



## Realisierung moderner 3-D Referenzsysteme für Wissenschaft und Praxis

Norbert Höggerl <sup>1</sup>, Robert Weber <sup>2</sup>, Peter Pesec <sup>3</sup>, Günter Stangl <sup>4</sup>, Elisabeth Fragner <sup>5</sup>

<sup>1</sup> *Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Abteilung Grundlagen, A-1025 Wien, Schiffamtsgasse 1-3*

<sup>2</sup> *Technische Universität Wien, Institut für Geodäsie und Geophysik, Gußhausstrasse 27-29, A-1040 Wien*

<sup>3</sup> *Österreichische Akademie der Wissenschaften, Institut für Weltraumforschung, Abteilung Satellitengeodäsie, Schmiedlstrasse 6, A-8042 Graz*

<sup>4</sup> *Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Aussenstelle Graz, Schmiedlstrasse 6, A-8042 Graz*

<sup>5</sup> *Technische Universität Wien, Institut für Geodäsie und Geophysik, Gußhausstrasse 27-29, A-1040 Wien*

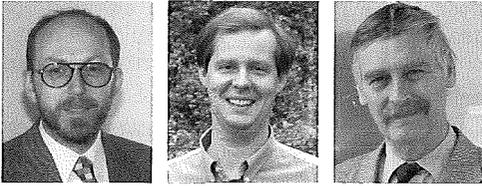
VGI – Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation **90** (3–4), S. 92–108

2002

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

```
@ARTICLE{Hoeggerl_VGI_200210,  
Title = {Realisierung moderner 3-D Referenzsysteme f{"u}r Wissenschaft und  
Praxis},  
Author = {H{"o}ggerl, Norbert and Weber, Robert and Pesec, Peter and Stangl,  
G{"u}nter and Fragner, Elisabeth},  
Journal = {VGI -- {"O}sterreichische Zeitschrift f{"u}r Vermessung und  
Geoinformation},  
Pages = {92--108},  
Number = {3--4},  
Year = {2002},  
Volume = {90}  
}
```





## Realisierung moderner 3-D Referenzsysteme für Wissenschaft und Praxis

Norbert Höggerl, Robert Weber, Peter Pesec, Günter Stangl und Elisabeth Fragner

### Zusammenfassung

Seit dem Einzug moderner Satellitenmessverfahren wie GPS oder GLONASS in weite Bereiche von Navigation und Vermessung war es erforderlich, 3-D Referenzsysteme hierarchisch abgestuft zu definieren und zu realisieren. Gleichzeitig mit der Definition des weltweiten ITRS wurde auch das ETRS definiert, welches für den europäischen Kontinent gültig ist. Realisierungen dieser beiden 3-D Systeme liegen seit 1989 bzw. seit 1990 vor. In den 90-er Jahren wurden durch zahlreiche nationale EUREF-Kampagnen, hochgenaue 3-D Netze mit Punktabständen von 50 – 300 km geschaffen. Derzeit findet der Übergang auf permanent arbeitende GPS-Referenzstationen statt, die künftig als 3-D Koordinatenrahmen zur Anbindung geodätischer Messungen dienen sollen. Die Kenntnis der Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Referenzsystemen und deren Realisierungen ist nicht nur für wissenschaftliche Arbeiten wichtig, sondern in einem immer enger zusammenwachsenden Europa auch für viele technischen Arbeiten von Bedeutung.

### Abstract

The advent of modern satellite measuring techniques for navigation and surveying purposes has made it necessary to define and realize 3-D reference systems. Almost at the same time two different systems – a global one called ITRS and ETRS, which is only valid on the European continent were defined. For ITRS a first realisation has been available since 1989 and for ETRS since 1990. During the nineties of the last century, numerous national densification measurements were carried out by the help of GPS. These so-called EUREF-campaigns provided the bases for precise 3-D networks with point distances between 50 and 300 km.

At the moment there is a tremendous growth of active GPS-reference stations in Europe, which will serve as basis for the reference frame. Consequently detailed knowledge of the correlation between the different reference systems and their realisations is gaining in importance – not only for scientific but also for technical purposes, especially in the light of a united Europe.

### 1. Einleitung

Vor nahezu 2 Jahrzehnten erfolgte in den USA die erste zivile Anwendung von GPS (Global Positioning System) für Vermessungszwecke. In Österreich wurden 1985 die ersten GPS Auftragsmessungen mit dem System Macrometer durchgeführt. Obwohl die damalige Ausrüstung nahezu einen VW-Bus füllte und die Ergebnisse erst nach 2 Monaten zur Verfügung standen, waren doch alle an diesen Messungen Beteiligten von der Leistungsfähigkeit dieses neuen Messsystems beeindruckt.

Erfolgte in den ersten Jahren der zivilen Anwendung von GPS der Einsatz hauptsächlich an Universitäten und in der Landesvermessung, ist in der Gegenwart der Einsatz so vielfältig, dass auch eine nur annähernd vollständige Aufzählung nicht möglich ist. Die vorhergesagte Miniaturisierung bei den GPS-Empfängern ist eingetreten; es gibt GPS-Platinen, die sich in Uhren oder auch Handys befinden. Künftig wird einem Gerätnutzer oft gar nicht mehr bewusst sein, dass eine GPS-Platine in seinem Gerät vorhanden ist (z.B. komplexe Alarmsysteme).

Nicht nur die Miniaturisierung war ein Erfolg des letzten Jahrzehnts, sondern auch die Steigerung der Genauigkeit hat für alle Arten der Anwendungen zu beachtlichen Ergebnissen geführt. Diese Genauigkeitssteigerung ergab sich sowohl für die Positionierung mit Einzelgeräten (stand alone), als auch für differentielle GPS-Messungen. Folgende Maßnahmen und Weiterentwicklungen bewirkten diese Genauigkeitssteigerungen:

- Abschaltung von S/A (selective availability = künstlich Bahn- und Uhrverschlechterung) durch die US-amerikanischen Behörden,
- Satellitensegment (Steigerung der Genauigkeit der Bahndaten),
- Messgeräte (verbesserte Filtertechnologien, Antennenkalibrierungen),
- Auswertesoftware.

Dadurch ergibt sich für stand alone Messungen eine Genauigkeit von  $\pm(5-15)$  m; für differentielle Messungen liegt die Genauigkeit zwischen  $10^{-6}$  und  $10^{-8}$  (abhängig vom Abstand der Messpunkte).

Neben der Miniaturisierung der Messausrüstung und der Steigerung der Messgenauigkeit

gab es auch noch im Bereich der differentiellen Online-Messsysteme (DGPS, RTK, PDGPS...) beachtliche Fortschritte. Kontinentale DGPS-Systeme mit Genauigkeiten von  $\pm 1$  m sind in Europa und den USA vorhanden. Flächendeckende RTK-Systeme mit Genauigkeiten von besser als  $\pm 0,1$  m sind in Europa für einige Länder bereits realisiert (Deutschland, Schweiz, Dänemark,...) und für andere Länder im Aufbau (Großbritannien, Schweden, Österreich...).

Durch die vielseitigen Möglichkeiten GPS einzusetzen, nehmen jedoch auch die Wünsche und die Anforderungen, die sich aus künftigen Aufgabenstellungen ergeben, weiter zu: Geodynamische Untersuchungen von lokaler bis weltweiter Ausdehnung, Untersuchung von Meeresspiegelveränderungen im mm-Bereich, Monitoring von Gefahrenzonen (Hangrutschungen, Felsstürze, Erdbebenzonen,...) möglichst mit Online-Resultaten.

Alle angeführten Anwendungen erfordern eine weitere Steigerung des technischen Potenzials von GPS (Raumsegment: C/A Code auf L2, neue Frequenz; Hard- und Software auf Nutzerseite) und in der Datenmodellierung sowie in manchen Bereichen auch die Einbeziehung weiterer Messsensoren (hochpräzise Schweremessgeräte, Inertialplattformen,...).

## 2. Referenzsysteme

Abgesehen von den dem Messverfahren zu-rechenbaren Fehleranteilen (Messrauschen, ionosphärische und troposphärische Refraktion, Satellitenbahnfehler, etc.), ist die oben angesprochene Genauigkeit einer mittels GPS bestimmten Position natürlich immer in Relation zur Qualität des zugrundeliegenden Koordinatenrahmens zu betrachten. Während die Definition des Koordinatensystems ‚einfach‘ durch die Angabe seines Ursprunges, der Orientierung seiner Achsen (zur Epoche  $T_0$  und deren zeitliche Entwicklung) und des Maßstabsfaktors gelingt, benötigen wir zur Anbindung unserer Messungen an dieses System einen sogenannten Koordinatenrahmen. Der Koordinatenrahmen ist die Realisierung unseres Koordinatensystems, also im Prinzip eine Liste koordinativ bekannter und in der Natur auffindbarer oder wiederherstellbarer Punkte. Um die zeitliche Entwicklung eines Koordinatenrahmens zu beschreiben, muss diese Liste zusätzlich mit einer Geltungsepoche der Koordinaten versehen sein und allfällige Bewegungsvektoren pro Zeiteinheit (z. B. Geschwindigkeiten/Jahr) ausweisen. Damit erlaubt

erst der Rahmen dem Nutzer den Zugriff auf das System. Er ist aber nicht nur an Punkte der Erdoberfläche gebunden, auch eine Liste mit kartesischen Satellitenpositionen und Zeitmarken realisiert ein Koordinatensystem. Es kann somit zu jedem Referenzsystem eine Reihe von Realisierungen verschiedener Güte geben, wobei die wechselseitige Steigerung der Qualität einerseits des Messverfahrens und andererseits des Koordinatenrahmens, in dem die Messungen durchgeführt und beschrieben werden, durchaus als iterativer Prozess zu verstehen ist.

Jedermann bekannt ist wohl das WGS84 (World Geodetic System 1984), ein vom amerikanischen *Department of Defense* veröffentlichtes globales terrestrisches (mit der Erde mitrotierendes) Bezugssystem, das im wesentlichen durch die Koordinaten weniger Referenzstationen und durch die Bahndaten der GPS-Satelliten realisiert wird. Anfänglich bediente man sich einiger noch mit dem Dopplersystem bestimmter Bodenstationskoordinaten geringer Güte. Später folgten dann bessere Realisierungen des WGS84 (G730 und G873), die bereits auf mit GPS bestimmten Referenzstationskoordinaten beruhen. Wir können heute sagen, dass die neuen WGS-Realisierungen mit dem ITRF im 10-cm Bereich übereinstimmen und WGS84 damit als Referenzrahmen für alle gängigen Navigationsaufgaben ausreichend ist.

