

Untersuchungen zu EGNOS – Ergebnisse von Messungen während der Testphase

Dominik Müller

EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) stellt dem Nutzer von GPS und GLONASS Korrekturdaten über geostationäre Satelliten zur Verfügung, so dass dieser über DGPS eine verbesserte Positionsbestimmung durchführen kann.

1 Einleitung

EGNOS steht für *European Geostationary Navigation Overlay Service* und wird als Dienst von der Europäischen Raumfahrt Agentur (ESA) in Kooperation mit weiteren europäischen Einrichtungen Nutzern von GPS und GLONASS zur Verfügung gestellt. EGNOS stellt einem Anwender über geostationäre Satelliten Korrekturdaten zu Satellitenbahnen, -uhren und zum Atmosphäreneinfluss (Ionosphäre, Troposphäre) zur Verfügung, so dass dieser über DGPS-Messungen eine verbesserte Positionsbestimmung durchführen kann. Zusätzlich sendet der Dienst ein sogenanntes Integritätssignal aus, welches Auskunft über den Systemzustand gibt. EGNOS wird nach Aussage der Betreiber Ende des Jahres 2005 voll operabel sein. Der vorliegende Artikel gibt einen Überblick über das Konzept von EGNOS sowie die Verfahrensweise zu dessen Nutzung. Ergebnisse und erzielte Genauigkeiten von Messungen während der Testphase von EGNOS (ESTB) werden vorgestellt und geben einen Einblick in das Nutzenpotenzial dieser DGPS-Methode. Die Untersuchungen sind Gegenstand der Diplomarbeit von Dominik Müller, die an der Fachhochschule Mainz, Fachrichtung Geoinformatik und Vermessung, in Zusammenarbeit mit dem Amt für Geoinformationswesen der Bundeswehr (Dezernat Geodäsie/Navigation) angefertigt wurde.

2 Konzept von EGNOS

Das EGNOS-System soll zukünftig aus 34 Bodenstationen (*RIMS; Ranging and Integrity Monitor Stations*), die über ganz Europa verteilt sind, bestehen. Diese RIMS besitzen genaue Koordinaten im WGS 84 System und so können aus GPS- und GLONASS-Beobachtungen Korrekturdaten für Satellitenuhren, Satellitenbahnen und die Atmosphäre (Ionosphäre [Wanninger 1994] und Troposphäre [Görres 1996]) in Europa abgeleitet werden. Die Korrekturdaten werden zu Erdfunkstellen weitergeleitet,

die diese zu den drei für das System vorgesehenen geostationären Satelliten funken und die geostationären Satelliten stellen die Korrekturdaten dem Nutzer zur Verfügung. Das Signal, welches von den geostationären Satelliten ausgestrahlt wird, besteht aus der L1-Trägerfrequenz mit aufmodelliertem CA-Code identisch zum GPS-Signal. Auf dieser L1-Trägerfrequenz befindet sich aber kein P-Code wie bei den GPS-Frequenzen und der Daten-Code beinhaltet nicht die Navigationsnachricht der GPS-Satelliten, sondern die Korrekturdaten für die einzelnen GPS- und GLONASS-Satelliten [Seeber 1989], [Grotten et al. 2004] und [Retscher und Moser 2001].

- Zur Zeit befindet sich EGNOS mit ESTB (*EGNOS System Test Bed*) im Testbetrieb. In dieser für den Nutzer zur Verfügung stehenden ESTB-Phase werden Korrekturdaten ohne Integritätsinformationen von 13 RIMS aus ermittelt und dem Nutzer über einen geostationären Satelliten zur Verfügung gestellt. Der geostationäre Satellit steht über dem Äquator und hat über Deutschland eine Elevation von ca. 16°. Deshalb sollten keine Hindernisse in südlicher Richtung vom Beobachtungsstandpunkt vorhanden sein, weil andernfalls die Korrekturdaten abgeschattet werden.
- Die niedrige Elevation der geostationären Satelliten hat für die Signale einen langen Weg durch die Atmosphäre zur Folge. Die resultierenden Signalstörungen führen dazu, dass die Korrekturdaten nicht permanent empfangen werden können. Bei den Testmessungen war dies nur zu gut einem Drittel der Beobachtungszeit möglich.
- Die weiten Netzmaschen der bislang erst 13 ESTB RIMS sind die Ursache dafür, dass nicht alle zur Verfügung stehenden GPS-Satelliten empfangen werden und somit nicht für alle Korrekturdaten berechnet werden können. Bei den Testmessungen konnten teilweise bei fünf oder sechs empfangbaren GPS Satelliten keine ESTB-Lösung berechnet werden, da weniger als vier Satelliten mit ESTB-Korrekturdaten zur Verfügung standen.

