Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Vermessung, Kulturtechnik und Photogrammetrie = Revue technique suisse des mensurations, du génie rural et de la photogrammétrie

Herausgeber: Schweizerischer Verein für Vermessungswesen und Kulturtechnik = Société suisse de la mensuration et du génie rural

Band: 60 (1962)

Heft: 11

Artikel: Satellitengeodäsie

Autor: Blaser, J.P.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-217706

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 02.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Satellitengeodäsie

Von J. P. Blaser, ETH, Zürich

Nachdem während Jahrzehnten, ja sogar seit den allerersten Versuchen des Menschen, die Form- und Größenverhältnisse der Erde zu erforschen, im wesentlichen immer die gleichen grundsätzlichen Verfahren verwendet wurden: Triangulation und astronomische Ortsbestimmung, liefert die technische Entwicklung der letzten Jahre der Geodäsie neue, äußerst wirkungsvolle Methoden. So hat die Möglichkeit direkter Distanzmessung durch elektronische Methoden (mit Licht: Geodimeter, mit kurzen Radiowellen: Tellurometer) bereits einen großen Anwendungsbereich gefunden, wobei zum Beispiel die Genauigkeit über große Distanzen (Geodimeter) gesteigert werden konnte. Anderseits erlaubt die weitgehend wetterunabhängige Tellurometermethode eine bisher undenkbar schnelle Ausmessung von Netzen mittlerer Präzision.

Ein noch viel wichtigerer Fortschritt wird zweifellos die Benützung von künstlichen Satelliten in der Geodäsie und Geophysik werden. Im Rahmen des COSPAR-Kongresses 1962 wurde vom 26. bis 28. April in Washington ein Symposium über Satellitengeodäsie organisiert, an dem bei internationaler Beteiligung Methoden, Anwendungen und Aussichten dieses neuen Zweiges diskutiert wurden. In diesem Artikel sollen die Grundgedanken kurz dargelegt werden.

Die sehr hohen absoluten und relativen Genauigkeiten einer Triangulation lassen sich bei Ausmessung großer Distanzen nicht erhalten. Wegen der Krümmung der Erdoberfläche können solche nur durch vielmaschige Netze überbrückt werden, wobei sich die Meßfehler und die Unsicherheiten in der atmosphärischen Refraktion stark vermehren. Die Verbindung von verschieden kontinentalen geodätischen Netzen miteinander war daher immer besonders unsicher. Die astronomische Ortsbestimmung bleibt mit der unbekannten Lotabweichung behaftet, und die prinzipiell korrekte Methode der Sternbedeckungen durch den Mond (Okkultationen) liefert wegen des großen Mondabstandes nur ungenaue Resultate. Ein Fortschritt bedeutete die Benützung von Radiohilfsmitteln der Navigation (zum Beispiel Loran) zur direkten Distanzmessung. Doch besteht auch hier eine zu große Unsicherheit und Variabilität in der Ausbreitung der sehr langen elektromagnetischen Wellen entlang der Erdoberfläche.

Triangulation mit Satelliten

Künstliche Erdsatelliten, die in Höhen von Hunderten oder Tausenden von Kilometern die Erde umkreisen, können, genau wie ein Berggipfel, von verschiedenen Punkten aus anvisiert werden und gestatten durch Triangulation die Verbindung von sehr weit auseinanderliegenden Netzen. Hier können die Winkel zum Beispiel auf die Lotrichtungen bezogen werden; doch ist es viel günstiger, als Referenzrichtung den Fixsternhimmel zu benützen (Fig. 1). Dadurch werden absolute Richtungen

im Raum definiert, die eine dreidimensionale Geodäsie erlauben; das heißt, man löst die Gleichungen zum Beispiel in einem dreiachsigen, rechtwinkligen Koordinatensystem. Dadurch wird es prinzipiell möglich, die genauen Distanzen und die Form der Erdoberfläche zu bestimmen.

