Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 81 (1990)

Heft: 1

Artikel: Vermessung mit Satelliten

Autor: Gurtner, Werner

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-903055

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: 08.08.2025

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

Vermessung mit Satelliten

Werner Gurtner

Seit mehr als 20 Jahren werden Satelliten für die wissenschaftliche Vermessung der Erde verwendet. Die bedeutendste Entwicklung für die praktische Vermessung stellt das Satelliten-Navigationssystem GPS (Global Positioning System) dar. Dieser Beitrag zeigt, wie mit speziellen Empfängern und durch eine besondere Verarbeitungsweise der Messdaten eine die normale Anwendung des GPS weit übertreffende Genauigkeit erreicht werden kann. Es ist zu erwarten, dass die klassischen Vermessungsverfahren in Zukunft zu einem grossen Teil durch diese modernsten Methoden abgelöst werden.

Depuis plus de vingt ans on utilise des satellites pour la topométrie de la terre. Le développement le plus important dans ce domaine est le système de navigation par satellites GPS (Global Positioning System). Cet article montre comment, avec des récepteurs et grâce à un mode de traitement particulier des données de mesure l'on obtient une précision surpassant largement la précision normale du GPS. A l'avenir, on peut s'attendre à ce que les méthodes topométriques classiques soient en grande partie remplacées par ces méthodes avancées.

Adresse des Autors
Dr. *Werner Gurtner*, Astronomisches Institut, Universität Bern, Sidlerstrasse 5, 3012 Bern.

Im Artikel von L. Petersen, auf Seite 19 dieser Bulletin-Ausgabe, wird das sogenannte Global Positioning System (GPS), das für die Belange der militärischen Navigation und Positionierung entwickelt wurde, ausführlich beschrieben. Im folgenden sollen deshalb nur noch Ergänzungen zum Systembeschrieb angegeben werden, welche für das Verständnis der geodätischen Anwendung des GPS nötig sind.

1. Grundlagen

Die Erdvermessung *(Geodäsie)* wird oft in die beiden Bereiche

- niedere Geodäsie (z.B. Grundbuch- und Ingenieurvermessung) und
- höhere Geodäsie (Landesvermessung, globale Vermessung)

eingeteilt. Die klassischen Vermessungsverfahren, welche in beiden Bereichen angewendet werden, bedienen sich vor allem der Distanz- und Winkelmessung sowie des Nivellementes. Insbesondere in der höheren Geodäsie werden zusätzlich astronomische Methoden der Orts- und Azimutbestimmung angewendet.

Der hauptsächlichste Nachteil der klassischen (terrestrischen) Methoden ist die Forderung nach Sichtverbindung zwischen den zu vermessenden Punkten, wobei allenfalls mehrere Zwischenstationen eingeschaltet werden müssen. Dies bedeutet einerseits eine Beschränkung in der maximalen (horizontalen) Entfernung zwischen Vermessungspunkten auf unter 100 Kilometer durch die Erdkrümmung und die atmosphärische Dämpfung sowie eine bedeutende Abhängigkeit von den Witterungsverhältnissen. Anderseits können astronomische Positionierungen, welche absolut, d.h. unabhängig von Nachbarpunkten, gemacht werden, systematische Fehler in der Grössenordnung von Hunderten von Metern enthalten.

Seit mehr als 20 Jahren werden – bis vor kurzem allerdings praktisch nur in der wissenschaftlichen Geodäsie – verschiedenste künstliche Erdsatelliten verwendet, um die erwähnten Nachteile der terrestrischen (erdgebundenen) Vermessungsmethoden zu vermeiden.