[EGNOS 2004a], [EGNOS 2004 b]

3 Verfahrensweisen zur Nutzung von EGNOS

Das EGNOS-System ist hauptsächlich für Positionsbestimmungen in Echtzeit konzipiert worden. Die meisten neueren geodätischen GPS- und/oder GLONASS-Empfänger sind in der Lage die EGNOS- bzw. ESTB-Korrekturdaten zu nutzen und damit die Präzision und die Richtigkeit des SPP (*Single Point Positioning*) zu steigern.

Bei Positionsbestimmungen in Echtzeit werden für Lage und Höhe bei ESTB aus dem Beobachtungszeitraum von 30 Sekunden gute Bestimmungen erzielt, wie aus den Testmessungen der Diplomarbeit hervor geht. Dieser Zeitraum stellt ein gutes Verhältnis zwischen Genauigkeit und Wirtschaftlichkeit der Messung dar.

Für die Navigation führt die Nutzung der ESTB-Korrekturdaten im Vergleich zur GPS SPP ebenfalls schon zu einer deutlichen Verbesserung der Lösung. Ein Zusammenhang zwischen der erreichten Richtigkeit und der Anzahl der zur Verfügung stehenden GPS- bzw. GLONASS-Satelliten und den damit in Zusammenhang stehenden DOP-Werten ist aus den Testmessungen nicht zu erkennen.

Ein Postprocessing mit ESTB- oder EGNOS-Korrekturdaten ist ebenfalls grundsätzlich möglich. Hierzu wird jedoch ein Auswerteprogramm benötigt, das die Korrekturdaten im Postprocessing an die originären Beobachtungen anbringt. In den im Vermessungswesen gängigen Auswerteprogrammen steht diese Option derzeit noch nicht zur Verfügung. Für Testzwecke stellt die deutsche Flugsicherung in Langen die Auswertesoftware PEGASUS der Europäischen Flugsicherung EUROCONTROL zur Verfügung. PEGASUS führt halbsekündlich eine SPP als Code-Lösung unter Anwendung der ESTB-Korrekturdaten durch. Die im Internet unter www.esa.int/navigation/egnos-pro vom norwegischen Hauptrechenzentrum für die ESTB-Phase angebotenen ESTB-Korrekturdaten konnten im Rahmen der Diplomarbeit in PEGASUS jedoch nicht genutzt werden, denn die angebotenen Daten entsprechen nicht genau der RINEX 2.1 Konvention. Der Anwender muss sich in der ESTB-Phase demnach nicht nur die Auswertesoftware sondern auch ESTB-Korrekturdatenfiles besorgen, denn von den geodätischen GPS-Empfängern werden die empfangenen Korrekturdaten zwar benutzt, jedoch nicht separat in Dateien aufgezeichnet. Der zu betreibende Aufwand für eine Auswertung im Postprocessing steht in keinem Verhältnis zur Verbesserung gegenüber der GPS-SPP, denn hier könnten unter Zuhilfenahme anderer Methoden der Auswertung viel schnellere und genauere Bestimmungen durchgeführt werden. Zur Überprüfung der Qualität der ESTB-Korrekturdaten im Rahmen der Diplomarbeit ist diese Art der Auswertung ideal, denn in PEGASUS werden Uhren- und Bahnkorrekturen sowie Ionosphären- und Troposphärenkorrekturen einzeln angebracht. Damit sind die einzelnen Komponenten der Korrekturdaten auf ihre Richtigkeit hin analysierbar.

4 Genauigkeitsuntersuchungen zu EGNOS bzw. ESTB

Zur Untersuchung der mit den ESTB-/EGNOS-Korrekturdaten erreichbaren Ergebnisse werden drei Postprocessing-Bestimmungen verglichen, bei denen die Positionsbestimmung aus einer Beobachtung erfolgte. Bei Echtzeit-Bestimmungen für die selbe Zeitspanne würden die gleichen Ergebnisse erzielt werden, da die ESTB-Korrekturdaten für Echtzeit- und Postprocessing-Anwendungen identisch sind.

