



Untersuchungen zu den DGPS-Korrekturen der Referenzstation Mauken

**Sebastian Pahling,
Lambert Wanninger**

Seit wenigen Jahren betreibt die deutsche Wasser- und Schifffahrtsverwaltung nicht nur DGPS-Stationen an der Küste, sondern auch im Binnenbereich. Da inzwischen verschiedene Hersteller Empfangsgeräte für diesen Korrekturdatensatz anbieten, ist dieser DGPS-Dienst auch für Vermessungsanwendungen mit Genauigkeitsanforderungen im 1 m-Bereich von Interesse. Für diesen Beitrag wurden die räumliche Verfügbarkeit dieses Dienstes am Beispiel Sachsens untersucht und die Qualität der DGPS-Korrekturen der Referenzstation Mauken (Sachsen-Anhalt) analysiert.

1 Einleitung

Zur Steigerung von Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Positionsbestimmung wird bei vielen Anwendungen des Global Positioning Systems (GPS) auf DGPS-Dienste zurückgegriffen. Diese stellen die Beobachtungen von Referenzstationen in der Form so genannter Beobachtungskorrekturen oder aber Parameter von Korrekturmodellen für Satellitenuhren, -orbits und ionosphärische Laufzeitverzögerung, die aus den Daten eines Netzes von Referenzstationen berechnet wurden, zur Verfügung. Zusätzlich liefern sie Integritätsinformationen, die z.B. im Falle von Anomalien bei einzelnen Satellitensignalen dem Nutzer entsprechende Informationen übermitteln, so dass dieser selbst in einem solchen Fall eine zuverlässige Positionslösung durchführen kann.

In Mitteleuropa stehen verschiedene DGPS-Dienste zur Verfügung, die sich u.a. in der Art der Kommunikation der DGPS-Informationen zum Nutzer hin unterscheiden. So werden z.B. beim Echtzeit-Positionierungs-Service (EPS) im Rahmen von SAPOS die Korrekturen deutschlandweit als Zusatzinformationen des Rundfunks von UKW-Radiosendern übertragen (SAPOS 2006). Die Firma Ascos liefert dagegen DGPS-Korrekturen über Mobiltelefon (GSM oder GPRS/NTRIP, ASCOS 2006). Beim EGNOS-Dienst werden die Korrekturinformationen von geostationären Satelliten auf der GPS-L1-Frequenz ausgesendet (ESA 2006). Softwaremäßig entsprechend ausgerüstete GPS-Empfänger können die EGNOS-Informationen leicht und kostenlos verwenden. Probleme gibt es bei vielen Anwendungen aber mit der Empfangbarkeit der Signale, da die aussendenden Satelliten in mittleren Breiten recht tief stehen (Elevation max. ~ 30 Grad), aber gleichzeitig „direkte Sicht“ zu den Satelliten notwendig ist. Ein weiterer Dienst wird seit einigen Jahren von der deutschen Wasser- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) betrie-

ben. Während ursprünglich nur der Küstenbereich mit DGPS-Korrekturen versorgt wurde, wurden in den letzten Jahren auch Stationen im Binnenland aufgebaut. Eine dieser Stationen liegt an der Elbe im östlichsten Zipfel von Sachsen-Anhalt im Gebiet der Stadt Jessen (Elster), Stadtteil Mauken. Für diesen Artikel wurden über einen längeren Zeitraum DGPS-Korrekturdatensätze dieser Station aufgezeichnet und analysiert und auch die räumliche Verfügbarkeit dieser Korrekturen in Sachsen untersucht.

2 IALA-Dienst und DGPS-Station Mauken

Der DGPS-Service der WSV folgt dem Standard der International Association of Lighthouse Authorities (IALA). Dieser beinhaltet Systemanforderungen, ein Systemkonzept für Referenzstationen sowie eine Frequenzplanung. Dienste entsprechend dieses Standards werden oft als Beacon-Dienste bezeichnet. Sie weisen folgende Systemmerkmale auf: Der Nutzer soll horizontale Positionsabweichungen von 0,5 bis 2,5 m (einfache Standardabweichung) bei einer Systemverfügbarkeit von mehr als 99,8 Prozent erzielen können. Integritätswarnungen sollen innerhalb von zehn Sekunden ausgesendet werden (IALA 2002). Der IALA-Dienst steht dem Nutzer kostenfrei zur Verfügung. Es existieren weltweit einige 100 entsprechende Referenzstationen, fast ausschließlich im Küstenbereich. In Deutschland wurden durch die Wasser und Schifffahrtsverwaltung die ersten beiden DGPS-Stationen im Jahre 2001 in Betrieb genommen. Sie dienen der Sicherung der Schifffahrt an der Nord- und Ostseeküste. Mittlerweile wurde der Dienst auf sieben Stationen erweitert, wodurch der Service im gesamten Gebiet Deutschlands zur Verfügung steht (HOPPE und WALTERFANG 2004).

Die Korrektursignale der IALA-Referenzstationen werden im Frequenzband des Seefunkfeuers (283,5–315 kHz) mit Reichweiten von bis zu 200–500 km übertragen. Um diese Signale empfangen und verwerten zu können, benötigt der Nutzer einen so genannten Beacon-Empfänger, wie er von einigen Herstellern von GPS-Ausrüstung angeboten wird. Dieser liefert die empfangenen DGPS-Korrekturen im RTCM-Format über serielles Kabel oder Bluetooth-Verbindung an den angeschlossenen GPS-Empfänger. Die Anschaffungskosten für einen Beacon-Empfänger liegen bei etwa € 1000. Für Anwendungen im Bereich der Geoinformation werden sie meist zusammen mit handlichen GPS/GIS-Empfängern verwendet.

Referenzstationen der WSV bestehen aus der Referenzanlage und einer Monitorstation am selben Ort. Die Referenzanlage weist redundante GPS-Referenzempfänger und Mittelwellensender auf, sowie eine Mittelwellensen-



Abb. 1: DGPS-Station Mauken (rechts) und zugehörige Mittelwellensendeantenne (links) (Quelle: Wasser- und Schifffahrtsamt Dresden)

deantenne. Die Monitorstation umfasst Mittelwellenempfänger und einen weiteren GPS-Empfänger. Für die in diesem Beitrag beschriebenen Untersuchungen wurde der Korrekturdatenstrom der WSV-Station Mauken verwendet (Abb. 1). Die Sendefrequenz dieser Station beträgt 313,5 kHz bei einer nominellen Reichweite von 225 km, womit der Dienst innerhalb ganz Sachsens und auch in weiteren Bundesländern verfügbar sein sollte. Das Format der Korrekturdaten entspricht dem RTCM SC 104 Standard in der Version 2.2 (RTCM 1998). Dieser Standard definiert eine Reihe von Nachrichtentypen, von denen die Stationen der WSV die Typen 3, 6, 7, 9 und 16 verwenden. Nachrichten vom Typ 3 enthalten die Koordinaten der GPS-Antenne der jeweiligen Referenzstation, wobei der RTCM-Standard WGS84 als geodätisches Datum empfiehlt. Die WSV-Stationen verwenden jedoch nicht WGS84 sondern ETRS89 als Referenzdatum. Der Datensatz 6 enthält keine Parameter und dient zur Füllung der Übertragung, sollte die GPS-Referenzstation keine weiteren Nachrichten zum Senden bereithalten. Die Sendefrequenz, Service-Reichweite und etliche weitere Stationsinformationen werden dem Nutzer durch RTCM-Nachrichtentyp 7 mitgeteilt. Zur Übertragung der eigentlichen DGPS-Korrekturen wird der Nachrichtentyp 9 verwendet. Dieser übermittelt Pseudostreckenkorrekturen für bis zu drei Satelliten in einem Block. Die Korrekturen verschiedener Satelliten beziehen sich daher auf unterschiedliche Referenzzeiten, was die Verwendung besonders stabiler Empfängeruhren notwendig macht. Mittels RTCM-Nachrichtentyp 16 können spezielle ASCII-Nachrichten, die zusätzliche Informationen für den Nutzer bereithalten (z.B. der Referenzstationsname), übertragen werden.

3 Untersuchungen des Maukener DGPS-Korrektursignals

Es wurden verschiedene Untersuchungen zum DGPS-Service der WSV im Gebiet des Landes Sachsen durchgeführt, wobei vor allem die räumliche Verfügbarkeit sowie

die erzielbaren Koordinatenmessgenauigkeiten im Vordergrund standen. Zum Empfang des Korrektursignals wurden hierbei der MobileMapper Beacon der Firma Thales, sowie der GeoBeacon der Firma Trimble verwendet (Abb. 2). Beide Beacon-Empfänger geben die Korrekturdaten im RTCM-Format aus und verfügen über eine serielle- und eine Bluetooth-Schnittstelle.

3.1 Räumliche Verfügbarkeit

Für die Untersuchung der räumlichen Verfügbarkeit innerhalb des Landes Sachsen wurden Messungen an verschiedenen Orten innerhalb des Bundeslandes durchgeführt. Die Wahl der Messorte erfolgte hierbei einmal nach der größtmöglichen Entfernung zur Referenzstation Mauken und zum anderen nach der Geländerauhigkeit. Da sich in der Südhälfte von Sachsen Erzgebirge und Vogtland befinden, stand die Untersuchung des Empfangs des Mittelwellensignals gerade in dieser Region im Vordergrund. Abbildung 3 zeigt die ausgewählten Messorte, an denen der Empfang des Korrekturdatensignals getestet wurde. In engen, tiefen Tälern im südsächsischen Mittelgebirge kommt es zu vermehrt auftretenden Störungen bis hin zum kompletten Ausfall des Signalempfangs. Entfernungsabhängige Ausfälle des Datenempfangs traten dagegen selbst in Ostsachsen bei Entfernungen von 170 km zur Station Mauken nicht auf.

3.2 Genauigkeit der Korrekturen

Die DGPS-Korrekturen der Beacon-Empfänger wurden weiterhin genutzt, um die Genauigkeit der Korrekturen



Abb. 2: Die verwendeten Beacon-Empfänger der Firmen Trimble und Thales

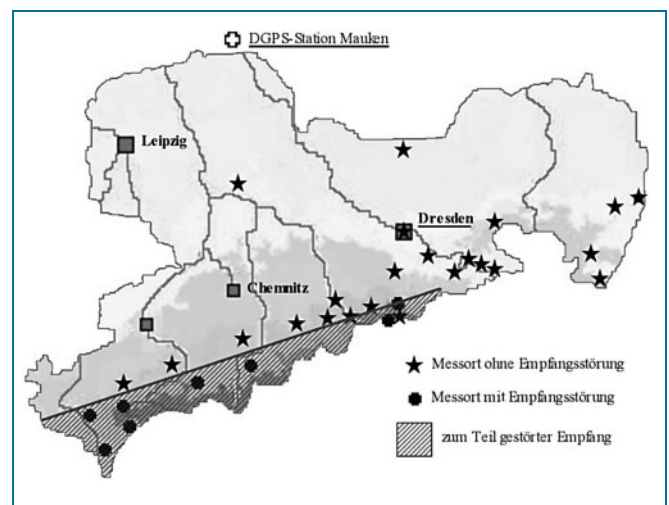


Abb. 3: Ausgewählte Messorte zur Überprüfung der räumlichen Verfügbarkeit des DGPS-Service der WSV (Station Mauken) im Land Sachsen

zu bestimmen. Dies kann nur im direkten Vergleich mit aufgezeichneten Beobachtungen eines GPS-Empfängers gelingen. Idealerweise würde man einen Empfänger in direkter Umgebung der Station Mauken betreiben, um allein die stationsabhängigen Einflüsse wirken zu lassen und nicht auch entfernungsabhängige. Da aber der Aufbau (und die Bewachung) eines GPS-Empfängers in Mauken zu aufwändig gewesen wäre, haben wir für Mauken eine Virtuelle Referenzstation (VRS) berechnet und diese als Vergleichsstation genutzt. Dafür wurden die frei im Internet erhältlichen GPS-Beobachtungen der IGS-Stationen Potsdam (POTS), Leipzig (LEIJ) und Dresden (DREJ) verwendet. Die ETRS89-Koordinaten dieser Stationen wurden in die VRS-Berechnungen eingeführt, um VRS-Daten in Bezug auf eine ETRS89-Position zu erlangen. Aus den VRS-Beobachtungen für die Position der Referenzstation Mauken wurden anschließend mit eigenen Programmen Code-Beobachtungskorrekturen berechnet, die direkt mit den Korrekturen der WSV-Station vergleichbar sind.

Aufgrund der sowohl für die Station Mauken als auch für die virtuelle Vergleichsstation wirkenden Empfängeruhrabweichungen ist es schwierig, die Genauigkeit der Korrekturen auf Messungsebene zu bestimmen und darzustellen. Deswegen wurden die Korrektionsdifferenzen zwischen VRS und Mauken zur Positionsberechnung verwendet und damit der Uhreinfluss abgespalten. Abb. 4 zeigt die Koordinatenresiduen für einen 24-Stundenzeitraum (31.01.2006). Die Standardabweichungen liegen im Rahmen weniger Dezimeter und zeigen das Genauigkeitspotential von DGPS. Sie werden im Wesentlichen durch die Codemehrwegeinflüsse der Referenzstation Mauken und auch der VRS-Station verursacht.

In der Praxis fallen die erreichbaren Genauigkeiten aber deutlich schlechter aus. Je nach Abstand von der Referenzstation kommen dann nämlich entfernungsabhängig wirkende Einflüsse hinzu (insbesondere durch die Ionosphäre). Weiterhin wirken auf der Nutzerstation Mehrwe-

geinflüsse deutlich stärker, insbesondere weil im Allgemeinen nicht mit so hochwertigen geodätischen GPS-Antennen gearbeitet wird wie auf den WSV-Referenzstationen oder den hier verwendeten IGS-Stationen. Zusätzlich ist in der Praxis die Signalverfügbarkeit durch Abschattungen eingeschränkt, was sich auch auf die Positionsgenauigkeit auswirkt.

Auffällig sind einige wenige Ausreißer wie sie an jedem Tag beobachtet werden konnten. Ihre nähere Analyse erbrachte, dass sie dadurch verursacht werden, dass einerseits mit RTCM-Korrektionsdatensatz 9 gearbeitet wird, andererseits aber keine präzise Empfängeruhr Verwendung findet. Da die Empfängeruhrabweichungen epochenweise aus den jeweils vorhandenen GPS-Messungen bestimmt werden, kann es dabei beim Hinzukommen oder Verschwinden von Satelliten zu Sprüngen kommen. Solche Sprünge sind unschädlich, solange alle Codekorrekturen in gleicher Form betroffen sind. Dies ist bei Verwendung des Datensatzes 9 aber nicht der Fall, weil hierbei immer nur maximal drei Korrekturen im selben Datensatz übertragen werden können. Bei einem Sprung der Empfängeruhr tritt dann für einige Sekunden der Fall auf, dass Korrekturen gemischt werden, die sich auf „verschiedene“ Empfängeruhren beziehen.

In Abbildung 5 wird dazu ein Beispiel im Detail gezeigt. Durch das Hinzukommen eines neuen Satelliten (Korrekturen von kleiner – 25 m ab Mitte der Grafik) tritt ein Sprung von etwa 2 m in der Empfängeruhrbestimmung und damit in allen Beobachtungskorrekturen auf. Zum gekennzeichneten Zeitpunkt 1 kommen die ersten drei Korrekturen beim Nutzer an, die sich auf die „neue“ Uhr beziehen. Ab dann werden gemischte Korrekturen verarbeitet. Ab dem gekennzeichneten Zeitpunkt 2 beziehen sich alle Korrekturen auf die „neue“ Uhr. In der Zwischenzeit treten Koordinatenabweichungen von mehreren Metern auf, die sich hier aufgrund der Geometrie von Satelliten und Empfänger insbesondere auf die Nordkomponente auswirken.

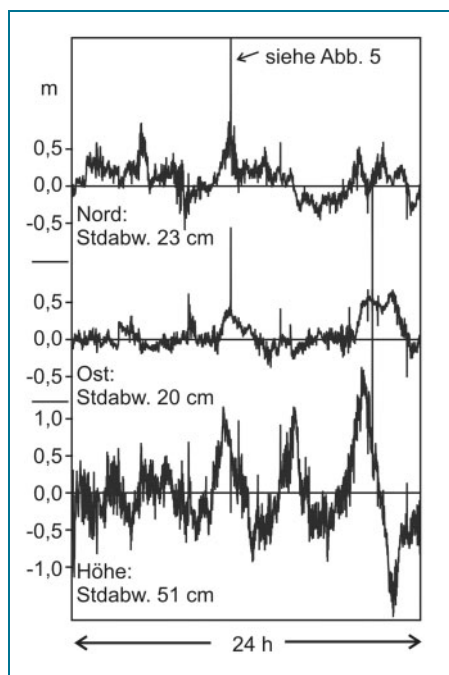


Abb. 4: DGPS-Koordinatenabweichungen von der Sollposition für eine Virtuelle Referenzstation bei Mauken

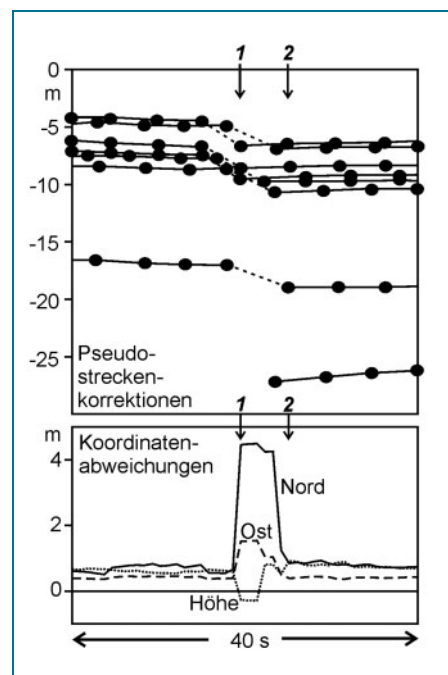


Abb. 5: Zeitliche Entwicklung von Pseudostreckenkorrekturen und Koordinatenabweichungen bei Hinzukommen eines weiteren Satellitensignals



Abb. 6: Die verwendeten GPS/GIS-Empfänger der Firmen Trimble und Thales

Zwar tritt dieses Problem nur für einige Sekunden pro Tag auf, aber es verursacht die größten beobachteten Koordinatenabweichungen. Dies ist besonders ärgerlich, da durch einen leicht verbesserten Algorithmus, der den Sprung der bestimmten Empfängerabweichungen auf einen Zeitraum von mehreren Minuten verteilt, dieses Problem beseitigt werden könnte.

3.3 Positionsgenauigkeit bei Verwendung von GPS/GIS-Empfängern

Zusätzlich wurden praktische Untersuchungen in Verbindung mit Empfängern für GPS/GIS-Datenerfassungen bezüglich der erzielbaren Koordinatengenauigkeiten durchgeführt. Hierzu kamen der MobileMapper CE der Firma Thales und der GeoExplorer CE XT der Firma Trimble zum Einsatz (Abb. 6). Beide Empfänger ermöglichen die Verwendung von Korrekturdaten, wobei der Nutzer zwischen dem integrierten Empfang des EGNOS-Dienstes und der Verwendung eines externen Korrekturdatenempfängers wählen kann. Bei Wahl einer externen Quelle erfolgt die Übertragung der Korrekturdaten mittels Bluetooth Technologie oder über ein serielles Kabel vom Korrekturdatenempfänger (z. B. Beaconempfänger) zum GPS-Empfänger.

Als Datengrundlage für den Vergleich der erzielbaren Positionsgenauigkeiten wurden je Empfänger und Positionsbestimmungsmodus sieben Tage Dauermessungen auf einem Messpfiler der TU Dresden und damit unter idealen d.h. abschattungsfreien Bedingungen durchgeführt. Die Koordinaten wurden im Sekundenabstand aufdatiert. Die Wetterverhältnisse variierten stark, z. T. wurde bei heftigem Schneefall gemessen. