die beiden verstellbaren Plattenträger, vor ihnen auf einem Bügel das längs desselben verschiebbare Mikroskop, rückwärts die zum Beleuchten der eingespannten Diapositive erforderliche Licht-

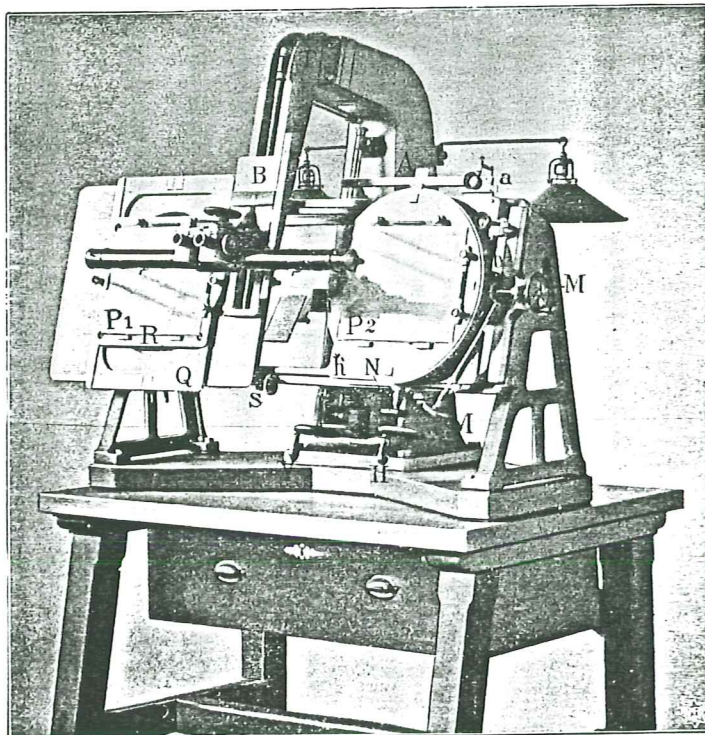


Fig. 13. Stereokomparator.

^{*)} Es ist hier von einer einzigen Linse die Sprache, weil durch das Planieren und Transformieren auf 90 mm Brennweite die Panoramen als mit nur einer Linse aufgenommen angesehen werden können.

quelle (zwei Glühlampen) und vorne unten die Antriebsvorrichtungen.

In der Fadenzkreuzebene des linken Mikroskops ist eine feste, in jener des rechten eine mit Hilfe einer Mikrometerschraube bewegliche Marke eingesetzt. Für den in die beiden Okulare blickenden Beschauer vereinigen sich die Bilder beider Marken bei richtig justiertem Apparat zu einer einzigen, zur „Wandernden Marke“, welche frei im Raume zu schweben scheint. Läßt man selbe auf irgend einem Gegenstand aufsitzen und liest die hierbei vorgenommene Verschiebung des rechten Markenteiles an der vorgesehenen Teilung ab, so erhält man die Parallaxe d.

Blicken wir nun auf Fig. 13 zurück, so sehen wir, daß in unserem Falle e der Abstand eines Geländepunktes vom Auge, ein in einer Vertikalebene liegender Sehstrahl ist. Wir bekommen als Messungsergebnis somit den Höhenunterschied zwischen dem avisierten und dem seiner Lage im Raume nach bereits bekannten Aufnahmepunkt, daher in weiterer Folge auch die absolute, d. i. die Seeböhe des erstgenannten Punktes. Die Messungen in den beiden anderen Hauptrichtungen des Raumes gehen mit gleicher Genauigkeit, nur womöglich noch einfacher vor sich; bedürfen daher keiner Erklärung.