Die näher betrachteten Postprocessing-Bestimmungen sind:

- GPS SPP-Lösung (4-1a)
GPS-SPP Code-Lösung mit Koordinatenbestimmung aus einer Beobachtung alle 8 Minuten von 6–18 Uhr.
- GPS ESTB-Lösung (4-1b)
Bestimmung wie bei (4-1a) unter Anbringung aller von ESTB gelieferten Korrekturdaten (Bahn-, Uhren-, Ionosphären- und Troposphärenkorrekturen).
- GPS EGNOS-Lösung (4-1c)
Auswertung wie unter (4-1b) beschrieben, aber nicht mit den ESTB-Korrekturdaten, sondern mit EGNOS-Korrekturdaten des Normalbetriebs in der Testphase (die EGNOS-Korrekturdaten für Europa werden aus Beobachtungen von 34 RIM-Stationen berechnet; die ESTB-Korrekturdaten aus Beobachtungen von nur 13 RIM-Stationen).

Aus der Abb. 4.1 ist die Richtigkeit zu erkennen die, mit einer (4-1a) Lösung in der Lage erreicht werden kann. Der Mittelwert aller Messungen weist eine Lageabweichung in der Richtigkeit von 2,851 m nördlich der Festpunktbe-

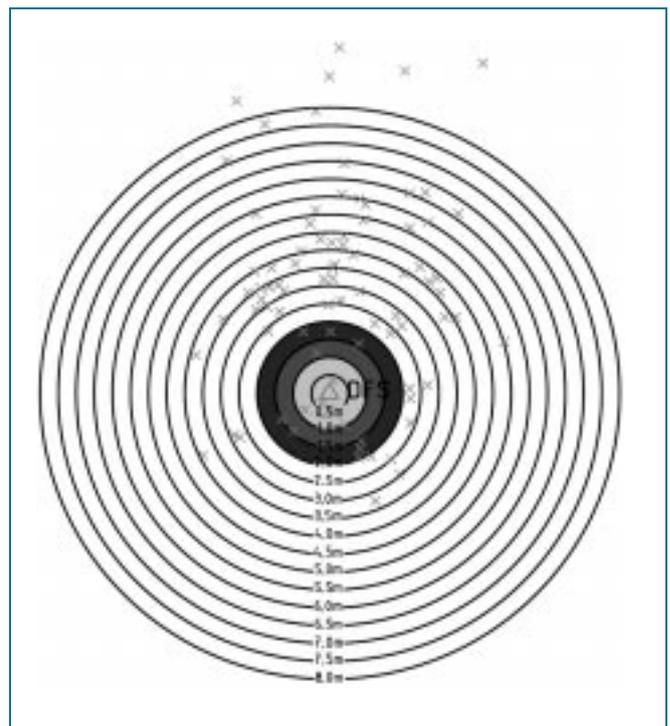


Abb. 4.1: Lageabweichung zu (4-1a)

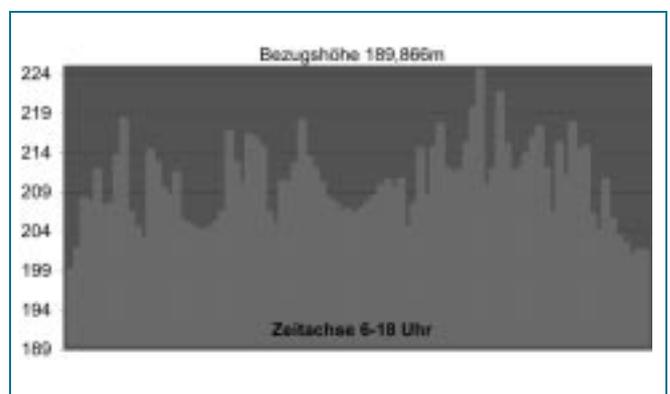


Abb. 4.2: Höhenabweichung zu (4-1a)