Die praktische Ausführung solcher Messungen ist allerdings nicht ganz einfach. Erstens bewegen sich die Satelliten mit Geschwindigkeiten

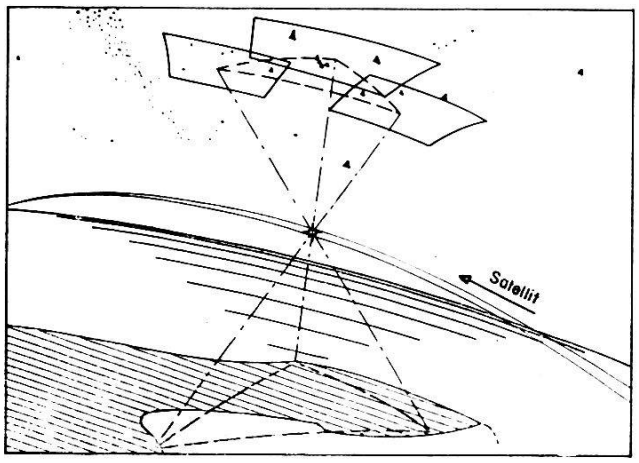

Fig. 1. Gleichzeitiges Photographieren des Satelliten von drei Punkten aus liefert auf das Sternsystem bezogene absolute Richtungen im Raum. Durch dreidimensionale Triangulation können die Beobachtungsorte aneinander angeschlossen werden

von vielen Kilometern pro Sekunde, was bei geringen Höhen großen Winkelgeschwindigkeiten entspricht (etwa 1° pro Sekunde in 450 km). Anderseits ist die Genauigkeit, mit der die Winkel gemessen werden müssen, um auf der Erde einen Fehler von 1 m zu erhalten, im obigen Beispiel 0,5 Bogensekunden. Soll also ein Satellit als Triangulationspunkt von verschiedenen Orten aus gleichzeitig anvisiert werden, so muß die Gleichzeitigkeit eben auf 0,3 Millisekunden erfüllt sein. Falls die Bahn des Satelliten geometrisch genau im Raum bekannt ist, können natürlich auch zeitlich auseinanderliegende Beobachtungen ausgeführt werden, doch muß die Beobachtungszeit auch dann auf besser als 1 ms bestimmt sein. Satelliten sind zwar geeignete Beobachtungsobjekte – sie erscheinen punktförmig, und der Lichtweg in der Atmosphäre ist recht kurz –, doch sind sie zu lichtschwach und zu schnell beweglich, um einer visuellen Messung mit dem Theodoliten zugänglich zu sein.

Welches sind nun aussichtsreiche Beobachtungsmethoden, und welche Bahnen und Satellitentypen sind für geodätische Zwecke geeignet? Es sind bisher optische sowie radioelektrische Messungen erprobt worden.

Optische Beobachtung von Satelliten

Bei einem passiven Satelliten (zum Beispiel dem Silberballon «Echo») stellt man eine Kamera fest auf und erhält auf der Platte eine (durch einen von der Uhr betätigten Verschluß) unterbrochene Lichtspur für

den Satelliten. Aus den gleichzeitig als Referenzpunkte aufgenommenen Sternspuren kann die Richtung im Raum zu verschiedenen Zeiten bestimmt werden. Wegen der schnellen Winkelbewegung sind zur Registrierung von Satellitenspuren lichtstarke Objektive notwendig, die wegen ihrer relativ kurzen Brennweiten und der Abbildungsfehler keine sehr hohen Genauigkeiten erlauben. Versuche dieser Art sind hauptsächlich

