



GNSS-Echtzeitorbitkontrolle auf Basis Internet-transferierter (NTRIP) RTCM-Datenströme

Michael Opitz ¹, Robert Weber ²

¹ *Forschungsgruppe Höhere Geodäsie, Institut für Geodäsie und Geophysik, Technische Universität Wien, Gusshausstraße 27-29/128-1, 1040 Wien*

² *Forschungsgruppe Höhere Geodäsie, Institut für Geodäsie und Geophysik, Technische Universität Wien, Gusshausstraße 27-29/128-1, 1040 Wien*

VGI – Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation **93** (3), S. 123–131

2005

BibT_EX:

```
@ARTICLE{Opitz_VGI_200511,  
Title = {GNSS-Echtzeitorbitkontrolle auf Basis Internet-transferierter (NTRIP)  
        RTCM-Datenströme},  
Author = {Opitz, Michael and Weber, Robert},  
Journal = {VGI -- Österreichische Zeitschrift für Vermessung und  
          Geoinformation},  
Pages = {123--131},  
Number = {3},  
Year = {2005},  
Volume = {93}  
}
```





GNSS-Echtzeitorbitkontrolle auf Basis Internet-transferierter (NTRIP) RTCM-Datenströme

Michael Opitz, Robert Weber, Wien

Zusammenfassung

Seit im Zuge des Booms der mobilen Telephonie der immer und überall verfügbare Internetzugang Realität wurde, ist dieses Medium auch eine alternative Methode zur Übertragung von Korrekturdaten für die relative GPS-Echtzeitpositionierung geworden. Um die Möglichkeiten des World Wide Web optimal auszunutzen und gleichzeitig die Sicherheitsrisiken zu minimieren, wurde vom BKG (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt) NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol) entwickelt. Dieses Protokoll erlaubt es, mehreren tausend Nutzern gleichzeitig nicht nur Korrekturdaten von hunderten Referenzstationen, sondern auch Rohdaten oder Satellitenephemeriden zur Verfügung zu stellen.

Aktive GNSS-Referenzstationsnetzwerke bieten heute ihre RTCM-Daten bereits über NTRIP an. Diese RTCM-Daten berücksichtigen implizit (Virtual Reference Station – VRS) oder explizit (Flächenkorrekturparameter – FKP) die im Netz gewonnene Information über systematische Fehleranteile. Zur Berechnung der Netzwerklösung dienen entweder die Satelliten-Broadcastephemeriden oder heute immer öfter präzise, prädierte Bahnen des IGS (International GPS Service). Diese Satellitenbahnen weisen zwar eine deutlich höhere Genauigkeit (± 10 cm) als die Broadcastorbits (± 2 m) auf, bergen aber die Gefahr von einzelnen, immer wieder vorkommenden Ausreißern.

Der vorliegende Artikel beschreibt einerseits den Datentransfer via NTRIP, der sowohl aus der Sicht der Referenz- als auch aus der Sicht der Roverstation getestet wurde. Andererseits wird das Programm „RTR-Control“ vorgestellt, das den Vergleich der an den Permanentstationen gemessenen und via NTRIP empfangenen Pseudostrecken („Pseudoranges“) mit theoretischen, auf Basis präziser, prädiierter Satellitenbahnen berechneten „Pseudoranges“ erlaubt. Das Programm kann somit in Echtzeit sowohl fehlerhaft prädierte Satellitenbahnen diagnostizieren als auch, durch Mehrwegeeffekte verfälschte, Pseudoranges detektieren.

Abstract

Since the boom in mobile telecommunications allows Internet access for anyone anywhere at any time, this medium has also become an alternative method for transmitting correction data for relative GPS real-time positioning. In order to exploit and optimize the options offered by the World Wide Web, NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol) was developed. NTRIP is able to provide correction data from hundreds of reference stations as well as raw data or satellite ephemerides simultaneously for several thousand users.

Therefore active GNSS reference station networks started to provide their RTCM data via NTRIP. These RTCM data streams implicitly (virtual reference station) or explicitly (area correction parameters) take into account the information gained from the reference station net, regarding systematic error components. To calculate the network resolution either satellite-broadcast ephemerides or today frequently the more precise predicted IGS (International GPS Service) orbits are used. These satellite ephemerides demonstrate significantly higher accuracy (± 10 cm) than the broadcast orbits (± 2 m), but carry the risk of individual, recurring outliers.

This paper highlights the data transfer via NTRIP in view of both, the reference station and the rover station. Furthermore, the programme “RTR-Control“, established by the first author, is presented. It allows the comparison of pseudoranges measured at any permanent station and recorded via NTRIP with theoretical pseudoranges calculated on the basis of precise, predicted satellite orbits. Thus, the programme can diagnose incorrectly predicted satellite orbits as well as detect multi-path distorted pseudoranges in real-time.

1. Funktionsweise – NTRIP

Um die eingangs erwähnten Vorteile (Übertragung von verschiedenen Daten, mehrere tausend Nutzer gleichzeitig können Informationen erhalten) zu bieten muss für NTRIP ein Aufbau bestehend aus 4 Elementen gewählt werden: NTRIPSource, NTRIPServer, NTRIPCaster und NTRIPClient.

Die NTRIPSource generiert die Daten, welche dann vom NTRIPServer an den NTRIPCaster

(Broadcaster) weitergegeben werden. Letzterer vervielfältigt die Daten und stellt sie den NTRIPClients zur Verfügung.

