

Internat. Arch. f. Photogrammetrie

INTERNATIONALES ARCHIV FÜR PHOTOGRAMMETRIE. ORGAN

DER
„INTERNATIONALEN GESELLSCHAFT FÜR PHOTOGRAMMETRIE“.

UNTER MITWIRKUNG DER HERREN:

E. DEVILLE, GENERAL-SURVEYOR IN CANADA; PROF. DR. S. FINSTERWALDER IN MÜNCHEN; PROF. K. FUCHS IN PRESSBURG; DR. M. GASSER, PRIVATDOZENT DER TECHN. HOCHSCHULE IN DARMSTADT; PROF. DR. N. HERZ IN WIEN; PROF. DR. HOHENNER IN DARMSTADT; K. U. K. GENERAL BARON A. HÜBL IN WIEN; PROF. DIPL. ING. A. KLINGATSCH IN GRAZ; PROF. DR. W. LÁSKA IN PRAG; PROF. DR. A. MARCUSE IN BERLIN; GEH. BAURAT PROF. DR. A. MEYDENBAUER IN GODESBERG A. RHEIN; INGENIEUR-GEODÄSE P. PAGANINI IN FLORENZ; DR. C. PULFRICH IN JENA; A. RANZA, TENENTE INGEGNERE IN ROM; J. SACONNEY, CAPITAINE DU GÉNIE IN PARIS; REGIERUNGSRAT DIREKTOR F. SCHIFFNER IN WIEN; PROF. TH. SCHMID IN WIEN; PROF. DR. SERVUS IN CHARLOTTENBURG; C. TARDIVO, CAPITANO DEL GENIO IN ROM; INGENIEUR R. THIELE, STAATSRAT IN MOSKAU; INGENIEUR DR. J. TORROJA IN MADRID; TOPOGRAPH A. O. WHEELER IN CANADA.

REDIGIERT

VON

EDUARD DOLEŽAL,

O. Ö. PROFESSOR AN DER K. K. TECHNISCHEN HOCHSCHULE IN WIEN.

II. BAND.

1909—11.

WIEN UND LEIPZIG.

K. U. K. HOF-BUCHDRUCKEREI UND HOF-VERLAGS-BUCHHANDLUNG

CARL FROMME.

1911.

122065
11 5-112

meines Autopanoramagraphen von Hauptmann Uljanin ausgeführten Aufnahme der Station Pruschkow war vorzüglich; hiebei wurden von letzterem seine Meßtabellen zur Bearbeitung des Planes mit Erfolg verwendet.

Über Orientierung von Ballonaufnahmen.

Von Hauptmann Theodor Scheimpflug in Wien.

Vortrag, gehalten in der Monatsversammlung der Photogrammetrischen Gesellschaft zu Wien am 15. April 1909.

Kaum war die Aeronautik irgend leistungsfähig, so begann auch schon im Jahre 1858 mit Nadars Versuchen die Ballonphotographie und Nadar selbst war auch der Erste, der über Anregung Laussedats und im Verein mit ihm daran gedacht hat, seine Photographien zu militärischen Rekognoszierungs- und zu Vermessungszwecken zu verwenden. Das geschah sowohl vor Solferino den Österreichern gegenüber, als im Jahre 1870 den Preußen gegenüber.

Über die Art und Weise, wie man damals die Ballonbilder zu orientieren trachtete, ist mir eigentlich Näheres nicht bekannt, doch glaube ich nicht weit fehl zu gehen mit der Annahme, daß man sich damals noch bemühte, die photographische Kamera im Moment der Aufnahme vom festen Boden aus einzumessen und die Gleichzeitigkeit der photographischen Aufnahme und der Einmessung von unten durch entsprechende Signale zu sichern. Das System war aber kompliziert und dürfte in den seltensten Fällen gelungen sein.

Die Schwierigkeiten der Orientierung der Ballonbilder, denen damals Laussedat begegnete und die ihn verhinderten, auf diesem Spezialgebiete nennenswerte Erfolge zu erzielen, bestehen im Wesen noch heute und das ist auch der Grund, warum wir auf diesem Gebiete nicht schon viel weiter sind. Denn die geodätische Orientierung der Ballonaufnahmen gilt als das Grundproblem der Ballonphotogrammetrie, ohne dessen befriedigende Lösung ein gedeihliches Arbeiten überhaupt nicht denkbar erscheint.

Ich will versuchen, heute klarzulegen, was auf diesem Gebiete bereits geschehen ist und was noch zu tun ist. kurz, wie diese Frage heute steht. Jedoch habe ich weder den Ehrgeiz, noch angesichts der beschränkten Zeit, die mir zur Verfügung steht, die Möglichkeit, allzuviel ins Detail zu gehen und alles, was in dieser Frage versucht wurde, hier vorzuführen, sondern möchte mich darauf beschränken, die leitenden Gesichtspunkte der Gesamtentwicklung klarzulegen und werde nur jene Lösungen tatsächlich erläutern, die mir für den ganzen Entwicklungsgang typisch zu sein scheinen oder besondere praktische Wichtigkeit besitzen.

Soviel mir bekannt geworden ist, war der jetzige Direktor Schiffner der Erste, der in seinem Lehrbuche „Die photographische Meßkunst etc.“, erschienen im Jahre 1892 bei Wilhelm Knapp in Halle a. Saale, die Ballonphotographie und deren Verwertung theoretisch behandelte. Dort findet sich

auch ein Gedanke ausgesprochen, der sich späterhin als fruchtbar erwies. nämlich die Verwertung von Lotleinen, die vom Ballon herabhängen, zur Ermittlung des Nadirpunktes.

Der betreffende Passus lautet: „VIII. Ballonphotographie Der Hauptpunkt wird in vielen Fällen von selbst sich ergeben. Die Bilder aller vertikalen Objekte müssen zu diesem Punkte gerichtet sein. In Ermangelung solcher Objekte wird es keine Schwierigkeiten machen, vertikale Linien zu markieren, z. B. in der Weise, daß zwei bis drei Lote vom Ballon nach abwärts hängen.“

Auch E. Deville widmet in seinem bekannten Werke „Photographie surveying“, Ottawa 1895, ein kurzes Kapitel der Ballonphotogrammetrie und setzt hier bereits voraus, daß man mit horizontalen Platten arbeitet.

Eine sehr bemerkenswerte Lösung der Frage, welche hierzulande wahrscheinlich weniger bekannt geworden ist, stammt von einem Amerikaner, Mr. Cornel Berrien Adams, und findet sich in einer amerikanischen Patentschrift aus dem Jahre 1893. Die Lösung ist für die damalige Zeit merkwürdig gut und zeugt für den großen praktischen Sinn der Amerikaner. (Fig. 1, 2, 3, 4.)

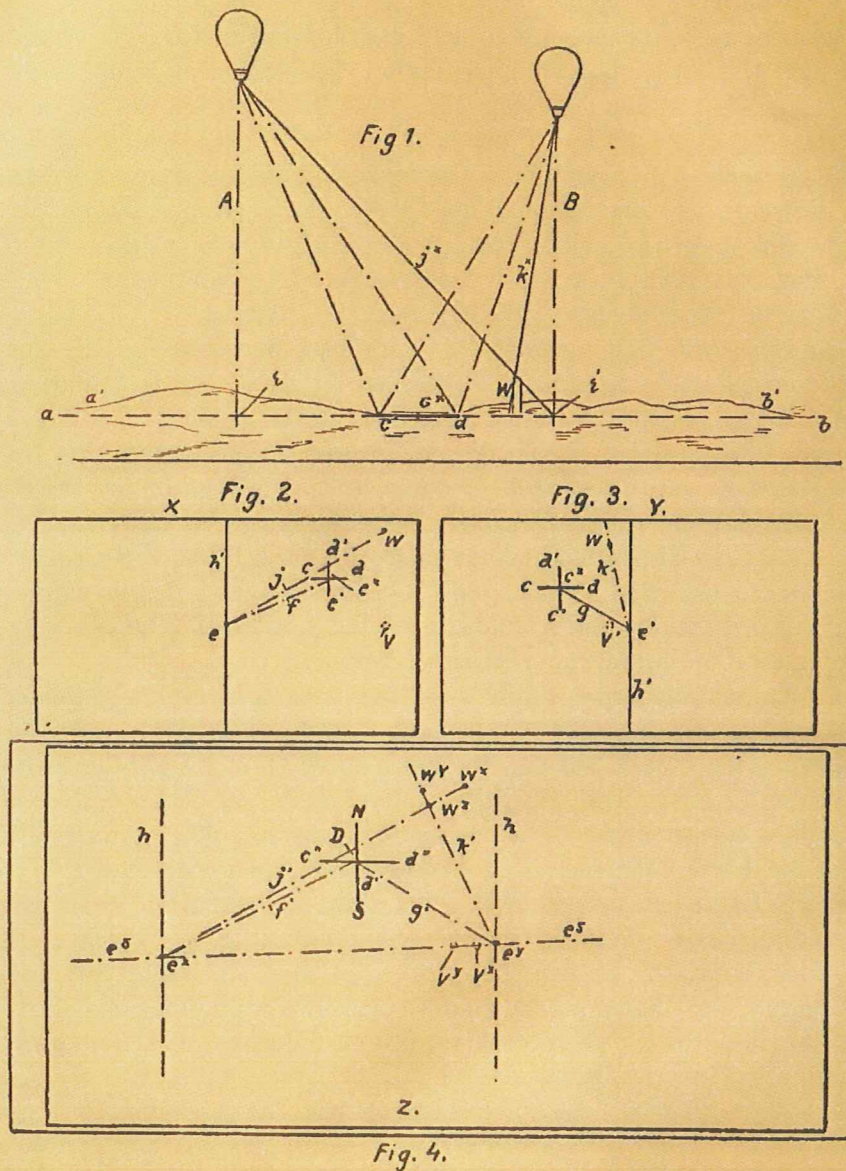
Er steckt an einer ebenen Stelle des zu photographierenden Terrains zwei rechtwinkelig sich schneidende Basislinien aus, die gegen NS orientiert sind (Fig. 4), photographiert mit möglichst horizontaler Platte vom Fesselballon aus, und zwar zweimal in zwei verschiedenen Aufstellungen (Fig. 1) und trachtet jedesmal, sein Basiskreuz ins Bild zu bringen (Fig. 2 und 3). Schiefe Bilder erkennt er sofort daran, daß das in der Natur rechtwinkelige Basiskreuz schiefwinkelig geworden ist. Da Mr. Adams mit schiefen Bildern noch nichts anzufangen weiß, so scheidet er solche Bilder einfach aus und verwendet zur weiteren Verarbeitung nur solche Aufnahmen, bei welchen sein Basiskreuz sich leidlich regelmäßig und rechtwinkelig abgebildet hat.