Es ist klar, daß man mit diesem Instrument nur auf

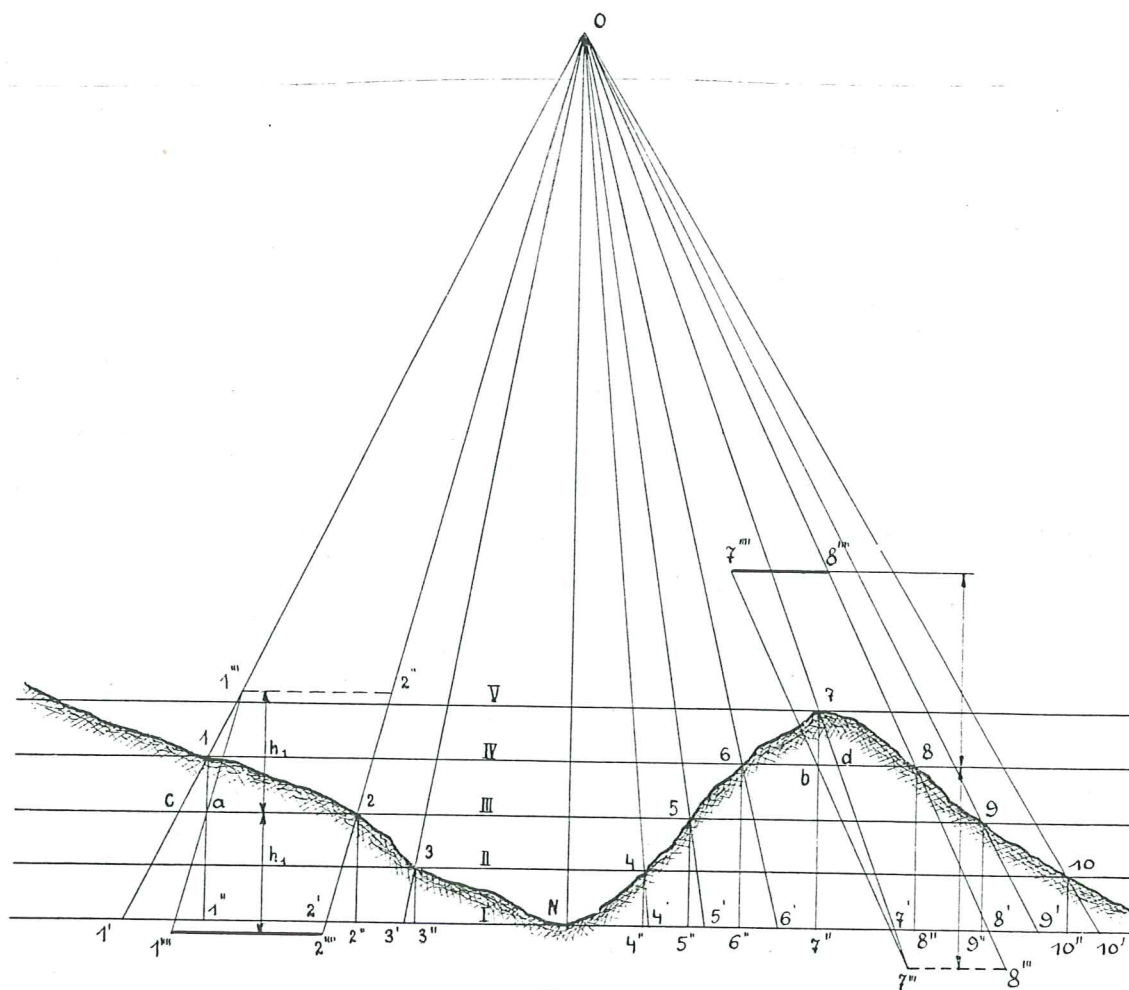


Fig. 14.

Zwischen der Entfernung e des zu messenden Gegenstandes vom Beschauer, d. h. vom Aufnahmepunkte der Brennweite des Mikroskops f , und dem Objektivabstande der Basis a besteht nun die Beziehung

$$e = \frac{f \cdot a}{d}$$

f und a sind bei jedem Stereokomparator konstant; d wird an der zugehörigen Teilung abgelesen, e ist daher eindeutig bestimmt.