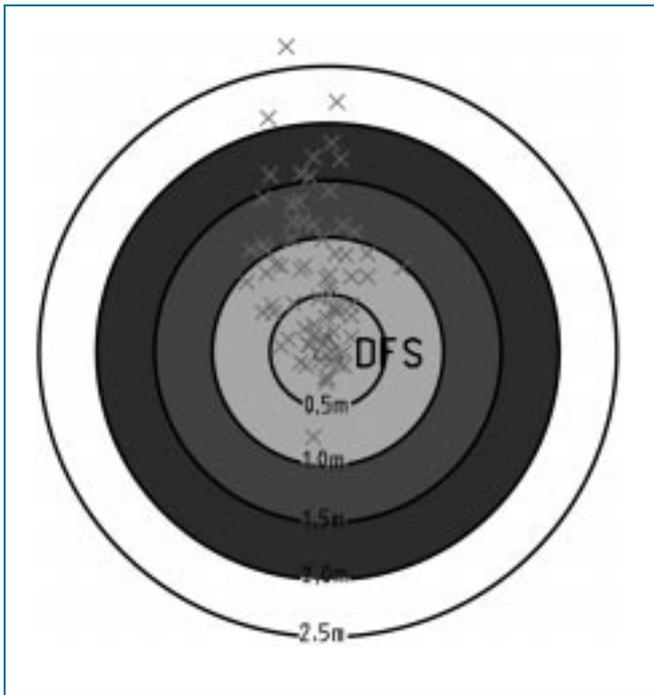


Abb. 4.3: Lageabweichung zu (4-1b)

stimmung des Sollpunktes der Deutschen Flugsicherung DFS (Bestimmung der Sollwerte aus statischen GPS-Messungen über 6 Stunden) auf.

Bei der Höhenbestimmung (Abb. 4.2) ergeben sich bei (4-1a) Abweichungen im Bereich von 10–30 m in positiver Richtung von der Festpunktfestlegung. Diese Abweichungen von der Festpunkthöhe werden hauptsächlich durch die Signalausbreitung in der Atmosphäre verursacht [Hartmann et al. 1992] und [Hornbostel 2004].

Werden nun die ESTB-Korrekturdaten angebracht (4-1b), ergeben sich in der Lage die in Abb. 4.3 dargestellten Ergebnisse.

Die Berücksichtigung der ESTB-Korrekturen für Bahnen und Uhren bewirkt eine Verbesserung der Richtigkeit der Messwerte in der Lage, denn die Abweichung des Mittelwertes von der Richtigkeit beträgt jetzt 0,731 m. Eine Steigerung der Präzision wird jedoch nicht erreicht, denn die einzelnen Messwerte streuen auch nach Anbringen der Bahnen- und Uhrenkorrekturen wie bei (4-1a).

Werden zusätzlich die ESTB-Korrekturdaten für die Ionosphäre hinzu genommen, wird hauptsächlich die Präzision der Messwerte gesteigert. Die Streuung der Messwerte beträgt jetzt maximal 5 m um die Festpunktfestlegung in der Lage. Die Abweichung von der Richtigkeit ist im Gegensatz zur Bestimmung mit ESTB Bahnen- und Uhrenkorrekturen mit 0,940 m etwas schlechter.

Werden zusätzlich die ESTB-Korrekturdaten für die Troposphäre angebracht, ergeben sich die in der Abb. 4.3 dargestellten Ergebnisse. Sie bewirken eine weitere Steigerung der Präzision; die Streuung in der Lage beträgt nur noch 2 m. Die Richtigkeit erfährt ebenfalls eine Verbesserung und beträgt 0,625 m in nördlicher Richtung von der Festpunktbestimmung.

Die Höhengenaugigkeit wird ebenfalls durch Anbringen der ESTB-Korrekturen für Bahnen und Uhren sowie für

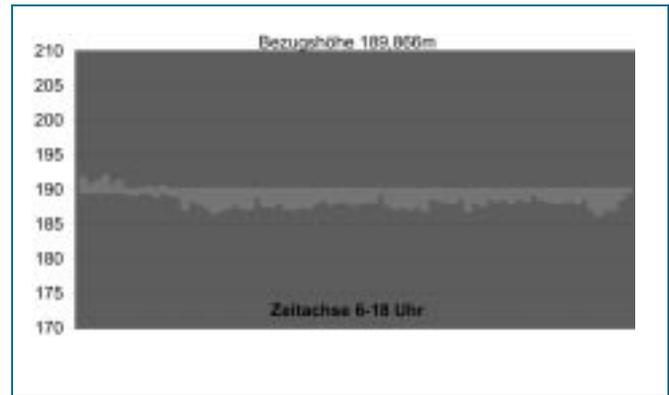


Abb. 4.4: Höhenabweichung zu (4-1b)

