

## APOS – Austrian Positioning Service

Norbert Höggerl, Helmut Titz, Ernst Zahn, Wien

### Kurzfassung

Global Navigation Satellite Systems (GNSS) werden von großräumigen Messungen, z. B. für die Realisierung von Referenzsystemen, bis hin zu kleinräumigen Detailvermessungen eingesetzt. APOS nutzt die GPS-Satellitensignale um einerseits ETRS89 in Österreich zu realisieren, andererseits dient APOS in seiner Funktion als Echtzeitpositionierungs-Service des BEV auch als Messmittel für ein breites Spektrum von Anwendungen. Im Folgenden wird der Aufbau von APOS mit den Komponenten Referenzstationen, Datenübertragung, Datenverarbeitung und Datenverteilung beschrieben. Auf die Qualitätssicherung bei APOS wird ausführlich eingegangen, da mit APOS ein Werkzeug bereitgestellt wird, dass den staatlichen Auftrag für die Schaffung österreichweiter, homogener Grundlagen zur Georeferenzierung erfüllen muss. Den Abschluss bildet eine Produktübersicht.

### Abstract

Global Navigation Satellite Systems (GNSS) are used for measurements of wide areas such as the realisation of reference systems, but also for detailed small-scale measurements. APOS uses the GPS satellite signals to realise ETRS89 in Austria and, being a Realtime Positioning Service, is simultaneously used as a measuring tool for a wide range of applications. The article contains a description of the set-up of APOS with the components: reference stations, data transmission, data processing and data distribution. There is a detailed overview of quality assurance for APOS as APOS has to serve as a tool for fulfilling the task to create a national, homogeneous basis for georeferencing. The last part of the article is dedicated to APOS products.

### 1. Einleitung

Im § 1 des Vermessungsgesetzes (VermG) ist die Schaffung und Erhaltung eines engmaschigen Festpunktfeldes als Aufgabe des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen (BEV) definiert. Die Aufgabe dieses Festpunktfeldes ist die Bereitstellung von Grundlagen, die es ermöglichen, für ganz Österreich in einem einheitlichen System Georeferenzierung (Koordinatenbestimmung) durchzuführen. Seit der Gründung des BEV im Jahre 1923 steht dafür das Koordinatensystem des Militär-Geographischen-Institutes (MGI) als Gebrauchssystem zur Verfügung, dessen Grundlagen bis in das 19. Jahrhundert zurückreichen.

Der Einsatz von Global Navigation Satellite Systems (GNSS) als hochgenaue 3-D Messsysteme seit Mitte der 80-er Jahre des vorigen Jahrhunderts brachte eine große Anzahl von Veränderungen mit sich und hatte Auswirkungen z.B. auf

- den Aufbau von Referenzsystemen im allgemeinen (Paradigmenwechsel),
- die Bestimmung von Koordinaten,
- die Vereinfachung des internationalen Austauschs von georeferenzierten Daten,

- die Entwicklung gänzlich neuer Geschäftsfelder (Precise Farming, Maschinensteuerung mit GNSS, Zeitdienste, etc.).

Gleichzeitig wurden aber auch Schwachstellen in den vorhandenen geodätischen Grundlagen aufgezeigt, die bisher, kleinräumig gesehen, eine untergeordnete Rolle spielten:

- fehlerbehaftete Koordinatensysteme, die unter Verwendung von trigonometrischen Messungen aufgebaut wurden (in gebirgigen Regionen vieler Länder besonders bemerkbar),
- Höhensysteme, die nicht exakt definiert sind (u. a. fehlende Berücksichtigung der Schwere).

Das BEV hat dieser Entwicklung in zweierlei Hinsicht Rechnung getragen:

- Realisierung eines nationalen 3-D Referenzsystems (= Bezugsrahmen), welches eine Realisierung des ETRS89 ist und aus aktiven und passiven Punkten besteht [7],
- Aufbau des Echtzeitpositionierungs-Service APOS (Austrian Positioning Service),
- Verbesserung der bestehenden geodätischen Grundlagen durch Initiierung und Umsetzung der Projekte „Homogenisierung Festpunktfeld“, „Neues Höhensystem“ und „Geoid2007“.

## 2. Internationale GNSS-Referenzstationen

Die 3-D Koordinatenbestimmung kann in verschiedenen Referenzsystemen durchgeführt werden, wie z. B.:

- ITRS ... International Terrestrial Reference System (weltweites Referenzsystem),
- WGS84 ... World Geodetic System 84 (einheitliches Referenzsystem; Grundlage für die Berechnung der GPS - Broadcast Ephemeriden) – Anpassung an das ITRS mit dm-Genauigkeit,
- ETRS89 ... European Terrestrial Reference System 1989 (regionales europäisches Referenzsystem),
- SIRGAS ... regionales Referenzsystem für Süd- und Zentralamerika.

Innerhalb der Internationalen Assoziation für Geodäsie (IAG) ist die Kommission 1 für Referenzsysteme zuständig. In der Subkommission 2 (SC 1.2) werden die Erfordernisse für die Definition und Realisierung des ITRS festgelegt.

In der SC 1.3 werden regionale Referenzsysteme, wie z. B. ETRS89, SIRGAS, etc. definiert, sowie deren Beziehung zum ITRS festgelegt. Entsprechend den Spezifikationen der SC 1.3a – European Reference Frame (EUREF) gibt es auch verschiedene Klassen von international anerkannten Referenzstationen:

- Class A: Genauigkeit besser  $\pm 1\text{cm}$  (Permanentstation),
- Class B: Genauigkeit  $\pm 1\text{ cm}$  (Epochenstation, Beobachtungszeit: 3x24h).

Zur Class A zählen Stationen des

- IGS – International GNSS Service,
- EPN – EUREF Permanent Tracking Network,
- ECGN – European Combined Geodetic Network.

Class B sind Epochenstationen, die z. B. für Österreich nach einem „Review-Prozess“ von der EUREF-Subkommission akzeptiert wurden [12].

Stationsklassifizierung / Stationsbetreiber	IGS/IGLOS <sup>**)</sup> (Class A)	EUREF – EPN (Class A)	EUREF (Class B)
ÖAW	Graz, Hafelekar	—	—
BEV	—	Pfänder, Salzburg, Trafelberg/Conrad Observatorium	Villach <sup>*)</sup> , Hutbiegl, Hauser Kaibling <sup>*)</sup> , Wien <sup>*)</sup>
TU-Wien / Mag. Linz / BEWAG	Mattersburg <sup>**)</sup>	Linz	Güssing <sup>*)</sup>
KELAG	—	—	Kötschach <sup>*)</sup>

<sup>\*)</sup> Genauigkeit entspricht Class A, jedoch aus formalen Gründen in Class B eingeordnet

<sup>\*\*)</sup> International GLONASS – Service des IGS

Tab. 1: International klassifizierte aktive und passive GNSS-Referenzpunkte in Österreich

## 3. APOS – Referenzstationen

Das APOS-Referenzstationsnetz setzt sich zur Zeit aus den Stationen des BEV (27 Stationen), der Österreichischen Akademie der Wissenschaften – ÖAW (3 Stationen) und der Kärntner Elektrizitäts AG – KELAG (8 Stationen) zusammen. Die Daten der ÖAW- und der KELAG-Referenzstationen werden im Rahmen von Datenlieferverträgen bereitgestellt. Die Referenzstationen Völkermarkt (BEV) und Rottenmann (ÖAW) sind nicht Teil des APOS Echtzeitservice. Mit einer vollständigen

Flächendeckung für Österreich ist bis Ende des Jahres 2007 zu rechnen.