Die Größe, in der das Basiskreuz von bekannter Naturgröße auf dem Bilde erscheint, gibt ihm das Reduktionsverhältnis und, da ihm auch seine Apparatbrennweite bekannt ist, die Höhe, in der er sich befunden hat. Die Orientierung und Lage des Basiskreuzes am Bilde gibt ihm die Orientierung des Bildes gegen den Meridian sowie die Lage der Horizontalprojektion des Ballonortes. Aus zwei solchen Bildern ermittelt er bereits die Höhendifferenzen des Terrains in der heute allgemein bekannten Weise, die aber viel spätere Autoren wiederholt als große neue Errungenschaft betrachtet haben.

Wie man sieht, war der Mann theoretisch schon ziemlich weit, wenn mir auch von einer praktischen Anwendung seines Patenten nichts bekannt geworden ist. Weiters von historischem Interesse ist eine Arbeit aus dem Jahre 1898, die der damalige k. k. Geniehauptmann Julius Mandl in den „Mitteilungen über Gegenstände des Artillerie- und Geniewesens“ veröffentlicht hat.

Er behandelt das damals von Steiner bereits gelöste Problem der fünf Punkte in einer anderen und unlengbar eleganten Weise und will dasselbe auf vertikale Ballonaufnahmen, deren innere Orientierung unbekannt ist, anwenden, während er in Fällen, wo er die innere Orientierung kennt,

einfach mit drei Punkten pothenotisch arbeitet. Seine Voraussetzung, daß die Bilder bei der Aufnahme vertikal waren, nimmt aber meiner Ansicht nach der Arbeit, wenigstens soweit sie Ballonaufnahmen betrifft, den praktischen Wert, weil diese Bedingung in der Praxis der Ballonphotogrammetrie



beinahe nie streng erfüllt werden kann und es in der Regel auch gar nicht rationell ist, mit streng vertikaler Platte im Ballon zu arbeiten.

Am wirksamsten gefördert wurde die Ballonphotogrammetrie durch die praktischen Arbeiten der Münchener Schule mit Prof. Finsterwalder an der Spitze, von welcher aber auch noch Prof. Emden, Prof. Hohenner, Dr. Kutta und Baron Bassus genannt sein mögen. Auch das preußische

Luftschifferbataillon hat in aller Stille bei diesen Arbeiten mitgewirkt, wie einige Daten, die ich bringen werde, beweisen.

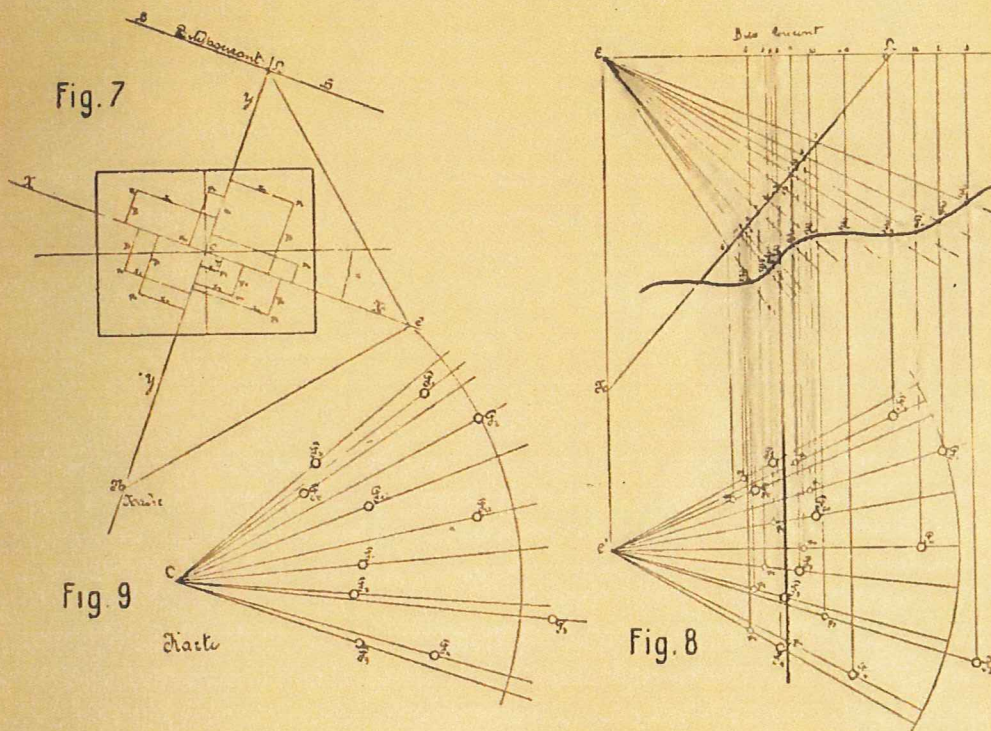
Die Münchener Schule ging vor allem mit photogrammetrisch adjustierten Kameras vor, die ein Markenkreuz besaßen, deren Brennweite bekannt und deren Apparatkonstante genau ermittelt waren. Baron Bassus machte Vergleichsversuche mit verschiedenen Momentverschlüssen und, sowohl Baron Bassus als das preußische Luftschifferbataillon konstruierten unabhängig voneinander Apparate für den Gebrauch im Ballon, bei welchen die Neigung im Moment der Aufnahme mittels Libellen abgelesen werden konnte. Prof. Finsterwalder setzte den oberwähnten Gedanken Prof. Schiffners in die Praxis um, indem er zur Bestimmung des Nadirpunktes vom Äquator des Freiballons 16 bis 20 in gleichen Abständen aufgehängte Schnüre (Lotleinen) herabhängen ließ, die etwa 50 m lang, 3 mm stark waren und unten je ein mit 100 g schweren Bleistückchen gefüllten Säckchen trugen.

Da diese Lotleinen sich auf den Photographien als zarte, gegen den Nadirpunkt konvergierende Gerade abbilden, so ist damit die Orientierung der Bilder gegen die Vertikale in der einfachsten Weise gegeben. Störungen der Vertikalität der Lotleine durch den Wind und eventuelle heftige Bewegungen des Ballons sind zwar zu befürchten, scheinen aber in der Praxis nicht allzusehr ins Gewicht zu fallen. Auf der Erfüllung dieser Voraussetzungen, nämlich eine photogrammetrisch adjustierte Kamera, deren Konstanten vorher oder nachher genau ermittelt wurden und bekannte Neigung des Apparates im Momente der Aufnahme (mittels Libellen oder Lotleinen gemessen) beruhen folgende zwei wichtige und typische Lösungen:

1. Zwei oder mehrere vom Nadir aus über die Photographie gezogene Gerade seien auf der Karte wieder auffindbar, d. h. je zwei Punkte auf jeder solchen Geraden seien sowohl auf der Photographie (Fig. 5) als auf der Karte (Fig. 6) als identisch feststellbar. Sobald das der Fall ist, ist die Orientierung eines Ballonbildes höchst einfach. Man überträgt einfach die Nadirstrahlen vom Bilde in die Karte. Ihr Schnittpunkt auf der Karte ist die Horizontalprojektion c des Ballonortes. Sodann zeichnet man sich auf eine Olate den Aufriß und Grundriß des räumlichen Strahlenbüschels (Fig. 6), welches die Photographie repräsentiert. In den Grundriß trägt man sich selbstverständlich die Bildtrasse ein. Sodann legt man die Olate derart über die Karte, daß die korrespondierenden Nadirstrahlen des Grundrisses und der Karte zur Deckung kommen, projiziert die identen Punkte der Karte vertikal in die ihnen entsprechenden Strahlen des den Aufriß darstellenden Strahlenbüschels und findet so einen kompletten Aufriß (Profilschnitt) des Terrains.

War der Bildhorizont im Aufriß dadurch angedeutet, daß man eine horizontale Gerade durch den Ballonort zog, so ergeben die Abstände jedes einzelnen Punktes dieses Profils vom Bildhorizont die respektiven Höhenunterschiede zwischen Ballonort und den einzelnen Terrainpunkten im Maßstab der Karte. Addiert man selbe zu den der Karte zu entnehmenden Höhenkoten der einzelnen Punkte, so findet man ebenso viele Werte für die Ballonhöhe, als man Terrainpunkte bei dieser Arbeit verwendete, die unter sich gleichwertig sind und die man daher zu einem Mittelwerte vereinigen

zu arbeiten, da die Arbeit dadurch nicht wesentlich vermehrt und die Genauigkeit und Sicherheit des Resultates bedeutend gesteigert wird. Unser Herr Oberoffizial Tschamler verwendet mit kleinen Variationen im Wesen dieselbe Methode auch dann, wenn ihm die Neigung des Bildes ursprünglich nicht bekannt war, und behauptet, bei Verwendung von entsprechend vielen Punkten durch wiederholte Konstruktion und sukzessive Anpassung an die Karte die Neigung des Bildes ermitteln zu können. Das ist zweifellos eine Arbeit, die sehr viel Verständnis und Geduld erfordert und nicht jedermanns Sache ist, namentlich wenn der Apparat im Moment der Aufnahme nicht nur nach vorne geneigt, sondern auch seitlich verdreht war, was ja die Regel ist, oder wenn außerdem der Apparat nicht photo-



grammetrisch adjustiert ist und die Apparatkonstanten nur mangelhaft bekannt sind.

Wesentlich erleichtert würde die Arbeit auch dann, wenn die Kamera mit einem Niveau Jardinet (Fig. 25) ausgerüstet wäre, wie Sacconney es in seinen Schriften angibt und wie ich selbst ein solches schon vor Jahren, ohne die französischen Arbeiten zu kennen, verwendet habe. Es ist das ein rechtwinkelig gebogenes Glasrohr, welches einen geschlossenen Rahmen bildet, in welchem Quecksilber oder sonst eine Flüssigkeit frei hin und her spielt, ein kommunizierendes Gefäß (eine Art Kanalwage), welche knapp vor der Platte montiert ist und welche durch die Stellung der sich mit abbildenden Flüssigkeitskuppen zum mindesten die seitliche Verdrehung des Bildes und damit die Richtung, in der der Horizont am Bilde verläuft,

angibt. Mit diesem Hilfsmittel wäre die Methode Tschamler auch allgemein anwendbar.