### 2.1 International Terrestrial Reference System (ITRS)

Den Anforderungen der präzisen geodätischen Vermessung in großräumigen oder gar globalen Netzen ist das WGS84 jedoch nicht gewachsen. Basislinien, und damit auch die Stationskoordinaten ihrer Endpunkte, werden heute über mehrere tausend Kilometer mit Sub-Zentimetergenauigkeit bestimmt. Für diese Zwecke wurde das International Terrestrial Reference System (ITRS) im Jahre 1989 unter Zugrundelegung der folgenden Eigenschaften definiert:

a) Das ITRS ist ein mit der Erde mitrotierendes System. Sein Ursprung liegt im Schwerpunkt des Erdkörpers (inkludiert die feste Erde, die Ozeane und die Atmosphäre).

b) Die Längeneinheit ist der SI-Meter. Diese Definition ist konsistent mit der Verwendung der TCG, der terrestrischen geozentrischen Koordinatenzeit, zur Beschreibung von erdnahen Vorgängen (z.B. der Satellitenbewegung) im lokalen geozentrischen Rahmen.

c) Die Polachse weist im Rahmen einer Genauigkeit von  $\pm 0.03''$  in Richtung des Conven-

tional International Origin (CIO). Der CIO entspricht dem Schnittpunkt eines Vektors ausgehend vom Erdschwerpunkt in Richtung zum Celestial Ephemeris Pole (Himmelspol) mit der Erdkruste, gemittelt über die Jahre 1900–1905. Die XZ-Ebene des ITRS beinhaltet den mittleren Meridian von Greenwich.

d) Die Bewegungen der tektonischen Platten (und damit der darauf befindlichen Stationen) würde bei Festhalten der Stationskoordinaten eine zeitliche Änderung der Achsenrichtung des Systems relativ zum Inertialsystem bewirken. Dies verlangt nach zusätzlichen Bedingungen, z.B. der sogenannten *no-net-rotation condition*. Diese Bedingung lässt global gesehen keine gemeinsame Rotation der Stationen um eine der Koordinatenachsen zu. Mit anderen Worten: Es werden die allen Punkten gemeinsamen, horizontalen tektonischen Bewegungen per Definition durch eine Gegenbewegung der Systemachsen (eigentlich eine Änderung der Erdrotationsparameter xy-Pol und LOD) kompensiert. Das tektonische Modell NNR-NUVEL1A beinhaltet die Restbewegungen.

Geht es nun um die Umsetzung, so wird das ITRS durch eine Liste von Stationskoordinaten und Geschwindigkeiten realisiert und mit ITRFxx bezeichnet. Diese Koordinaten werden nicht nur mittels GPS sondern mit Hilfe aller modernen Raumtechniken wie VLBI, GPS, SLR, und DORIS bestimmt. Die modernste Realisierung ist der Rahmen ITRF2000, ein Datensatz von weit über 500 kartesischen Positionen von Beobachtungsstationen zur Referenzeпоche 1997.0 und den zugehörigen konstanten jährlichen horizontalen Geschwindigkeiten. Während sich diese Stationszahl bei Zugrundelegung strenger Genauigkeitskriterien deutlich verringert (siehe Abbildung 1) wurden zur Datumsdefinition letztendlich sogar nur rund 50 nicht an Plattengrenzen liegende Stationen verwendet, die zudem über einen zumindest 3-jährigen Beobachtungszeitraum verfügen, und deren Geschwindigkeitsvektoren besser als +/-3mm/Jahr genau bekannt sind. In diesem Zusammenhang ist es auch interessant zu erwähnen, dass der Maßstab des ITRF2000 aus einem gewichteten Mittel aller VLBI und SLR Lösungen hervorgeht und die Lage des Koordinatenursprungs alleine den SLR-Lösungen entnommen wurde. Die zeitliche Entwicklung des ITRF-Rahmens ist eng an wenige ausgesuchte Bewegungsvektoren des NNR-NUVEL1A Plattenbewegungsmodells gebunden (*no-net-rotation*). Der große Beitrag von GPS liegt damit derzeit in der Verdichtung und nicht in der Definition des ITRF. Zu stark varii-

rende Maßstabsfaktoren der globalen GPS-Lösungen (im Bereich weniger ppb  $\equiv 10^{-9}$ ) verhindern dies derzeit. Die absolute Kalibrierung sowohl der bodengestützten GPS-Empfängerantennen als auch der Satellitenantennen werden demnächst Abhilfe schaffen. Für Spezialisten sei noch erwähnt, dass ITRF Koordinaten weitgehend keine durch die Gezeiten hervorgerufene Verschiebungen enthalten. Die Koordinaten sind im Prinzip auch vom Einfluss der permanenten Tide befreit, allerdings unter Verwendung der nominellen Love-Zahl von 0.60 und nicht der säkularen Love-Zahl 1.94. Dies steht nicht im Einklang mit der geltenden IAG Resolution, ein Umstand, der schon zu heftigen Diskussionen und Mißverständnissen geführt hat.

Die ITRFxx Koordinatenrahmen werden von einer Sektion des International Earth Rotation Service (IERS) laufend auf den aktuellen Stand gebracht und veröffentlicht. Die Buchstaben ,xx'=88,89,90,91,92,93,94,96,97,2000 stehen für das Jahr der neuesten noch in die Berechnung eingeflossenen Messdaten und dürfen damit nicht mit der Epoche des Koordinatensatzes verwechselt werden. Die jeweils aktuelle Koordinate  $\vec{X}$  einer ITRF-Station zur Messepoche  $t$  kann mittels der Beziehung

$$\vec{X}(t) = \vec{X}_0(t_0) + \vec{V}_0(t - t_0) + \sum_i \Delta\vec{X}_i(t)$$

errechnet werden. Im Falle des ITRF2000 steht  $t_0$  für die Ausgangsepoche 1997.0 und  $\vec{X}_0$ ,  $\vec{V}_0$ , für die Position und Geschwindigkeit zur Ausgangsepoche. Die unter dem Summenzeichen angeführten Verschiebungen  $\Delta\vec{X}_i$  beinhalten vorrangig periodische Gezeitenkorrekturen, aber auch nichtperiodische Effekte wie die Wirkung der permanenten Tide oder allfällige nicht-lineare Punktbewegungen (lokale Krustenbewegungen). Für die Auswertung regionaler Netze können wir die Verschiebungen  $\Delta\vec{X}_i$  für alle unsere Punkte als gleich groß ansetzen und vorerst vernachlässigen. Die Koordinatentransformation in die Epoche der Messung ist allerdings nicht nur für sehr großräumige Netze, in denen die Geschwindigkeitsdifferenzen der ITRF-Stationen eine Rolle spielen, nötig, sondern auch für die Berechnung regionaler Netze. Der Grund liegt in den präzisen Satellitenephemeriden, die jeweils zur aktuellen Epoche  $t$  vorliegen. Eine Nichtberücksichtigung der Zeitdifferenz zur Ausgangsepoche 1997.0 würde also bei der Annahme einer Bewegung von rund 2.5cm/Jahr der Stationen der eurasischen Platte bis zum fiktiven Termin  $t=2003.0$  meiner GPS-Kampagne schon systematische Differenzen zwischen den Koordinaten der Bodenstationen und der Satelliten von rund 15cm hervorrufen. Verwendet man ältere

ITRS-Realisationen mit zusätzlich schlechter bestimmten Geschwindigkeitsvektoren, dann kann diese Systematik noch deutlich höhere Ausmaße annehmen. Auf die Problematik der Umrechnung in die aktuelle Messepoche wird noch in Kapitel 4 genauer eingegangen.

marken verschiedener Techniken an kombinierten Stationen manchmal nicht ausreichend. So können zwar Punkte über Kontinente hinweg auf wenige Millimeter genau bestimmt werden, die letzten 20 Meter zur Nachbarreferenzmarke bedeuten aber eine nicht unbedeutende Hürde.

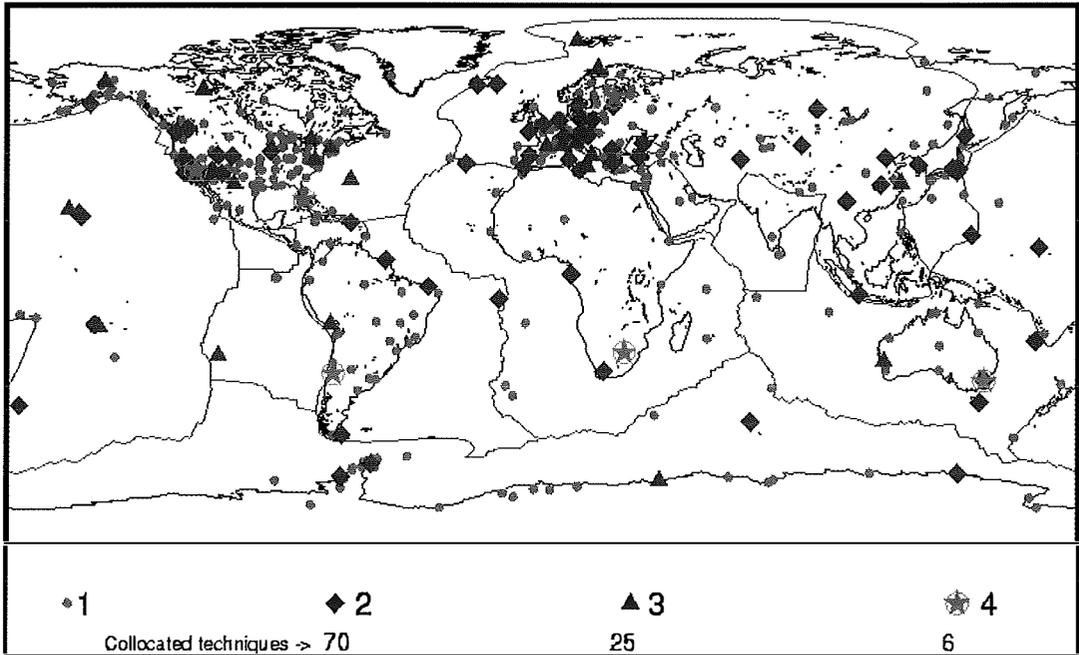


Abbildung 1: ITRF - Stationsverteilung

Die Abbildung 1 zeigt einerseits die Lage der ITRF2000 Stationen und gleichzeitig alle Stationen deren Koordinaten gleichzeitig von mehreren Raumtechniken bestimmt werden (collocated techniques). Diese Stationen sind von höchster Bedeutung, da sie erlauben systematische Fehler in der Modellierung, die jeder Technik innewohnen, aufzudecken. Es ist leicht einzusehen, dass der von verschiedenen Techniken bestimmte Bewegungsvektor einer derartigen Station im Idealfall wohl in Größe und Richtung übereinstimmen muss. Viele dieser Bewegungsvektoren, speziell von Punkten an den Plattengrenzen, zeigen heute die Grenzen des geologisch-geophysikalischen NUVEL-1A Modells auf. Es liegen somit durch die Raumtechniken heute erstmals global Bewegungsvektoren vor, die einerseits auf eine starke Fragmentierung der großen Kontinentalplatten und zudem als *Momentaufnahme* auf (erwartbare) Defizite in den gängigen Plattenbewegungsmodellen hinweisen. Unglücklicherweise ist die Qualität der lokalen Vermessung zur Bestimmung von Koordinatenunterschieden zwischen den Referenz-

Eine künftige verbesserte Version des ITRF-Koordinatenrahmens, die aus heutiger Sicht allerdings nicht vor 2004/2005 zu erwarten ist, wird sich diesem Problem verstärkt annehmen müssen.