Zur Erhöhung der Redundanz von Referenzstationen in den Grenzbereichen von Österreich, sowie zur homogenen Verbindung von APOS mit den Echtzeitpositionierungssystemen der benachbarten Länder, erfolgt ein Datenaustausch von grenznahen Referenzstationen. Im Rahmen des internationalen D-A-CH Vertrages zwischen Deutschland (Baden-Württemberg und Bayern), Österreich und der Schweiz wurde ein länderübergreifender GPS-Rohdatenaustausch zwi-

schen den Betreibern von SAPOS<sup>1)</sup>, SWIPOS<sup>2)</sup> und APOS vereinbart. Es werden Datenströme über Internet mit Hilfe der VPN-Technologie (Virtual Private Network) von SAPOS (10 Stationen) und SWIPOS (4 Stationen) in die APOS-Zentrale nach Wien übertragen. Im Gegenzug liefert APOS Daten von insgesamt 12 österreichischen Stationen an SAPOS und SWIPOS.

Auf ähnlichen Vereinbarungen basiert die Kooperation mit dem slowenischen GPS-Dienst SIGNAL<sup>3)</sup> (5 Stationen), dem Südtiroler GPS-Dienst STPOS<sup>4)</sup> (3 Stationen), sowie dem slowakischem GNSS-Dienst SKPOS<sup>5)</sup> (2 Stationen). Mit den Nachbarländern Tschechische Republik und Ungarn gibt es ebenfalls bereits einen gegenseitigen Datenaustausch, der vorerst jedoch noch Testcharakter besitzt.

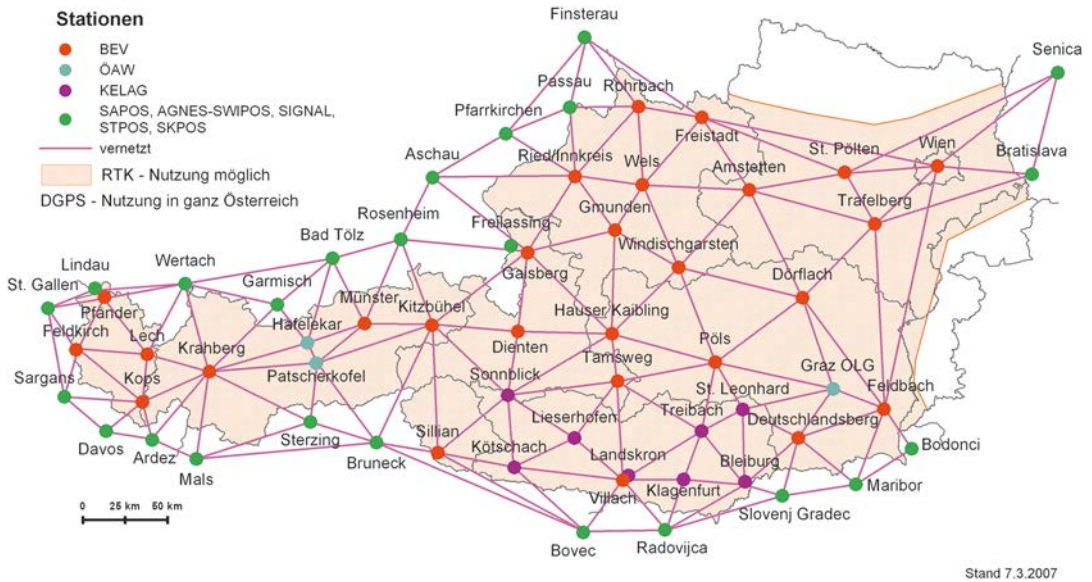


Abb. 1: Referenzstationen deren Daten in APOS genutzt werden (Stand 03-2007)

#### 4. ETRS89 – Grundlage für die APOS-Stationenkoordinaten

Das ETRS89 wurde von der EUREF Subkommission als europäisches Bezugssystem auf der Jahrestagung in Florenz 1990 definiert [6]. Definitionsgemäß wurden die ETRS-Koordinaten der Referenzstationen zum Zeitpunkt 1989,0 mit den Koordinaten aus ITRS gleichgesetzt. Für jede Realisierung ITRFxx von ITRS gibt es eine Realisierung ETRFxx von ETRS89, die durch Transformationsparameter miteinander verbunden sind [1] [3]. Die Rotation der Eurasischen Platte wird dabei eliminiert. Bedingt durch die Kontinentaldrift von Europa von ca. 2,5 cm / Jahr, führte das bisher zu einem Auseinanderklaffen

der Koordinaten zwischen ITRS und ETRS89 von ca. 0,45 m.

Seit 1993 unterscheiden sich die Realisierungen in ETRS89 nur um ca. 0,02 m, wenn man die Stationen auf dem „stabilen“ Teil der Eurasischen Platte betrachtet.

Eurogeographics, die Vereinigung der europäischen Vermessungsverwaltungen, hat im Jahre 2000 die Empfehlung herausgegeben, ETRS89 als Grundlage für die Erneuerung der nationalen Koordinatensysteme zu verwenden [11]. Bis zum Jahre 2011 werden dieser Empfehlung ca. 60% der europäischen Staaten gefolgt sein. Auch Österreich hat sich dazu entschlossen ETRS89 als künftiges Referenzsystem für die staatlichen Vermessungsgrundlagen einzuführen.

1) SAPOS – Satellitenpositionierungsdienst der deutschen Vermessungsverwaltungen (AdV)

2) SWIPOS – Satellitenpositionierungsdienst des Bundesamtes für Landestopographie – Schweiz

3) SIGNAL – Satellitenpositionierungsdienst der slowenischen Vermessungsbehörde

4) STPOS – Satellitenpositionierungsdienst der Autonomen Provinz Bozen

5) SKPOS – Satellitenpositionierungsdienst der slowakischen Vermessungsbehörde

Folgende hierarchische Ordnung ergibt sich für die Bestimmung von ETRS89 in Österreich [8]:

- EUREF-Stationen (EPN-Stationen und Class B-Stationen in Österreich),
- APOS-Stationen (inkl. der Stationen im benachbarten Ausland),
- GPS-Grundnetzpunkte (AGREF/AREF – Austrian Geodynamic Reference Frame/Austrian Reference Frame),
- Festpunkte 1. – 6. Ordnung,
- Katasterpunkte.

Die Festlegung von EUREF- und APOS-Stationskoordinaten ist eine routinemäßige Arbeit, die zu wöchentlichen Ergebnissen führt. Auch für das GPS-Grundnetz liegt eine endgültige Lösung in ETRS89 vor, die sich auf die EUREF- und APOS-Stationskoordinaten bezieht. An der homogenen Neuberechnung der Festpunktkoordinaten 1. – 6.

Ordnung wird gearbeitet. Diese homogenisierten Festpunktkoordinaten dienen dann als Grundlage für partielle Transformationen der Katasterpunkte nach ETRS89.

Es soll jedenfalls darauf hingewiesen werden, dass mit der Nutzung von APOS bereits der 1. Schritt zur Verwendung des neuen österreichischen Bezugsrahmens gemacht werden kann. Da alle APOS-Referenzstationen Koordinaten im System ETRS89 verwenden, sind auch alle von APOS abgeleiteten Koordinaten ETRS89 Koordinaten [2].

Zur Einbindung von APOS Messungen in das Gebrauchssystem des MGI (Militär Geographisches Institut) liegen globale und lokale (besser gesagt regionale) Transformationsparameter vor. Katastermessungen sind derzeit jedenfalls durch Anschluss an benachbarte Festpunkte in das Gebrauchssystem des MGI überzuführen.