die Ionosphäre und die Troposphäre gesteigert. Die Abweichungen in der Höhe nach der Berücksichtigung der Korrekturdaten für Bahnen- und Uhren beträgt zwar wie bei (4-1a) noch bis zu ca. 30 m in positiver Richtung, jedoch weist die Mehrzahl der Messungen eine geringere Differenz auf. Die Hinzunahme der ESTB-Korrekturdaten für die Ionosphäre liefert Höhenwerte im Bereich von 10–15 m in positiver Richtung von der Festpunkthöhe entfernt. Werden zusätzlich die ESTB-Korrekturdaten für die Troposphäre angebracht, wird die Abweichung von der Festpunkthöhe nochmals deutlich reduziert, so dass maximale Abweichungen von 2–3 m vorliegen (Abb. 4.4).

Die zuvor dargestellten Bestimmungen unter Anbringung der ESTB-Korrekturdaten haben schon eine deutliche Verbesserung im Vergleich zu (4-1a) gezeigt. Es stellt sich die Frage welches Genauigkeitspotenzial der zukünftige EGNOS-Normalbetrieb mit der größeren Anzahl von RIMS beinhaltet. Zur Untersuchung dieser Fragestellung

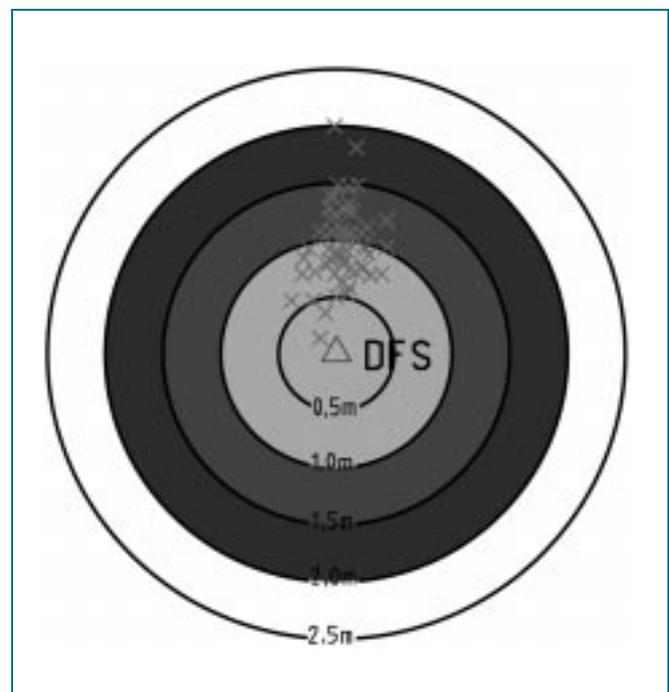


Abb. 4.5: Lageabweichung (4-1c)

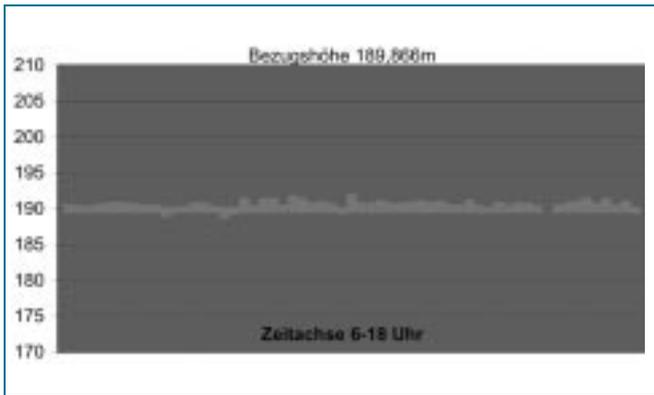


Abb. 4.6: Höhenabweichung (4-1c)

standen Daten des EGNOS-Normalbetriebes in der Testphase zur Verfügung.

