

## Ergebnisse der Geo++® GNSMART Vernetzung in Bayern

Gerhard Wübbena, Thomas Hoppe, Martin Schmitz, Andreas Bagge  
*Geo++® Gesellschaft für satellitengestützte geodätische und  
navigatorische Technologien mbH*  
D-30827 Garbsen, Germany  
[www.geopp.de](http://www.geopp.de)

Garbsen, den 1. November 2001

### Einleitung

Das Bayerische Landesvermessungsamt betreibt im Rahmen seines SAPOS-Dienstes in Bayern GPS-Referenzstationen, deren Daten kontinuierlich und zentral in München zur Verfügung stehen. Die ARGE Leica Geosystems / Geo++ hat wichtige Teile der für den Betrieb verwendeten Hard- und Software geliefert.

Die Lage und permanente Verfügbarkeit einer Reihe von Referenzstationen im Raum München eröffnet die Möglichkeit, unabhängig von planmäßigen Referenzstationsbetrieb der Landesvermessung eine Vernetzung mit Geo++® GNSMART zu berechnen und zu kontrollieren.

Über einen Zeitraum von annähernd 3 Monaten wurde deshalb in Bayern im automatisierten Betrieb eine GNSMART-Vernetzung mit 7 Referenzstationen sowie ein Monitoring mit einer permanenten Rover-Station betrieben.

### Referenzstationsnetz

Für die Vernetzung wurden sieben Referenzstationen um München herum ausgewählt. (siehe Abb. 1). Die beteiligten Stationen sind in Tab. 1 zusammengestellt.

Die Entfernungen zwischen den ausgewählten Referenzstationen betragen 33 bis 110 Kilometer. GNSMART wurde für die Vernetzung im FKP-Modus betrieben, d.h. die Vernetzungsinformationen wurden zusätzlich zu den originären Korrekturdaten als Zusatzparameter (FKP) zum Rover übertragen.

Details zu den Konzepten von GNSMART, insbesondere über die vollständige Zustandsmodellierung und das FKP-Konzept, sind an anderer Stelle bereits beschrieben worden, z.B. in *Wübbena, Willgalis (2001)* sowie *Wübbena u.a. (2001b)*.

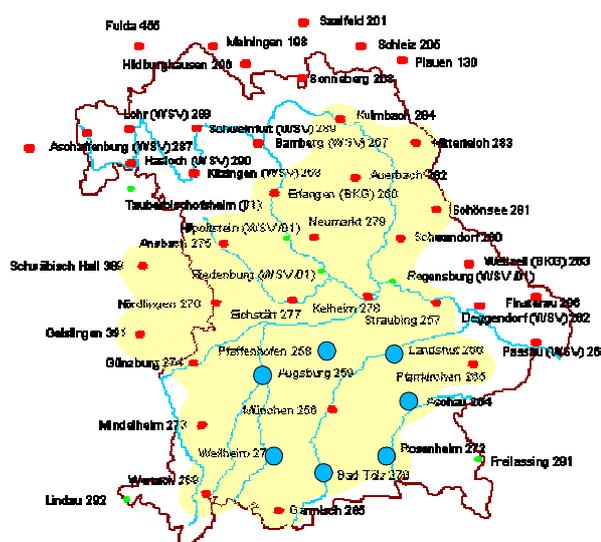


Abb. 1: Netzkonfiguration (blau) mit Rover-Station München

Das vorliegende Netz zeichnet sich durch große Entfernungen aus, die im allgemeinen nicht für den Referenzstationsnetzbetrieb empfohlen werden. Empirische Untersuchungen mit GNSMART (z.B. *Wübbena u.a. 2001a*) zeigen jedoch, dass dank der vollständigen Zustandsmodellierung die systematischen Fehleranteile durch eine hohe Anzahl von simultanen Referenzstationen auch bei größeren Entfernungen von z.B. 100 km noch sehr gut erfasst werden und die Abstände zwischen den Referenzstationen dadurch erhöht werden können.

<i>Station</i>	<i>SAPOS-ID</i>	<i>Status</i>
Pfaffenhofen	258	Referenz
Augsburg	259	Referenz
Aschau	264	Referenz
Rosenheim	272	Referenz
Landshut	266	Referenz
Bad Tölz	270	Referenz
Weilheim	271	Referenz

Tab. 1: als Referenz verwendete Stationen

## Rover-Station München

Die zentral gelegene Referenzstation München wurde bewußt nicht in die Netzlösung einbezogen. Statt dessen wurde die Station München unabhängig von der eigentlichen Vernetzung als Rover konfiguriert und mit Korrekturdaten aus der GNSMART-Vernetzung versorgt. Damit arbeitet München als Monitor-Station und bietet eine unabhängige Kontrollmöglichkeit für die Genauigkeit und Stabilität der GNSMART-Netzlösung.