### EUREF Permanent Tracking Network

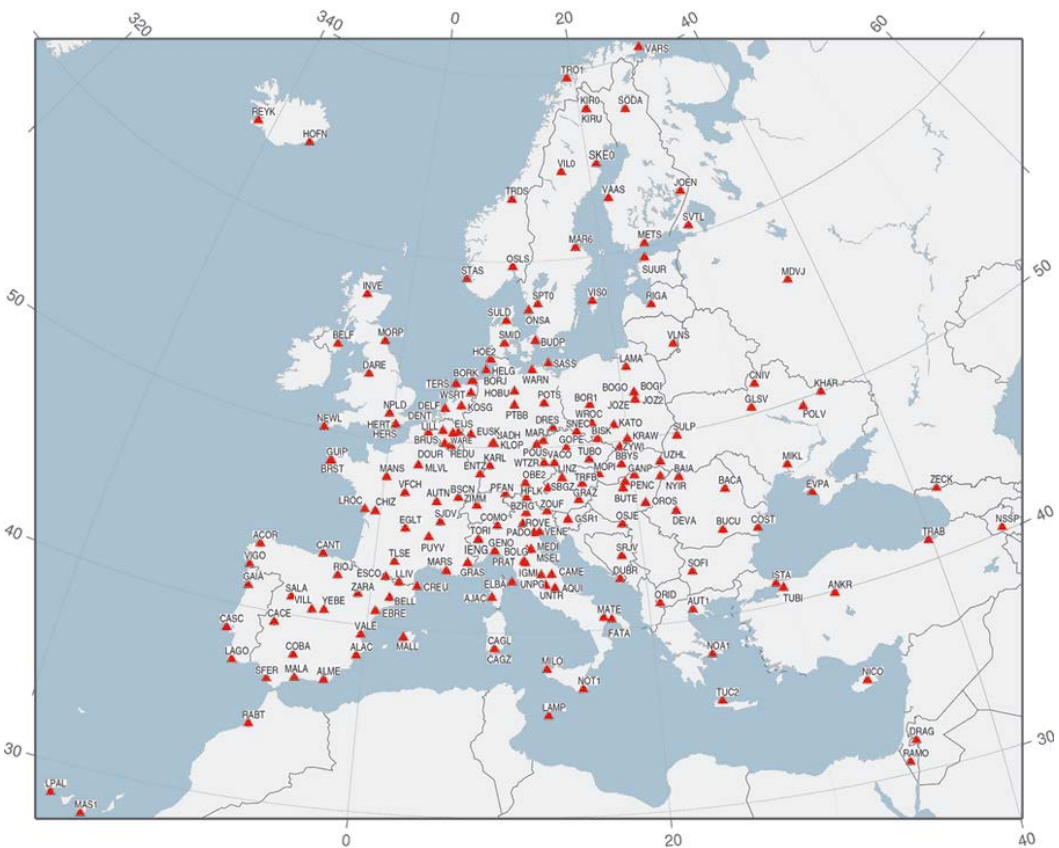


Abb. 2: EPN-Stationen: Grundlage für das ETRS89



## 5. APOS-Stationsausstattung

Die in APOS verwendeten Standards für die Referenzstationen richten sich nach den IGS/EUREF-Vorgaben [4], d. h.

- Ausstattung mit geodätischem Equipment,
- hohe Stabilität der Antennenmastkonstruktion samt stabiler Objekt- bzw. tektonischer Situation,



Abb. 3: Rack mit Komponenten

Bei den einzelnen Komponenten handelt es sich um (Abb. 3 u. 4):

- GPS-Empfänger und GPS-Antenne mit Radom (Schutzhaube)
- eigenes IP-Subnet auf Ethernetbasis,
- Verbindung zwischen GPS-Empfänger und dem IP-Subnet (COM-Server),
- USV (online/interactive) zur Überbrückung von ca. 3 Std. Stromausfall,
- ePowerswitch für Stromunterbrechung bzw. Reboot einzelner Komponenten,
- Switch,
- Router (Ethernet, Frame Relay),
- HDSL-Telekom-Modem für die Corporate Net Austria (CNA)-Verbindung.

Sämtliche Komponenten sind mit Fernwartungsmöglichkeiten über CNA/Ethernet ausgestattet. Bei einem Teil der Stationen ist auch eine

- geringe Abschattung,
- möglichst ausfall- und verzögerungsfreie Infrastruktur zur Datenübertragung in die APOS-Zentrale und in die EUREF-Analysezentren (für EPN-Stationen), sowie
- nach Möglichkeit auch GLONASS-Datenlieferung (z.B. EPN-Station Salzburg).



Abb. 4: GPS-Antenne mit Radom (Station Sillian)

Zwischenspeicherung der Empfängerrohdaten im GPS Gerät möglich. Empfänger und Stromversorgungskomponenten sind über Fernwartung administrier- und konfigurierbar. Ein Reset des GPS-Empfängers und von Netzwerkkomponenten ist ebenfalls möglich.

Die Verwaltung aller stationsrelevanten Daten und Graphiken geschieht innerhalb der APOS-Zentrale mit Hilfe einer selbst entwickelten MS Access-DB. Die Stationen selbst unterliegen einem einjährigen Revisionszyklus.

## 6. APOS – Datenmanagement- und -verarbeitungskonzept

### 6.1 Kommunikationskonzept

Die Realisierung eines leistungsstarken und hochverfügbaren Echtzeitsystems wie APOS stellt sehr hohe Anforderungen an die benötigte IT-Infrastruktur. Im Konzept und der bereits abge-

schlossenen Umsetzung waren folgende Anforderungen zu berücksichtigen:

- Übernahme von Daten von in Österreich bereits bestehenden Referenzstationen bzw. Referenzstationsnetzwerken (ÖAW, KELAG),
- Vernetzung mit Service Providern im benachbarten Ausland und grenzüberschreitender Echtzeitdatenaustausch,
- Verzögerungen in den Datennetzen kleiner als 0,5 Sekunden,
- Verfügbarkeit des Gesamtsystems von mindestens 98 % während der offiziellen Betriebszeiten und von mindestens 95 % während der übrigen Zeiten,
- Datenabgabe über international festgelegte Standardschnittstellen,
- Umsetzung des Konzepts der „Virtuellen Referenzstationen“ (VRS) im Echtzeitbetrieb.

Basierend auf diesen grundsätzlichen Anforderungen wurde ein durchaus komplexes System-

design festgelegt, das in der Abb. 5 vereinfacht skizziert ist.

Die Anbindung der BEV-eigenen APOS-Stationen sowie der Permanentstationen der ÖAW an die APOS-Servicezentrale erfolgt über das Corporate Network Austria (CNA). Sofern die Station direkt auf einem Vermessungssamt installiert ist, wird der dort vorhandene CNA-Anschluß mitbenutzt und die für APOS erforderliche geringe Bandbreite priorisiert. Auf diese Weise werden die Stationen direkt in das Wide Area Network (WAN) des BEV integriert. Österreichische Stationen anderer Netzbetreiber sowie der Datenaustausch mit den Nachbarstaaten erfolgt über das Internet unter Einsatz der VPN-Technologie und einer speziellen Sicherheitspolitik, die von mehreren Firewalls umgesetzt wird. Die ursprünglichen Bedenken, das Internet sei zu langsam und unzuverlässig, konnten während der ausgedehnten Testphase restlos zerstreut werden. Die Verzögerungen sind nur unwesentlich größer als die im internen WAN.

