



Das GPS-Grundnetz AREF-1. Auswertestrategie, Modellbildung und Kombination

Robert Weber ¹, Stefan Klotz ²

¹ *Abteilung Theoretische Geodäsie, Technische Universität Wien, Gußhausstraße 27-29, A-1040 Wien*

² *Abteilung Theoretische Geodäsie, Technische Universität Wien, Gußhausstraße 27-29, A-1040 Wien*

VGI – Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation **86** (2), S. 84–91

1998

BibT_EX:

```
@ARTICLE{Weber_VGI_199812,  
  Title = {Das GPS-Grundnetz AREF-1. Auswertestrategie, Modellbildung und  
          Kombination},  
  Author = {Weber, Robert and Klotz, Stefan},  
  Journal = {VGI -- {"0}sterreichische Zeitschrift f{"u}r Vermessung und  
            Geoinformation},  
  Pages = {84--91},  
  Number = {2},  
  Year = {1998},  
  Volume = {86}  
}
```



Literatur

- [1] Beutler G, Mueller I., Neilan R., Weber R. (1994): „IGS - Der Internationale GPS Dienst für Geodynamik“; Zeitschrift f. Vermessungswesen, Heft 5, 1994, Wittwer-Verlag, Stuttgart.
- [2] Boucher C., Altamimi Z. (1993): „Specifications for Reference Frame Fixing in the Analyses of a EUREF GPS campaign“; Bayr.Komm., Band 56, pp 265–269, München.
- [3] Döllner H. (1996): „Das GPS-Grundnetz AREF-1, Meßkonzept“ Unveröffentlichtes Manuskript
- [4] Pesec P., Sünkel H., Erker E., Imrek E., Stangl G. (1997): „Das Österreichische Geodynamische Bezugssystem AGREF, Realisierung und Ergebnisse“; Sonderausgabe d. Instituts f. Weltraumforschung d. Österr. Akademie der Wissenschaften, Abt. Satellitengeodäsie, Graz.
- [5] Rothacher M., Mervart L. (1996): „Bernese GPS Software, Version 4.0“; Astronomisches Institut, Universität Bern.
- [6] Weber R., Walter G., Klotz St. (1995): „GPS-relevante Koordinatensysteme und deren Bezug zum Österreichischen Festpunktfeld“; Österr. Zeitschrift f. Vermessung u. Geoinformation, Heft 4/95, Wien.
- [7] Weber R., Klotz St. (1998): „Das GPS-Grundnetz AREF-1; Auswertestrategie, Modellbildung und Kombination der Einzellösungen“, (im vorliegenden Band).

Anschrift der Autoren:

Univ.-Prof. Dr. Fritz K. Brunner, Abteilung für Ingenieurvermessung und Messtechnik, Technische Universität Graz, Steyrergasse 30, A-8010 Graz.

Dr. Robert Weber, Abteilung Theoretische Geodäsie, Technische Universität Wien, Gußhausstraße 27–29, A-1040 Wien.



Das GPS-Grundnetz AREF-1 Auswertestrategie, Modellbildung und Kombination

Robert Weber und Stefan Klotz, Wien

Zusammenfassung

Im Juni 1996 wurde von der GPS-Netz Ziviltechniker GmbH. (ZT), einem Zusammenschluß von 116 österreichischen Ingenieurkonsulenten für Vermessungswesen, ein landesweites Referenznetz mit einem mittleren Punktabstand von knapp 25 km mittels GPS eingemessen (AREF = Austrian Reference Frame). Die Meßdauer von nur 10 Tagen bei einer Sessionslänge von jeweils 24 Stunden war angesichts der Anzahl von ca. 330 Meßpunkten erstaunlich kurz und dokumentiert sowohl die Einsatzbereitschaft der Beteiligten als auch die gute Logistik bei der Durchführung der Feldarbeiten. Mit der Auswertung der Meßdaten wurden die Abteilung für Theoretische Geodäsie der TU-Wien (ITGG) und die Abteilung Satellitengeodäsie des Instituts für Weltraumforschung (IWFSG) beauftragt. Der vorliegende Artikel beschreibt einen Teil der im Zuge des Projekts am ITGG geleisteten Arbeiten, faßt die Resultate zusammen und endet mit einem Blick auf den praktischen Nutzen, der aus diesem Netzwerk in Zukunft gezogen werden kann.

Abstract

In June 1996 the GPS-Netz Ziviltechniker GmbH. (ZT), an alliance of 116 Austrian engineering consultants, carried out a nationwide survey in order to establish a GPS-network with a mean point to point distance of about 25 km (AREF = Austrian Reference Frame). Despite the large number of about 330 network points to be occupied in 24 hours sessions, the campaign covers a period of only 10 days. This remarkable short duration demonstrates the willingness of the people involved and proves the carefully planned logistics behind the execution of the field work. The department of Theoretical Geodesy (University of Technology Vienna, ITGG) and the Department of Satellite Geodesy (Institute for Space Research, IWFSG) were appointed to serve as analysis centers. This article describes the AREF-related activities carried out at ITGG, summarizes the results and concludes with some remarks concerning the practical use of a network like AREF-1.