Der Datensender (NTRIPServer) und der Datenempfänger (NTRIPClient) sind als TCP- (Transmission Control Protocol) Clients, die durch Firewalls geschützt werden können, konzipiert. Zwischen diesen Clients steht ein TCP-Server – der NTRIPCaster – der die empfangenen Daten vervielfältigt und weitergibt (siehe Abb. 1).

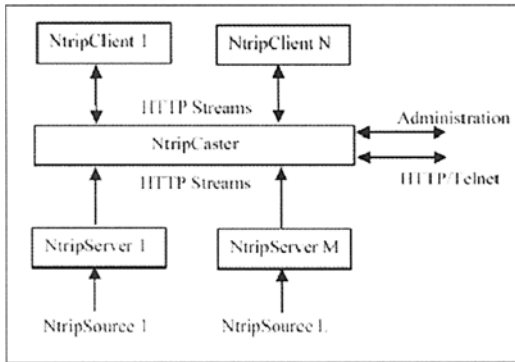


Abb. 1: NTRIP Systemaufbau [BKG, 2004]

Die eigentliche Übertragung der Daten erfolgt via Internet-Radio ICE/SHOUTCAST-Protokoll, welchem eine modifizierte Version des http (Hyper Text Transfer Protocol) zugrunde liegt. Dadurch kann die gesamte Kommunikation über einen einzigen geöffneten Port stattfinden, um das Sicherheitsrisiko auf Seiten des NTRIPCasters erheblich zu senken.

NTRIPSource und NTRIPServer

Die GNSS-Referenzstationsdaten werden entweder direkt von einem Empfänger oder durch ein Netzwerk erzeugt und an den NTRIPServer weitergeben. Dies kann über eine serielle Schnittstelle oder über eine TCP-Verbindung geschehen. Jede einzelne Datenquelle kann über einen so genannten „Mountpoint“ eindeutig identifiziert werden. Der NTRIPServer verbindet sich über die IP Adresse und einen speziellen Port mit dem NTRIPCaster und kann nach erfolgreicher Übertragung des Mountpoints und des richtigen Passworts mit dem Senden der Daten beginnen.

NTRIPCaster

Der NTRIPCaster kann über den Datenaustausch-Port auch via Fernadministration, z.B. über einen HTML Browser (z.B.: „Internet Explorer“) oder über ein Kommandozeilenprogramm (z.B.: „telnet“), gesteuert werden, da http die Übertragung vordefinierter Kommandos über TCP-Verbindungen zulässt.

Der NTRIPCaster hat die Möglichkeit, selbst wie ein NTRIPServer zu agieren und seine Daten nicht nur an die Kunden, sondern auch an einen weiteren NTRIPCaster abzugeben. Mit Hilfe dieser Option können mehrere Referenzstationenetze mit Hilfe von NTRIP verbunden werden.

Die vollständige Beschreibung des NTRIP-Standards ist [8] zu entnehmen.

NTRIPClient

Wie der NTRIPServer verbindet sich der Nutzer über die IP Adresse und den Port mit dem NTRIPCaster und stellt die Anfrage nach einem bestimmten Mountpoint. Existiert selbiger, so beginnt der Datentransfer. Ist der gewünschte Mountpoint nicht vorhanden, sendet der NTRIPCaster die sogenannte „Sourcetable“ (= Liste aller zu diesem Zeitpunkt verfügbaren Datenströme).

Um dem Betreiber von kommerziellen Referenzstationen und Netzwerken eine Reglementierung und Fakturierung des Zugang zu ermöglichen, können einzelne Datenströme durch Passwörter geschützt werden. Der NTRIPClient muss in diesem Fall bei der Anfrage an den NTRIPCaster seinen Benutzernamen und sein Passwort mitschicken, um die gewünschten Daten beziehen zu können.

Für gewisse Anwendungen, wie z.B. beim Arbeiten mit VRS in Referenzstationsnetzen, benötigt der NTRIPCaster die Position des NTRIPClient. Das System bietet daher die Möglichkeit, nach der Anfrage der Daten die Position mit Hilfe von NMEA-Messages (National Marine Electronics Association) an den NTRIPCaster zu senden.

2. BKG's EUREF-IP NTRIP Broadcaster

Ntrip Real-Time GNSS Networks All-Europe, Status 041104

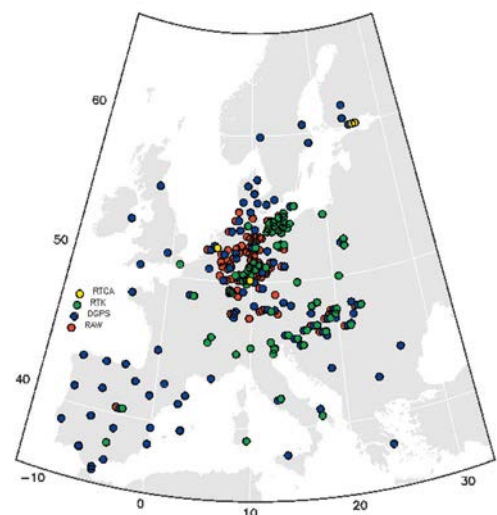


Abb. 2: Übersicht der Europäischen NTRIPSources [http://igs.ifag.de/index_ntrip_cast.htm]

Die NTRIPCaster Software des BKG bietet alle zuvor beschriebenen Möglichkeiten und Vorteile [3]. Das Programm unterstützt alle gängigen GNSS-Datenströme (GPS, GLONASS, WAAS, EGNOS) und gewährleistet eine Übertragungsrate zwischen 0.5 und 5 Kbit/s. Es können RTCM- und RTCA-Korrekturen, Empfängerrohdaten, Satellitenbahnen im SP3-Format oder Beobachtungen im RINEX-Format gesendet werden.

