

Zeitschrift: Mensuration, photogrammétrie, génie rural

Herausgeber: Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) = Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF)

Band: 73-M (1975)

Heft: 2

Artikel: Geodätische Ortsbestimmung mit tragbaren Doppler-Empfängern von Satellitensignalen

Autor: Rüeger, J.M.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-227924>

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: 19.02.2026

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

wird aber viel mehr gesprochen und schlechter geführt; es wird gelafert statt geliefert. Kein Betrieb der freien Wirtschaft hat sich Kopflastigkeit ungestraft leisten können. Der Staatsapparat kann sie sich zwar über lange Fristen leisten und tut das auch allenthalben, aber er dürfte es nicht tun, denn auch hier ist die Strafe unausweichlich. Sie lässt zwar länger auf sich warten, manifestiert sich dann aber um so umfassender und brutaler und trifft nicht nur die Hauptschuldigen – schuldig machen wir uns ja alle durch Bequemlichkeit und Duckmäuserei –, sondern trifft eine ganze Schicksalsgemeinschaft im Lebensnerv.

Die Ausführung neuer Aufgaben ist deshalb wo immer möglich an die freie Wirtschaft zu vergeben. Geht das in einem einzelnen Fall nicht, so sind Kompensationen oder besser noch exemplarische Überkompensationen zu verwirklichen, indem der Apparat aus bestehenden Pflichten entlassen wird.

Zu den wesentlichen Elementen bei der Verwirklichung der Demokratie gehören nach unserer Auffassung unter anderem Föderalismus, Dezentralisation, Trennung der Gewalten, Mitsprache, Mitbestimmung sowie enge Tuchfühlung mit dem Bürger bei der Realisierung öffentlicher Werke. Ganz besondere Bedeutung haben diese Elemente bei der Durchführung von Werken der Bodenordnung und Vermessung. Der einzelne und insbesondere sein Eigentum sind die Hauptobjekte der Massnahmen. In den Begriff der Trennung der Gewalten mit den drei klassischen Bereichen der Gesetzgebung, der Regierung und der Rechtspflege werden hier die Massnahmen zur Vermeidung von Machtkonzentrationen und Interessenkonflikten sowie zum Schutz von Rechtsungleichheit und Willkür eingeschlossen. Der Staat ist Grossgrundbesitzer und als solcher an den Verfahren massgeblich beteiligt. Wenn mit rechtsstaatlicher Bodenordnung und dem Rechtskataster ernst gemacht werden soll, kann er wohl kaum auch als Vollzugsorgan und damit in eigener Sache handeln.

Bei der Durchführung öffentlicher Werke heißt Trennung der Gewalten in erweitertem Sinn auch Gewähr-

leistung von Transparenz und Kontrolle. Der Staat hat nicht als Unternehmer aufzutreten, er hat zu führen. Es ist die Privatwirtschaft, die zu produzieren und Dienstleistungen zu erbringen hat; sie hat auszuführen. Zu den Aufgaben der Führung gehören in unserem Berufsbereich die Formulierung von Zielsetzungen und Konzeptionen sowie die Sach-, Mittel-, Termin- und Kostenplanung, es gehören dazu die Erarbeitung der rechtlichen und technischen Grundlagen unter Gewährung von Mitsprache und Mitbestimmung der freien Berufsorganisationen, ferner die Initialisierung und Mittelbereitstellung und endlich die Vergabe der Aufträge aller Art, die Überwachung der Ausführung sowie die Termin- und Sachkontrolle.

Zwei Bemerkungen zu den Kosten sollen die Reihe der Argumente abschliessen. Einerseits ist es wohl kaum bestritten, dass die Betriebe des freien Berufes in jedem Fall sowohl bedeutend billiger produzieren als auch Dienstleistungen billiger erbringen können als der Staat. Das hat verschiedene Ursachen. Wesentlich sind davon die Neigung des Staatsapparates zu Kopflastigkeit mit den bereits erörterten Folgen und der fehlende periodische, ja sogar tägliche Zwang zu Wirtschaftlichkeitskontrollen und den sich daraus ergebenden Führungsmassnahmen. Anderseits fällt ins Gewicht, dass bei den Betrieben des freien Berufes viel eher Gewähr dafür geboten ist, dass der Aufwand nach dem Vorteilsprinzip weitmöglichst auf Verursacher und Nutzniesser abgewälzt wird und nicht einfach dem allgemeinen Haushalt zur Last fällt.