### 2.1.1 International GPS Service (IGS)

Im Juni dieses Jahres feierte der IGS sein 10-jähriges Jubiläum. Die ersten Überlegungen zur Schaffung eines GPS-Bahnservices tauchten allerdings schon 1989 auf und bereits im August 1991, anlässlich der 20. Generalversammlung der Internationalen Union für Geodäsie und Geophysik (IUGG) in Wien, wurde die *Erprobung eines Dienstes zur Unterstützung von geodätischen und geophysikalischen Forschungsarbeiten durch permanente Bereitstellung der aus GPS Beobachtungen abgeleiteten Resultate beschlossen*. Der Probebetrieb startete am 21. Juni 1992, und exakt eine Woche später lagen die ersten präzisen IGS-Satellitenbahnen, abgeleitet aus Beobachtungen eines mehr oder minder globalen, 25 Stationen umfassenden Netzes vor.

Dieser Probetrieb lief übrigens an Stelle der geplanten 4 Monate bis in den Dezember 1993 und wurde am 1.1.1994 wegen permanenten Erfolges in einen offiziellen Dienst der Internationalen Geodätischen Assoziation (IAG) umgewandelt.

Der IGS wird von einem aus ca. 20 Personen bestehenden *Governing Board* geleitet. Er stützt sich heute auf über 100 assoziierte Organisationen und auf ein weltweit rund 300 Stationen umfassendes Beobachtungsnetz. Die Messdaten werden einem genau definierten Transferplan folgend meist via Internet an das nächste lokale oder globale Datenzentrum geliefert. Die globalen Datenzentren (Crustal Dynamics Data Information System (USA), Institut Geographique National (Frankreich), Scripps Institution of Oceanography (USA)) erfüllen neben Transfer- auch Datenarchivierungsaufgaben und halten eine breite Palette an Messdaten und Produkten für einen

dernten präzisen Satellitenbahnen hinaus [1]. Bevor die Ergebnisse der Analysezentren die Bezeichnung ‚IGS‘ bekommen, werden sie noch einem Kombinationsprozess und einer Qualitätskontrolle unterzogen. Diese Tätigkeit obliegt dem IGS-Analysekoordinator, der nicht nur für die tägliche Bereitstellung aller IGS-Produkte sondern auch für Weiterentwicklungen in der Datenmodellierung innerhalb des IGS verantwortlich zeichnet [2]. Die untenstehende Tabelle informiert über die derzeit angebotenen offiziellen IGS-Produkte und deren Genauigkeit. Daneben entwickelt IGS innerhalb von Studiengruppen und in meist 2-jährigen Pilot-Projekten noch weitere von den Satellitenmessungen abgeleitete Datensätze. Hier wäre als Beispiel ein Netz von präzisen Bodenstationsuhren (unter dem Begriff *Uhr* ist die Abweichung der Stationsempfängeruhr oder Satellitenuhr von GPS-Zeit zu verstehen) zur Zeitübertragung mittels GPS zu nennen.

Bezeichnung	Genauigkeit*	Verzögerung*	Frequenz	Datenintervall
<b>Satellitenbahnen, Satellitenuhren/ GPS</b>				
Broadcast	~260 cm/~7 ns	Echtzeit	täglich	
Ultra -Rapid	~25 cm/~5 ns	Echtzeit	12-stündlich	15 min
Rapid	5 cm/0.2 ns	17 Stunden	täglich	15 min/5 min
Final	<5 cm/0.1 ns	~13 Tage	wöchentlich	15 min/5 min
<b>Satellitenbahnen / GLONASS [3]</b>				
Final	30 cm	~4 Wochen	wöchentlich	15 min
<b>Geozentrische Stationskoordinaten (ITRF)</b>				
Final Lage/Höhe Positionen	3mm/6 mm	12 Tage	wöchentlich	Wöchentlich
Final Lage/Höhe Geschwindigkeiten	2mm/3 mm/Jahr	12 Tage	wöchentlich	Wöchentlich
<b>Erdrotationsparameter</b>				
Rapid Polbeweg. Tageslänge (LOD)	2 mas/0.030 ms	17 Stunden	täglich	Täglich
Final Polbeweg. Tageslänge (LOD)	0.1 mas/0.020 ms	~13 Tage	wöchentlich	Täglich
<b>Atmosphäre</b>				
Final Trop. Laufzeitverzögerung	4 mm	<4 Wochen	wöchentlich	2 Stunden
Ionosphärische Laufzeitverzögerung (TEC-Raster) in Entwicklung				
* unter Genauigkeit wird der mittlere Fehler einer kartesischen Koordinatenkomponente verstanden; unter Verzögerung wird die Zeitdifferenz zwischen der letzten noch in Berechnung eingeflossenen Messepoche und der Ausgabezeit des Produktes am Datencenter verstanden.				

Tabelle 1: Produkte des IGS und deren Kennzahlen

Zeitraum von mehreren Jahren meist on-line bereit. Sie sind Anlaufstelle sowohl für Nutzer als auch für die innerhalb des IGS für die Datenmodellierung verantwortlichen 8 Analysezentren. Diese Analysezentren berechnen in verschiedenen Zeitfenstern (Ultra-Rapid/Echtzeit; Rapid/nach 17 Stunden, Final/nach 14 Tagen) primär Satellitenbahnen, Satelliten- und Empfängeruhren, Stationskoordinaten und Erdrotationsparameter. Die Bandbreite der angebotenen Produkte geht heute somit weit über die 1992 gefor-

Eine weitere wichtige Funktion innerhalb des IGS kommt dem am JPL (Jet Propulsion Laboratory) angesiedelten *Central Bureau* als Organisationsstelle für die IGS-Komponenten und als Kommunikationsstelle für alle Nutzeranfragen zu. Zur höheren Akzeptanz durch die Nutzer versucht IGS natürlich alle seine Produkte in international anerkannten Standardformaten anzubieten bzw. diese Standardformate auch weiterzuentwickeln. Derzeit können faktisch alle gängigen GPS-Auswerteprogramme Messdaten über

das RINEX-Format austauschen bzw. präzise Satellitenephemeriden mittels SP3-Format einlesen. IGS hat wesentlich zur Entwicklung von RINEX und SP3 beigetragen und wird das auch in Zukunft tun. So kann das Standard-RINEX Format heute bereits Messdaten verschiedenster Satellitensysteme (GPS, GLONASS, LEOs, künftig auch GALILEO) verwalten und die neue Version des SP3-Formates (SP3c, öffentlich ab Anfang 2003) beinhaltet Genauigkeitsangaben der Ephemeriden zu jeder angegebenen Epoche und erlaubt die Unterscheidung von auf Messdaten beruhenden Satellitenpositionen und extrapolierten Ephemeriden.

Nicht zuletzt darf durchaus auch auf die österreichischen Beiträge zum IGS hingewiesen werden. Fiel die Beschlussfassung zum Probebetrieb noch durch ein wenig Zufall gerade an der Wiener IUGG Tagung 1991, so gehörte dem ersten Stationsnetz bereits das Observatorium am Lustbühel in Graz an. Die Grazer Station liefert ununterbrochen bis zum heutigen Tag GPS Messdaten an den IGS und zeichnet sich zudem durch die ebenfalls betriebene Laserstation als Station mit kombinierten Techniken aus. Doch davon mehr in Abschnitt 3.1. Seit Jänner 2001 hat IGS einen weiteren entscheidenden österreichischen Bezug. Für eine Periode von ca. 2 Jahren befindet sich der Sitz des IGS- Analysekoordinators an der Abteilung für Höhere Geodäsie der TU-Wien. Diese Funktion ist zwar einerseits mit der täglichen Sorge um die zeitgerechte Abgabe möglichst hochwertiger Produkte gepaart, erlaubt aber auch das Setzen entscheidender Impulse für kommende Entwicklungen innerhalb des IGS. Nähere Informationen über den IGS können über die IGS Central Bureau Homepage <http://igs.cb.jpl.nasa.gov/> eingeholt werden.

Innerhalb der IAG wird in den kommenden Jahren dem IGS, wie auch den Diensten der anderen Weltraumverfahren (IVS<sup>1</sup>), ILRS<sup>2</sup>) und den Schwerefelddiensten ein noch stärkeres Gewicht zukommen. Die Neustrukturierung der IAG soll im Herbst 2003 in Kraft treten. Sie sieht eine starke Vertretung der Dienste in den Entscheidungsgremien und eine direkte Anbindung an die 4 neuen Kommissionen innerhalb der IAG vor.

## 2.2 European Terrestrial Reference System (ETRS)

Durch die Plattentektonik ergeben sich bei Verwendung von ITRS für große Teile des euro-

päischen Kontinents jährliche Koordinatenänderungen bis zu 2,5 cm. Da diese Änderungen für viele Anwendungen nicht tragbar sind, war es daher erforderlich, ein für den europäischen Kontinent gültiges Referenzsystem zu definieren und zu realisieren. Für diese Zwecke wurde auf der IUGG (Internationale Union für Geodäsie und Geophysik) Generalversammlung 1987 in Vancouver, die EUREF Subkommission geschaffen. Diese Subkommission ist derzeit bei der IAG (Internationale Assoziation für Geodäsie), Kommission X - globale und regionale Netzwerke angesiedelt und schloss bei ihrer Gründung an die Arbeiten von RETrig (verantwortlich für das European Datum - ED, zuletzt ED87) an. Als Aufgabe für die EUREF Subkommission wurde die Entwicklung eines neuen europäischen 3-D Bezugssystems und dessen entsprechende Realisierung vorgegeben. Die Realisierung des Bezugssystems sollte folgenden Anforderungen entsprechen:

Geozentrischer Bezugsrahmen für hochgenaue geodätisch-geodynamische Projekte auf der Europäischen Platte, hochgenauer Bezugsrahmen nahe dem WGS84 gelegen, für alle Anwendungen in Geodäsie und Navigation in Europa, europaweiter Bezugsrahmen für supranationale kartographische Daten.

Aus diesen Vorgaben ergeben sich 3 unterschiedliche Gebiete von Anwendungen: Wissenschaftliche für Geodäsie und Geodynamik, technische für die nationalen Vermessungsverwaltungen, praktische für Positionierung und Navigation.

Auf dem EUREF Symposium in Florenz, 1990, wurde folgende Resolution angenommen, mit der das ETRS definiert wurde:

...EUREF empfiehlt als ETRS jenes System anzunehmen, welches mit ITRS zur Epoche 1989.0 ident und fix mit dem stabilen Teil der Eurasischen Platte verbunden ist. Dieses System wird als ETRS89 bezeichnet. Als Folge dieser Definition rotiert ETRS89 mit dem stabilen Teil von Europa, und die Beziehungen zwischen den Punkten auf diesem stabilen Teil der Eurasischen Platte bleiben unverändert [4].

### 2.2.1 European Reference Frame (EUREF)

Die erste Realisierung von ETRS89 erfolgte im Frühjahr 1989, wobei ein Subset von SLR und VLBI Stationen aus ITRF89 verwendet wurde. Für eine stufenweise weitere Verdichtung wur-

1) International VLBI Service

2) International Laser Service

den GPS-Kampagnen organisiert, deren Ziel es war hochgenaue geodätische Referenzpunkte zu schaffen. Die ersten Verdichtungsmessungen erfolgten bereits 1989, wobei 92 Stationen inkludiert wurden, davon etwa ein Dutzend GPS-Permanentstationen. Diese erste Verdichtung von ETRS89 hatte eine Genauigkeit von  $\pm 4,3$  cm in der Lage und  $\pm 6,2$  cm in der Höhe. Im Vergleich zu dem vorher verwendeten ED87 eine wesentliche 3D-Verbesserung. Für viele internationale Aufgabenstellungen war diese Genauigkeit ausreichend; d.h. die ETRF89 Koordinatensätze wurden sehr bald für praktische Anwendungen verwendet [5].

