

Paper-ID: VGI_198712



GPS-Messungen im Testnetz “Neue Welt“

Heribert Kahmen ¹, Johannes Schwarz ², Thomas A. Wunderlich ³

¹ *Technische Universität Wien, Institut für Landesvermessung und Ingenieurgeodäsie, Gußhausstraße 27-29, A-1040 Wien*

² *Technische Universität Wien, Institut für Landesvermessung und Ingenieurgeodäsie, Gußhausstraße 27-29, A-1040 Wien*

³ *Technische Universität Wien, Institut für Landesvermessung und Ingenieurgeodäsie, Gußhausstraße 27-29, A-1040 Wien*

Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen und Photogrammetrie **75** (3), S. 123–134

1987

BibT_EX:

```
@ARTICLE{Kahmen_VGI_198712,  
Title = {GPS-Messungen im Testnetz ‘‘Neue Welt‘‘},  
Author = {Kahmen, Heribert and Schwarz, Johannes and Wunderlich, Thomas A.},  
Journal = {{\"}sterreichische Zeitschrift f{\"}r Vermessungswesen und  
Photogrammetrie},  
Pages = {123--134},  
Number = {3},  
Year = {1987},  
Volume = {75}  
}
```



GPS-Messungen im Testnetz „Neue Welt“

Von H. Kahmen, J. Schwarz und T. Wunderlich, Wien

Kurzfassung:

Die Abteilung Ingenieurgeodäsie des Instituts für Landesvermessung und Ingenieurgeodäsie an der TU Wien beschäftigt sich seit dem Jahre 1986 mit den Einsatzmöglichkeiten von Satellitenmethoden in der Ingenieurgeodäsie. Eine kurze Einführung über die derzeitigen Aktivitäten auf dem Gebiet von GPS-Messungen wird gegeben. Es folgt eine Beschreibung der ersten institutseigenen GPS-Meßkampagne im Testnetz „Neue Welt“ der Abteilung Landesvermessung. Die dabei erzielten Ergebnisse beweisen die hohe Meßgenauigkeit des Systems bei sorgfältiger Punktauswahl.

Summary:

Since 1986 the Institut für Landesvermessung und Ingenieurgeodäsie, Abteilung Ingenieurgeodäsie, Technical University of Vienna, is involved in studies concerning the application of satellite methods in engineering survey. A short introduction to the current activities on this field is given. The first GPS-campaign of the institute in the local testnetwork "Neue Welt" of the Abteilung Landesvermessung is described. The results of the campaign show the remarkable high accuracy of the Global Positioning System provided that the stations are selected very carefully.

1. Einleitung

Die Abteilung Ingenieurgeodäsie des Instituts für Landesvermessung und Ingenieurgeodäsie an der TU Wien ist die erste Institution Österreichs, die durch die Anschaffung des Hard- und Software-Systems WM 101 die revolutionierenden Meßmethoden des Global Positioning System (GPS) auf geodätischem Sektor praktisch zum Einsatz bringt.

Im September 1986 erhielt das Institut das „Bernese Second Generation Software Package“ (Gurtner u. a. 1985) zur Auswertung von Phasendifferenzbeobachtungen zu GPS-Satelliten. Im November 1986 konnte die Post Processing Software, kurz PoPS, erworben werden (Frei u. a. 1986). Dieses Programmsystem der Firma Wild-Magnavox dient zur Verarbeitung von WM101-Daten auf einem IBM-kompatiblen PC.

Im März 1987 wurde vom Institut der erste WM101-GPS-Empfänger in Österreich angeschafft, der durch den Empfang des C/A-Codes, der Broadcastephemeris und der Rekonstruktion der Trägerwelle auf der ersten Frequenz sowohl Relativpunktbestimmung mit einer Genauigkeit von 1–2 ppm als auch Absolutpunktbestimmung und kinematische Positionierung in Echtzeit erlaubt. Dieses absolut feldtaugliche Allwettergerät ist durch sein geringes Volumen und Gewicht auch zum Einsatz im österreichischen Hochgebirge bestens geeignet.

Die ersten praktischen Messungen mit dem Empfänger erfolgten im Rahmen der Inntalkampagne der Universität der Bundeswehr München, wo mit sechs WM101-Receiver ein alpines Testnetz mit acht Punkten mehrmals beobachtet wurde (Schödlbauer u. a. 1987).

Anfang Juni 1987 wurden mehrere Testnetze in der Steiermark und Kärnten mit vier Leihgeräten der Fa. Wild und dem institutseigenen WM101 gemessen. (Der Beitrag über diese WM-Kampagne erscheint voraussichtlich in Heft 4 der ÖZ.)

Im Juli 1987 wurde für die Abteilung Satellitengeodäsie des Instituts für Weltraumforschung in Graz, Vorstand DDr. Rinner, der österreichische Anteil an der DÖNAV-GPS-Kampagne gerechnet. Diese Auswertung erfaßte ein Netz von insgesamt elf Punkten auf österreichischem Gebiet, das im November 1986 mit zehn Texas TI4100-Empfängern beobachtet wurde. Dabei wurde eine Übereinstimmung mit ED 79 von 5×10^{-7} erzielt (Kirchner u. a. 1987).

Ende Juni 1987 konnten wir das Testnetz „Neue Welt“ der Abteilung Landesvermessung an der „Hohen Wand“ beobachten. Die Universität der Bundeswehr München, Institut für Geodäsie, stellte zwei WM101-Empfänger zur Verfügung, sodaß insgesamt drei Geräte eingesetzt werden konnten.

