

SCHRIFTEN DER RHEINISCH-WESTFÄLISCHEN
TECHNISCHEN HOCHSCHULE
AACHEN

[1-1]

Die Bedeutung der Photogrammetrie für die Vermessung der Erde

Rektoratsrede, gehalten an der Rheinisch-Westfälischen
Technischen Hochschule Aachen
am 14. November 1956

von

DR. F. RUDOLF JUNG
ord. Professor der Geodäsie

G I R A R D E T

Der erste Inhaber des Lehrstuhls für Geodäsie an unserer Hochschule in den Jahren 1870–1883, Professor Dr. F. R. HELMERT (1843–1917), der spätere Direktor des Königlich Preussischen Geodätischen Instituts in Potsdam, hat einmal die Geodäsie durch den kurzen Satz definiert: „Die Geodäsie ist die Wissenschaft von der Ausmessung und Abbildung der Erdoberfläche.“

Bei der Verzweigung, die die Geodäsie wie viele andere Wissenschaften in den inzwischen verflossenen sieben Jahrzehnten erfahren hat, trifft diese Definition allgemein heute nur noch zu, wenn man gewillt ist, sie sehr weit auszulegen, wenn man also z. B. Fragen der kartographischen Technik und Fragen der Ordnung des Grund und Bodens mit einbezieht.

Wird diese Erweiterung berücksichtigt, so ist die HELMERT'sche Definition der Geodäsie recht gut geeignet, auch unseren heutigen Betrachtungen über die Bedeutung der Photogrammetrie für die Vermessung der Erde als Grundlage zu dienen.

Geschichtliche Übersichtsbetrachtungen stellen immer ein vorzügliches Mittel dar, die Bedeutung einer Disziplin für die Gegenwart darzulegen und ihre mögliche Entwicklung zu beleuchten. Der *erste Abschnitt* meiner Ausführungen wird daher „Hinweise zur Geschichte der älteren Geodäsie“ bringen, der *zweite Abschnitt* wird das „Aufblühen der Photogrammetrie“ behandeln, und der *dritte und letzte Abschnitt* wird „Ansätze zur künftigen Entwicklung“ aufzeigen.

I. Hinweise zur Geschichte der älteren Geodäsie

Die Geschichte der Geodäsie ist eng mit der Geschichte der großen Kulturen verbunden. Im Altertum sehen wir zudem Geodäsie, Astronomie und Mathematik auf das innigste verflochten. Es ist schwer zu sagen, welche dieser Disziplinen von der Entwicklung der anderen mehr Nutzen gehabt hat. Geometrie und Algebra wurden entwickelt, um die Felder teilen und um Bauwerke errichten zu können. Die Astronomie entfaltete sich an der Notwendigkeit, Zeitmarken für den Ablauf des Lebens sowie für die Bestellung der Felder zu finden, und an der Notwendigkeit, wiederkehrende Naturereignisse wie z. B. Überschwemmungen voraussagen zu können. Auch für diese Anwendung war die Entwicklung mathematischer Kenntnisse notwendig. Die Beschäftigung mit dem Kosmos aber rief automatisch die Frage nach der Größe und der Gestalt der Erde hervor, so daß wir den Kreis zwischen Geodäsie, Astronomie und Mathematik geschlossen sehen. — Ich darf in diesem Zusammenhang daran erinnern, daß nach unserer Unterrichtung die erste und einzige exakte Bestimmung des Erdumfangs im Altertum etwa im Jahre 200 v. Chr. durch ERATOSTHENES (276–195 v. Chr.), den damaligen Leiter der Akademie in Alexandria, vorgenommen wurde. Im Hinblick auf die ihm zur Verfügung stehenden Mittel hat der Gelehrte die Aufgabe mit bewundernswertem Geschick gelöst; denn sein Ergebnis weicht nur um etwa 320 km, d. s. 0,8%, von dem heute meist genannten runden Wert von 40 000 km ab. Leider wurden seine Ergebnisse von seinen unmittelbaren Nachfahren durch falsche Maßbeziehungen entstellt und damit seine Leistungen sehr zum Schaden für die Entwicklung verdunkelt¹.

¹) Miller, Konrad: Die Erdmessung im Altertum und ihr Schicksal. Strecker und Schröder, Stuttgart 1919.

Aus der Positionsastronomie, die bereits ERATOSTHENES benutzte, ergab sich — wie wir heute wissen, mit der durch die Lotabweichungen gegebenen Einschränkung — ein vorzügliches Mittel zur geographischen Ortsbestimmung auf der Erde. Mit ihrer Hilfe sind jahrhundertlang die klein- und großmaßstäblichen Karten hergestellt worden, die Anspruch auf eine maßstäbliche Darstellung der Situation erhoben.

Der Darstellung der dritten Dimension, also den Höhen, schenkte man bei allen Vermessungen und Kartendarstellungen im Altertum und im Mittelalter noch eine mindere Beachtung. Es darf jedoch nicht verkannt werden, daß z. B. bereits die Etrusker, die Lehrmeister der Römer im Bauen von unterirdischen Kanälen und von Aquädukten, im kleinen sehr wohl Höhenunterschiede recht genau gemessen haben müssen. Leider ist uns heute nicht mehr bekannt, wie sie es gemacht haben.