Für das am Beginn der 90-er Jahre immer stärker zum Einsatz kommende GPS-Messverfahren war es erforderlich, dichtere GPS Grundnetze zu schaffen um hochgenaue Anbindepunkte im Sinne einer hierarchischen Netzstruktur zur Verfügung stellen zu können. Es wurden daher in den Jahren 1990 bis 1999 24 GPS-Kampagnen mit 146 Punkten von der Technischen Arbeitsgruppe (TWG) der EUREF-Subkommission begutachtet und als den Regeln entsprechend akzeptiert. Im Sinne von Qualitätskriterien wurde auch eine Klassifikation durch die TWG für die begutachteten Stationen eingeführt:

- CLASS A ( $\pm 1$ cm, unabhängig von der Epoche) - nur für Permanentstationen erreichbar,
- CLASS B ( $\pm 1$ cm, für eine 1 spezielle Epoche) – für GPS-Kampagnen ab 1993,
- CLASS C ( $\pm 5$ cm, für eine 1 spezielle Epoche) – für GPS-Kampagnen von 1989 bis 1992.

In Österreich wurde dieser Schritt der Verdichtung von ETRF89 mit Messungen aus den Jahren 1994 und 1995 getan. Die Ergebnisse wurden auch international als EUREF-A94/95 Lösung bestätigt [6]. Diese immer noch gültige EUREF-A Lösung aus 1996 besteht aus 11 Punkten, von denen es sich bei 3 Stationen um GPS-Permanentstationen handelt, und die restlichen 8 Stationen GPS-Epochenstationen darstellen. Eine weitere Verdichtung von EUREF-A94/95 auf nationaler Ebene erfolgte durch die GPS-Netze AGREF - Austrian Geodynamic Reference Frame [7] und durch AREF - Austrian Reference Frame [8].

Bei den derzeit stattfindenden Arbeiten zur Erstellung von nationalen EUREF-Netzen geht die Tendenz in Richtung einer Verbesserung der bestehenden Netze, jedoch kaum in Richtung einer Verdichtung. Dichtere Netze werden nicht mehr

als Bestandteil von EUREF akzeptiert, da es pro Land eine zahlenmäßige Beschränkung gibt.

Im Laufe der Jahre zeigte es sich, dass das Konzept der unveränderlichen Koordinaten nicht zu realisieren war. Für Anwender, die eine Genauigkeit von besser als 5 cm benötigen, sind die Veränderungen der Koordinaten der ersten Realisierung von ETRS (1989) gegenüber den neuesten Realisierungen von ETRS nicht vernachlässigbar. Zusammengefasst beeinflussen folgende Parameter die Realisierung von ETRF:

- GPS-Konstellation (wesentliche Verbesserung nach 1989)
- Lagerung und Orientierung der Realisierung ITRF und damit ETRF
- Verbesserung der Modellierungen der Satellitenbahnen, Troposphäre und Ionosphäre
- Qualitätssteigerung der GPS-Empfänger und verbesserte Antennenmodelle
- Verdichtung des Netzes und Erhöhung der Anzahl der Referenzstationen
- Fehler in Referenzstationen
- Eigenbewegungen von Teilen der Eurasischen Platte
- Fehler im Rotationsmodell der Eurasischen Platte

Alle diese Einflüsse bewirken, dass seit 1989 die Genauigkeit der Realisierung von ETRS gestiegen ist sowie, dass auch systematische Veränderungen stattgefunden haben. Deshalb sind die verschiedenen ETRFyy nicht ident und die Koordinaten der eingerechneten Punkte ebenfalls nicht ident. Ein Punkt, der in mehreren Kampagnen gemessen wurde, muss möglicherweise im Laufe der Jahre neue Koordinaten bekommen. Derzeit sind die Toleranzen mit 2–3 cm in der Lage und 4–5 cm in der Höhe relativ hoch und liegen weit über der Messgenauigkeit. Die allgemeinen Veränderungen werden durch Transformationsformeln beschrieben, die auf die berechneten Koordinaten anzuwenden sind (siehe 4.1.2). Trotz der heute wesentlich genaueren Bestimmungsmöglichkeiten für 3-D Koordinaten wird grundsätzlich an den Ergebnissen von ETRF89 festgehalten.

## 2.2.2 EUREF Permanent Network (EPN)

Die Notwendigkeit eine ständig verfügbare Realisierung von ETRS89 zu besitzen, führte 1995 unter der Leitung der EUREF-Subkommission zur Ausbildung des EPN. Zu diesem wurde ein Großteil der damals bestehenden GPS-Per-

1) EUREF-Subkommission: Derzeit innerhalb der Sektion I der Kommission X (globale und regionale Netze) der IAG (International Association of Geodesy)

manentstationen verknüpft. Der Sinn der Zusammenfassung der GPS-Permanentstationen besteht in homogener Koordinatenbestimmung, Gewährleistung von Qualitätsstandards, frühestmöglicher Fehlererkennung.

Derzeit sind mehr als 30 Institutionen mit über 140 GPS-Referenzstationen am EPN beteiligt, was die hohe Akzeptanz belegt. Der Andrang war und ist so groß, dass eine Zulassungsbeschränkung erlassen werden musste. Derzeit werden nur neue Stationen zugelassen, wenn innerhalb von 300 km keine zugelassene Station existiert. D. h., dass nur für wenige Staaten (Griechenland, Großbritannien, Russland, Weißrussland, Nordafrika, Vorderer Orient) eine weitere

Verdichtung möglich ist. Alle anderen Bewerber müssen für Spezialprojekte interessante GPS-Stationen einbringen und dafür zusätzliche Verpflichtungen eingehen. Derzeit sind folgende Spezialprojekte aus dem Bereich EPN und IGS definiert:

- *Troposphere Parameter Estimation* (Schätzung des Wasserdampfgehaltes der Troposphäre für schnelle Wettervorhersage und langfristige Klimatologie),
- *EPN time series monitoring* (Bestimmung der Veränderungen der Koordinaten, Trennung in periodische, systematische und sonstige Einflüsse),
- *zusätzliche Messsensoren* wie z.B. Laser, Gezeitenstation, VLBI, (in Zukunft auch Galileo).



Abbildung 2: EPN Stationsverteilung

Neben dem Kriterium einer homogenen Stationsverteilung müssen die am EPN beteiligten Stationen auch hinsichtlich Stationsaufbau, Stationsausrüstung, Datenlieferung, Dokumentation von Veränderungen, genau definierte Vorgaben erfüllen.

#### 2.2.2.1 Datenlieferung

Von allen Stationen wird erwartet, dass sie zumindest täglich GPS-Messdaten in der geforderten Qualität (Zweifrequenzmessungen, Intervall 30 Sekunden) liefern und bei Teilnahme an Spezialprojekten zusätzlich die geforderten Bedingungen erfüllen. Die Daten werden an 7 lokale Datenzentren geliefert (u.a. Observatorium Lustbühl Graz - OLG). Diese lokalen Datenzentren liefern die Daten nach formaler Kontrolle an das zentrale Datenzentrum des BKG (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie) in Frankfurt/Main (ftp-server igs.ifag.de). Die Daten liegen im üblichen Format RINEX (Receiver Independent Exchange) vor, sind wegen ihrer Größe allerdings doppelt komprimiert. Die doppelte Kompression bewirkt eine Reduktion der täglichen Daten von ca. 2MB auf 0,3MB und spart daher Massenspeicherplatz. Statt mit 102GB kommt man jährlich mit 15GB für das gesamte EPN aus. Der Benutzer, der seine benötigten Daten ohne Beschränkung von den Datenzentren herunter laden kann, reduziert seine Kosten damit ebenfalls. Die Wichtigkeit und Komplexität diese enormen Datenmengen permanent und zeitgerecht aus allen Teilen Europas zu sammeln und dem zentralen Datenzentrum zur Verfügung zu stellen, wird auch durch die Tatsache unterstrichen, dass vom EPN ein eigener „data flow coordinator“ aufgestellt wurde, um diese Aufgabe zu bewältigen.

#### 2.2.2.2 Berechnungen

Die Berechnungen werden von 15 lokalen Rechenzentren ausgeführt, darunter auch das Rechenzentrum OLG, welches von ÖAW und BEV gemeinsam betrieben wird. Diese Rechenzentren berechnen jeweils Teilnetze, wobei für eine Berechnung jeweils 7 aufeinanderfolgende 24 h Messungen verwendet werden. Jede einzelne EPN Station ist in mindestens 3 Teilnetzen enthalten. Durch diese redundante Berechnung soll einerseits die Anzahl unentdeckter Fehler gering gehalten werden und andererseits eine bessere Abschätzung der Genauigkeit durch Vergleich der Teillösungen ermöglicht werden. Zusätzlich werden zwei verschiedene Softwarepakete zur Auswertung verwendet (Bernese Software

Package, GIPSY), um dadurch softwarespezifische Eigenheiten zu reduzieren [9].

Die Lösungen der Teilnetze werden danach zu einem gesamten EPN-Netz vereinigt. Zur Bestimmung von ETRS89 Koordinaten werden aus der Fülle der derzeit ca. 140 Stationen, 12 besonders zuverlässige und gut verteilte Stationen ausgewählt, die auch im ITRF enthalten sind. Die Koordinaten dieser 12 ITRF Stationen (u.a. auch GRAZ) werden aus dem letztgültigen ITRF (dzt. ITRF2000) übernommen und festgehalten. Änderungen in den Stationskoordinaten werden in einer begleitenden Netzdiagnose registriert, analysiert, und dem Stationsbetreiber mitgeteilt.

Wie unter 2.2.1 angeführt, handelt es sich bei den Koordinatenänderungen nicht nur um lokale Effekte, sondern auch um Veränderungen, die sich aus Verbesserungen des gesamten Systems ergeben. Diese Veränderungen sind gut dokumentiert, womit ältere Bestimmungen von ETRF durch eine Transformation in die derzeit beste überführt werden können. Die Veränderungen sind je nach Alter in der Größenordnung von 20 bis 5 mm und werden immer geringer.

#### 2.2.2.3 Produkte

Zusätzlich zu den GPS-Daten sind für den Benutzer eine Reihe von Produkten frei verfügbar. Die wöchentliche Lösung ist als Datei EURwww7.SNX (www = GPS-Woche von 1980 an gezählt, Sonntag-Samstag) verfügbar und wird durch eine Übersicht EURwww7.SUM ergänzt. Die Datei ist im SINEX (Solution Independent Exchange)-Format angegeben und klar strukturiert. Die Wochenlösung enthält die offiziellen Koordinaten der Permanentstationen, derzeit im System ITRF2000 zur aktuellen Epoche. Zusätzlich sind für Interessierte Diagramme über die zeitlichen Variationen der Koordinaten jeder Station verfügbar, die auf den Wochenlösungen basieren. Ausführliche Informationen und Zugriff zu den Produkten und Verzweigungen sind unter der Adresse <http://www.epncb.oma.be> erhältlich.