2. Zielsetzung der GPS-Kampagne „Neue Welt“

Um neue Methoden und Meßmittel — wie GPS — zuverlässig in der Praxis verwenden zu können, benötigt man reiche Erfahrungen im Einsatz der Meßgeräte und in der Auswertung der Meßdaten.

Die Teilnahme an GPS-Kampagnen im In- und Ausland sollen dazu dienen, die Zuverlässigkeit der Empfänger bei verschiedenen, mitunter auch extremen Umweltbedingungen zu testen und mit Hilfe des gesammelten Datenmaterials Untersuchungen über die Qualität der Messungen anzustellen.

Der Einsatz in exakt bestimmten Testnetzen mit stabiler Punktvermarkung wie in der „Neuen Welt“ erlaubt Aussagen und Untersuchungen über folgende Probleme:

- Absolut erreichbare Genauigkeiten durch Vergleich mit den auf konventionelle Weise bestimmten Koordinaten
- Innere Genauigkeit der GPS-Beobachtungen durch Vergleich von Messungen an verschiedenen Tagen, zu verschiedenen Jahreszeiten, etc.
- Untersuchungen über die notwendige Meßzeit, Anzahl von beobachteten Satelliten, etc.
- Einfluß von störenden Objekten wie Sendeanlagen, Gebüschgruppen und ähnliches
- Untersuchung von verschiedenen troposphärischen und ionosphärischen Modellen sowie deren Auswirkungen auf die erreichte Genauigkeit.

Die Messungen in der „Neuen Welt“ sollten nun dazu beitragen, die angesprochenen Probleme zu untersuchen und zu analysieren.

3. Das Testnetz „Neue Welt“

Das Testnetz „Neue Welt“ (Abb. 1) ist ein vom Institut für Landesvermessung der TU Wien unter Leitung seines Vorstandes o. Univ.-Prof. Dr. H. Schmid konzipiertes lokales Präzisionsnetz, das in den Jahren 1971–1973 mit besonderer Sorgfalt erkundet und mit hohem Aufwand dauerhaft vermarktet wurde (*Bruckmüller u. Korschineck, 1979*).

Das 40 km südlich von Wien am Rande des Wiener Beckens gelegene Netz spannt sich von der Kante der steil abfallenden „Hohen Wand“ (H ~ 900 m) hinab in das Becken der „Neuen Welt“ (H ~ 400 m), wo sich eine 3,2 km lange Basis befindet, die bei der Nullmessung klassisch mit Invardrähten ausgemessen worden ist und seither regelmäßig mit geeigneten EDM-Geräten überprüft wird.

Die Punkte Basisanfang (BA), Basisende (BE), Wandeck (WE) und Hubertushaus (HU) sind durch massive Pfeiler stabilisiert. Nur die Punkte Zwischenpunkt (ZP) und Sonnenuhrfelsen (SU) sowie der erst in der letzten terrestrischen Meßkampagne hinzugekommene Punkt Felbring (FE) sind als Bodenpunkte vermarktet und erfordern somit Stativaufstellungen. Das Testnetz „Neue Welt“ wird wiederholt im Rahmen der Feldübungen zur Landesvermessung mit hohem Überbestimmungsgrad ($n = 80$, $u = 20$, $r = 60$) ausgemessen (Richtungen, Strecken, gegenseitige Zenitdistanzen, Präzisionsnivellements). Die zum Vergleich mit den GPS-Messungen herangezogenen Koordinaten entstammen einem Lagenetz ausgleich der Meßdaten 1985 bei festgehaltener Basis (Tab. 1). Die entsprechenden Punkthöhen sind entweder aus den unmittelbaren Ergebnissen von Präzisionsnivellements oder aus nicht lotabweichungskorrigierten trigonometrischen Höhenmessungen abgeleitet.

Vom höchsten Punkt der Konfiguration (Hubertushaus, 925 m) liegen auch ausgehende Meßreihen einer 24 km langen Strecke zum Kaltenberg (862 m) im Raume Wiener Neustadt vor. Die Messungen erfolgten über vier Stunden hinweg mit einem Wild DI60 (Mikrowelle) und wurden unter Verwendung von meteorologischen Daten aus Ballonsondenaufstiegen in der Mitte der Strecke reduziert.

Der Meßpunkt Hubertushaus gehört auch einer unabhängigen vertikalen Netzkonfiguration, dem „Vertikalen Viereck Hohe Wand“ (*Wunderlich, 1985*) an. In diesem Netz sind die

Raumdistanzen besonders genau bekannt. Leider sind die beiden Talpunkte durch Bautätigkeit und Feldrainverlegung verloren gegangen, sodaß ein Vergleich der GPS-Ergebnisse nur mit der Verbindung der beiden Gipfelpunkte (Hubertushaus – Kinberg, Höhendifferenz 280 m) möglich gewesen ist.