Derzeit werden vom BKG ca. 170 Datenströme angeboten (siehe Abb. 2), die aus verschiedenen Netzwerken kommen. Eine detaillierte Auflistung aller verfügbaren Datenströme und die zugehörigen relevanten Informationen sind der Homepage des BKG zu entnehmen.

3. NTRIP-Installation an der TU Wien

Alle im folgenden beschriebenen Programme (außer „RTR-Control“ und RTCM_XP) stammen vom BKG und sind auf dessen Homepage frei verfügbar.

Der Datengenerator

Zum Generieren der RTCM-Korrekturdaten wird der Zweifrequenzempfänger „PolarX2“ von Septentrio verwendet. Im Rahmen der NTRIP Installation werden die Nachrichten 3, 16, 18 und 19 ausgesendet. Die Referenzstationskoordinaten werden im 9sec Rhythmus übermittelt. Die unkorrigierten Trägerphasen- und Pseudorange-messungen werden im Sekundentakt ausgesendet, wobei auf L1 jeweils C/A-Code-Messungen und auf L2 P-Code-Messungen weitergegeben werden. Um dem Nutzer eine kurze Information über die Herkunft des Datenstroms zu geben, wird im 5min Rhythmus die Nachricht 16 mit dem Text „TU Wien Testdatenstrom“ ausgesendet.

Die Serversoftware

Aus hardwaretechnischen und räumlichen Überlegungen wurde zuerst versucht die Daten mit dem Kommandozeilenprogramm „NTRIPServerCMD v.1.3“ vom IP Port des Empfängers zu lesen und weiterzuschicken. Da das Programm beim Arbeiten mit Proxy-Servern aber Probleme aufweist und an der TU Wien ein Server dieses Typs installiert ist, kam es immer wieder zu Abbrüchen des Datenflusses. Um dieses Problem zu lösen, wurde auf das Windows Programm „NTRIPServer v.1.2.0“ umgestellt. Dieses Programm übernimmt die Daten von der seriellen Schnittstelle des Empfängers. Nach der Installation dieses Programms gab es keine weiteren Probleme mit Datenstromausfällen.

Die Clientsoftware

Zum Empfangen der Korrekturdaten wurde das Programm „GNSS Internet Radio v.1.3.9“ getestet. Das Programm bietet die Möglichkeit, die empfangenen Daten entweder über eine serielle Schnittstelle oder über die eigene IP Adresse wieder auszusenden, oder sie in einer Datei zu speichern. Es ist auch eine Version für Windows CE erhältlich. So kann ein NTRIP-Client auf mobilen Kleincomputern (Palmtops) betrieben werden.

4. Testmessung mit NTRIP

Für die Testmessungen wurde der Zweifrequenzempfänger „LEICA GX1230“ verwendet. In der Software dieses Gerätes ist bereits ein NTRIP-Client integriert. Es können so ohne weitere Hilfsmittel über eine GPRS-Verbindung RTCM-Daten von einem NTRIP-Broadcaster empfangen werden. Während der zweistündigen Testzeit gab es keine Unterbrechung der Datenverbindung. Dies zeigt, dass die Internetverbindung zur Übertragung von RTCM-Korrekturen keinerlei Nachteile gegenüber einer gebräuchlichen GSM-Verbindung aufweist, was auch in [9] bestätigt wird.

Die Korrekturdaten wurden vom „BKG's EUREF-IP NTRIP Broadcaster“ bezogen. Als Mountpoint wurde die Station der TU Wien gewählt. Die Messungen wurden auf der Donauinsel in Wien ausgeführt. Die Länge der Basislinie betrug knappe 5 km. Die Positionen wurden über rund 2h (30.08.2005, 10:00 – 12:15 Uhr UTC) in 15sec Intervallen gespeichert, in Landeskoordinaten transformiert und anschließend graphisch (Y, X, H) aufgearbeitet.

Die Variation der GK-Koordinaten über den Messzeitraum ist äußerst zufriedenstellend. So schwanken die Y- und X-Koordinate in einem Bereich von 2 – 3 cm (siehe Abb. 3 und Abb. 4). Deutlich ist ein ± 1 cm Rauschen überlagert von langwelligen Variationen bemerkbar. Die Anzahl der sichtbaren Satelliten variierte während des Beobachtungszeitraumes zwischen 8 zu Beginn und teilweise nur 5 gegen Ende der Messung. Die aus wenig sichtbaren Satelliten resultierende schlechte Satellitengeometrie wirkt sich auf die Höhe deutlich stärker aus als auf die Lagekoordinaten. Dadurch sind die Schwankungen der Höhe von bis zu 10 cm erklärbar (siehe Abb. 5).

