



## Über die GPS-Macrometerkampagne 1985 in Österreich

Karl Rinner <sup>1</sup>, Josef Zeger <sup>2</sup>, Bernhard Hofmann-Wellenhof <sup>3</sup>, Erhard Erker <sup>4</sup>

<sup>1</sup> *Institut für Angewandte Geodäsie und Photogrammetrie, Abt. Landesvermessung, Technische Universität Graz, Rechbauerstraße 12, A-8010 Graz*

<sup>2</sup> *Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Abt. K2 (Erdmessung), Schiffamtsgasse 1 -3, A-1025 Wien*

<sup>3</sup> *Technische Universität Graz, Abteilung für Physikalische Geodäsie, Steyrergasse 17, A-8010 Graz*

<sup>4</sup> *Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Abt. K2 (Erdmessung), Schiffamtsgasse 1 -3, A-1025 Wien*

Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen und Photogrammetrie **74** (1), S. 1–25

1986

Bib<sub>T</sub>E<sub>X</sub>:

```
@ARTICLE{Rinner_VGI_198601,
  Title = {{\U}ber die GPS-Macrometerkampagne 1985 in {\O}sterreich},
  Author = {Rinner, Karl and Zeger, Josef and Hofmann-Wellenhof, Bernhard and
    Erker, Erhard},
  Journal = {{\O}sterreichische Zeitschrift f{\u}r Vermessungswesen und
    Photogrammetrie},
  Pages = {1--25},
  Number = {1},
  Year = {1986},
  Volume = {74}
}
```



## Über die GPS-Macrometer-Kampagne 1985 in Österreich

Gemeinsame Publikation des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen,  
Abteilung Erdmessung (Leiter: Hofrat Dr. J. Zeger)  
und der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Institut für Weltraumforschung,  
Abteilung Satellitengeodäsie (Leiter: em. o. Univ.-Prof. Dr. mult. K. Rinner).

### Abstract

In 1985 the first GPS-Macrometer-campaign took place in Austria. This paper deals with the scientific and organizational background of the campaign and provides a first overview of the results in comparison with the terrestrial network.

The first part presents introductory remarks, the second deals with the principle of measurement of the equipment used and the method of "Single Phase Differences". The corresponding observation equation leads to an estimation of the necessary accuracy of the satellite-orbit in relation to the accuracy of the terrestrial baseline. Advantages and disadvantages of the Macrometer V-1000 are discussed.

The third part describes the preparation and the execution of the campaign. The essential goal of this work was the inclusion of the Austrian satellite station Graz-Lustbühel into the first order network (RETrig). Additionally it was intended to check the practical performance of macrometer-measurements also in a local area with short distances.

The results are presented and the comparison with the homogeneous network (ED 79) using a 7-parameter-similarity-transformation shows nearly full agreement. Naturally difficulties and greater discrepancies will occur if the Macrometer results are compared with the so-called "Gebrauchsnetz" the inhomogenous network which is used in practice.

Finally, the concluding chapter deals with reliability, accuracy and practical performance criteria.

### Inhaltsverzeichnis

1. Vorbemerkung (K. Rinner, Graz, und J. Zeger, Wien)
2. Theoretische Betrachtungen zu den GPS-Messungen mit dem Macrometer V-1000 (B. Hofmann-Wellenhof, Graz)
3. Beschreibung der GPS-Macrometer-Kampagne 1985 in Österreich (E. Erker, Wien)
4. Abschließende Bemerkungen (K. Rinner, Graz, und J. Zeger, Wien)

## 1. Vorbemerkung

Von K. Rinner, Graz, und J. Zeger, Wien

In der klassischen Landesvermessung erfolgt die Bestimmung der Ausgangspunkte (Festpunkte) für die Herstellung von Karten und für technische (Ingenieur-)Projekte durch Triangulation und geometrisches Nivellement. Dabei wird eine Hierarchie der aus den Meßdaten gebildeten Netze von der ersten bis zur vierten oder fünften Ordnung beachtet und die Berechnung im allgemeinen nach dem Prinzip „Vom Großen ins Kleine“ durchgeführt. Nur in Sonderfällen, wie zur besseren Erfassung der Refraktion, insbesondere bei Messung mit elektromagnetischen Wellen, wird das umgekehrte Prinzip „Vom Kleinen ins Große“ angewendet. Verfahren der Navigation und der hierfür verwendeten Positionsbestimmung mit kartesischen, sphärischen, ellipsoidischen und hyperbolischen Koordinaten finden nur in der Hydrographie zur Ausmessung von Flüssen und Seen sowie an den Meeresküsten Anwendung.

Diese Situation ändert sich, seitdem künstliche Satelliten als Träger von Meß- und Ziel-einrichtungen für die Positionsbestimmung und für die Navigation benutzt werden können. Sind die Bahn-daten (Ephemeriden) des Satelliten in Funktion der Zeit bekannt, so kann die Bahnkurve als Folge von unendlich vielen Ausgangs- oder Kontrollpunkten angesehen werden. Durch Messung von geometrischen und physikalischen Daten wie Richtungen, Strecken, Streckensummen-, differenzen-quotienten und von Dopplerfrequenzen von und nach einem terrestrischen Punkt nach und von einer bestimmten Anzahl von Satellitenkontrollpunkten kann die Position des terrestrischen Punktes ermittelt werden. In diesem Fall tritt an Stelle der hierarchisch gegliederten Festpunktefelder der klassischen Geodäsie das homogene System von operativen Satelliten mit bekannten Bahn-daten, das in Funktion der Zeit zur Verfügung steht. Jeder terrestrische Neupunkt kann bei Beachtung der Zeit direkt mit Hilfe der Satelliten-Kontrollpunkte bestimmt werden. Um in jedem Punkt der Erde zu jeder Zeit eine Positionsbestimmung durchführen zu können, ist die Installation einer genügenden Anzahl von operativen Satelliten und die kontinuierliche Bestimmung ihrer Bahn-daten notwendig. Das Verfahren kann auf den Kontinenten und auf dem Meer Anwendung finden. Es ist auch für die Navigation von Unterseebooten und von Flugzeugen, also für die Positionsbestimmung von Vehikeln im Meer und im nahen Weltraum geeignet. Die in der Position erreichbare Genauigkeit ist jedoch naturgemäß für feste Punkte der Erdoberfläche größer als für bewegte.

Für die Navigation von Atom-U-Booten wurde um 1963 das Navy Navigation Satellite System (NNSS) eingerichtet. Zu diesem gehören 6 bis 7 in Polarbahnen kreisende Satelliten, die konstante Frequenzen ausstrahlen. Meßgrößen sind die im terrestrischen Empfänger integrierten Dopplerfrequenzen für bestimmte Zeitintervalle. Wegen seiner hohen Leistungsfähigkeit wird das System auch für die kontinentale Vermessung eingesetzt. Dabei werden relative Positionsgenauigkeiten von Punkten von  $\pm (0,2-0,5)$  m erreicht, die absolute Genauigkeit liegt bei etwa  $\pm 2$  m. Mit diesem Navigationsverfahren können die Strukturen ausgedehnter terrestrischer Netze untersucht und verbessert werden. Außerdem besteht die Möglichkeit, nationale und regionale Systeme in ein einheitliches Weltsystem überzuführen.

Zu diesem Zweck und als erste Iteration zu einem übergeordneten System von terrestrischen Festpunkten nullter Ordnung wurden im Rahmen der Deutsch-Österreichischen Doppler-Kampagne (DÖDOC) fünf fundamentale Doppler-Punkte in Österreich bestimmt. Weitere Anwendungen liegen in der europäischen Triangulation RETrig und in den Grundtriangulationen fast aller Staaten und Kontinente vor.

Auf Grund der mit NNSS gewonnenen guten Erfahrungen wird nun ein Satellitensystem mit höherer Leistungsfähigkeit und Genauigkeit installiert: das Global Positioning System (GPS). Das im Endstadium aus 18 Satelliten in 6 Bahnebenen bestehende System gestattet eine große Anzahl von Anwendungen für die Positionsbestimmung und für die Navigation. Für die Geodäsie sind vor allem jene genauen Verfahren von Interesse, welche zur Bestimmung der Verbindungsvektoren zwischen terrestrischen Punkten führen. Für diese Anwendung wurde 1982 das als Macrometer bezeichnete Empfangsgerät konstruiert und ein gleichnamiges Verfahren entwickelt.

Das Macrometer-Verfahren wird bereits praktisch angewendet, obwohl erst 6 von den insgesamt 18 Satelliten im Umlauf sind. Aber es ist bereits jetzt abzusehen, daß mit diesem System ein neuer Abschnitt für die Schaffung von Kontroll- und Ausgangspunkten für Vermessungen verschiedenster Art eingeleitet wird, und das System sowohl für Vermessungen an Land als auch auf und im Meer in kürzerer Zeit und mit höherer Genauigkeit Aussagen bereitstellen wird, als dies bisher möglich war. Es ist daher naheliegend, daß das Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV) und das Institut für Weltraumforschung (IWF) der Österreichischen Akademie der Wissenschaften (ÖAW) sowie auch die Österreichische Kommission für die Internationale Erdmessung (ÖKIE) und die Technischen Universitäten (TU) sich mit diesem System befassen und interessiert sind, seine Anwendungsmöglichkeiten in Österreich sowie seine Genauigkeitsgrenzen kennenzulernen. Außerdem kann damit die noch fehlende

Einbindung des fundamentalen Kontrollpunktes (A 171) des IWF im Observatorium Graz-Lustbühel in das österreichische Grundnetz ED 79 erfolgen, und dieses damit auch an das Weltsystem von GPS angeschlossen werden.

Aus den genannten Gründen hat die ÖKIE eine GPS-Kommission eingesetzt und in diese Vertreter aller interessierten Organisationen berufen. Diese, unter Leitung von H. Sünkel, Graz, stehende Kommission hat die Durchführung von Testkampagnen mit verschiedenen GPS-Geräten und -Verfahren empfohlen und die vorliegenden Informationen allen Beteiligten zugeleitet, um Fehlinvestitionen für teure Geräte zu vermeiden und eine optimale Ausnutzung in Österreich zu erreichen.

Auf Grund eigener Überlegungen zur Schaffung von Grundlagen für die österreichische Vermessung gemäß § 1 des Vermessungsgesetzes 1968 und unter Beachtung der erwähnten Empfehlung der ÖKIE hat das BEV eine GPS-Kampagne angeregt, durch welche erste Erfahrungen mit dem Macrometer-System gewonnen werden und gleichzeitig die beschriebenen praktischen und wissenschaftlichen Ziele verfolgt werden sollen. Das IWF der Akademie der Wissenschaften hat sich diesem Vorschlag angeschlossen und etwa ein Viertel der anfallenden Kosten übernommen, die TU Graz hat personelle Hilfe bei der Durchführung der Messung zugesagt.

In der Folge wird über diese erste österreichische Macrometer-Kampagne 1985 berichtet. Dem Bericht vorangestellt ist eine Erläuterung des Macrometer-Prinzipes von Dozent Dr. B. Hofmann-Wellenhof (Abschnitt 2). Sodann folgt eine von Oberrat Dr. E. Erker verfaßte Beschreibung der Kampagne und ihrer Ergebnisse (Abschnitt 3). Schließlich werden die Ergebnisse zusammengefaßt und der Dank an die Beteiligten ausgesprochen (Abschnitt 4).