Unser Berufsstand mit seinen öffentlichen Aufgaben der Bodenordnung und Vermessung kann an das grosse Problem zwar nur einen kleinen Beitrag leisten. Jeder Beitrag zählt aber, und deshalb lohnt es sich, von Zeit zu Zeit über das nachfolgende Churchill-Zitat nachzudenken: «Es gibt Leute, die halten den Unternehmer für einen räudigen Wolf, den man totschlagen müsse. Andere meinen, der Unternehmer sei eine Kuh, die man ununterbrochen melken könne. Nur wenige sehen in ihm das Pferd, das den Karren zieht.»

Geodätische Ortsbestimmung mit tragbaren Doppler-Empfängern von Satelliten-signalen

J. M. Rüeger

Zusammenfassung

In verschiedenen Ländern der Welt werden seit wenigen Jahren tragbare Doppler-Empfänger von Satellitensignalen für die geodätische Ortsbestimmung in Lage und Höhe eingesetzt. Die Beobachtungen mit solchen Empfängern sind praktisch wetterunabhängig. Die Genauigkeit liegt an der Metergrenze. Der nachfolgende Bericht erklärt kurz Prinzip und Ablauf der Messungen und gibt danach Angaben über Einsatzmöglichkeiten und Erfahrungen.

Résumé

Depuis quelques années on utilise dans plusieurs pays des récepteurs Doppler portables pour établir des positions géodésiques en hauteur et horizontales. Les observations avec ces récepteurs sont peu dépendantes du temps. Actuellement, leur

précision atteint le mètre. Le rapport ci-après explique le principe et le procédé des mesures et donne des détails concernant les applications et les expériences.

1. Einleitung

Am diesjährigen FIG-Kongress in Washington D. C. wurde man in der Kommission 5, in der Instrumentenausstellung und an Exkursionen immer wieder auf den sogenannten «Doppler-Receiver» aufmerksam, der es heute erlaubt, irgendwo auf der Erde mittels Satellitensignalen Punkte mit mittleren Fehlern in Lage und Höhe von $\pm 1,5$ bis $\pm 3,0$ m zu bestimmen.

Die Entwicklung des Doppler-Messverfahrens begann etwa im Jahre 1938, als Professor Wolmann (Fernmeldeinstitut der TH Dresden) diese Technik für die Flugbahnbestimmung in der Raketenentwicklung erarbeitete. Daraus ergab sich die Möglichkeit, die Methode auch zur Bahnbestimmung von Satelliten einzusetzen. Die technische Weiterentwicklung erfolgte in den Jahren 1945 bis 1955 im Ballistic Research Laboratory (BRL)

Aberdeen Proving Ground der US-Army und danach im Applied Physics Laboratory (APL) der John Hopkins University Washington D. C., hier unter dem Protektorat der US-Navy. Es gelang dem APL im Jahre 1957, die Bahndaten des ersten russischen Satelliten, Sputnik I, unter Verwendung des Doppler-Messverfahrens und mit Hilfe der vom Satelliten ausgestrahlten Radiosignale zu bestimmen.