<i>Station</i>	<i>SAPOS-ID</i>	<i>Status</i>
München	256	Rover

Tab. 2: als Rover verwendete Station

Die Entfernung der Rover-Station München von den Referenzstationen des GNSMART-Netzes ist mit 42 bis 61 Kilometer deutlich größer als in herkömmlichen Netzen üblich.

Als RTK-Software für die Rover-Station München kam GNNET-RTK zum Einsatz. GNNET-RTK erlaubt im Monitoring-Modus, durch automatische Resets laufend unabhängige Mehrdeutigkeitslösungen und Positionsschätzungen zu generieren. Dazu wird nach jeder Initialisierung nach weiteren 3 Sekunden die aktuell geschätzte RTK-Position abgespeichert. Anschließend wurde die aktuelle Lösung durch Reset vollständig verworfen und eine neue Initialisierung durchgeführt. Dieser Zyklus läuft ununterbrochen und vollautomatisch über den gesamten Testzeitraum ab.

Das gesamte RTK-Prozessing erfolgte in den Räumen des Bayerischen Landesvermessungsamtes. Die aufgezeichneten RTK-Positionen wurden wöchentlich per Fernwartung abgerufen und analysiert.

## Weitere Details zur Konfiguration

Auf allen Stationen stehen GPS-Empfänger SR9500 und SR520 sowie Antennen vom Typ AT303 und AT503 von Leica. Alle Antennen waren individuell und absolut kalibriert (*Wübbena et al. 2000, Klein 2001*)

Sowohl für die Vernetzung der sieben Stationen, als auch für das Prozessing der Roverstation wurde ein PC mit dem Betriebssystem OS/2 Warp 4 verwendet. Die GPS-Empfänger wurden über Modemleitungen angesprochen. GNSMART empfing die Empfängerrohdaten im »Mithörmodus«, ohne Kontrolle über die Empfängersteuerung zu haben, um den Regelbetrieb der Landesvermessung nicht zu beeinträchtigen.

Antennenkorrekturen (PCV) für alle beteiligten Antennen wurden innerhalb von GNSMART berücksichtigt.

Alle Koordinatenbestimmung im Rover wurde, wie für Rover im Vernetzungsbetrieb allgemein gefordert, auf Basis von Zweifrequenz-Beobachtungen durchgeführt, um Ionosphären-Restfehler zu eliminieren, die aufgrund der großen Entfernungen im Netz und zum Rover auftreten können.

## Ergebnisse

Aus dem mehrmonatigen Testzeitraum sollen hier die Ergebnisse der drei Wochen vom 17.6.–8.7.2001 exemplarisch dargestellt werden. Die Beschränkung erfolgte ausschließlich, um die aufzubereitende Datenmenge überschaubar zu halten. Prinzipiell gelten die dargestellten Ergebnisse auch für den Gesamtzeitraum des Tests.

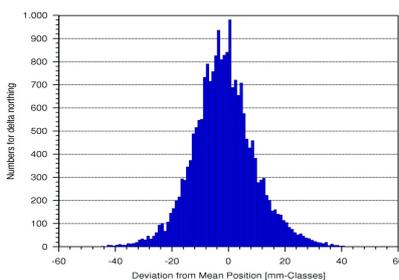
Während der drei Wochen wurden ca. 21.000 Koordinatenbestimmungen mit unabhängiger Initialisierung vorgenommen. Allein an der Zahl der Lösungen lässt sich bereits ablesen, dass sowohl die Vernetzungssoftware als auch die Rover-Software sehr stabil liefen. Manuelle Eingriffe oder gar Neustarts der Software waren nicht erforderlich. Die Ergebnisse entstammen also einem vollständig unbeaufsichtigten, automatischen Betrieb.