Auf dieser Formel beruht das stereoskopische Entfernungsmessen. Es arbeitet auf 0.01 mm genau. Im Maßstab 1:10.000 ist daher der unvermeidliche Fehler 1 dm, eine Genauigkeit, welche von den anderen Instrumenten vielleicht erreicht, sicher aber nicht überboten wird.

*) Da hier nicht der Ort zur detaillierten Beschreibung des Stereokomparators ist, sei diesbezüglich auf die Schrift „Das Stereoskop und seine Anwendungen“ von Prof. Hartwig, 135. Bändchen der B. G. Teubnerschen Sammlung: „Aus Natur und Geisteswelt“, wie auch auf Dr. Pulfrichs Schrift: „Neue stereoskopische Methoden und Apparate für die Zwecke der Astronomie, Topographie und Metronomie“ verwiesen.

eine ganz bestimmte Entfernung körperlich sehen, daher auch nicht weiter messen kann.

Mit freiem und unbewaffnetem Auge, d. h. bei der Vergrößerung $v = 1$ und dem Augenabstand $a = 65$ bis 68 mm, ist dies nach Helmholtz*) bis 234 m möglich.

Ist aber infolge entsprechender Konstruktion ein größerer Augenabstand A , sowie eine die Einheit übersteigende Vergrößerung v vorhanden, so erscheint die obere Entfernung D für das stereoskopische Entfernungsmessen erreicht mit

$$D = 234 \cdot v \cdot \frac{A}{a}$$

für A kommt, und das festzuhalten ist wichtig, nie der Abstand der Mikroskopobjektive, sondern stets jener der Aufnahmestelle in der Natur, also bei uns der Horizontalabstand der Punkte O_1'' und O_2'' , welcher gleich dem Ab-

*) Andere Forscher geben andere, und zwar größere Zahlen an. Hier wurde absichtlich der kleinste Wert gewählt, weil er der ungünstigste ist.

stand beider Nadire $N_1' N_2'$, bzw. $N_1'' N_2''$ und gemäß den Ausführungen des vorigen Kapitels in der Regel gleich der Aufnahmehöhe H ist, in Betracht.

Bei dem den Originalaufnahmen zugrunde zu legenden Maßstabe 1:10.000 zukommenden Flughöhe von 900 m stellt sich somit der auch als Plastik bezeichnete Faktor

$$p = \frac{A}{a} \text{ auf:}$$

$$p = \frac{A}{a} \frac{900 \text{ m}}{65 \text{ mm}} = 13.846$$

und die obere Grenze der körperlichen Wahrnehmbarkeit auf $D = 234 \times v \times p = 234 \times 13.846 \times v$.

Die ausgeführten Stereokomparatoren können auf folgende drei Vergrößerungen eingestellt werden:

$$v_1 = 4, v_2 = 6 \text{ und } v_3 = 8$$

demgemäß vermag man mit ihnen zu messen bis rund $D_1 = 12.960 \text{ km}$, $D_2 = 19.440 \text{ km}$ und $D_3 = 25.920 \text{ km}$.

Das sind Werte, welche auszunützen niemals möglich sein wird, die daher zeigen, daß die unstarre und wechselnde, aber stets sehr große Basis (Abstand zweier Aufnahmeorte voneinander) eine praktisch unbeschränkte stereoskopische Ausmessung der mit dem Panorama-Apparat aufgenommenen Bilder gestattet.

Natürlich muß man die in den Stereokomparator einzusetzenden Bilder in einer gewissen Größe halten, deshalb erfolgt im Paßapparat ihre, ein kleineres Format liefernde Überführung auf 90 mm Brennweite, während jene des Panorama-Apparates 136 mm beträgt.