## **2. Theoretische Betrachtungen zu den GPS-Messungen mit dem Macrometer V-1000**

*Von B. Hofmann-Wellenhof, Graz*

### **2.1. Einleitung**

In der Endausbaustufe des Global Positioning System, die im Jahr 1989/90 erreicht werden soll, werden 18 Satelliten in 6 Bahnebenen in 20.000 km Höhe die Erde mit einer Umlaufzeit von 12 Stunden umkreisen. Dadurch können von jedem Punkt der Erde zu jeder Zeit zumindest 4 Satelliten simultan beobachtet werden. Jeder dieser Satelliten ist mit einem hochpräzisen Oszillator ausgestattet, der auf 2 Frequenzen sendet. Diese beiden Trägersignale werden mit L1 und L2 bezeichnet und haben die Frequenzen  $L1 = 1575,42$  MHz und  $L2 = 1227,60$  MHz, das entspricht Wellenlängen von 19,05 cm bzw. 24,45 cm. Diesen Trägerfrequenzen sind 3 verschiedene Codes aufmoduliert, die die Bahnparameter der Satelliten, Systemzeitinformationen, Parameter für die Satellitenuhrkorrektion u. a. m. enthalten.

Das Macrometer empfängt die Satellitensignale. Diese empfangenen Signale werden zur relativen Punktbestimmung und auch zur Absolutpunktbestimmung verwendet. Das Macrometer V-1000 kann nur die Frequenz L1 empfangen.

## 2.2. Das Macrometer V-1000

Wenn wir vom Macrometer sprechen, dann inkludiert diese Kurzbezeichnung ein Satellitenempfängersystem, das von der Steinbrecher Incorporation in Woburn, Massachusetts, hergestellt wird und das den vollständigen Namen *Macrometer Interferometric Surveyor* trägt, vgl. *Counselman und Steinbrecher (1982)*. Das Empfängersystem Macrometer V-1000 besteht aus dem eigentlichen Empfänger, einer Antenne und einer Eingabetastatur mit Anzeige. Der Empfänger wiegt 45 kg und hat eine Größe von ca. 70 x 50 x 60 cm, kann also bequem im Auto transportiert werden. Die Antenne wiegt 19 kg, wobei das Gewicht fast ausschließlich auf die Aluminiumplatte von ca. 1 m<sup>2</sup> Größe zurückzuführen ist. Die Maße der Antenne mit der Aluminiumplatte betragen 90 x 90 x 15 cm; man beachte, daß die Antenne nur eine Höhe von etwas mehr als 10 cm hat. Zur Bearbeitung der Daten ist im Empfänger ein DEC LSI-11/23-Mikrocomputer eingebaut, vgl. *Counselman und Steinbrecher (1982)*.

Für die Herstellung der Meßbereitschaft werden etwa 15 Minuten als Aufstellzeit veranschlagt. Diese Zeit wird von der Ankunftszeit bis zur Meßbereitschaft gerechnet, wobei der größte Teil der Zeit für das Aufstellen und Horizontieren der Antenne und das Messen der Antennenhöhe benötigt wird.

Mit dem Macrometer V-1000 kann man simultan die Signale von 6 Satelliten empfangen.

Bei den derzeit verwendeten Empfängertypen kann man folgende wesentliche Unterscheidung treffen. Die einen benötigen die Informationen, die von den Satelliten über den P-Code, den C/A-Code und den D-Code verschlüsselt gesendet werden, die anderen benötigen diese Codes nicht. Das Macrometer V-1000 verwendet keine Code-Informationen. Das ist auf der einen Seite ein großer Vorteil, da dadurch Macrometermessungen unabhängig von allfälligen Restriktionen in bezug auf die Freigabe der Codes durchgeführt werden können, auf der anderen Seite wird dadurch die Echtzeitnavigation unmöglich, die die Position des Beobachters nahezu simultan (also in Echtzeit) mit der Beobachtung bestimmt. Denn zur Echtzeitnavigation benötigt man die beobachtete Satellitenposition, das sind im wesentlichen die präzisen Ephemeriden, die man durch Entschlüsselung der Satellitencodes bekommt. Zudem darf bei den Macrometermessungen nicht übersehen werden, daß man für die nachträgliche Auswertung der Messungen die Ephemeriden der Satelliten und die Zeitinformation natürlich benötigt. Man ist daher z. B. auf einen Satellitenbahndienst angewiesen.

## 2.3. Was wird mit dem Macrometer V-1000 gemessen?

Versuchen wir, die eigentliche Meßgröße ganz einfach zu erklären. Dazu betrachten wir *einen* Empfänger und einen Satelliten. Im Empfänger wird ein Referenzsignal erzeugt, das ist nichts anderes als eine Trägerwelle. Vom Satelliten kommt das Satellitensignal, ebenfalls eine Trägerwelle. Die Phasen dieser beiden Wellen, nämlich des Referenzsignals und des Satellitensignals, werden verglichen. Dieser Vergleich der beiden Phasen ist die eigentliche Meßgröße des Macrometers V-1000. Der Vergleich wird durch die Phasendifferenz zwischen dem auf der Frequenz  $L1 = 1575,42$  MHz gesendeten Satellitensignal und dem im Empfänger erzeugten Referenzsignal gebildet. In einfachster Form können wir daher die Meßgröße durch

$$\phi_S - \phi_E \quad (2 - 1)$$

beschreiben, wobei  $\phi_S$  die Phase des Satellitensignals und  $\phi_E$  die Phase des im Empfänger erzeugten Referenzsignals ist.

**Beachte:** Dieser Phasenvergleich hat nichts mit den „Einfachen Differenzen“ (Single Differences) zu tun, die man dann bekommt, wenn man *zwei* Empfänger verwendet, die simultan einen Satelliten beobachten, und wenn man die Differenz der beiden Beobachtungen bildet. Um diese Verwechslung zu vermeiden, wird der Phasenvergleich  $\phi_S - \phi_E$  manchmal auch als Einweg-Phase (One-way) bezeichnet, vgl. *Bock et al. (1984)*.

Das Macrometer V-1000 besitzt 6 Kanäle, somit können simultan 6 Satelliten beobachtet werden. Für jeden der 6 Kanäle wird der Phasenvergleich durchgeführt, also die Differenz zwischen der Phase L1 des Satellitenträgersignals und der Phase des im Empfänger erzeugten Referenzsignals gemessen. Diese Messungen werden für verschiedene Epochen durchgeführt.

Um die Meßgröße präziser zu beschreiben, müssen wir berücksichtigen, daß die Atmosphäre eine Refraktion der Satellitenträgerwelle bewirkt, dadurch wird die empfangene Phase verfälscht. Der Einfluß der Atmosphäre wird durch einen troposphärischen und einen ionosphärischen Anteil dargestellt, somit lautet die Meßgröße unter Berücksichtigung der Atmosphäre

$$\phi_S - \phi_E + \Delta\phi_{\text{iono}} + \Delta\phi_{\text{Tropo}} \quad (2 - 2)$$

Die Phase kann nur modulo 1 Wellenzyklus gemessen werden, dahergibt es für die Messung ein Bias N durch eine unbekannte Anzahl von ganzen Zyklen. Dieses Bias N wird auch als Integer-Ambiguität bezeichnet. Im Fall des Macrometers ist dieses Bias ein Vielfaches der halben Wellenlänge der Trägerwelle.

Dieses Bias ist für jeden Satelliten verschieden und unbekannt. Solange keine Unterbrechung im Senden und Empfangen eines Satellitensignals auftritt, d. h., solange kontinuierlich registriert wird, bleibt das Bias für einen Satelliten dasselbe, da jede Messung durch die kontinuierliche Beobachtung auf die unbekannte Anfangsphase, die das Bias hervorruft, bezogen werden kann, vgl. *Remondi (1984)*. Unter Berücksichtigung des Bias erhalten wir für die Meßgröße:

$$\phi_S - \phi_E + \Delta\phi_{\text{iono}} + \Delta\phi_{\text{Tropo}} + N \quad (2 - 3)$$

Wenn wir von bestimmten kleineren Effekten absehen, können wir durch (2-3) die Meßgröße darstellen und können damit z. B. Absolutpunktbestimmungen durchführen, da wir bisher immer nur einen Empfänger vorausgesetzt haben.

Wenn wir jetzt zwei Empfängerstationen betrachten und die Differenz der simultanen Beobachtungen dieser beiden Stationen bilden (Einfache Differenz), so führt dies zur relativen Punktbestimmung. Der Vorteil, den wir durch die Differenzbildung erreichen, liegt darin, daß Instabilitäten des Oszillators im Satelliten keinen Einfluß mehr auf die Messung haben, da sie herausfallen. Zudem heben sich die Einflüsse der Atmosphäre in den beiden Empfängerstationen durch die Differenz weitestgehend auf, wenn die Entfernung zwischen den Stationen kurz ist und folglich nahezu die gleichen atmosphärischen Verhältnisse in beiden Beobachtungsstationen vorliegen.

Allerdings müssen wir bei zwei Stationen stets einen Uhrenfehler berücksichtigen, da die Uhren in den beiden Empfängern nie völlig synchronisiert sein werden. Der Uhrenfehler wird relativ angesetzt, man nimmt also für die Uhr in der zweiten Station einen Synchronisationsfehler in bezug auf die Uhr der ersten Station an. Für zwei Empfänger können wir daher die Differenz der Meßgrößen (Einfache Differenz) durch

$$\delta(\phi_S - \phi_E)_{12} + \delta(\Delta\phi_{\text{iono}})_{12} + \delta(\Delta\phi_{\text{Tropo}})_{12} + \delta(\Delta t_{\text{Uhr}})_{12} + \delta(N)_{12} \quad (2 - 4)$$

ansetzen, wobei das  $\delta$  und die Subskripte 1, 2 andeuten, daß die Differenz der entsprechenden Größen für die beiden Stationen zu bilden ist. Diese Darstellung kann in der gewohnten Weise zu einer Beobachtungsgleichung im Sinn der Ausgleichsrechnung erweitert werden, vgl. *Beutler et al. (1984)*. Im Prinzip drückt diese Darstellung genähert die Entfernungsdifferenz des beobachteten Satelliten zu zwei Empfängerstationen für einen bestimmten Zeitpunkt aus. Man nennt die Darstellung, die diesem Prinzip folgt, „Einfache Differenz“ oder auch „Interferometrische Phasendifferenz“ zwischen zwei Empfängern.