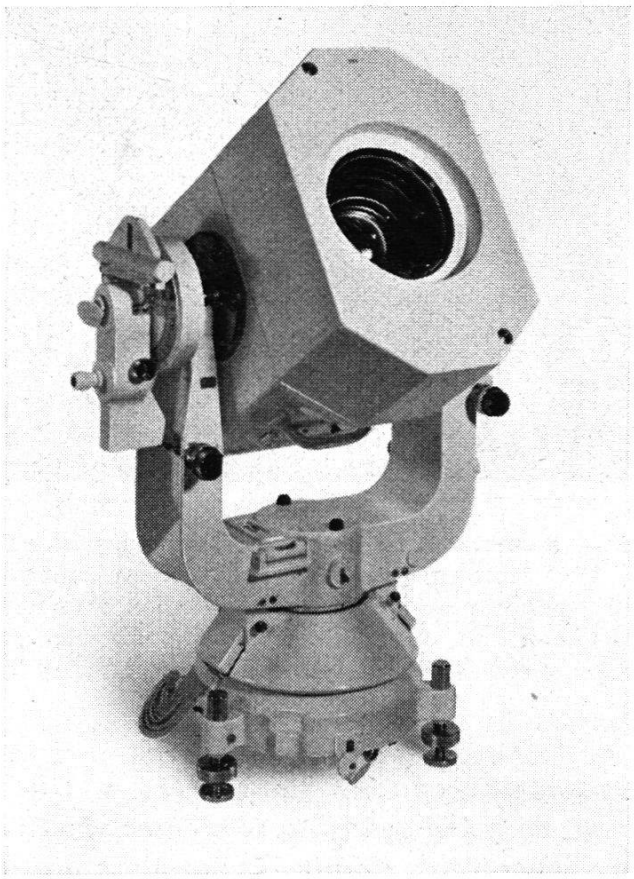

Fig. 2. Die von Wild Heerbrugg entwickelte ballistische Kamera BC-4, die vom U. S. Coast and Geodetic Survey zur Aufnahme von Satelliten für geodätische Messungen verwendet wird

in den USA, in Frankreich und in der UdSSR ausgeführt worden. Die Sterne können auf 1 bis 2″, die Satellitenspuren jedoch nur auf 4 bis 6″ genau vermessen werden. Die Grenze scheint durch die atmosphärische Refraktion (Szintillation) gesetzt, die beim Satelliten wegen der kurzen effektiven Belichtungszeit nicht wie bei Sternaufnahmen ausgemittelt wird.

Ein geodätisches Meßprogramm nach dieser Methode ist bei der U.S. Coast and Geodetic Survey in Vorbereitung. Es soll den Anschluß des Nordamerika-Netzes an Inseln und andere Kontinente erlauben. Es verwendet die von Wild, Heerbrugg, konstruierte spezielle BC-4-Satellitenkamera von 117 mm Öffnung und 305 mm Brennweite, die auf einer T-4-Theodolitmechanik montiert ist und feststehend benützt wird (Fig. 2 und 3).

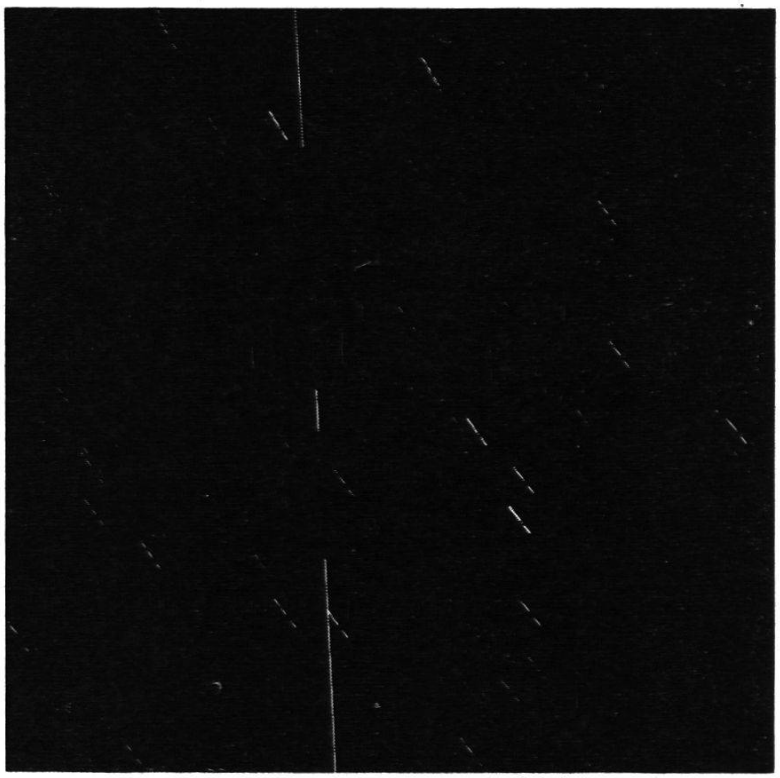

Fig. 3. Mit Wild BC-4-Kamera aufgenommene Spur des amerikanischen Ballonsatelliten «Echo» I. Die Hintergrundsterne auf diesem zentralen Ausschnitt der Platte (etwa 13 × 13°) gehören zum Sternbild Herkules. Aus den unsymmetrischen Unterbrechungen ist ersichtlich, daß sich der Satellit etwa 100mal schneller und in umgekehrter Richtung als die Sterne bewegt hat

Für lichtschwache Satelliten, die bei fester Kamera keine Spur hinterlassen würden, wird bei gewissen Systemen (Baker-Nunn-Kamera, USA) die Kamera nachgeführt, damit der Satellit ein punktförmiges Bild liefert, das auch genauer ausgemessen werden kann (2 bis 4″). Dies setzt allerdings eine genaue Kenntnis der Bahn des Satelliten sowie ein mechanisch äußerst anspruchsvolles Nachführungssystem voraus.