Wenn wir nun wissen, wie die stereoskopische Messung erfolgt, so können wir uns auch vorstellen, wie mit der auf eine bestimmte Augenentfernung, id est Seehöhe, eingestellten „Wandernden Marke“ Punkte gleicher Höhe zu bestimmen und selbe mit Hilfe eines an einem entsprechend ausgestalteten Hebelsystem angeordneten Zeichnistiftes sofort als Schichtenlinie darzustellen sind. Auf den Panoramen erscheinen sie dann natürlich wieder in orthogonaler Zentralperspektive.

Des weiteren ist es auch klar, daß man, falls die Schichtenlinien mit der zuerst besprochenen Kernflächenmethode konstruiert wurden, ihren Verlauf im Stereokomparator kontrollieren und im Bedarfsfalle richtigstellen kann.

Schließlich sei erwähnt, daß das eben genannte Hebelsystem, das ist der „Schichtenzeichner“, auch so gehalten sein kann, daß es zu gleicher Zeit auf einem Panorama die zentralperspektiven und auf einem Zeichenblatte die parallelperspektiven Höhenschichtenlinien darstellt.

Das letztere ist gewiß ein Vorteil, erspart aber die wiederholt erwähnte „Zonentransformation“ nicht.

Vorstehende Fig. 14 zeigt den Schnitt längs der Hauptkernfläche eines horizontierten, orientierten und plastizierten Panoramas.

Es bedeuten:

O den Aufnahmepunkt;

N den Nadir;

1 bis 10 das Profil in der Hauptkernfläche;

I bis V Höhenschichten.

Die Schnitte letzterer mit dem Profil geben die Isohypsen, welche sich im Panorama auf dem Horizont des Nadirs projizieren und somit in den Punkten 1' bis 10' erscheinen.

Nimmt man nun die einzelnen Abstände dieser Schichtenlinien, die Anlagen 1' 2', 2' 3' u. s. w. bis 9' 10' vor und vergleicht sie mit den Anlagen der orthogonalen Parallelperspektive 1'' 2'', 2'' 3'' u. s. w. bis 9'' 10'', so findet man, daß zwischen beiden stets Differenzen bestehen, welche in der Nähe des Nadirs und bei diesem gleich hohen Schichten am kleinsten sind, mit der Höhendifferenz und der Entfernung vom Nadir aber zunehmen. Diese Unterschiede hat Hauptmann Scheimpflug als „Umlegungen“ bezeichnet. Sie sind, wie eine Probe mit dem Zirkel sofort ergibt, positiv, d. h. die zentralperspektive Anlage ist größer auf dem dem Punkte O zugekehrten Hange, negativ auf der O abgekehrten Seite.

So ist z. B. $1' 2' > 1'' 2''$ dagegen $6' 7' < 6'' 7''$

Das zentralperspektive Bild gibt somit die Terrainformen nicht richtig wieder, denn die zugekehrten Hänge erscheinen zu flach, die abgekehrten zu steil. Liegt der von O ausgehende Sehstrahl gar in der Böschungsrichtung, so erscheinen die Schichtenlinien gänzlich zusammengeschoben und die Anlage verschwindet. Das entspricht einer vertikalen Wand.

Man erkennt somit die Notwendigkeit der „Zonentransformation“, der Umwandlung der zentralen in die Parallelperspektive. Sie wird im Gebirge viel notwendiger als im Flachlande, was aus Fig. 15 ohne weiteres hervorgeht.

Diese Figur zeigt auch das Mittel zur Behebung dieser Differenz. Es besteht in einer Maßstabänderung, hervorgerufen durch eine Änderung der Bildweite ON.

Zieht man beispielsweise durch den Punkt a eine zum Sehstrahl O 2 Parallele, so schneidet diese Gerade den Sehstrahl O 1 im Punkte 1'''. Die Strecke 1''' 2''' ist nun parallel zu a 2 und somit gleich groß wie dieses und auch wie 1' 2', hat daher die richtige Länge der parallelperspektiven Anlage 1' 2'. Um die Projektion der als konstant anzusehenden Zone 1, 2 von der Größe 1', 2' auf jene von 1' 2' zu bringen, muß man diese Zone vom Objektiv O entfernen, das Maß hierfür ist h_1 und der richtige Ort für 1''' 2'''.