#### 2.2.2.4 Beitrag Österreichs

In Österreich befinden sich derzeit fünf EPN-Stationen (GRAZ, HFLK, LINZ, PFAN, SBGZ – siehe Tabelle 3), die auch am Projekt für die schnelle Wettervorhersage beteiligt sind. Das lokale Datenzentrum OLG (ftp-server olggps.oeaw.ac.at) bietet Daten von 16 EPN-Stationen an. Zusätzlich werden die RINEX-Dateien des BKG gespiegelt, um bei dessen Ausfall als Datenzen-

trum einspringen zu können. Das Auswertezentrum OLG verwertet wöchentlich ca. 40 EPN-Stationen zwischen Nordkap und Israel zu einer von 15 Teillösungen. Aufbauend auf EPN-Stationen werden wöchentliche Lösungen für die Untersuchung tektonischer Bewegungen in Mitteleuropa – Projekt CERGOP (Zwischen Ostsee und Mittelmeer) – und für das Ostmittelmeer (Balkan, Anatolien, Kaukasus, Vorderer Orient) erzeugt [10].

Weiters wird der unter Punkt 2.2.2.1 angeführte „data flow coordinator“ derzeit von Österreich gestellt (BEV).

### 3. GPS Referenzstationen in Österreich

#### 3.1 Fundamentalstation Graz Lustbühel

Seit nunmehr 35 Jahren werden am Observatorium Graz Lustbühel Satellitenmessungen durchgeführt, erst über optische Methoden, später über Dopplermessungen (1975–1984). 1979 begann der Aufbau der Laserstation, welche im Herbst 1982 in Betrieb genommen wurde und auf Anhieb das Prädikat „beste europäische Station“ in Anspruch nehmen konnte. Ständige Innovationen konnten diesen Standard nicht nur erhalten sondern sogar erweitern. Graz verfügt derzeit über eine der genauesten Laserstationen weltweit und setzt Maßstäbe für technologische Weiterentwicklungen.

Im Anschluss an die Macrometer Messungen wurde 1986 der erste GPS-Empfänger Österreichs (TI-4100) angekauft und für Messkampagnen in Mitteleuropa sowie auch für die EUREF-Urmessungen 1989 eingesetzt. 1991 wurde die erste österreichische GPS-Station nach aufwendigen Bemühungen zur Automatisierung des Messablaufes in Betrieb genommen. Seit Juni 1992 beteiligt sich Lustbühel mit Permanentmessungen (neuer Empfänger Minirogue) an IGS (Pilotbetrieb bis Ende 1993), 1996 wurde der Empfänger durch einen Turborogue und 2001 durch einen Ashtech -µZ ersetzt. Seit 1998 werden auch GLONASS-Daten (Ashtech-Z18) zur Verfügung gestellt. Regelmäßig durchgeführte Absolutschweremessungen ergänzen das Programm der österreichischen Fundamentalstation, welche als ein Referenzpunkt für nationale GPS-Netze dient.

#### 3.2 GPS-Referenzstationen zur Kontrolle des österreichischen Bezugsrahmens (GPS Grundnetz)

Ab Mitte der 90-er Jahre wurde in Österreich mit dem Aufbau weiterer GPS-Referenzstationen begonnen: 1994 Hafelekar, 1995 Patscherkofel, 1996 Wien und 1997 Pfänder. Die Auswahl des Gebietes für den Aufbau dieser Stationen erfolgte am Beginn nach unterschiedlichen Motiven wie lokale Geodynamik, Teilnahme an internationalen Projekten (IDNDR - International De-

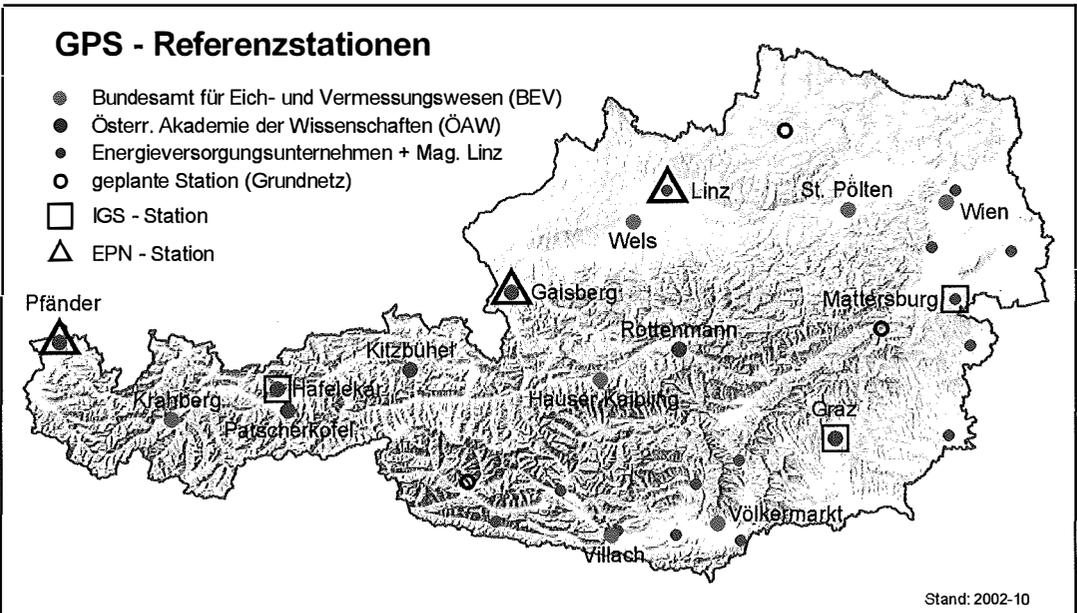


Abbildung 3: GPS-Referenzstationen in Österreich

cade for Natural Disaster Reduction),... Um im Bereich der übergeordneten GPS-Referenzstationen keinen Wildwuchs entstehen zu lassen, wurde 1997 ein Konzept erstellt, welches vorsah, dass das BEV und die ÖAW den Aufbau von GPS-Referenzstationen aufeinander abstimmen. Nach diesem Konzept sollte kein Punkt in Österreich weiter als 100 km von einer GPS-Referenzstation entfernt sein und gleichzeitig sollten alle wichtigen tektonischen Zonen erfasst werden. Um diese Vorgaben einhalten zu können, sind 17 – 18 Stationen erforderlich. Von diesen Stationen sind zur Zeit (September 2002) 14 Stationen in Betrieb. Weitere 3 Stationen werden bis Ende 2003 verfügbar sein. Die primäre Zielsetzung dieser Stationen ist die Überwachung der Stabilität des Bezugsrahmens. An ausgewählten Punkten der Erdoberfläche erfolgt eine permanente Kontrolle ob großräumige Veränderungen auftreten. International werden diese Messungen als „Class A“ Standard qualifiziert, was eine reproduzierbare Genauigkeit in der 3D-Position von besser als  $\pm 1$  cm bedeutet. Die Daten dieser Stationen stehen neben der o.a. Aufgabe der Systemüberwachung aber auch für andere internationale und nationale Aufgaben zur Verfügung (siehe Punkt 3.2.2).

### 3.2.1 Stationsaufbau

Die GPS-Referenzstationen von BEV und ÖAW sind weitgehend einheitlich aufgebaut:

- Antennensteher auf Betonfundament aus einem verzinkten Metallrohr als Träger der Radomkuppel,
- Radomkuppel (Konstruktion GRAZ),
- Stahlstange im Rohr als Antennenträger im Fels verankert (nur bei Stationen im anstehenden Fels),
- 2-Frequenz GPS-Empfänger mit Dornier Margolin Choke Ring Antenne,
- PC mit Referenzstationssoftware,
- USV zur Überbrückung von Stromausfällen (2–30 h),
- 1–2 ISDN-Basisanschlüsse (je 2x64 kbit) als Wählleitungen,
- Schutzeinrichtungen gegen Blitzschlag und Überspannungen.

### 3.2.2 Datentransfer/Datenspeicherung/Datenabgabe

Der Transfer von komprimierten RINEX Daten ist in zwei Teile gesplittet:

- Regelmäßiger Datentransfer für nationale und für internationale Aufgaben (System- und Kontrollberechnungen),
- Datenabfrage für Kundenanfragen.

Der Datentransfer erfolgt in komprimierten 1h-Paketen (Datenintervall 30 sec für übergeordnete Arbeiten wie Kontrollrechnungen). Das Datenintervall für Kundenanfragen variiert zwischen 1 sec und 30 sec. Neben GPS Messdaten werden auch für wissenschaftliche Untersuchungen von ausgewählten Messstationen Zustandsgrößen der Atmosphäre ermittelt und weitergeleitet (Temperatur, Druck, Feuchte).

Die Speicherung der Daten im RINEX-Format erfolgt langfristig auf Datenträgern (MO, CD, DVD). Derzeit ist nur eine auf 30 sec ausgedünnte Speicherung der Daten vorgesehen, Daten im Sekundentakt werden nach einigen Monaten gelöscht. Die 1 sec Daten sind zumindest für die letzten 100 Tage online verfügbar. Die Daten sind auf ihre formale Verwendbarkeit geprüft.

1 sec RINEX-Daten für die letzten 100 Tage können von folgenden Adressen bezogen werden. BEV: kundenservice@bev.gv.at, ÖAW: Bestellung: <http://gps.iwf.oeaw.ac.at/rinex.htm>, Abholung: <ftp://olggps.oeaw.ac.at/pub/service/daten>.

30-sec RINEX Daten der letzten 1–2 Jahre können online unter <ftp://geols01.iwf.oeaw.ac.at> oder <http://gps.iwf.oeaw.ac.at> (-> Data Center->pub/savedata) für alle o.a. Stationen abgerufen werden.

### 3.2.3 Kontrollarbeiten

Die Kontrolle der einzelnen GPS-Referenzstationen wird teilautomatisiert von den jeweiligen Zentralen (BEV: Wien, ÖAW: Graz) durchgeführt. Diese Kontrolle umfasst die laufend aufgezeichneten Daten in Hinblick auf Vollständigkeit und Qualität. Mittels RAS-Dienst (Remote Access Service – Fernwartungstool) wird die Pflege und Wartung der Stationen ausgeführt. Für diese Arbeiten stehen die o.a. Wählleitungen zur Verfügung.

Neben der unmittelbaren Kontrolle der aufgezeichneten Daten sowie der Funktionsfähigkeit der Stationssoftware, wird auch routinemäßig die Stabilität der Stationen kontrolliert.

Die Auswertung der Beobachtungen erfolgt ca. zwei Wochen nach Abschluss der GPS-Woche im Wochenrhythmus. Dazu wird ein Netz aus den o.a. 14 Stationen gebildet und als freies Netz ausgeglichen. Der Systembezug zu ITRF ist durch die Koordinaten der IGS-Station GRAZ und durch die Verwendung der präzisen IGS-orbits gegeben. Die Wiederholgenauigkeit der semi-automatischen Auswertung mit der Berner Software (derzeit Version 4.2, Bernese Processing Engine BPE) liegt derzeit bei einigen Millimetern in der Lage, in der Höhe zwischen 5 und 10 mm. Änderungen in der Lage von mehr als

10 mm und in der Höhe von mehr als 20 mm werden manuell auf Fehlerquellen untersucht. Mindestens einmal jährlich wird die Zeitreihe der Stationen auf saisonale und längerfristige Veränderungen untersucht. Eine signifikante Eigenbewegung ließ sich bisher nur bei der Station Hafelekar feststellen, deren Ursache untersucht wird. Die saisonale Bewegung in Nord-Süd-Richtung beträgt maximal  $\pm 10$  mm. Manche abrupten Höhenänderungen können auf ungenügende Modellierung bei extremen Wetterbedingungen (Starke Fronten, ausgedehnte Inversionslagen) hindeuten.