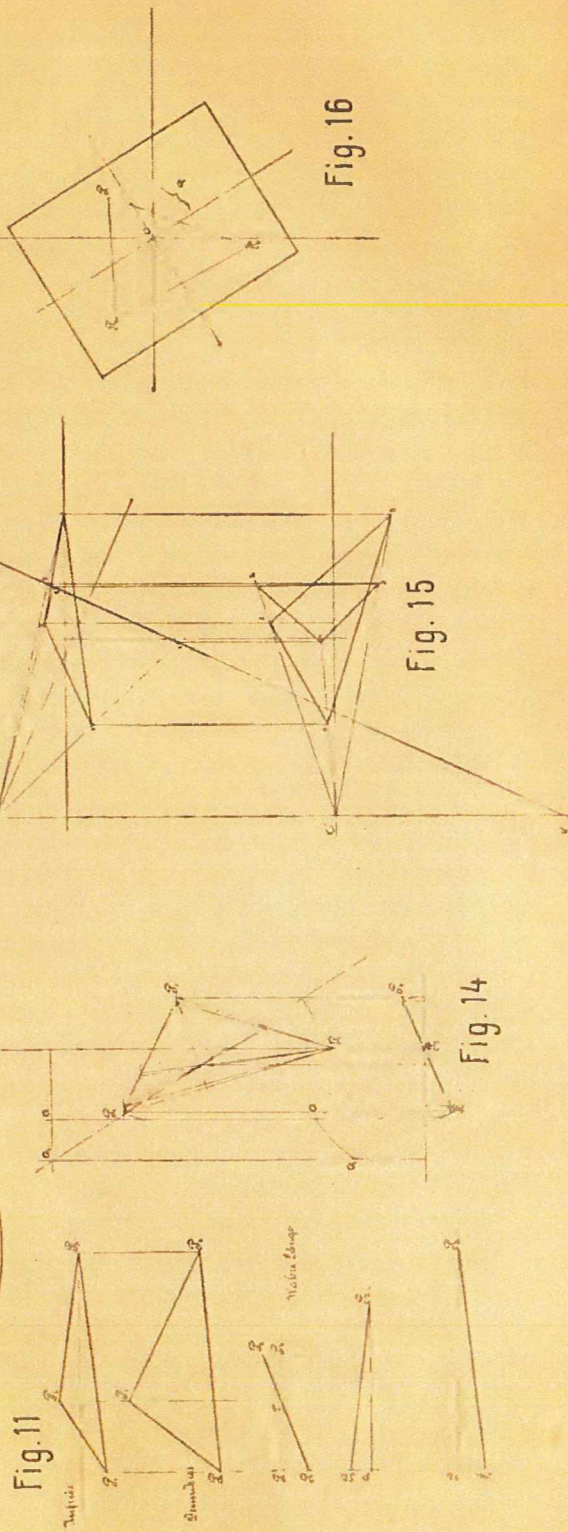
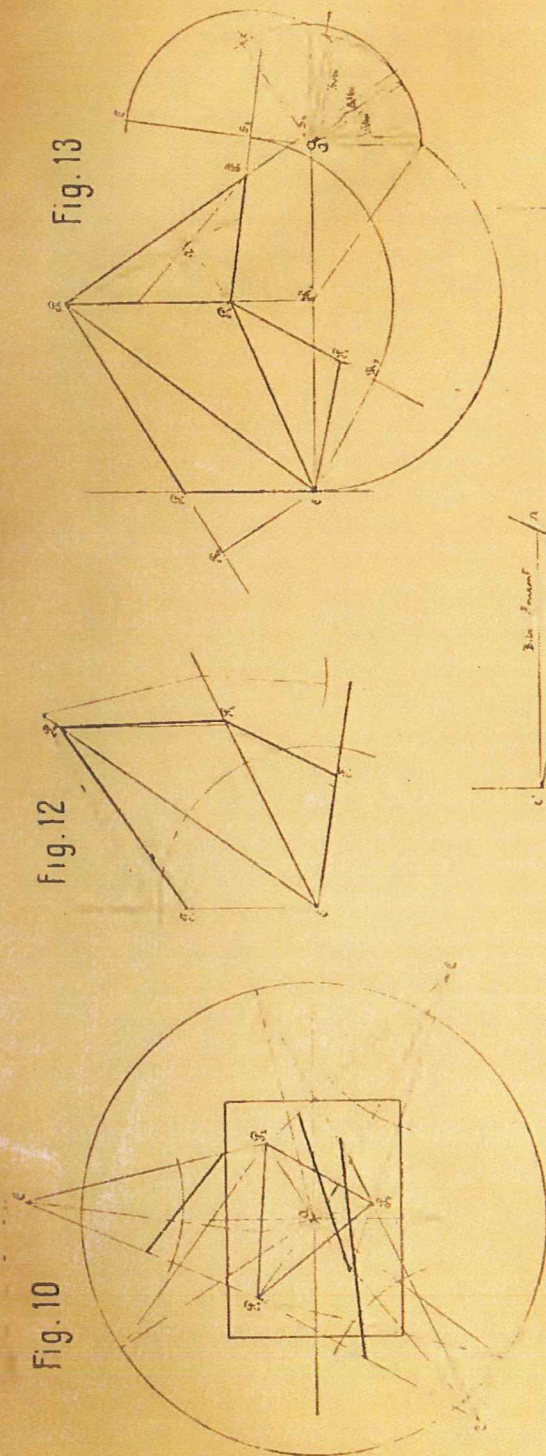
Dritte Lösung (Fig. 10 bis 16): Übrigens hat Prof. Finsterwalder auch für jene Fälle, wo die Neigung des Apparates nicht bekannt ist, eine exakte Lösung angegeben, bei der nur vorausgesetzt ist, daß drei Punkte des Geländes zwischen Bild und Karte identifizierbar seien und daß die Apparatkonstanten genau bekannt seien. Wenn auch in der Regel drei Punkte des Geländes nur in der Theorie zur Ermittlung des Ballonortes genügen, in der Praxis aber zu höchst ungenauen Resultaten führen, so ermöglicht doch zweifellos die Methode Finsterwalders gute Näherungswerte des Ballonortes und der Neigung des Bildes zu finden, auf Grund deren dann nach Methode 2 mit einer größeren Anzahl identer Punkte die Arbeit wiederholt und das Resultat kontrolliert werden kann. Finsterwalder wählt zu diesem Zweck auf der Photographie drei identifizierbare Punkte aus, die ein möglichst großes Dreieck bilden (Fig. 10). Er konstruiert sich sodann die Pyramide, welche dieses Dreieck im Bilde zur Basis und den optischen Mittelpunkt (zweiten Hauptpunkt) des Objektivs zur Spitze hat (Fig. 10). Diese Pyramide denkt er sich nach einer Kante aufgeschnitten und in die Zeichenfläche ausgebreitet (Fig. 12).

Sodann ermittelt er sich die wahren Längen der drei Verbindungsgeraden zwischen den drei identen Punkten des Geländes auf Grund ihrer Horizontalprojektionen und Höhenkoten (Fig. 11).

Diese drei wahren Längen paßt er nun mit dem Zirkel in das in die Zeichenfläche ausgebreitete Dreieck rein empirisch durch Versuche ein (Fig. 12), derart, daß die Abbildungen der aufgeschnittenen Pyramidenkante am ersten und am letzten Strahl gleich lang werden. Sobald das geschehen ist, ermittelt er durch eine einfache Konstruktion die senkrechte Projektion und den senkrechten Abstand des Ballonortes (der Pyramidenspitze) in bezug auf das gegebene Geländedreieck (Fig. 13). Sodann ermittelt er durch eine einfache Konstruktion, die im wesentlichen auf eine räumliche Drehung hinausläuft, mit Rücksichtnahme auf die wirkliche Lage des Geländedreiecks im Raum, die wirkliche Lage des Ballonortes im Raum (Fig. 14) und endlich die Richtung der optischen Achse und damit auch die Neigung des Bildes (Fig. 15).

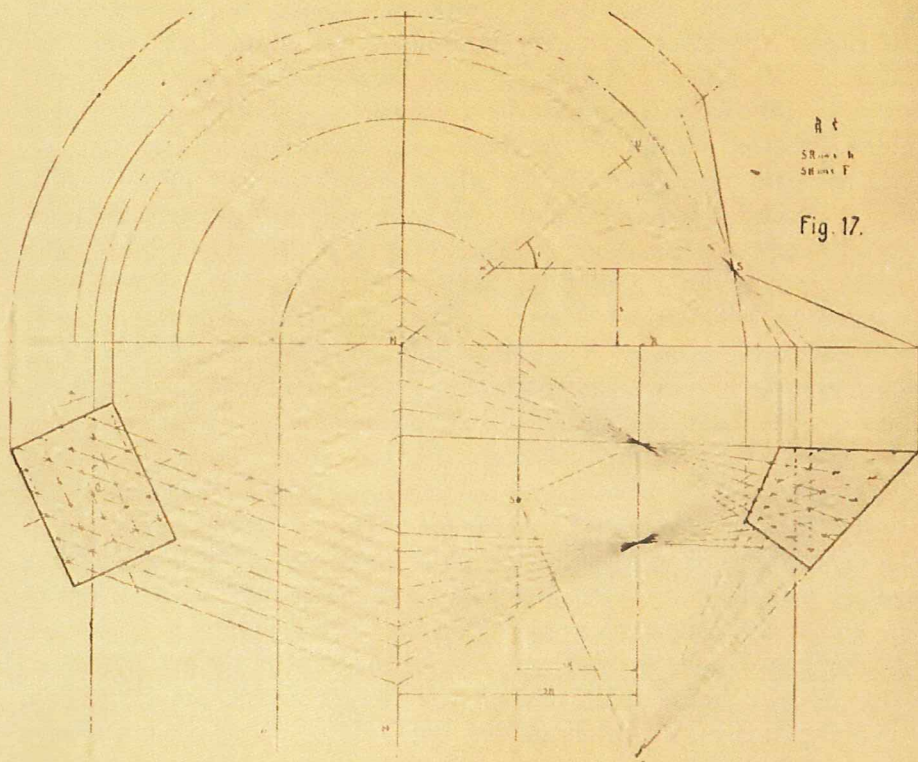
All das geschieht meist rechnerisch, kann aber auch konstruktiv nach den Regeln der darstellenden Geometrie geschehen.