Die Zeitmessung

Die bei den optischen Methoden notwendige Festlegung der Zeit auf eine Tausendstelsekunde wird durch eine lokale Quarzuhr sichergestellt, die ihrerseits mit Zeitsignalen kontrolliert wird. Wegen der variablen Ausbreitungsbedingungen für Radiowellen sind die üblichen Kurzwellensignale nicht zu gebrauchen. Ein neues Zeitsignalsystem auf sehr langen Wellen (VLF-Stationen – *very low frequency*) gestattet jedoch neuerdings die weltweite Synchronisierung von Uhren auf weniger als 1 ms. An diesem Signalsystem, das von den Stationen NBA (18 kHz, Panama) und GBR (16 kHz, England) ausgesendet wird, beteiligt sich zur Steuerung ebenfalls die Sternwarte Neuenburg mit ihren ausgezeichneten Atomuhren.

Aktive optische Satelliten

Um die Schwierigkeit der zeitlichen Fixierung der Beobachtung eines schnell bewegten Satelliten zu umgehen, wurde vorgeschlagen, vom Satelliten Lichtblitze aussenden zu lassen. Wird ein solcher geodätischer Satellit von mehreren Orten aus photographiert, so stellen die Punkte auf den Platten wirklich einen Punkt im Raume dar (Fig. 4). Diese attrak-

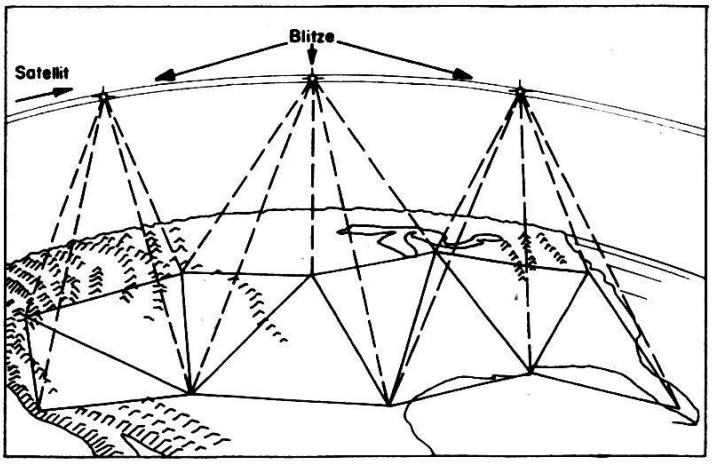

Fig. 4. Benützung eines Lichtblitze aussendenden, aktiven geodätischen Satelliten zur Überprüfung eines kontinentalen Netzes. Die Blitze sind so kurz, daß der Satellit für die Beobachtung als feststehend angenommen werden kann. Er ersetzt daher ein Triangulationssignal auf einem Hunderte von Kilometern hohen Berg

tive Methode wird von den USA speziell für geodätische Zwecke im Projekt «Anna» verfolgt. Leider ist der erste Abschuß im Frühsommer 1962 mißglückt. Es ist zu erwarten, daß solche Blitzsatelliten für geodätische Aufgaben besonders geeignet sein werden. Technisch schwierig ist der große elektrische Energiebedarf für genügend sichtbare Blitze. Es ist daher vorgesehen, kurze Blitzserien durch Fernsteuerung von der Erde aus nur dann auszulösen, wenn Beobachtungen vorgesehen sind. Durch die kurzzeitige Beobachtung bleibt bei dieser Methode leider die volle Unsicherheit der atmosphärischen Refraktion bestehen, was die Meßgenauigkeit prinzipiell auf 1 bis 2″ beschränkt.