Die o. a. Qualität des GPS-Grundnetzes liegt somit etwas über dem internationalen Standard, vor allem wegen der geringen Ausdehnung des Netzes, der Lage in mittleren Breiten und der Kürze der Stationsentfernungen. Der internationale Bezug ist durch die Anbindung an die IGS Station GRAZ gegeben.

Neben diesen unmittelbaren Kontrollarbeiten ist auch die Führung entsprechender Logsheets für

jede GPS-Referenzstation ein wichtiger Bestandteil in der Betreuung der Stationen. Jede Veränderung in der Stationsausrüstung ist genau aufzuzeichnen, um eventuelle Änderungen in den Stationskoordinaten zuordnen zu können (z. B. Antennenwechsel, Antennenkabelwechsel,...).

### 3.2.4 Einsatzbereiche der GPS-Referenzstationsdaten

BEV: Die aufgezeichneten RINEX-Daten werden weitgehend für interne Anwendungen eingesetzt, u.a. für:

- Grundlagenvermessungen: Erneuerung des Festpunktfeldes,
- Photogrammetrie: Bestimmung des Aufnahmezentrums der Photokamera,
- Digitales Landschaftsmodell: Bestimmung von Verkehrswegen

Im Jahr 2001 wurden ca. 2,2 GB an Messdaten für die internen Anwendungen bereitgestellt.

ÖAW: 1-sec Daten für Befliegungen (ca. 10 GB)

Ort	Wien	Villach	St. Pölten	Hauser Kaibl	Völkermarkt	Kraiberg	Wels
CODE	WIEN	VLCH	STPO	HKBL	VLKM	KRBG	WELS
DOMES No.	11035S001	11036S001	11041S001	11039S001	11040S001	11043S001	
Gerät	LEICA SR520	Trimble 4000	Trimble 4000	LeicaSR9500	LeicaSR9500	LeicaSR520	LeicaSR520
Antenne	LEIAT504	TRM29659.0	TRM29659.0	LEIAT504	LEIAT504	LEIAT504	LEIAT504
seit	1996	1998	1999	2000	2001	2001	2001
$\varphi$	48° 13' 08"	46° 36' 25"	48° 12' 11"	47° 22' 38"	46° 39' 41"	47° 08' 46"	48° 09' 30"
$\lambda$	16° 22' 23"	13° 51' 02"	15° 37' 59"	13° 46' 17"	14° 37' 34"	10° 37' 36"	14° 01' 15"
h (ell.)	244	342	342	1919	527	2258	390

Tabelle 2: GPS-Referenzstationen des BEV ( $\varphi$ ,  $\lambda$ , h: ITRF)

Ort	Graz-1	Graz-2	Hafelekar	Patscherkofel
CODE	GRAZ	GRAB	HFLK	PATK
DOMES No.	11001M002	11001M004	11006S003	11029S001
Gerät	Ashtech UZ-12	Ashtech Z18	Trimble 4000SSI	Trimble 4000SSI
Antenne	ASH701945C_M	ASH701073.1	TRM29659.0	TRM29659.0
seit	1992	1998	1994	1995
$\varphi$	47° 04' 01"	47° 04' 01"	47° 18' 46"	47° 12' 29"
$\lambda$	15° 29' 36"	15° 29' 36"	11° 23' 10"	11° 27' 37"
h (ell.)	538	538	2384	2299

Ort	Pfänder	Salzburg	Rottenmann	Kitzbühel
CODE	PFAN	SBGZ	RTMN	KTZB
DOMES No.	11005S002	11031S001	11037S001	11038S001
Gerät	Trimble 4000SSI	Trimble 4000SSI	ASHTech Z18	ASHTech UZ-12
Antenne	TRM29659.0	TRM29659.0	ASH701073.1	ASH701945C_M
seit	1997	1998	1999	2002
$\varphi$	47° 30' 55"	47° 48' 12"	47° 31' 29"	47° 25' 10"
$\lambda$	09° 47' 05"	13° 06' 38"	14° 20' 36"	12° 21' 37"
h (ell.)	1090	1324	715	1802

Tabelle 3: GPS-Referenzstationen der ÖAW ( $\varphi$ ,  $\lambda$ , h: ITRF)

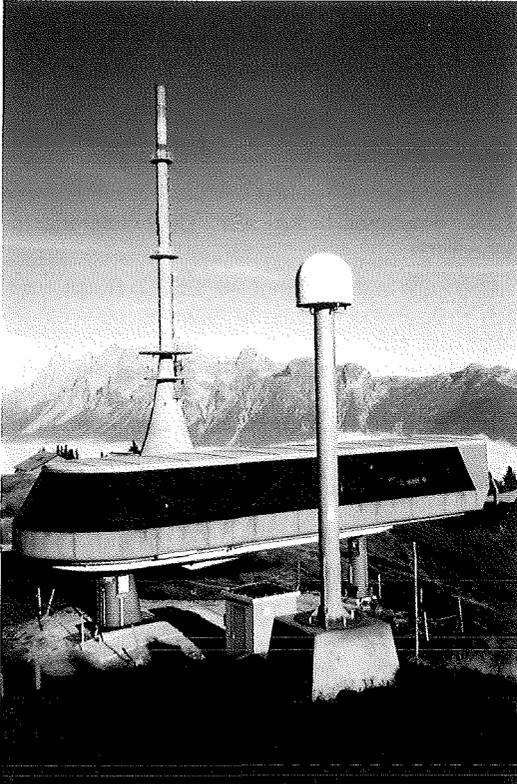


Abbildung 4: GPS-Referenzstation Hauser Kaibling

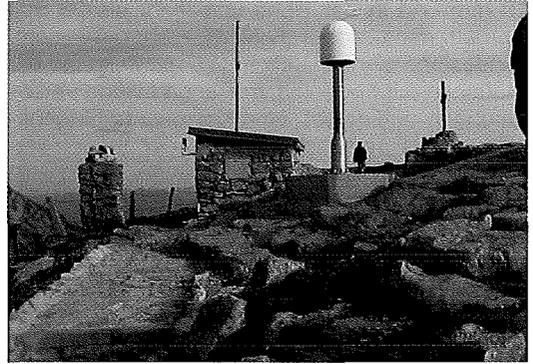


Abbildung 5: GPS-Referenzstation Hafelekar

### 3.3 Regionale Referenzstationsnetze in Österreich

Während sich die Aufgaben der Realisierung des ETRS und der Überwachung tektonisch aktiver Zonen mit einer Anzahl von 18 über Österreich verteilten GPS-Referenzstationen gut erfüllen lässt, ist diese Zahl für die Anbindung geodätischer Netze mittels kurzzeit-statischer (rapid-static) Messungen oder für die Punktbestimmung in Echtzeit noch nicht ausreichend. Zur Basislinienauswertung für kurzzeit-statische Messungen über Distanzen von bis zu 15km ist eine geeignete Verdichtung des ETRF -Rahmens in diesen Abstandsbereich vorzusehen, für die

Ort	Mattersburg	Neusiedl	Oberpullend.	Güssing	Linz	Wien/Leop.	Baden
CODE	MTBG	NEUS	OBER	GUES	LINZ	LEOP	BADE
DOMES No.	11030M001				11033S001		
Gerät	JPS Legacy	JPS Legacy	JPS Legacy	JPS Legacy	LeicaSR9500	JPS Legacy	JPS Legacy
Antenne	JPSREGANT	JPSREGANT	JPSREGANT	JPSREGANT	LEIAT504	JPSREGANT	JPSREGANT
seit	1997	1997	1997	1997	2001	2002	2002
$\varphi$	47° 44' 16"	47° 57' 38"	47° 30' 22"	47° 04' 27"	48° 18' 35"	48° 16' 19"	48° 00' 03"
$\lambda$	16° 24' 15"	16° 50' 12"	16° 30' 28"	16° 19' 09"	14° 16' 59"	16° 25' 11"	16° 14' 51"
h (ell.)	294	224	308	282	337	223	283

Tabelle 4: GPS-Referenzstationen des Mag. Linz, BEWAG, Wienstrom ( $\varphi$ ,  $\lambda$ , h: ITRF)

Ort	Bleiburg	Klagenfurt	Koetschach	Landskron	St.Leonhard	Lieserhofen	Treibach
CODE	BLEI	KLAG	KOET	LANK	LEON	LIES	TREI
DOMES No.							
Gerät	JPS Legacy						
Antenne	JPSREGANT						
seit	2000	2000	2001	2000	2000	2001	2001
$\varphi$	46° 35' 23"	46° 36' 25"	46° 40' 27"	46° 37' 51"	46° 58' 15"	46° 49' 48"	46° 51' 39"
$\lambda$	14° 47' 38"	14° 19' 10"	13° 00' 34"	13° 53' 34"	14° 47' 09"	13° 28' 36"	14° 27' 50"
h (ell.)	538	500	756	581	527	689	671

Tabelle 5: GPS-Referenzstationen der KELAG ( $\varphi$ ,  $\lambda$ , h: ITRF)

Echtzeitpositionierung wäre ein dichtes Referenzstationsnetz mit Stationsabständen von 40–60 km optimal. Aus diesem Grund wurde der AGREF/AREF Rahmen bereits in einigen Bundesländern durch das BEV, Landesvermessungsbehörden und Vermessungsbefugte passend verdichtet. Im Bereich der Referenzstationen gab es eine ähnliche Entwicklung. In chronologischer Folge ihrer Errichtung gibt es heute aktive GPS/GLONASS Referenzstationsnetze im Burgenland (4 Stationen; Betreiber BEWAG; seit 1998), in Kärnten (8 Stationen; Betreiber KELAG; seit 2000) und auch im Bereich Wien (2 Stationen; Betreiber Wienstrom; ab Ende 2002). Zusätzlich ist eine GPS-Referenzstation im Magistrat Linz seit dem Vorjahr in Betrieb.

Da sich dieser Artikel vorrangig mit der Anlage und Verteilung der Stationen sowie mit deren Daten-Verfügbarkeit für die Postprocessing Auswertung beschäftigt, werden wir im Folgenden das Kapitel Echtzeitanwendungen ausklammern. Die Tabellen 4 und 5 geben eine Zusammenstellung der Lage und der Ausrüstung der jeweiligen Station. Alle Stationen sind mit geodätischen 2-Frequenzempfängern und den zugehörigen GPS-Antennen ausgestattet. Messdaten dieser Stationen werden ebenfalls laufend in Hinblick auf Vollständigkeit und Qualität in Wien und Graz geprüft. Die Daten stehen auf Anfrage mit einer Verzögerung von 1–2 Tagen (abhängig von der Station) im komprimierten RINEX Format am Server der Abteilung Höhere Geodäsie der TU-Wien oder am Datacenter des Observatoriums Lustbühl (Stationen MTBG, GUES, LINZ, KOET) zur Verfügung.