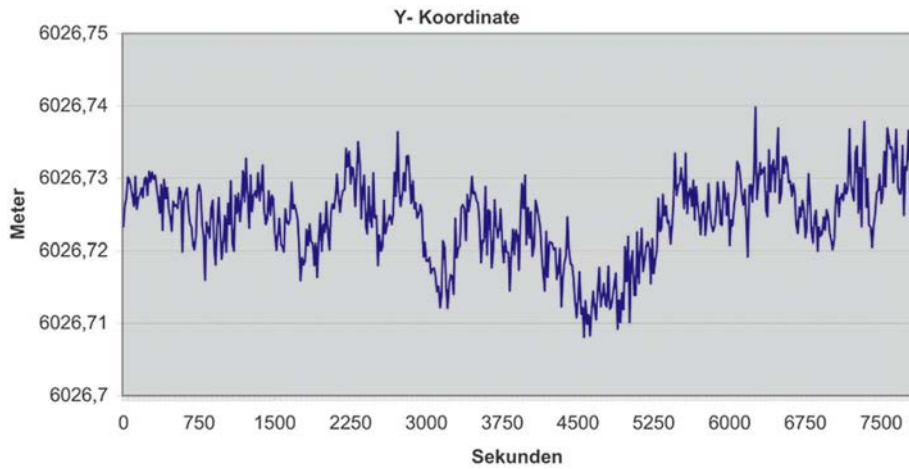


Abb. 3: Variation der GK Y-Koordinate (M34)

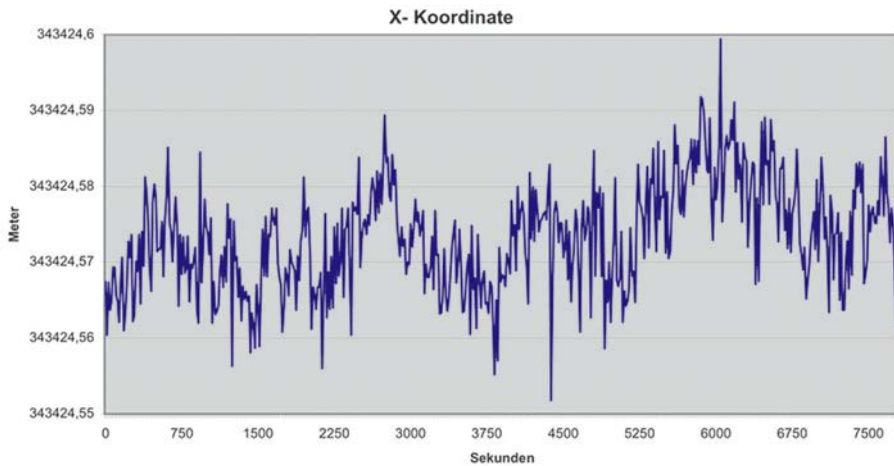


Abb. 4: Variation der GK X-Koordinate (M34)

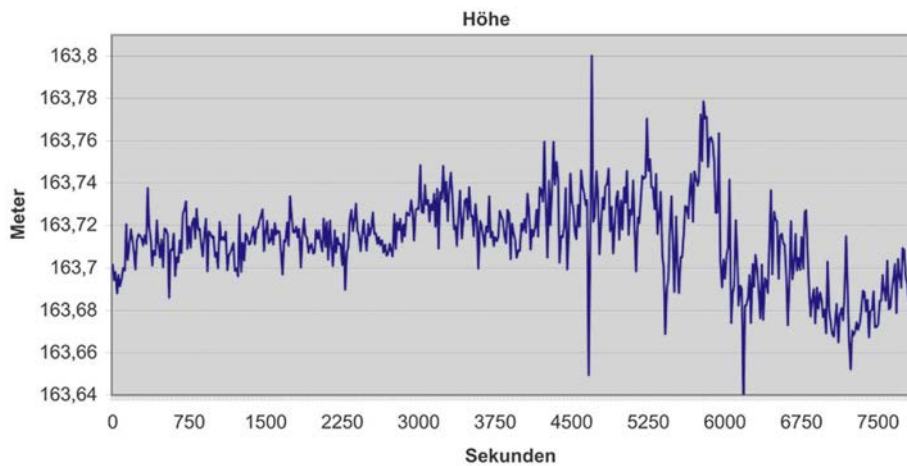


Abb. 5: Variation der Höhe

5. Pseudostreckenkontrolle

„RTR-Control“ erfüllt 2 Aufgaben. Primär ist es konzipiert, die Qualität von Satellitenbahnen zu überprüfen. Es ist dabei vordergründig darauf ausgelegt, die „Ultra Rapid (IGU) Orbits“ des IGS wartungsfrei im Dauerbetrieb in Echtzeit zu überprüfen. Das Programm kann aber auch grobe Ausreißer in den gemessenen Pseudorange entdecken.

Um diese Aufgaben zu bewältigen, muss das Programm automatisch die jeweils aktuellsten IGU-Bahndaten von einem Datencenter des IGS laden (bei Programmstart und danach 4-mal täglich – um 4, 10, 16 und 22 Uhr UTC). Zusätzlich müssen permanent die gemessenen Pseudorange (PR_{gem}) und die Referenzstationskoordinaten (X_E, Y_E, Z_E) aus den, via NTRIP empfangenen, RTCM-Messages 19 bzw. 3 übernommen werden. Mit Hilfe der Satellitenkoordinaten (X_S, Y_S, Z_S) und Satellitenuhrkorrekturen (dt_S) aus den IGU-Bahndaten sowie den Referenzstationskoordinaten können Soll-Pseudorange berechnet werden. Dabei müssen zusätzlich der Empfängeruhrfehler (dt_E) und die Fehlereinflüsse aufgrund der Laufzeitverzögerungen in der Tropo- und Ionosphäre (d_{trop} und d_{ion}) berücksichtigt werden. Der Empfängeruhrfehler kann auf 1 μ sec genau dem RTCM-Datenstrom entnommen werden [8]. Da dies für die auszuführenden Berechnungen zu ungenau ist, muss der Restfehler näherungsweise geschätzt werden. Dazu wird ein Mittelwert des genäherten Restfehlers der gemessenen Pseudodistanzen in nsec berechnet. Der Einfluss der Troposphäre wird über das Modell von Saastamoinen korrigiert, jener der Ionosphäre über die ionosphärenfreie Linearkombination eliminiert. Nun kann der Restfehler (d_{rest}) – die PR-Differenz (Ist – Soll) für jede Epoche berechnet werden. Der Restfehler setzt sich aus Multipatheffekten, Satellitenbahn und -uhrfehlern und zufälligem Rauschen zusammen:

$$d_{rest} = PR_{gem} - (\sqrt{(X_S - X_E)^2 - (Y_S - Y_E)^2 - (Z_S - Z_E)^2} - (dt_E + dt_S + d_{rel}) \cdot c + d_{trop} + d_{ion})$$