Die Ergebnisse der Bestimmung (4-1c) unter Anwendung der EGNOS-Korrekturdaten für die Satellitenbahnen und -uhren sowie der Berücksichtigung der ionosphärischen Korrekturwerte zeigen sowohl in der Lage als auch in der Höhe die gleichen Effekte wie bei (4-1b) dargestellt. Lediglich die Berücksichtigung der EGNOS-Korrekturdaten für die Troposphäre führt bei der Lagebestimmung auf eine höhere Präzision als bei der Bestimmung mit ESTB-Korrekturdaten (Abb. 4.5). Die systematische Abweichung von der Richtigkeit in nördlicher Richtung in der Lage bleibt aber auch bei der Anwendung der EGNOS-Korrekturdaten in der gleichen Größe wie bei (4-1b) erhalten. Durch die höhere Präzision ist aber die Wahrscheinlichkeit bei der Benutzung von EGNOS-Korrekturdaten größer, näher am „wahren“ Punkt zu liegen als mit den ESTB-Korrekturdaten (Abb. 4.5). Auch bei der Höhenbestimmung (Abb. 4.6) wird durch die Auswertung mit EGNOS-Troposphärenkorrekturen im Gegensatz zu (4-1b) eine Steigerung der Richtigkeit erreicht.

Die bessere Korrektur der troposphärischen Einflüsse durch die EGNOS-Korrekturdaten ist auf die bessere Erfassung der troposphärischen Verhältnisse durch die meteorologischen Daten von 34 RIM-Stationen gegenüber 13 RIM-Stationen bei den ESTB-Korrekturdaten zurück zu führen. Bei der Bestimmung der Korrektur für die Ionosphäre bringt der Unterschied zwischen der Anzahl der RIM-Stationen keine Verbesserung der Ergebnisse, denn die Ionosphäre ist im Gegensatz zur Troposphäre weiträumiger „homogen“ aufgebaut. Bei der Messung mit ESTB oder EGNOS ist also darauf zu achten, dass keine kleinräumigen Troposphärenänderungen (z. B. Gewitter) vorliegen, denn diese Bedingungen werden weder von ESTB noch von EGNOS richtig berücksichtigt und führen vor allem in der Höhenbestimmung zu einem enormen Verlust in der Richtigkeit. Die Ergebnisse können dabei bis auf das Genauigkeitsniveau von GPS-SPP fallen.

5 Ausblick für die Nutzung von EGNOS

Durch die Einführung des EGNOS-Normalbetriebes wird sich die Genauigkeit der Punktbestimmung im Gegensatz zur momentan nutzbaren ESTB-Lösung wegen der größe-

ren Anzahl der RIM-Stationen nochmals erhöhen; die Präzision der Messwerte wird sich in der Lage nochmals verbessern. Der systematische Fehler in nördlicher Richtung wird jedoch auch beim EGNOS-Normalbetrieb, wie die Messungen (4-1c) ergeben haben, nicht wegfallen, da die DSF die Abweichungen, die in der Diplomarbeit auftraten aus eigenen Bestimmungen bestätigt. In der Höhe wird sich ebenfalls eine Verbesserung der Genauigkeit gegenüber ESTB ergeben. Die Abweichung von der Festpunkthöhe wird unter einem Meter liegen und nur selten knapp darüber. Durch die größere Anzahl der RIM-Stationen werden zudem immer für alle Satelliten Korrekturdaten vorliegen. Außerdem wird sich mit dem Beginn des EGNOS-Normalbetriebs die Verfügbarkeit erhöhen, denn zwei der drei geostationären EGNOS-Satelliten weisen über Deutschland dann eine Elevation von ca. 35° auf. Auch die Integritätsinformationen, die mit ausgestrahlt werden und eigentlich für sicherheitskritische Anwendungen des Luftverkehrs gedacht sind, werden für die Vermessungssparte Vorteile bringen. Diese Informationen zeigen dem Nutzer bereits bei der Messung, mit welcher Genauigkeit er zu rechnen hat.

In den nächsten Jahren sollen dann auch Korrekturdaten für GALILEO ausgesendet werden. Weiterhin ist vorgesehen, dass die GALILEO-Satelliten neben ihren eigenen Signalen auch noch die Korrekturdaten mit abstrahlen. Dies würde die Verfügbarkeit nochmals enorm erhöhen und es wäre nicht mehr erforderlich die EGNOS-Daten der geostationären Satelliten zu empfangen.