1. Testkampagne und Auswertekonzept

In der Zeit vom 22.2.1996–29.2.1996 wurden im Auftrag der GPS-Netz ZT Testmessungen mit GPS-Ausrüstungen verschiedener Hersteller im Raum Wien und Graz durchgeführt. Die Testkampagne sollte einerseits den Nachweis erbringen, daß auch eine Kombination der Meßsysteme verschiedener Hardwarehersteller durchaus die angepeilten Genauigkeitsanforderungen

für AREF-1 erfüllen kann und andererseits die Zweckmäßigkeit verschiedener Auswertestrategien prüfen. Basierend auf den Erfahrungen der Testkampagne wurde im April 1996 am ITGG ein Auswertekonzept für die Hauptkampagne erstellt. Einige der wesentlichen Vorgaben seien hier wiedergegeben, detailliertere Informationen können dem Kapitel 2 entnommen werden.

- a) Das AREF-1 – Netz möge in Präzision und Homogenität den augenblicklichen Stand

der Meß- und Auswertetechnik repräsentieren. Die angestrebte Lagegenauigkeit liegt bei ± 1 cm (σ_1), jene der Höhe bei ± 2 cm (σ_1).

- b) Die Anzahl der hierarchischen Punktebenen ist möglichst gering zu halten. Es wurden daher und unter Berücksichtigung von [5] 3 Ebenen geschaffen:

Ebene A: Globale und regionale IGS-Referenzstationen:

Borowiec, Graz, Hafelekar, Padua, Pecny, Penc, Wettzell, Zimmerwald;

Ebene B: Kampagnenspezifische Permanentstationen (ÖPST):

Heerbrugg, Pfänder, Patscherkofel, Großer Mühlsee, Golling, Hochpyhra, Neunkirchen, Ried, TU-Wien, Oswald, Hutbigl, Sopron;

Ebene C: alle verbleibenden AREF-1 Punkte;

- c) Die Auswertung erfolgt unter Nutzung der aktuellsten Version 4.0 der Berner Software [8].
- d) Von IGS [11] bzw. CODE bereitgestellte Informationen über das Verhalten von Troposphäre und Ionosphäre werden berücksichtigt.

Im nachhinein besehen haben sich diese Vorgaben als zielführend erwiesen und konnten bei der Berechnung weitgehend eingehalten werden. Die Genauigkeitsanforderungen konnten sogar noch etwas übertroffen werden.

2. Berechnungsvorgang

Vor dem eigentlichen Berechnungsvorgang muß konsistente Satellitenbahninformation im Referenzrahmen der Auswertung, sowie die Orientierung dieses Rahmens im inertialen System vorliegen. Zudem ist eine zweckmäßige Einteilung in Sessions zu treffen. Einige dieser Vorarbeiten sind im folgenden knapp beschrieben:

Die AREF-Meßkampagne ließ sich mit Vorteil gemäß dem Aufstellungsplan der GPS-Netz ZT in 7 Einzelsessions aufteilen. Die Dauer von 30 bzw. 36 Stunden umfaßte jeweils einen vollen Aufstellungszyklus der Roverempfänger und nützte zudem den vollen Datenumfang der durchgehend betriebenen Referenzstationen.

Satellitenbahnpunkte im erdfesten geozentrischen System (ITRF93 im Juni 1996) werden vom IGS im genormten SP3 Format für die Dauer von jeweils 24 Stunden angeboten. Die Genauigkeit einer kartesischen Komponente ei-

nes Bahnpunktes kann im Kampagnenzeitraum mit ± 10 cm angenommen werden. Größere Abweichungen (bis zu 50 cm) zwischen den einzelnen Bögen treten an den Tagesgrenzen auf. Aus diesem Grunde wurde pro Session und Satellit ein homogener Bahnbogen mit einem Gültigkeitsbereich von jeweils 48 Stunden auf der Grundlage zweier aufeinanderfolgender IGS-Precise Ephemeris Dateien berechnet. Diese Vorgangsweise ist auf der Basis eines in der Berner Software 4.0 neu implementierten Bahnmodells (Programm ORBGEN) problemlos möglich. Die mittleren Koordinatenabweichungen zum Modell lagen im Regelfall unter 8 cm, für den im Kampagnenzeitraum schwer modellierbaren Satelliten PRN23 bei max. 25 cm. Eine einfache Abschätzung der erzielbaren Genauigkeit für Basislinienlängen von max. 300 km (die im gegenständlichen Projekt auch auftreten) unter den obigen Annahmen über die Bahnfehler liegt im Bereich von ± 2 mm.

Die Transformation zwischen dem inertialen und dem erdfesten Koordinatensystem gelingt im allgemeinen über einen für den Beobachtungszeitraum gültigen Satz von Erdorientierungsparametern (EOP). Dieser besteht aus den beiden Komponenten der Polbewegung, der Erdrotation und den beiden Nutations-Offset Parametern. In unserem Fall sind nur die ersten 3 Größen, also x_{Pol} , y_{Pol} und $dUT1$ von Bedeutung. Diese Daten (konsistent zu den Satellitenbahnen) werden wochenweise ebenfalls vom IGS angeboten. Für AREF-1 wurde eine Poldatei aus den entsprechenden Datensätzen der GPS-Wochen 857 und 858 zusammengestellt.