### 2.3.1. Wo treten die Koordinaten der Beobachtungsstationen auf?

Wir wollen jetzt zeigen, wie man zwischen der Meßgröße in der Form (2 – 4) und den Koordinaten der Empfängerstationen, die gesucht sind, eine Relation herstellen kann. Dazu greifen wir auf die Einweg-Phase (2 – 1) zurück und machen folgende Überlegung: Der Satellit sendet die Phase  $\phi_S$  zur Zeit  $t_S$  und im Empfänger wird diese Phase zum Zeitpunkt  $t_E$  gemessen. Wir können (2 – 1) somit in der Form

$$\phi_S(t_S) - \phi_E(t_E) \quad (2 - 5)$$

schreiben. Die Sendezeit  $t_S$  und die Empfangszeit  $t_E$  sind voneinander verschieden, da das gesendete Signal die Zeit  $\Delta t$  benötigt, um vom Satelliten zum Empfänger zu gelangen. Das Zeitintervall  $\Delta t$  kann näherungsweise durch

$$\Delta t = \rho/c \quad (2 - 6)$$

berechnet werden, wenn wir die Einflüsse der Atmosphäre und kleine andere Effekte vernachlässigen. In (2 – 6) ist  $c$  die Lichtgeschwindigkeit und  $\rho$  die Weglänge des Signals zwischen dem Satelliten und der Empfängerstation, näherungsweise also die Distanz zwischen dem Satelliten und der Beobachtungsstation. Mit (2 – 6) können wir jetzt den Sendezeitpunkt  $t_S$  durch den Zeitpunkt  $t_E$  ausdrücken:

$$t_S = t_E - \Delta t \quad (2 - 7)$$

Durch Einsetzen in (2 – 5) wird

$$\phi_S(t_E - \Delta t) - \phi_E(t_E) \quad (2 - 8)$$

erhalten. Da  $\Delta t$  klein und der Oszillator des Satelliten sehr stabil ist, können wir für  $\phi_S(t_E - \Delta t)$  eine Taylorentwicklung durchführen, wobei wir nur die erste Ableitung berücksichtigen und alle höheren Ableitungen vernachlässigen. Somit erhalten wir

$$\phi_S(t_E) - f_S \Delta t - \phi_E(t_E) \quad (2 - 9)$$

wobei wir für die Änderung der Phase mit der Zeit die Frequenz  $f_S$  gesetzt haben, vgl. *Goad und Remondi (1983)*. Jetzt können wir noch (2 – 6) einsetzen und erhalten

$$- f_S \rho/c + \phi_S(t_E) - \phi_E(t_E) \quad (2 - 10)$$

wobei

$$\rho = \rho(\mathbf{x}_S, \mathbf{x}_E) \quad (2 - 11)$$

gilt, wenn  $\mathbf{x}_S$  die Satellitenposition und  $\mathbf{x}_E$  die Koordinaten der Empfängerstation bezeichnen.

Wenn wir mittels (2 – 10) auf zwei Empfängerstationen übergehen und entsprechend (2 – 4) die Einfache Differenz bilden, so tritt auch der Term

$$f_S (\rho_2 - \rho_1)/c \quad (2 - 12)$$

auf, der die Koordinaten der beiden Empfängerstationen 1 und 2 (und allerdings auch die Satellitenposition) enthält, vgl. Figur 2.1. Denn es ist  $\rho_2 = \rho_2(\mathbf{x}_S, \mathbf{x}_2)$  und  $\rho_1 = \rho_1(\mathbf{x}_S, \mathbf{x}_1)$ . Damit haben wir nun gezeigt, daß in (2 – 4) die Entfernungsdifferenz des Satelliten zu den beiden Empfängerstationen auftritt.

Das bedeutet, daß wir die Koordinaten des Satelliten benötigen, um die unbekanntenen Koordinaten von Empfängerstationen berechnen zu können.

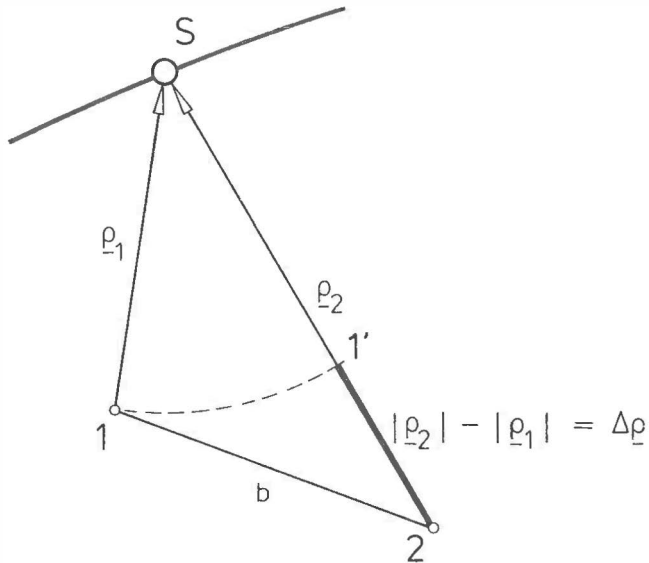


Fig. 2.1. Empfängerstationen 1 und 2 und Satellitenposition S.

2.3.2. Wie genau braucht man die Satellitenposition?

Jetzt fragen wir uns, welchen Einfluß die Genauigkeit der Satellitenposition auf die Entfernungsdifferenz  $|\rho_2| - |\rho_1|$  und auf  $b$ , die Basis zwischen 1 und 2, hat. Zunächst führen wir die Bezeichnung

$$\Delta\rho = |\rho_2| - |\rho_1| \tag{2-13}$$

ein und können diese Größe durch Ortsvektoren ausdrücken, nämlich

$$\Delta\rho = |\mathbf{x}_S - \mathbf{x}_2| - |\mathbf{x}_S - \mathbf{x}_1| \tag{2-14}$$

wenn mit  $\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2$  die Ortsvektoren zu den beiden Empfängerstationen und mit  $\mathbf{x}_S$  der Ortsvektor zum Satelliten bezeichnet werden. Gleichung (2-14) können wir auch in der Form

$$\Delta\rho = \sqrt{(\mathbf{x}_S - \mathbf{x}_2)^2} - \sqrt{(\mathbf{x}_S - \mathbf{x}_1)^2} \tag{2-15}$$

schreiben. Jetzt wollen wir den Einfluß der Satellitenposition auf  $\Delta\rho$  berechnen, dazu betrachten wir die beiden Empfängerstationen, also  $\mathbf{x}_1$  und  $\mathbf{x}_2$ , als fest und differenzieren nach  $\mathbf{x}_S$ . Die Differentiation ergibt

$$d\Delta\rho = \frac{(\mathbf{x}_S - \mathbf{x}_2) \cdot d\mathbf{x}_S}{\sqrt{(\mathbf{x}_S - \mathbf{x}_2)^2}} - \frac{(\mathbf{x}_S - \mathbf{x}_1) \cdot d\mathbf{x}_S}{\sqrt{(\mathbf{x}_S - \mathbf{x}_1)^2}} \tag{2-16}$$

und wir können dies auch schreiben als

$$d\Delta\rho = (\rho_2/|\rho_2| - \rho_1/|\rho_1|) \cdot d\mathbf{x}_S = (\rho_{20} - \rho_{10}) \cdot d\mathbf{x}_S \tag{2-17}$$

Für die Differenz der beiden Einheitsvektoren  $\rho_{20}, \rho_{10}$  führen wir die Kurzbezeichnung

$$\mathbf{k} = \rho_{20} - \rho_{10} \tag{2-18}$$



ein, dadurch vereinfacht sich (2 – 17) zu:

$$d\Delta\rho = \mathbf{k} \cdot d\mathbf{x}_S \quad (2 - 19)$$

Ausführlich angeschrieben lautet die Gleichung:

$$d\Delta\rho = k_1 dx_S + k_2 dy_S + k_3 dz_S \quad (2 - 20)$$

wobei  $k_1, k_2, k_3$  die Komponenten des in (2 – 18) definierten Vektors  $\mathbf{k}$  sind und  $dx_S, dy_S, dz_S$  die Änderungen der Satellitenposition in den drei Koordinatenrichtungen.\*)

Wir geben Beispiele an: Wenn wir  $dx_S = dy_S = dz_S = 5$  m annehmen, bekommen wir für eine 10-km-Basis (das ist der Raumvektor zwischen den beiden Empfängern) eine Auswirkung auf die Meßgröße von  $d\Delta\rho = 2,5$  mm, für eine Basis von 200 km erhalten wir  $d\Delta\rho = 5$  cm und für eine 1000-km-Basis ist  $d\Delta\rho = 25$  cm.

Damit haben wir gezeigt, wie sich eine Änderung in der Satellitenposition auf die Meßgröße  $\Delta\rho = |\rho_2| - |\rho_1|$  auswirkt.

Jetzt interessiert uns noch die Frage, wie sich ein Fehler in der Satellitenposition auf die Basis auswirkt. Wir greifen auf die Abschätzung von *Bauersima* (1983), Gleichung (84), zurück, die mit

$$db/b = dS/\rho \quad (2 - 21)$$

gegeben ist. Auch *Campbell* (1986) gibt diese Gleichung an. Mit  $dS$  wird der Satellitenbahnfehler bezeichnet,  $\rho$  ist die Entfernung zwischen einem der Empfänger und dem Satelliten,  $b$  die Basis und  $db$  der gesuchte Basisfehler. Wie *Beutler et al.* (1985) erwähnen, erhält man für kurze Basen sehr gute Genauigkeiten, die absolut gesehen einem Fehler von wenigen Millimetern entsprechen. Wenn man aber eine 1000-km-Basis auf 5 cm genau bestimmen möchte, muß, da wir  $\rho = 20.000$  km setzen können, die Satellitenbahn auf 1 m genau bestimmt sein. Satellitenephemeriden mit dieser Genauigkeit stehen aber derzeit den geodätischen Anwendern nicht zur Verfügung. Wir können daher festhalten, daß Genauigkeiten von einigen wenigen Zentimetern wohl für kurze, nicht aber für lange Basen erwartet werden können.

## 2.4. Wie wird mit dem Macrometer V-1000 gemessen?

Da das Macrometer keine Codes entschlüsseln kann, die auch die Information über die Satelliten enthalten, muß vor Beginn der Meßkampagne ein Almanach erstellt werden. Dieser Almanach gibt für jeden Beobachtungsort und Beobachtungszeitraum die Satelliten an, die beobachtet werden sollen. Zur Erstellung des Almanachs werden daher grobe Näherungskordinaten der Beobachtungsposition benötigt.

Bei den Relativmessungen müssen die Uhren der Empfängerstationen möglichst gut synchronisiert werden. Durch den Almanach läuft die Messung automatisch ab. Etwa alle 1 bis 3 Sekunden wird für jedes der maximal 6 Satellitensignale der Phasenvergleich (Einweg-Phase) durchgeführt. Jeder Beobachtungszeitraum wird in Epochen eingeteilt, und eine Epoche besteht aus 60 bis 180 Messungen, dauert also 1 bis 3 Minuten. Nach der Messung werden wiederum die Uhren verglichen, um allfällige Gangunterschiede zu registrieren.

Die Beobachtungsperiode beträgt für kurze Basislinien ca. 2 Stunden und 3 bis 4 Stunden für lange Linien, vgl. *Hothem und Fronczek* (1983).

\*) Anmerkung: Die Anleitung zur Ableitung der Formeln (2 – 13) bis (2 – 20) bekam der Autor von Prof. *Rinner*.

Aus den Beobachtungen kann man vorläufige Ergebnisse berechnen, wenn man die Satellitenbahndaten extrapoliert, dazu ist ein entsprechender Rechner notwendig. Die genauen Ergebnisse erhält man allerdings nur mit den präzisen Ephemeriden der Satelliten, die erst einige Tage später zur Verfügung stehen.

## 2.5. Vorteile und Nachteile des Macrometers V-1000

Beginnen wir mit den Vorteilen:

- a) Das Macrometer benötigt für die Messung keine GPS-Codes.
- b) Millimeter-Genauigkeit kann für kurze Basislinien in allen drei Koordinaten erreicht werden, vgl. *Ladd et al. (1985)*.
- c) Die Signale von bis zu 6 Satelliten können kontinuierlich und simultan empfangen werden.
- d) Schnelle Datenauswertung. Man benötigt für die Berechnung einer Basis weniger als 30 Minuten.