Das APL entwickelte in der Folge das heute im Einsatz stehende Navigationssystem der amerikanischen Marine. Dieses erlaubt entsprechend ausgerüsteten Schiffen, die Position in wenigen Minuten (ein Satellitendurchgang) auf ± 50 m bis 100 m zu bestimmen. Die Bahndaten des Satelliten sind im Satelliten gespeichert und werden periodisch ausgesendet. Auf den Schiffen ist der Doppler-Empfänger direkt mit einem Computer verbunden, der die Position errechnet. Die Bahndaten der fünf verwendeten Navigationssatelliten werden von einer Anzahl, über die ganze Welt verteilter Bahnbestimmungsstationen des TRAcking NETwork System (TRANET) bestimmt. In einem ersten Schritt werden, ausgehend von bekannten Bodenstationen, unbekannte Satellitenbahnen mit Hilfe eines verfeinerten Modells des Schwerefeldes der Erde berechnet. Im zweiten Schritt schliesst man von zeitabhängigen Satellitenpositionen auf unbekannte Bodenpunkte. Dieser zweite Schritt und seither entwickelte miniaturisierte Doppler-Empfänger machen diese Methode auch für den Vermessungsfachmann interessant.

2. Aufbau und Funktionsprinzip des Systems

Der vom Vermessungsfachmann eingesetzte Doppler-Empfänger besteht in der Regel aus vier Komponenten, die zusammen zurzeit etwa 50 kg wiegen. Die Antenneneinheit ist mit einem Stativ zusammengebaut und kann daher wie gewohnt aufgestellt werden. Sie ist durch ein Kabel mit dem Hauptempfänger verbunden, der seinerseits an einen Lochstreifenstanzer für die Registrierung angeschlossen ist. Dazu kommt noch eine vierte Einheit für die Stromversorgung.

Aus der Physik wissen wir, dass sich die Frequenz des empfangenen Satellitensignals mit der Zeit infolge der Relativbewegung Satellit-Bodenpunkt ändert (sogenannter Doppler-Effekt). Die Frequenzänderung kann im Doppler-Empfänger erfasst werden, indem das empfangene Signal mit einem internen Frequenznormal verglichen wird. Das Integral der Frequenzänderung über ein bestimmtes Zeitintervall ist der Änderung der Entfernung Empfänger-Satellit proportional.

Summiert man also die Frequenzänderung mit der Zeit zwischen zwei Zeitimpulsen (zum Beispiel alle 30 Sekunden), so erhält man die Differenz der Distanzen zum Satellitenort vom Anfang bis zum Ende des Zeitintervall. Der geometrische Ort von Punkten mit gleichen Entfernungsdifferenzen zu zwei Punkten der Satellitenbahn ist ein Rotationshyperboloid. Wird die Messung in mehreren Zeitintervallen wiederholt (ein Satellitendurchgang dauert etwa 15 Minuten), so lassen sich die Koordinaten des Doppler-Empfängers als Schnitt mehrerer Rotationshyperbole nach der Methode der kleinsten Quadrate bestimmen. Die Koordinaten erhalten wir im geozentrischen Koordinatensystem, indem die Bahnkoordinaten des Satelliten vorliegen.

Die registrierten Daten können auf zwei Arten ausgewertet werden. Berechnet man alle Stationen einzeln, so spricht man von Punktbestimmung (Point Positioning). Hierfür sind möglichst genaue Bahndaten der eingemessenen Satelliten erforderlich. Stehen zwei Instrumente gleichzeitig im Einsatz, so ist das Auswerteverfahren der Translokation (Translocation) möglich, wenn die beiden Stationen gleichzeitig Signale des gleichen Satelliten empfangen haben. Man berechnet in diesem Fall die Punktkoordinaten der beiden Stationen wie bei der normalen Punktbestimmung, erhält aber die gegenseitige Lage wenigstens theoretisch genauer als die absolute, weil kleinere Bahnungenauigkeiten des Satelliten die Koordinaten beider Punkte in ähnlicher Weise beeinflussen. Diese Methode ist möglich, solange die Entfernung der beiden Punkte kleiner ist als der doppelte Abstand Satellit-Erdoberfläche.

3. Messung und Auswertung

Die Navigationssatelliten übertragen Informationen und Zweiminuten-Zeitimpulse auf zwei Frequenzen (162 MHz/324 MHz). Die Frequenzen und die Zeit werden von einem Präzisionsquarz abgeleitet. Daher sind die beiden Frequenzen phasenstarr miteinander verbunden. Dies ermöglicht weitgehend die Elimination des Einflusses der Refraktion der Ionosphäre (Atmosphäre über 23 km Höhe) auf die Messung durch den Phasenvergleich der beiden Signale im Doppler-Empfänger.