Folgende drei Messmethoden haben dabei die grösste Bedeutung erlangt:

1. Photographische Richtungsbeobachtungen
2. Entfernungsmessungen (Laufzeitmessungen von elektromagnetischen Signalen oder Lichtblitzen)
3. Geschwindigkeitsmessungen (Messung des Dopplereffektes elektromagnetischer Wellen)

Vor allem in den Anfängen der *Satellitengeodäsie* wurde mit Hilfe von Photographien, welche sowohl bekannte Sterne wie auch die Momentaufnahme eines vorbeifliegenden Satelliten enthalten, die *Richtung* des Satelliten (bezüglich der bekannten Sterne) bestimmt. Wird er gleichzeitig von mehreren Stationen aus beobachtet, kann mit diesen Richtungen ein räumliches Triangulationsnetz aufgebaut werden, welches alle beteiligten Stationen mit den jeweiligen Positionen der Satelliten – und damit auch die Stationen untereinander – verknüpft. Der grösste Erfolg dieser Methode stellte in den 60er Jahren ein weltweites Netz von etwa 40 Stationen dar, welches mit der bis anhin unerreichten Genauigkeit von etwa 5 Metern in einem einheitlichen globalen Koordinatensystem bestimmt wurde. Die *Sternwarte Zimmerwald* des Astronomischen Institutes der Universität Bern (AIUB) nahm damals regelmässig mit ihrem astronomischen Instrumentarium an solchen Richtungsmessungen teil.

Ein Genauigkeitssprung von zwei Grössenordnungen wurde erreicht durch die *Laufzeitmessung* von sehr kurzen Lichtblitzen. Diese werden mit Hilfe eines Lasers im Observatorium

erzeugt, zum Satelliten geschickt, an diesem reflektiert und auf der Erde wieder aufgefangen. Durch Multiplikation der Laufzeit mit der Lichtgeschwindigkeit erhält man sofort die (doppelte) Distanz zwischen Satellit und Observatorium zum Zeitpunkt der Messung. Die Genauigkeit einer solchen Distanzmessung beträgt heute einige wenige Zentimeter. Der instrumentelle Aufwand ist jedoch beträchtlich. So gibt es jetzt weltweit nur etwa 20 Stationen (darunter die *Satellitenbeobachtungsstation Zimmerwald* der Universität Bern), die regelmässig solche Messungen durchführen. Dank der hohen Genauigkeit können damit beispielsweise die Bewegungen der tektonischen Platten (Kontinentalverschiebungen von der Grössenordnung einiger Zentimeter pro Jahr) direkt gemessen und mit den Modellen der Geophysik verglichen werden. Die routinemässige Bestimmung der Erdrotationsparamter (Rotationsgeschwindigkeit [Tageslänge], Bewegung der Rotationspole) mit Hilfe von Laserdistanzmessungen zu Satelliten hat seit 1988 ihren festen Platz im Internationalen Erdrotationsdienst (IERS).

Die Verwendung von *Dopplermessungen* der Radiosignale von Satelliten-Navigationssystemen (wie z.B. des Navy Navigation Satellite Systems mit seinen Transit-Satelliten) in der Geodäsie war vorerst beschränkt auf wissenschaftliche Fragestellungen sowie auf Positionierungsaufgaben beispielsweise in der Offshore-Prospektion oder in Ländern der Dritten Welt, in denen geodätische Grundlagen fehlen.

Seit einigen Jahren jedoch beobachten wir eine stürmische Entwicklung im Gebiet der Nutzbarmachung des *Global Positioning Systems* (GPS) für die praktische Vermessung. Im Unterschied zu den reinen Navigations- und Positionierungsverfahren, wie sie in [1] beschrieben sind, verwendet die Geodäsie nicht primär die Pseudorange-Messungen, sondern (vereinfacht ausgedrückt) Phasenmessungen der Trägerwellen, die wir in den folgenden Abschnitten näher erläutern wollen.

Pseudorange-Messungen sind Laufzeitmessungen von Signalen zwischen den Satelliten und den Empfängern, welche noch durch Fehler in den Satelliten- und Empfängeruhren verfälscht sind (Bild 1). Je nach Empfängertyp werden die Signale beider oder nur einer der vom Satelliten abgestrahlten Trägerwellen L_1 und L_2 ausgewertet.

Anschliessend möchten wir anhand einiger Beispiele versuchen, die Bedeutung von GPS für die Geodäsie hervorzuheben.