Kommen wir zu den negativen Seiten: Der wesentlichste Nachteil des Macrometers V-1000 ist wohl der, daß nur die Frequenz L1 empfangen werden kann. Dadurch wird die erreichbare Genauigkeit sehr stark beeinflusst, da es sehr schwierig ist, die Atmosphäre durch ein Modell gut zu erfassen. Wie *Beutler et al. (1984)* zeigen, kann ein fehlerhaftes Ionosphärenmodell bei einer Basislänge von 13 km einen Fehler von 0,7 cm verursachen und bei einer 66-km-Basis bereits einen Fehler von 8,7 cm! Um diesen wesentlichen Nachteil zu kompensieren, hat die Steinbrecher Incorporation das Macrometer II entwickelt, das sowohl die L1- als auch die L2-Frequenz empfangen kann. Mit diesem Macrometer II hat man Testmessungen durchgeführt, wobei die Beobachtungsdauer nur 30 Minuten betrug. Als Referenzwert für die Beobachtungen wurde das Mittel aus 2 vierstündigen Beobachtungen (von zwei verschiedenen Tagen) genommen, und die mit dem Macrometer II erreichte Genauigkeit für eine 12,5 km lange Basis betrug 1 ppm. Danach wurden dieselben Messungen verwendet, jedoch nur die auf der L1-Frequenz empfangenen. Das Ergebnis für die Messungen auf einer Frequenz war nach *Ladd et al. (1985)* deutlich schlechter.

Ein weiterer Nachteil des Macrometers liegt darin, daß keine Echtzeitnavigation durchgeführt werden kann, da die Codes mit den Satellitenbahndaten nicht entschlüsselt werden können.

Nicht vergessen sollte man die Möglichkeit der Absolutpunktbestimmung mit dem Macrometer. Wie *Bock et al. (1984)* zeigen, kann man eine Genauigkeit von wenigen Metern für alle drei Koordinaten erreichen. Dies ist bereits jetzt mit der geringen Anzahl der Satelliten und der noch nicht optimalen Satellitenkonstellation möglich.

## 2.6. Literatur

*Bauersima, I.*, (1983): NAVSTAR/Global positioning system (GPS). Band II. Mitteilungen der Satelliten-Beobachtungsstation Zimmerwald. Band Nr. 10, 112 Seiten.

*Beutler, G.; D. A. Davidson; R. B. Langley; R. Santerre; P. Vanicek; D. E. Wells*, (1984): Some theoretical and practical aspects of geodetic positioning using carrier phase difference observations of GPS satellites. University of New Brunswick. Department of Surveying Engineering. Technical Report No. 109, IV+79 Seiten.

*Beutler, G.; W. Gurtner; I. Bauersima; R. Langley*, (1985): Modelling and estimating the orbits of GPS satellites. In *W. Gurtner* (Hrsg.): GPS papers presented by the Astronomical Institute of the University of Bern in the year 1985. Mitteilungen der Satelliten-Beobachtungsstation Zimmerwald. Band Nr. 18. 70 Seiten.

*Bock, Y.; R. I. Abbot; C. C. Counselman; S. A. Gourevitch; R. W. King; A. R. Paradis*, (1984): Geodetic accuracy of the Macrometer Model V-1000. Bulletin Géodésique, Vol. 58, Seiten 211–221.

*Campbell, J.*, (1986): Grundlagen zur Nutzung des Global Positioning System (GPS) in der Landesvermessung. Zeitschrift für Vermessungswesen 111, Heft 1, Seiten 19–33.

*Counselman, C. C.; D. H. Steinbrecher*, (1982): The macrometer: a compact radio interferometry terminal for geodesy with GPS. Physical Science Laboratory, New Mexico State University. Proceedings of the Third International Geodetic Symposium on Satellite Doppler Positioning. Las Cruces, New Mexico, Februar 8–12, 1982. Vol. 2, Seiten 1165–1172.

*Goad, C. C.; B. W. Remondi*, (1983): Initial relative positioning results using the Global Positioning System. Presented Paper bei der XVIII. Generalversammlung der Internationalen Union für Geodäsie und Geophysik (IUGG) in Hamburg, 15.–27. August 1983.

*Hothem, L. D.; C. J. Fronczek*, (1983): Report on test and demonstration of Macrometer Model V-1000 interferometric surveyor. Federal Geodetic Control Committee, Rockville, Maryland. Report FGCC-IS-83-2. 37 Seiten.

*Ladd, J. W.; C. C. Counselman; S. A. Gourevitch*, (1985): The macrometer II dual-band interferometric surveyor. Proceedings of the First International Symposium on Precise Positioning with the Global Positioning System. Rockville, Maryland, 15.–19. April 1985, Seiten 175–180.

*Remondi, B. W.*, (1984): Using the global positioning system (GPS) phase observable for relative geodesy: modeling, processing, and results. The University of Texas at Austin, Center for Space Research. XIV+360 Seiten.

### 3. Beschreibung der GPS-Macrometer-Kampagne 1985 in Österreich

Von *E. Erker*, Wien

#### 3.1. Einleitung

Im Jahre 1982 war im Rahmen des 3. Internationalen Symposiums über Doppler-Positionierung in Las Cruces, USA, zum ersten Mal das Macrometer Modell V-1000 der Firma Macrometrics vorgestellt worden. Dieses Gerätesystem war das Ergebnis einer langen Entwicklung, die ausgehend von den Techniken der Interferometrie mit langen Basen (VLBI = Very long base line interferometry) zu einer Nutzung von Satellitensignalen nach dem interferometrischen Prinzip geführt hat (*Counselman, C. C.; Steinbrecher, D. H.*; 1982). Nach Versuchsmessungen in den USA (*Bock, Y. et al.*; 1983) und in der Bundesrepublik Deutschland (*Soltau, G.*; 1983), die zu bestechend guten Ergebnissen geführt hatten, wurde auch während der XVIII. Generalversammlung der Internationalen Assoziation für Geodäsie (IAG) 1983 in Hamburg im Rahmen des Symposiums "The future of terrestrial and space methods for positioning" die neue Technologie präsentiert.

Seit Hamburg sind neben dem Macrometer eine Reihe verschiedener Empfänger entwickelt worden, die alle die Radiosignale der NAVSTAR-GPS-Satelliten verwenden (NAVSTAR-GPS = NAVigation System with Time And Ranging – Global Positioning System).

Die GPS-Empfangssysteme werden in wenigen Jahren in die geodätische Praxis Eingang finden. Sie können darüber hinaus aber auch verwendet werden, um die vorhandenen Festpunktfelder höherer Ordnung auf ihre Verlässlichkeit zu überprüfen und falls notwendig einer Neubearbeitung zu unterziehen. In Europa steht hierfür das Dreiecksnetz 1. Ordnung RETrig in der Form ED 79 zur Verfügung. Der optimalen Gestaltung dieses Netzes wird ganz besondere Bedeutung beigemessen, und einem österreichischen Beitrag zu diesem Netz galt auch u. a. die Macrometerkampagne 1985 in Österreich.

### 3.2. Zielsetzung der Kampagne

Im Observatorium Graz-Lustbühel des Institutes für Weltraumforschung (IFW) der Österreichischen Akademie der Wissenschaften (ÖAW) werden Aufgaben der planetaren Physik, der Nachrichtentechnik und Wellenausbreitung und der Satellitengeodäsie ausgeführt. Neben der photographischen Richtungsbestimmung, der Teilnahme an Doppler-Meßkampagnen und der Registrierung von Erdgezeiten sind es vor allem SLR-(Satellite-Laser-Ranging-)Messungen, die zu den genauesten gehören, die derzeit erzielbar sind und die eine Positionierung der Station im dreidimensionalen geozentrischen System mit Genauigkeiten im Bereich einiger Zentimeter erlauben (*Rinner, K.*; 1984).

Diese SLR-Ergebnisse sollen in der abschließenden Phase von RETrig, die mit der IAG-Generalversammlung in Vancouver/Canada (1987) befristet ist, gemeinsam mit Doppler- und eventuell VLBI-Messungen für die Bestimmung eines einheitlichen kontinentalen Maßstabs verwendet werden.

Voraussetzung hierfür ist jedoch eine präzise und fehlertheoretisch einwandfreie Einbindung des Fundamentalpunktes A 171 Graz-Lustbühel in das bestehende Netz 1. Ordnung. Diese Voraussetzung war bisher nicht gegeben, denn die Koordinaten der Station waren in ED 79 durch je eine fingierte Winkel- und Seitenmessung in den benachbarten Punkten 1. Ordnung A 127 Schöckl und A 154 Wildon berechnet worden. Dabei war vorausgesetzt worden, daß die gegenseitige Lage aus dem Gebrauchsnetz – Lustbühel ist de facto ein Punkt der 5. Ordnung – möglichst widerspruchsfrei in ED 79 zu übertragen wäre (*Litschauer, J.*; 1979). Eine direkte Verbindung zur 1. Ordnung war durch die topographische Situation nahezu unmöglich.

Fehlertheoretisch blieb diese Einbindung eines Punktes der 5. Ordnung in das Netz 1. Ordnung natürlich problematisch. Eine korrekte Aussage in diesem Sinne wäre nur bei der Übernahme des gesamten Subnetzes in den österreichischen Block möglich gewesen; eine Lösung, die wegen des umfangreichen Datenmaterials und auch wegen der nicht optimalen Konfiguration des Netzes 5. Ordnung verworfen wurde.

Eine Lösung für dieses Problem bot sich mit der Möglichkeit des Einsatzes des GPS-Macrometer-Systems an. Hiefür lagen auch ab 1983 in der Bundesrepublik Deutschland gewonnene Erfahrungen vor (*Schmidt, R.*; 1983 und *Strauss, R.*; 1984).

Einwände gegen dieses Projekt betrafen die geringe Möglichkeit, auf die Messung und die Berechnung Einfluß nehmen zu können sowie die fehlenden Informationen über die benutzten Beobachtungsdaten, denn von der ausführenden Firma GEOSAT werden nur die in den USA ermittelten Berechnungsergebnisse in Form von Raumvektoren ( $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$ ) in einem geozentrischen Koordinatensystem sowie deren Fehlermaße und Korrelationen zur Verfügung gestellt.

Dieses „black-boxes“-System wurde aber trotzdem in Kauf genommen, um einen Einblick in den Ablauf des Verfahrens und durch Vergleich mit den terrestrischen Daten Aussagen über die erzielbare Genauigkeit zu erhalten.

Um Vergleichsmöglichkeiten auch in Österreich zu schaffen, wurden zusätzlich zur Bestimmung der Satellitenstation Graz-Lustbühel auch Kontrollmessungen im Netz 3.–5. Ordnung vorgesehen, die Aufschluß über die Zuverlässigkeit der Methode vor allem im Bereich der Netzverdichtung geben sollten. Außerdem konnte der für geodynamische Beobachtungen bedeutsame 302 km lange Verbindungsvektor zwischen den Fundamentalpunkten in den Observatorien Graz-Lustbühel und Wettzell (BR Deutschland) ermittelt werden.

### 3.3. Organisation und Messung

Nach Kontaktaufnahmen mit Prof. Counselman und der Firma Macrometrics Inc. noch im Winter 1983/84 durch das Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV), die vor allem ersten Abschätzungen der Kosten für Kauf oder Leasing einer oder mehrerer Beobachtungseinheiten dienten, kam es im Herbst 1984 zur Beschlußfassung, eine finanzielle und organisatorische Detailplanung für den Einsatz von GPS-Empfängern im Bereich Graz-Lustbühel durchzuführen. Als geeignetes System bot sich auch zu diesem Zeitpunkt nur das Macrometer an, sodaß als Kontaktadresse ausschließlich die Firma Litton (Houston, USA) als Nachfolger von Macrometrics Inc. in Frage kam.

Der Einsatz der Geräte im Bereich des Vermessungswesens wurde zu diesem Zeitpunkt durch die Geo/Hydro-Incorporation in Rockville/Maryland betrieben, deren europäischer Geschäftspartner, der Öffentlich bestellte Vermessungsingenieur Dr. Othmar Schuster in Mühlheim/Ruhr, bereits bei den deutschen Kampagnen die Durchführung der Messungen übernommen hatte.

Dr. Schuster wurde in diesem Sinne um die Erstellung eines Kostenvoranschlages für eine Drei-Tage -Kampagne mit den drei voraussichtlich in Europa befindlichen GPS-Empfängern ersucht. Diese Kampagne sollte in zwei Tagen die Beobachtung der vier Raumvektoren zwischen der Satellitenbeobachtungsstation Graz-Lustbühel und den Punkten 1. Ordnung Koralpe, Rennfeld, Ringkogel und Schöckl ermöglichen (Fig.3.1). Darüber hinaus war im Stadtbereich Graz die Beobachtung von weiteren vier Vektoren während eines Tages mit Stationswechsel während der möglichen Beobachtungsdauer – dem sogenannten Beobachtungsfenster – vorgesehen. (Geplant war die Beobachtung der Vektoren 1,6, 1,7, 1,8 und 1,9 in Fig.3.2)

Die geschätzten Kosten ergaben einen Betrag von 18.000 US- $\text{\$}$ .

Wegen des wissenschaftlichen Wertes des Projektes beteiligte sich die Abteilung Satellitengeodäsie des Institutes für Weltraumforschung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften (Leiter Univ.-Prof. Dr. mult. Karl Rinner) mit einem Betrag von 80.000 öS. Das Projekt war damit zu einer Gemeinschaftsarbeit zwischen dem BEV und dem IFW der ÖAW geworden, an der sich auch das Institut für Angewandte Geodäsie der TU Graz mit personeller Hilfe beteiligte.

In weiteren Verhandlungen mit Geo/Hydro Inc. und der inzwischen in Deutschland gegründeten Geosat GesmbH. ergab sich als optimaler Termin für die Messung die erste Septemberwoche mit folgenden neuen, günstigeren Voraussetzungen: Die Firma Geosat konnte für diesen Zeitpunkt den Einsatz von vier neuen GPS-Empfängern Macrometer der Firma Litton zusagen, sodaß die Beobachtung u. U. auf zwei Tage beschränkt werden kann. Der Einsatz *neuer* Geräte ließ eine reibungslose Durchführung der Messung ohne die bei Kampagnen in der BR Deutschland aufgetretenen Ausfälle erwarten.

Die inzwischen erkundeten Stationen sowohl der 1. Ordnung als auch die Punkte im Raume Graz stellten an die Methode, aber auch an die Einsatzgruppen ganz besondere, zum Teil bewußt gewählte und zum Teil aus den Gegebenheiten resultierende Anforderungen. Zwei der Stationen 1. Ordnung (Rennfeld und Koralpe) sind Bergpunkte in 1630 bzw. 2140 m Seehöhe mit langen Anfahrtszeiten auf zum Teil sehr schlechten Fahrwegen. Auf der Koralpe kamen noch die nicht abschätzbaren elektromagnetischen Einflüsse einer Radarstation der Flugsicherung hinzu. Die GPS-Messung wurde dort zeitlich so festgelegt, daß sie größtenteils in den sendefreien Zeitraum einer Wartungspause der Radaranlage fiel. Ein die Messung störender Einfluß konnte nicht festgestellt werden. Eine weitere Station (Ringkogel) befindet sich auf einem bewaldeten Hügel, sodaß zur Herstellung ausreichender Sicht ein ausfahrbarer Signalmast der Abteilung Festpunktfeld des BEV zum Einsatz kommen mußte (Abb. 1). Im Bereich Graz gab es ebenfalls vor allem Sichthindernisse, sodaß die Wahl des Beobachtungsstandpunktes unter Berücksichtigung der Satellitengeometrie von besonderer Bedeutung

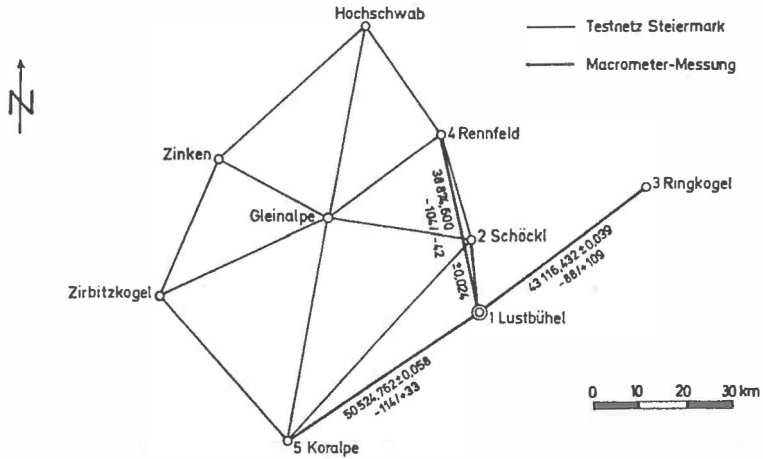


Fig.3.1: Netzskizze 1. Ordnung  
Länge der Raumstrecken

Differenzen der gemessenen Raumstreckenlängen zur Landesvermessung (GPS-GK/GPS-ED 79)

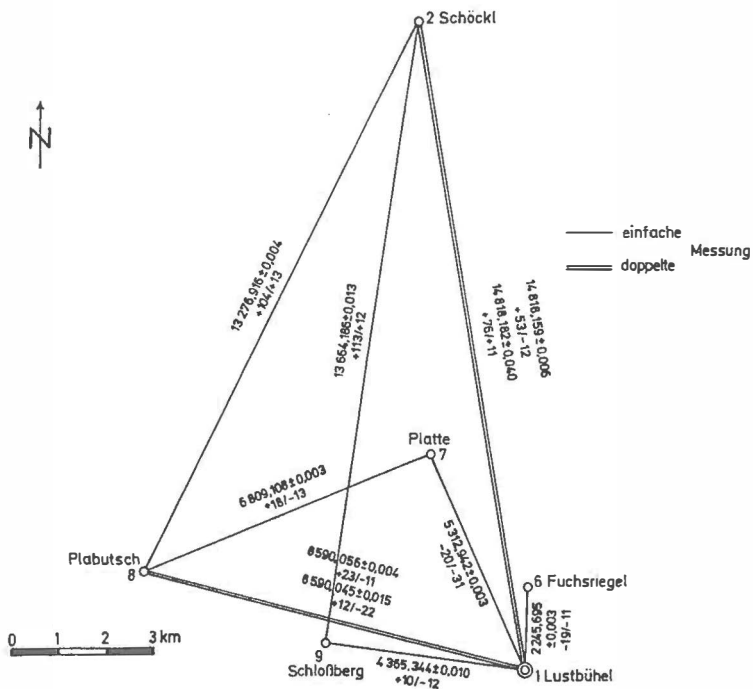


Fig.3.2: Netzskizze Graz  
Länge der Raumstrecken

Differenzen der gemessenen Raumstreckenlängen zur Landesvermessung (GPS-GK/GPS-ED 79)



Abb. 1: Punkt 1. Ordnung Ringkogel  
Macrometer-Antenne auf Signalmast der Abteilung Festpunktfeld des BEV



Abb. 2: Macrometer V-1000; Antenne und Elektronikeinheit in VW-Kombi



Abb. 3: Punkt 1. Ordnung Korralpe



war. Da das Beobachtungsfenster nur eine Zeitspanne von etwa fünf Stunden umfaßte, war auch der Stationswechsel im Stadtgebiet von Graz bei dichtem Verkehr optimal zu planen.

Die Meßkampagne begann noch am Tage der Anreise, am Sonntag, dem 1. September 1985, mit dem Aufbau der Master-Station auf dem Lustbühel und einem ersten Zeitvergleich. Als Zeitnormale stand hierbei die Atomuhr des Observatoriums zur Verfügung. In den nächsten Tagen genügte die Synchronisation der geräteinternen Quarzuhren aller Macrometer durch entsprechende Verbindungsschaltungen.

Das beim Macrometer verwendete Meßverfahren, die sogenannte „Phaseninterferometrie“ bzw. die Messung von Phasendifferenzen zwischen den empfangenen Trägerwellen auf zwei oder mehreren Stationen wurde in Abschnitt 2 beschrieben und ist in einer Reihe von Publikationen enthalten (s. Fußnote). In der Folge wird deshalb nur auf Details eingegangen, welche für den Betrieb der Meßstation von Bedeutung sind.

Das Macrometer V-1000 besteht aus einer Antenne mit Vorverstärker auf einer Aluminium-Grundplatte sowie aus einer Elektronikeinheit, die z. B. in einem Kombi transportiert werden kann (Abb. 2). Hinzu kommt noch der stationäre Prozeßrechner P-1000.

Vor Beginn der Beobachtung ist zur Steuerung des Empfängers V-1000 ein Almanach-Band bereitzustellen, das mit Hilfe genäherter Bahndaten (Ephemeriden) dem Macrometer die notwendigen Informationen zur Unterscheidung der einzelnen GPS-Satelliten ermöglicht und die Meßbereitschaft für die jeweiligen Signale veranlaßt. Dieser Almanach wurde vom Gerätehersteller zur Verfügung gestellt. Zusätzlich werden noch Näherungskoordinaten der zu beobachtenden Punkte (auf einige Kilometer genau) benötigt.

Nach Eingabe der im Rechner aufbereiteten Bahndaten im Empfänger arbeitet dieser vollautomatisch und schaltet sich nach Beendigung der Messung selbständig ab. Lichtsignale am Kontrollgerät zeigen an, welche Satelliten gerade mit welcher Intensität empfangen und registriert werden können. Der Empfang von mindestens drei Satelliten ist erforderlich, jedoch stehen maximal sechs Empfangskanäle zur Verfügung. Außer dem Aufbau der Antenne und dem Überwachen der Kontrolleinheit sind vom Beobachter nur etwaige Zentrierelemente zu erheben und meteorologische Daten zu bestimmen.

Die vom Satelliten ausgesandten Radio-Signale auf 1575 MHz (19,0 cm) werden gleichzeitig auf zumindest zwei Stationen empfangen und dem Elektronikteil zugeleitet, wo sie in einem Speicher registriert werden. Die Beobachtungsdaten werden nach Abschluß der Messungen auf Magnetbandkassetten überspielt und dem bei der Firma Litton, USA, befindlichen Rechner zugeführt. Mit den Ergebnissen kann innerhalb eines Monats gerechnet werden.

Die Durchführung der Kampagne wurde leider durch den Ausfall der Elektronik einer Antenne erheblich gestört. Rettungsversuche des amerikanischen Betreuers blieben ohne Erfolg, sodaß sich die Messungen letztlich doch über vier Tage hinweg erstreckten. Entsprechend den vertraglichen Bedingungen wurden die damit entstandenen Mehrkosten für die Miete der Geräte sowie die Bezahlung der deutschen Bedienungsmannschaft von der Geosat GmbH. getragen, sodaß das Anbot (DM 41.400,-) eingehalten werden konnte.

Die funktionstüchtigen Geräte hingegen bewährten sich auch unter extremen Bedingungen: Auf der Koralpe und dem Rennfeld herrschten zum Teil winterliche Bedingungen mit Sturm, Nebel, Regen und tiefen Temperaturen (Abb. 3) und auf dem Ringkogel mußte, wie gesagt, die Antenne auf einem Signalmast montiert werden (Abb. 1). Trotz dieser Probleme konnte die Kampagne erfolgreich abgeschlossen werden.

---

Seminar „GPS-System und Macromettermessungen“, Bonn-Bad Godesberg, am 29. Nov. 1984; publiziert in Forum, Heft 4/84.