Die in der AREF-1 Kampagne verwendete Meßausrüstung muß als äußerst heterogen bezeichnet werden. Es standen 5 Empfängertypen renommierter Hersteller (Leica, Trimble, Geotrac, Ashtech und Rogue; geordnet nach der Anzahl der beteiligten Geräte) und 7 verschiedene Antennentypen im Einsatz. Damit kommt der Frage der Modellierung der Antennenphasenzentren entscheidende Bedeutung zu. Es standen vorerst die vom IGS empfohlene Korrekturdatei, sowie eine empirisch aus der Testkampagne bestimmte Tabelle zur Verfügung. Zur besseren Konsistenz der AREF-1 Ergebnisse mit den Resultaten internationaler Kampagnen wurde schließlich das IGS-File weitgehend übernommen. Unterschiede ergaben sich nur für die Leica External Antenne, sowie den Höhenbezug der Geotracer 2200 Antenne. Die zur Auswertung der AREF-Kampagne benutzte Phasenzentrenexzentrizitätsdatei wurde mit PHAS_TU.01 bezeichnet. Sie stellt nach der

Meinung der Verfasser neben den Punktkoordinaten eines der wesentlichsten Ergebnisse der Auswertung dar, welche den Gesellschaftern der GPS-Netz ZT auch in Zukunft die oft unvermeidbare Verwendung diverser Antennentypen im Zuge eines GPS-Projektes erlaubt.

Ebene A – ITRF Bezugsrahmen

Die ITRF-Koordinaten und Geschwindigkeiten der Stationen Borowiec, Graz, Wetzell und Zimmerwald wurden dem Band [3] entnommen und auf die Epoche 1996.45 hochgerechnet. Für die verbleibenden Stationen Hafelekar, Padua, Pecny und Penc wurden mittlere EUREF-Lösungen verwendet, wobei nach Analyse des Datenmaterials schließlich eine Änderung der Längskomponente von Pecny (+12.5 mm) und der Höhenkomponente von Padua (-17.0 mm) vorzunehmen war, um einen homogenen Bezugsrahmen zu schaffen.

Mit Ausnahme der Punkte Hafelekar und Penc standen für alle obengenannten Stationen vom IGS-Analysezentrum CODE berechnete Troposphärenparameter (Zenitkorrekturen relativ zum Modell von Saastamoinen) im 6-Stundenintervall zur Verfügung. Die für Hafelekar und Penc fehlenden Parameter wurden durch Auswertung der Basislinien zu den Stationen Borowiec, Graz, Wetzell und Zimmerwald geschätzt. Hierbei wurden die Koordinaten der Referenzstationen fixiert und die Troposphärenparameter, mit einer erlaubten Standardabweichung zu den apriori Datensätzen von ± 0.010 m für den absoluten (σ_A) und ± 0.003 m für den relativen Fehler (σ_R), in 2-Stundenintervallen neuerlich bestimmt. An den Stationen Hafelekar und Penc wurden die Werte des apriori Saastamoinen Modells mit (σ_A) = ± 0.100 m und (σ_R) = ± 0.003 m gewichtet und die Stationskoordinaten mit einer Standardabweichung von σ_K = ± 0.003 m in den Schätzprozess eingeführt. Durch diese Vorgangsweise konnten für alle Stationen der Ebene A sogenannte Meteorologie-Dateien erzeugt werden, die in den weiteren Berechnungsstufen als Pseudo-Beobachtungen dienten.

Ebene B – ÖPST (Österreichische Permanentstationen)

Die Einrechnung der ÖPST und gleichzuhaltender Punkte erfolgte ausgehend von den Stationen der Ebene A mittels der ionosphärenfreien Linearkombination L3. Die Koordinaten der Stationsebene A fungierten im Gegensatz zur üblichen Praxis ebenfalls als Unbekannte

(zur Lösung des Datumsproblems jedoch mit hohen Gewichten auf den ITRF93-Werten; $\sigma = \pm 0,001$ m). Dies erlaubt zu einem späteren Zeitpunkt auch für die höchste Hierarchie-Stufe die Berechnung einer freien Lösung. Neben den Koordinaten wurden die Troposphärenparameter relativ zu den Stationen der Ebene A in 2-Stundenintervallen geschätzt.

Abbildung 1 zeigt die Struktur dieses übergeordneten Netzwerkes. Die Berechnungen resultierten innerhalb jeder Session in einem Normalgleichungssystem, welches Koordinaten und Troposphärenparameter enthält. Das Lösen dieser Einzelsysteme war für den Rechnungsfortschritt vorerst belanglos, nicht jedoch ihre Kombination. Das schließlich aus 7 Einzelsessionen kombinierte Normalgleichungssystem beinhaltete somit die Koordinatenunbekannten der Ebene A (stark gezwängt) und der Ebene B. Die Troposphärenunbekannten wurden aus Speicherplatzgründen aus dem Gesamtsystem eliminiert. Die Abspeicherung erfolgte sowohl im Format der Berner Software als auch im international genormten SINEX-Format (Solution Independent Exchange Format, V 1.00). Die Lösung dieses Normalgleichungssystems lieferte den Koordinatenrahmen für die Berechnung der untersten Punktebene.