Differentielle Methoden

Jeder Fehler in den Satellitenpositionen führt auch zu einer Verfälschung der zu ermittelnden Koordinaten der terrestrischen Punkte, da die primäre Messgrösse *Distanz* verwendet wird, um von den als bekannt vorausgesetzten (oder allenfalls gleichzeitig ermittelten) Satellitenpositionen auf die Position des Empfängers zu schliessen. Setzt man sich nun zum Ziel, nicht die absolute Position, sondern nur die relative Lage eines Empfängers bezüglich eines anderen, gleichzeitg operierenden Empfängers zu bestimmen, ist leicht einzusehen, dass dadurch Fehler in den Satellitenpositionen zumindest teilweise durch die Differenzbildung aufgehoben werden. Ähnliches gilt für Restfehler, welche von den auch nicht perfekt erfassten Satellitenuhren herrühren. Stellt man also einen Empfänger auf einen bekannten Punkt, können mit einem anderen (herumreisenden) Empfänger wesentlich genauer neue Punkte eingemessen werden. Dabei können die Messdaten entweder von beiden Instrumenten gesammelt und anschliessend gemeinsam ausgewertet werden oder in Echtzeit an eine Auswertestelle (welche identisch mit einem der beiden Empfänger sein kann) übermittelt und gleich differentiell ausgewertet werden.

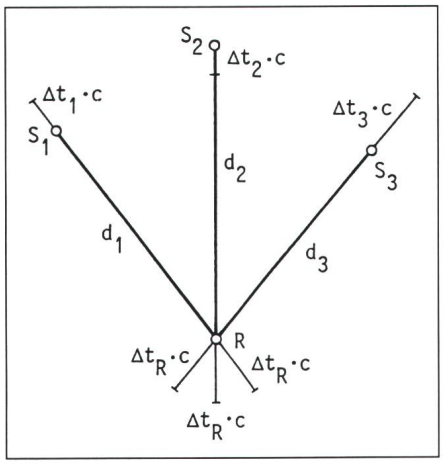


Bild 1 Pseudorange-Beobachtungen

$PR_i = \Delta t_i + d_i/c + \Delta t_R$

PR_i Pseudorange

Δt_i Uhrenfehler der Satelliten S_i (bekannt)

Δt_R Uhrenfehler des Empfängers R

d_i Geometrische Distanz

c Lichtgeschwindigkeit

Mit dieser differentiellen Pseudorange-Positionierung bzw. -Navigation lassen sich (relative) Genauigkeiten in der Grössenordnung von Metern erreichen, selbst wenn die Bahnen ein Mehrfaches an Fehlern enthalten.

Die von den Bahnen herrührenden Fehler in der relativen Positionierung (d.h. auf den Vektor der Basislinie vom bekannten Punkt zum Neupunkt) lassen sich mit der folgenden Daumenregel (Gl. 1) abschätzen [2]. Da diese nicht ganz leicht herzuleiten ist, wird auf eine Ableitung verzichtet.

$$dB/B = dR/R \qquad (1)$$

mit dB = Betrag des Fehlers im Basislinienvektor

B = Basislinienlänge

dR = Fehler in der Position des Satelliten

R = Entfernung zum Satelliten

Der Einfluss eines Bahnfehlers auf eine 20 km lange Basislinie wird demnach um etwa einen Faktor 1000 reduziert (Die Entfernung zu den GPS-Satelliten beträgt etwa 20 000 km).

Phasenbeobachtungen

Die Messgenauigkeit einer Pseudodistanz selbst dürfte etwa in der Grössenordnung von einem Meter sein (P-Code etwas besser, CA-Code etwas schlechter). Diese Messgrösse ist dazu recht anfällig für Einflüsse von Mehrwegsignalen, d.h. von an Umgebungsobjekten reflektierten Satellitensignalen. Eine wesentliche Genauigkeitssteigerung kann erreicht werden, indem die Phasen der Trägerwellen L_1 und L_2 mit Wellenlängen von rund 19 und 24 cm herangezogen werden.