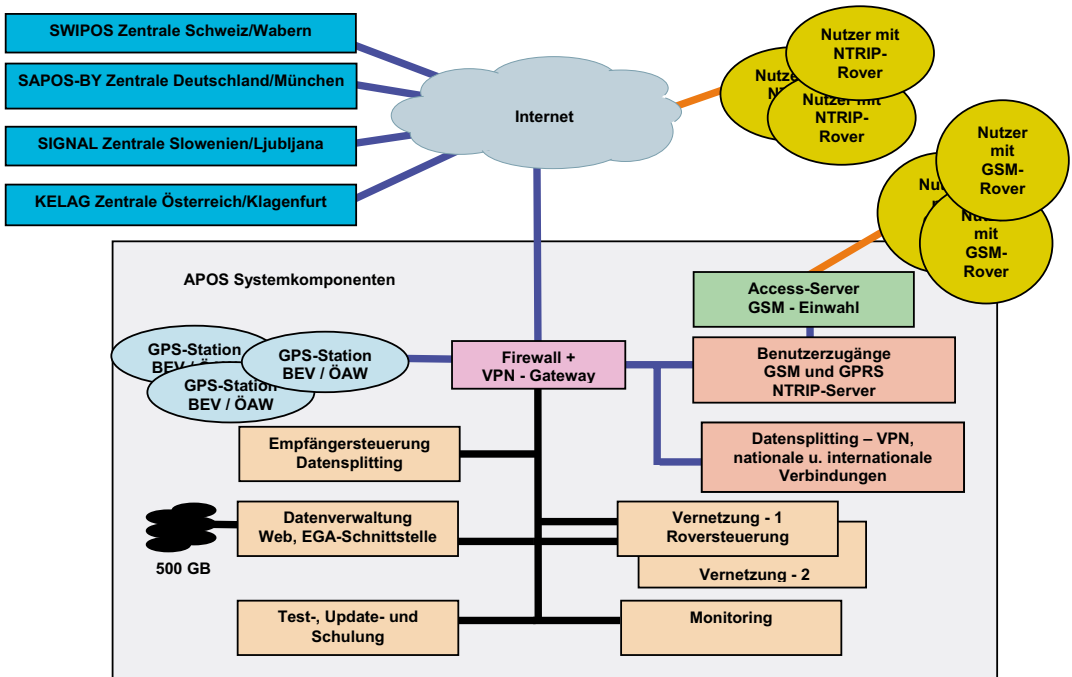


Abb. 5: APOS Datenverwaltungs- und Rechenzentrale

## 6.2 Servicezentrale

Die Servicezentrale ist mit insgesamt 8 Serverrechnern sehr umfangreich ausgebaut, setzt aber auf einem hardware- und softwareseitig realisierten Redundanzkonzept auf, welches den Ausfall eines einzelnen Servers ohne Probleme verkraftet. Die Server stehen in einer Rechenzentrumsinfrastruktur mit Notstromaggregat, in der alle Komponenten redundant vorhanden sind, insbesondere die Netzwerkanbindungen an das CNA und an das Internet. Dies garantiert maximale Serviceverfügbarkeit auf Hardwareebene.

Die Echtzeitdatenströme aller Stationen werden auf dem Server „Empfängersteuerung“ gesammelt und über Splittermodule für die anderen Server bereitgestellt. Der Server „Datenverwaltung“ übernimmt diese Datenströme und archiviert die Messdaten aller Stationen auf einem 500 GB Speichernetzwerk, gleichzeitig ist er auch Backupserver für die Empfängersteuerung. Die gesamte Abgabe gespeicherter Daten läuft ebenfalls über diesen Server, so können BEV-intern alle Daten über ein Webinterface abgefragt werden. Für das künftige eGeodata Austria (EGA) Portal, die Kundenschnittstelle des BEV, stellt dieser Server ein Interface zur Abgabe von RINEX-Dateien bereit. Das Echtzeitsystem wird voll-redundant von den beiden Vernetzungsrechnern unter Verwendung der von der Fa. Trimble/Terrasat entwickelten Software GPSNet betrieben. Hier wird die Netzwerklösung des Stationsnetzwerks berechnet, die GPS-Korrekturmodelle werden abgeleitet und die mobilen Endgeräte der Nutzer werden mit individualisierten Daten in Form von Virtuellen-Referenzstations-Daten versorgt.

Vervollständigt wird die APOS-Zentrale durch einen Test-, Update- und Schulungsserver, der auch als Ersatzsystem für defekte Produktiv-rechner eingesetzt werden kann. Ein „Monitoring“-System dient der Überwachung der Produktivsysteme und der Qualitätskontrolle. Bei Fehlverhalten können Alarmer per Email generiert und an einen Administrator gesendet werden, um ein rasches Erkennen des unerwünschten Systemzustands sicherzustellen.

## 7. Datenbereitstellung

### 7.1 Bereitstellung von Echtzeitdaten über GSM

Die Bereitstellung von Echtzeitdaten erfolgt über sogenannte GSM-Datencalls. Der Nutzer wählt mittels GSM-Datenhandy den APOS-Access-Server an, der den Anruf über den „Benutzerzugangsserver“ an einen Vernetzungsrechner wei-

terreicht. Der Access-Server gewährt nur registrierten Nutzern den Zugang zum System wobei die Autorisierung über die Telefonnummer des Datenhandys erfolgt. Nach dem Verbindungsaufbau sendet das mobile Endgerät eine Näherungsposition in Form der Navigationslösung des GPS-Empfängers an die APOS-Zentrale. Für den genäherten Standort des Nutzers werden dann optimale, individuelle Korrekturdaten erzeugt und gesendet. Um auch Messungen in der Bewegung zu unterstützen ist das System so dimensioniert, dass die Daten innerhalb einer Sekunde von der APOS-Station über das Datennetz durch die Zentrale und das GSM-Netz zum Nutzer transportiert werden.

### 7.2 Bereitstellung von Echtzeitdaten über Mobile Internet (GPRS/UMTS)

Der Datentransfer über GSM-CSD ist kostenintensiv, da zeitorientiert über die Verbindungsdauer abgerechnet wird. Es liegt daher nahe, als kostengünstigen, alternativen Übertragungskanal zum Nutzer das Internet in seiner mobilen Variante über die GPRS- oder UMTS-Netzwerke der Handyprovider einzusetzen. Für diese Art des Kundenzugangs wird das Protokoll NTRIP (Networked Transfer of RTCM via Internet Protocol) eingesetzt. Die Nutzer melden sich mit Username und Passwort an und erhalten die Korrekturdaten im gleichen Format wie die GSM-Nutzer. Da GPRS bzw. UMTS nicht flächendeckend ausgebaut ist, bzw. teilweise ungünstig gegenüber GSM priorisiert ist, hat die GSM-Technik als Rückfallsystem auch weiterhin ihre Berechtigung. Der „Benutzerzugangsserver“ ist unmittelbar im Internet sichtbar und ist deshalb speziell firewall-technisch abgeschirmt.

### 7.3 Bereitstellung von Echtzeitdatenströmen

Neben dem grenzüberschreitenden Austausch von Echtzeitdaten mit den Nachbarstaaten für rein betriebsinterne Zwecke werden auch Echtzeitdatenströme einzelner Stationen an internationale Organisationen für wissenschaftliche Zwecke, sowie an Vertragspartner und Kunden, z.B. zur Unterstützung von Softwareentwicklungen, abgegeben. Derzeit werden die beiden österreichischen IGS-Stationen GRAZ und HAFELEKAR zum EUREF-IP Projekt geliefert und stehen dort für Forschungszwecke zur Verfügung. Die beiden EPN-Stationen PFÄNDER und SALZBURG/GAISBERG, an denen auch das deutsche BKG beteiligt ist, werden nach Frankfurt gesendet und sind Bestandteil des GREF-IP, einem DGPS-Dienst des BKG.

## 7.4 Bereitstellung von Postprocessingdaten

Die Bereitstellung von Daten für Postprocessing-Anwendungen im internationalen Format RINEX (Receiver Independent Exchange Format) an externe Nutzer wird künftig über das Internet-Portal des BEV erfolgen (eGeodata Austria – EGA).

Für die wöchentliche Berechnung der Stationskoordinaten aller APOS-Stationen, sowie für die Berechnung eines EUREF-Subnetzes u. a. mit den Stationen Pfänder, Salzburg/Gaisberg und Trafelberg werden RINEX-Daten an das Rechenzentrum des OLG (Observatorium Lustbühl Graz) mittels ftp-Transfer übersendet.

## 8. Qualitätssicherung

Die in APOS integrierten, und in Österreich befindlichen Referenzstationen repräsentieren die oberste Ebene der Realisierung von ETRS89 in Österreich. Darüber hinaus ermöglichen die Daten dieser Referenzstationen auch die Positionierung in Echtzeit oder auch im Postprocessing. D. h., es handelt sich um multifunktionelle Referenzstationen, die einerseits für die Erhaltung des ETRS89 Bezugsrahmens von eminenter Bedeutung sind, gleichzeitig aber auch die Nutzung dieses Bezugsrahmens von der Luftaufnahme bis hin zur kleinsten Detailvermessung ermöglichen – und das alles in einem hochgenauen, homogenen Bezugsrahmen. Das bedeutet aber auch, dass der Qualitätssicherung von APOS besondere Bedeutung zukommt, speziell in Hinblick auf die Echtzeitnutzung, da jeder auftretende Fehler im Echtzeitservice sofort auch in Ergebnisse einfließen kann. Die Qualitätssicherung bei APOS umfasst die Bereiche:

- Verfügbarkeit,
- Stabilitätsprüfung des Bezugsrahmens,
- Datenqualität,
- Koordinatenqualität (innere und äußere Messgenauigkeit).

### 8.1 Verfügbarkeit

Wie bereits in Kap.1 angeführt, dient APOS der Realisierung eines modernen 3-D Referenzsystems und dem Zweck Georeferenzierung mit Hilfe von Satellitentechnologie durchzuführen. Aus den bisher erkennbarem Nutzerverhalten zeigt sich für die Nutzung von APOS-RTK (siehe Kap. 9) ein ca. 98 % Anteil in den so genannten „Bürozeiten“ von etwa 7 – 18 h, und zwar Montag bis Freitag; APOS-Postprocessing (siehe Kap. 9) wird wesentlich

stärker auch an den Wochenenden genutzt (ca. 30 % Anteil), speziell zur Georeferenzierung von Luftaufnahmen.

Die Verfügbarkeit von APOS hängt von den folgenden Komponenten ab:

- Referenzstationen,
- Datenübertragung,
- Datenverarbeitung,
- Datenbereitstellung.

Im Echtzeitbetrieb wird der Ausfall einzelner Referenzstationen und der zugehörigen Datenleitung durch die hohe Redundanz im Referenzstationsnetz und dem Datenaustausch mit Referenzstationen des benachbarten Auslandes weitgehend ausgeglichen. Nach Beendigung des Aufbaues des Stationssegmentes und der erfolgreichen Vernetzung mit allen übrigen Nachbarstaaten (Ungarn, Tschechische Republik) wird auch in grenznahen Gebieten, die tlw. noch gewisse Problemzonen darstellen, APOS-RTK zu 100 % verfügbar sein. Über das Redundanzkonzept bei der Datenverarbeitung wurde bereits im Kap. 6.2 berichtet. Durch den Einsatz von GSM und Mobile Internet für die Datenverteilung kommen zwei voneinander unabhängige, und auch unterschiedliche Arten der Datenübertragung zum Einsatz. Von Kundenseite kann diese Redundanz durch die Nutzung eines 2. Providers noch gesteigert werden.

Für den Zeitraum von 7 – 19 Uhr (MEZ/MESZ) wird seitens des BEV eine Verfügbarkeit von 98 % angestrebt, außerhalb dieser Zeiten eine von 95 %. Für Postprocessing-Anwendungen wird durch Speicherung der Daten vor Ort in den Referenzstationsempfängern und im Falle von Datenleitungsproblemen durch nachträgliche Übersendung in die Servicezentrale eine ziemlich gleichmäßige Verfügbarkeit von nahezu 100 % erreicht.

### 8.2 Stabilitätsüberprüfung des Bezugsrahmens

Die APOS Referenzstationen repräsentieren, wie eingangs erwähnt, die oberste Ebene des ETRS89 Bezugsrahmens in Österreich und unterliegen daher einer besonders sorgfältigen Stabilitätskontrolle. Zum Zwecke der täglichen und wöchentlichen Koordinatenkontrolle aller APOS-Stationen werden 30“ RINEX-Daten im Rahmen von AMON (Austrian Monitoring Network) – gemeinsam mit der Abteilung Satellitengeodäsie der ÖAW (Observatorium Graz Lustbühl-OLG) einer Auswertung mit der Berner SW Version 5.0



zugeführt [5]. Als übergeordnete, sogenannte Anchor-Stations, dienen hauptsächlich die IGS-Stationen Graz, Hafelekar, Wettzell, Zimmerwald und Penc, sowie die EPN-Station Pfänder und die APOS-Station St.Pölten. Diese täglichen und wöchentlichen Lösungen stehen etwa 3 Wochen nach der Aufzeichnung zur Verfügung, da zur Berechnung die „precise ephemerides“ verwendet werden, die erst nach 2 Wochen verfügbar sind. Für die Berechnung der jeweils gültigen Jahreslösung (fortlaufende Multijahreslösung in ETRS89) werden alle seit dem Jahr 2001 vorhandenen Beobachtungen herangezogen. Derzeit betragen die mittleren Koordinatenfehler einer Referenzstation  $\pm 1 - 2$  mm in den horizontalen Komponenten und  $\pm 3 - 4$  mm in der vertikalen Komponente. Um den Nutzer von APOS auch eine Sicherheit für die Identität des Bezugshahmens zu geben, werden nicht jedes Jahr die Koordinaten aller Referenzstationen geändert. Änderungen erfolgen nur, wenn gewisse Schrankenwerte überschritten werden: diese Schrankenwerte betragen für die horizontalen Komponenten 10 mm und für die Höhenkomponente 20 mm. Bei der Einführung dieser Schrankenwerte war es erforderlich einen Ausgleich zu finden zwischen der Forderung Koordinatenwerte für den tägli-

chen Gebrauch möglichst lange unverändert zu belassen und der Forderung innerhalb der Vernetzungssoftware GPSnet (Fa. Trimble) mit den bestmöglichen Koordinaten arbeiten zu können (möglichst rasches Ambiguity-Fixing). In der Abb. 6 ist die Zeitreihe (Wochen- und Tageslösungen) der Koordinaten zwischen April 2003 und April 2005 für die APOS-Referenzstation St. Pölten, in Form der 3 Komponenten Nord (rot), Ost (blau) und Höhe (grün) dargestellt (ITRF 2000). Färbige vertikale Linien geben Informationen z.B. über Änderungen bei Equipment (Antennen- bzw. Radomwechsel, Firmwareupdate, etc.), Antennenhöhen, Auswertesoftware oder Wechsel des Bezugssystems.

### 8.3 Datenqualität

Die Rohdaten aller APOS-Stationen werden permanent in der Zentrale geloggt und in das internationale RINEX-Format konvertiert. Mit Hilfe eigens entwickelter Software werden die Daten stündlich auf Qualität und Vollständigkeit geprüft, sowie Verfügbarkeitsgraphiken für interne Monitoringzwecke erzeugt.

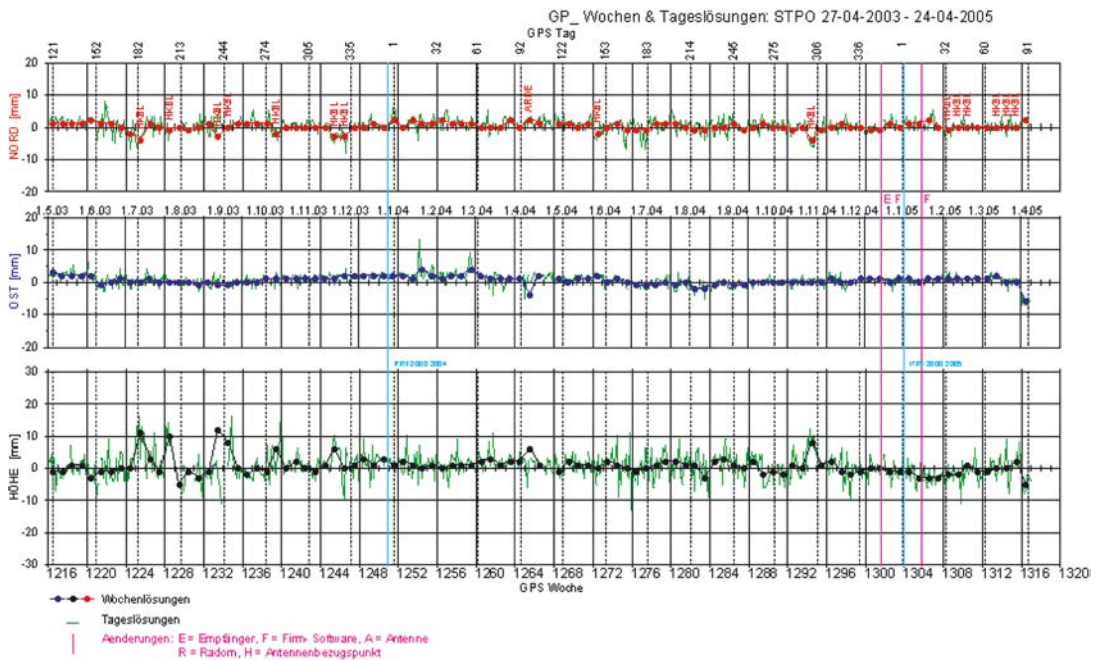


Abb. 6:: Koordinaten-Zeitreihe für die APOS Referenzstation St. Pölten (04-2003 bis 04-2005)

**8.4 Innere und äußere Systemgenauigkeiten**

**8.4.1 Genauigkeiten des APOS-RTK Services aus Wiederholungsmessungen**

Zur Überprüfung der inneren Genauigkeit wurden im Dezember 2006 auf 3 ausgewählten Punkten mit unterschiedlicher Abschattung Messserien durchgeführt. Verwendet wurden dabei 13 unterschiedliche 2-Frequenz-Messgeräte der Firmen Leica und Trimble. Alle auf einem Standpunkt bestimmten Koordinaten sind zu einem Mittelwert zusammengefasst worden; gleichzeitig wurden auch die Differenzen der Einzelwerte gegenüber diesem Mittel bestimmt. Aus diesen Differenzen wurde dann die Standardabweichung für alle Messungen ermittelt.

Tab. 2 zeigt den Zusammenhang zwischen Abschattung am Messpunkt und erreichbarer Genauigkeit, wobei sich der Einfluss auf die Höhenkomponente am stärksten auswirkt. Die

Lageabweichungen innerhalb der Messserie für jeden Standpunkt sind in Abb. 7 dargestellt.

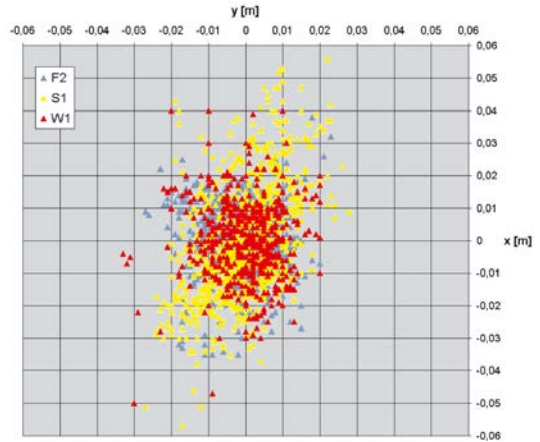


Abb. 7: Lageabweichungen innerhalb der Messserie für jeden Standpunkt

Ort	Abstand s <sup>1)</sup> [km]	Messzeiten von – bis	Anzahl Messungen	mdy <sup>2)</sup> [cm]	mdx <sup>2)</sup> [cm]	m <sub>ds</sub> <sup>2)</sup> [cm]	m <sub>dh</sub> <sup>2)</sup> [cm]	Abschattung
Feldbach (F2)	8	9:40 – 14:40	1203	0,7	0,9	1,1	1,6	keine
Spittal (S1)	18	10:25 – 15:45	938	0,9	1,7	1,9	3,5	stark
Wels (W1)	17	10:00 – 12:00	619	0,8	1,2	1,4	2,0	gering

1) Abstand zur nächstgelegenen Referenzstation

2) Standardabweichungen in den Koordinatenrichtungen y und x, in der Stecke s und in der Höhe h.

Tab. 2: Mit APOS-RTK erzielte Genauigkeiten, abgeleitet aus Wiederholungsmessungen

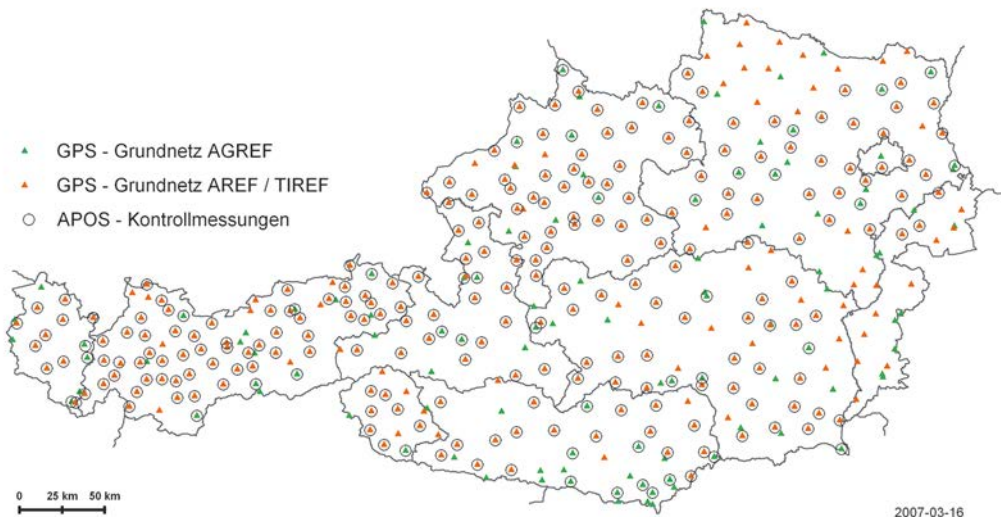


Abb. 8: APOS Kontrollmessungen auf Punkten des GPS-Grundnetzes

### 8.4.2 „Äußere Genauigkeit“ des APOS-RTK Services

Im Zuge der sukzessiven Freigaben einzelner APOS-Netzmaschen wurden und werden Kontrollmessungen auf Punkten des GPS Grundnetzes (AGREF/AREF) durchgeführt. Diese Kontrollmessungen dienen der systematischen und flächenhaften Überprüfung der Übereinstimmung der aus unterschiedlichen Bestimmungen abgeleiteten ETRS89-Koordinaten in Österreich. Für die Koordinatenberechnung des GPS-Grundnetzes wurden die Koordinaten der APOS-Referenzstationen als Zwangspunkte angehalten, da diese die höhere Ordnung darstellen, und als Permanentstationen auch die höhere Genauigkeit aufweisen. In Abb. 8 sind alle bisher mit APOS-RTK