<i>Komponente</i>	<i>Standardabweichung</i>
Nord	11.1 mm
Ost	7.3 mm
Höhe	21.7 mm
2-D	13 mm
3-D	25 mm

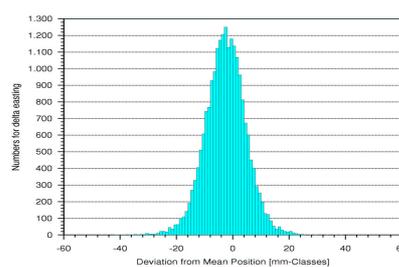
*Tab. 3: Standardabweichungen für Rover aus ca. 21.000 Initialisierungen*

Einen ersten Überblick über die erzielten Genauigkeiten liefert die Standardabweichung, die aus allen Positionen gegenüber dem Mittelwert berechnet wurde. Die Standardabweichungen für die horizontalen Komponenten liegen im Bereich eines Zenitimeters, die der Höhe naturgemäß etwa um den Faktor zwei schlechter (siehe Tab. 3). Diese Genauigkeiten werden heute sonst nur mit wesentlich kürzeren Stationsentfernungen erreicht.

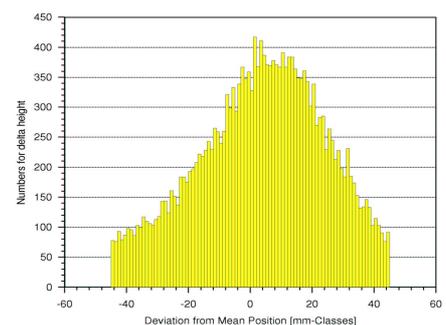
Einen besseren Einblick in die statistische Verteilung der Abweichungen liefern die Histogramme in den Abbildungen 2, 3 und 4, die die Abweichungen der RTK-Position des Rovers München von der mittleren Position in Nord-, Ost- und Höhenkomponente darstellen. Auch hier fällt wieder die hohe innere Genauigkeit der Lösungen auf.



*Abb. 2: Nordkomponente Rover München, Abweichung zum Mittel in mm-Klassen*



*Abb. 3: Ostkomponente Rover München, Abweichung zum Mittel in mm-Klassen*



*Abb. 4: Höhe Rover München, Abweichung zum Mittel in mm-Klassen*

Zweidimensionale Lageabweichungen bzw. dreidimensionale Positionsabweichungen gegenüber der mittleren Rover-Position zeigen Abb. 5 und Abb. 6.

Die Abb. 7 zeigt ein Histogramm der TTFA (time to fix ambiguity) Zeiten. GNNET-RTK wurde per Option gezwungen, keine Initialisierung innerhalb der ersten 15 Sekunden nach einem Reset zu versuchen. Deshalb sind keine kürzeren Initialisierungszeiten als 15 Sekunden zu sehen. Über 80% der Initialisierungszeiten liegen unter 60 Sekunden. Die durchschnittliche Initialisierungszeit liegt etwa bei 30 Sekunden.