Vierte Lösung: Andere, wie z. B. Staatsrat Thiele und Major Klußmann vom preußischen Luftschifferbataillon, konstruieren auf Grund der bekannten Neigung des Bildes und der bekannten Apparatkonstanten ein perspektivisches Netz für jedes einzelne Bild, das einem über das Gelände gelegten Quadratnetz entspricht und zeichnen auf Grund dieses Netzes das, was das Bild zeigt, in die Orthogonalprojektion um (das Perspektivometer von Thiele ist ja nichts anderes). Ich selbst habe auf sehr verwandtem Wege seinerzeit die Bilder, welche Dr. Schlein die Güte hatte, mir zur Verfügung zu stellen und die ich dann auf der Londoner Ausstellung ausstellte, gegen die Karte orientiert. Diese Bilder waren mit einem gewöhnlichen Apparat



gemacht, der nicht photogrammetrisch adjustiert war. Ihre Neigung war unbekannt und ihre Brennweite nur höchst genähert auf einige Millimeter genau bekannt. Es lag also der allgemeinste Fall vor, den man sich denken kann, ohne jedwede Erleichterungen. Um diese Aufgabe zu lösen, machte ich nur eine Annahme, die sich späterhin als beinahe immer zulässig erwiesen hat. Nämlich, daß bei allen Ballonaufnahmen aus größeren Höhen die Unebenheiten des Terrains vernachlässigt werden können und man beinahe immer so arbeiten kann, als wenn das Gelände eben wäre (Fig. 17).

Ich legte ein Quadratnetz nicht über die Karte, sondern über das Bild, ermittelte das idente Netz auf der Karte, sowie dessen Diagonalen. Es ist



klar, daß jedem einzelnen System von parallelen Geraden am Bilde je ein Strahlenbüschel in der Karte entsprach. Die Zentren aller dieser Strahlenbüschel mußten theoretisch in einer Geraden liegen und lagen auch tatsächlich innerhalb der Grenzen der graphischen Genauigkeit in einer Geraden. Diese Gerade war nichts anderes als die Verschwindungsgerade R , d. h. das Bild des unendlich fernen Elementes der Photographie, respektive jene Schnittgerade, in der eine durch den Ballonort parallel zur Bildebene geführte Ebene die Karte schneidet. Eine parallel zu dieser Geraden derart in die Karte eingezeichnete Gerade, daß sämtliche Strahlenbüschel auf ihr Strecken abschneiden, die den Abständen der ihnen entsprechenden Parallelen im Bilde (in der Richtung des Bildhorizontes HH gemessen) gleich sind,

war nichts anderes als die Schnittgerade der Bildebene mit der Karte, respektive das gemeinsame Element MM zwischen Karte und Bild, die sogenannte „Terrainlinie“ der Franzosen.

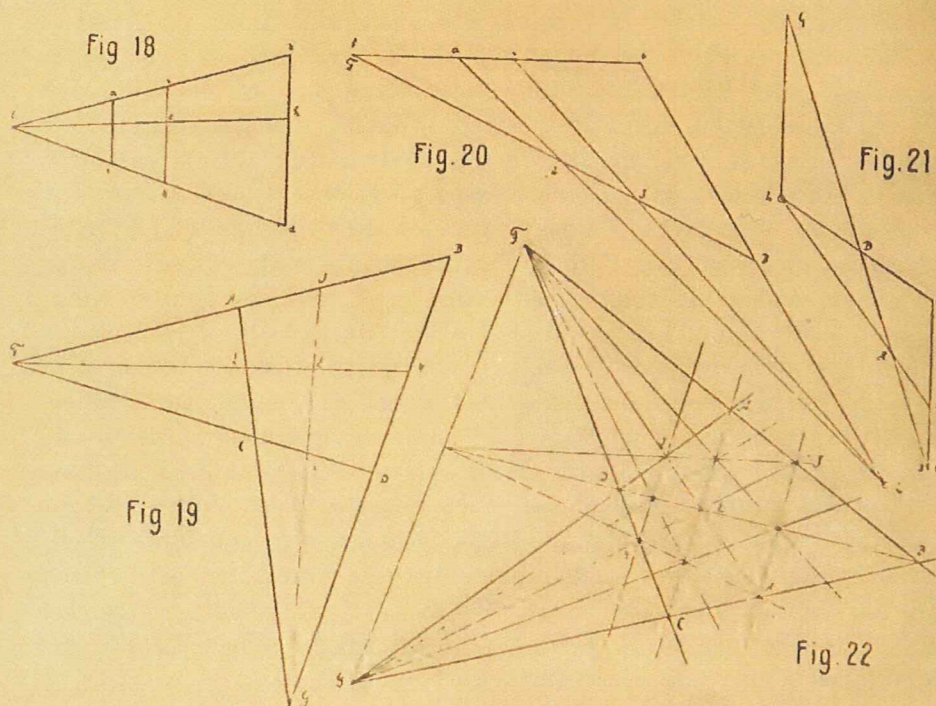
In analoger Weise konnte ich mir über ein Duplikat der Karte ein Quadratnetz legen und über ein Duplikat des Bildes das entsprechende perspektivische Netz zeichnen. Dadurch konnte ich wieder die Lage des wahren Bildhorizontes HH und des gemeinsamen Elementes MM im Bilde feststellen. (Dieses perspektivische Netz ist im Wesen nichts anderes als das Perspektrometer Thieles.) In dem Moment, wo mir der Bildhorizont bekannt war, konnte ich auch die Neigung des Bildes ermitteln, wenn ich annahm, daß die mir angegebene Brennweite von 120 mm richtig sei. Da selbe auf einige Millimeter unsicher war, ergab sich selbstverständlich eine Unsicherheit in der Ermittlung der Neigung i . Desgleichen konnte ich Horizontalprojektion und Höhe des Ballonortes jetzt ermitteln, die aber ebenfalls mit den Fehlern behaftet waren, unter denen die Kenntnis meiner Apparatenkonstanten litt. Da aber Herr Dr. Schlein die Bilder auf einer wissenschaftlichen Ballonfahrt gemacht hatte, so konnte er mir die barometrisch gemessenen Höhen im Moment der Aufnahme auf ± 100 m angeben, was eine wertvolle Kontrolle ergab¹⁾. Schließlich kam es für die Zwecke einer exakten Transformation der Bilder in die Horizontalebene mit Hilfe meines Apparates auf eine genaue Orientierung der Ballonaufnahme gar nicht an, weil eine solche für diesen Zweck gar nicht nötig ist, sondern unabhängig davon bewerkstelligt werden kann, wie ich in nachstehendem noch erläutern werde. Wichtig ist nur die Erkenntnis, daß diese Methode es ermöglicht, zum mindesten den Verlauf des Horizontes und damit die seitliche Verdrehung α der Bilder, sowie einen geometrischen Ort für die Orientierung des Bildes gegen die Karte selbst beim Mangel jedweder photogrammetrischen Adjustierung und vollständiger Unkenntnis der Neigung i aus Karte und Bild selbst zu entwickeln. War außerdem die Schleppleine bei der Ballonfahrt ausgelegt, so ergibt selbe unabhängig hiervon einen geometrischen Ort für den Ballonort, drittens ist in der Praxis die Brennweite F des verwendeten Objektives auf der Fassung angegeben, daher in der Regel auf ± 1 mm genau bekannt und macht es keine besondere Mühe, bei Freifahrten knapp vor oder gleich nach der Aufnahme das Barometer abzulesen. Damit sind genügend Behelfe zur rohen Auswertung von Ballonbildern gegeben.

Insbesondere ist das dann der Fall, wenn man nach der auf vorstehende Art genügend genau ermittelten Verdrehung α mit Hilfe der genähert bekannten Objektivbrennweite F und der ebenfalls genähert bekannten Neigung i des Bildes die eingangs erläuterte Methode 2 mit möglichst vielen identen Punkten anwendet und hierbei eventuell nach dem Vorbilde Tschamlers durch wiederholte Anwendung der Methode 2 der Wahrheit möglichst nahe zu kommen trachtet.

¹⁾ $\frac{h}{H}$ = Verjüngungsverhältnis der Karte. h = Höhe des Parallelogramms $MHSR$. H = barometrisch gemessene Ballonhöhe über dem Gelände.

Der Gedanke, die Transformation schiefer Ballonaufnahmen in horizontale photographisch durchzuführen, war bereits früher sowohl von Laussedat als von Deville ausgesprochen. Bekanntlich hat Laussedat ja sogar eine Lochkamera für diese Zwecke angegeben.

Allerdings glaube ich nicht, daß es möglich wäre, mit einer solchen Lochkamera, wie Laussedat sie angegeben hat, tatsächlich praktisch zu arbeiten und ist mir auch nichts darüber bekannt, daß diese Lochkamera auch wirklich ausgeführt worden wäre. Praktisch möglich wurden diese photographischen Transformationen erst, nachdem die Gesetze der schiefen Abbildung mit voller Öffnung von mir gefunden und konstruktiv verwertet worden waren. Nachdem diese Transformationen aber auf rein projektiven



Beziehungen beruhen, ist zu deren Durchführung die Kenntnis des Ballonortes, wie schon früher erwähnt, gar nicht nötig. Dies wird jedem sofort klar werden, wenn ich die einschlägige Stelle aus Finsterwalders „geometrischen“ Grundlagen hier zitiere und darauf hinweise, daß das, was Finsterwalder dort rein zeichnerisch macht, soweit es sich um die geometrischen Grundlagen der vorliegenden Arbeit handelt, dasselbe ist, was ich photographisch mache (Fig. 18 bis 22).

„Bei ebenem Terrain sind Karte (Fig. 19) und Bild (Fig. 18) zwei, sowie hier vorausgesetzt, perspektivisch aufeinander bezogene Figuren. Sind dann vier Punkte auf beiden identifiziert, A, B, C, D mit a, b, c, d , so kann man nun den Punkt E der Karte finden, dem ein beliebiger Punkt e des Negativs entspricht. Denn zieht man vom Schnittpunkt f von ab und dc aus fe und schneidet diese Gerade bc in h , so hat man auf der Karte nur Punkt H so

zu konstruieren, daß das Doppelverhältnis $GDHB$ gleich demjenigen $gdhb$ ist. Dann entspricht Gerade $H'F$ der Karte fh des Negativs und es ist in FH ein geometrischer Ort für E gefunden. Als einen zweiten geometrischen Ort findet man in ganz analoger Weise GJ , somit Punkt E .

Ist eine große Reihe von Punkten aus dem Bilde in die Karte einzutragen, z. B. die Karte selbst (mit Ausnahme der einzelnen schon bekannten Punkte) erst zu zeichnen, so kann man an Stelle dieser Konstruktion eine andere, das Möbiussche Netz benutzen. In der vorigen Figur 18 entsprechen augenscheinlich die innerhalb des Viereckes $abcd$ des Bildes liegenden Punkte den Punkten der Karte (Fig. 19) innerhalb $ABCD$. Ebenso aber auch die Punkte innerhalb des kleinen Viereckes $aiel$ denjenigen innerhalb $AIEL$. Durch Wiederholung solcher Teilungen des Viereckes kann man immer kleinere Vierecke von Bild und Karte aufeinander beziehen, was schließlich zur Herstellung einer Kartenskizze führt. Die Zerlegung in kleine Bezirke geschieht am bequemsten durch fortgesetztes Ziehen von Diagonalen. Die Diagonalen AC und BD mögen sich in E schneiden (Fig. 22), durch sie ist Viereck $ABCD$ schon in vier kleinere Dreiecke zerlegt. Durch Ziehen von EF und EG tritt eine weitere Zerlegung ein. Die Diagonalen JH , HK , KL , LJ setzen dies fort; die Verbindung des Schnittpunktes von EB und JH etc. mit F und G gibt eine neue Zerlegung und so geht es ohne Schwierigkeit weiter. Ein Punkt in irgend einem Dreieck des Bildes ist auf der Karte in das entsprechende Dreieck einzutragen; bei einiger Übung wird auch die Lage innerhalb des Dreieckes sich durch Schätzung richtig übertragen lassen, was eine zu engmaschige und dadurch verwirrende Ausführung dieses Möbiusschen Netzes erspart. Es ist übrigens klar, daß die Einteilung in solche kleinere Bezirke ganz ebenso auch außerhalb des Viereckes fortgesetzt werden kann; so schneiden die Verlängerungen von JL und JH die Gerade FC in Punkten, deren Verbindung mit G die Einteilung des Gebietes außerhalb des Viereckes erweitert. Als wichtige Zeichenkontrolle ergibt sich, daß eine Reihe Strahlen (z. B. KH , DB , LJ) sich in einem Punkte der Geraden FG schneiden und vieles ähnliche.

Im einzelnen wird beim Zeichnen der Karte oft eine Erleichterung durch die Bemerkung erhalten werden, daß, wenn eine Gerade (oder Kurve) eine Kurve im Bilde berührt (etwa eine Straße einen Waldrand), auch auf der Karte die Berührung stattfindet, und zwar natürlich in entsprechenden Punkten."

Eine von der Münchener Schule wesentlich abweichende Richtung verfolgen die Franzosen. Sie haben vor allem andere Ziele im Auge und scheinen auch in der Technik andere Wege zu gehen.

Es finden sich in den militärischen Zeitschriften Arbeiten französischer Autoren in Menge, selbe haben meistens die militärische Rekognoszierung vom Ballon aus im Auge. Ferner die Verwertung von Tele-Aufnahmen und endlich scheint den Franzosen die Schaffung einer Art Nautik für lenkbare Ballons vorzuschweben, deren wichtigstes Meßinstrument die photographische Kamera sein soll.

Ich habe seinerzeit in meinem Referat über die Arbeiten Saccounneys

der Anschauung Ausdruck gegeben, daß dieselben eine Zusammenfassung der einschlägigen Arbeiten der Franzosen zu sein scheinen. Hiergegen hat Sacconey in einem Briefe an mich energisch protestiert und alles, was er publiziert hat, als rein persönliche Leistung bezeichnet. Ich betrachte es daher als meine Pflicht, meinen damaligen Irrtum jetzt öffentlich zu berichtigen. Die Fülle des von Sacconey Gebotenen macht ihm aber alle Ehre und beweist die rege Tätigkeit der Franzosen auf diesem Gebiet. Auch würde, da er durchaus nicht der einzige Franzose ist, der auf diesem Gebiete tätig ist, eine derartige Zusammenfassung der französischen Arbeiten, wie ich sie Sacconey irrtümlicherweise zumute, sehr wünschenswert sein. Hier möchte ich nur das Wichtigste erwähnen:

Fig. 23

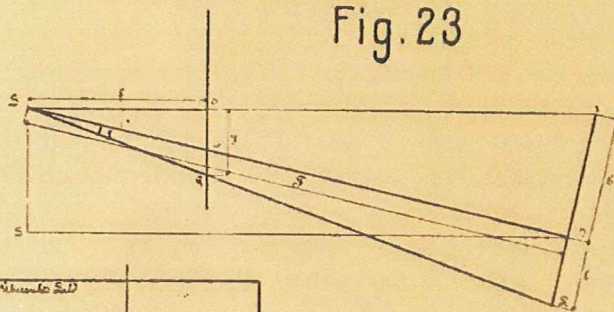


Fig. 24

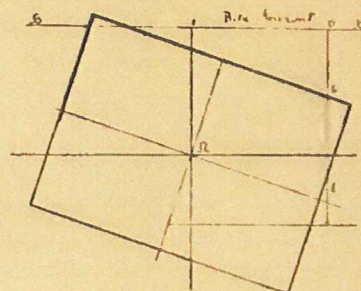
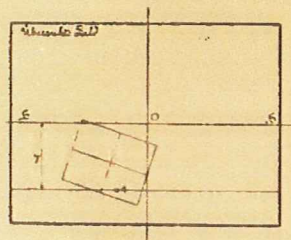


Fig. 25

Bekanntlich sind Tele-Aufnahmen überhaupt und insbesondere solche vom Ballon aus sehr schwer zu orientieren, weil sie ein ungemein kleines Gesichtsfeld haben. Sacconey kommt dieser Schwierigkeit dadurch bei, daß er gleichzeitig eine Tele-Aufnahme und eine sogenannte Übersichtsaufnahme mit einem Objektiv von normaler Brennweite von demselben Objekte macht (Fig. 23). Die beiden Aufnahmen haben dann den Standpunkt gemeinsam und kann derselbe mit Hilfe der Übersichtsaufnahme festgelegt werden. Man braucht dann nur mehr einen identen Punkt (irgendein markantes Objekt) auf beiden Aufnahmen herauszufinden, um die Tele-Aufnahme in die Übersichtsaufnahme einpassen zu können (Fig. 24). Eine eventuelle seitliche Verdrehung der Tele-Aufnahme wird durch das bereits erwähnte Niveau-Jardinet (Fig. 25) gemessen.

Ein weiterer empfehlenswerter Kunstgriff, um Ballonaufnahmen weit entfernter Objekte zu orientieren, besteht darin, daß zwei Kameras miteinander starr verbunden sind. Die Hauptkamera mit vertikaler Platte und einem langbrennweitigen Objektiv, zirka 60 cm, ja bis zu 1 m, das Objektiv möglichst tief gestellt und eine zweite, kleinere Kamera mit horizontaler Platte und einem kurzbrennweitigen Weitwinkelobjektiv. Während mit der Hauptkamera das zu rekognoszierende, entfernte Objekt photographiert wird, macht man gleichzeitig mit der kleinen Kamera eine Aufnahme des Geländes unter sich, auf dem geeignete, deutlich sichtbare Fixpunkte zur späteren Orientierung des Bildes eingemessen sind.

Eine dritte charakteristische Methode ist die Verwendung der Fluchtpunkte, von der Sacconney ausgiebigen Gebrauch macht, während auf diese sonst gar nicht gedacht wird.

Ein typisches Beispiel hierfür ist die von ihm angegebene Methode, ein Bild, dessen seitliche Verdrehung bereits mit dem Niveau-Jardinet festgestellt wurde, bezüglich seiner Neigung nach vorne mit Hilfe eines bekannten Horizontalwinkels im Gelände zu orientieren. (Siehe Fig. 26, 27 und Anmerkung.)

Schließlich hat Sacconney in jüngster Zeit auch eine exakte Lösung des Problems der drei Punkte angegeben, welche sich der Finsterwalder-schen ebenbürtig an die Seite stellt. Dieselbe wird an der Hand des Bildes erläutert (Fig. 28 bis 33 und Anmerkung).

Den Herren dürfte aufgefallen sein, daß alle Lösungen, die ich bisher gebracht habe, rein graphisch sind. Einzig und allein die exakte Lösung Finsterwalders kann man auch rechnerisch durchführen. Das hat seinen guten Grund, denn die graphischen Lösungen sind bis jetzt die einzig rationellen, denn die Fixpunkte, die uns die heutigen Karten liefern, sind weder an sich genau genug, noch mit genügender Sicherheit zu identifizieren, um die Mühe der Rechnung zu verlohnen. Wenn auch drei Punkte in der Theorie genügen, um ein Ballonbild zu orientieren, so ist das in der Praxis durchaus nicht der Fall und wird man gut tun, stets mit einer Vielheit von Punkten zu arbeiten. Das würde aber bei rechnerischer Durchführung die Anwendung der Methode der kleinsten Quadrate und damit einen Aufwand an Arbeit und Zeit erheischen, der in gar keinem Verhältnis zum Resultat stünde. Ich höre die Frage: Und was ist mit den Triangulierungspunkten? Die sind schon gar nicht zu brauchen. Erstens sind sie viel zu dünn gesät. Es ist selbst bei meinen Panoramaaufnahmen in den seltensten Fällen möglich, drei solche Punkte auf die Platte zu bekommen. Von gewöhnlichen Ballonaufnahmen, die ein viel kleineres Territorium überblicken, ganz zu schweigen. Zweitens sind nur die Kirchen und Kapellen auf den Bildern erkennbar, aber leider nicht alle eingemessen. Die anderen Triangulierungspunkte sind ja bekanntlich bloß unterirdisch stabilisiert und daher absolut nicht auffindbar. Man müßte, um diesen Übelständen zu begegnen, eine eigene, sehr engmaschige und sehr genaue Triangulierung durchführen und das würde wieder Kosten verursachen, die in keinem Verhältnis zum erreichten Gewinn stünden. Außerdem ist noch zu bemerken, daß, solange man die Papierkopien

ausmißt, in der Dehnung des Papiers Fehlerquellen stecken, die jede Rechnung ad absurdum führen. Nur dann, wenn man die Glasbilder mit eigenen Präzisionsapparaten, z. B. mit dem Stereokomparator ausmißt, ist eine rechnerische Durchführung der Arbeit denkbar. Es besteht aber eine dritte Fehlerquelle, die noch gar nicht gewürdigt wurde.

Eine photographische Kamera ist ein ganz ausgezeichnetes Winkelmeßinstrument, aber nur dann, wenn ihre Konstanten genau bekannt sind. Das ist beinahe nie in genügender Weise der Fall. Fehler von $\frac{1}{10}$ mm in der Bildweite und im Markenkreuz gelten als das äußerst Erreichbare und haben bereits einen ganz enormen Einfluß auf die Winkelmessung. Eine photographische Kamera, die als Winkelmeßinstrument benutzt werden soll, sollte starr und aus unveränderlichem Material, am besten Invar, erbaut sein, die Platten sollen direkt an den Kassettenrahmen angepreßt werden, das Objektiv soll unveränderlich eingeschraubt und nach erfolgter Rektifikation des Apparates nicht mehr vom Fleck gerührt werden. Die Ermittlung der Konstanten, solange man nur graphische Genauigkeiten im Auge hat, kann mittels bekannter Horizontalwinkel zwischen weit entfernten vertikalen Geraden, die vorher oder nachher mit dem Theodoliten genau eingemessen wurden, durchgeführt werden und liefert Resultate von ausreichender Genauigkeit. Sobald man aber eine rechnerische Verwertung der Resultate im Auge hat, empfiehlt es sich, die Ermittlung der Konstanten der Kamera mit Hilfe des Fixsternhimmels durchzuführen, die Ausmessung der Sternpositionen auf den Glasplatten mit Hilfe des Stereokomparators durchzuführen, und zwar mindestens fünf Sternpositionen pro Platte auszumessen und die erhaltenen Messungsergebnisse nach Koordinaten oder geometrischen Orten auszugleichen. Ich hatte ursprünglich die Absicht, diese Ausgleichsmethode heute zu besprechen, sowie sie sich bei meinen Arbeiten als rationell ergeben hat. Es ist jedoch das Material, das ich heute zu bringen habe, so umfangreich geworden, daß ich, um meine verehrten Herren Zuhörer nicht übermäßig zu beanspruchen, diese Frage früher oder später separat behandeln werde.

Wie schon erwähnt, ist zur Transformation der Ballonaufnahmen in horizontale Vogelperspektiven, mag selbe zeichnerisch oder auch photographisch erfolgen, sowie zu deren weiteren Verwertung, sei es für Rekognoszierungszwecke, sei es für Zwecke der Kartenkontrolle, die Ermittlung genauer Ballonorte gar nicht notwendig. Es fragt sich also: Warum strebt man sie überhaupt an? Einfach deswegen, weil wir Fortschritte machen wollen.

Wir wollen die Karten nicht bloß kontrollieren, sondern Originalvermessungen im Wege der Ballonphotogrammetrie durchführen. Das ist aber nur dann möglich, wenn wir bei unebenem Gelände aus den Ballonbildern auch einen genauen Schichtenplan rekonstruieren können, und dazu ist die genaue Orientierung der Ballonbilder, respektive die genaue Ermittlung der Ballonörter notwendig.

Allerdings nur eine genaue Ermittlung der relativen gegenseitigen Stellung der Ballonbilder, nicht ihre absoluten Positionen gegen das Gelände. Bekanntlich sind absolute Messungen wesentlich schwieriger durchzuführen und bedeutend ungenauer, als relative Messungen. Nachdem hier relative

Messungen genügen, sind absolute Messungen eigentlich zwecklos. Auch ist die größtmögliche Genauigkeit bei geringstmöglichem Arbeitsaufwand eine Grundbedingung für die Ausführbarkeit einer Landesvermessung mit Hilfe der Ballonphotogrammetrie. Daher muß es derzeit als die aktuellste und wichtigste Aufgabe bezeichnet werden, die relative Orientierung der Ballonbilder unabhängig vom Gelände in praktischer Weise zu ermöglichen.

Auch diesbezüglich hat uns bereits Finsterwalder vorgearbeitet. In seiner Akademieschrift, betitelt: „Eine Grundaufgabe der Photogrammetrie und ihre Anwendung auf Ballonaufnahmen“ hat er uns gezeigt, wie man mit Benutzung der Haukschen Kernpunkte zwei Ballonaufnahmen unabhängig vom Gelände gegeneinander orientieren kann, um dann aus ihnen eine fertige Schichtenkarte abzuleiten. Allerdings ist der Weg, den er verfolgt, noch so langwierig und mühsam, daß er im großen Stil wohl nicht durchführbar wäre, weil man dabei nicht auf seine Kosten käme.

Auch Prof. Fuchs befaßt sich neuestens mit dem Problem und hat mit einer diesbezüglichen Artikelserie im „Archiv“ begonnen. Leider nimmt er hierbei auf die speziellen Bedürfnisse der Ballonphotogrammetrie keine Rücksicht und scheint mir auch aus anderen Gründen seine Methode der Finsterwalderschen nicht überlegen zu sein.

Für mich und meine Arbeiten war eine praktische Lösung dieser Aufgabe geradezu ein Bedürfnis und ist es klar, daß ich mich eingehend damit befaßte. Es gelang mir auch, indem ich teilweise Anregungen folgte, die ich von Herrn Oberoffizial Tschamler empfangen hatte, eine wirklich rasche und einfache Lösung der Frage zu finden, welche aber zum Unterschiede von Finsterwalders Vorgang die Kernpunkte, deren genaue Ermittlung ihm so große Mühe macht, ganz aus dem Spiel läßt und direkt die Widersprüche der aus zwei einander übergreifenden Ballonpanoramen berechneten Höhen identer Terrainpunkte zur Ermittlung der Verschwenkungen der einzelnen Panoramen heranzieht.

Bei diesem Verfahren spielen die Nadirpunkte der einzelnen Panoramen eine ähnliche Rolle, wie bei Finsterwalder die Kernpunkte.

Obwohl die Theorie dieser Methode fertig ist, möchte ich es doch einstweilen bei dieser vorläufigen Mitteilung bewenden lassen, weil die praktischen Versuche, die ich mit dieser Methode derzeit mache, noch nicht abgeschlossen sind.

Zum Schlusse sei noch erwähnt, daß Prof. Dr. Norbert Herz in der sich an meinen Vortrag anknüpfenden Diskussion darauf aufmerksam gemacht hat, daß man das Problem der acht Punkte, von ihm publiziert in den Sitzungsberichten der Akademie der Wissenschaften, auf das vorliegende Problem übertragen könne, wobei sich eine bedeutende Vereinfachung durch den Umstand ergibt, daß die drei Aufnahmepunkte bei Ballonaufnahmen in der Regel nahezu in einer geraden Linie liegen und die Platten durch Umtransformation nahezu parallel gestellt wurden.

Auch Prof. Herz sieht den Hauptvorteil seines Vorschlages darin, daß hierdurch, analog wie bei meiner obenwähnten bereits fertigen Lösung, die Einführung der Kernpunkte, deren Bestimmung stets auf große Unsicherheit stößt, eliminiert und dadurch die Lösung bedeutend vereinfacht wird.

Zur Konstruktion des Auf- und Grundrisses des durch eine Photographie repräsentierten Strahlenbüschels auf dem Bilde. (Fig. 5, 6, 7, 8.)

Sobald das Nadir gegeben ist, denkt man sich durch den Hauptpunkt O der Photographie, in welchem selbe von der optischen Achse des Objektivs getroffen wird und der bei photogrammetrisch adjustierten Apparaten durch ein Markenkreuz festgelegt ist, und durch das laut Voraussetzung gegebene Nadir eine Gerade und macht selbe zur y -Achse eines rechtwinkligen Koordinatensystems. Senkrecht darauf legt man durch den Hauptpunkt O als Ursprung des Koordinatensystems die x -Achse desselben. Auf dieses Koordinatensystem bezieht man sodann die einzelnen Bildpunkte. Außerdem denkt man sich das Projektionszentrum C um die y -Achse in die Zeichenebene umgelegt und findet derart das rechtwinklige Dreieck NOQ , dessen Höhe OC die Bildweite ist. Der Winkel dieses Dreieckes bei N ist die Neigung i der Bildebene, während der Winkel α , welchen die Achsen des Markenkreuzes mit den entsprechenden Achsen des soeben erläuterten Nadirsystems einschließen, die seitliche Verschiebung des Bildes genannt wird.

Zeichnet man das Dreieck NOQ derart, wie es wirklich im Raume steht, nämlich so, daß die Kathete CN vertikal, die Kathete CQ horizontal erscheint, so repräsentiert die Hypothenuse des Dreieckes die vertikale Bildflächenspur, welche die Photographie im Aufriß darstellt. Trägt man auf dieser von O aus die y der einzelnen Bildpunkte je nach ihrem Vorzeichen nach aufwärts oder abwärts auf, so erhält man die Punkte 1, 2, 3 etc. auf der Bildflächenspur. Durch Verbindung dieser Punkte mit dem Projektionszentrum C erhält man den Aufriß des Strahlenbüschels.

Wählt man sich in der Zenit-Nadirlinie CN , respektive in deren Verlängerung einen beliebigen Punkt C_1 als Horizontalprojektion des Ballonortes und zieht durch selbe eine horizontale Gerade; zieht man ferner durch die Punkte 1, 2, 3 etc. des Aufrisses vertikale Hilfslinien und trägt auf diesen von der durch C_1 gelegten Horizontalen aus die der Photographie zu entnehmenden Abszissen der einzelnen Bildpunkte je nach ihrem Vorzeichen nach rechts oder nach links auf, so erhält man die Horizontalprojektionen der einzelnen Bildpunkte und durch Verbindung mit der Horizontalprojektion des Ballonortes C_1 die Horizontalprojektion des Strahlenbüschels.

Details der Finsterwalderschen Methode.

Zu Fig. 10: P_1, P_2, P_3 sind die der Positionsbestimmung zugrunde gelegten Bildpunkte, deren entsprechende Terrainpunkte der Lage im Raume nach bekannt sind.

A ist der durch das Markenkreuz gegebene Hauptpunkt der Photographie; der Kreis stellt den durch die Bildweite gegebenen Distanzkreis dar.

CP_1P_2 , ferner CP_2P_3 , endlich CP_3P_1 sind die in die Zeichenfläche umgelegten Seitenflächen der Pyramide, welche durch das Bilddreieck P_1, P_2, P_3 als Basis und durch das Projektionszentrum (zweiten Hauptpunkt des Objektivs als Spitze) bestimmt sind.

Die außerdem in diese Seitenflächen stark eingetragenen Geraden stellen jene Gerade dar, längs welcher besagte Pyramiden Flächen von der Ebene des Terraindreieckes geschnitten werden. Es sind also die in die Pyramide eingepaßten Seiten des Terraindreieckes.

Fig. 11: Stellt den Auf- und Grundriß des Terraindreieckes dar, sowie die Ermittlung der wahren (schiefen) Längen der drei Seiten des Terraindreieckes.

Fig. 12 stellt die längs der Kante CP_1 aufgeschnittene und in die Zeichenfläche ausgebreitete Pyramide dar, in welche die wahren Längen des Terraindreieckes durch Versuche sukzessive eingepaßt wurden. Die beiden Strecken CP_1 stellen dieselbe Pyramidenkante dar, müssen also einander gleich sein. Diese rein empirische Konstruktion kann man, wenn man will, auch durch Anwendung des Sinussatzes rechnerisch verfeinern, indem die drei Seiten des Terraindreieckes bezüglich ihrer wahren Längen gegeben sind, die drei Winkel an der Pyramidenapitze C aus dem Bilde und den Apparatkonstanten berechnet werden können und die drei Pyramidenkanten CP_1, CP_2 und CP_3 mit sich selbst ident sein müssen.

Fig. 13 stellt die Ermittlung der Horizontalprojektion und Höhe der Pyramidenapitze, jedoch auf das schiefe Geländedreieck bezogen, dar. Zu diesem Zweck denkt man sich wieder das Geländedreieck P_1, P_2, P_3 in der Zeichenfläche rekonstruiert und die drei Pyramidenseiten

C, P, P_1 ferner C, P_3, P_2 und endlich C, P_2, P_1 wieder an das Grunddreieck angeschlossen und in ihre ursprüngliche Stellung im Raume wieder aufgerichtet. Das geschieht durch einfache Drehkonstruktionen der darstellenden Geometrie, und zwar:

Man fällt von C aus die Lote

CR_1 auf die Seite $P_2 P_3$

CR_2 auf die Seite $P_3 P_1$

und CR_3 auf die Seite $P_2 P_1$

verlängert das Lot CR_1 entsprechend;

macht $P_3 R_2$ gleich $P_3 S_2$ und errichtet in S_2 eine Senkrechte auf die Seite des Geländedreieckes $P_3 P_1$;

macht $P_2 R_3$ gleich $P_2 S_3$ und errichtet eine Senkrechte auf die Dreiecksseite $P_2 P_1$.

Die drei Perpendikel in $R_1 S_2$ und S_3 müssen sich jetzt bei richtiger Konstruktion im Punkte Q schneiden und ist dieser Punkt die orthogonale Projektion der Pyramidenspitze auf das Geländedreieck.

Außerdem ergeben die Drehkonstruktionen dreimal den Wert des senkrechten Abstandes der Pyramidenspitze von der Ebene des schiefen Geländedreieckes.

Fig. 14: Uns interessiert aber praktisch nicht die Lage der Pyramidenspitze in bezug auf das schiefe Geländedreieck, sondern deren Horizontalprojektion und Höhe im Raume. Selbe ermitteln wir dadurch, daß wir das Geländedreieck, wie Fig. 14 zeigt, uns vorerst horizontal liegend denken, in seiner wahren Größe aufzeichnen und ebenso die Lage des Punktes Q zu demselben im Grund- und Aufriß zur Darstellung bringen, sodann aber das Geländedreieck in jene Lage drehen, die es tatsächlich im Raume inne hat und den Punkt Q diese Drehung mitmachen lassen. Dadurch kommt der Punkt Q nach Q_1 in seine wirkliche Lage im Raume und kann dessen Horizontalprojektion und Höhe der Figur entnommen werden.

Selbstverständlich kann diese Drehung auch rechnerisch durchgeführt werden.

Fig. 15 zeigt wieder die Ermittlung des Grund- und Aufrisses des durch die Photographie repräsentierten Strahlenbüschels, den Bildhorizont, das Nadir N , die Neigung i und die vertikale Bildflächenspur.

Fig. 16 veranschaulicht die ermittelte Verschwenkung α des Bildes, die im vorliegenden Falle, der auf ganz allgemeinen willkürlichen Annahmen aufgebaut ist, ungewöhnlich groß ausgefallen ist.

Konstruktion des Doppelverhältnisses $GDHB = gdhb$ (Fig. 21).

Hierbei muß vor allem beachtet werden, daß in Fig. 18 der Punkt g in unendlicher Entfernung liegt. Man zeichne sich zwei Gerade, die sich in einem beliebigen Winkel schneiden, betrachte den Schnittpunkt derselben als den gemeinsamen Punkt b und B , trage von diesem Punkte aus auf der einen Geraden die Strecken bh und bd auf, auf der zweiten Geraden die Strecken BD und BG , verbinde d mit D und G mit g . Da g in unendlicher Entfernung liegt, ist die Verbindungsgerade Gg parallel zu bd .

Im Schnittpunkt der beiden Strahlen dD und Gg liegt das Projektionszentrum Z . Verbindet man dieses Projektionszentrum Z mit dem gegebenen Punkt h , so ist der Schnittpunkt dieses Strahles mit der Geraden BG der gesuchte Punkt H , der dem gewünschten Doppelverhältnis entspricht.

Fig. 20. Konstruktion des Doppelverhältnisses $FAIB$ gleich $faib$.

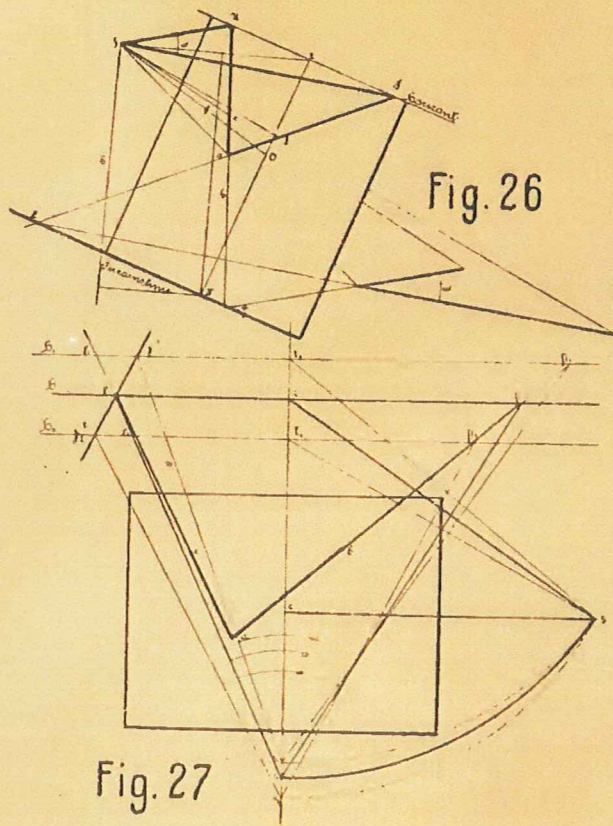
Man zieht wieder zwei Gerade unter einem beliebigen Winkel und betrachtet deren Schnittpunkt als das gemeinsame Element f und F . Man zieht wieder die beiden Verbindungsstrahlen aA und bB . Ihr Schnittpunkt Z ist das Projektionszentrum. Durch Ziehen des Strahles Zi findet man im Schnittpunkt dieses Strahles mit der Geraden FB den Punkt I , der dem gewünschten Doppelverhältnis entspricht.

Erläuterungen der Figuren 26 und 27.

Gegeben sind im Bilde die beiden Geraden ac und ab , deren Objekte in der Natur den Horizontalwinkel ω miteinander einschließen.

Es ist klar, daß, wenn man sich vom Projektionszentrum S des Bildes aus die beiden Fluchtstrahlen $S\alpha$ und $S\beta$ zieht, auch diese den gegebenen Horizontalwinkel ω miteinander einschließen. (Fig. 26.) Die beiden Schnittpunkte α und β dieser beiden Fluchtstrahlen mit den perspektivischen Bildern bestimmen den Bildhorizont und die beiden Schnittpunkte ϵ und η der in der Natur gegebenen horizontalen Geraden mit ihren Perspektivbildern bestimmen das sogenannte gemeinsame Element oder die Terrainlinie.

Fig. 27 zeigt die konstruktive Verwertung dieses Gedankens zum Zwecke der Ermittlung der Lage des Bildhorizontes und hiermit der Neigung i der Bildebene unter der Voraussetzung, daß die Verschwenkung a des Bildes durch das Niveau-Jardinet festgelegt sei. Man macht zuerst eine willkürliche Annahme bezüglich der Lage des Horizontes und denkt sich das Projektionszentrum S um diesen willkürlich angenommenen Horizont in die Zeichenebene nach S_1 umgelegt.



Man bringt die Gerade ab mit dem willkürlich angenommenen Horizont H_1 in β_1 zum Schnitt, verbindet β_1 mit S_1 und konstruiert an diese Gerade als Winkelschenkel den Winkel ω . Der Schnittpunkt des zweiten Winkelschenkels mit dem Horizont H_1 sollte nun, wenn der Horizont richtig angenommen gewesen wäre, mit γ_1 , dem Schnittpunkt der Geraden ac mit H_1 , zusammenfallen. Er wird es aber in der Regel nicht tun, sondern nach γ_1 fallen.

Man macht nun eine zweite Annahme mit dem Horizont H_2 , und führt dieselbe Konstruktion ein zweitesmal durch und findet auf diese Art den Punkt γ_2 , der ebenfalls nicht wie er sollte, mit dem Punkt γ_1 zusammenfällt.

