

Neue Techniken und ihre Instrumente für die Geodäsie

Autor(en): **Strasser, G.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Mensuration, photogrammétrie, génie rural**

Band (Jahr): **73-F (1975)**

Heft 3-4: **Prof. Dr. F. Kobold zum 70. Geburtstag**

PDF erstellt am: **11.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-227536>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Neue Techniken und ihre Instrumente für die Geodäsie

G. Strasser, Heerbrugg

Im Rahmen des zugestandenen Umfangs wurde versucht, die wichtigsten neuen Techniken und Instrumente der Geodäsie für den Zeitraum zu beschreiben, in dem der Jubilar als Hochschullehrer gewirkt hat.

Einleitung

Die Vermessung als Grundlage fast jeder technischen Aktivität muss heute wegen der stürmischen Entwicklung, die alle Länder ohne Unterschied erfasst hat, ihre Ergebnisse in wesentlich kürzerer Zeit als bisher bereitstellen. Die plötzliche Erkenntnis, dass die bekannten Bodenschätze und Energiequellen infolge der Zunahme der Bevölkerung und des ansteigenden Bedarfs nur noch begrenzte Zeit reichen, zwingt zu einer umfassenden Bestandsaufnahme auf unserer Erde. Dies verlangt Karten, und zwar jetzt auch von Gebieten, die der Mensch bisher entweder wegen ihrer Unwirtlichkeit nicht besiedelt hatte oder die ihm wegen des lebensfeindlichen Mediums, wie zum Beispiel der Meeresboden, verschlossen waren. Wegen der ungastlichen Umgebung wird man gezwungen, die nötigen Arbeiten dort so rasch wie möglich auszuführen.

Es ist daher nicht verwunderlich, dass die Entwicklung der Messtechnik und ihrer Instrumente ungeahnte Fortschritte gebracht hat, wobei die Automation manueller Tätigkeiten einen grossen Anteil einnimmt. Nur so konnte und kann der Vermessungsingenieur mit den Forderungen der Zeit Schritt halten.

Rechner und Automation

Der immer grössere Anfall von Messdaten war mit den Tischrechenmaschinen, von Hand oder elektrisch angetrieben, und dem fehlerträchtigen Aufschlagen von Winkelfunktionen nicht mehr zu bewältigen. Zwischen den Versuchen, mit Sprossenradmaschinen Winkelfunktionen zu rechnen [1] und den elektronischen Computern von heute liegen nur 25 Jahre. Der elektronische Rechner ist jetzt in jeder Grösse, angepasst jedem Geldbeutel und jeder Aufgabe, zu haben. Er versteht mehrere Programm Sprachen, und seine Speicherkapazität variiert je nach Modell. Ohne den Beitrag der grossen Rechenanlagen für die Auswertung weltweiter Vermessungsvorhaben herabsetzen zu wollen, nimmt den Spitzenplatz auf jeden Fall der elektronische Taschenrechner, heute auch noch programmierbar, ein; denn der Vermessungsingenieur kann damit schon im Feld mit achtstelligen Winkelfunktionen «an seiner Fingerspitze» die kompliziertesten Rechnungen ohne Aufschreiben von Zwischenergebnissen ausführen und so ohne Büroarbeit gleich an Ort und Stelle über das weitere Vorgehen entscheiden.

Messungen mit vielen manuellen, monotonen Operationen ermüden den Beobachter, wobei dessen Aufmerksamkeit und damit auch die Qualität seiner Arbeit abnimmt. Automation schafft hier Abhilfe. Sie lässt eine Folge von Operationen, Messen wie Rechnen, ohne Zu-

tun des Beobachters ablaufen und fällt je nach Programm nach Vergleich der Resultate sogar noch gewisse Entscheidungen. Das Ergebnis wird damit zuverlässiger, denn die je nach Belastung variierende Leistungsfähigkeit des Beobachters beim Messen ist nicht mehr so kritisch. In der Automationskette ist der rasch arbeitende elektronische Rechner als Steuerzentrum für komplexe Vorgänge ein wesentlicher Bestandteil. Die Automation bestand ihre erste Feuerprobe in der Photogrammetrie; denn der Datenanfall bei Auswertung von Luftbildern mit ihrem grossen Gehalt von Informationen, die für eine bestimmte Aufgabe nicht immer sofort alle benötigt werden, ist nur mit automatischer Registrierung und Speicherung zu bewältigen. So entstanden und entstehen noch Instrumente, die man sich vor einer Generation noch kaum vorstellen konnte. Man baut Auswertegeräte mit eingebauten Prozessrechnern oder koppelt sie mit bestehenden Rechenanlagen, die Aufnahmen jeder Brennweite, jeden Formats und jeder Verzeichnung verarbeiten. Der Rechner gleicht die Elemente der inneren und äusseren Orientierung aus und übernimmt das Einstellen der zwei Kammern im Auswertegerät. Aus digitalen Geländemodellen, deren Daten beim Abfahren der Raummodelle automatisch registriert wurden, werden Höhenlinienpläne jeder gewünschten Dichte gewonnen. Orthophotosysteme benützen rechnergestützte Steuerprogramme, um die komplexen Beziehungen zwischen der Zentralperspektive eines Luftbildes und der orthogonalen dreidimensionalen Darstellung einer Karte zu lösen. Der Rechner liefert die Daten, um die kleinen Bildelemente, aus denen das Orthophoto besteht, zu entzerren. Automatische Bildkorrelatoren übernehmen dabei schon jetzt die Auswahl identischer Bildelemente aus beiden Stereobildern.

Der Prozessrechner steuert automatische Kartiertische mit hoher Geschwindigkeit und produziert dabei nicht nur Karten in jedem gewünschten Massstab, sondern zum Beispiel bei Autobahnprojekten auch noch perspektivische Ansichten von geplanten Trassen aus beliebigem Blickwinkel.

Das Aufstellen derartiger Rechenprogramme, die den Forderungen für die verschiedenen Vermessungsaufgaben nachkommen, ist bereits ein eigener Berufszweig geworden. Das Rechenprogramm, die «Software», scheint heute fast wichtiger zu sein als das Instrument, die «Hardware». Das Programmieren wird oft wichtiger genommen als der Bau neuer Instrumente. Man hält es für selbstverständlich, dass immer bessere Instrumente und Rechenaggregate zur Verfügung stehen, um damit noch ehrgeizigere Pläne realisieren zu können. Da moderne Computer fast jeden Datenanfall und diesen noch dazu auf beliebige Dezimalstellen verarbeiten können, wird der Vermessungsingenieur leicht dazu verführt, alles zu beobachten und zu messen, was vor sein Fernrohr kommt, ohne den praktischen Wert für die Erfüllung des Auftrags vor der Messung zu prüfen. Diese Arbeitsmethode mit einem Minimum an Denken und Planen wird noch weiter dadurch gefördert, dass heute die Messdaten dem Rechenzentrum übergeben werden, wo die Programmierhexenmeister stolz sind, jedes auf sie zukommende mathematische Problem ohne Rücksicht auf seinen wirtschaftlichen Nutzen lösen zu können.

Distanzmessgeräte

Von allen Messungen war bis vor kurzem noch das Messen von Distanzen sicherlich die zeitraubendste und auch die mühevollste. In den zwanziger Jahren brachte die optische Distanzmessung zwar eine körperliche Erleichterung gegenüber der Bandmessung, aber wegen der mit der Distanz quadratisch ansteigenden Messfehler war ihre Reichweite wie auch bei der Bandmessung nur auf 100 bis 150 m begrenzt und hemmte so den Arbeitsanstoss. Nach dem Zweiten Weltkrieg nahm die sich anbahnende Entwicklung elektronischer Distanzmessmethoden zuerst einen wirtschaftlich weniger interessanten Verlauf, denn die ersten Geräte waren nur für grosse Distanzen ausgelegt, die aber nur den kleinsten Teil des Arbeitsanfalls in der Vermessung ausmachen. So ersetzte das erste opto-elektronische Gerät, das Geodimeter von Bergstrand [2], wohl das schwerfällige, zeitraubende, aber seltene Messen von Grundlinien I. Ord. mit Invardrähten oder -bändern. Später machte dann die Erhöhung seiner Reichweite auch die direkte Messung von Dreieckseiten I. Ord. möglich. Die Versuche, mit Radar- und Mikrowellen geodätische Distanzen zu messen, zeigten schon eher spektakuläre Erfolge. Mit dem Shoran- und Hiran-Verfahren [3, 4] wurden in kurzer Zeit die unwirtschaftlichen arktischen Gebiete von Kanada bis 82° nördlicher Breite in den Jahren 1949–1958 trianguliert und anschliessend auf der ganzen Erde Inselgruppen und Kontinente verbunden. So konnte von 1950 bis 1954 Nordamerika über die Antillen mit Südamerika verbunden werden. Via Island und Grönland überbrückte man 1953–1956 den Nordatlantik und schloss 1953 durch Einschalten von Kreta zwischen Europa und Afrika die Lücke im Meridianbogen vom Nordkap bis zum Kap der Guten Hoffnung.

1954 schrieb der damalige Direktor der Südafrikanischen Landesvermessung, Mr. Baumann, seine Wünsche an einen Distanzmesser nieder. Sein Landsmann, der Physiker T. L. Wadley, erfüllte diese Wünsche mit der Konstruktion des ersten Mikrowellen-Distanzmessers «Tellurometer», den er am 24. April 1957 in London der staunenden Fachwelt vorführte [5]. Er mass von einem Hochhaus über die regenverhangene, raucherfüllte City eine Strecke von über 10 km. Bis dahin kannte man nur das Impulsverfahren der Radarentfernungsmessung, das aber gemäss den Versuchen von C. A. Hart [6] in den letzten Kriegs- und ersten Nachkriegsjahren für die Landesvermessung viel zu ungenau war, ganz abgesehen vom gerätetechnischen Aufwand. Das Tellurometer arbeitete nach dem Phasennessverfahren verschieden modulierter Mikrowellen. Die Zentimetergenauigkeit der Phasennessung wurde durch den Kunstkniff des Heterodyning möglich. Das Gerät war das erste handliche, elektronische Gerät, das auf ein normales Instrumentenstativ passte. Ausserdem hatte die Mikrowellenmessung den grossen Vorteil, dass man von der Sichtweite, das heisst vom Wetter, unabhängig war. Statt der analogen Anzeige der Phasenlage im Braunschens Rohr hatte der erste Nachfolger, das Electrotape der Cubic Corporation, 1958 bereits einen digitalisierten Phasenschieber. Das nächste Konkurrenzinstrument im Jahr 1962, der Distomat DI50, ein Produkt der Zusammenarbeit Albiswerk Zürich AG und Wild Heerbrugg

AG, hatte bereits eine automatische Phasennessung. Beide Typen hatten statt der 10-cm-Trägerwelle des Tellurometer eine 3-cm-Welle, die günstiger gegen die unangenehme Bodenreflexionen war. Mit dem Mikrowellengerät kam die Technik der Trilateration und die weit erfolgreichere «elektronische Polygonierung» auf. Mit Tellurometer-Polygonzügen gelang es dem National Mapping unter Leitung ihres Direktors, B. P. Lambert, in wenigen Jahren den ganzen Kontinent Australien zu vermessen, eine Pionierleistung, die dem Shoran-Netz in Kanada nicht nachsteht.

Mit der Erfindung der monochromatisch kohärenten Laserstrahlung 1960 mit ihrem im Vergleich zum bisher benützten Licht sehr schmalen Wellenband war eine ideale Trägerwelle für die Signalübermittlung gefunden. Als dann 1961 die Bell Telephone Laboratories den leichten HeNe-Gaslaser auf den Markt brachten, wurde seine Strahlung sofort als Trägerwelle für die Distanzmessung eingesetzt. Distanzmessen mit Laserstrahlen begann zuerst als kontinuierliche Messung der Flughöhe über Grund bei Vermessungsflügen der Aero Service Corporation in den USA [7], und zwar gegen passive Reflektoren (Gelände). Diese Entwicklung wurde von Spectra Physics weitergeführt. Im November 1966 kamen zwei Versionen von Laserdistanzern auf den Markt, der Geodolite 3 G für geodätische Messungen gegen Reflektoren bis zu einer Reichweite von 65 km bei Tag und 80 km bei Nacht und das Modell 3 A als kontinuierlicher Flughöhenmesser über Grund bis zu Höhen von etwa 4500 m bei Tag und 7500 m bei Nacht.

Der erste vollautomatische Laserdistanzer für Mittelstrecken bis zu 8 km, der «Laser-Ranger», eine Konstruktion von Dr. Ship, kam durch Laser Systems and Electronics (LSE), Tullahoma, USA, 1971 auf den Markt. Inzwischen stehen weitere Laser-Distanzmesser dem Vermessungsingenieur zur Verfügung, so die Langstreckengeräte Laser-Rangemaster von LSE und das AGA-Geodimeter 8. Die drei Modelle Laser-Ranger von LSE haben durch AGA 76 einen kleinen Konkurrenten im Bereich bis 3 km erhalten. Auch das elektronische Präzisionstachymeter AGA 710 benützt einen Laser als Trägerwelle zur Distanzmessung.

Mit Hilfe des Lasers konnte auch die Genauigkeit der Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit gesteigert werden. Das US National Bureau of Standards fand dafür $(299\,792\,456.2 \pm 1.1)$ m/s. Diese Genauigkeit reicht zurzeit für alle globalen Distanzmessungen aus, denn auf den Erdumfang bezogen ergibt dies eine Unsicherheit von nur 15 cm. Die innere Messgenauigkeit der modernen Lasertelemeter ist sehr hoch. Das McDonald Observatorium in Texas misst seit 1969 mit einem Laser-Telemeter gegen den Prismenreflektor auf dem Mond und erreicht dabei eine innere Genauigkeit von ± 15 cm.

So beeindruckend die Leistungen dieser elektronischen Langstreckenmessgeräte auch waren, ihr Anteil an den zu bewältigenden Aufgaben war relativ gering; denn die kurzen Distanzen machen etwa 90 % der Streckenmessungen aus. Hier sprangen bis zum Erscheinen der Kurzdistanzmesser Ende der sechziger Jahre die Geodimetermodelle AGA 4 (1959) und AGA 6 (1962) ein, die ihre beste Leistung – sie arbeiteten mit sichtbarem Licht – bei Nacht hatten. Das Arbeiten damit war zwar nicht

ideal, denn die Modulation mit der Kerrzelle hatte ihre Tücken, wie schlechte Linearität und hoher elektrischer Aufwand und bis zu 75 % Lichtverlust. Aber diese Geräte erfüllten ihren Zweck, und es gab nichts Besseres. Anfang der sechziger Jahre kam dann die im Infrarot strahlende Gallium-Arsenide-Diode auf. Die Reichweite ihrer Strahlung ist wegen der geringen abgestrahlten Energie wesentlich kleiner als die der Mikrowellen, des Lichtes und des Lasers. Da die Strahlung der GaAs-Diode aber direkt phasenmoduliert werden kann, wurde sie die ideale Trägerwelle für die Messung kurzer Distanzen.

Anlässlich des AIG-Symposiums über EDM in Oxford 1965 zeigte Tellurometer das Funktionsmuster eines IR-Distanzmessers mit biaxialer Optik (senkrecht angeordnet), das allerdings nicht messbereit war [8]. Das endgültige Modell MA 100, das seit 1969 erhältlich ist, hat koaxiale Optik und erlaubt die Messung auf mm. Auf den Photogrammetrischen Wochen im Herbst 1967 führte Zeiss Oberkochen das Funktionsmuster eines IR-Distanzmessers mit koaxialer Sende- und Empfangsoptik vor. Als Zielfernrohr diente ein seitlich anmontiertes Ni₂-Fernrohr. Das gleiche Instrument war auch auf der Ausstellung zum ISP-Kongress Lausanne, Juli 1968, zu sehen. Die Serieninstrumente Zeiss SM 11 und Reg Elta 14, die zu Tachymetern ausgebaut wurden, kamen dann aber erst 1971 auf den Markt. Ebenfalls in Lausanne 1968 wurde von Wild Heerbrugg, wo man seit 1963 mit GaAs-Dioden experimentierte und seit 1966 mit der französischen Firma SERCEL (Société d'Etudes, Recherches et Constructions Electroniques) zusammenarbeitete, der bereits in Serienfabrikation laufende Disto-mat WILD DI 10 mit biaxialer Optik (horizontal) ausgestellt, und zwar in zwei Modellen, einmal als reiner Distanzmesser und einmal als Zusatzgerät zum Theodolit, aufsetzbar auf das Fernrohr des T2 [9]. Die ersten DI 10 kamen Ende 1968 in die Hände des Benützers und waren so die ersten Geräte dieser Art im praktischen Einsatz.

Die wirtschaftlichen Vorteile der elektronischen Kurzstrecken-Messgeräte für die Alltagsarbeit des Vermessungsingenieurs – sie erlauben nicht nur rascheres Arbeiten, sondern liefern auch noch qualitativ bessere Ergebnisse – veranlassten in der Folge zahlreiche Firmen, auf diesem Gebiet tätig zu werden. Viele der neuen Modelle waren zuerst nur auf Ausstellungen zu sehen, bevor sie einige Jahre nach ihrer Premiere erhältlich wurden. Zurzeit hat der Vermessungsingenieur die Wahl zwischen 22 verschiedenen Modellen, nachdem drei bereits wieder vom Markt verschwunden sind. Man unterscheidet vier Typen: Geräte nur für die Messung von Distanzen (8), Geräte, die auf die Stützen eines Theodoliten aufgesetzt werden (2), Geräte, die auf das Theodolit-Fernrohr montiert und mit ihm neigbar eine Art «Tachymeter» bilden (7) und schliesslich in ein Winkelmessinstrument integrierte Distanzmesser (5), von denen drei auch die Registrierung der gemessenen Werte in einem Zusatzgerät erlauben. Man sieht an der Vielfalt dieser Geräte, wie wichtig die elektronische Messung kurzer Distanzen für die Praxis heute ist. Die Zahl der Modelle der Mikrowellen- und Lasergeräte für lange

Distanzen ist dagegen klein, entsprechend ihren geringen Einsatzmöglichkeiten.

Neben den Kurzstreckendistanzern mit 5 bis 10 mm Genauigkeit für Aufgaben in der Landesvermessung und im Ingenieurbau werden für Spezialaufgaben, wie Deformationsmessungen und im Maschinenbau auch Streckenmessungen auf Millimeter und darunter benötigt. Die entsprechende Entwicklung startete hier Anfang der sechziger Jahre im National Physical Laboratory, Teddington, mit dem Mekometer durch Bradsell und Froome [10]. Der erste Versuch von Hilger and Watts 1965, dieses Gerät kommerziell zu produzieren, schlug aber fehl [11]. Erst 1973/74 war es möglich, in Zusammenarbeit zwischen Kern, Aarau, und COMRAD Ltd., Slough, England, dieses Gerät auf den Markt zu bringen.

Satelliten als Messmittel

1941 versuchte das Reichsamt für Landesaufnahme, Berlin, an der mecklenburgischen Ostseeküste mittels Leuchtbomben, die mit Fallschirmen abgeworfen wurden, über grössere Distanzen zu triangulieren (Hochzieltriangulation). Damals wurde ein Bamberg-Askania-Theodolit bereits mit photographischer Abbildung der diametralen Teilkreisbilder (Robot-Kamera) eingesetzt. Nach dem Krieg stellte man mit dieser Technik der Flare-Triangulation über den Skagerak die Verbindung zwischen der dänischen Halbinsel Jütland und Norwegen her. Die etwas mühevollere Vermessungsmethode nahm eine sensationelle Wendung mit dem Start des ersten künstlichen Satelliten, dem sowjetrussischen Sputnik I am 4. Oktober 1957. Damit begann das Zeitalter der Satellitengeodäsie. Das Applied Physics Laboratory (APL) der John Hopkins University in den USA mass zum erstenmal die Doppler-Shift nach dem Sputnik und startete so die dynamische Messmethode nach Satelliten.

Zunächst war es aber die *geometrisch-optische* Messmethode, die bei der Satellitenmessung zum Zuge kam. Ende der fünfziger Jahre entwickelte Wild Heerbrugg AG die Satellitenkammer Wild BC4 (f = 305 mm) nach den Spezifikationen von Hellmut Schmid und dem US Coast and Geodetic Survey. Die Eignung der Kammer und des in den USA gebauten Systems synchronisierter Verschlüsse wurde im August 1963 mit Hilfe des Ballonsatelliten Echo I geprüft. 1966 bekam die BC4 ein 450-mm-Objektiv. Nachdem die NASA im Juni 1966 den PAGEOS (Passive Geodetic Earth Orbiting Satellite) in Umlauf brachte, begann unter der Leitung von H. Schmid, USC & GS die Beobachtung des mit 45 Stationen die ganze Erde umfassenden (die Oststaaten und China ausgenommen) Netzes «Nullter» Ordnung [12]. Die Feldarbeiten endeten 1970. Unter dem Einsatz von 17 BC4-Kammern photographierte man in den vier Jahren synchron den Satelliten PAGEOS gegen den Sternenhimmel auf mehr als 3000 Platten, die anschliessend auf Komparatoren ausgemessen wurden. Nachdem man in Nordamerika, Europa, Afrika und Australien nach klassischer Art der Basismessung mittels «elektronischer» Polygonzüge (Laserdistanzmesser) noch insgesamt sechs Seitenlängen dieses Netzes bestimmt hatte, konnten hypothesenfrei die Raumkoordinaten der Stationen berechnet werden, die einen Polyeder mit 125

Kanten (Seiten) nach Bruns [13] bilden. Die Punktgenauigkeit beträgt etwa 4,5 m in Lage und Höhe. Die Auswertung dauerte zwei Jahre, bis 1972.

Der Beobachtungs- und Rechenaufwand ist hier erheblich. Ausserdem ist zum Photographieren ein klarer Himmel, und zwar immer auf beiden Stationen, nötig. Man versuchte daher schon bald Lösungen, die die *dynamisch-elektronische* Messmethode bietet, zu realisieren. Hierzu dient ein aktiver Satellit, der als künstlicher Planet oder besser Erdtrabant den Gesetzen der Mechanik unterworfen ist und dessen Ephemeriden (Daten der Umlaufbahn) daher bestimmt werden können. Diese Daten zusammen mit genauen Zeitsignalen werden durch Telemetrie dem Speicher des Satelliten übermittelt, der damit zum Hochziel und fliegenden Koordinatenverzeichnis wird, das man nicht nur einmessen, sondern bei Bedarf auch abfragen kann. Bei der Ermittlung der Position einer Station kommt der im Jahre 1842 vom österreichischen Physiker Christian Doppler gefundene und nach ihm benannte Effekt zur Anwendung, mit dem man die Radialgeschwindigkeit des Satelliten messen kann. Man berechnet aus den in gewissen Zeitabständen nach den Satelliten gemessenen Daten die sich auf das Massenzentrum der Erde beziehenden dreidimensionalen Positionen der Beobachtungsstationen. Solche Rechnungen innerhalb kürzester Frist sind natürlich erst durch die elektronischen Computer möglich geworden. Da diese Positionsmessung unabhängig ist, gibt es keine Fehlerfortpflanzung wie in der klassischen Vermessung, und ausserdem ist man bei Mikrowellenmessung vom Wetter unabhängig.

Zwischen 1958 und 1963 wurde in den USA für derartige Aufgaben das Navy Navigation Satellite System (NNSS, auch TRANSIT genannt) vom Applied Physics Laboratory der John Hopkins Universität entwickelt. Es besteht aus sechs Satelliten, die in 1100 km Höhe über die beiden Pole kreisen. Ihre Umlaufbahn wird durch ein weltweites Netz von Tracking-Stationen laufend überwacht und eingemessen. In der Kommandozentrale werden die Ephemeriden gerechnet und mit Zeitsignalen, die durch eine Atomuhr gesteuert werden, an die Satelliten telemetriert [14, 15]. Als Nebenzweck dienen diese Zeitsignale des NNSS-Systems zur problemlosen Synchronisation transportabler Quarzuhren, die zu Beobachtungen gebraucht werden. Auch hier bei der Zeitmessung ein gewaltiger Fortschritt gegenüber den stationären Pendeluhrn, Box-Chronometern und Zeitzeichensendern, die in manchen Gegenden oft schlecht zu empfangen sind.

Nachdem das NNSS ab 1967 auch zur zivilen Benützung freigegeben wurde, gibt es handelsübliche, transportable Ausrüstungen für den Empfang und die Auswertung der Satellitensignale, wie CMA-722 Satellite Navigation/Position Location Equipment der kanadischen Marconi Co. (66 kg), den Geociever von Magnavox (45 kg) und JMR-1 Doppler Survey Set von JMR (2 Geräte zu 16 kg zur gegenseitigen Kontrolle). Diese Geräte geben in real time zur Navigation eine Positionsgenauigkeit von etwa 30 m, bei einer Beobachtung von etwa 40 Satellitendurchgängen werden 1,5 bis 2,0 m erreicht. Die niedrige Genauigkeit in real time genügt für die hydrographische Vermessung der Festlandssockel und für die Arbei-

ten der Ozeanographie, die an Bedeutung zunehmen.

Mit solchen Geräten können heute in unerschlossenen Gebieten, auf Inseln und Ölbohrplattformen unabhängig und in nützlicher Frist Positionen mit geodätischer Genauigkeit bestimmt werden. Die noch fehlende Orientierung für Anschlussmessungen in klassischer Weise geben nordsuchende Vermessungskreisel, die, wie der leichte Aufsatzkreisel Wild GAK, seit Mitte der sechziger Jahre als transportable, feldtüchtige Instrumente erhältlich sind. Die Kreiselorientierung ist wie die Satellitenpositionierung unabhängig und kennt daher ebenfalls keine Fehlerfortpflanzung.

Neben der geometrisch-optischen und der dynamisch-elektronischen Vermessung mittels Satelliten, mit der wir Positionen einzelner Punkte bestimmen, kann man auch noch von einer *topographisch-photogrammetrischen* Methode sprechen. Es sind dies die Aufnahmen, die von Satelliten, wie ERTS 1, der im Juli 1972 gestartet wurde, von der Erde gemacht werden. Auf seiner 99° geneigten, fast meridionalen Umlaufbahn bestreicht er die ganze Erdoberfläche mit Ausnahme von 9° breiten Kappen an den Polen. Mit seinen drei TV-Kammern, eine davon für IR, deckt er in 900 km Höhe kreisend mit einer Aufnahme eine Fläche von 180 km auf 180 km im Massstab 1:3,7 Millionen, von denen man nach Empfang der TV-Bilder 30 cm × 30 cm Kopien in 1:1 Millionen anfertigt. Die wegen der grossen Höhe fast orthogonalen Aufnahmen eignen sich zur Herstellung von Karten 1:500 000 unerschlossener Gebiete. In Kanada sind sie ein wertvolles Hilfsmittel, um bestehende Karten 1:250 000 von entlegenen Gebieten auf Revisionsbedürftigkeit zu prüfen und zum Teil sogar zur Revision des Grundrisses [16]. Hierzu zählen auch die Aufnahmen der Skylabbesatzung mit metrischen Kamern S-190 A und B aus einer Flughöhe von 400 bis 450 km. Gedeckt wurde das Gebiet von ± 50° Breite im Massstab 1:2,8 Millionen und 1:950 000. Die Aufnahmen auf Filmbasis haben eine grössere Auflösung und geometrische Treue als die TV-Bilder von ERTS. Beide Methoden setzen aber einen wolkenlosen Himmel voraus. In diesem Zusammenhang soll noch die *elektronisch-photogrammetrische* Aufnahmetechnik des Sidelooking Radar erwähnt werden, die unabhängig vom Wetter Messbilder liefert, deren etwas anormale Geometrie durch Computerprogramme keine allzu grossen Schwierigkeiten mehr bietet, so dass man sogar vereinzelt Höhen auswerten kann. Nicht behandelt werden hier die vielseitig auswertbaren Remote-Sensing-Methoden, da diese mehrheitlich nichtvermessungstechnisch-topographischen Zwecken dienen [17].

Schlussbemerkung

Die Satelliten wie die verschiedenen Mariner-Missionen lieferten uns telemetrierte Bilder, aus denen man Karten fast der ganzen Oberfläche des Mars herstellen konnte. Daneben funkten sie auch Aufnahmen von Venus und Merkur. Nicht zu vergessen ist, dass wir dank den Apollo-Flügen bereits ein Kartenwerk des Mondes haben. Diese Karten sind bestimmt besser als unsere Karten des Meeresbodens der Ozeane. Da solche Karten, und zwar mehr detailliert als die heutigen, nicht nur für die Navigation der riesigen Supertanker in küsten-

nahen Gewässern und Häfen lebensnotwendig sind – Kollision und Auf-Grund-Laufen führen zu unabsehbaren Folgen für die Umwelt –, sondern auch für die Entdeckung und den Ausbau der im Meeresgrund ruhenden Bodenschätze, vor allem in den Festlandsockeln, müssen alle Anstrengungen gemacht werden, dafür Instrumente und Aufnahmetechniken zu entwickeln, um den Rückstand in der Topographie von zwei Dritteln unserer Erdoberfläche gegenüber der des Mondes und einiger Planeten aufzuholen. Dies ist durch Zusammenarbeit vieler Disziplinen möglich, wie die bisherigen, noch vor Jahrzehnten unerwarteten Erfolge der Vermessung in den letzten 25 Jahren zeigen.