## 4. Systemübergänge

### 4.1 Zielsetzungen – internationale Vorgaben

Das Arbeiten mit GPS brachte eine Vielfalt neuer Systembezeichnungen mit sich, die nicht immer ganz leicht auseinander zu halten sind: WGS84, ITRFyy (z. B.: die neueste Version ITRF2000), ETRFyy. Zu beachten sind auch noch die Epochen auf die sich diese Systeme beziehen. Nicht für alle Arbeiten ist die Kenntnis der Definition und der Unterschiede dieser Begriffe erforderlich. Um jedoch Messungen mit GPS und die daraus abgeleiteten 3D-Koordinaten konsistent in Datenbanken zu speichern, ist die Kenntnis dieser Systeme und der Zusammenhänge zwischen den Systemen Voraussetzung für einwandfreies Arbeiten. Wichtig ist nicht

immer im gleichen System mit den gleichen Ausgangspunkten zu arbeiten, wichtig ist zu wissen, in welchem System die Ergebnisse anfallen und auf welche Epoche sie sich beziehen. Ziel sollte jedoch die Speicherung der Ergebnisse in einem einheitlichen Koordinatensystem für eine einzige Epoche sein. Damit ist dann die Möglichkeit gegeben, bei Bedarf auch in andere 3-D Koordinatensysteme umzurechnen.

Am „Spatial Reference Workshop“ in Marne-la-Vallée, November 1999, an dem wichtige europäischen Vertreter von EUROSTAT, EUROCONTROL, Open GIS Consortium, EUREFF, CERCO (heute Eurogeographics) und ISO&CEN teilnahmen, wurden u. a. folgende Empfehlungen an die Europäische Kommission abgegeben:

- Adaptierung von ETRS89 als geodätisches Datum für die Georeferenzierung im Bereich der EU,
- Angabe von Positionen in geografischen Koordinaten,
- Verwendung von EUVN<sup>1</sup> und UELN<sup>2</sup> für die Definition von Höhen unter Berücksichtigung von Schwerewerten,
- Verwendung von einheitlichen Kartenprojektionen, abhängig vom Kartenmasstab (transversale Mercator-, Lambertsche konische- und Lambertsche azimutale Projektion).

D. h., dass für internationale Projekte die oben angeführten Vorgaben eingeführt werden sollen. Besonders im GIS Bereich oder für länderübergreifende Kartendarstellungen (z. B. administrative Grenzen der EU-Staaten) werden diese Bezugssysteme und Kartenprojektionen bereits verwendet. In Österreich werden mit den Arbeiten zur Homogenisierung (Neurechnung) des Lagefestpunktfeldes ebenfalls die Voraussetzungen für den homogenen Übergang in das ETRS89 geschaffen und damit ETRS89 als österreichisches Zielsystem vorgegeben.

#### 4.1.1 ITRF

Für großräumige Vermessungen, die auch eine hohe Genauigkeit ergeben sollen, sind die von IGS produzierten präzisen Satellitenbahnen (precise ephemerides) zu verwenden. Für die Auswertung ist es auch erforderlich einen oder mehrere Referenzpunkte mit gegebenen ITRF2000 Koordinaten mit einzubeziehen. In der letzten Realisierung ITRF2000 sind in Österreich die Koordinaten von GRAZ, HFLK, PFAN und SBGZ angegeben. In der Umgebung von Österreich liegen

1) EUVN: European Vertical reference Network

2) UELN: United European Levelling Network

die Stationen ZIMM (Zimmerwald/CH), WTZR (Wetzell/D), PENC (Penc/H) und GOPE (Pecny/CZ) mit ITRF2000 Koordinaten.

Die ITRF2000 Koordinaten beziehen sich auf die Epoche 1997.0. Diese Koordinaten müssen mit den Stationsgeschwindigkeiten auf die aktuelle Messepoche umgerechnet werden. Die Stationen PFAN (Bregenz/Pfänder) und SBGZ (Salzburg/Gaisberg) weisen allerdings in der ITRF2000 Lösung eine geringere Genauigkeit auf als die anderen angeführten Punkte (Koordinatensprung durch defekte Antenne für PFAN; zu kurze Beobachtungszeit für SBGZ), daher ist deren Verwendung kritisch zu beurteilen.

$$\begin{pmatrix} X(t) \\ Y(t) \\ Z(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X(t_0) \\ Y(t_0) \\ Z(t_0) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{pmatrix} \cdot (t - t_0)$$

$X(t), Y(t), Z(t) \dots$  ITRF2000 Koordinaten zur aktuellen Epoche  $t$ ,

$X(t_0), Y(t_0), Z(t_0) \dots$  ITRF2000 Koordinaten zur Epoche 1997.0

$t \dots$  aktuelle Epoche, z.B. 2003.0

$t_0 \dots$  Epoche von ITRF2000, 1997.0

$v_x, v_y, v_z \dots$  Stationsgeschwindigkeiten im ITRF2000

Koordinaten und Geschwindigkeiten sind im Internet unter <http://lareg.ign.fr/ITRF/ITRF2000> zu finden. Die auf diese Art berechneten Koordinaten beziehen sich auf ITRF2000 zur Epoche  $t$  und können in jedes andere System zu jeder Epoche umgerechnet werden.

#### 4.1.2 ETRF89

Der Übergang von ITRF2000 zu ETRF89 wird durch eine Helmert-Transformation mit zeitlich abhängigen Parametern beschrieben [11]:

$$\begin{pmatrix} X_E(t) \\ Y_E(t) \\ Z_E(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X(t) \\ Y(t) \\ Z(t) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & -dR_3/dt & dR_2/dt \\ dR_3/dt & 0 & -dR_1/dt \\ -dR_2/dt & dR_1/dt & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X(t) \\ Y(t) \\ Z(t) \end{pmatrix} \cdot \Delta t$$

$X_E(t)=X_E(89), Y_E(t)=Y_E(89), Z_E(t)=Z_E(89)$ : Gültig für Österreich, da Österreich homogen mit der Eurasischen Platte mitrotiert (siehe unten).

$X_E(t), Y_E(t), Z_E(t) \dots$  Koordinaten in ETRF89 zur Epoche  $t$

$X(t), Y(t), Z(t) \dots$  Koordinaten in ITRF2000 zur Epoche  $t$   
 $X_E(89), Y_E(89), Z_E(89) \dots$  Koordinaten in ETRF89 zur Epoche 1989.0

$T_1, T_2, T_3 \dots$  Verschiebungskomponenten zwischen ETRF89 und ITRF2000

$dR_1/dt, dR_2/dt, dR_3/dt \dots$  Rotationskomponenten zwischen ETRF89 und ITRF2000/Jahr

$\Delta t = t - 1989.0 \dots$  Zeitdifferenz zwischen aktueller Epoche und Epoche von ETRF89

Die Verschiebungskomponenten bestehen wiederum aus einem globalen konstanten und einem von der Schwerpunktdifferenz abhängigen Anteil und sind für die einzelnen ITRF verschieden. Im Fall der Transformation zwischen ITRF2000 und ITRF89 bzw. ETRF89 betragen die Werte ( $T_1: 54, T_2: 51, T_3: -48$ ) mm mit einem mittleren Fehler von jeweils  $\pm 4$  mm.

Die Rotationskomponenten kompensieren die Rotation der gesamten Eurasischen Platte und sind in ITRF2000 bereits auf die Erfahrungswerte aus GPS und nicht mehr auf Modelle der Plattentektonik bezogen [12]. Die jährliche Differenz zwischen ITRF2000 und ITRF89 beträgt  $(0.081, 0.490, -0.792)10^{-3}$  arcs. Die ganze Transformation wird noch etwas komplizierter, wenn sich das ganze Netz oder Teile davon nicht auf dem starren Teil der Eurasischen Platte befinden, es sind dann noch zusätzlich die Bewegungen in ETRF89 anzubringen. Allerdings liegt der zentral-europäische Bereich mit Österreich im starren Bereich, sodass keine weiteren Berechnungen erforderlich sind. Die geringen tektonischen Aktivitäten in Österreich zeigen auch die GPS-Messungen der letzten 10 Jahre auf, die bisher keinerlei signifikante Veränderungen an den GPS-Referenzstationen erkennen lassen.

Damit nicht jedes noch so kleine Netz, das an Permanentstationen anschließt, mühselig auf diesem Wege in ETRF89 transformiert werden muss, werden die Koordinaten der österreichischen GPS-Referenzstationen künftig auf ETRF89 umgestellt werden.

#### 4.1.3 WGS84

Wird mit den Broadcast-Ephemeriden, die direkt von den GPS-Satelliten ausgestrahlt wer-

den, gerechnet, dann sind die Ergebnisse im System WGS84. Über die Genauigkeit von WGS84 wurde bereits unter Punkt 2 berichtet. Da die ausgestrahlten Broadcast-Ephemeriden für die Satellitenbahnen nur eine Genauigkeit von  $\pm (2-3)$ m aufweisen (siehe Tabelle 1), ist damit für die absolute Koordinatenbestimmung auch keine höhere Genauigkeit möglich. D. h. aber, es spielt hier die Systemfrage keine Rolle, da in diesem Genauigkeitsbereich WGS84, ITRF und ETRF ident gesetzt werden können.

Sollte jedoch bei differentieller Messung an einen 3-D Referenzpunkt mit bekannten Koordinaten angeschlossen werden, kann mit den Broadcast-Ephemeriden eine Genauigkeit bis etwa  $10^{-6}$

erreicht werden. Die so erzielten Ergebnisse sind dann im Bezugssystem des Ausgangspunktes gegeben und zusätzlich mit den Fehlern des Ausgangspunktes behaftet.

#### 4.2 Beziehung von ITRF, ETRF zu den österreichischen Lage- und Höhengebrauchssystemen

Die o. a. internationalen Bezugssysteme ITRS und ETRS sowie deren Realisierungen ITRF und ETRF und darauf aufbauend die nationalen Verdichtungsnetze AGREF und AREF liefern Koordinatenangaben X, Y und Z in einem 3-D System. Die 3-D Koordinaten sind rein geometrisch definiert und stehen in keinem Bezug zum tatsächlich existierenden Schwerefeld. Der Vorteil dieser 3-D Koordinaten ist, dass sie aus einem System hierarchisch aufgebauter GPS-Netze abgeleitet sind und daher homogen sind und eine hohe innere und äußere Genauigkeit aufweisen ( $< \pm 1$  cm). Die im Anschluss an diese Bezugspunkte abgeleiteten Koordinaten eignen sich daher sehr gut für internationale Arbeiten und auch für internationalen Datenaustausch.