First International Symposium on "Precise Positioning with the Global Positioning System", Rockville, Maryland, USA, 15.-19. April 1985, Proceedings.

Joint Meeting of the Study Groups 5B and 5C of the FIG, "Inertial-, Doppler- and GPS-Measurements for National and Engineering Surveying", München, 1.-3. Juli 1985, Universität der Bundeswehr, Proceedings.

Als Ergebnis liegen 11 unabhängig beobachtete Raumvektoren im Grazer Raum, zwei davon mit einer zweiten Messung an einem anderen Tag (1,2; 1,8) sowie der Verbindungsvektor Graz-Wetzell vor.

### 3.4. Ergebnisse und Vergleiche

Die von der Herstellerfirma der Geräte durchgeführte Vorausgleichung ergibt dreidimensionale Koordinatendifferenzen im System der GPS-Satelliten,  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$ , deren mittlere Fehler  $m_{\Delta X}$ ,  $m_{\Delta Y}$ ,  $m_{\Delta Z}$ , die Korrelationskoeffizienten  $r_{\Delta X \Delta Y}$ ,  $r_{\Delta X \Delta Z}$ ,  $r_{\Delta Y \Delta Z}$  sowie eine Korrelationsmatrix, die auch die Korrelationen zu den ebenfalls ausgeglichenen Phasen beinhaltet. Die Koordinatendifferenzen, die Länge der gemessenen Vektoren und deren mittlere Fehler sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Die Punktbezeichnungen enthält Tabelle 1.

Der Vergleich der Macrometerergebnisse mit den aus dem System der österreichischen Gebrauchskoordinaten (GK) und aus ED 79 folgenden Werten wurde unabhängig in Wien und Graz durchgeführt und führte zu identen Aussagen.

Die gemessenen Raumstrecken und ihre Differenzen zu GK und ED 79 sind in Tabelle 3 enthalten. Die Längen der Vektoren und obige Differenzen wurden auch in die Abb. 1 und 2 eingetragen. Die dabei im Landessystem verwendeten ellipsoidischen Höhen wurden aus den Gebrauchshöhen mit Hilfe von Geoidundulationen gebildet, die der österreichischen Geoidbestimmung (1983) entsprechen (Tabelle 4). Die Gauß-Krüger-Koordinaten, die ellipsoidischen und dreidimensionalen Koordinaten der Zentren (Z) sowie der Macrometerstandpunkte (G) sind in den Tabellen 4, 5 und 6 angeführt. Tabelle 7 enthält GPS-Koordinaten, die auf folgende Weise gebildet wurden: Die mit fünf Überbestimmungen gemessenen Vektoren (Doppelmessungen 1–2, 1–8 und geschlossene Schleifen 1–2–8–1, 1–2–9–1, 1–7–8–1) wurden vorerst bedingt ausgeglichen. Dabei wurden alle Vektorkomponenten als gleichgewichtig und unkorreliert angesehen. Sodann wurden, um den Rangdefekt zu beseitigen, dem Punkt Lustbühel die aus ED 79 abgeleiteten kartesischen Koordinaten zugeordnet. Die restlichen Punkt-Koordinaten wurden aus den gegebenen bzw. ausgeglichenen Vektoren berechnet.

Zusätzlich zum direkten Vergleich der Länge der gemessenen Raumvektoren mit den entsprechenden Werten der Landesvermessung läßt sich die volle in den GPS-Macrometermessungen enthaltene Information am besten durch eine räumliche Helmert-Transformation der GPS-Koordinaten (Tabelle 7) in das terrestrische dreidimensionale kartesische System entsprechend (*Rinner, K.*; 1957, 1981) darstellen. Die mit Hilfe der 7-Parameter-Transformation erzielten Restklaffungen wurden für fünf verschiedene Punktkonfigurationen im System ED 79 berechnet (Tabelle 8). Neben einer Transformation mit allen neun Punkten (Variante 1) wurden in Variante 2 bloß die drei Punkte 1. Ordnung Rennfeld, Ringkogel und Koralpe, in Variante 3 auch der Schöckl zur Berechnung der Transformationsparameter verwendet. Eine Transformation ausschließlich der Grazer Punkte 5. Ordnung zeigen die Varianten 4 und 5.

Bei allen Transformationen (Var. 1 bis 5) in ED 79 bleiben die Restklaffungen unter  $\pm 10$  cm, im Bereich Graz (Var. 4, 5) sogar unter  $\pm 3$  cm. Somit besteht im Bereich des Grazer Testnetzes eine ausgezeichnete Übereinstimmung zwischen den Macrometerdaten und dem homogenen Netz ED 79. Auch die Maßstäbe stimmen gut überein, der Maßstabsfaktor liegt bei  $\pm 1$  ppm.

Die siebenparametrische Transformation der Macrometerdaten auf das österreichische Gebrauchssystem GK ergibt erwartungsgemäß größere Restklaffungen. Diese erreichen für die Lage etwa  $\pm 25$  cm, in der Höhe bleiben sie unter  $\pm 7$  cm. In den Transformationen Var. 2 und 3 kommt dabei deutlich die Inhomogenität des Gebrauchsnetzes zum Ausdruck. Die Restklaffungen der Punkte im Grazer Raum sind eng korreliert und liegen im Bereich von 2–3 Dezimeter. Eine Punkteinschaltung mit GPS ausschließlich unter Verwendung der Punkte 1. Ordnung zur Bestimmung der Transformationsparameter in das Gebrauchsnetz würde somit zu

ebenso großen Diskrepanzen führen. Eine Kombination des terrestrischen Systems der Landesvermessung mit Macrometerdaten ist deshalb nur im homogenen System ED 79 ohne großen Aufwand möglich. Im inhomogenen System des Gebrauchsnetzes wäre für jedes lokale Netz eine eigene Transformation anzusetzen.

In Tabelle 8 sind weiters die Ergebnisse einer ebenen 4-Parameter-Transformation angeführt. Das Verhalten der Residuen entspricht in etwa dem der 7-Parameter-Transformation.

### 3.5. Literatur

*Das Geoid in Österreich*; Geod. Arbeiten Österreichs für die Internationale Erdmessung. Neue Folge, Bd. III; Herausg.: Österr. Kommission für die Internat. Erdmessung, Graz, 1983.

*Bock, Y. et al.* (1983): Geodetic Accuracy of the Macrometer Model V-1000; Pres. Paper to the IAG Symposium "The Future of Terrestrial and Space Methods for Positioning", XVIII IAG Gen. Assembly, Hamburg, 1983.

*Counselman, C. C. III; Steinbrecher, D. H.* (1982): The Macrometer. A Compact Radio Interferometry Terminal for Geodesy with GPS; Proceedings of the Third International Geodetic Symposium on Satellite Doppler Positioning, Vol 2, Feb. 8, 1982, New Mexico State University, Las Cruces, pp. 1165–1172.

*Litschauer, J.* (1979): Das österreichische Dreiecksnetz 1. Ordnung in ED 77; Österr. Zeitschrift f. Verm. u. Phot., 67. Jg./1979/Heft 2.

*Rinner, K.* (1957): Über räumliche Drehungen; DGK, Reihe A, Heft 25, S. 27–40, München 1957.

*Rinner, K.* (1981): Über die Ergebnisse im österreichischen Anteil von DÖDOC; Österr. Zeitschrift f. Verm. u. Phot., 69. Jg./1981/Heft 3/4, S. 91–112.

*Rinner, K.* (1984): Über die wissenschaftlich-geodätischen Aktivitäten im Observatorium Graz-Lustbühel; Festschrift zum 70. Geburtstag von Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Wilhelm Embacher, S. 125–142.

*Soltau, G.* (1983): GPS-Macrometer-Versuchsmessungen in Wetzell; ZfV, 6/1983, S. 242–245.

*Schmidt, R.* (1983): Das neue interferometrische GPS-Vermessungsgerät Macrometer und sein Einsatz in der TP-Netzerneruerung 2. Ordnung Nordeifel; Nachr. aus d. Öffentl. Vermessungsdienst, Nordrhein-Westfalen, 16. Jg., Heft 3/1983.

*Strauß, R.* (1984): Direkter Vergleich terrestrischer Meßmethoden mit Satellitenbeobachtungsverfahren im TP-Feld 1. und 2. Ordnung; DVW Hessen, Mitt. 1/1984.

Nr.	Bezeichnung			
1	306–164	Lustbühel	Dopplerpunkt	Stahlbolzen B1
2	229–164	Schöckl W (Nebenpunkt zu Punkt 1. Ordnung)		
3	44–136	Ringkogel (1. Ordnung)	GPS-Antenne	M0
4	13–134	Rennfeld (1. Ordnung)	KT-Stein	A1
5	18–188	Koralpe (1. Ordnung)	Vst.W	A4
6	110–164	Fuchsriegel	KT-Stein	A1
7	155–164	Platte	Rohr	C1
8	112–164	Plabutsch	KT-Blz Ost	B2
9	89–164	Schloßberg, Glockenturm	Meßnagel	F1

Tabelle 1: Punktbezeichnungen

von – nach	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$	s
1–2	- 8 988,554 ±0,056	- 5 134,954 ±0,019	+10 602,673 ±0,011	14 818,182 ±0,040
1–2	- 8 988,537 ±0,026	- 5 134,937 ±0,027	+10 602,663 ±0,020	14 818,159 ±0,006
1–3	-27 293,026 ±0,039	+28 330,159 ±0,026	+17 649,918 ±0,018	43 116,432 ±0,039
1–4	-23 114,865 ±0,059	-16 878,287 ±0,039	+26 307,052 ±0,031	38 874,600 ±0,024
1–5	+33 483,133 ±0,057	-32 074,813 ±0,039	-20 070,818 ±0,026	50 524,762 ±0,058
1–6	- 1 627,049 ±0,005	- 246,666 ±0,003	+ 1 528,076 ±0,006	2 245,695 ±0,003
1–7	- 2 932,061 ±0,005	- 2 709,288 ±0,003	+ 3 505,728 ±0,005	5 312,942 ±0,003
1–8	+ 541,853 ±0,045	- 8 351,368 ±0,016	+ 1 936,470 ±0,009	8 590,045 ±0,015
1–8	+ 541,862 ±0,008	- 8 351,382 ±0,005	+ 1 936,455 ±0,008	8 590,056 ±0,004
1–9	+ 383,223 ±0,010	- 4 292,665 ±0,013	+ 694,546 ±0,019	4 365,344 ±0,010
2–8	+ 9 530,396 ±0,007	- 3 216,414 ±0,003	- 8 666,183 ±0,005	13 276,916 ±0,004
2–9	+ 9 371,765 ±0,030	+ 842,282 ±0,028	- 9 908,106 ±0,017	13 664,186 ±0,013
7–8	+ 3 473,919 ±0,005	- 5 642,094 ±0,003	- 1 569,272 ±0,005	6 809,108 ±0,003

Tabelle 2: GPS-Vektoren

von – nach	s (GPS) m	$\Delta s$ (GPS-GK) mm	$\Delta s/s$ $10^{-6}$	$\Delta s$ (GPS-ED 79) mm	$\Delta s/s$ $10^{-6}$
1–2	14 818,182	+ 76	+5,1	+ 11	+0,7
1–2	14 818,159	+ 53	+3,6	- 12	-0,8
1–3	43 116,432	- 88	-2,0	+109	+2,5
1–4	38 874,601	-104	-2,7	- 42	-1,1
1–5	50 524,762	-114	-2,2	+ 33	+0,7
1–6	2 245,695	- 19	-8,5	- 11	-4,9
1–7	5 312,942	- 20	-3,8	- 31	-5,8
1–8	8 590,045	+ 12	+1,4	- 22	-2,6
1–8	8 590,056	+ 23	+2,7	- 11	-1,3
1–9	4 365,344	+ 10	+2,3	- 12	-2,7
2–8	13 276,916	+104	+7,8	+ 13	+1,0
2–9	13 664,186	+113	+8,2	+ 12	+0,9
7–8	6 809,108	+ 18	+2,6	- 13	-1,9

Tabelle 3: Streckenvergleich

Punkt	Gebrauchskordinaten (M 34)		ED 79		Gebrauchs- höhen	Geoidhöhen		
	y	x	y	x	H	$N_{GK}$	$N_{ED}$	
1	Z	- 63 711,166	5 214 564,325	- 63 728,418	5 215 243,014	491,26	+0,90	+2,47
	G					493,13		
2	Z	- 65 663,533	5 229 155,320	- 65 681,130	5 229 834,020	1 444,84	+1,34	+3,01
	G	- 66 101,062	5 229 156,324	- 66 118,657	5 229 835,012	1 438,52		
3	Z	- 28 840,231	5 239 924,370	- 28 858,323	5 240 603,861	790,42	+1,19	+2,87
	G	- 28 847,567	5 239 925,718	- 28 865,659	5 240 605,209	801,59		
4	Z	- 73 394,198	5 252 192,326	- 73 412,557	5 252 870,645	1 628,79	+1,46	+3,39
5	Z	-103 871,536	5 183 977,881	-103 887,494	5 184 655,119	2 140,68	+1,33	+2,72
	G	-103 886,214	5 183 979,542	-103 902,172	5 184 656,779	2 138,63		
6	Z	- 63 490,146	5 216 799,063	- 63 507,472	5 217 477,751	499,41	+0,95	+2,54
7	Z	- 65 487,012	5 219 660,065	- 65 504,401	5 220 338,716	650,02	+1,04	+2,65
	G	- 65 484,904	5 219 569,956	- 65 502,290	5 220 248,606	644,42		
8	Z	- 71 904,768	5 217 009,988	- 71 922,115	5 217 688,465	751,11	+1,00	+2,60
	G	- 71 875,159	5 217 222,220	- 71 892,513	5 217 900,698	752,69		
9	Z	- 68 005,435	5 215 642,877	- 68 022,742	5 216 321,431	472,21	+0,94	+2,53
	G	- 67 938,644	5 215 652,135	- 67 955,952	5 216 330,691	473,61		

Tabelle 4: Koordinaten der Macrometer-Standpunkte G und der zugehörigen Zentren Z

Punkt	Gebrauchskordinaten			ED 79			
	B	L	H <sub>EII</sub>	B	L	H <sub>EII</sub>	
1	Z	47 04 03,0805	15 29 40,1444	492,16	47 04 04,6187	15 29 39,8110	493,73
	G			494,03			495,60
2	Z	47 11 54,8745	15 27 59,9472	1 446,18	47 11 56,3440	15 27 59,6127	1 447,85
	G	47 11 54,7492	15 27 39,1596	1 439,86	47 11 56,2184	15 27 38,8285	1 441,53
3	Z	47 17 53,1447	15 57 07,0684	791,61	47 17 54,5895	15 57 06,4281	793,29
	G	47 17 53,1872	15 57 06,7188	802,78	47 17 54,6320	15 57 06,0787	804,46
4	Z	47 24 17,8675	15 21 39,0163	1 630,25	47 24 19,2155	15 21 38,7057	1 632,18
	G						
5	Z	46 47 14,4362	14 58 22,1664	2 142,01	46 47 16,0740	14 58 22,1967	2 143,40
	G	46 47 14,4818	14 58 21,4733	2 139,96	46 47 16,1195	14 58 21,5036	2 141,35
6	Z	47 05 15,5231	15 29 49,4873	500,36	47 05 17,0506	15 29 49,1488	501,95
	G						
7	Z	47 06 47,4658	15 28 13,3160	651,06	47 06 48,9780	15 28 12,9899	652,67
	G	47 06 44,5487	15 28 13,4632	645,46	47 06 46,0619	15 28 13,1371	647,07
8	Z	47 05 19,2472	15 23 10,4227	752,11	47 05 20,7672	15 23 10,1476	753,71
	G	47 05 26,1311	15 23 11,7047	753,69	47 05 27,6500	15 23 11,4288	755,29
9	Z	47 04 36,4651	15 26 16,0393	473,15	47 04 37,9938	15 26 15,7360	474,74
	G	47 04 36,7896	15 26 19,2002	474,55	47 04 38,3183	15 26 18,8964	476,14

Tabelle 5: Ellipsoidische Koordinaten

Punkt	Gebrauchskordinaten			ED 79			
	X	Y	Z	X	Y	Z	
1	Z	4 193 833,310	1 162 618,160	4 646 770,910	4 194 508,730	1 162 798,110	4 647 360,750
	G	4 193 834,539	1 162 618,504	4 646 772,279	4 194 509,959	1 162 798,444	4 647 362,110
2	Z	4 184 730,750	1 157 906,000	4 657 382,290	4 185 406,250	1 158 085,600	4 657 972,130
	G	4 184 846,020	1 157 483,863	4 657 375,024	4 185 521,525	1 157 663,467	4 657 964,855
3	Z	4 166 533,650	1 190 954,780	4 664 412,700	4 167 208,720	1 191 133,750	4 665 003,060
	G	4 166 542,027	1 190 949,537	4 664 421,801	4 167 217,089	1 191 128,504	4 665 012,160
4	Z	4 170 719,319	1 145 741,068	4 673 079,717	4 171 395,350	1 145 920,026	4 673 669,361
	G						
5	Z	4 227 315,460	1 130 557,020	4 626 702,850	4 227 991,570	1 130 738,510	4 627 291,730
	G	4 227 316,916	1 130 542,185	4 626 702,315	4 227 993,024	1 130 723,669	4 627 291,193
6	Z	4 192 207,457	1 162 371,928	4 648 300,360	4 192 882,903	1 162 551,799	4 648 890,192
	G						
7	Z	4 190 843,290	1 159 889,750	4 650 343,480	4 191 518,770	1 160 069,570	4 650 933,290
	G	4 190 902,403	1 159 909,331	4 650 278,064	4 191 577,890	1 160 089,150	4 650 867,869
8	Z	4 194 532,520	1 154 282,140	4 648 563,040	4 195 208,120	1 154 462,040	4 649 152,730
	G	4 194 376,265	1 154 267,184	4 648 708,933	4 195 051,864	1 154 447,068	4 649 298,625
9	Z	4 194 241,610	1 158 263,290	4 647 459,130	4 194 917,150	1 158 443,210	4 648 048,870
	G	4 194 217,712	1 158 325,870	4 647 466,979	4 194 893,242	1 158 505,782	4 648 056,721

Tabelle 6: 3D-Koordinaten

Punkt	$X_M$	$Y_M$	$Z_M$
1	4 194 509,959	1 162 798,444	4 647 362,100
2	4 185 521,415	1 157 663,495	4 657 964,770
3	4 167 216,933	1 191 128,603	4 665 012,028
4	4 171 395,106	1 145 920,160	4 673 669,165
5	4 227 993,092	1 130 723,631	4 627 291,292
6	4 192 882,898	1 162 551,776	4 648 890,184
7	4 191 577,897	1 160 089,160	4 650 867,842
8	4 195 051,815	1 154 447,071	4 649 298,575
9	4 194 893,181	1 158 505,778	4 648 056,660

Tabelle 7: GPS-Koordinaten

Punkt		HELMERT-Transformation, Restklaffungen in mm; Berechnung der Transformationsparameter mit den Punkten:														
		Var. 1 1 bis 9			Var. 2 3, 4 und 5			Var. 3 2, 3, 4 und 5			Var. 4 1, 2 und 6 bis 9			Var. 5 1 und 6 bis 9		
		V <sub>y</sub>	V <sub>x</sub>	V <sub>H</sub>	V <sub>y</sub>	V <sub>x</sub>	V <sub>H</sub>	V <sub>y</sub>	V <sub>x</sub>	V <sub>H</sub>	V <sub>y</sub>	V <sub>x</sub>	V <sub>H</sub>	V <sub>y</sub>	V <sub>x</sub>	V <sub>H</sub>
ED 79																
Räumliche Drehstreckung																
1	Graz, Lustbühel	+ 29	- 12	- 36	+ 77	- 15	- 49	+ 68	- 15	- 48	- 3	- 12	- 12	- 12	- 12	- 21
2	Schnöckl West	+ 1	- 2	+ 6	+ 47	- 2	- 11	+ 35	- 2	- 10	- 15	- 19	- 19	- 19	- 19	+ 1
3	Ringkogel	+ 26	- 58	+ 26	+ 23	- 50	+ 2	+ 11	- 50	+ 2	- 15	- 15	- 15	- 15	- 15	- 9
4	Rennfeld	- 98	+ 38	+ 4	- 57	+ 40	+ 1	- 69	+ 40	+ 2	+ 25	+ 25	+ 25	+ 25	+ 25	+ 13
5	Koraipe	- 19	+ 26	+ 19	+ 33	+ 13	0	+ 22	+ 10	- 2	+ 25	- 13	- 13	- 13	- 13	- 4
6	Fuchsriegel	+ 53	- 14	- 30	+ 103	- 10	- 49	+ 92	- 10	- 49	+ 25	- 13	- 13	- 13	- 13	- 4
7	Platte bei Graz	+ 30	+ 24	- 51	+ 78	+ 24	- 70	+ 67	+ 24	- 67	+ 7	+ 20	+ 20	+ 20	+ 20	+ 12
8	Plabutsch	+ 10	- 9	+ 17	+ 57	+ 8	+ 1	+ 46	+ 5	0	+ 8	+ 8	+ 8	+ 8	+ 8	+ 5
9	Graz, Schloßberg	+ 16	- 2	+ 46	+ 65	- 7	+ 25	+ 53	+ 7	+ 27	- 8	- 8	- 8	- 8	- 8	+ 1
ED 79																
Ebene Drehstreckung																
1	Graz, Lustbühel	+ 29	- 11	- 37	+ 78	- 8	- 44	+ 66	- 8	- 8	+ 78	- 8	- 8	- 8	- 8	0
2	Schnöckl West	+ 1	- 6	+ 10	+ 47	- 3	- 27	+ 35	- 2	- 2	+ 47	- 3	- 3	- 3	- 3	- 6
3	Ringkogel	+ 25	- 60	+ 22	+ 22	- 49	+ 39	+ 10	- 47	+ 10	- 67	+ 10	- 10	- 10	- 10	- 12
4	Rennfeld	- 95	+ 35	- 54	- 54	+ 39	+ 10	- 67	+ 40	+ 9	+ 21	+ 9	+ 9	+ 9	+ 9	+ 13
5	Koraipe	- 19	+ 17	+ 19	+ 32	+ 10	0	+ 21	+ 9	- 8	+ 90	- 13	- 13	- 13	- 13	- 9
6	Fuchsriegel	+ 53	- 11	- 37	+ 101	- 8	- 47	+ 90	- 8	- 8	+ 23	- 13	- 13	- 13	- 13	- 14
7	Platte bei Graz	+ 30	+ 27	- 54	+ 77	+ 29	- 57	+ 66	+ 30	+ 30	+ 6	+ 6	+ 6	+ 6	+ 6	+ 6
8	Plabutsch	+ 9	- 9	+ 17	+ 56	+ 10	+ 18	+ 45	+ 10	+ 10	+ 8	+ 8	+ 8	+ 8	+ 8	+ 4
9	Graz, Schloßberg	+ 17	- 0	+ 47	+ 65	+ 2	+ 40	+ 54	+ 2	+ 2	+ 54	+ 5	+ 5	+ 5	+ 5	+ 1
Gebrauchsnetz																
Räumliche Drehstreckung																
1	Graz, Lustbühel	+ 77	- 37	- 36	+ 202	- 158	- 44	+ 193	- 95	- 55	+ 7	- 31	- 31	- 31	- 31	- 18
2	Schnöckl West	+ 72	- 145	+ 30	+ 43	- 262	+ 27	+ 32	- 196	+ 18	- 28	- 25	- 25	- 25	- 25	- 10
3	Ringkogel	- 43	+ 181	+ 10	+ 79	+ 90	0	+ 71	+ 163	- 7	- 7	- 7	- 7	- 7	- 7	0
4	Rennfeld	- 132	- 29	- 3	- 35	- 144	0	- 48	- 76	- 11	+ 45	+ 45	+ 45	+ 45	+ 45	+ 22
5	Koraipe	- 175	+ 218	+ 9	- 46	+ 61	+ 1	- 56	+ 115	- 6	+ 1	- 6	- 6	- 6	- 6	+ 3
6	Fuchsriegel	+ 103	- 31	- 37	+ 227	- 150	- 47	+ 218	- 85	- 55	+ 45	- 12	- 12	- 12	- 12	- 3
7	Platte bei Graz	+ 55	- 32	- 47	+ 175	- 151	- 57	+ 166	- 87	- 64	+ 11	+ 22	+ 22	+ 22	+ 22	+ 10
8	Plabutsch	+ 95	- 77	+ 26	+ 214	- 199	+ 18	+ 205	- 134	+ 10	+ 13	+ 30	+ 30	+ 30	+ 30	- 8
9	Graz, Schloßberg	+ 96	- 33	+ 47	+ 218	- 155	+ 40	+ 208	- 90	+ 32	- 2	+ 21	+ 21	+ 21	+ 21	+ 18
Gebrauchsnetz																
Ebene Drehstreckung																
1	Graz, Lustbühel	+ 76	- 37	- 37	+ 202	- 158	- 44	+ 193	- 92	- 92	+ 193	- 92	- 92	- 92	- 92	- 12
2	Schnöckl West	- 73	- 152	+ 43	+ 43	+ 90	- 269	+ 32	- 201	+ 18	- 26	- 13	- 13	- 13	- 13	- 12
3	Ringkogel	- 42	+ 180	+ 80	+ 80	+ 90	+ 163	+ 72	+ 163	+ 72	+ 48	+ 48	+ 48	+ 48	+ 48	+ 21
4	Rennfeld	- 130	- 30	- 31	- 31	+ 55	- 145	- 58	+ 114	- 75	+ 48	+ 48	+ 48	+ 48	+ 48	+ 15
5	Koraipe	- 180	+ 212	+ 48	+ 48	+ 55	- 151	- 220	- 84	- 84	+ 48	- 16	- 16	- 16	- 16	- 5
6	Fuchsriegel	+ 104	- 31	- 31	+ 229	- 151	- 51	+ 220	- 84	- 84	+ 48	- 16	- 16	- 16	- 16	- 6
7	Platte bei Graz	+ 55	- 32	- 32	+ 177	- 153	- 57	+ 167	- 86	- 86	+ 11	+ 11	+ 11	+ 11	+ 11	+ 8
8	Plabutsch	+ 94	- 79	+ 26	+ 216	- 204	+ 18	+ 206	- 139	+ 10	- 24	+ 23	+ 23	+ 23	+ 23	+ 8
9	Graz, Schloßberg	+ 97	- 31	+ 47	+ 221	- 154	+ 40	+ 211	- 88	+ 32	- 6	+ 19	+ 19	+ 19	+ 19	+ 18

Tabelle 8: Helmert-Transformationen



## 4. Abschließende Bemerkungen

Von K. Rinner und J. Zeger

Aus den Erfahrungen der GPS-Macrometer-Kampagne 1985 und aus der Diskussion der dabei gewonnenen Ergebnisse folgen Aussagen, welche für den künftigen Einsatz des Systems von Bedeutung sind. Außerdem ist die bei diesem Projekt praktizierte Kooperation staatlicher und wissenschaftlicher Institutionen des Landes ein Beispiel dafür, wie trotz geringer finanzieller Mittel eine Beteiligung an aufwendigen Projekten möglich ist.

### 4.1. Zusammenfassung der Ergebnisse

1. In der österreichischen GPS-Macrometer-Kampagne 1985 wurden 11 Raumstrecken in der Länge von (2 bis 50) km im Grazer Raum in 4 Tagen und 2 Raumstrecken in der Länge von (270 und 302) km von Graz nach Südbayern und Wetzell an einem weiteren Tag gemessen. Die mittleren Meßfehler sind nur schwach von der Streckenlänge abhängig, ihre relativen Werte sind nahezu unabhängig davon und betragen im Mittel  $\pm 2$  ppm.

2. Um die durch Verbindungsvektoren vermittelte Raumlage zu überprüfen, wurde diese mit den entsprechenden, durch ED 79 bzw. Gebrauchskordinaten (GK) und ellipsoidischen Höhen gegebenen Werten der Landesvermessung durch eine lineare, siebenparametrische Transformation (T7) verglichen. Für das Gesamtsystem mit 9 Punkten und Entfernungen von (2 bis 50) km (Variante 1) ergab sich ein mittlerer Klaffungsfehler von  $\pm 6,1$  cm, für den lokalen Netzteil um Graz mit 6 Punkten (Variante 4) sank der Fehler auf  $\pm 3,1$  cm. Für Gebrauchskordinaten waren die mittleren Abweichungen naturgemäß größer und erreichten  $\pm 15,0$  cm bzw.  $\pm 4,2$  cm. Analoge Ergebnisse folgen auch für die anderen Varianten 2, 3, 5 und für ebene Koordinaten (siehe Tabelle 8).

3. Das GPS-Macrometer-System hat in der österreichischen Kampagne 1985 die Erwartungen hinsichtlich der Genauigkeit voll erfüllt. Es kann daher für die Verbesserung bestehender klassischer Triangulationen ebenso eingesetzt werden wie für die Schaffung neuer Kontroll-Punktefelder. Außerdem wird durch die Macrometermessungen die Einbindung eines lokalen Datums in das Weltdatum des GPS ermöglicht.

4. Die derzeitige Macrometer-Ausrüstung ist störanfällig und kompliziert. Für den Transport ist ein Bus oder insbesondere im Gebirge ein Helikopter und für einen laufenden Betrieb ein elektronischer Spezialist erforderlich. Für österreichische Verhältnisse ist das System noch nicht genügend feldtauglich.

5. Unbefriedigend ist auch das Fehlen von Transparenz bei der Auswahl der Meßdaten und der Gewinnung der Basisvektoren, also die Ausweitung des Prinzips der „black boxes“ auf die Berechnung bis zum Endresultat. Ein Einsatz für Grundlagenvermessungen sollte erst in Erwägung gezogen werden, wenn die Auswertung der Messungen und die Berechnung mit eigenen Programmen im Lande erfolgen kann.

6. Bei wirtschaftlichen Überlegungen muß beachtet werden, daß für die Gewinnung der Verbindungsvektoren die Ephemeriden der benützten Satelliten benötigt werden. Falls diese nicht zur Verfügung stehen, ist ihre Beschaffung durch ein eigenes Beobachtungssystem erforderlich. In jedem Fall sind hierfür Kosten zu erwarten, deren Höhe derzeit noch nicht abgesehen werden kann. Erschwerend ist, daß auch militärische Interessen die Bereitstellung der Ephemeriden beeinflussen können.

7. Als praktisches Ergebnis der österreichischen GPS-Macrometer-Kampagne 1985 liegen die folgenden Daten vor:

a) die in Tabelle 2 angeführten 4 Raumentfernungen des Punktes Graz-Lustbühel (A 171) von den Punkten erster Ordnung Schöckl, Ringkogel, Rennfeld und Koralpe (siehe Fig.3.1);

b) die in Tabelle 2 angeführten Raumentfernungen zwischen den in Fig.3.2 dargestellten Punkten niedriger Ordnung in der Umgebung von Graz;

c) der Verbindungsvektor von Graz-Lustbühel nach Wettzell in der Länge von  $(302\,118,575 \pm 0,040)$  m oder  $\pm 0,13$  ppm. Dieser weicht von den aus ED 79-Daten berechneten Koordinaten um  $+0,427$  m oder  $+1,4$  ppm ab. Gegenüber dem aus der Deutsch-Österreichischen Dopplerkampagne (DÖDOC) durch Mehrfachpunkteinschaltung folgenden Wert besteht eine Differenz von  $-0,021$  m oder von  $-0,007$  ppm.

8. Zusammenfassend kann gesagt werden, daß mit dem GPS-Macrometer-System ein außerordentlich leistungsfähiges, für die Geodäsie bedeutsames System zur Verfügung steht, das die klassische Triangulierung und auch das Nivellement stützen und ergänzen kann. Eine dadurch erfolgende Ablösung der klassischen Verfahren ist jedoch vorerst noch nicht zu erwarten.

#### 4.2. Dank

Auf die Notwendigkeit von Testkampagnen für die verschiedenen Systeme von GPS-Empfängern wurde in der ÖKIE hingewiesen. Die Initiative für die GPS-Macrometer-Kampagne 1985 ging vom BEV, Abteilung Erdmessung, aus. Die Abteilung Satellitengeodäsie des IFW der Österreichischen Akademie der Wissenschaften hat sich der Initiative angeschlossen. In der Folge hat auch das Institut für Angewandte Geodäsie, Abteilung Landesvermessung der TU Graz, daran teilgenommen. Die Vorbereitungen wurden in der Hauptsache vom BEV, die Macrometermessungen von der Fa. GEOSAT, BR Deutschland, ausgeführt. Dabei wurden die Einrichtungen des IFW, u. a. auch die dort befindlichen Zeitstationen von o. Univ.-Prof. Dr. Riedler benutzt. Die Ermittlung der Zentrierelemente erfolgte durch das BEV, die Auswertung der Messungen und die Berechnung der Basisvektoren durch die Fa. GEOSAT. Der Vergleich der Ergebnisse mit den Daten der österreichischen Landesvermessung erfolgte an der TU Graz durch Dipl.-Ing. G. Kienast und im BEV in Wien.

Allen Mitarbeitern gebührt aufrichtiger Dank für den geleisteten Einsatz. Es sei die Erwartung ausgesprochen, daß die in der GPS-Macrometer-Kampagne 1985 geübte Kooperation bei ähnlichen Aufgaben auch in Zukunft Anwendung finden wird.

Manuskript eingelangt im Februar 1986.

## Flächen- und Liniencomputer

neuartiges Modell zur Verwendung als:

neu



● gleichzeit. Messung von Fläche und Linienlänge

● Zusatzberechnungen zur Messung

● Vorwahl von Maßstäben

● Punktweises Digitalisieren

● Funktionen für: Mittelwertbildung, Summierung von Werten, Zählen

Aufladbare Batterie, kein Kabel nötig

Anfragen bei:

## X-PLAN 360

PLANIMETER, KURVIMETER, MESS-SYSTEM (Digitizer und Rechner).  
Möglichkeit des Nachfahrens auch nicht geradliniger Polygone und des Messens gekrümmter Konturen sowie sehr kleiner Flächen.

**r-a rost**

A-1151 WIEN · MÄRZSTR. 7 · TEL. 92 32 31