Ebene C – AREF 1 Referenznetz

Abbildung 2 vermittelt einen qualitativen Überblick über Zahl und Verteilung der Punkte des neuen österreichischen GPS-Referenznetzes. AREF-1 besteht in erster Linie aus rund 330 möglichst gleichmäßig im Bundesgebiet verteilten Stationen, die über eine Zeitdauer von zumindest 24 Stunden eingemessen wurden. Der Stationsplan beinhaltet auch weitestgehend eine Nachmessung der ca. 80 in Österreich gelegenen und in den Jahren 1990–1994 erstmalig beobachteten AGREF-Punkte (Austrian Geodynamic Reference Frame; [7]). Die schwache Geometrie des damals noch im Aufbau befindlichen Satellitensystems und Probleme mit unzureichender Hardware ließen jedoch in den vergangenen Jahren geodynamische Untersuchungen, die Lagegenauigkeiten im 1cm Bereich benötigen und eine Aufdeckung von Bewegungsraten von wenigen Millimetern/Jahr fordern, anhand des AGREF Datenmaterials nicht zu. Diese ursprünglichen Zielsetzungen konnten mit AREF-1, neben dessen vorrangiger Bedeutung als GPS-Referenzrahmen für private und staatliche Vermessungsaufgaben, nun ebenfalls verwirklicht werden.



AREF-Punkteinrechnung

IGS-Stationen - Ebene A



- IGS-Station
 - Permanent-Station
 - AREF-Punkt
 - △ AGREF-Punkt
- Session 1
 - Session 2
 - Session 3
 - Session 4
 - Session 5
 - Session 6
 - Session 7

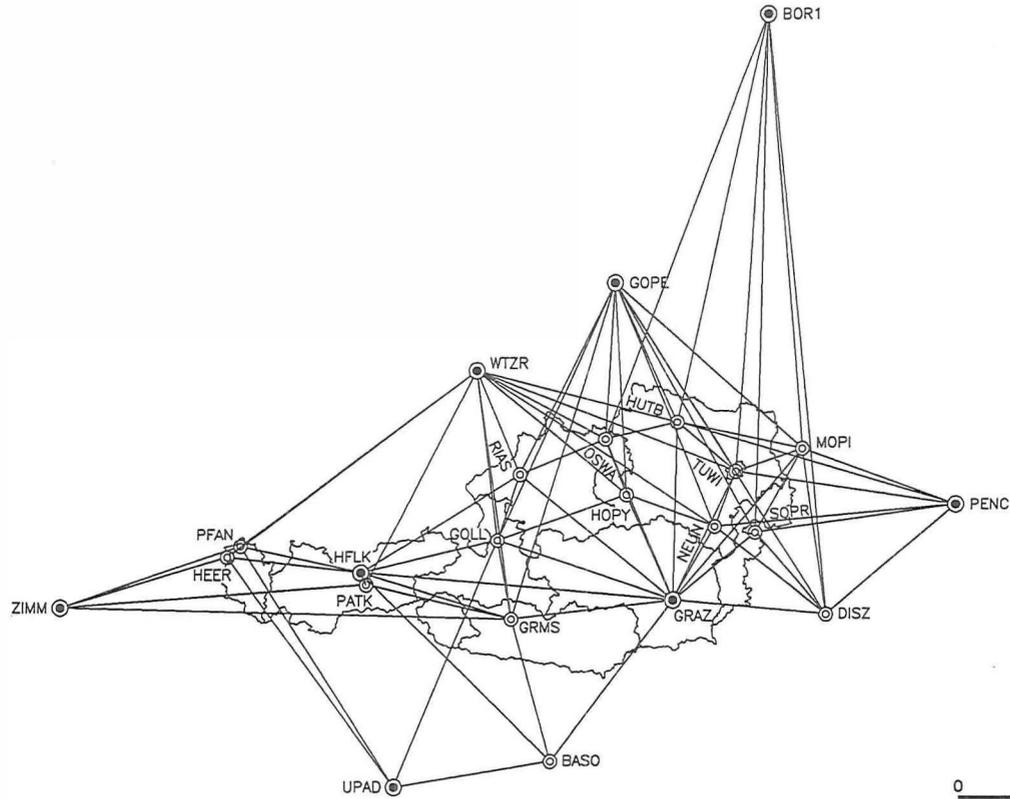


Abb. 1: Struktur des übergeordneten Netzwerkes

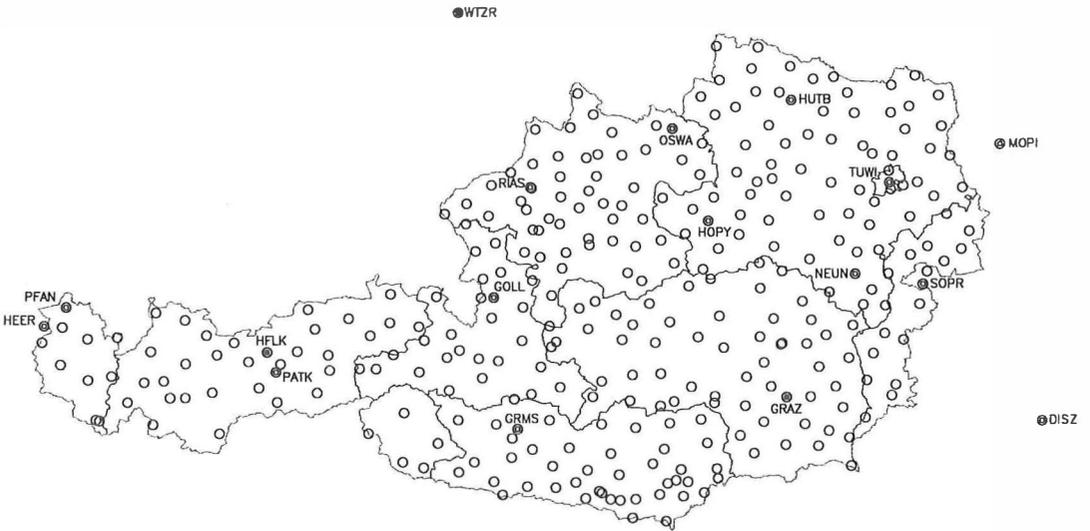


Abb. 2: AREF-1

Die Koordinaten der Stationen in Ebene A und B (Zwangspunkte) wurden aus den schon oben erwähnten Gründen (freier Ausgleich später möglich) wieder als Unbekannte mit extrem hohen Gewichten auf den ITRF93-Werten eingeführt. In jeder Session befanden sich zumindest 3 Punkte der Punktebene A, sowie die nächstgelegenen Stationen der Punktebene B. Ein Ausfall der Punktebene B in den Folgejahren (z.B. Verlust der Stabilisierung) kann mit dieser Strategie abgefangen werden.

Von jedem Punkt der Ebene C wurden zu allen in der Session n befindlichen Zwangspunkten Vektoren (Abbildung 3) gebildet und das resultierende Normalgleichungssystem (NEQ) für die Koordinaten und die Troposphärenparameter des Neupunktes gespeichert. Schlußendlich konnten alle NEQs einer Session in einem Guß aufgelöst werden.

Die Berücksichtigung von mindestens 3 Punkten eines übergeordneten Punktrahmens erlaubt zu jedem Zeitpunkt den mathematisch ‚sauberen‘ Übergang zu neuen Referenzrahmen oder neuen Koordinatenepochen im alten Rahmen unter Einbeziehung der vollständigen Kovarianzinformation. In erster Linie können die vom IERS überwachten Permanentstationen der obersten Ebene A in diesen Fällen als Datumspunkte ($\sigma = \pm 0.003$ m pro Koordinate) Verwendung finden. Stationen der Punktebene B werden dagegen nur in wenigen Fällen permanent weiterbetrieben (Sopron). Damit stehen für diese Punkte keine ausreichenden Zeitreihen im ITRF zur Verfügung und ohne aktuelles Bewegungsmodell kann ein Epochenübergang nur unter Öffnung

der in AREF-1 verwendeten ‚constraints‘ der B-Stationenkoordinaten erfolgen. Dies hat auch beim Wechsel des Referenzrahmens (ITRF93 \Rightarrow ITRF94) zu erfolgen. Ist die gewählte Epoche für beide Lösungen ident (1996.45) und fällt zudem auf den Zeitpunkt der Datenaufnahme (Meßkampagne), so wird für nicht-datumgebende Punkte auch kein Bewegungsmodell benötigt.

Die Vernetzung der Punktebene C hat aus heutiger Sicht im Rahmen von Diplomarbeiten an den Technischen Universitäten Wien und Graz zu erfolgen. An beiden Auswertezentren wurden vorerst spezielle Linienzüge mit Hilfe der Mehrdeutigkeitslösung (L5/L1 bzw. L5/Narrow Lane) berechnet. Diese Resultate wurden am ITGG jedoch nur zu Prüfzwecken verwendet, da der Erstellung eines homogenen Koordinatensatzes auf der Basis der ionosphärenfreien Linearkombination der Vorzug eingeräumt wurde. Eine spätere echte flächenhafte Mehrdeutigkeitslösung ohne Rücksicht auf differierende Empfängertypen verspricht zwar eine Versteifung des Punkthaufens in Ost-West-Richtung, Koordinatenänderungen über 1 cm sind jedoch nicht zu erwarten.