Pkt.	y'	x'	H
BA	5000.000	5000.000	378.879
BE	8191.870	5000.000	383.514
ZP	6487.963	5000.010	359.537
FE	8465.322	6621.576	547.549
HU	3059.260	7964.426	925.894
SU	5469.678	7959.027	867.822
WE	8595.297	7507.983	839.987

Tabelle 1
Lokale Koordinaten des Testnetzes „Neue Welt“

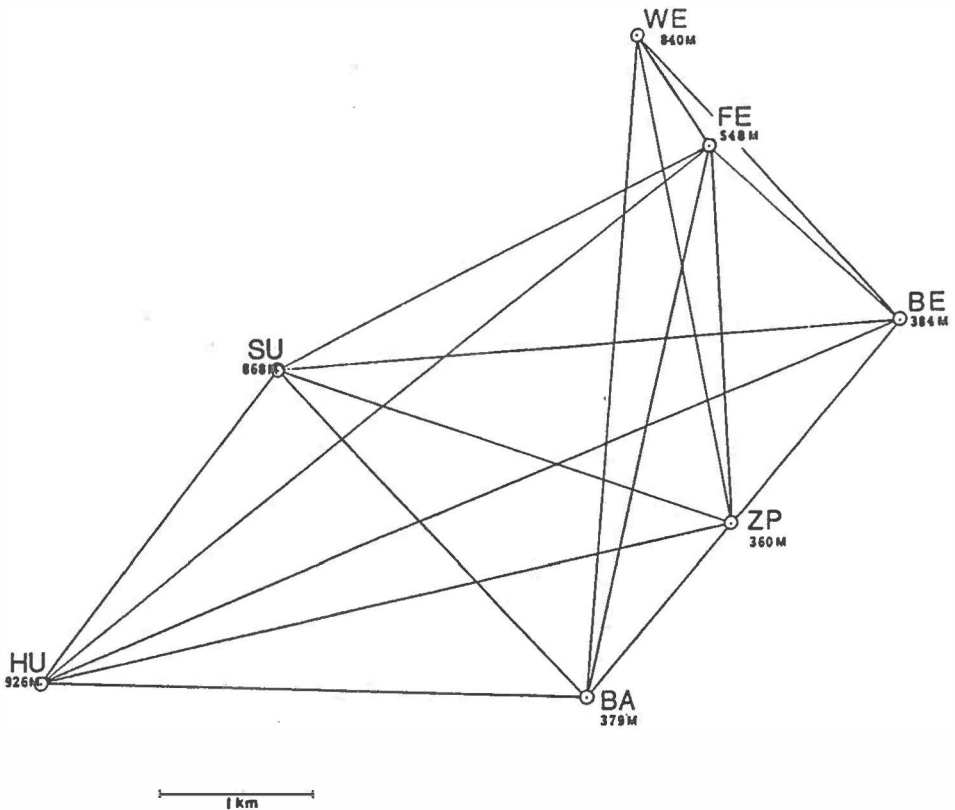


Abb. 1
Netzskizze „Neue Welt“

4. Beobachtungsplan und Meßeinsatz

Der Termin der Meßkampagne vom 22. bis 24. Juni 1987 ermöglichte eine Beobachtung tagsüber im Zeitraum zwischen 12:00 und 17:30. Während dieser Zeitspanne konnten die Satelliten 3, 6, 9, 11, 12 und 13 verfolgt werden (Abb. 2).

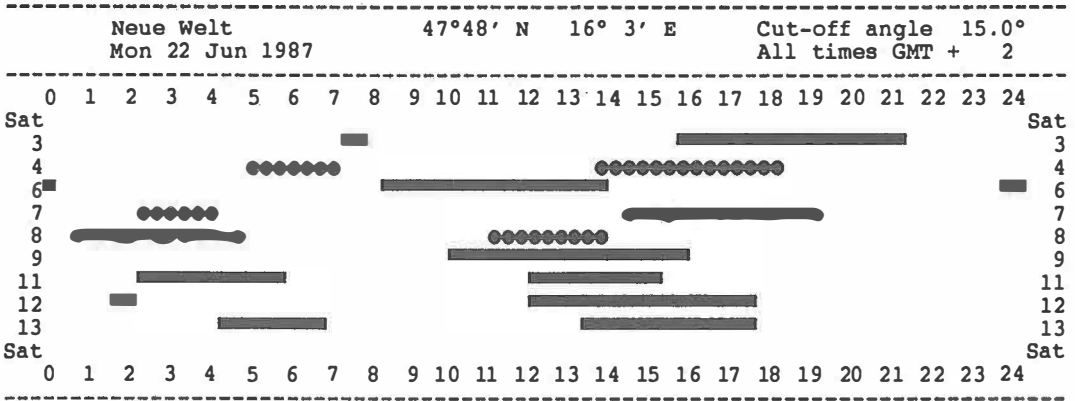


Abb. 2
Sichtbarkeit der GPS-Satelliten

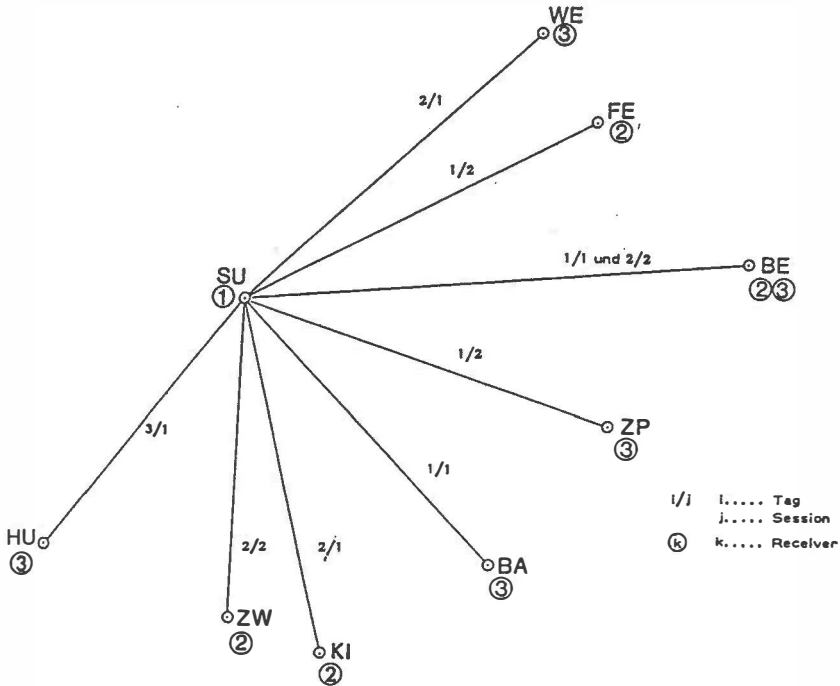


Abb. 3
Beobachtungsplan

Die kurzen Distanzen innerhalb des Testnetzes an der „Hohen Wand“ erlaubten zumeist ein rasches Umsetzen der Empfänger, sodaß pro Beobachtungsfenster und Receiver zwei Stationen eingemessen werden konnten.