Fehlerhafte Bahnparameter oder Satellitenuhrkorrekturen für einzelne Satelliten zeigen sich in einem konstant hohem Absolutbetrag von d_{rest} , während Fehler einzelner Messungen durch vereinzelte Ausreißer gekennzeichnet sind.

d_{rest} wird in m (1 nsec = 0.3 m), zusammen mit der Signalempfangszeit in GPS-Zeit (in sec ab Mitternacht) und der Satellitenelevation, am Bildschirm ausgegeben. Die Daten werden zusätzlich in einer Datei, mit Angabe des Empfängeruhrfehlers dt_E , gespeichert. Überschreitet d_{rest} eine festgesetzte Schranke, wird zusätzlich ein Signalton und ein Warnhinweis ausgegeben und protokolliert. Ein realistischer Wert für die Fehlergrenze liegt, aufgrund der abgeleiteten Genauigkeit der ionosphärenfreien Linearkombination, bei rund 3m.

„RTR-Control“ kann parallel zu einem laufenden NTRIP-RTCM-Datenstrom eingesetzt werden, da es die RTCM-Daten aus einer ASCII-Datei entnimmt. In diese Datei werden vom RTCM Decoder „RTCM_XP“ permanent die aktuellsten RTCM-Messages geschrieben [1]. Der Decoder steht zwischen dem NTRIPClient Programm und dem Roverempfänger und dient nur zu Dekodierung des binären RTCM-Formats (siehe Abb. 6).

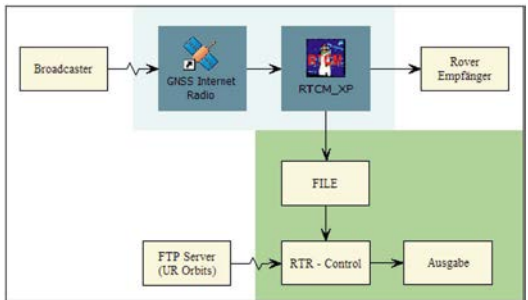


Abb. 6: RTCM-Datenfluss Broadcaster – „RTR-Control“

„RTR-Control“ kann auch alte Daten im Post Processing bearbeiten, wobei natürlich die diesen Daten entsprechenden Bahnen von einem Datencenter des IGS geladen werden oder selbst gewählte Satellitenbahnen zur Verfügung gestellt werden müssen.

6. Probetrieb

Um eine aussagekräftige Analyse von d_{rest} vornehmen zu können, wurden über mehrere Tage simultan RTCM-Daten von 4 Referenzstationen aufgenommen und ausgewertet: Budapest (Betreiber: TU Budapest), Mailand (Betreiber: Universität Mailand), Saint Mandé (Betreiber: IGN¹⁾) und Wien (Betreiber: TU Wien). Auf den 4 Stationen werden verschiedene Empfänger mit unterschiedlichen Einstellungen betrieben (siehe Tab. 1).

1) Institut Geographique National, Frankreich.

Ort	Empfänger	RTCM Messages	Glättungsintervall	Art der PR	
				L1	L2
Budapest	Trimble 4700	3, 16, 18, 19, 23, 24	—	C/A	P
Mailand	Ashtech Z12	1, 3, 16, 18, 19	5 — 15 min	C/A	P
Saint Mandé	Leica CRS 1000	1, 3, 18, 19	5 — 15 min	C/A	P
Wien	Septentrio PolaRx2	3, 16, 18, 19	1 — 5 min	C/A	P

Tab. 1: Technische Daten der verwendeten Stationen

Für die eigentliche Analyse wurden 6 h (19:31 – 1:26 Uhr, UTC) in der Nacht von 21. auf 22. November 2004 ausgewählt und ausgewertet. Die PR-Differenzen wurden für diesen Zeitraum in Echtzeit mit den, für den jeweiligen Zeitpunkt aktuellsten, „Ultra Rapid Orbits“ berechnet. Diese Bahnen sind für maximal 6 h extrapoliert. Im Post-Processing wurden die PR-Differenzen auch mit beobachteten „Rapid Orbits“ bestimmt. Es ist anzumerken, dass bei der Echtzeitauswertung um 22:00 Uhr ein Wechsel der „Ultra Rapid Orbits“ vollzogen wurde. Des weiteren ist zu erwähnen, dass bei der Echtzeitauswertung von Mailand um 16:00 Uhr ein Download neuer Ephemeriden nicht möglich gewesen ist, wodurch bis zum Wechsel der Ephemeriden um 22:00 Uhr an dieser Station mit älteren Bahnen als an den anderen Stationen gerechnet wurde (siehe Tab. 2).