Messprinzip

Falls wir die Differenz zwischen dem von den Code- und Datenmodulationen befreiten Trägersignal und einem entsprechenden vom Empfänger erzeugten Referenzsignal bekannter Frequenz (welche z.B. gleich der vom Satelliten abgestrahlten Frequenz sein kann) bilden, erhalten wir ein Si-

gnal, welches im wesentlichen die Bewegung des Satelliten relativ zum Empfänger widerspiegelt. Es entspricht im Falle, dass die Sendefrequenz gleich der Referenzfrequenz ist, gerade der durch die Bewegung des Satelliten erzeugten Dopplerfrequenz f_d.

$$f_d = f_{sat} - f_{rec} \qquad (2)$$

mit f_{sat} gleich der Frequenz des empfangenen Satellitensignals und f_{rec} gleich der Referenzfrequenz des Empfängers.

Die geodätischen Empfänger messen nun laufend die akkumulierte Phasenlage dieser Zwischenfrequenz für alle sich im Empfangsbereich der Antenne befindenden Satelliten. In der Literatur findet man für diese Beobachtungsgrösse Begriffe wie Trägermischphase, Trägerphase oder Rohphase. Setzt man nämlich in erster Näherung voraus, dass alle Empfänger dieselbe Referenzfrequenz erzeugen, fällt ihr Anteil in einer differentiellen Auswertung, wo die Differenz der Trägermischphasen zwischen je zwei Empfängern gebildet wird, heraus. Was übrig bleibt, ist die Differenz der Originalträgerphasen des Satellitensignals, wie sie von den Instrumenten empfangen werden. Wir werden deshalb in der folgenden, vereinfachten Darstellung der eigentlichen Beobachtungsgleichung für differentielle Phasenauswertung nur noch die Phasen der Trägersignale verwenden.

Auswerteprinzip

Das Bild 2 soll einer vereinfachten Veranschaulichung der Beobachtungsgleichung dienen. Es zeigt den Satelliten, die Wellenfronten des von ihm ausgesandten Trägers zum Zeitpunkt der Phasenmessung sowie die beiden beteiligten Empfänger mit den eigentlichen Messgrössen, den momentanen Phasenlagen φ_1 und φ_2 des Trägers bei den Empfängern. Die Wellenlänge λ_1 des Signals L_1 beträgt etwa 19 cm, d.h. die Messung einer Periode entspricht einer linearen Grösse von ungefähr 19 cm. Die Figur zeigt nun, dass die Differenz ΔD der Distanzen von den Empfängern zum Satelliten zusammengesetzt werden kann aus den beiden Phasenmessungen φ_1 und φ_2 ($0 < \varphi_i < 2\pi$) und einer vorerst unbekannten Anzahl N von ganzen Perioden des Trägers. Ausgedrückt in metrischen Einheiten mit

$$l_1 = \tfrac{1}{2\pi} \cdot \varphi_1 \cdot \lambda_1,\ l_2 = \tfrac{1}{2\pi} \cdot \varphi_2 \cdot \lambda_1,$$

Wellenlänge $\lambda_1 = c/f_1$, Frequenz $f_1 = 1{,}57542$ GHz (Trägerfrequenz L_1) können wir schreiben:

$$\Delta D = D_1 - D_2 = (l_2 - l_1) + N \cdot \lambda_1 \qquad (3)$$

Kennen wir die Positionen der Station 1 und des Satelliten, können wir somit einen geometrischen Ort für die zweite Station angeben: Sie muss in einem Abstand $D_2 = D_1 - \Delta D$ zum Satelliten liegen. Messen wir zu späteren Zeitpunkten die entsprechenden Grössen wieder, erhalten wir weitere geometrische Örter um die jeweiligen Satellitenpositionen. Damit wir jedoch nicht zu jeder Beobachtung eine neue