(siehe Kap. 9) übermessenem GPS-Grundnetzpunkten dargestellt. Für die Differenzen zwischen den Koordinaten des GPS-Grundnetzes (Class B) und den mittels APOS-RTK bestimmten Koordinaten ergaben sich folgende Standardabweichungen (Tangentialsystem – Koordinatenbezeichnung gemäß MGI-Schreibweise; Anzahl der Kontrollpunkte  $n = 295$ ):

$$m_{dy} = \pm 1,4 \text{ cm}$$

$$m_{dx} = \pm 1,1 \text{ cm}$$

$$m_{dh} = \pm 3,7 \text{ cm}$$

Auch der Vergleich von ETRS89-Koordinaten gemeinsamer Referenzstationen im Grenzbereich zu den Nachbarstaaten Österreichs erbrachte Differenzen in ähnlicher Größenordnung:

Komponente/Service	SAPOS	SWIPOS	SIGNAL	SKPOS	STPOS
dN (north)	+1,3	-0,8	-0,1	-0,6	+1,3
dE (east)	+0,1	-0,2	+0,2	+0,4	+1,1
dU (up)	+0,3	-0,8	-0,3	+1,4	-0,7

Tab. 3: ETRS89 - Systemdifferenzen zwischen APOS und benachbarten Positionierungsdiensten, berechnet aus den Koordinaten der gemeinsam verwendeten Referenzstationen (in cm)

Die in der Tab. 3 enthaltenen Differenzen dN, dE und dU sind nur teilweise durch die Bestimmungsgenauigkeit der Koordinaten der Referenzstationen erklärbar; ein Teil ist auch auf die unterschiedlichen Epochen, zu der die nationalen ETRFs festgelegt wurden, zurückzuführen. Je näher diese Epochen beisammen liegen, desto geringer sind im Allgemeinen die Differenzen. Jedenfalls zeigen die Werte in Tab. 3, welche hohen Genauigkeiten in hierarchisch aufgebauten GNSS-Positionierungssystemen mit bodengestützter Augmentation (Referenzstationen) enthalten sind.

## 9. APOS – Produkte

Die durch APOS bereitgestellten Produkte „APOS Real Time“ mit den Diensten „APOS-RTK“ und „APOS-DGPS“ sowie „APOS Postprocessing“ (APOS-PP) entsprechen den internationalen Standards und sind daher mit allen gängigen GPS-Rovergeräten bzw. Auswertesoftware-Paketen kompatibel (siehe Tab. 4). Da die in APOS integrierten Referenzstationen 3-D Koordinaten im europäischen Referenzsystem ETRS89 haben, beziehen sich alle durch Echtzeitmessungen oder durch Postprocessing abgeleiteten Koordinaten

ebenfalls auf ETRS89 [2]. Nach Abschluss des Stationsaufbaus werden für das gesamte Bundesgebiet Echtzeitdaten in cm-Genauigkeit (APOS-RTK) bereitgestellt werden. Derzeit beträgt die Flächendeckung von APOS-RTK bzw. APOS-DGPS in Österreich ca. 90 % bzw. 100 %.

RINEX-Daten stehen von allen österreichischen Referenzstationen, die in APOS integriert sind, zur Verfügung. Das sind neben den Referenzstationen des BEV auch die Referenzstationen der KELAG und der ÖAW. Der RINEX-Datenheader enthält auch die exakten Stationskoordinaten, sowie die zugehörigen Antennenhöhen. Bereitgestellt werden die RINEX Daten in den Intervallen von 1", 5", 15" und von 30", und stehen 1 h nach der Aufzeichnung zur Verfügung. Vorgehalten werden diese Daten für 2 Monate, nur die 30" Daten werden dauerhaft archiviert.

APOS Real Time wird in zwei Genauigkeitsklassen angeboten, und zwar

- APOS-RTK mit cm-Genauigkeit (Verwendung von L1/L2 Empfängern)
- APOS-DGPS mit dm-Genauigkeit (Verwendung von L1 Empfängern mit Phasenglättung).

APOS Produkt	Genauigkeit Lage <sup>*)</sup>	Genauigkeit Höhe <sup>*)</sup>	Datenformat	Anmerkungen
APOS-PP	< ± 1 cm	± 1 – 2 cm	RINEX 2.1	1",5",15",30"
APOS-RTK	< ± 1,5 cm	< ± 4,0 cm	RTCM 2.3 NTRIP 1.0	
APOS-DGPS	< ± 0,5 m	< ± 1,0 m	RTCM 2.3 NTRIP 1.0	
APOS-DGPS (Broadcast)	± 0,5 – 1,0 m	± 1,0 – 2,0 m	NTRIP 1.0	Genauigkeit – entfernungsabhängig; auf Anfrage
APOS-Raw	—	—	empfänger- abhängig	auf Anfrage

<sup>\*)</sup> einfacher mittlerer Fehler (Vertrauensbereich ca. 68 %)

**Tab. 4:** Genauigkeitsklassen der APOS Produkte

Um die in der Tab. 4 angegebenen Genauigkeiten zu erreichen, sind folgende Einflussgrößen zu beachten:

- Satellitenanzahl (> 5 bei RTK und DGPS) und Satellitengeometrie (PDOP-Wert),
- Messumgebung (Abschattung, Reflexionen, Störsignale, ...),
- roverseitige Geräteausrüstung.

Nähere Untersuchungen über den Einfluss von Satellitenanzahl und PDOP-Werten auf die erzielbare Genauigkeit wurden im Rahmen einer Diplomarbeit durchgeführt [9].

**10. APOS – Entgelte**

Die Preise bzw. Standardentgelte für Produkte des BEV wurden mit Beginn des Jahres 2006 neu festgesetzt. Bei den neuen Entgelten wurde die EU-Richtlinie 2003/98/EG (PSI Richtlinie) über die „Weiterverwendung von Informationen des öffentlichen Sektors“ berücksichtigt, welche als Bundesgesetz über die „Weiterverwendung von Informationen öffentlicher Stellen“ – kurz Informationsweiterverwendungsgesetz (IWG) in nationales Recht umgesetzt wurde.

Für die Postprocessing-Daten von APOS-PP orientiert sich das Entgelt an den 2 Faktoren

- Datenrate und
- Datenumfang (Zeitdauer).

Bei der Nutzung von APOS Real Time (APOS-RTK und APOS-DGPS) kann der Kunde zwischen den 2 Modellen wählen:

- zeitabhängiges Entgelt (Stundenabrechnung),

- Pauschalentgelt (Tages-, Monats- und Jahrespauschale).

Das Produkt APOS-RAW kann stationsweise nur auf Anfrage für spezielle Zwecke angeboten werden.

**11. APOS – Kundenservice**

Informationen zu APOS, den APOS-Stationen sowie Bestellformulare für die APOS-Produkte sind über [www.bev.gv.at](http://www.bev.gv.at) erhältlich. Für die Kommunikation mit den Kunden stehen unterschiedliche Support-level zur Verfügung:

- 1<sup>st</sup> und 2<sup>nd</sup> Level-Support: BEV-Kundenservice (email: [kundenservice@bev.gv.at](mailto:kundenservice@bev.gv.at)),
- 3<sup>rd</sup> Level-Support: APOS-Hotline.

Wichtige aktuelle Systeminformationen werden den Kunden über SMS übermittelt. Eine Erweiterung der APOS-Informationen ist für das im Aufbau befindliche neue Web-Portal des BEV geplant.

**12. Ausblick**

Die Entwicklung der GNSS-Technologie im Allgemeinen und für Zwecke der Vermessung im Besonderen war rasant und führte oft zu nicht vorhersehbaren Ergebnissen, z. B., dass Positionsinformationen heute ein nahezu unverzichtbares Attribut im Bereich aller Geoinformationen darstellen. Die Weiterentwicklung der Bereitstellung von Positionsinformation ist jedoch noch lange nicht abgeschlossen, sondern wird sich in nächster Zeit auf unterschiedliche Bereiche erstrecken.