24-Stunden-Satelliten

Ein Satellit auf einer Kreisbahn von etwa 6 Erdradien Radius hat eine Umlaufszeit von einem Tag. Umkreist er die Erde in der Äquatorebene von West nach Ost, so wird er immer am selben Ort am Himmel erscheinen. Ein solcher stationärer Satellit ließe sich mit einem feststehenden Teleskop natürlich ausgezeichnet registrieren, und zwar trotz seiner durch den großen Erdabstand bedingten Lichtschwäche. Die Genauigkeit dürfte die in der Positionsastronomie üblichen Werte von etwa 0,1″ erreichen, doch wird der auf die Erdoberfläche zurückprojizierte Feh-

ler wegen der großen Entfernung nicht im selben Maße verbessert. Diese Methode, die eigentlich den Mond-Okkultationen entspricht, wird sicher interessante geodätische Resultate liefern. Ein fester Plan für den Abschuß eines solchen stationären Satelliten scheint noch nicht gefaßt zu sein.

Radioelektrische Methoden

Obwohl bisher diese nichtoptischen Meßmethoden eine etwas geringere Genauigkeit erreichen, sind sie vielseitiger und haben den enormen Vorteil, wetterunabhängig zu sein. Es ist wohl möglich, daß sie die optischen Messungen schließlich überbieten werden.

Radar. Die Distanz eines passiven Satelliten (zum Beispiel «Echo») kann durch Radar zu verschiedenen Zeiten während des Durchganges gemessen werden. Ist die Bahn bekannt, so kann daraus der Erdort berechnet werden. Da bei Radar die zurückkommende Intensität mit der vierten Potenz der Entfernung abnimmt, benötigt man äußerst starke Radarstationen, die natürlich für geodätische Zwecke zu unbeweglich sind.

Winkelmessung. Sendet der Satellit ein kontinuierliches Signal auf Meterwellen aus, so kann durch Interferenzantennen am Boden seine Richtung am Himmel bestimmt werden (Fig. 5). Dieses System, das dem bei den ersten amerikanischen Satelliten verwendeten «Minitrack» zugrunde liegt, arbeitet zuverlässig und erreicht Genauigkeiten in der Größenordnung von 1 Bogenminute. Das Prinzip ist entwicklungsfähig und soll heute schon Fehler unter 10″ zu liefern imstande sein.

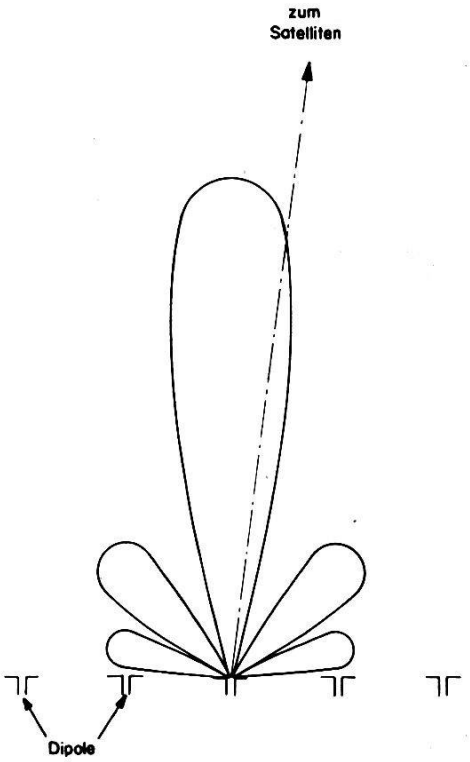

Fig. 5. Radioelektrische Richtungsbestimmung. Einzelne Antennen, auf einer längeren Strecke aneinandergereiht, bilden ein Analogon zum optischen Gitter. Durch die Interferenzen entsteht eine stark richtungsabhängige Empfangsintensität. Die Maxima sind um so schärfer, je größer das Verhältnis der Gesamtlänge der Antenne zur Wellenlänge der Radiowellen ist.

Zeitmessung. Die Distanz eines Satelliten kann auch bestimmt werden durch die Messung des Zeitintervalls, das Radiowellen zur Ausbreitung vom Satelliten bis zum zu vermessenden Erdort benötigen.

Dies kann auf recht verschiedene Arten geschehen. Ähnlich wie beim schon erwähnten Radarsystem kann ein von der Erde ausgesandter Impuls vom Satelliten auf einer anderen Sendefrequenz wiederholt werden. Man mißt hier die doppelte Ausbreitungszeit plus die bekannte Verzögerung des Antwortsenders.

Eine elegante Zeitmethode ist seit der Herstellung von Atomuhren höchster Präzision (relative Genauigkeiten von etwa 10^{-10}) möglich geworden: Führt man an Bord des Satelliten einen Atomstandard mit und vergleicht dessen Uhrstand mit einem ebensolchen auf der Erdstation durch vom Satelliten ausgestrahlte Zeitsignale, so gibt der relative Uhrstand direkt die Distanz an.

Schließlich kann das beim Tellurometer benützte Prinzip, das heißt die Aussendung einer modulierten Trägerwelle, die vom Satelliten auf verschiedener Frequenz wiederholt wird und deren Phasendifferenz man bei der Rückkehr mißt, ebenfalls benützt werden. Es ist eine Art Interferometermessung, die sehr hohe Genauigkeiten verspricht.

Dopplermethode. Diese sehr interessante Technik ist beim Satelliten «Transit», der Navigationsszwecken dient, verwirklicht. Als Dopplereffekt bezeichnet man bekanntlich die Frequenzänderung von Wellen, die bei relativer Bewegung von Quelle und Empfänger auftritt. Sendet zum Beispiel ein Satellit eine genaue Frequenz von $f = 100$ MHz aus (10^8 Schwingungen pro Sekunde) und beträgt seine gegen den Empfänger gerichtete Geschwindigkeitskomponente $v_{rel} = 5$ km/sec, so wird die empfangene Frequenz um $\frac{v_{rel}}{c} \cdot f = \frac{5}{300\,000} \cdot 10^8$, also um 1667 Hz höher liegen. Das läßt sich durch die Bildung der sogenannten Differenzfrequenz mit einem lokalen 100-MHz-Generator leicht und sehr genau messen. Während des Durchganges des Satelliten wird also die empfangene Frequenz von einem höheren (Annäherung) zu einem tieferen (Entfernung) Wert wechseln. Der Übergang, dessen Schnelligkeit natürlich von der Höhe des Satelliten abhängt, gestattet, denjenigen Moment zu bestimmen, bei dem die Relativgeschwindigkeit gleich null ist, sozusagen den Meridiandurchgang des Satelliten (Fig. 6). Ist die Bahn und die zeitliche Lage des Senders darauf bekannt, so entspricht das einer Ortsbestimmung in einer Koordinate. Beim Navigationssystem «Transit» sendet der Satellit zudem periodisch die notwendigen Angaben über seine Bahn aus. Letztere werden bei jedem Umlauf vom Rechenzentrum in das «Gedächtnis» des Satelliten radioelektrisch eingetragen.

Alle diese sehr eleganten radioelektrischen Methoden sind noch im Entwicklungsstadium, doch sind die Fortschritte außerordentlich schnell. Einerseits verbessert sich die Ausrüstung der Satelliten mit den komplexen automatischen oder fernbedienbaren elektronischen Apparaten, anderseits machen sich die Bodenstationen die revolutionäre Errungen-

schaft der Quantenelektronik (Maser) zur Erhöhung der Empfindlichkeit zunutze.

Als prinzipielle Schwierigkeit bleibt der Durchgang der Wellen durch die Ionosphäre, jene elektrisch leitende hohe Schicht der Atmosphäre, die der optischen Szintillation und atmosphärischen Refraktion ähnliche Störungen hervorruft.

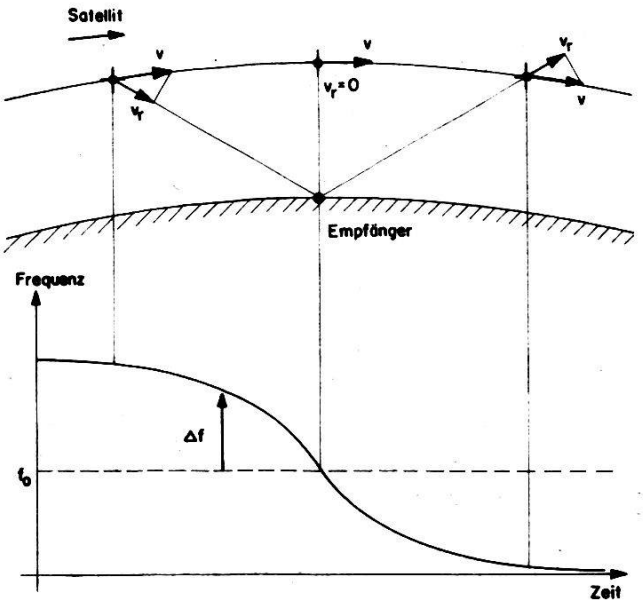

Fig. 6. Bestimmung des «Meridiandurchganges» eines Satelliten durch Messung der Dopplerverschiebung der ausgesendeten Frequenz (siehe Text)