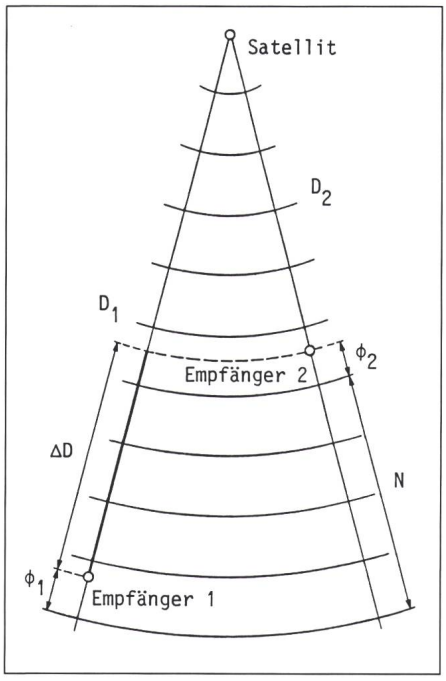


Bild 2 Phasenbeobachtungen

Unbekannte N einführen, müssen die Empfänger dauernd die «vorbeistreichenden» Phasenzyklen aufaddieren.[1] Somit bleibt nur das zum allerersten Zeitpunkt gültige N als Unbekannte übrig, zusammen mit den drei zu bestimmenden Koordinaten der zweiten Station.

Da die Referenzfrequenzen der beiden Empfänger und damit auch die vom selben Oszillator getriebenen Empfängeruhren nicht absolut genau arbeiten, müssen die entsprechenden Fehler entweder bestimmt oder durch Differenzbildung zwischen gleichzeitigen Messungen zu zwei verschiedenen Satelliten eliminiert werden (letztere Methode, bei der also zweifache Differenzen gebildet werden – einmal zwischen den Beobachtungen der beiden Empfänger, dann zwischen den Beobachtungen zu zwei Satelliten –, wird von den meisten Auswerteprogrammen bevorzugt).

Das Bild 2 zeigt auch, dass die geometrischen Örter im Falle nahe beieinanderliegender Satellitenpositionen sehr schlechte, schleifende Schnitte ergeben. Der Einbezug weiterer Satelliten – im Endausbau des GPS sollten praktisch jederzeit 4 bis 6 Satelliten gleichzeitig über dem Horizont zu empfangen sein – erhöht die geometrische Stabilität (und demnach die Genauigkeit der ermittelten Position des zweiten Empfängers) markant. Überhaupt trachtet man nach einem so stabilen System, dass auch die realwertigen (nicht ganzzahligen) Lösungen der vorerst unbekannten ganzen Wellenlängen eindeutig einer ganzen Zahl zugeordnet werden können (d.h. Ersatz der *geschätzten* Werte durch die *wahren* Integer-Werte). Damit können anschliessend die Koordinaten des zweiten Empfängers noch einmal berechnet werden, nun aber ohne diese, die Lösung schwächenden Hilfsunbekannten.

Die elektromagnetischen Signale werden durch die Atmosphäre mehr oder weniger stark beeinflusst: Wir können unterscheiden zwischen Einflüssen der unteren Luftschichten (troposphärische Refraktion) und solchen der Ionosphäre (ionosphärische Refraktion). Erstere können recht gut mit Modellen der Troposphäre erfasst werden, allenfalls unter Einbezug von meteorologischen Messungen, letztere können praktisch vollständig eliminiert werden, falls die Phasenmessungen auf beiden Trägerwellen L_1 und L_2 vorliegen (siehe unten).

Die Messgenauigkeit einer Phasenmessung kann auf etwa ein Prozent der Wellenlänge angesetzt werden, in unserem Falle also auf etwa zwei Millimeter. Dies deutet bereits an, welches Potential hinter dieser Anwendung des GPS stecken kann.

[1] Unter einer Phasenmessung verstehen wir demzufolge im allgemeinen nicht nur den Bruchteil der momentanen Phase, sondern auch die ganze Anzahl Zyklen seit dem Zeitpunkt der ersten Messung.

Fehlerquellen

Wie bereits im Kapitel 2 erläutert, werden durch die differentielle Anwendung mehrere Fehlerquellen eliminiert bzw. in ihren Auswirkungen stark reduziert.

Bahnfehler

Die Erfahrungen der letzten Jahre haben gezeigt, dass die Satellitenpositionen, welche von den Satelliten selbst ausgestrahlt werden (die sog. Broadcast Ephemeris), eine Genauigkeit von einigen Metern haben. Gemäss Faustregel (1) bedeutet dies eine Genauigkeit der Resultate von besser als 1 ppm (part per million, d.h. 1 mm pro km bzw. 1 m pro 1000 km). Verschiedene Arbeiten, darunter auch solche am Astronomischen Institut der Universität Bern (AIUB), haben nachgewiesen, dass - vor allem bei grossräumigen Vermessungen (bis einige tausend Kilometer) - die Satellitenpositionen zusammen mit den Stationskoordinaten mit Hilfe der Phasenbeobachtungen verbessert werden können, was dann zu Genauigkeiten von wenigen Zentimetern auf 1000 km führen kann.

Troposphäre

Insbesondere Unsicherheiten in der Bestimmung des Wasserdampfgehaltes der Luft (Brechungsindex) kann zu Fehlern vor allem in der Höhe von einigen Zentimetern führen. Liegen die einzelnen Empfänger nicht zu weit auseinander (einige Kilometer), wird ein grosser Teil dieses Fehlers durch die Differenzbildung eliminiert. Wichtig in diesen kleinen Netzen ist jedoch die Erfassung der Luftschichten zwischen der tiefst- und der höchstgelegenen Station.

Ionosphäre

Einfrequenzinstrumente sind zwar billiger, haben aber den Nachteil, dass ihre Messungen nicht ohne weiteres vom Einfluss der Ionosphäre befreit werden können. Dies führt einerseits zu einem höheren Rauschen (durch kurzzeitige Variationen der Ionosphäre), andererseits vor allem zu einem Massstabsfehler in den Resultaten von bis zu einigen ppm (durch den generellen Gehalt an freien Elektronen in der Ionosphäre).

Der Einfluss der Ionosphäre auf die gemessenen Phasenlagen l_i ist abhängig von der Frequenz f_i des Trägers. In erster Näherung können wir schreiben:

$$\Delta_{\mathrm{ion}i} = K / f_i^2 \qquad i = 1,2 \qquad (3)$$

mit der von der totalen Anzahl freier Elektronen entlang des Signalweges abhängigen Konstanten K.

Dank dieser einfachen Beziehung ist es möglich, eine Linearkombination der Phasenmessungen auf den Trägern L_1 und L_2 so zu bilden, dass die Einflüsse der Ionosphäre $\Delta_{\mathrm{ion}1}$ und $\Delta_{\mathrm{ion}2}$ gerade eliminiert werden.

Antennen

Die Empfangsantennen können mehr oder weniger starke systematische Fehler bewirken, falls die gemessenen Phasenlagen von der Einfallsrichtung der Signale abhängen. Sind die Charakteristiken für alle verwendeten Antennen identisch, werden diese Fehler (wenigstens in kleinen Netzen, wo die Einfallsrichtung für alle Antennen praktisch identisch ist) durch die Differenzbildung eliminiert.

Weitere Fehler, vor allem instrumenteller Natur (z.B. der Satellite- und Empfängeruhren), können durch geeignete Massnahmen vernachlässigbar klein gehalten werden.

Geodätische Empfänger

Der erste, Anfang der achtziger Jahre kommerziell vertriebene geodätische Empfänger, der die hohe erreichbare Genauigkeit demonstrieren konnte, war der (Einfrequenz-) Macrometer. Allerdings war er wegen seiner Grösse und seines Gewichtes im Felde nur recht umständlich anzuwenden. Später folgte eine Zweifrequenzenversion desselben Typs sowie von verschiedensten Herstellern neue Instrumente, welche wie überall in der Elektronik immer kleiner, leichter, leistungsfähiger und billiger wurden. Erwähnenswert sei vielleicht, dass auch eine Schweizer Firma beteiligt ist. Die Wild-Leitz Heerbrugg vertreibt einen in einem Joint Venture mit der amerikanischen Firma Magnavox entwickelten geodätischen Empfänger. Die kleinsten Empfänger können sogar zusammen mit der Antenne direkt auf ein gewöhnliches Vermessungsstativ über den zu vermessenden Punkt gestellt werden. Die Preise bewegen sich heute zwischen einigen zehntausend und etwa hunderttausend US-Dollar für ein Empfänger/Antennen-Paar.