Als Zentralpunkt, der ständig besetzt war, wurde die Station Sonnenuhrfelsen gewählt. Dieser Punkt liegt einigermaßen zentral innerhalb des Netzes, ist leicht zugänglich und zudem frei von Sichthindernissen über einem Höhenwinkel von 15° . Eine Störung der Satellitensignale durch Reflexionen und Abschattung war also nicht zu erwarten.

Der Empfänger 2 beobachtete am ersten Tag zunächst vom Basisendpunkt aus und wechselte nach zwei Stunden zur Station Felbring, während der Receiver 3 die Punkte Basisanfang und Zwischenpunkt besetzte. Am zweiten Tag stand der Empfänger 2 am Kienberg und in Zweiersdorf, Empfänger 3 wurde während der ersten Beobachtungssession am Wanddeck und dann abermals am Basisendpunkt eingesetzt. Am dritten Tag wurde das Dreieck Sonnenuhrfelsen – Hubertushaus – Kaltenberg gemessen. Ein Umsetzen der Receiver kam nicht in Frage, da die Station nur sehr schwer zugänglich ist und der Punkt Kaltenberg sehr weit vom Testnetz entfernt liegt.

5. Auswertung und Beurteilung der Ergebnisse

Die auf den Datenkassetten der WM-Receiver in Minutenintervallen aufgezeichneten Phasen- und Pseudorangemessungen sowie die von den Empfängern decodierten Broadcastephemeris wurden mit Hilfe der PoPs in einen IBM-kompatiblen PC übertragen. Ein spezielles Transferprogramm des Berner Pakets ermöglicht das Umcodieren dieser Daten in das für die Weiterverarbeitung notwendige ASCII-Format. Die Vernetzung der Institutsrechner mit dem Rechenzentrum der TU Wien ermöglicht die Übertragung dieser Datenfiles auf den Großrechner NAS AS/9160 und deren Weiterverarbeitung mit der Berner Software.

Zur Auswertung wurden alle simultan beobachteten Phasenmessungen über einer Elevation von 20° herangezogen. Der Vergleich mit den terrestrischen Koordinaten bezieht sich auf eine GPS-Ausgleichung, bei der die troposphärischen Einflüsse mit Hilfe des Modells von *Essen* und *Froome* korrigiert wurden.

Die Ergebnisse der GPS-Auswertungen sind Koordinatendifferenzen (ΔX , ΔY , ΔZ), bezogen auf das erdfeste, geozentrische Koordinatensystem WGS 84 (World Geodetic System 1984). Mit der Zuweisung genäherter geozentrischer Koordinaten (X , Y , Z) an einen der Beobachtungspunkte (in diesem Fall an die Hauptstation der Kampagne: Sonnenuhrfelsen) erhalten dann alle weiteren Stationen geozentrische Koordinaten durch entsprechende Addition der räumlichen Vektorkomponenten (ΔX , ΔY , ΔZ). Die Koordinaten (X , Y , Z) der Hauptstation können entweder aus der geräteeigenen Navigationslösung (Pseudobogenschnitt) gewonnen werden oder aus den Koordinaten (x , y , H) im Landessystem durch geeignete Transformation berechnet werden (siehe Abb. 4).

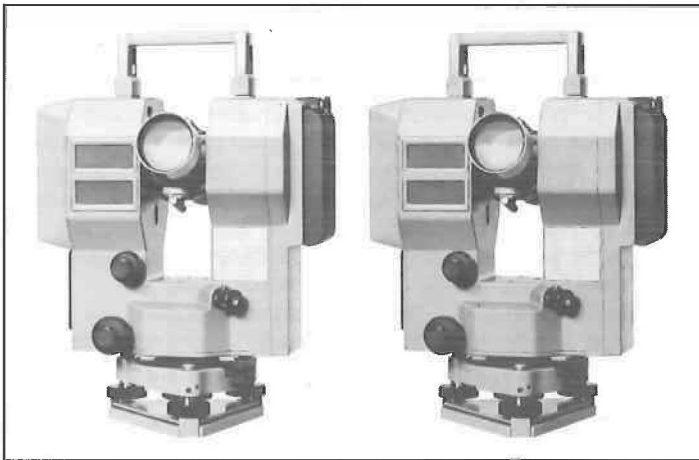
Im Testnetz wurden für die sieben zu bestimmenden Raumvektoren 2228 Beobachtungen verwendet, wobei die Standardabweichung einer beobachteten Single-difference bei 6,4 mm lag. Die errechneten geozentrischen Koordinaten weisen mittlere Fehler von maximal 18 mm auf, im Schnitt liegen sie bei 3 mm (Tab. 2). Von den 22 zu bestimmenden Ambiguitäten konnten 20 gelöst werden. Die im Punkt Wanddeck auftretenden großen Unsicherheiten sind auf die Tatsache zurückzuführen, daß nur zwei der vier Ambiguitäten des Raumvektors SU – WE gelöst werden konnten.