Ort	19:31 – 22:00 Uhr	19:31 – 22:00 Uhr
Budapest	IGU12980_12.SP3	IGU12980_18.SP3
Mailand	IGU12980_06.SP3	
Saint Mandé	IGU12980_12.SP3	
Wien	IGU12980_12.SP3	

Tab. 2: Während des Analysezeitraums verwendete „Ultra Rapid Orbits“

Um die Ergebnisse vergleichen zu können, wurden einerseits die PR-Differenzen der verschiedenen Stationen miteinander verglichen und zum anderen die Ergebnisse aus Berechnungen mit unterschiedlichen Satellitenbahndaten und Uhrkorrekturen gegenübergestellt. Die markantesten Ergebnisse seien hier dargestellt.

6.1 „Ultra Rapid Orbits“

Die folgenden Grafiken (siehe Abb. 7 – Abb. 9) zeigen die PR-Differenzen eines ausgewählten Satelliten für alle 4 Stationen. (Anmerkungen: Die Skalierung der x-Achse ist in sec ab Tagesanfang (nach UTC), N.E. (Neue Ephemeriden) kennzeichnet den Wechsel zu neuen Ephemeriden).

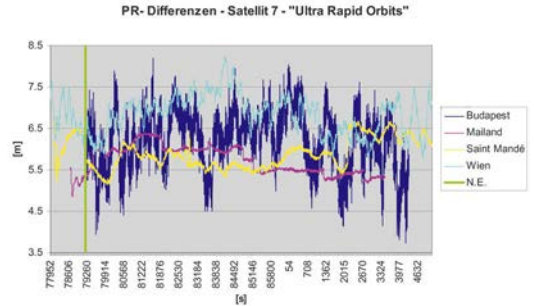


Abb. 7: PR-Differenzen des Satellit PRN7, gerechnet mit „Ultra Rapid Orbits“

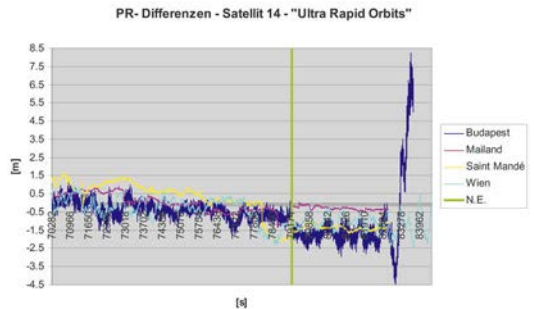


Abb. 8: PR-Differenzen des Satellit PRN14, gerechnet mit „Ultra Rapid Orbits“

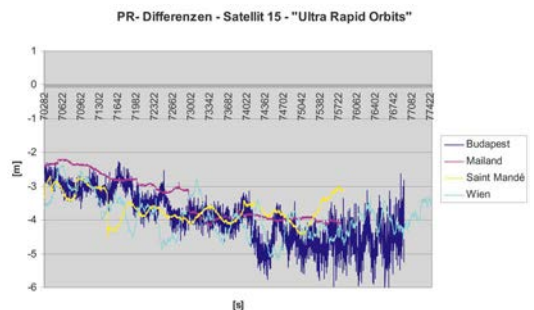


Abb. 9: PR-Differenzen des Satellit PRN15, gerechnet mit „Ultra Rapid Orbits“

Betrachtet man den Verlauf der PR-Differenzen so ist zu erkennen, dass sie sich pro Satellit für alle Stationen (bis auf das Rauschen) in etwa gleich verhalten. Dieses Verhalten ist auch bei den anderen, zu diesem Zeitpunkt sichtbaren Satelliten erkennbar und daher eindeutig auf die verwendeten Satellitenbahnen und -uhren zurückzuführen.

Beachtenswert sind die hohen Absolutwerte der PR-Differenzen der Satelliten 7 und 15 von rund $+6\text{ m}$ bzw. -4 m . Es kann außerdem der Untergang der Satelliten 14 und 15 an der Station Budapest erkannt werden, wobei er sich bei Ersterem in einem markanten Anstieg der PR-Differenzen und bei Letzterem in einem erhöhten Rauschen zeigt. Der Grund für das Verhalten dieses Empfängers kann nur in einem äußerst ausgeprägtem Multipatheffekt liegen, da ein solcher Effekt bei keiner anderen Station beobachtet werden konnte.

Aus den Grafiken sind zudem die unterschiedlichen Datenglättungsintervalle mit denen die einzelnen Empfängern arbeiten herauszulesen. Bei einigen Stationen kann der Wechsel zu neuen Ephemeriden (gekennzeichnet durch die vertikale grüne Linie) über einen Sprung in den PR-Differenzen identifiziert werden.

6.2 Vergleich von „Ultra Rapid Orbits“ und „Rapid Orbits“

Zur Kontrolle wurden die PR-Differenzen im Post Processing auch mit den genaueren „Rapid Orbits“ (IGR) des IGS berechnet. Es wurden Diagramme erstellt, in denen für jeden Satelliten und jede Station die PR-Differenzen, gerechnet mit IGU- und IGR-Bahnen und Uhrenkorrekturen und die Differenz dieser Ergebnisse dargestellt sind. Im folgenden seien einige Beispiele gezeigt: Satellit 15 (siehe Abb. 10): Bei diesem Satelliten ist die Differenz zwischen den unterschiedlichen Ephemeriden am markantesten und bringt außerdem eine merkbare Verbesserung der Ergebnisse. Diese bewegt sich bei allen Stationen in der gleichen Bandbreite von rund $1.5 - 3.5\text{ m}$. In den PR-Differenzen, berechnet mit IGR-Orbits verbleibt ein Rauschen von wenigen dm, welches die Code-messgenauigkeit und gegebenenfalls Multipatheffekte widerspiegelt.