3. Kombination der Einzellösungen

Der letzte Schritt umfaßte die Kombination mit der IWFSG-Lösung. Hierzu standen die SINEX-Dateien der IWFSG Multistations- und Einzelstationslösung bereits genähert im Rahmen ITRF94 zur Verfügung, während aus Gründen der Konsi-



AREF-Punkteinrechnung

Session 2



- IGS-Station
 - ⊙ Permanent-Station
 - AREF-Punkt
 - △ AGRF-Punkt
- Session 1
 - Session 2
 - Session 3
 - Session 4
 - Session 5
 - Session 6
 - Session 7

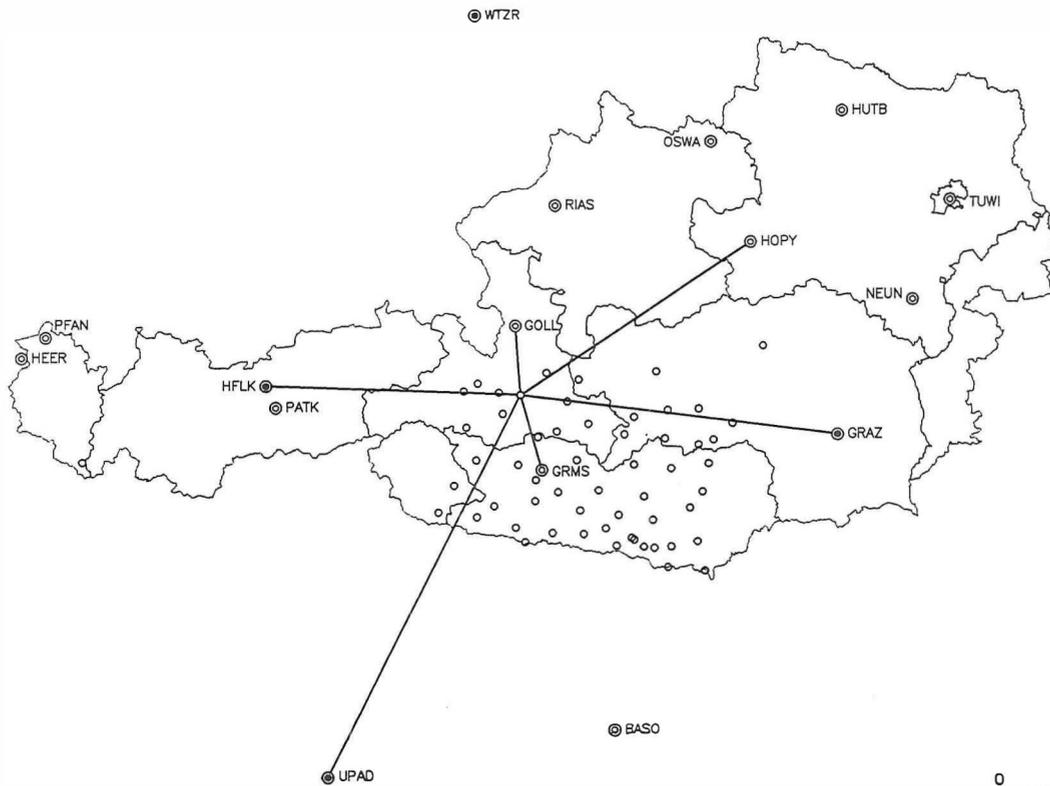


Abb. 3: AREF-Punkteinrechnung – Ebene C

stanz mit der zugehörigen Bahninformation vorerst alle Berechnungen am ITGG im Referenzrahmen ITRF93 durchgeführt wurden. Dies läßt sich durch den Wechsel der bei IGS in Verwendung stehenden Referenzrahmen am 1. Juli 1996 erklären. Am IWFGS wurde der Übergang allerdings nicht durch Berücksichtigung von Geschwindigkeitsfeldern der Einzelrahmen bzw. Anwendung der vom IERS empfohlenen Transformationsparametern zwischen den Rahmen bewerkstelligt, sondern durch Anbringen des Verschiebungsvektors der Station Graz an alle verbleibenden Punktkoordinaten. Diese Vorgangsweise ist in Gebieten geringer Ausdehnung zulässig.

Um nun die Routinen der Berner Software auch zur Kombination der Resultate beider Rechenzentren nutzen zu können, wurde am ITGG nach Abschluß der Berechnungen ebenfalls ein Übergang auf ITRF94 vorgenommen. Dieser erfolgte auf der Basis der ITRF94-Koordinaten (Epoche 1996.45) aller Stationen der Ebene A. Die gesuchten Koordinatensätze (incl. Geschwindigkeitsfeld) der Stationen Graz, Wetzell, Zimmerwald und Padua konnten dem Band [4] entnommen werden. Die verbleibenden Stationskoordinaten (Punktebenen B und C) wurden mit dem Programm ADDNEQ der Berner GPS-Software durch Transformation der NEQs neu in das ITRF94 zur Beobachtungsepoche eingerechnet.

Die Kombination gestaltete sich infolge einer Vielzahl inhomogener Punktattribute (Punktnamen, Antennenhöhen, Antennen- und Receiverbezeichnungen, etc.) als äußerst aufwendig. Aus den Kovarianzkomponenten der Koordinaten der individuellen Lösungen wurden Gewichtsfaktoren zwischen den Normalgleichungssystemen pro Session abgeleitet und in die Kombination eingeführt.