Eine erste Beurteilung der erzielten Meßergebnisse ist durch den Vergleich der Invarianten beider Systeme (GPS-Lösung, terrestrische Lösung), der Raumstrecken, möglich (Tab. 3).

Unter Bedachtnahme auf die Standardabweichung der Koordinaten ($\sigma_x, \sigma_y \leq \pm 10$ mm) und der Höhen ($\sigma_H \pm 7$ mm) der terrestrischen Lösung liegen die Differenzen zur GPS-Lösung durchaus im Bereich der vom Hersteller angegebenen relativen Lagegenauigkeit von ($\sigma \pm 10$ mm + 2 ppm). Besonders markant ist die Übereinstimmung bei der Basis „Neue Welt“

BAUREIHE E. Die neuen Elektronischen von Carl Zeiss.

Elektronische Tachymeter



Zeiss Elta 4 – das elektronische Tachymeter für die täglichen Meßprobleme. Damit die Vermessung bequemer und zuverlässiger wird.

Zeiss Elta 3 – das intelligente Tachymeter mit automatischer Fehlerkompensation. Damit Genauigkeit und Anwendung optimiert werden.

Zeiss Baureihe E – die modernen Vermessungsinstrumente, in denen sich die Flexibilität und der Komfort der Elektronik in idealer Weise mit der Zuverlässigkeit und dem Preis der klassischen Instrumente verbinden.



**BAU-
REIHE E**

Zeiss Österreich
Ges.m.b.H.
A-1096 Wien,
Rooseveltplatz 2,
Tel. 02 22/42 36 01

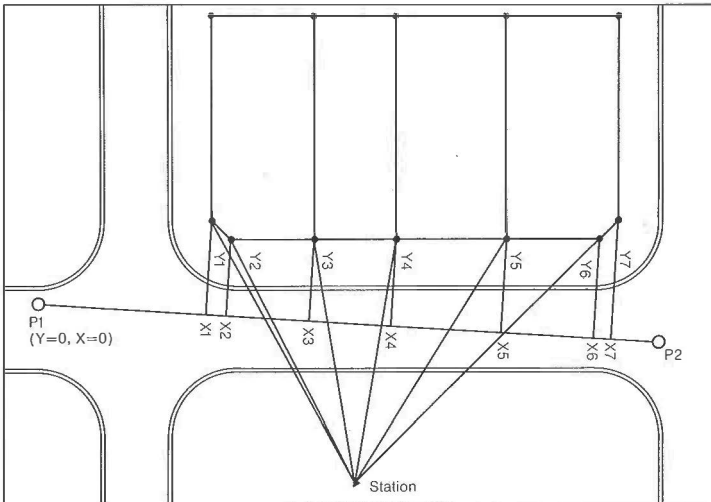
Coupon

- Senden Sie uns bitte ausführliche Informationen über das Zeiss Elta 4/ Elta 3
- allgemeine Informationen über das Zeiss System für das Vermessungswesen

Anschrift:



Elta 3, Elta 4 – Die intelligenten elektronischen Tachymeter für die effektive Lösung Ihrer täglichen Meßprobleme



Die Orthogonalaufnahme nach der Polarmethode bei freier Wahl des Standpunktes ohne Behinderung durch den Straßenverkehr ist eine von vielen praxisorientierten Anwendungsmöglichkeiten:

Das Verfahren

Festlegung der Bezugsgerade (z.B. Polygonseite) durch Winkel- und Streckenmessung zu den Punkten P1 und P2. Der Bezugspunkt P1 ist definiert als Nullpunkt eines örtlichen Koordinatensystems, die Richtung P1–P2 als Nordrichtung dieses Systems. Nach Winkel- und Streckenmessung zu den Zielpunkten (1–7) werden die Koordinaten Y, X, Z dieser Punkte bestimmt.

Die Vorteile

Die Rechenfunktion ermöglicht die freie Wahl des Standpunktes im Hinblick auf optimale Meß- und Sichtbedingungen ohne jede Behinderung durch den Straßenverkehr. Das Meßverfahren führt im Vergleich zu konventionellen Methoden in der praktischen Anwendung zu einer erheblichen Zeit- und Kostenersparnis.

Die Anwendung


Das Spektrum der Anwendungsmöglichkeiten reicht von der Orthogonalaufnahme auf Polygonseiten, Messungslinien, Versorgungsleitungen, Straßenachsen, Profilaufnahmen bis hin zur Absteckung und Wiederherstellung von Punkten.



Zeiss Österreich
Ges.m.b.H.
A-1096 Wien,
Rooseveltplatz 2,
Tel. 02 22/423601

Senden Sie uns bitte ausführliche Informationen über das Zeiss Elta 3/Elta 4

allgemeine Informationen über das Zeiss System für das Vermessungswesen

 Anschrift:

	Standardabweichung der berechneten Koordinaten (mm)		
	σ_x	σ_y	σ_z
BA	3	1	1
BE	2	2	2
ZP	1	1	1
FE	1	1	1
WE	18	8	9
HU	1	1	1

Tabelle 2
Standardabweichung der GPS-Lösung

Pkt.	BE	ZP	FE	HU	SZ	WE	
BA	3192.064	1488.175	3829.953	3585.539	3035.994	4408.223	terr.
	3192.060	1488.183	3829.962	3585.546	3035.985	4408.190	GPS
	0.004	-0.008	-0.009	-0.007	0.009	0.033	Δ
BE		1704.175	1652.751	5952.554	4050.172	2581.150	terr.
		1704.163	1652.766	5952.558	4050.173	2581.114	GPS
		0.012	-0.015	-0.004	-0.001	0.036	Δ
ZP			2564.313	4568.224	3170.635	3311.138	terr.
			2564.310	4568.228	3170.622	3311.087	GPS
			0.003	-0.004	0.013	0.051	Δ
FE				5583.822	3296.608	942.500	terr.
				5583.831	3296.616	942.488	GPS
				-0.009	-0.008	0.012	Δ
HU					2411.462	5556.255	terr.
					2411.456	5556.236	GPS
					0.006	0.019	Δ
SU						3158.541	terr.
						3158.527	GPS
						0.014	Δ

Tabelle 3
Vergleich der Raumstrecken (terrestrisch – GPS)

(BA – BE = 3,2 km, Δ = 4 mm), deren Länge durch mühsame und langwierige Invardrahtmessung terrestrisch mit einer Genauigkeit von $\pm 3,3$ mm bestimmt ist. Nennenswerte Differenzen treten nur bei den Strecken zum Punkt Wandeck auf. Die Beurteilung dieser Abweichungen ist nicht unproblematisch, liegen doch zwei von ihnen in terrestrisch wegen der Topographie nicht meßbaren Netzverbindungen (HU – WE, SU – WE). Ein Blick auf die Netzübersicht (Abb. 1) zeigt sofort die im Hinblick auf die Bestimmung des Punktes Wandeck bestehende Schwäche der Netzkonfiguration. Trotzdem dürfte der Hauptanteil der Differenzen auf Signalstörungen durch die direkt hinter der Station WE befindliche große Senderanlage zurückgehen (siehe 6.), also der GPS-Lösung anzulasten sein. Jedenfalls darf die durchschnittliche Differenz von 7,4 mm optimistisch stimmen.

Zur weiteren, komponentenweisen Beurteilung der Ergebnisse müssen die zu vergleichenden Koordinaten (x' , y' , H) genähert in das System WGS 84 gebracht werden. Dies geschieht durch eine Folge von Koordinatentransformationen (Abb. 4), bei denen die innere Geometrie des Netzes erhalten bleiben muß.

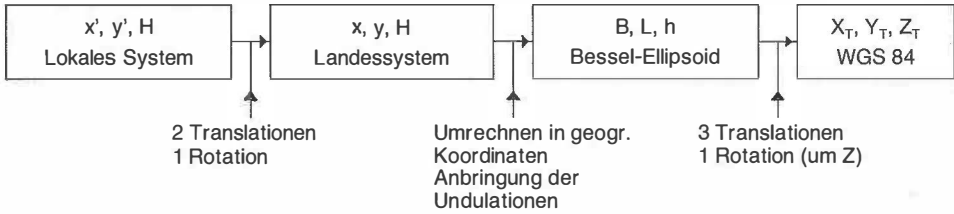


Abb. 4
Überführung der lokalen Koordinaten in das WGS 84

Zuerst müssen die lokalen Koordinaten (x', y') durch eine ebene orthogonale Transformation (zwei Translationen, eine Rotation) in das österreichische Gebrauchskordinatensystem gebracht werden. Dazu wurden zwei Festpunkte (KT Kienberg, KT Größenberg) von jeweils zwei Netzpunkten aus angeschlossen. Die so gewonnenen Landeskoordinaten (x, y) werden nun gemeinsam mit den Meereshöhen H unter Anbringung eines einheitlichen Undulationswertes von $N = 0,75$ m aus der Karte (Erker, 1984) in auf das Bessel-Ellipsoid bezogene Koordinaten (B, L, h) umgerechnet. Die signifikanten Parameter für die räumliche Transformation der auf das Datum des österreichischen Gebrauchsnetzes bezogenen Werte (B, L, h) in das Datum WGS 84 der vom WM101 empfangenen Broadcastephemeris sind aus der DÖDOC-Kampagne (Rinner u. Pesec, 1981) bekannt (drei Translationen, eine Rotation um die Z-Achse). Da diese Parameter wegen der begrenzten Ausdehnung Österreichs nur unscharf bestimmt sind, hat als letzter Schritt eine überbestimmte räumliche Helmert-Transformation (Siebenparameter) zu erfolgen, bei der das GPS-Raumnetz der genähert transformierten terrestrischen Lösung unter der Bedingung minimaler Restklaffungen angepaßt wird. Die dabei anfallenden differentiellen Transformationsparameter sind natürlich wegen des kleinen Operationsgebietes keinesfalls signifikant. Tabelle 4 zeigt die verbliebenen Restklaffungen, bezogen auf ein lokales, nordorientiertes System.

Transformation GPS-Lösung auf terrestrische Koordinaten
Restklaffungen der Siebenparametertransformation

	x (mm)	y (mm)	h (mm)
BA	- 2	0	10
BE	12	3	9
ZP	-11	-2	- 4
FE	- 7	0	7
HU	- 1	-4	- 6
SU	10	4	3

Anzahl der Parameter: 7
 Anzahl der Koordinatenkomponenten: 18
 Standardabweichung der Transformation: 8,3 mm
 Rotation um X-Achse: $7''.45 \pm 0''.41$
 Y-Achse: $2''.47 \pm 0''.60$
 Z-Achse: $4''.83 \pm 0''.31$
 Maßstabsfaktor: $-2.69 \text{ mm/km} \pm 1.47 \text{ mm/km}$

Tabelle 4
Klaffungen zwischen terrestrischer und GPS-Lösung

Eine Einschaltung des Punktes Wandeck führt zu einer wesentlichen Verschlechterung der Transformation. Der Fehler steigt von 8,3 mm auf 38 mm. Diese Tatsache beweist eindeutig die Schwäche der GPS-Lösung auf diesem Punkt infolge der Signalstörung. Andererseits zeigt die hervorragende Übereinstimmung der übrigen sechs Netzkpunkte mit den terrestrischen Koordinaten die hohe Qualität der GPS-Beobachtungen bei einwandfreier Punktauswahl. Die ellipsoidischen Höhenunterschiede lassen sich mit gleicher Genauigkeit wie die Lagekomponenten ermitteln.