Umgekehrt geht man bei dem abgekehrten Hange 7, 8 vor. Der Punkt b liegt senkrecht unter 7, b 8 ist daher die parallelperspektive Anlage von 7, 8, die durch b zu O 8 gezogene Parallele schneidet den Strahl O 7 in 7''' und führt so zur Kenntnis des Transformationsabstandes h_2 . Wird b 8 in die Lage 7''' 8''' gebracht, so verschwindet der Unterschied zwischen den Anlagen der zentralen und der Parallelperspektive.

Diese Arbeit besorgt der Universaltransformator, und zwar stellt man seine beiden Bildebenen zueinander parallel und setzt nur die jeweils zu transformierende Zone der Belichtung aus, während alles andere mit einer leicht abwaschbaren Farbe überdeckt, daher vor der Einwirkung des Quecksilberlichtes geschützt wird. Schließlich werden, falls dies nicht schon geschehen sein sollte, alle Panoramen abermals mit Hilfe des Universaltransformators auf den gleichen Horizont also auch Maßstab gebracht und die Arbeit des Photogrammeters ist beendet.

IV. Schlußbemerkungen.

Die aus dem photogrammetrischen Atelier stammenden Panoramen sind noch keine Karten. Ihnen fehlt vor allem anderes alles das, was die Linse des Aufnahmeapparates nicht sah, also die durch Bäume oder sonstwie verdeckten Wege, Wasserläufe u. dgl., dann alle Arten von Grenzlinien, die Höhenquoten, die Beschreibung und die geographische Orientierung.

Es ist klar, daß der Panoramaapparat nur das, was er sieht, und zwar so nachbilden kann, wie er es sieht. Waldwege z. B. wird er in den seltensten Fällen aufnehmen können; niemals aber wird er imstande sein, die Reichs-, Landes-, Gemeinde- und Besitzgrenzen, die konventionellen Zeichen und die Beschreibung aus eigenem zu liefern. All dies muß im topographischen Atelier nachgetragen werden. Die Arbeit daselbst beginnt also mit einer Begehung des von jedem Panorama überdeckten Terrains und einer nach vorstehendem durchzuführenden manuellen Vervollständigung des Lichtbildes.

Ist auf diese Weise jedes Panorama ergänzt, so ergibt sich mit Hilfe der von den Photogrammetern gelieferten und im vorigen Kapitel behandelten Verschränkung ein zusammenhängendes Bild des aufgenommenen Geländes. Die einander nicht übergreifenden Teile fallen weg und der Rest wird, wie es in der Kartendarstellung üblich ist, so zugeschnitten, daß der obere Rand des Kartenblattes nach Norden, der untere nach Süden, der rechte nach Osten, der linke nach Westen zeigt.

Das Ergebnis dieser Arbeit ist die nachstehende wiedergegebene Photokarte. (Tafel II, Fig. 15.)

Auf den ersten Blick scheint diese Darstellung genügend deutlich, und es macht den Eindruck, als ob man sich mit ihr zufriedengeben könnte. Sieht man jedoch näher zu, so findet man, daß die verschiedenen Helligkeitsgrade nicht nur verschiedenen Bodenformen, sondern auch verschiedenen Bodenbedeckungen entsprechen. Es ist also möglich, daß der Benützer der Photokarte sich irrt, was unter Umständen sehr ernste Folgen haben könnte.