Die nun geringeren PR-Differenzen dieses Satelliten sind größtenteils auf die Verbesserung der Schätzung der Satellitenuhrkorrekturen in den Rapid Orbits zurückzuführen. Dieser Satellit verwendet als einziger der betrachteten Satelliten eine Cäsium Uhr, deren Gang sehr viel unregel-

mäßiger als jener der Rubidium Uhren der anderen Satelliten und daher schwieriger zu präzisieren ist [2].

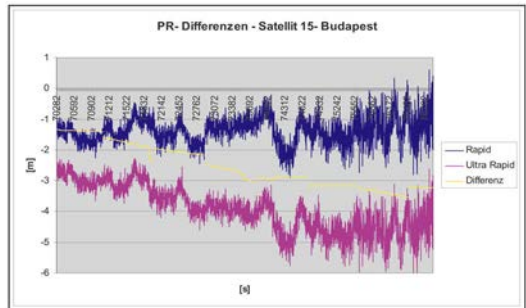


Abb. 10: „Ultra Rapid“- vs. „Rapid Orbits“ für Satellit PRN15

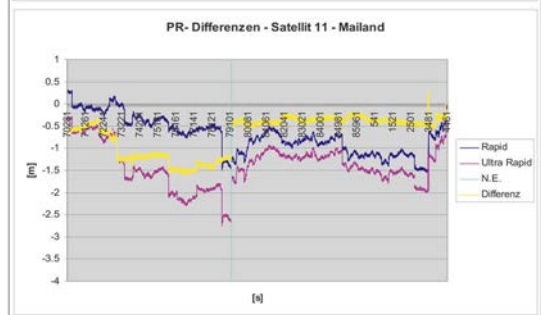
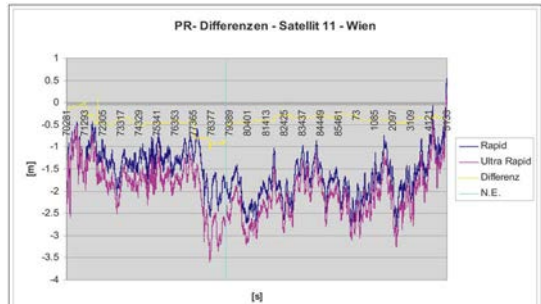


Abb. 11: „Ultra Rapid“- vs. „Rapid Orbits“ für Satellit PRN11

Satellit 11 (siehe Abb. 11): Auch bei diesem Satelliten bringt die Verwendung der „Rapid Orbits“ auf jeden Fall eine Verbesserung der PR-Differenzen. Für die Stationen Saint Mandé und Budapest liegen die Änderungen von ca. $0.5 - 1\text{ m}$ im gleichen Bereich wie für Wien, wobei ein leichtes Absinken der Differenzen auf ca. 0.3 m nach dem Ephemeridensprung zu erkennen ist. Die Beobachtungen auf der Station Mailand

verhalten sich nach dem Wechsel der Bahndaten um 22:00 Uhr wie bei den anderen Stationen. Vor diesem Zeitpunkt ist aber die Differenz mit bis zu 1.5 m bedeutend größer, was zeigt, dass es für diesen Satelliten einen großen Unterschied in den verschieden weit extrapolierten „Ultra Rapid Orbits“ gibt (siehe Tab. 2).

Satellit 7 (siehe Abb. 12): Eigentlich hätte man bei diesem Satelliten durch das Verwenden von „Rapid Orbits“ eine klare Verringerung von d_{rest} erwartet, da die mit „Ultra Rapid Orbits“ berechneten PR-Differenzen außergewöhnlich hoch sind. Die ermittelten Differenzen sind aber äußerst gering und bewegen sich für alle Stationen im Bereich von wenigen dm. Der große Absolutbetrag der PR-Differenzen von ca. 7 m kann zu einem Teil auf den Differential Code Bias (DCB) des Satelliten 7 zurückgeführt werden. Das ist eine satellitenspezifische Zeitkorrektur zwischen P-Code und C/A-Code. Dieser Bias wirkt sich auf die Berechnungen aus, da sich die Satellitenuhrkorrekturen in den SP3-Bahndaten immer auf die P-Code Messungen beziehen. Er beträgt z.B. für Satellit 7²⁾ -1.228 nsec. Bei Nutzung der ionosphärischen Linearkombination kann dieser Effekt zu einem Anstieg der PR-Differenz von mehr als 1 m führen. Die verbleibenden rund 5 m konnten aber noch nicht geklärt werden.

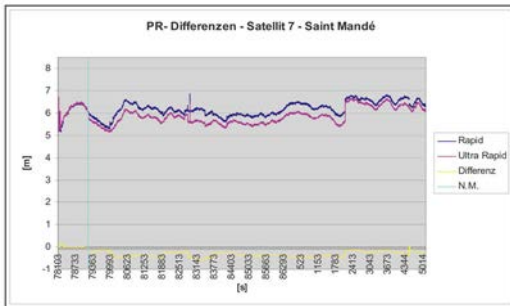


Abb. 12: „Ultra Rapid“- vs. „Rapid Orbits“ für Satellit PRN7

7. Zusammenfassung

NTRIP ist, aufgrund der universellen Einsetzbarkeit und der Möglichkeit des Transportes verschiedenster Daten zu mehreren tausend Nutzern gleichzeitig, sicherlich eine der Datenübertragungstechniken der Zukunft. NTRIP steht, wie sich im Test gezeigt hat, sowohl in der Geschwin-

digkeit wie auch Vollständigkeit der Datenübertragung anderen Methoden um nichts nach. Wiederholte RTK-Punktbestimmungen über eine Dauer von 2 h ergaben eine Variation der Lagekoordinaten von 2 – 3 cm. In der Höhe bewegten sich die Schwankungen im Bereich von 5 – 10 cm. Diese können auf die unterschiedliche Anzahl von sichtbaren Satelliten zurückgeführt werden.