Einen wesentlichen Markstein in der Geschichte genauer Vermessungen der Erde bedeutet die Erfindung des Fernrohrs durch die Holländer und GALILEI (1564–1642) um 1600 und die Zusatzerfindung des Fadenkreuzes durch den Engländer GASCOIGNE um das Jahr 1640. Hier beginnt ganz allgemein die Geschichte der modernen Meßtechnik und der Vermessungstechnik, denn von diesem Zeitpunkt ab datiert die Geschichte der Werkzeuge für genaues Messen. Man könnte fast annehmen, daß diese beiden Erfindungen vor der Schwelle des späteren technischen Zeitalters stehen, für das — mit der geziemenden Bescheidenheit gesprochen — in erhöhtem Maße die MOMMSEN-Worte gelten:

Die Kunst des Messens unterwirft dem Menschen die Welt. Durch die Kunst des Schreibens hört seine Erkenntnis auf, so vergänglich zu sein wie er selbst. Sie beide geben dem Menschen, was ihm die Natur versagt: Allmacht und Ewigkeit. (Römische Geschichte)

Etwa um die Zeit, da Fernrohr und Fadenkreuz erfunden wurden, machte unabhängig von diesen Erfindungen der Niederländer SNELLIUS (1580–1626) die Welt mit einer sehr

fruchtbaren Vermessungs-Methode bekannt. Um der Schwierigkeit der direkten Streckenmessung aus dem Wege zu gehen und dennoch für seine Gradmessungsabsichten zur Bestimmung des Erdradius genaue Längenbestimmungen zu erhalten, führte er in den Jahren um 1617 in Holland die erste Triangulation der Welt durch. Er maß kleine Grundlinien möglichst genau und vergrößerte diese durch anschließende Basisvergrößerungsnetze aus Dreiecken, in denen nur die Winkel gemessen wurden. Die Messung großer Entfernungen war damit auf die wesentlich einfachere Winkelmessung zurückgeführt.

Bereits im Jahre 1620 wurde die Methode des SNELLIUS in Württemberg von SCHICKHART (1592–1635) für eine Landestriangulation verwandt, die als Rahmen für die Aufnahme topographischer Karten diente. Es wurde also damals das Prinzip der Arbeit vom Großen ins Kleine, dessen Anwendung bei allen Vermessungsarbeiten notwendig ist, um an jeder Stelle die erforderliche Nachbargenauigkeit zu erhalten, zum ersten Mal konsequent durchgeführt. Das hinderte nicht, daß diese frühe Erkenntnis noch jahrhundertlang bei vielen wichtigen Arbeiten der allgemeinen Landesvermessung unbeachtet blieb.

In diesem Zusammenhang sei die kaum bekannte Tatsache erwähnt, daß der große dänische Astronom TYCHO BRAHE (1546–1601) bereits im Jahre 1589 in einem Brief empfohlen hat, an den Beginn einer kartographischen Landesaufnahme in Dänemark eine Triangulation zu setzen. Diese nicht befolgte Empfehlung liegt zeitlich 28 Jahre vor der Veröffentlichung des SNELLIUS¹.

Gegen Ende des 17. und während des 18. Jahrhunderts glänzten dann die französischen Gradmessungen. Am Anfang steht diejenige von PICARD (1620–1682) in den Jahren 1669 bis 1670, bei der nach unserer Kenntnis für eine Triangulation

¹) Verhandlungen der in Kopenhagen vom 13. bis 18. Oktober 1930 abgehaltenen 5. Tagung der Baltischen Geodätischen Kommission. Helsinki 1931, S. 46.

als Visiereinrichtung zum erstenmal ein Fernrohr mit Fadenkreuz verwandt wurde. Das Ende dieser Periode bildete die bekannte Gradmessung von MECHAIN (1744–1804) und DELAMBRE (1749–1822) in den Jahren 1792–1805 zwischen Dünkirchen und Barcelona, die zur erstmaligen Festlegung des Meters als des vermeintlich zehnmillionensten Teils des Erdmeridianquadranten führte.

Besonders herauszustellen ist schließlich das große Verdienst des princeps mathematicorum Carl Friedrich GAUSS (1777 bis 1855), dessen die Welt aus Anlaß seines 100. Todestages im vergangenen Jahr feierlich gedachte¹. Sein Wunsch war es, „der feinste Geometer und der vollendete Astronom“ zu sein. Es war ihm vergönnt, die geodätischen Anstrengungen des 17. und 18. Jahrhunderts für die Ziele der übergeordneten Landesvermessung in theoretischer und praktischer Hinsicht zusammenzufassen und durch völlig neue Gedanken zu befruchten. Ich erinnere nur

an die Schöpfung und Anwendung der Ausgleichungsrechnung nach der Methode der kleinsten Quadrate,

an die Vervollkommnung der Theorie der geodätischen Linien für die Berechnung auf krummen Flächen, insbesondere auf dem Rotationsellipsoid,

an die Kopenhagener Preisschrift über die allgemeine konforme Abbildung,

an die Definition der Erdoberfläche als einer Fläche, die überall die Richtung der Schwere senkrecht schneidet, man hat sie später (LISTING 1876) Geoid genannt, und

an die Anwendung seiner Theorien auf die hannoversche Triangulation in den Jahren 1821–1844.

Von den Arbeiten GAUSS' über die geodätischen Grundlagenmessungen, die nach seinem Siegelspruch: „*pauca, sed matura*“ — „Weniges, aber Reifes“ — in sich vollendet waren, zehrte in ständig wachsendem Maße das gesamte 19. Jahrhundert, und auf seinen Arbeiten stehen wir auch heute noch,

¹) C. F. Gauß und die Landesvermessung in Niedersachsen. Herausgegeben von der Niedersächsischen Vermessungs- und Katasterverwaltung, Hannover 1955.

soweit nicht die technische Entwicklung neue Möglichkeiten geschaffen hat, die GAUSS nicht zur Verfügung standen.

Um die große Bedeutung der Photogrammetrie richtig einordnen zu können, muß ich noch eine andere Entwicklung erwähnen. Die Erfindung von Fernrohr und Fadenkreuz gestattete nicht nur die Verbesserung der geodätischen Instrumente zur feineren Richtungs- und Winkelmessung, sondern in Verbindung mit der Erfindung der optischen Fadendistanzmessung — an deren Verbesserung im Jahre 1771 James WATT (1736—1819) und im Jahre 1810 REICHENBACH (1772—1826) mitwirkten¹ — die Entwicklung und Vervollkommnung eines einfachen, aber für die Geländeaufnahme mit dem Meßtisch sehr wichtigen Instrumentes, der Kippregel. Der Meßtisch — ein im Felde horizontal aufstellbares Reißbrett, auf dem die Kippregel mit dem beweglichen Lineal und der kippbaren Visiereinrichtung aufgesetzt wird — ermöglichte im 19. Jahrhundert die Aufnahme der großen topographischen Kartenwerke, die das aufkommende technische Zeitalter nicht ohne Grund begleiteten. Die Meßtischaufnahme ist in unserer modernen Sicht kein Verfahren zur vorausschauenden Aufnahme großer unerschlossener Gebiete, aber sie gestattete, mit einem wirtschaftlich erträglichen Aufwand wenigstens die topographische Aufnahme der Kulturländer — wenn auch z. T. zunächst aus militärischen Gründen — voranzutreiben, und erleichterte damit den schnellen Fortschritt der Industrialisierung.

Mit dem Vorangegangenen habe ich bereits in großen Zügen die technischen Möglichkeiten aufgezeigt, die zu Anfang des 19. Jahrhunderts bereit standen, um die im weiteren Lauf des Jahrhunderts in den europäischen Kulturstaaten auftretenden großen Vermessungsaufgaben zu bewältigen.

Es bleibt noch zu erwähnen, daß die Strukturwandlung der europäischen Staaten, die in der Französischen Revolution ihren sichtbarsten Ausdruck fand, mit ihrem Postulat des Privat-

¹⁾ Hammer: Z. f. Vermessungswesen 1891, S. 295—299; Z. f. Instrumentenkunde 1897, S. 278—279.

eigentums auf Grund und Boden auch auf das Vermessungswesen von großem Einfluß gewesen ist.

Etwa um 1800 begannen in Frankreich und Deutschland die großen Parzellarvermessungen, die eine gerechtere Verteilung der Steuern bezweckten, dem Staat aber gleichzeitig ein höheres Steueraufkommen einbringen sollten. Aus diesen Steuerkatastern mit ihrem Nachweis von Gebäuden und Bodenwerten, die anfänglich oft mit unzureichenden, aber allmählich mit immer besseren Mitteln durchgeführt wurden, entstanden später die Eigentumskataster, die das Eigentum am Grund und Boden eindeutig nachweisen und sichern sollten. Dies ist nicht nur für den Eigentumsnachweis an sich, sondern auch für Beleihungen und damit für Aufbau und Entwicklung von größtem Wert. Für die Länder, die sie durchgeführt haben, stellen die systematische Parzellarvermessung und ihre nicht weniger wichtige Fortführung eine beachtliche Kulturleistung dar.

Auch die Parzellarvermessungen müssen nach dem Prinzip der Arbeit vom Großen ins Kleine in eine Landestriangulation eingegangen werden, wenn an keiner Stelle Sprünge auftreten sollen, wenn man also überall die notwendige Nachbargenauigkeit erreichen will. Nach unserer heutigen Erkenntnis sollte zur ökonomischen Ausnutzung aller Kräfte in einem gut organisierten Staatswesen die Parzellarvermessung auch zur topographischen Vermessung und ihrer Fortführung ausgenutzt werden.

Die technischen Hilfsmittel, von denen bisher andeutungsweise gesprochen wurde, also die klassischen geodätischen Instrumente und Methoden, ließen und lassen trotz aller bewunderungswürdigen Vervollkommnungen und Neuentwicklungen ein etwas beängstigendes Gefühl aufkommen, wenn man bedenkt, daß Vermessungen und Karten nicht nur erstmalig geschaffen, sondern auch maßstäblich fortgeführt werden müssen, daß das Antlitz der Erde immer schneller verändert wird, daß ferner durch Vermessung und Kartenherstellung immer neue und größere Gebiete besser ausgenutzt oder sogar

erstmals erschlossen werden sollen, und daß uns heute oft nicht einmal mehr Jahrzehnte zur Verfügung stehen, wo früher Jahrhunderte gebraucht wurden.

Das Hilfsmittel, das hier in den zurückliegenden vier Jahrzehnten Wandel geschaffen hat, ist die „Photogrammetrie“. Sie wurde im letzten Jahrzehnt wesentlich unterstützt durch die „elektromagnetische Entfernungsmessung“.

II. Das Aufblühen der Photogrammetrie

Man kann die Photogrammetrie als den jüngsten Zweig der Geodäsie bezeichnen. Man muß ihr aber auch eine starke Eigen-gesetzlichkeit zubilligen. Ich erinnere an ihre Verwendung in nahezu allen Zweigen der Naturwissenschaft und der Technik, aber auch in anderen Disziplinen, z. B. der Archäologie, der Kriminalistik und der Röntgenmedizin.

Im großen gesehen wird die Photogrammetrie überall da mit Vorteil eingesetzt, wo nicht oder nur schwer zugängliche Gegenstände oder komplizierte und schnell verlaufende Vorgänge, die photographiert werden können, vermessen werden sollen. Die Messungen werden in den Momentaufnahmen vorgenommen.

Mathematisch gesprochen, besteht die Aufgabe der Photogrammetrie darin, zentralperspektive Abbildungen ineinander überzuführen oder aus zwei gegebenen Zentralperspektiven desselben Gegenstandes Parallelprojektionen auf spezielle Rißebenen abzuleiten. Die Zentralprojektionen liefern hierbei die photographischen Aufnahmen.

Je größer die verlangte Genauigkeit ist, um so höher sind die Ansprüche an die Aufnahmegeräte — insbesondere an die Verzeichnungsfreiheit und das Auflösungsvermögen der Objektive, sowie an die Feinkörnigkeit, Empfindlichkeit und Maßhaltigkeit der photographischen Schicht — und ferner an die Auswertegeräte.

Die Umwandlung der Perspektiven ineinander muß aus wirtschaftlichen Gründen umsomehr automatisiert sein und auf Leistung zu arbeiten gestatten, je umfangreicher der Einsatz der Photogrammetrie ist.

Die größten Ansprüche hinsichtlich Umfang, Genauigkeit und Schnelligkeit der Auswertung stellte bisher die Geodäsie. Daher sind für ihre Zwecke die besten Auswertegeräte und Methoden entwickelt worden, von denen alle anderen Gebiete Nutzen gezogen haben.

Der Beginn der praktischen Anwendungsmöglichkeit der Photogrammetrie fällt mit dem Jahr 1838 zusammen, dem Jahr, in dem der Franzose DAGUERRE (1789–1851) die erste photographische Platte schuf. Es sind bereits frühere Ansätze einer Umkehrung der Zentralprojektion bekannt. Als eigentlicher Begründer der Photogrammetrie ist aber erst der französische Oberst LAUSSE DAT (1819–1907) anzusehen, der von 1851 ab die photographische Aufnahme in den Dienst der topographischen Vermessung stellte. Er nannte sein Verfahren „Metrophotographie“. Die Bezeichnung „Photogrammetrie“, die heute in der ganzen Welt gebraucht wird, führte der deutsche Geodät Wilhelm JORDAN (1842–1899) im Jahre 1876 ein.

LAUSSE DAT bemühte sich auch um die topographische Verwertung von Luftbildern, deren erstes im Jahre 1858 aus einem Fesselballon aufgenommen wurde.

In Deutschland benutzte zunächst unabhängig von LAUSSE DAT der Architekt A. MEYDENBAUER (1834–1922), der spätere Begründer der preußischen Meßbildanstalt, von 1858 an den photogrammetrischen Gedanken für Architekturaufnahmen.

Fast alle Köpfe, die sich dann bis zur Jahrhundertwende in Deutschland, Frankreich und Italien der Photogrammetrie zuwandten, betrieben nach unserer heutigen Terminologie die sogenannte Meßtisch- oder Einschnidephotogrammetrie. Es wurden von vermessenen Standpunkten aus in festgelegten Richtungen photographische Aufnahmen gemacht, also gewis-

sermaßen auf jedem Standpunkt eine photographische Gesamtregistrierung aller Richtungen vorgenommen. Die Richtungen wurden dann wieder aus den Aufnahmen entnommen und rechnerisch oder graphisch verwertet.

Um die Jahrhundertwende waren, wie wir heute wissen, der einfallsreiche österreichische Hauptmann SCHEIMPFLUG (1867–1911) [1898] und der ehemalige französische Offizier und spätere kanadische Topograph DEVILLE (1849–1924) [1903] mit ihren originären Empfehlungen zur automatischen Doppelbildauswertung ihrer Zeit weit voraus. Es fehlte aber noch die notwendige Technik.

Den nächsten wesentlichen praktischen Fortschritt in der Photogrammetrie brachte der wissenschaftliche Mitarbeiter der ZEISS-Werke Carl PULFRICH (1858–1927) auf Grund seiner Beschäftigung mit stereoskopischen Entfernungsmessern. Der Mensch nimmt mit seinen beiden Augen von der Umwelt zwei verschiedene perspektive Bilder auf, die im Gehirn zu einem Gesamteindruck verschmolzen werden. Dieser Umstand befähigt uns bekanntlich zum eigentlichen räumlichen oder stereoskopischen Sehen. Werden die Bilder durch entsprechende apparative Einrichtungen mit einer größeren Basis als dem Augenabstand aufgenommen und dann erst den Augen zugeführt, so kann bei diesem künstlichen stereoskopischen Sehen das Tiefenwahrnehmungsvermögen entsprechend der benutzten Basislänge wesentlich gesteigert werden. — PULFRICH ersetzte das Sehen der Landschaft in den stereoskopischen Entfernungsmessern durch die photographischen Aufnahmen von zwei Standpunkten an den Enden einer Basis aus. Er schuf ferner in dem sogenannten „Stereokomparator“, der 1901 erschien, die Apparatur, die es gestattete, bei der Betrachtung der beiden entwickelten Aufnahmeplatten unter einem Stereoskop eine räumlich gesehene Meßmarke in den Meßpunkten des Geländemodells aufzusetzen und gleichzeitig die notwendigen Daten für eine Koordinatenbestimmung in den drei Dimensionen abzulesen.

PULFRICHs Erfindung war ein grundlegender Fortschritt; denn in diesem Stand der Entwicklung konnte das Streben nach Automatisierung des photogrammetrischen Meßvorgangs mit

Erfolg einsetzen. Bereits im Jahre 1908 brachte Carl ZEISS auf Grund von Anregungen des österreichischen Offiziers v. OREL (1877–1941) ein automatisiertes Gerät heraus, das eine kontinuierliche Auswertung gestattete. Die Handräder für die scheinbare Bewegung der Meßmarke im Geländemodell steuerten jetzt gleichzeitig über ein System von Hebeln und Gleitschienen, das die mechanische Auflösung von mathematischen Gleichungen besorgte, den Farbstift, der die Karte zeichnete.

Ein Nachteil der bis dahin entwickelten Photogrammetrie blieb zunächst ihre Gebundenheit an terrestrische Standpunkte, die ihren Einsatz auf gebirgiges Gelände beschränkte.

Der erste Weltkrieg hemmte und förderte zugleich die Entwicklung der Photogrammetrie. Die Förderung war jedoch wesentlich größer als die Hemmung. Die Entwicklung der Flugzeuge und die Schaffung einer Kammer für photogrammetrische Reihenaufnahmen aus der Luft durch Eduard MESSTER (1866 bis 1943)¹, dem auch der Spielfilm wesentliche technische Impulse verdankt, lösten die Photogrammetrie von ihrer Erdbundenheit. Die Reihenmeßkammern waren zunächst für Aufklärungszwecke bestimmt, aber die Photogrammetrie erkannte ihre Chance. Die Kammern wurden zu Meßkammern ausgebaut, und es wurde eine entsprechende Flugmethodik entwickelt, die bei der Überfliegung des Geländes in parallelen Streifen sich überlappende Luftbilder lieferte.

Auch das zunächst recht schwierig erscheinende Problem der automatischen Auswertung der Luftaufnahmen konnte gelöst werden. In den Jahren nach dem ersten Weltkrieg entstanden nacheinander mehrere universelle Auswertegeräte, die sich der PULFRICH'schen Stereophotogrammetrie bedienten, aber auf neuen Konstruktionsprinzipien beruhten.

Ich nenne hier die deutschen Konstruktionen von GASSER (1872–1954) aus dem Jahre 1915, von HUGERSHOFF (1882

¹) Messter, Oskar: Mein Weg mit dem Film. Hesses Verlag, Berlin-Schöneberg 1936.

bis 1941) aus den Jahren 1919 und 1926 sowie die Konstruktionen der Firma Carl ZEISS, insbesondere die von BAUERSFELD (*1879) aus dem Jahre 1923, durch die im „Stereoplanigraph“ der Welt ein Spitzengerät geschenkt wurde, das bis heute eine stetige Vervollkommnung erfahren hat. Ich verweise aber auch auf französische, italienische und schweizerische Konstruktionen. Die schweizerischen Geräte von WILD (1877–1951) haben sich während der letzten Kriegs- und Nachkriegszeit in der Welt viele Freunde erworben. Die Carl ZEISS-Werke konnten ihre Produktion photogrammetrischer Geräte wegen der Zeitereignisse erst im Jahre 1950 wieder aufnehmen.

Gemeinsam ist allen genannten Lösungen, ob sie nun den Strahlenverlauf optisch oder mechanisch realisieren, die Verwendung von Bildträgern, die es erlaubten, die Aufnahmen in die entsprechende Lage zueinander zu bringen, die sie im Augenblick ihrer Belichtung während des Bildfluges hatten (hierbei sind 5 Unbekannte zu eliminieren). 1924 gelang es dem wissenschaftlichen Mitarbeiter der ZEISS-Werke, Otto v. GRUBER (1884–1942), für diese *gegenseitige Orientierung* ein auf der sukzessiven Ausschaltung von Vertikalparallaxen in 5 ausgewählten, beiden Bildern gemeinsamen Punkten beruhendes Schema anzugeben, das wesentlich zur Verbreitung der Aerophotogrammetrie beigetragen hat. An die gegenseitige Orientierung schließt sich die *absolute Orientierung* an, durch die dem Modell der Maßstab und die Orientierung zum Landeshorizont gegeben wird (hierbei sind 7 Unbekannte zu eliminieren). Der Auswertevorgang geht dann in ähnlicher Weise vor sich, wie er oben beim v. OREL-ZEISS'schen Stereautographen geschildert wurde. Die Meßmarke wird durch das subjektiv oder objektiv betrachtete Modell der Landschaft geführt, und der Zeichenstift zeichnet automatisch die Karte, oder Zählwerke liefern die Koordinaten.

Die mittleren Fehler bei der Auswertung in den sogenannten Geräten I. O., die die höchste erreichbare Präzision hergeben, betragen heute bei einem Bildmaßstab von etwa 1:6000 – die Aufnahmen sind dann bei einer Brennweite der Aufnahmekammer von 0,20 m in 1200 m Höhe geflogen – für signali-

sierte Bodenpunkte in der Lage nur etwa 10 cm und in der Höhe etwa 10–15 cm. Die Photogrammetrie hat also eine Genauigkeit erreicht, die sie selbst für viele Zwecke des Eigentumskatasters außerhalb der Städte sehr wohl geeignet erscheinen läßt, wenn die Grenzpunkte — gegebenenfalls nach entsprechender Signalisierung — auf den Luftbildern zu sehen sind.

Für topographische Aufnahmen mit einem geringeren Genauigkeitsbedürfnis kann entsprechend höher geflogen und die Wirtschaftlichkeit von Aufnahme und Auswertung damit erhöht werden.

Die Grenze der Flughöhe wird in jedem Fall durch das Auflösungsvermögen der Objektive und der photographischen Schicht bestimmt. Auch hier sind im letzten Jahrzehnt wesentliche Fortschritte gemacht worden. Natürlich spielen auch die Lichtverhältnisse und über Industriegebieten der Dunst eine Rolle. Gesucht wird noch immer ein Film, der als Schichtträger die gleiche Maßhaltigkeit wie Glas besitzt.

Um die Wirtschaftlichkeit bei photogrammetrischen Aufnahmen für topographische Zwecke zu erhöhen, sind mit zunehmendem Erfolg neben den Normalwinkelkamern mit $\sim 60^\circ$ Öffnungswinkel, Weitwinkel- und Überweitwinkelkamern bis zu $\sim 120^\circ$ Öffnung gebaut worden. Um die mit den Überweitwinkelaufnahmen wegen der teilweise sehr flachen Schnitte verbundenen Schwierigkeiten zu vermeiden, betreibt man z. Z. die Einführung von Konvergentaufnahmen, die ebenfalls gestatten, Genauigkeit und Wirtschaftlichkeit zu erhöhen.

Sehr teuer ist bei der Aerophotogrammetrie neben der einmaligen Beschaffung der kostbaren Geräte die immer wieder notwendige Bestimmung terrestrischer Paßpunkte. Die photogrammetrische Auswertung ist nun einmal ein Interpolationsverfahren und wird es immer bleiben; die photogrammetrischen Geländemodelle müssen also in Festpunkte eingepaßt werden, deren Lage und Höhe auf den Landeshorizont bezogen sind. Wegen der Schwierigkeit der Beschaffung dieser Paßpunkte hat sich das Interesse der Photogrammetrie schon sehr früh der

sogenannten Luftbildtriangulation in Form der Radialtriangulation oder der Modelltriangulation zugewandt.

Bei der universelleren Modelltriangulation, die die Paßpunkte nach Lage und Höhe liefert, fügt man nicht nur *zwei* Luftbilder durch gegenseitige Orientierung aneinander, sondern sukzessive *eine ganze Reihe* von Aufnahmen. Zur absoluten Orientierung des großen Modells braucht man theoretisch nicht mehr Paßpunkte als für ein einziges Modell aus nur zwei Luftbildern, wobei die Paßpunkte zweckmäßig am Anfang und am Ende des Gesamtmodells liegen. Man kann also auf diese Weise festpunktlose oder festpunktarme Räume mit Hilfe der Photogrammetrie überbrücken.

Die Erfahrung hat gezeigt, daß bei der Fülle von unregelmäßigen Elementarfehlern, die bei der sukzessiven gegenseitigen Orientierung der Einzelaufnahmen zusammentreffen, in längeren Aerotriangulationen Fehlerfortpflanzungen auftreten, die im Einzelfall das Vorhandensein systematischer Fehler vortäuschen. Aus diesem Grunde hat man für die Zwecke der Aerotriangulation eine Reihe von technischen Aufnahmehilfen geschaffen. Hierzu gehören: die Kreiselstabilisierung der Aufnahmekammern, Statoskope zur Konstanthaltung und Kontrolle der Flughöhe, Horizontkammern zur Neigungsbestimmung der Aufnahmen sowie Sonnenperiskope zur Orientierungsbestimmung. Alle diese Hilfen haben Vorzüge und Nachteile.

Ich will nicht verheimlichen, daß ich bei meinen Ausführungen die Entwicklung geschildert habe, wie sie auf dem europäischen Festland und insbesondere in Deutschland vorangetrieben wurde. In vielen Ländern hat man zunächst mit wesentlich einfacheren Mitteln und Geräten gearbeitet, da die Aufgaben zu gewaltig waren und deshalb die Festpunkte nicht beschafft werden konnten, die den Einsatz der hochwertigen Geräte erst sinnvoll machen. Hinzu kam, daß sich die Staaten, die über großräumige Gebiete verfügen, zunächst mit den Mitteln helfen wollten, die sie selbst entwickelt hatten. Es sei hier z. B. die in den USA geschaffene Trimetrogonmethode zur Herstellung von Karten im Maßstab 1:250 000 für Alaska genannt.

III. Ansätze zu künftigen Entwicklungen

Neuerdings erhofft man bei der Aerotriangulation eine Hilfe von den elektronischen Rechenmaschinen. Das klingt zunächst überraschend; denn seit einem halben Jahrhundert etwa folgt man dem Prinzip, das v. GRUBER einmal in die Worte gekleidet hat: „Die Photogrammetrie ist die Kunst, Rechnungen zu vermeiden“. Der scheinbare Widerspruch ist aber leicht zu erklären. Die Rechenformeln für die Luftbilddauswertung sind recht unhandlich. Ihre Auflösung war langwierig, ihre Anwendung also unwirtschaftlich. Der Einsatz von elektronischen Rechengeräten kann hier natürlich Wandel schaffen.

Die Voraussetzung für die Anwendung der Rechnung in der Modelltriangulation sind aber Geräte in der Art des PULFRICH'schen Stereokomparators, die unter Benutzung des stereoskopischen Meßprinzips sehr genaue Einzelmessungen in den Bildern selbst auszuführen gestatten. Entsprechende Geräte sind noch nicht vorhanden. Es besteht der dringende Wunsch, sie zu schaffen. Durch den Einsatz der Rechnung würden die Übertragungsfehler bei der gegenseitigen Orientierung wegfallen; an ihre Stelle träten zwar die Meßfehler, aber diese könnten klein gehalten werden.

Die entwickelten und vorhandenen Auswertegeräte würden hierdurch keineswegs überflüssig gemacht, denn an der kontinuierlichen Auswertung der einzelnen Geländemodelle wird man festhalten müssen. Die Wirksamkeit des Einsatzes der Auswertegeräte könnte jedoch erhöht werden, und vielleicht könnte man auch etwas vereinfachte Geräte anwenden.

Für die schnelle Kartenherstellung in unerschlossenen Gebieten ist der Photogrammetrie ferner während des letzten

Krieges durch die Entwicklung der Radar-Technik in Großbritannien und in den Vereinigten Staaten eine sehr wertvolle Hilfe erwachsen, die auch der europäischen Geräteentwicklung zugute kommt. Man lernte große Entfernungen über die Laufzeit elektromagnetischer Wellen mit relativ hoher Genauigkeit messen. Da die notwendigen Geräte zum Teil für den Flugzeugeinsatz entwickelt und somit transportabel waren, so waren sie von vornherein auch für Vermessungszwecke sehr geeignet.

Für die geodätischen Anwendungen hat sich insbesondere die Entwicklung als sehr geeignet erwiesen, die unter dem Namen „Shoran“ (short range navigation) bekannt geworden ist. Sie benutzt die sogenannte Impulstechnik. Eine in den letzten Jahren verbesserte instrumentelle Ausrüstung hat den Namen „Hiran“ (high precision shoran) erhalten. Shoran hat sowohl in der Seevermessung wie in der Landvermessung weiträumiger Gebiete in den letzten Jahrzehnten erhebliche Umwälzungen hervorgerufen. Den geodätischen Einsatz will ich an dem Beispiel Kanadas charakterisieren, das für sein aufstrebendes Land seit 1949 den bisher ausgiebigsten Gebrauch davon gemacht hat.

Kanada verfügt nur im Südwesten und im Süden über hochwertige Triangulationen I. O., die nach den klassischen Methoden ausgeführt waren. Von 1949 bis jetzt hat Kanada sein gesamtes Gebiet mit einem Netz von übergeordneten Festpunkten überzogen, deren Lage nicht mehr wie bei der klassischen Triangulation durch Winkelmessungen festgelegt wurde, sondern durch die Messung der Entfernungen benachbarter Festpunkte. Diese Methode hat bereits international den Namen „Trilateration“ erhalten.

Die Entfernungen werden mit Hilfe von Shoran-Geräten bestimmt, die elektromagnetische Wellen auf dem 1-m-Band benutzen. Da nun derartige Wellen sich bereits lichtähnlich — also geradlinig — fortpflanzen, so muß man zwischen der Meßstation und den anzumessenden Festpunkten eine quasioptische Sicht haben. Aus diesem Grunde arbeitet man auf dem Lande je nach der Entfernung in mehreren 1000 m Höhe vom Flug-

zeug aus, um die Erdkrümmung überwinden zu können. Das Flugzeug fliegt etwa in der Mitte der Linie, und zwar quer zu dieser. Das Shoran-Gerät im Flugzeug sendet dabei zu den Shoran-Grundstationen an den Enden der Linie elektrische Impulse mit den Frequenzen von 230 und 250 MHz aus; das entspricht ungefähr 1,3 und 1,2 m Wellenlänge. Diese Impulse werden in den Grundstationen um eine angemessene Zeit verzögert und mit der gemeinsamen Frequenz von 300 MHz, das entspricht ungefähr 1 m Wellenlänge, zurückgesandt. Die zwischen Aussendung und Rückkehr verstrichene Zeit mißt man mit Hilfe einer Braunschen Röhre nach der Nullmethode, wobei zwei Lichtsignale mit einem dritten, dem Nullsignal, zur Deckung gebracht werden. Auf den Teilkreisen der beiden Verzögerungssätze, die zusammen mit anderen Anzeigevorrichtungen alle drei Sekunden photographiert werden, erscheinen dann km-Angaben. Die kürzeste Entfernungssumme, die nach der Erfahrung den Entfernungen zwischen dem Flugzeug und den Trilaterationspunkten in der Vertikalebene des Flugzeuges entspricht, erhält man durch eine Ausgleichung.

Nunmehr kommt die mühevoll Reduktion der Messungen: wegen des elektrischen Zustandes der Geräte, wegen der elektrischen Refraktion in der Atmosphäre, wegen der zeitlich und örtlich veränderlichen Lichtgeschwindigkeit und wegen der Höhen von Flugzeug und Grundstationen über dem Landeshorizont. Trotz der vielen Probleme, die hier noch offen stehen und die bisher oft nur empirisch überbrückt werden konnten, hat die Methode bereits eine beachtliche Genauigkeit erreicht.

Nach den Angaben des kanadischen Dominion-Geodäten J. E. R. ROSS¹ auf dem Internationalen Kongreß für Geodäsie und Geophysik in Rom 1954 hat nach den Erfahrungen bei der Ausgleichung von Trilaterations-Teilnetzen eine gemessene Linie mit der mittleren Länge von 380 km einen mittleren zufälligen Fehler von nur 6 m. Das entspricht einer inneren

¹) Ross, J. E. R.: Shoran Trilateration in Canada 1949—1953. Report for International Union of Geodesy and Geophysics. X. General Conference. Rome 1954, s. auch Empire Survey Review 1953/54, S. 242—254 und 290—303.

Genauigkeit von 1:60 000. Aus dem Vergleich der Trilateration mit den geodätischen Festpunkten ergibt sich eine etwas geringere äußere Genauigkeit von etwa 1:30 000, übertragen also ein Fehler von etwa 1 m auf 30 km. Wenn wir beachten, daß gute Triangulationen etwa eine Genauigkeit von 1:100 000 haben, so erkennen wir, daß in der Trilateration nach der Shoran-Methode ein ganz vorzügliches Hilfsmittel für die schnelle Vermessung unerschlossener Gebiete entstanden ist. Kanada kann stolz darauf sein, es so schnell und gut entwickelt zu haben.

Es ist noch zu erwähnen, daß auch die Höhenbestimmung durch die elektromagnetische Distanzmessung der Photogrammetrie eine wesentliche Unterstützung zu bringen verspricht. Man hat in hochfliegenden Flugzeugen gleichzeitig Barometer und Radar-Höhenmesser verwandt, wobei die letzteren direkt Höhen über Grund messen. Die Differenzen der Angaben beider Meßgeräte liefern Höhen des Geländes über dem Meeresspiegel. Weil nun die Flächen gleichen Luftdrucks in größeren Höhen offenbar gleichmäßiger verlaufen als in unmittelbarer Nähe der Erdoberfläche, ergaben die bisherigen Probeflüge bis zu 350 km Ausdehnung Interpolationsergebnisse mit sehr geringen systematischen Fehlern¹.

Wie halfen sich nun die Kanadier, um bei ihrem Bestreben, eine Karte 1:50 000 zu gewinnen, die Photogrammetrie für die topographische Geländeaufnahme wieder zur Anwendung kommen zu lassen²?

Die Entfernungen der Trilaterationspunkte von 300–400 km waren zu groß, um sie unmittelbar durch Aerotriangulationen der bekannten Art überbrücken zu können. Die Zwischenschaltung einer intensiven Verdichtung der Festpunkte mit

¹) Blachut, T. J.: „General Report of Commission IV“ und „Airborne Control Method of Aerial Triangulation“. In: Photogrammetria 1955–56, S. 220–225 und 294–301.

²) Zarzycki, J. M.: Application of Shoran to Establish Horizontal Control for Photogrammetric Mapping of Inaccessible Areas, vorgelegt dem 8. Internationalen Kongreß für Photogrammetrie, Stockholm 1956; s. auch Canadian Surveyor 1957, S. 345–356.

Shoran-Verfahren ist trotz der bereits erreichten Beschleunigung verhältnismäßig umständlich, da außer dem Neupunkt auch alle benachbarten Festpunkte mit Grundstationen signalisiert werden müßten. So hat man denn seit dem Jahre 1952 erfolgreich versucht, mit einer sparsamen Shoran-Verdichtung des Trilaterationsnetzes auszukommen und von dem so verdichteten Netz aus Shoran-Messungen mit ausgedehnten Bildflügen entlang eines Rahmennetzes zu verbinden. Die Linien des Rahmens werden von geographischen Netzlinien gebildet. Beflogen werden alle 1° -Linien der geographischen Länge und alle $20'$ -Linien der geographischen Breite. Dadurch entstehen Netzmaschen von 55×37 km Ausdehnung.

Im Augenblick jeder Aufnahme der Shoran-kontrollierten Bildflüge entlang der ausgewählten Linien des Gradnetzes wird mit Hilfe von Shoran-Geräten der Abstand des Flugzeuges von zwei geeigneten benachbarten Trilaterationsfestpunkten photographisch registriert und damit der Nadirpunkt des betreffenden Luftbildes festgelegt. Fehlertheoretische Erwägungen haben ergeben, daß man mit einer Punktentfernung von 150 bis 200 km auskommt, um eine äußere Lagefestlegung der Nadirpunkte der Aufnahme mit einem mittleren Fehler von etwa ± 15 m zu erreichen. Das sind im angestrebten Kartenmaßstab von 1:50 000 weniger als 0,3 mm auf dem Papier.

Für die lagerichtige Kartierung des Geländes müssen die Nadirpunkte auch in den Luftbildern bestimmt werden können. Hierzu bedarf es aber der zuerst nicht vorhandenen Kenntnis der äußeren Orientierung der Luftbilder. Man glaubt, dieses Problem am wirksamsten und elegantesten durch die Kombination der Shoran-Kontrolle mit einer Aerotriangulation lösen zu können. Hierbei wird dann die Auswertung des bereits während des Fluges aufgenommenen Radar-Höhenprofils wertvolle Dienste leisten.

Wenn so der Rahmen nach Lage und Höhe festgelegt ist, können die Netzmaschen durch normale Aerotriangulationen ausgefüllt werden, bei denen man je nach der verlangten Genauigkeit Auswertegeräte verschiedener Ordnung benutzen wird. Im Zusammenhang mit diesen Arbeitsvorgängen oder

im Anschluß an sie kann dann die Herstellung der erstrebten Kartenwerke durchgeführt werden. Die Entwicklung ist noch im Fluß.

Ich möchte nicht versäumen, wenigstens zu bemerken, daß Lagefestpunkte für den Anschluß der photogrammetrischen Auswertung theoretisch und praktisch auch durch astronomische Ortsbestimmungen gewonnen werden können, wenn diese wegen der Lotabweichungen mit Hilfe von Schweremessungen korrigiert werden. Dieser Weg ist aber wesentlich umständlicher und langwieriger als der Einsatz der elektromagnetischen Entfernungsbestimmung.

Wir haben gesehen, daß — wo es auch immer auf der Erde sei — die Aufgabe der extensiven oder intensiven Vermessung ebenso wie die Herstellung der topographischen Grundkarten und nicht zu vergessen ihre sachgerechte Fortführung vom technischen und wirtschaftlichen Standpunkt aus z. Z. auf das engste mit der Photogrammetrie verbunden sind.

Sie werden nun die berechtigte Frage stellen wollen, wie weit wir noch von der Bedeckung der Erde mit topographischen Karten entfernt seien. Nun, noch sehr weit! Selbst die USA hatten im Jahre 1952 noch kein topographisches Kartenwerk, das ihr ganzes Staatsgebiet bedeckte.

In richtiger Einschätzung der ökonomischen Bedeutung von Vermessung und Kartenherstellung für die Erschließung entwicklungsfähiger Gebiete hat deshalb die UNO eine Zentralstelle geschaffen, die sich der Koordinierung der mit Vermessung und Kartenherstellung zusammenhängenden Fragen widmet.

Zum Abschluß möchte ich meine Ausführungen noch in das Licht einer allgemeinen Erkenntnis rücken. Der Überblick über die Bedeutung der Photogrammetrie, den ich bewußt in den Rahmen der geschichtlichen Entwicklung gestellt habe, zeigt mit aller Deutlichkeit, daß auch in diesem Bereich der Technik die heutigen Möglichkeiten auf Grundlagenforschungen und -arbeiten beruhen, die oft lange vorher auf vielen anderen Gebieten geleistet worden sind.