Die Anzahl der GNSS-Provider wird in den nächsten Jahren stark ansteigen. Neben den derzeit in Verwendung stehenden Systemen GPS und GLONASS wird Europa ab 2011/12 mit dem System GALILEO nachziehen, auch China und Japan planen den Aufbau eigener Systeme. Die derzeit in Entwicklung befindliche Empfänger-Generation soll neben GPS- und GLONASS-Signalen auch weitere GNSS-Signale (z.B. Galileo) verarbeiten können. Dadurch wird es für den Nutzer zu einer wesentlichen Steigerung der Zuverlässigkeit kommen, verbunden mit einer weiteren Verringerung der Messzeiten (time to first fix – TTFF). Mit Genauigkeitsergebnissen ist für die meisten Anwendungen nicht zu rechnen. Überlegungen zur Nutzung von GLONASS-Signalen für APOS wurden angestellt. Im Rahmen einer Machbarkeitsstudie werden noch finanzielle, technische und administrative Fragen zu erörtern sein.

Weitere Beschränkungen für den Einsatz von GNSS-Messmethoden werden fallen: seit einigen Jahren laufen intensive Forschungen für die Nutzung von GNSS (vor allem GPS) in Innenräumen. Dieses sogenannte Indoor-GNSS wird in den nächsten Jahren mit praktikablen Ergebnissen im Bereich von einigen Metern aufwarten können [10] [13].

Die Landschaft der Serviceprovider von Augmentation-Systemen für die verbesserte Positionierung ist bunt, vielfach gibt es auch Parallelsysteme. Die Anbieter solcher Systeme reichen von staatlichen Vermessungsbehörden, wie dem BEV, über Energieversorgungsunternehmen, privaten Vermessungsingenieuren (z.B. Ingenieurkonsultanten, Technische Büros), bis hin zu GNSS-Geräteherstellern. Hier besteht die Gefahr, dass durch den teilweise unübersichtlichen Markt nicht mit identen Koordinatensystemen gearbeitet wird, was dann zu einem Verlust der homogenen Ausgangsdaten führen kann, wenn nur mehr (auf das Gebrauchssystem) transformierte Daten abgespeichert werden. Auch über Internet werden immer mehr Daten von GNSS-Referenzstationen angeboten, deren Zuverlässigkeit und Referenzierung (ITRSxx? ETRS89?) nicht immer festgestellt werden kann.

Für das BEV wird nach dem kompletten Ausbau von APOS, und damit der Bereitstellung eines modernen, satellitengestützten Positionierungssystems, der Schwerpunkt auf der Bereitstellung von homogenisierten Geobasisdaten des BEV liegen. Der volle Nutzen von APOS kann nur dann erreicht werden, wenn die vorhandenen

Daten, welche im derzeitigen Gebrauchssystem MGI vorliegen, so aufbereitet werden, dass sie möglichst ohne weitere Zusatzmessungen mit den aus APOS erzielten Ergebnissen kompatibel sind. Durch Stützmessungen mit GPS auf ausgewählten Punkten des Festpunktfeldes 1. – 6. Ordnung, durch die Digitalisierung aller qualitativ entsprechenden terrestrischen Messungen auf den Festpunkten 1. – 5. Ordnung und auch der grafischen Informationen des Katasters (Digitale Katastralmappe), wurden bereits umfangreiche Vorarbeiten für die Bereitstellung von homogenisierten Geobasisdaten durch das BEV erbracht.

#### Literaturverzeichnis

- [1] *Altamimi, Z., Boucher, C. (2002):* The ITRS and ETRS89 Relationship: New Results from ITRF2000, EUREF Publication No. 10, Mitteilungen des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie Band 23, Frankfurt/Main, pp. 49-52.
- [2] *Amtsblatt für Vermessungswesen – AVerm (2003):* Herausgeber: BEV – Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Jahrgang 2003, Stück 4, 2788. Verlautbarung.
- [3] *Boucher, C., Altamimi, Z. (2001):*, Specifications for reference frame fixing in the analysis of a EUREF GPS-campaign, available from <http://lareg.ensg.ign.fr/EUREF/memo.pdf>.
- [4] [http://www.epncb.oma.be/\\_organisation/guidelines/guidelines\\_station\\_operationalcentre.pdf](http://www.epncb.oma.be/_organisation/guidelines/guidelines_station_operationalcentre.pdf)
- [5] <http://gps.iwf.oew.ac.at>
- [6] *Gubler E., et al. (1992):* Resolution No. 1 of the EUREF Symposium in Firenze 1990. In Report of the IAG Subcommission EUREF. Veröffentlichung der Bayerischen Kommission für die internationale Erdmessung, München 1992, ISBN 3 7696 9752 2.
- [7] *Höggerl, N., Weber, R., Pesec, P., Stangl, G., Fragner, E. (2002):* Realisierung moderner 3-D Referenzsysteme für Wissenschaft und Praxis. VGI – Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation, 90. Jg. 2002, Heft 3+4, Wien, ff 92-108, ISSN 0029-9650.
- [8] *Höggerl, N. (2005):* Realisierung des Europäischen Bezugssystems ETRS89 durch APOS – Austrian Positioning Service. In: Internationale Geodätische Woche Obergurgl 2005 (Chesi/Weinold Hrsg.), Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg, 2005. ISBN 3-87907-419-4.
- [9] *Müller, D. (2005):* Untersuchungen zum Einfluss von großen Höhenunterschieden und Satellitenabschattungen auf RTK-Rovermessungen im österreichischen GPS-Referenzstationsnetz APOS. Diplomarbeit der Technischen Universität Darmstadt, Fachbereich Bauingenieurwesen und Geodäsie. Darmstadt, 2005.
- [10] *Pany, T. (2006):* Nutzung des Post-Processings von aufgezeichneten GPS-Zwischenfrequenzsignalen zur Positionierung bei Abschattungen und im Indoor-Bereich. VGI – Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation, 94. Jg. 2006, Heft 4, Wien, ff 195-205, ISSN 0029-9650.



- [11] *Spatial Reference Workshop, Marne-la-Vallée (1999)*: 29. – 30. November 1999. Short Proceedings, Conclusions & Recommendations.
- [12] *Stangl, G., Weber, R., Höggerl, N., Fragner, E. (2004)*: ETRF-Austria 2002 – EUREF-Campaign for the introduction of ETRS89 in Austria. Presented Paper at the Symposium of the IAG Subcommission for the European Reference Frame (EUREF) held in Toledo, 4 – 6 June, 2003.  
Mitteilungen des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie, Band 33, EUREF publication No. 13, ISSN 1436-3445.
- [13] *Wieser, A., Gaggl, M., Hartinger, H. (2005)*: Improved Positioning Accuracy with High-Sensitivity GNSS Receivers and SNR Aided Integrity Monitoring of Pseudo-Range Observations. ION GNSS, 2005, Long Beach, CA.

**Anschrift der Autoren**

**Dipl.-Ing. Norbert Höggerl**: Abt. V1- Grundlagen, Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Schiffamtsgasse 1-3, 1025 Wien. E-mail: [norbert.hoeggerl@bev.gv.at](mailto:norbert.hoeggerl@bev.gv.at)

**Dipl.-Ing. Helmut Titz**: Abt. V1- Grundlagen, Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Schiffamtsgasse 1-3, 1025 Wien. E-mail: [helmut.titz@bev.gv.at](mailto:helmut.titz@bev.gv.at)

**Dipl.-Ing. Ernst Zahn**: Abt. V1- Grundlagen, Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Schiffamtsgasse 1-3, 1025 Wien. E-mail: [ernst.zahn@bev.gv.at](mailto:ernst.zahn@bev.gv.at)