Bisherige Erfahrungen

Die folgenden, alle am Astronomischen Institut der Universität Bern mit dem eigenen Programmsystem ausgewerteten Beispiele sollen als Illustration für die hohe Genauigkeit von GPS in der geodätischen Anwendung dienen.

Kurze Basislinie: 1984 wurde im Rahmen eines grösseren Tests in Quebec, Kanada, eine mit Invardraht vermessene Basislinie von etwa 550 m Länge mit 2 Macrometer-GPS-Empfängern beobachtet. Der Unterschied zwischen der GPS-Lösung und der terrestrisch ermittelten Länge betrug 0,6 mm.

Triangulationsnetz hoher Präzision: Im Dezember 1984 wurden am Cern in Genf 7 Punkte des Kontrollnetzes für den neuen Beschleuniger in drei Nächten mit GPS vermessen. Die Grösse des Netzes beträgt etwa 12 × 12 km. Die mittleren Abweichungen gegenüber der terrestrischen Lösung waren in Lage und Höhe pro Koordinate 4 mm.

Testnetz Turtmann: 1985 wurde bei Turtmann (Kanton Wallis) vom Bundesamt für Landestopographie im Rahmen eines von der Schweizerischen Geodätischen Kommission koordinierten Projektes ein hochgenaues Triangulationsnetz (Ausdehnung etwa 4 × 6 km, maximale Höhendifferenz 900 m) erstellt und terrestrisch vermessen. Zusammen mit Ergänzungsmessungen des Instituts für Geodäsie und Photogrammetrie der ETH Zürich führte dies zu einem hochgenauen Testnetz, auf dem seither verschiedenste GPS-Empfänger auf ihre Eignung und Qualität hin getestet wurden. Gleichzeitig konnten damit sehr wertvolle Erkenntnisse über die Anwendung des GPS für die zivile Präzisionsvermessung gewonnen werden. Die Übereinstimmung der GPS-Resultate mit den terrestrisch ermittelten Koordinaten liegen nun in den weitaus meisten Fällen unter 5 mm in der Lage und unter 10 mm in der Höhe.

Alaska-Kampagnen 1984/86/88: Der US National Geodetic Survey führte bereits dreimal eine GPS-Kampagne in Alaska durch (Netzgrösse etwa 500 × 1500 km) mit dem Ziel, die Eignung von GPS zum Bestimmen von grossräumigen (geodynamischen) Verschiebungen und Deformationen zu testen. Der Vergleich mit Ergebnissen aus Very Long Baseline Interferometry (VLBI)-Messungen ergab Über-

einstimmungen im Zentimeter-Bereich.

Anwendungen in der Vermessung

Zum heutigen Zeitpunkt wird GPS in der Vermessung vor allem für Triangulationsarbeiten (Punktbestimmung mit mittleren Punktabständen von einigen Kilometern bis einigen hundert Kilometern) verwendet. Normalerweise beträgt die Verweilzeit auf einer Station ein paar Stunden, also gerade das Maximum, das mit der gegenwärtigen Testkonfiguration der GPS-Satelliten täglich erreicht werden kann. Als zusätzliche Sicherheit werden die wichtigsten Punkte oft zwei- oder sogar mehrmals besetzt. Trotz dieser recht langen Beobachtungszeit auf jedem Punkt kann eine Triangulation mit GPS wesentlich schneller und kostengünstiger als mit klassischen Methoden durchgeführt werden.