Sollen 3-D Koordinaten im System ITRS oder ETRS in Koordinaten nationaler Bezugssysteme, wie z. B. dem österreichischen Gebrauchssystem des Militärgeographischen Institutes (MGI), umgerechnet werden, sind einige Regeln zu beachten. Das österreichische Gebrauchssystem des MGI weist aufgrund seiner Entstehungsgeschichte Deformationen in der Lage von  $\pm(1-2)$  m österreichweit auf. D. h. mit einem einzigen Satz von Transformationsparametern ist es nur möglich, Koordinaten von ITRF/ETRF ins MGI oder umgekehrt mit einer Genauigkeit von  $\pm(1-2)$  m umzurechnen. Zur Erzielung einer höheren Genauigkeit ist es derzeit erforderlich lokale Transformationsparameter durch Messungen auf Identpunkten zu erheben. Die übergeordneten Transformationsparameter sind aufgrund der unter 4.1 angeführten internationalen Vorgaben für die europäischen Länder gesammelt und über Internet abrufbar: <http://crs.ifag.de>.

Komplexer werden die Verhältnisse dann, wenn aus GPS-Messungen Meereshöhen abgeleitet werden sollen. Die unmittelbar verfügbaren Höhen, die bei GPS-Messungen anfallen, sind ellipsoidische Höhen ( $H_{\text{ell}}$ ). Diese stehen jedoch in keinem Zusammenhang mit dem Erdschwerefeld. Für viele praktische Anwendungen, vor allem Wasserbauten, sind jedoch Höhen zu verwenden, die das Erdschwerefeld berücksichtigen. D. h. neben exakt definierten Meereshöhen (orthometrische Höhen  $H_{\text{orth}}$ ), die sich auf das

Geoid beziehen, ist auch noch der Abstand Geoid – Ellipsoid, das ist die Geoidundulation N, zu berücksichtigen. Es gilt die einfache Formel

$$H_{\text{ell}} = H_{\text{orth}} + N$$

Um das in GPS Messungen enthaltene hohe Genauigkeitspotential auch für Arbeiten, die im Zusammenhang mit dem österreichischen Lage- und Höhenfestpunktfeld stehen, wirtschaftlich nutzen zu können, laufen seit einigen Jahren Arbeiten im BEV, die zu einer wesentlichen Verbesserung dieser Grundlagennetze führen werden. Es handelt sich dabei um die 3 Projekte

- Homogenisierung des österreichischen Festpunktfeldes [13],
- Erstellung eines neuen Höhensystems [14], [15] und
- Geoid 2000 (in Kooperation mit TU Graz) [16].

Näher auf diese Projekte einzugehen, würde den Rahmen dieses Beitrages weit übersteigen. Nach erfolgreichem Abschluss dieser Projekte wird es u. a. möglich sein, österreichweit mit einem einzigen Parametersatz vom homogenisierten Festpunktfeld nach ITRF oder ETRF mit einer Genauigkeit von  $\pm 10$  cm umzurechnen (oder umgekehrt), bei Anschluss an GPS-Referenzstationen unter Verwendung der „Homogenisierungsvektoren“ direkt die Ergebnisse im Gebrauchssystem zu erhalten, Umrechnung von ellipsoidischen „GPS-Höhen“ in physikalisch definierte Meereshöhen mit einer Genauigkeit von  $\pm(1-3)$ cm auf 100 km durchzuführen.

## 5. Ausblick

Referenzsysteme und die eingebundenen GPS-Permanentstationen sind nicht für schnelle Veränderungen geeignet, was das Design betrifft. In erster Linie werden Stabilität, Wohldefiniertheit und gute Dokumentation der Änderungen verlangt. Die Produkte, die sie liefern können, reichen allerdings von Information innerhalb einer Sekunde bis zu Informationen, die voraussichtlich Dezennien umfassen werden.

Wissenschaft und Forschung verlangen nach einer Steigerung der Genauigkeit in den Bereich von  $10^{-9}$ . Dieses Ziel scheint erreichbar, wenn man an die Modernisierungsbemühungen bei GPS (zusätzliche 3. Frequenz) und den Aufbau von GALILEO denkt. Ebenso werden die anderen Raummethoden wie VLBI und SLR ständig weiterverbessert und zusätzliche neue Satellitenmissionen, wie z. B. GOCE, CHAMP, zur Erdschwerefeldbestimmung gestartet. Wichtig bei der Weiterentwicklung bestehender Messverfahren

ren, sowie bei der Einführung neuer, ist die Konsistenz zwischen allen Systemen herzustellen. Darüber hinaus wird es auch einiger Anstrengung bedürfen, Messdaten, Programme zur Berechnung von gewünschten Ergebnissen über viele Jahrzehnte hinweg verfügbar zu halten, um sie für Forschungsaufgaben wie z. B. in der Klimatologie, bereitstellen zu können.

In der praktischen Anwendung von Satellitenmethoden zur Positionierung werden immer stärker automatisierte Online-Systeme zum Einsatz kommen. D. h. permanent arbeitende GPS-Referenzstationen werden künftig nicht nur national (wie z. B. SAPOS in Deutschland oder SWIPOS in der Schweiz) zu DGPS-Diensten zusammengefasst, sondern auch über die Ländergrenzen hinweg flächendeckend cm-genaue Vermessungen ermöglichen. Als Zielvorstellung für die nächsten 5–10 Jahre wird dabei die Bestimmung von Positionen mit cm-Genauigkeit über ganze Kontinente hinweg in Echtzeit sein, mit einem Aufwand, der nicht viel über dem eines Telefongesprächs liegen sollte. Hierbei wird der Aufbau von GALILEO nicht unbedingt die Genauigkeit steigern, aber einen wesentlichen Beitrag zur Erhöhung der Redundanz und der Zuverlässigkeit solcher Systeme liefern. Weiters könnte es durch den Einsatz des Internets für die Datenübertragung auch zu einer beachtlichen Reduktion dieses Kostenteiles kommen.

Um die Kostenvorteile, die sich aus der Nutzung von Satellitenmessverfahren ergeben, voll nutzen zu können, ist die Modernisierung der bestehenden nationalen Festpunktfelder jedoch eine vordringliche Arbeit. Denn nur klar definierte Beziehungen im cm-Bereich, zwischen den bestehenden Festpunktfeldern und den modernen 3-D Referenzsystemen erlauben es, das volle Potenzial dieser Messmethoden auszuschöpfen.

#### Literatur

[1] IGS Annual Report 2000, IGS Central Bureau (2001), Jet Propulsion Laboratory, Pasadena.  
 [2] Weber, R., Springer, T.A.: 2000 Analysis Coordinator Report, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena.  
 [3] Weber, R., Springer, T.A.: The International GLONASS Experiment: Products, Progress and Prospects. Journal of Geodesy, 2001, Vol. 75, Nr. 11, pp. 559–568.  
 [4] Adam, J. et. al.: Status of the European Reference Frame EUREF. Presented at the IAG Scientific Assembly, Budapest, 2001.  
 [5] Gurtner, W., Fankhauser, S., Ehrnsperger, W., Wende, W., Friedhoff, H., Habrich, H., Botton, S.: EUREF-89 GPS Campaign – Results of the Processing by the „Berne Group“ – Report on the Symposium of the IAG Subcommittee for the European Reference Frame (EUREF) held in Berne 4 – 6 March 1992, Veröffentlichungen der Bayerischen Kommission für die Internationale Erdmessung der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, Astronomisch-Geodätische Arbeiten Nr. 52, München 1992, S. 146–169.

[6] Pesec, P.: Austrian Geodynamic Reference Frame – AGREF Report on the Symposium of the IAG Subcommittee for the European Reference Frame (EUREF) held in Ankara, 22 – 25 May 1996. Veröffentlichungen der Bayerischen Kommission für die Internationale Erdmessung der Bayerischen Akademie der Wissenschaften Astronomisch-Geodätische Arbeiten Nr. 57, München 1996, S. 51–58.  
 [7] Pesec, P., Sünkel, H., Erker, E., Imrek, E., Stangl, G.: Das österreichische Geodynamische Bezugssystem AGREF. Realisierung und Ergebnisse. Österreichische Akademie der Wissenschaften, Graz, 1997.  
 [8] Ahrer, H., Döller, H.: AREF-1 – Das GPS-Grundnetz von Österreich als Basis der modernen telematischen Geodäsie. Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation, Heft 2/97, Wien, 1997.  
 [9] Kaniuth, K., Voelksen, C.: Comparison of the Bernese and GIPSY Software Systems Using EUREF Data. Report on the Symposium of the IAG Subcommittee for Europ (EUREF), held in Ponta Delgada, 2002. Mitteilungen des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt am Main (in Druck).  
 [10] Pany, T., Pesec, P., Stangl, G.: Network Monitoring at the OLG Analysis Centre, Current Status and Intended Developments. Mitteilungen des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie, Band 23, EUREF Publication No. 10, Frankfurt/M. 2002, S. 125–129.  
 [11] Boucher, C., Altamimi, Z., 2001: Specifications for reference frame fixing in the analysis of a EUREF GPS-campaign, zu finden <http://lareng.ensg.ign.fr/EUREF/memo.pdf> (12-04-2001).  
 [12] Boucher, C., Altamimi, Z.: The ITRS and ETRS89 Relationship: New Results from ITRF2000 Mitteilungen des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie, Band 23, EUREF Publication No. 10, Frankfurt/M. 2002, S. 49–52.  
 [13] Erker, E.: Die Homogenisierung des österreichischen Festpunktfeldes im internationalen Rahmen. Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation, Heft 2/97, Wien, 1997.  
 [14] Höggerl, N.: Die Ausgleichung des Österreichischen Präzisionsnivelementnetzes. Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen und Photogrammetrie, 74. Jg. Heft 4, Wien 1987.  
 [15] Ruess, D.: Schwere und Höhe im alpinen Bereich. Fachvorträge d. 7. Geodätischen Woche in Oberegurgl 1993; Univ. Innsbruck, Inst. f. Geodäsie, Institutsmittteilungen Heft 15, S. 44–58, Innsbruck 1993.  
 [16] Kührtreiber, N.: Improved Gravimetric Geoid AGG97 of Austria, Geodesy on the Move, Proceedings of the IAG Scientific Assembly, Rio de Janeiro 1997, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1998, pp. 306–311.

#### Anschrift der AutorInnen:

Dipl. Ing. Norbert Höggerl, Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Abteilung Grundlagen, A-1025 Wien, Schiffamtsgasse 1–3, [norbert.hoeggerl@bev.gv.at](mailto:norbert.hoeggerl@bev.gv.at)  
 a. o. Prof. Dr. Robert Weber, Technische Universität Wien, Institut für Geodäsie und Geophysik, Gußhausstrasse 27–29, A-1040 Wien, email: [rweber@luna.tuwien.ac.at](mailto:rweber@luna.tuwien.ac.at)  
 Dr. Peter Pesec, Österreichische Akademie der Wissenschaften, Institut für Weltraumforschung, Abteilung Satellitengeodäsie, Schmiedlstrasse 6, A-8042 Graz, email: [peter.pesec@oew.ac.at](mailto:peter.pesec@oew.ac.at)  
 Mag. Dipl. Ing. Günter Stangl, Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Aussenstelle Graz, Schmiedlstrasse 6, A-8042 Graz, email: [guenter.stangl@oew.ac.at](mailto:guenter.stangl@oew.ac.at)  
 Dipl. Ing. Elisabeth Fragner, Technische Universität Wien, Institut für Geodäsie und Geophysik, Gußhausstrasse 27–29, A-1040 Wien, email: [efragner@luna.tuwien.ac.at](mailto:efragner@luna.tuwien.ac.at)