Der Doppler-Empfänger verfügt wieder über ein Frequenznormal (Konstanz über kurze Zeit = $5 \cdot 10^{-12}$), von dem die Vergleichsfrequenzen und -zeiten abgeleitet werden. Das Doppler-Signal wird aus der höheren Frequenz der Satellitensignale erzeugt. Die Anzahl der Doppler-Schwingungen in einem genauen Intervall von 30 Sekunden werden gezählt und auf den Papierstreifen gelocht. Die 30-Sekunden-Intervalle werden aus den Zweiminuten-Intervallen der Satellitensendung durch Interpolation gewonnen. Die tiefere Frequenz dient der Ermittlung des Refraktionseinflusses der Ionosphäre. Für jedes Zeitintervall werden folgende Elemente auf dem Papierstreifen gelocht: Doppler-Zählung, Refraktionszählung, Zeit am Anfang und am Ende der Zählung.

Der gesamte Lochstreifen-Output eines Satellitendurchgangs umfasst drei Teile: Anfangsinformation, Daten der einzelnen Zeitintervalle, Endinformationen. Die Anfangsinformationen geben einerseits an, um welchen Durchgang es sich handelt, anderseits geben sie die Nummer des Satelliten und den Tag. Die Endinformationen umfassen allgemeine Bemerkungen des Operators sowie Angaben über die Betriebsart und die lokalen meteorologischen Daten (für die Refraktionsberechnung in der Troposphäre).

Die Berechnungen erfolgen bei geodätischen Anwendungen, wo höchste Genauigkeiten gefordert werden, erst nachträglich in einem Rechenzentrum, nachdem die genauen Bahndaten auf Grund von Beobachtungen von festen (TRANET-)Stationen vorliegen. Die Berechnung der Bahndaten ist aufwendig. Die Genauigkeit der Punktbestimmung hängt neben der Anzahl der Durchgänge und der Geometrie der Satellitenbahn bezüglich des Standortes des Doppler-Empfängers weitgehend da-

von ab, wie genau die Refraktion von Ionosphäre und Troposphäre erfasst und wie genau die gegebenen Satellitenbahnen bestimmt sind.

Die Koordinaten der Neupunkte erhält man im selben geozentrischen System, indem die Satellitenbahnen gegeben sind. In der Regel wird man anschliessend die Daten auf eine Referenzfläche umrechnen oder mit Hilfe von Passpunkten transformieren, um Koordinaten und Höhen in bereits bestehenden Vermessungssystemen zu erhalten.

4. Einsatzarten

In seinem Vortrag am FIG-Kongress 1974 gab Rutscheidt [1] eine ganze Liste von geodätischen Arbeiten, die mit Doppler-Empfängern ausgeführt werden können. Ein paar Vorschläge seien hier angeführt:

- Messungen auf Punkten bestehender Grundlagennetze zum Bestimmen von Transformationsparametern in andere Systeme oder/und zur Verbesserung der Netzgeometrie. Mit denselben Messungen lassen sich auch gut angepasste Referenzflächen für ein Land oder einen ganzen Kontinent bestimmen.
- Bestimmen von Punkten in einem geozentrischen Koordinatensystem.
- Punktbestimmung als Grundlage für Kartenwerke in Gebieten ohne Vermessungs-Grundnetze.
- Punktbestimmung auf bestehenden, bereits astronomisch bestimmenden Punkten zur Ermittlung der Lotabweichungen.
- Punktbestimmung auf Stationen eines Höhennetzes, um daraus die Höhe des Geoides abzuleiten. Wie im Kapitel 3 erwähnt, lassen sich aus den geozentrischen Doppler-Koordinaten direkt Koordinaten bezüglich eines Referenzellipsoids rechnen. Dabei entspricht die Vertikalkomponente der Höhe über dem Ellipsoid. Kennen wir die orthometrische Höhe aus geometrischem oder trigonometrischem Nivellement, so ergibt sich die Geoidhöhe über dem Referenzellipsoid aus einfacher Subtraktion.