Bahnberechnung. Die klassischen Theorien der Himmelsmechanik setzen Punktmassen voraus (Planeten) oder berücksichtigen die Ausdehnung der sich anziehenden Körper nur näherungsweise in Form von Reihenentwicklungen (Mondtheorie). Im Falle von künstlichen Satelliten, die knapp über der Erdoberfläche gravitieren, ist das genaue Potentialfeld der Erde maßgebend für die Bahn. Nun ist die Erde ein abgeplattetes Ellipsoid, das zudem als ganzes etwas verformt ist und zahlreiche lokale Störungen verschiedener Größe wie Ozeane und Bergmassive aufweist. Das komplizierte Schwerefeld dieser unregelmäßigen Masseverteilung wird mathematisch in Komponenten von Kugelfunktionen zerlegt. Während die lokalen Störungen (Komponenten hoher Ordnung) durch Schweremessungen (Gravimetrie) gut erfaßt sind, hat die Beobachtung der Störung von Satellitenbahnen schon zur viel genaueren und vollständigeren Bestimmung der Harmonischen tiefer Ordnung, insbesondere der Abplattung der Erde, geführt. Die Satellitenmethode ergänzt also hier in sehr glücklicher Weise die klassischen geophysikalischen Messungen.

Die eigentlichen Bahnberechnungen und Voraussagen werden durchwegs mit schnellen elektronischen Rechenmaschinen ausgeführt. Dazu mußten neue himmelsmechanische Methoden ausgearbeitet werden, die sich zur meist verwendeten numerischen Integration eignen. Es bleiben

allerdings immer noch mathematisch schwierige Probleme, die nicht leicht numerisch angepackt werden können. So ist das reizvolle Problem der Stabilität eines 24-Stunden-Satelliten noch nicht sicher gelöst. Ein solcher wird um einen – relativ zur Erde – festen Ort unter dem Einfluß der periodischen Störungen des Mondes und der Sonne Schwingungen (Librationen) ausführen, die gedämpft oder anwachsend sein können. Im letzteren Fall wäre es unmöglich, einen permanenten 24-Stunden-Satelliten auf Bahn zu bringen (ein solcher wäre zum Beispiel auch für Telekommunikationszwecke ideal).

Künstliche Satelliten sind wegen ihrer geringen Masse und auch infolge ihrer Erdnähe Störungen ausgesetzt, die in der Himmelsmechanik bisher unbekannt waren. Der Widerstand der Restgase der Atmosphäre scheint nicht nur höhenabhängig zu sein, sondern ändert sich oft plötzlich sehr stark. Das wird auf die Aufheizung der obersten Schichten der Atmosphäre durch mit der Sonnentätigkeit (Erruptionen) zusammenhängende Strahlungen und Korpuskelströme zurückgeführt. Auch der Einfluß des in diesen Höhen stark veränderlichen Magnetfeldes (Strahlungsgürtel, Plasmaströme) ist fühlbar; insbesondere ergeben sich bei elektrisch aufgeladenen Satelliten zusätzliche, die Bahn störende Kräfte.

Der im Laboratorium wegen seiner Kleinheit kaum nachweisbare Lichtdruck erzeugt wegen seines periodischen Auftretens (Durchgang durch den Erdschatten, «Mondfinsternis») systematische Bahnstörungen. Ferner ist noch mit der Wirkung von Zusammenstößen mit Meteoriten oder kosmischen Staubströmen zu rechnen.

Alle diese Effekte begrenzen die Genauigkeit, mit der die Bahn von künstlichen Satelliten bestimmt werden kann. Für geodätische Anwendungen, wo jeweils (wenn überhaupt) nur relativ kurze Stücke der Bahn bekannt sein müssen, werden diese unkontrollierbaren Effekte weniger stören als bei geophysikalischen Messungen, bei denen aus den Bahnstörungen das Potentialfeld der Erde bestimmt wird.