Betreffend der „Ultra Rapid Orbits“ des IGS kann gesagt werden, dass die prädierten Bahnen und Satellitenuhrkorrekturen für die meisten Satelliten die erwartete Genauigkeit bei weitem übertreffen und die Unterschiede zu den a posteriori bestimmten Ephemeriden zumindest in den ersten prädierten Stunden marginal sind. Bei weiterer Extrapolation verschlechtern sich die „Ultra Rapid Orbits“ mit fortschreitender Zeit und weisen bei manchen Satelliten kurz vor dem Ephemeridensprung bereits einen merklichen Qualitätsverlust auf. Es ist daher zu empfehlen immer die aktuellsten „Ultra Rapid Orbits“ zu nutzen (für maximal 6 h extrapoliert).

Die prädierte Satellitenuhrkorrektur ist dabei für die Berechnung der Pseudostrecken ein sehr viel kritischerer Faktor als die Satellitenposition. Fehler in den Satellitenkoordinaten treten zumeist in Flugrichtung auf und beeinflussen die radiale Komponente daher nur wenig. Eine Modellschwäche der Uhrprädition hingegen geht direkt in das Ergebnis ein, wobei ein Fehler von 1 nsec bereits 30 cm in der Pseudorange ausmacht.

Der Einsatz der Software RTR-Control zur Detektion falsch prädierten „Ultra Rapid Orbits“ einzelner Satelliten kann in den Zentralen von GNSS-Netzwerken bereits heute empfohlen werden. Gegebenfalls können so einzelne Satelliten von den Berechnungen der systematischen Fehleranteile im Netz ausgeschlossen und, um fehlerhafte RTK-Positionierungen zu vermeiden, deren Daten nicht an den Nutzer weitergegeben werden. Auf Seiten des Rovers muss abgewartet werden, bis auch dieser präzise Bahnen aus dem Internet beziehen und nutzen kann.

Literatur

- [1] Bäumker, M. (1998): RTCM-SC104, Version 2.0/2.1, Decodingprogram RTCM.EXE. User Manual, Fachbereich Vermessungswesen, Fachhochschule Bochum.
- [2] Bröderbauer, V.; Weber, R. (2003): Results of Modelling GPS Satellite Clocks. Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation, Heft 1/2003, S. 38-47.

2) Siehe IGSMail- 4987 [<http://igsdb.jpl.nasa.gov/mail/igsmail/2004/msg00211.htm>].

- [3] *Dettmering, D.; Gebhard, H.; Weber, G. (2004):* Networked Transport of RTCM via Internet Protocol: Ntrip, Version 1.0 Example Implementation. Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG), Frankfurt.
- [4] *González-Matesanz, F.J.; Weber, G.; Celada, J.; Dalda, A.; Quiros, R. (2004):* El proyecto EUREF-IP. Resultados con GPRS. 4ª Asamblea Hispano Portuguesa de Geodesia y Geofisica, Figueira da Foz, 2004.
- [5] *Klug, C.; Weber, R. (2003):* GNSS-Permanentstationsnetze der Energieversorger zur Echtzeitpositionierung in Österreich. Tagungsband des 5. SAPOS®-Symposium, Frankfurt am Main, 2003, S. 48-55.
- [6] *Opitz, M. (2004):* GNSS-Echtzeitorbitkontrolle auf Basis Internet-transferierter (NTRIP) RTCM-Datenströme. Diplomarbeit, Institut für Geodäsie und Geophysik, Forschungsgruppe Höhere Geodäsie der Technischen Universität Wien.
- [7] *Radio Technical Commission For Maritime Services (1998):* RTCM recommended standards for differential GNSS (Global Navigation Satellite Systems). Service Version 2.2.
- [8] *Radio Technical Commission For Maritime Services (2004):* RTCM Recommended Standards for Networked Transport of RTCM via Internet Protocol (Ntrip). Version 1.0.
- [9] *Schneider, A.; Schöffel, M. (2004):* Ntrip – Networked Transport of RTCM via Internet Protocol. Ein neues Konzept zur Übertragung von Korrekturdaten unter SAPOS®. Diplomarbeit, Fachrichtung Geoinformatik und Vermessung der Fachhochschule Mainz.

Weblinks (Stand: August 2005)

BKG – Ntrip: http://igs.ifag.de/index_ntrip_cast.htm
 IGS: <http://igscb.jpl.nasa.gov/>
 RTCA: <http://www.rtca.org/>
 RTCM: <http://www.rtcn.org/>
 Septentrio Satellite Navigation: <http://www.septentrio.com/>
 WEP: <http://wep.wienstrom.at/>

Anschrift der Autoren:

Dipl.-Ing. Michael Opitz und Dr. Robert Weber: Forschungsgruppe Höhere Geodäsie, Institut für Geodäsie und Geophysik, Technische Universität Wien, Gusshausstrasse 27-29/128-1, 1040 Wien.
 email: mopitz@mars.hg.tuwien.ac.at,
rweber@mars.hg.tuwien.ac.at