Deshalb ist es notwendig, die Darstellung der Bodenform, des Terrains, von jener der Bodenbedeckung, des Gerippes, scharf zu trennen. Die Kartographie hat in beiden Richtungen bereits Erspreßliches geleistet. Das Gerippe wird mit Hilfe „konventioneller Zeichen“, das Gelände mittels „plastischer Methoden“ dargestellt. Zu letzteren zählen die Schatten- und die Farbenplastik. Die Schattenplastik arbeitet entweder mit Schraffen oder mit der Schummerung. In beiden Fällen wird nach dem Grundsatz „Je steiler, desto dunkler“ verfahren. Dieses gut entsprechende Gesetz soll auf König Friedrich II. von Preußen zurückzuführen sein, welcher seinem Kartographen sagte: „Wo ich nicht hin kann, da mache er einen Klecks“. Beide Methoden sind heute, besonders infolge der Förderung, welche sie in unserem Militärgeographischen Institute erfahren, so ausgebildet, daß ein geübtes Auge die dargestellten Formen leicht lesen kann. Aber darin, daß es eben ein geübtes Auge sein muß, liegt ihr Mangel. Sie sind nicht imstande, eine auch für Mindergeübte ausreichende „Anschaulichkeit“ zu vermitteln.

Die Sache war nicht besonders wichtig, ins solange die Karten vornehmlich militärischen oder technischen Zwecken dienten. Sie änderte sich aber mit dem Aufkommen der Touristik und besonders mit dem Aufschwunge der Luftschiffahrt. Der Tourist besitzt meist nicht die Zeit und Gelegenheit, eine ausreichende Gewandtheit im Kartenlesen zu erwerben. Ähnliches gilt vom bürgerlichen Luftfahrer. Der Militärpilot verfügt zwar über eine genügende Fertigkeit, doch kommt bei ihm der Faktor Zeit sehr in Betracht. Er kann nicht lange das Kartenbild studieren, sondern er muß blitzschnell dessen Formen erkennen.

Aus allen diesen Ursachen entstand das Bedürfnis nach einer besseren, deutlicheren Plastik, als die Schraffierung und Schummerung bieten können. Sobald einmal dieses Bedürfnis erkannt war, wurde es auch befriedigt.

Dr. Karl Peucker, der allen Luftschifffern bestbekannte Kartograph des Hauses Artaria & Co., hat eine auf dem Sonnenspektrum beruhende Höhenschichtenskala entworfen und damit den angestrebten Zweck vollkommen erreicht.

Den Lesern unserer Zeitschrift sind die Arbeiten des Herrn Dr. Peucker von den Luftschifffertagen wohlbekannt. Ich brauche daher auf deren Details nicht einzugehen, kann mich vielmehr mit der Bemerkung begnügen, daß die von Dr. Peucker als spektraladaptive Skala bezeichnete Farbenreihe die Geländeform nach dem Grundsatz: „Je höher, desto intensiver“ in geradezu überraschender Plastik zum Ausdruck bringt, ohne das Gerippe zu verdecken.

Als Nachteil wäre höchstens die durch die vielstufige Farbenreihe bedingte Mehrarbeit in der Kartenherstellung und der daraus folgende höhere Gestehungspreis zu nennen. Diesem Nachteil suchte Herr Dr. Peucker dadurch zu begegnen, daß er neben der genannten noch eine „adaptivperspektive Skala“ entwarf, welche nur mit zwei Farben: grau oder blau und gelb, arbeitet.

Auf jeden Fall kann man sagen, daß wir heute schon imstande sind, Karten herzustellen, deren Plastik die Form des dargestellten Raumes mit aller wünschenswerter Treue wiedergibt.

Herr Dr. Peucker hat daher vollkommen recht, wenn er die aus dem photogrammetrischen Atelier kommende, vom Geotopographen ergänzte und von ihm mit der Terrainplastik versehene Karte als raumtreue Photokarte bezeichnet.

Mit deren Fertigstellung ist der ganze Prozeß beendet.

Es spricht für Hauptmann Scheimpflugs Verfahren, daß es auch für andere, denn für Landvermessungszwecke verwendbar ist. Hierauf einzugehen will ich aber vermeiden, weil ich dabei den Rahmen dieses Aufsatzes überschreiten würde.