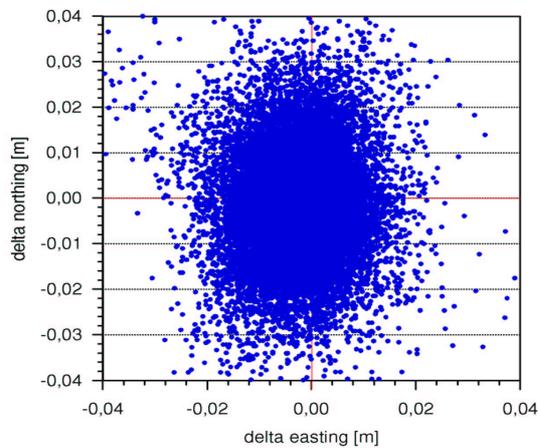


Abb. 5: 2D-Scatter Rover München

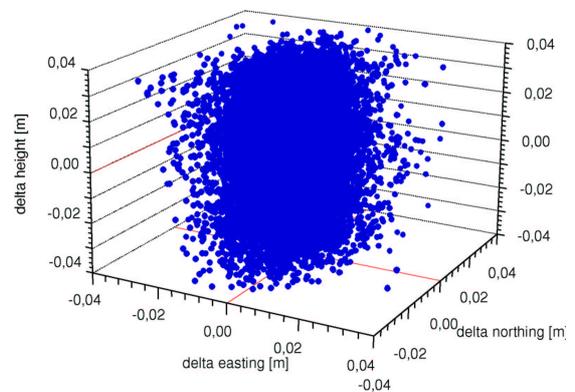


Abb. 6: 3D-Scatter Rover München

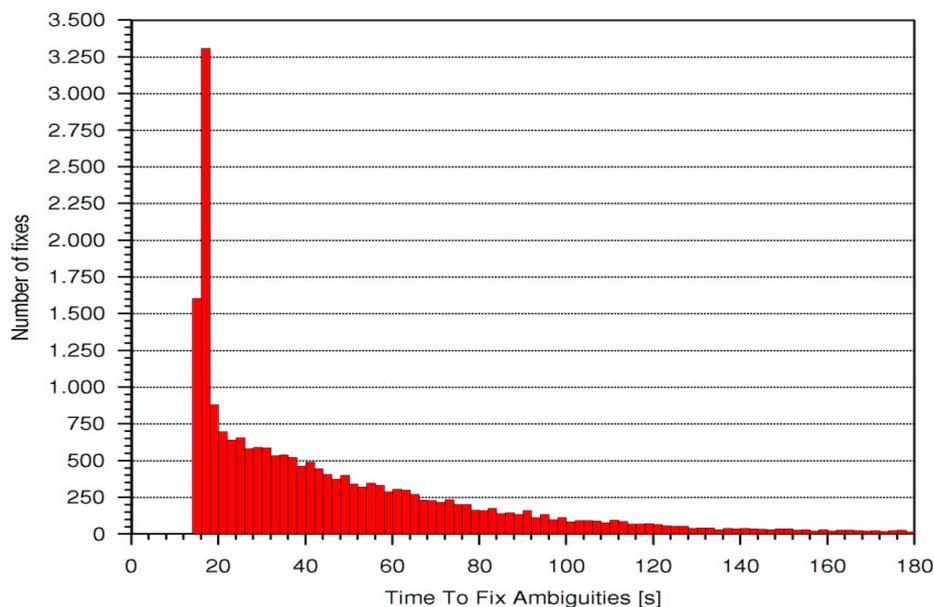


Abb. 7: Histogramm TTFA (time to fix ambiguity), Rover München, 20978 Initialisierungen,

## Fazit

Die Ergebnisse des GNSMART-Vernetzungstests Bayern bestätigen die große Stabilität und das hohe Genauigkeitspotential von GNSMART. Trotz der mit 42 km überdurchschnittlichen Entfernung des Rovers zur nächstgelegenen Referenzstation können im Dauerbetrieb Standardabweichungen um

1 cm (horizontal) bzw. 2 cm (vertikal) bei Initialisierungszeiten von 15 bis 60 Sekunden erzielt werden.

Diese Ergebnisse sind auch mit anderen Rover-Systemen erreichbar, sofern diese mit Korrekturdaten im FKP-Modus versorgt werden und die speziellen Anforderungen des Netzbetriebs erfüllen können.

## Dank

Wir danken dem Bayerischen Landesvermessungsamt in München für die freundliche Bereitstellung der Daten und der Firma Leica Geosystems AG, München für die Unterstützung beim Echtzeitbetrieb vor Ort.

## Literatur

- Klein, G. (2001). *Absolute PCV Ergebnisse von Leica Choke Ring Antennen AT303 und AT503*. 3. GPS-Antennen-Workshop 2001, Geodätisches Institut der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Mai 11, 2001.
- Wübbena, G., M. Schmitz, F. Menge, V. Böder, G. Seeber (2000). *Automated Absolute Field Calibration of GPS Antennas in Real-Time*. Presented at ION GPS-00, 19-22 September, Salt Lake City, Utah, USA.
- Wübbena, G. (2001). *Zur Modellierung von GNSS-Beobachtungen für die hochgenaue Positionsbestimmung*. Wissenschaftliche Arbeiten Fachrichtung Vermessungswesen an der Universität Hannover, Festschrift Prof. G. Seeber zum 60. Geburtstag, Nr. 239, Hannover, 143-155.
- Wübbena, G., S. Willgalis (2001). *State Space Approach for Precise Real Time Positioning in GPS Reference Networks*. Presented at International Symposium on Kinematic Systems in Geodesy, Geomatics and Navigation, KIS-01, Banff, June 5-8, Canada.
- Wübbena, G, A. Bagge, T. Hoppe (2001a). *Zur Bildung von Subnetzen in der Referenzstationsvernetzung mit Geo++<sup>®</sup> GNSMART – Konzepte und Untersuchungen*. Bericht, 6.9.2001, Garbsen.
- Wübbena, G., A. Bagge, M. Schmitz (2001b). *RTK Networks based on Geo++<sup>®</sup> GNSMART – Concepts, Implementation, Results*. Presented at the International Technical Meeting, ION GPS-01, Salt Lake City, Utah.