Durch Kombination der Sessionskoordinatendateien konnte schlußendlich im Jänner 1997 ein Gesamtkoordinatensatz erstellt werden.

4. Produkte der Auswertung und Parameterübersicht

Als vorrangiges Produkt der Auswertung ist wohl der ITRF94-Koordinatensatz der österreichweiten Permanentstationen (ÖPST=Ebene B) sowie der großen Zahl nachgeordneter Meßpunkte (Ebene C) zu sehen. Die folgende Tabelle vermittelt einen ersten Eindruck von der Güte der an beiden Auswertezentren erstellten Lösung. Angeführt ist pro Session die Standardab-

weichung der Differenzen der beiden Einzellösungen vom kombinierten Koordinatensatz (Nord, Ost, Höhe in mm).

Session:	1	2	3	4	5	6	7
Nord	4	1.5	2	1.5	1	2	1.5
Ost	3	3	2.5	2.5	2	2	2
Höhe	10	6.5	7.5	5	5	4.5	5.5

Der Vergleich zeigt, daß speziell die Session 1 schwierig zu modellieren war. Als Gründe sind wohl eine während der Messung durchziehende Schlechtwetterfront und die im Hochgebirge deutlichen Abschattungen der Meßpunkte zu nennen. Euphorie über die kleinen Zahlenwerte ist vorerst nicht angebracht, da sich die Ergebnisse auf das gleiche Datenmaterial beziehen und damit korreliert sind. Die Werte widerspiegeln vielmehr die unterschiedlichen Modellierungen an beiden Auswertezentren.

Eine Möglichkeit zur Beurteilung der äußeren Genauigkeit der berechneten Koordinaten liegt dagegen sicher im Vergleich der Lösungen von in mehreren Sessions besetzten Punkten. Speziell Beobachtungen in nicht aneinandergrenzenden Sessions oder mit neuer Geräteaufstellung können als weitgehend unkorreliert angesehen werden.

Standardabweichung der mehrfach besetzten Punkte in der ITGG-Lösung:

Nord: ± 3.1 mm
 Ost: ± 2.1 mm
 Höhe: ± 7.4 mm

Daß auch diese Werte als noch etwas zu optimistisch angesehen werden müssen, liegt nicht zuletzt am einheitlichen Auswerteschema.

Weitere Produkte der Auswertung sind Zeitreihen der troposphärischen Zenitlaufzeitverzögerung an allen ÖPST und die vollständigen Normalgleichungssysteme der Ausgleichung im SINEX-Format. Nicht zu unterschätzen ist auch die Bedeutung der bereits in Kapitel 2 angesprochenen Datei mit Phasenzentrenexzentrizitäten zur einheitlichen Verarbeitung verschiedener Antennentypen.

5. Ausblick

Der Wertsicherung der AREF-Ergebnisse sowie der Überwachung der Netzkonsistenz ist in den kommenden Jahren hohes Augenmerk zu widmen. Dazu gehört sicherlich die jährliche Prüfung und Sicherung der Stabilisierungen sowie die Nachbesetzung bislang einfach eingemessener AREF-Punkte, wenn möglich im Zuge

von Projektarbeiten. Eine Anbindung derartiger lokaler GPS-Projektarbeiten sollte jedenfalls über mindestens 3 AREF-Punkte erfolgen. Beobachtungsdaten dieser Punkte mit ausreichender Aufnahmedauer (8–24 Stunden) dienen zudem nicht zuletzt der Aufdeckung von Punktbewegungen im AREF-Netz und sind jedenfalls an zentraler Stelle zu archivieren und provisorisch auszuwerten.

Der mittlere Punktabstand von nur 20 km–25 km erlaubt in naher Zukunft eine wirtschaftliche Verdichtung (AREF-2) in Gebieten mit erhöhtem Aufkommen von Vermessungsarbeiten. Diese Verdichtung gewinnt speziell wegen des Einflusses der in den nächsten Jahren zu erwartenden stärkeren Ionosphärenaktivität (11-jähriger Sonnenzyklus) auf die Rapid-Static-Positionierung an Bedeutung.

Mittelfristig kann wohl auch mit einem für alle AREF-Punkte konstanten Bewegungsmodell im ITRF94 (Bewegung der eurasischen Platte (ETRF) im ITRF; ca. 2.5 cm/Jahr) oder mit dem Übergang auf ETRF-Koordinaten das Auslangen gefunden werden. Entscheidet man sich für die erste Variante, so lassen sich die für Arbeiten im Landessystem unpraktikablen Koordinatenänderungen recht einfach in den Griff bekommen.