Koordinatensysteme, Basen, Längeneinheiten

Bei der normalen geodätischen Triangulation (oder Trilateration) geht man von einer in Einheiten des Normalmeters gemessenen Basis aus. Bei der relativ kleinen Ausdehnung der zusammenhängenden Netze und wegen der Unsicherheit in den Lotabweichungskomponenten machen sich gewöhnlich keine prinzipiellen Schwierigkeiten bemerkbar; das heißt, der Fehler des in Metern ausgedrückten Erdradius tritt lediglich als zusätzliche Verformung des Geoidstückes auf.

Bei der dreidimensionalen Satellitengeodäsie treten hingegen neue, prinzipielle Probleme mit den Grundeinheiten auf. Erstens müssen die Bahnen auf ein für die himmelsmechanischen Gleichungen günstiges System bezogen werden. Die zu bestimmenden Erdorte befinden sich aber auf einem System, das durch Mondungleichheit, Präzession, Nutation, Polschwankungen usw. komplizierte Bewegungen ausführt. Auch die Bahnstörungen durch Sonne, Mond, Erdpotential (zum Beispiel Abplat-

tung) haben ganz verschiedene zeitliche und räumliche Abhängigkeiten. Will man aus der Beobachtung der Bahn eines künstlichen Satelliten absolute Größen auf der Erde messen, stößt man auf verschieden definierte Grundeinheiten. So ist die Gravitationskonstante durch Laboratoriumsversuche nur auf wenige Dezimalstellen bekannt. Hingegen ist das Produkt Sonnenmasse mal Gravitationskonstante mit der astronomischen Einheit als Längenmaß auf 8 bis 9 Stellen genau bekannt. Wegen der Unsicherheit im Massenverhältnis Erde/Mond ist das entsprechende Produkt für die Erde wesentlich ungenauer. Und dieses Produkt ist es, das durch das dritte Keplersche Gesetz die Umlaufszeit eines künstlichen Satelliten bestimmt. Bei Neubestimmung fundamentaler Größen durch Satellitenbeobachtungen stößt man daher immer wieder auf Rechenglieder, die neben physikalischen in verdeckter Weise noch astronomische Grundeinheiten enthalten. Diese wichtigen Probleme bedürfen noch einer eingehenden systematischen Abklärung, will man trügerische Resultate vermeiden.

Bisherige Resultate und Aussichten

Obwohl die Satellitenmethoden in der Geodäsie erst in den Anfängen stecken, erscheinen sie schon heute als geeignet, große Kontinentalnetze mit geringem Arbeitsaufwand zu überprüfen. Für den Anschluß von isolierten Inseln sowie von Kontinentalnetzen untereinander bilden sie die erste präzise Methode überhaupt. Die jetzt erreichten Genauigkeiten sind bei optischen Beobachtungen in der Ordnung von einigen zehn Metern. Bei den radioelektrischen Methoden ist zum Beispiel das «Transit»-System auf etwa 200 m genau. Zweifellos werden sich diese Fehler im Laufe der weiteren Entwicklung noch wesentlich heruntersetzen lassen. Für fundamentale Aufgaben, wie die Bestimmung der Geoidform, wird die Satellitengeodäsie das ideale Mittel sein. Statt einer ungünstig verteilten Anzahl sehr genauer Lokalnetze wird dazu ein vielleicht weniger präzises, aber erdumfassendes Netz zur Verfügung stehen. Hier sei bemerkt, daß Navigationssatelliten indirekt genaue Schweremessungen zur See ermöglichen werden. In der Tat sind letztere heute durch die Unsicherheit in der Bewegung der Schiffe (Meeresströmungen), die zu Änderungen der Zentrifugalkraft führen, beschränkt.

Abschließend muß die Frage aufgeworfen werden, ob sich die Schweiz an Arbeiten mit geodätischen Satelliten beteiligen soll oder nicht. Für kleine Netze wird die Methode wohl nie brauchbare Resultate liefern, also auch die Detailstruktur des Geoids nicht zu erfassen gestatten. Immerhin befinden wir uns im Zentrum des Alpengebietes, dessen genaue Lage im Raum zu kennen höchst interessante Angaben über die Massenverteilung in Kontinenten liefern würde. Es wäre daher höchst erwünscht, die Beobachtungsmethoden für Satelliten auch bei uns zu studieren und einige Versuche mit optischen und eventuell auch radioelektrischen Meßmethoden zu unternehmen, damit die Schweiz zu gegebener Zeit bereit wäre, an einem internationalen Meßprogramm teilzunehmen.