Auf die Verwendung der Doppler-Methode bei Verschiebungsmessungen machte Southard [4] aufmerksam. In der Antarktis werden Verschiebungen von Punkten im Ross Ice Shelf und jene des Südpols (etwa 10 m pro Jahr) mit Doppler-Empfängern bestimmt.

5. Erfahrungen und Einschränkungen der Methode

Um einen Einblick in die hohe Genauigkeit dieser Punktbestimmungsmethode zu erhalten, sei vorerst auf zwei Testnetze hingewiesen, die in den Jahren 1971 und 1972 in den USA gemessen wurden.

In der östlichen Hälfte der USA beobachtete man 1971 15 Stationen der «High Precision Geodimeter Traverse» des National Geodetic Survey mit dem Geoceiver. Auf sieben Stationen dauerten die Beobachtungen einen Monat, auf acht Stationen eine Woche. Vergleicht man die Koordinaten der Einzelpunktbestimmung nach der Doppler-Methode mit jenen der Geodimetertraverse, so übersteigen die Fehler in Breite und Länge nie 1,8 m und Höhe nie 2,6 m. Rechnet man aus allen Differenzen in Breite, Länge und Höhe zwischen Doppler- und Werten der Geodimeter-Traverse einen mittleren Punktlagefehler in allen Richtungen, so erhält man $\pm 1,1$ m. Die Differenzvektoren weisen auf systematische Einflüsse

hin, die zurzeit noch nicht näher erklärt werden können. Wertet man die Stationen nach den beiden möglichen Doppler-Verfahren (Point Positioning und Translocation) aus und vergleicht man die daraus gerechneten Zwischendistanzen mit den gemessenen Werten der Geodimeter-Traverse, so zeigt sich, dass die Translokationsmethode (relative Punktbestimmung) für Distanzen zwischen 100 km und 800 km eine etwas bessere Übereinstimmung ergibt.

Im Jahre 1972 erfolgten weitere Testmessungen mit dem «Geoceiver» und dem «ITT 5500 Doppler Receiver» in einem kleineren Netz mit Entfernungen der Stationen zwischen 5 bis 25 km in der Umgebung von Washington D. C. (Herndon Area). 13 Stationen wurden besetzt. Ein Vergleich der absoluten Koordinaten aus den Doppler-Messungen mit jenen des Triangulationsnetzes erster Ordnung ergibt mittlere Abweichungen in allen drei Komponenten von $\pm 0,74$ m (mittlerer Fehler). Wertet man die Beobachtungen nach der Translokationsmethode aus und vergleicht man die Resultate mit den Distanzen aus der Triangulation, so erhält man einen mittleren Fehler von $\pm 0,75$ m, wenn alle Beobachtungen (12 Tage), und von $\pm 1,6$ m, wenn nur Beobachtungen zweier Tage eingeführt werden. Die Translokationsmethode gibt somit bei diesen kurzen Punktentfernungen (5 bis 25 km) etwas bessere relative Punktgenauigkeiten als die Einzelpunktbestimmung. Sie benötigt aber mehr Personal (2 bis 3 Personen pro Station) und mehr Doppler-Empfänger (50 000 bis 100 000 \$ pro Stück). Aus diesen und anderen Gründen wird man wohl nur in Ausnahmefällen nach dieser Methode beobachten.

Wie Meade in [5] mitteilt, sind inzwischen bereits 39 Stationen der Geodimeter-Traversen der USA mit Doppler-Messungen bestimmt worden. Es zeigen sich zum Teil systematische Abweichungen von den Traversen-Koordinaten, die auf eine fehlerhafte Orientierung der Traversen hindeuten könnten. Weiter scheint ein Doppler-Receiver eine Additionskonstante in der Höhenbestimmung aufzuweisen. Zudem wurde festgestellt, dass zum Beispiel hohe Bäume in der Umgebung einer Doppler-Empfängerstation durch Mehrwegeeffekte das Resultat beeinflussen können.