Verbindet man nun γ_1 mit γ_2 durch eine Gerade, so ist der Schnittpunkt dieser Geraden mit der Geraden ac mit großer Annäherung der gesuchte Fluchtpunkt γ derselben und kann durch denselben der Bildhorizont H nun richtig gezogen werden, womit auch die Neigung i des Bildes bestimmt ist.

Erläuterung der Methode Sacconneys, Ballonaufnahmen direkt auf Grund von drei Punkten zu orientieren.

Nachdem diese Methode eigentlich bloß für den Fall erdacht ist, daß von den gegebenen drei Terrainpunkten wenigstens zwei ein und dieselbe Höhe besitzen, so beginnt Sacconney mit dem Kunstgriff, ein gegebenes Terraineck, das ihm zur Orientierung eines Ballonbildes dienen soll und bei dem die drei Terrainpunkte im allgemeinen verschiedene Höhe haben, derart zu teilen, daß die Teilungslinie des Dreieckes eine horizontale Gerade durch den einen Terrainpunkt wird. Fig. 29 zeigt das ursprüngliche Terraineck ABC im Auf- und Grundriß und die horizontale Teilungslinie AB_1 ; zur weiteren Orientierung des Ballonbildes dient dann das Dreieck AB_1C . Die Teilungslinie muß selbstverständlich auch

in das Bilddreieck abc übertragen werden, was am besten und einfachsten nach projektiven Methoden geschieht.

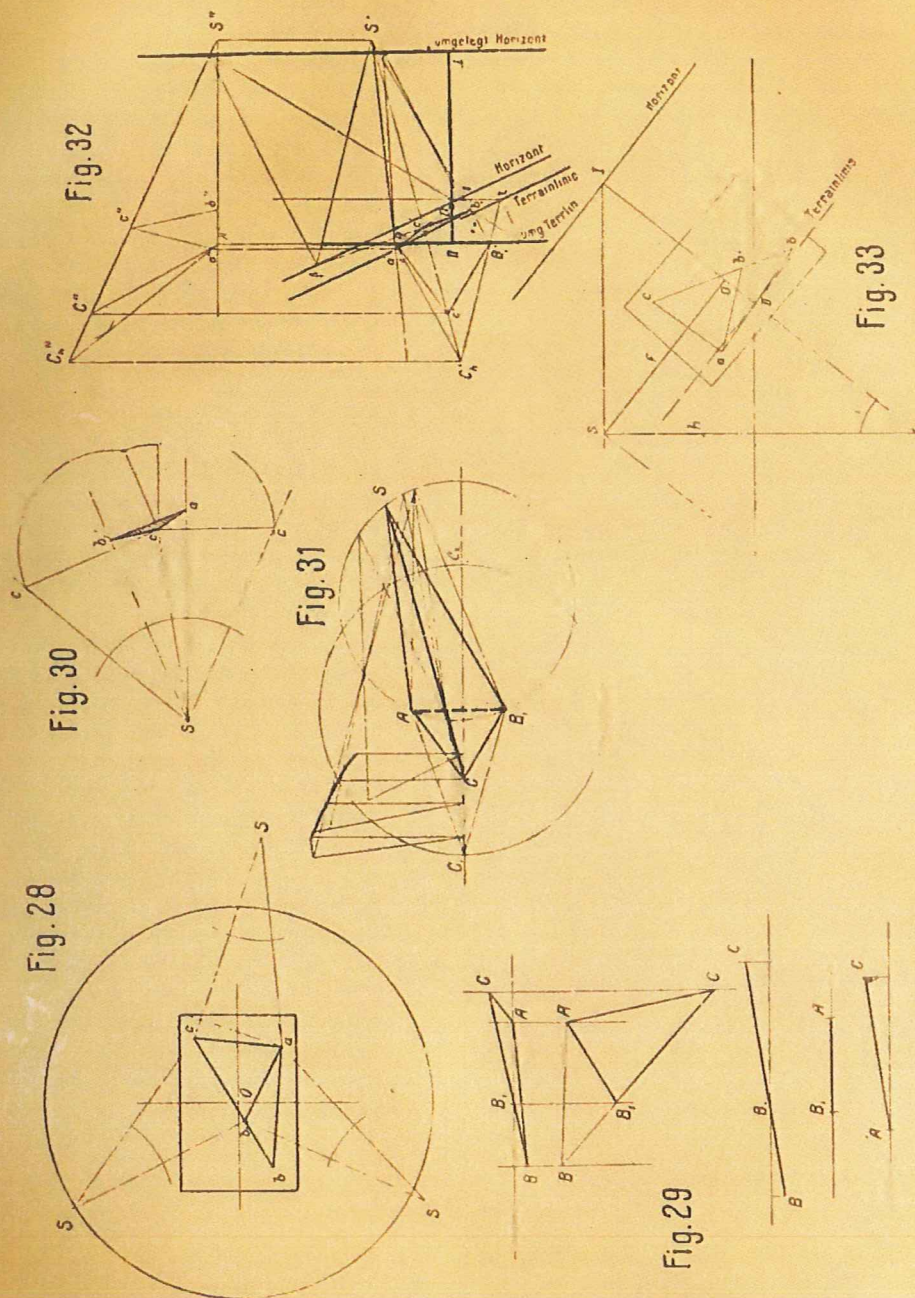


Fig. 28 zeigt das Bilddreieck abc , die Teilungslinie ab und die mit Hilfe des Distanzkreises konstruierten und in die Zeichenfläche umgelegten drei Seitenflächen der Pyramide.

Fig. 30 zeigt diese Pyramide mit der Seitenfläche ab, S auf die Zeichenfläche gelegt. Bei der Orientierung dieser Pyramide in bezug auf das Terraindreieck geht Sacconney von folgendem Gedankengang aus:

Denkt man sich das Terraindreieck AB_1C in die Zeichenfläche gelegt und sodann um die Gerade AB_1 als Achse gedreht, so beschreibt die Spitze des Dreieckes C einen Kreis, der in einer auf der Zeichenebene und der Geraden AB_1 senkrechten Ebene liegt.

In Fig. 31 ist dieser Kreis in die Zeichenebene umgelegt

Denkt man sich weiter die Pyramide ab_1cS ebenfalls, wie dies Fig. 30 und 31 zeigen, auf die Seitenfläche ab_1S gelegt, mit den Kanten sa und sb_1 an die Punkte A und B_1 angedrückt und bewegt, so beschreibt bekanntlich die Spitze S einen Kreis, für welchen der Winkel asb_1 Peripheriewinkel über der Sehne AB_1 ist.

Bei diesen Bewegungen trifft natürlich die in die Luft hinausragende dritte Kante der Pyramide Sc die Vertikalebene C_1C_2 , in der der Drehkreis von C liegt, in einer Reihe von Punkten. Der geometrische Ort aller dieser Durchstoßpunkte der Pyramidenkante Sc mit der Ebene C_1C_2 für alle möglichen Stellungen der Pyramide ist eine Kurve, die den Drehkreis von C viermal schneidet.

Die vier Schnittpunkte sind Lösungen der gestellten Aufgabe und ist es in der Regel nicht schwer, zu beurteilen, welcher von den vier Fällen den Tatsachen wirklich entspricht. Fig. 31 zeigt die konstruktive Ermittlung eines solchen Schnittpunktes.

Um den Neigungswinkel und die Verschwenkung des Bildes, sowie die Höhe und Horizontalprojektion des Ballonortes zu ermitteln, sucht sich sodann Sacconney den Bildhorizont und die Terrainlinie. Zur Erläuterung dieser Konstruktion sei es gestattet, auf Fig. 26 zurückzugreifen. Selbe zeigt, daß der Bildhorizont der geometrische Ort aller Fluchtunkte von horizontalen Geraden ist und sich ergibt, wenn man zu gegebenen Horizontalen die Fluchtstrahlen parallel durch den Angpunkt zieht und mit dem Perspektivbilde der gegebenen Geraden zum Schnitte bringt, während sich die Terrainlinie ergibt, wenn man die in der Natur gegebenen horizontalen Geraden selbst mit ihren Perspektivbildern zum Schnitte bringt und die erhaltenen Schnittpunkte durch eine Gerade verbindet.

Legt man durch den Angpunkt O (Fig. 26) eine Senkrechte $I'O II$ auf den Horizont und die Terrainlinie, so ergibt sich die Neigung i des Bildes aus der Formel $OI = F \cdot \tan. i$, und die Höhe des Ballonortes im Verjüngungsverhältnis der Karte aus der Formel $h = I II \cdot \cos. i$.

Die Verschwenkung a des Bildes ergibt sich aus der Lage des Bildhorizontes zum gegebenen Bilddreieck.

Fig. 32 zeigt, wie Sacconney den Horizont und die Terrainlinie ermittelt und in die Zeichenfläche umlegt, um die Größen IO und III zu finden. Er denkt sich vor allem durch die Gerade AB_1 eine horizontale Ebene gelegt und sucht den Durchstoßpunkt Ch der Pyramidenkante SC mit dieser Horizontalebene. Das geschieht, indem man die Höhenkote des Punktes C (siehe Fig. 29 Aufriß) in den Zirkel nimmt und um C'' (siehe Fig. 32 Aufriß) einen Kreis schlägt und von A'' an diesen Kreis eine Tangente zieht. Diese Tangente ist nichts anderes als die vertikale Bildflächenspur der durch AB_1 gelegten Horizontalebene. Die Geraden ChA und ChB_1 sind also horizontale Gerade. Parallele zu denselben durch die Pyramiden spitze S sind deren Fluchtgerade. Bringt man diese Fluchtgeraden mit den perspektivischen Bildern ac und b_1c zum Schnitt, so findet man die Fluchtunkte β und γ und aus deren Verbindungsgerade den Bildhorizont. Bringt man die horizontalen Geraden ChA und ChB_1 selbst mit ihren Perspektivbildern zum Schnitt, so findet man in den beiden Schnittpunkten ϵ und η Punkte der Terrainlinie, die man nur geradlinig zu verbinden braucht, um letzteres festzulegen.

Durch Umlegung dieser beiden Geraden in die Zeichenebene, und zwar um ab_1 als Achse, erhält man endlich den umgelegten Horizont und die umgelegte Terrainlinie und damit die wahren Größen der Distanzen III und IO .

Fig. 33 zeigt endlich die Verwertung dieser Größen, um die Ballonaufnahme in der üblichen und bereits mehrfach erläuterten Weise zu orientieren.

(Fortsetzung folgt nach Abschluß meiner einschlägigen praktischen Versuche.)