In letzter Zeit wurden verschiedene Untersuchungen veröffentlicht, welche sich mit der Frage befassen, ob die Verweilzeit auf den Punkten nicht drastisch verkürzt werden könnte, ohne die erreichbare Genauigkeit wesentlich zu verschlechtern. Insbesondere dank der (zukünftigen) Konfiguration mit 24 Satelliten und den verbesserten Auswertetechniken scheint es dann möglich zu sein, die Zeit auf wenige Minuten zu beschränken. Dies aber öffnet weitere Anwendungsgebiete, insbesondere auch in der Grundbuchvermessung, wo meist auf kleinem Raum viele Punkte einzumessen sind.

Spezialvermessungen wie Grundlagenetze für Tunnelabsteckung, Rutschungs- und Deformationsmessungen (letztere auch auf kontinuierlicher Basis) dürften weitere geeignete Anwendungen für GPS sein. GPS kann überall dort angewendet werden, wo die Hauptvoraussetzung, nämlich freie Sicht nach oben, erfüllt ist. Trotz den im Moment noch recht empfindlichen Einschränkungen vor allem in der zeitlichen Verfügbarkeit des Systems (wegen der wenigen verfügbaren Satelliten) hat sich GPS bereits zum Vermessungsverfahren der Zukunft entwickelt. Es ist vorauszusehen, dass bis zum Erreichen der endgültigen Konfiguration (etwa 1992) GPS seinen Platz in praktisch allen Vermessungsgebieten erkämpft haben wird.

Literatur

[1] *L. Petersen:* GPS: Ein neues Satelliten-Navigationssystem in der praktischen Anwendung. Bull. SEV/VSE 81 (1990) 1, S. 19...24.

[2] *I. Bauersima:* Navstar/Global Positioning System (GPS) (II). Radiointerferometrische Satellitenbeobachtungen. Mitteilungen der Satelliten-Beobachtungsstation Zimmerwald, Nr. 10. Bern, Druckerei der Universität Bern, 1983.

[3] *W. Gurtner* und *G. Beutler:* Die Rolle der Satellitengeodäsie in der Vermessung. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik 84 (1986) 8, S. 336...341.

Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) ein entscheidendes Qualitätskriterium für elektronische Apparate und Anlagen

Unser Entstörungslabor

- prüft die Störempfindlichkeit und das Störvermögen,
- bestimmt Störschutz- und Schirmmassnahmen,
- kontrolliert Apparate und Anlagen auf Einhaltung der gesetzlichen Störschutzbestimmungen,
- führt Prototyp- und serienmässige Entstörungen aus,
- steht Fabrikations- und Importfirmen für fachmännische Beratung in EMV-Problemen zur Verfügung.

PRO RADIO-TELEVISION, Entstörungslabor, 3084 Wabern, Telefon 031 / 54 22 44

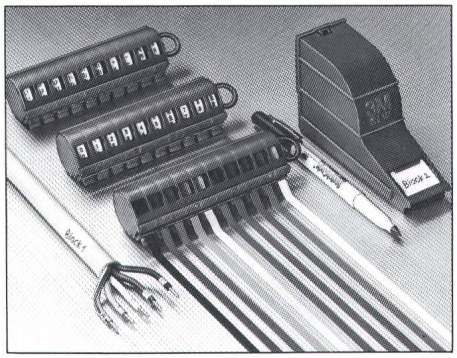
Scotchcode™:

Das universelle Kabel-Markiersystem!

Scotchcode-Produkte sind führend punkto Qualität und unerreicht einfach in der Anwendung. In praktischen Einzel- oder Mehrfachdispensern geschützt sind die Bandrollen mit Buchstaben, Zahlen, Symbolen, Farben, oder neutral (für die individuelle Beschriftung) jederzeit einsatzbereit.

Fordern Sie die Scotchcode-Dokumentation an.

Unsere Erfahrung ist Ihr Vorteil.



3M (Schweiz) AG
Abt. Elektroprodukte
8803 Rüschlikon
Tel. 01/724 93 51

3M

da stimmen Qualität, Produkt und Preis