Um andere mehr geometrische Einflüsse auf die Stationsbestimmung eliminieren zu können, verwendete Southard bei seinen Arbeiten in der Antarktis [4] immer Gruppen zu vier Satellitendurchgängen als eine Beobachtungseinheit. Die vier Durchgänge teilen sich wie folgt auf: zwei Durchgänge im Westen, davon einer Nord-Süd, der andere Süd-Nord, zwei Durchgänge im Osten, davon wieder je einer Nord-Süd und Süd-Nord. Während eines Tages (24 h) konnten etwa neun solche Gruppen gemessen werden. Die Auswertung einer solchen Tagesmessung mit den in den Satelliten gespeicherten, genäherten Bahnelementen ergab in einem Konfidenzbereich von 95 Prozent ± 17 m in Lage und Höhe. Als letzte Einschränkung ist zu erwähnen, dass normalerweise die genauen Bahndaten nur für einen Satelliten bestimmt werden und daher für geodätische Zwecke nur ein Satellit zur Verfügung steht.

Praktische Arbeiten wurden unter anderem bereits in Chile, Argentinien, Mexiko, Venezuela, Kenia, Alaska, Kanada und Australien ausgeführt.

6. Schlussbemerkungen

Mit den heutigen Doppler-Empfängern von Signalen entsprechend ausgerüsteter Satelliten steht den Geodäten ein neues Instrument zur Verfügung, das astronomische Beobachtungen ersetzen oder auch ergänzen kann. Der grosse Vorteil der Methode liegt darin, dass die Beobachtungen weitgehend unabhängig vom Wetter ausgeführt werden können und weniger qualifiziertes Personal erfordern. Die Genauigkeit ist etwa ± 1 m. Wie bei astronomisch-geodätischen Ortsbestimmungen ist auch bei dieser neuen Methode der Messanordnung und der Instrumenteneichung die nötige Aufmerksamkeit zu widmen. Für geodätische Auswertungen ist man auf die Herausgabe von genauen Bahnelementen seitens amerikanischer Amtsstellen angewiesen.

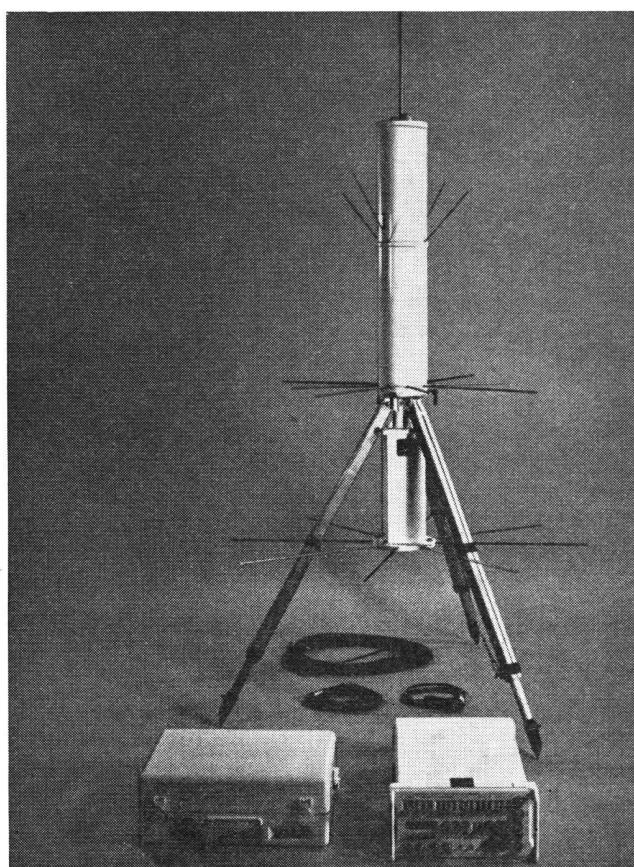
Zum Schluss möchte ich Prof. Dr. H. Schmid für die Durchsicht dieses Artikels und für seine wertvollen Ergänzungen herzlich danken.