Mit Hilfe der Drehmatrix der eurasischen Platte R_{EU} im globalen System gelingt es zu jedem Zeitpunkt t eine einfache Transformation aktueller ITRF94 Koordinaten (\vec{X}_{ITRF}) in stabile (zeitlich invariante) Landessystemkoordinaten (\vec{X}_{MGI}) durchzuführen. Diese können in der Folge mittels passender Projektionsgleichungen verebnet, d.h. in das System der Gebrauchs- oder UTM-Koordinaten abgebildet werden.

$$\begin{aligned}\vec{X}_{MGI} &= \vec{X}_{Shift} + m \cdot R(T_0)_{MGI} \cdot \vec{X}(T_0)_{ITRF} \\ &= \vec{X}_{Shift} + m \cdot R(T_0)_{MGI} \cdot R_{EU}^{-1} \cdot (t - T_0) \cdot \vec{X}(t)_{ITRF}\end{aligned}$$

Die räumliche Drehmatrix $R(T_0)_{MGI}$ definiert den Übergang ITRF94 \Rightarrow MGI zum Zeitpunkt T_0 (z.B. 1993.0 oder 1996.45). Die Komponenten dieser Matrix sind für ein homogenes Netz eindeutig und vom BEV festzusetzen.

Setzt man für kleine Drehwinkel $R_{EU}^{-1} \approx R_{EU}^T$ und berechnet das Zeitargument $(t - T_0)$ in Jahren, so ist die obige Gleichung durch Angabe der Komponenten von R_{EU} (Einheit [rad/Jahr]) vollständig bestimmt.

$$\begin{aligned}R_{EU} &= R_{EU}(\omega_x = -0.000981; \omega_y = -0.002395; \\ \omega_z &= 0.003153) \cdot 1.E - 6\end{aligned}$$

Während eine konstante Bewegung der AREF-Punkte bei kleinräumigen Relativmessun-

gen innerhalb einer oder weniger Netzmaschen noch ohne Auswirkungen (abgesehen bei Übergängen zu neuen ITRF-Rahmen) bleibt, ist langfristig jedenfalls die Ableitung eines eigenen AREF-Bewegungsmodells anzustreben. Nur dieses Modell liefert Aussagen über die auf Anschlußmessungen wirkenden Verbiegungen in den einzelnen Maschen des Referenznetzes. Eine neue Berechnungsperiode für das gesamte AREF-Netz auf Basis des bis dahin gesammelten Meßdatenmaterials bietet sich für das Jahr 2000 (Epoche 2000.0) an.

Dank

Die Verfasser möchten sich speziell bei Fr. Gudrun Weiwurm und Hrn. Werner Weber für ihre Hilfe und ihre Zuverlässigkeit bei der Durchsicht und Aufbereitung des AREF-Meßdatenmaterials, sowie bei der Dokumentation der Ergebnisse bedanken.

Literatur

- [1] Beutler G, Mueller I., Neilan R., Weber R. (1994): IGS – Der Internationale GPS Dienst für Geodynamik, Zeitschrift f. Vermessungswesen, Heft 5, 1994, Wittwer-Verlag, Stuttgart.
- [2] Boucher C., Altamimi Z. (1993): Specifications for Reference Frame Fixing in the Analyses of a EUREF GPS campaign, Bayr.Geod.Komm., Band 56, pp 265–269, München.
- [3] Boucher C., Altamimi Z., Duhem L. (1994): Results and Analysis of the ITRF93, IERS Technical Note 18, Central Bureau of IERS, Observatoire de Paris.
- [4] Boucher C., Altamimi Z., Feissel M., Sillard P. (1996): Results and Analysis of the ITRF94, IERS Technical Note 20, Central Bureau of IERS, Observatoire de Paris.
- [5] Brunner F.K., Weber R. (1998): Konzept der hierarchischen Netzstruktur für AREF, (im vorliegenden Band).
- [6] McCarthy D.D. (1996): IERS Conventions (1996), IERS Technical Note 21, Central Bureau of IERS, Observatoire de Paris.
- [7] Pesec P., Sünkel H., Erker E., Imrek E., Stangl G. (1997): Das Österreichische Geodynamische Bezugssystem-AGREF, Sonderausgabe des Inst. f. Weltraumforschung der Österr. Akademie der Wissenschaften, Abteilung Satellitengeodäsie, Graz.
- [8] Rothacher M., Mervart L. (1996): Bernese GPS Software, Version 4.0, Astronomisches Institut, Universität Bern.
- [9] Weber R., Walter G., Klotz St. (1995): GPS-relevante Koordinatensysteme und deren Bezug zum Österreichischen Festpunktfeld, Österr. Zeitschrift f. Vermessung u. Geoinformation, Heft 4/95, Wien.
- [10] Seeger H. (1995): EUREF – Status Report 1995
- [11] Zumberge J., Urban M., Liu R., Neilan R. (1996): International GPS Service for Geodynamics, 1995 Annual Report, IGS Central Bureau, JPL, Pasadena.

Anschrift der Autoren:

Dr. Robert Weber (email: rweber@terra.tuwien.ac.at), Dipl.-Ing. Stefan Klotz (email: sklotz@oeai.univie.ac.at): Institut für Theoretische Geodäsie und Geophysik, Abteilung Theoretische Geodäsie, Technische Universität Wien, Gußhausstraße 27–29, A-1040 Wien.