Die Auswertung des Raumvektors Hubertushaus – Kienberg im „Vertikalen Viereck“ zeigt ähnlich gute Ergebnisse. Der durch astronomisches Nivellement und Präzisionsnivellement in diesem Profil sehr gut bekannte ellipsoidische Höhenunterschied ($\sigma = \pm 8$ mm) weicht von der GPS-Lösung nur um 19 mm ab.

$$\begin{aligned} \text{Terrestrisch: } \Delta h (\text{HU} - \text{KI}) &= -283.314 \text{ m} \\ \text{GPS: } \Delta h (\text{HU} - \text{KI}) &= -283.295 \text{ m} \end{aligned}$$

Die zwischen den beiden Punkten aus zahlreichen Tellurometer- und Mekometermessungen hochgenau ($\sigma = \pm 1$ mm) bekannte Raumstrecke zeigt gegenüber dem WM 101-Resultat gar nur 3 mm Abweichung.

$$\begin{aligned} \text{Terrestrisch: } d (\text{HU} - \text{KI}) &= 2319.273 \text{ m} \\ \text{GPS: } d (\text{HU} - \text{KI}) &= 2319.270 \text{ m} \end{aligned}$$

Der Vergleich der sondenreduzierten Mikrowellenmessungen auf der Langstrecke Hubertushaus – Kaltenberg mit dem GPS-Ergebnis erbringt eine Klaffung von $\Delta = -3,9$ cm, die wohl auf ionosphärische Laufzeitfehler zurückzuführen ist.

$$\begin{aligned} \text{Terrestrisch: } d (\text{HU} - \text{KA}) &= 24328.657 \text{ m} \\ \text{GPS: } d (\text{HU} - \text{KA}) &= 24328.696 \text{ m} \end{aligned}$$

Vergleich von troposphärischen Modellen

Mit der Berner Software können verschiedene atmosphärische Modelle zur Korrektur der troposphärischen Laufzeitverzögerung angewendet werden. Eine genaue Beschreibung dieser Modelle wird in (Rothacher u. a., 1986) gegeben. Im Testnetz der Neuen Welt wurden nun Modellrechnungen mit anschließenden Transformationen auf die Netzkpunkte SU, HU, FE, BA, BE, ZP angestellt. Die Vernachlässigung der atmosphärischen Parameter führt zu absolut unbrauchbaren Ergebnissen; die verschiedenen Modelle untereinander weisen nur geringe Abweichungen auf.

Standardabweichung einer beobachteten Single-difference (mm)

kein Modell	Saastamoinen	Remondi	Davidson	Essen + Froome
12.0	6.4	6.4	7.0	6.4

Standardabweichung der Transformation (mm)

kein Modell	Saastamoinen	Remondi	Davidson	Essen + Froome
129.0	8.3	8.3	10.0	7.5

Maßstabsfaktor der Transformation (ppm)

kein Modell	Saastamoinen	Remondi	Davidson	Essen + Froome
-3.72	-4.71	-5.07	-6.24	-5.68

Tabelle 5
Vergleich verschiedener Troposphärenmodelle

Die verwendeten meteorologischen Daten wurden aus einer Standardatmosphäre extrapoliert. Der Einfluß der Ionosphäre wurde mit Hilfe eines einfachen Modells erfaßt, wodurch die Fehler der Transformation zwar kleiner werden, andererseits aber ein signifikanter Maßstabsfaktor bewirkt wird. Eine Verarbeitung von tatsächlich beobachteten meteorologischen Werten ist nicht zielführend. Die an den Antennenstandpunkten gemessenen Temperatur-, Luftdruck- und Feuchtigkeitswerte sind sicherlich nicht repräsentativ und erlauben keine Aussage über den Zustand der Troposphäre. Diese Messungen sind sicherlich überflüssig.

6. Probleme bei der Beobachtung und der Auswertung

Die drei eingesetzten Empfänger arbeiteten selbst bei extrem ungünstigen Witterungsverhältnissen wie Dauerregen und Sturm einwandfrei, wodurch die absolute Feldtauglichkeit des Geräts eindrucksvoll unter Beweis gestellt werden konnte. Lediglich eine verwendete Datenkassette erwies sich als fehlerhaft; die abgespeicherten Beobachtungen konnten aber in Heerbrugg von der Fa. Wild mit einem Spezialprogramm gelesen werden.

Die Messungen waren auf zwei Stationen problematisch: Wandeck und Basisende. Beim Punkt Wandeck stört eine große Senderantenne für das Kabel-TV in 25 m Entfernung die empfangenen Satellitensignale. Auf diese Weise entstehen Reflexionen (sogenannter „multipath“), die die GPS-Ergebnisse signifikant verschlechtern, wobei keinerlei augenfällige Fehler bei den Berechnungen auftreten. Eine Elimination des Satelliten 6, dessen Azimut in die Richtung zum störenden Sender weist, bewirkt bereits eine eindeutige Verbesserung des Ergebnisses.