Literaturverzeichnis

1. *E. H. Rutscheidt*: Worldwide geodetic positioning from satellites with portable Doppler receivers.
Invited paper 503.1. XIV. FIG-Congress 1974, Washington D.C.
2. *A. Wallenhauer*: Über die Anwendung des Verfahrens zur Integration der Doppler-Frequenzverschiebung von Signalen künstlicher, erdnaher Satelliten für die geodätische Ortsbestimmung.
Deutsche Geodätische Kommission, Reihe C, Heft Nr. 161, München 1971.
3. *Magnavox*, Research Laboratories, Torrance, Kalifornien: Geoceiver (AN/PRR-14)
4. *R. B. Southard* (US Geological Survey): Antarctic Control Requirements met by Doppler Satellites.
Personal Paper, FIG-Congress 1974, Washington D.C.

5. *B. K. Meade* (National Geodetic Survey): Geoceiver positions compared with results of precise surveys.

Personal paper, FIG-Congress 1974, Washington D.C.



Legende zur Abbildung

Feldausstattung des «Geoceiver»: Antenne, Hauptempfänger und Lochstreifenstanzer (im geschlossenen Koffer). Foto: Magnavox

Numerische Orientierung photogrammetrischer Aufnahmen als Rückwärtseinschnitte

André Flotron, Meiringen

Zusammenfassung

Zur Einpassung von Modellen, deren Geländeformen nahe der kritischen Fläche liegen, wurde ein Programm geschrieben. Es erlaubt nebst der rationalen Orientierung von Gebirgsmodellen Neupunkte mit sehr hoher Genauigkeit zu berechnen.

Einleitung

Flugaufnahmen als räumliche Rückwärtseinschnitte zu orientieren ist ungebräuchlich geworden, seit von Gruber das Prinzip einführt, zwei Bilder vorerst gegenseitig und anschliessend das photogrammetrische Modell absolut zu orientieren.

Rückwärtseinschnitte sind als Probiermethode am Auswertegerät viel umständlicher durchzuführen, und sie gelten, vor allem weil der Stereoeffekt nicht benutzt werden kann, als ungenauer. Gotthardt hat ein mathematisches Modell nach beiden Orientierungsmethoden fehlertheoretisch durchgerechnet (Zeitschrift für Vermessungswesen, 1942) und findet diese Annahme weit-

gehend bestätigt. Seinen Berechnungen legt er eine geringe Beobachtungsgenauigkeit zugrunde und beschränkt sie auf Normalwinkelauflnahmen von ebenem Gelände. Sie dürfen deshalb nicht ohne weiteres auf Einpassungen gebirgiger Modelle übertragen werden; ferner schaffen die modernen Aufnahme- und Auswertegeräte wesentlich andere Voraussetzungen als Gotthardt in seiner Untersuchung annahm.

Die bekannten Schwierigkeiten zur gegenseitigen Orientierung grossmassstäblicher Aufnahmen im Hochgebirge und die Möglichkeit, recht umfangreiche Programme mit Kleincomputer zu berechnen, führten zum Anlass, das bereits durch S. Finsterwalder (Die geometrischen Grundlagen der Photogrammetrie, 1899) beschriebene Einpassverfahren wieder zu verwenden.

Berechnungsgang

Aus der Menge aller in einer Photo abgebildeten Geländepunkte sei der Punkt $\mathbf{r}_B = (x_B, y_B, f)'$ als Bild von $\mathbf{R} = (Y, X, H)'$ willkürlich herausgegriffen.

Im Modellraum des in Fig. 1 schematisch dargestellten Auswertegerätes wird der Bildpunkt als Vektor

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}_B \frac{z}{f} = (x, y, z)' \quad (1)$$