Literatur

- [1] Ramsayer, K.: «Entwurf einer geodätischen Funktionsrechenmaschine», Geod. Woche Köln 1950, Sammelband S. 104–110, Stuttgart 1951.
- [2] Bergstrand, E.: «Measurement of distances by high frequency light signaling», Arch. Math. Astr. Physik, Bd. 29A, Nr. 30, S. 1–12, Stockholm 1943.
- [3] Aslakson, C. I., und Rice, D. A.: «Use of Shoran in Geodetic Control», Trans. AGU, 1946, S. 459–463.
- [4] Ross, J. E. R.: «Shoran Triangulation in Canada», Bull. Geod. N. S. 24, S. 207–242, Paris 1952.
- [5] Wadley, T. L.: «The Tellurometer System of Distance Measurement», Emp. Survey Review, No. 15/106, S. 100 bis 111, S. 146–160, Okt. 1957.
- [6] Hart, C. A.: «Some Aspects of the influence on geodesy of accurate range measurements by radio methods», Bull. Geod. N. S. 10, S. 307–352, Paris 1948.
- [7] Aviation Week, 29. 3. 1965.
- [8] Hölscher, H. D.: «The application of GaAs light-emitting diodes to EDM», IAG-EDM-Symposium Oxford, London 1967, S. 436–447.
- [9] Strasser, G.: «Ein moderner Distanzmesser für kurze Strecken», Z. f. V. Stuttgart 1968, Heft 9, S. 377–381.
- [10] Bradsell, R. H.: «Measuring distance with the Mekometer», New Scientist, Vol. 15 (1962), S. 206–207.
- [11] Connell, D. V.: «NPL Hilger and Watts Mekometer», IAG-EDM-Symposium Oxford, London 1967, S. 278–284.
- [12] Schmid, H.: «Satellitengeodäsie, ein Weg zum globalen geodätischen System», Festschrift 50 Jahre Wild Heerbrugg AG, Heerbrugg, Schweiz, 1971, S. 104–113.
- [13] Bruns, H.: «Die Figur der Erde», Veröff. Preuss. Geod. Inst., Berlin 1878.
- [14] Rutscheidt, E. H.: «Worldwide geodetic positioning from satellites with portable Doppler receivers», Paper 503.1, XIV. FIG-Kongress, Wash. D. C. 1974.
- [15] Rieger, J. M.: «Geodätische Ortsbestimmung mit tragbaren Doppler-Empfängern von Satellitensignalen», Mitt. Bl. Verm., Photogramm., Kulturtechn., Zürich 1975, S. 6–9.
- [16] Konecny, G.: «Photogrammetrische Aspekte bei der Auswertung von Aufnahmen der Erderkundungssatelliten», AVN Karlsruhe 1975, S. 201–217.
- [17] Konecny, G.: «Approach and Status of Geometric Restitution for Remote Sensing Imagery», Bildm. u. Luftbildw., Karlsruhe 1975, S. 2–11.

Adresse des Verfassers

Dr. Ing. G. Strasser, c/o Wild Heerbrugg AG,
9435 Heerbrugg SG

25 Jahre Kompensatornivelliere

W. Grossmann, Hannover

1. Einführung

Auf der Kölner Geodätischen Woche des Jahres 1950 stellte die Firma Carl Zeiss, Oberkochen, der Fachwelt ein neuartiges Nivellierinstrument mit der Typenbezeichnung Ni 2 vor, dessen Ziellinie sich nach vorheriger Grobhorizontierung mittels eines optisch-mechanischen Reglers oder Kompensators selbsttätig in die Horizontale einstellte*. Das Ni 2 brachte, da das Einspielen der Röhrenlibelle fortfiel, nicht nur einen 30- bis 40prozentigen Zeitgewinn, sondern es konnte, obwohl es als Ingenieurnivellier konzipiert war, nach Vorsetzen eines Planplattenmikrometers mit recht gutem Erfolg auch bei Feinnivelllements eingesetzt werden. Angesichts dieser Vorzüge konstruierten auch andere Firmen «automatische Nivelliere», und heute dürfte es im europäischen Raum, in Nordamerika und in Japan auch kaum eine namhafte Firma für geodätische Instrumente geben, die neben Libellennivellieren nicht auch Nivelliere mit selbsthorizontierender Ziellinie baut.

Jeder Fortschritt hat bekanntlich seine Schattenseite: Vor dem Erscheinen des Ni 2 zeigten alle Ingenieur-

und Feinnivelliere einen einheitlichen Aufbau, der durch die Stichworte Dreifuss, Fernrohr, Kippschraube und Röhrenlibelle charakterisiert war.

Dieser Aufbau wurde beim Ni 2 rein äusserlich noch weitgehend beibehalten. Andere Firmen wählten völlig andere Kompensatorsysteme. Im Zuge dieser Entwicklung ist heute der Kompensator zum Herzstück der Instrumente geworden, dem alle anderen Bauelemente angepasst werden müssen.

Der Anfänger aber sieht sich einer Vielfalt von unterschiedlich aussehenden und funktionierenden Instrumenten gegenüber, die alle den gleichen simplen Zweck haben, nämlich automatisch eine horizontale Ziellinie zu erzeugen. In diese Vielfalt etwas System hineinzu- bringen, ist der Zweck dieser Zeilen.

2. Die optisch-mechanischen Grundlagen

Die Fernrohrachse eines Nivelliers wird nach dem Einspielen der zum Aufrichten der Stehachse bestimmten Dosenlibelle in der Regel um den kleinen Winkel α gegen die Horizontale geneigt sein. Das Bild eines im Instrumentenhorizont liegenden fernen Gegenstandspunktes entsteht dann zwar in der Brennebene des Objektivs, aber – wenn f dessen Brennweite ist – um den Betrag $f \cdot \tan \alpha \approx f\alpha$ nach unten oder oben versetzt. Ein horizontal eingefallener Zielstrahl muss daher im Knickpunkt K des Bildes 1 durch einen von der Schwerkraft