EGNOS ist demnach im Vermessungswesen für Messungen mit „GIS-Genauigkeit“ (im Meterbereich) einsetzbar und bietet eine Alternative zu dem von den Ländern bereitgestellten System SAPOS mit dem Dienst EPS (Echtzeit-Positionierungs-Service) und dem von der Ruhrgas bereitgestellten System ASCOS mit dem Dienst ED (Echtzeit Dienst), die beide Genauigkeiten im Bereich von 0,5 m bis 3 m in der Lage erreichen sollen und in der Höhe um den Faktor 2 schlechter sind. In diesem Bereich liegen auch die Ergebnisse, die im Rahmen der Diplomarbeit erzielt wurden. Der Vorteil von SAPOS und ASCOS ist die derzeit bessere Verfügbarkeit, denn EGNOS ist noch auf die geostationären Satelliten angewiesen und somit ist die Verfügbarkeit durch die Elevation dieser Satelliten eingeschränkt. Der Vorteil von EGNOS gegenüber SAPOS und ASCOS ist die gebührenfreie Nutzung und das Manko der Verfügbarkeit wird spätestens mit der Übertragung von Korrekturdaten durch die GALILEO-Satelliten behoben werden.

6 Literatur

- [1] [EGNOS 2004a] EGNOS Web Site For Professionals. ESA, 2004, www.esa.int/navigation/egnos-pro (Letzter Zugriff: August 2004).
- [2] [EGNOS 2004 b] EGNOS Portal-Germany. www.esa.int/export/esaCP (Letzter Zugriff: August 2004).
- [3] [Görres 1996] Görres, B.: Bestimmung von Höhenänderungen in Regionalen Netzen mit dem Global Positioning System. Verlag des Instituts für Angewandte Geodäsie, Frankfurt am Main, 1996.

- [4] [Groten et al. 2004] Groten, E., Mathes, A., Becker, M., Söhne, W.: GNSS-Information. Allgemeine Vermessungsnachrichten, S. 153–155, Heft 4, 2004.
- [5] [Hartmann et al. 1992] Hartmann, T., Soffel, M., Ruder, H., Schneider, M.: Ausbreitung elektromagnetischer Signale in Gravitationsfeldern und Medium bei geodätischen Raumverfahren. Verlag der Bayerischen Akademie der Wissenschaften München, 1992.
- [6] [Hornbostel 2004] Hornbostel, A.: Signalausbreitung in der Atmosphäre. Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt (DLR), 2004.
- [7] [Retscher und Moser 2001] Retscher, G., Moser, R.: Untersuchung und Vergleich von Local-Area- und Wide-Area-DGPS-Diensten. Allgemeine Vermessungsnachrichten, S. 341–351, Heft 10, 2001.
- [8] [Seeber 1989] Seeber, G.: Satellitengeodäsie. W. de Gruyter Verlag, Berlin, 1989.
- [9] [Wanninger 1994] Wanninger, L.: Der Einfluß der Ionosphäre auf die Positionierung mit GPS. Hannover, 1994.

Anschriften der Beteiligten:

Landesamt für Vermessung und Geobasisinformation
Rheinland-Pfalz,
Vermessungs- und Katasteramt Westerburg,
Dipl.-Ing. Dominik Müller,
Bahnhofstraße 33, 56457 Westerburg
Fachhochschule Mainz,
Prof. Dr.-Ing. Jörg Klonowski,
Rheinstraße 19, 55116 Mainz
Amt für Geoinformationswesen der Bundeswehr,
Dezernat Geodäsie/Navigation,
Kommerner Straße 188, 53879 Euskirchen

Abstract

EGNOS signifies *European Geostationary Navigation Overlay Service* and is a service provided by ESA for users of GPS and GLONASS in cooperation with other European organisations. EGNOS supplies geostationary satellite correction data for satellite orbits and satellite clock and for atmospheric influence (ionospheric, tropospheric), in order to guarantee an improved positioning on DGPS measurements. Furthermore, this service sends a so-called integration signal giving information on the system's state of affairs. EGNOS will be operable at the end of 2005 full according to the providers. The present article gives an overview on the concept, of EGNOS as well as the method of its usage. Results and achieved measurement accuracies during the testing phase of EGNOS (ESTB) will be presented and will give an insight into the usage potential of this DGPS method. The investigations are subject of the dissertation by Dominik Mueller, at the advanced technical college in Mainz, Germany, geographical informatics and measuring department, which was written in cooperation with the department of Geoinformationswesen of the German armed forces.