Strecke SU – WE	σ einer Beobachtung	Differenz
Terrestrisch: 3158.541 m		
GPS m. Sat. 6: 3158.230 m	8.4 mm	-31.1 cm
GPS o. Sat. 6: 3158.527 m	8.6 mm	1.4 cm

Beim Punkt Basisende konnte am ersten Tag ein ähnliches Phänomen festgestellt werden. Hier störte bei starkem Regen eine Gebüschreihe die Messungen. Ebenso wie bei der Station Wandeck konnte auch hier eine Elimination des entsprechenden Satelliten das Ergebnis wesentlich verbessern. Eine Nachmessung am zweiten Tag bei trockenen Witterungsverhältnissen ergab für alle beobachteten Daten an diesem Punkt einwandfreie Ergebnisse.

7. Zusammenfassung

Die Meßkampagne bewies einwandfrei die Zuverlässigkeit und Funktionstüchtigkeit des Global Positioning System. Folgende Schlußfolgerungen können einwandfrei aufgrund der gesammelten Erfahrungen gezogen werden:

- Bei der Punktauswahl ist größter Wert auf eine störungsfreie Umgebung im Umkreis der Antennen zu legen. Standpunkte in der Nähe von Senderanlagen sind absolut zu vermeiden. Vor allem bei feuchter Witterung können auch Gebüschgruppen oder nasse Wiesen fehlerhafte Ergebnisse liefern.

- Bei überlegter Punktauswahl kann die vom Gerätehersteller garantierte Meßgenauigkeit von 1 cm + 2 ppm innerhalb einer Stunde Beobachtungszeit erreicht werden.

- Die Höhenkomponente kann mit gleicher Genauigkeit wie die Lagekoordinaten ermittelt werden. Eine gute Kenntnis des Geoids ermöglicht die Umrechnung der ellipsoidischen Höhen in physikalisch sinnvolle Höhensysteme.

- Die beiden am Institut installierten Softwaresysteme arbeiten fehlerfrei und liefern idente Ergebnisse.

- Mit drei Empfängern kann bei entsprechend sorgfältiger Planung ein lokales Netz mit bis zu zwölf Punkten bereits heute bei der beschränkten Satellitenkonfiguration in drei Tagen

mit einer Relativgenauigkeit von 1 ppm ein gemessen werden. Eine Sichtverbindung zwischen den Punkten ist dabei nicht notwendig!

Zukünftige Meßeinsätze in der „Neuen Welt“ sollen weitere Aufschlüsse über Wiederholgenauigkeit, atmosphärische Einflüsse und sonstige Fehlerquellen bei GPS-Beobachtungen liefern.

8. Dank

Die Durchführung der Meßkampagne wurde erst ermöglicht durch die kostenlose Beistellung von zwei WM 101-Receivern der Universität der Bundeswehr München, Institut für Geodäsie, Vorstand Prof. A. Schödlbauer. Das Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen unterstützte den Meßeinsatz durch Beistellung eines Fahrzeuges. Beiden Institutionen sei an dieser Stelle für die gewährten Hilfestellungen aufrichtig gedankt. Den Herrn Dipl.-Ing. W. Klöcker, Universität der Bundeswehr München, Dipl.-Ing. H. Stanek, Abteilung f. Landesvermessung, TU Wien, und Dipl.-Ing. R. Weber, Institut f. Theoretische Geodäsie, TU Wien, sei herzlich für ihren persönlichen Einsatz während der Meßkampagne und der Aufbereitung der terrestrischen Koordinaten gedankt.

Literatur

Gurtner 1985: Gurtner, W., Beutler G., Bauersima, I., Schildknecht, T.: Evaluation of GPS Carrier Difference Observations: The Bernese Second Generation Softwarepackage. Proc. of 1st Int. Symp. on Precise Positioning with GPS, Rockville 1985

Frei 1986: Frei, E., Gough, R., Brunner, F.: PoPS — A New Generation of GPS Post-Processing Software. Proc. of 4th Int. Geodetic Symp. on Satellite Positioning, Austin 1986

Schödlbauer 1987: Schödlbauer, A., Glasmacher, H., Krack, K.: Vergleichsmessungen im Global Positioning System mit verschiedenen Empfängertypen. AVN 9/87

Kirchner 1987: Kirchner, G., Pesec, P., Stangl, G., Hoffmann-Wellenhof, B., Kahmen, H., Lichtenegger, H., Schwarz, J., Sünkel, H.: Information on Current Laser- and GPS-TI 4100 Activities in Austria. Presented Paper at 19th General Assembly of IUGG, Vancouver 1987

Bruckmüller 1979: Bruckmüller, R., Korschineck, E.: Testnetz Neue Welt. Geowissenschaftliche Mitteilungen Nr. 15, TU Wien, 1979

Wunderlich 1985: Wunderlich, T.: Die voraussetzungsfree Bestimmung von Refraktionswinkeln. Geowissenschaftliche Mitteilungen Nr. 26, TU Wien, 1985

Rinner 1981: Rinner, K., Pesec, P.: Über die Ergebnisse im österreichischen Anteil von DÖDOC. ÖZ 1981, S. 91–112

Erker 1984: Erker, E.: Lokale Geoidbestimmung und Lotabweichungsfeld in Österreich. ÖZ 1984, S. 10–24

Rothacher 1986: Rothacher, M., Gurtner, W., Beutler, G., Geiger, A., Kahle, H., Schneider, D.: The 1985 Swiss GPS-Campaign. Proc. of 4th Int. Geodetic Symp. on Satellite Positioning, Austin 1986

Manuskript eingelangt im September 1987.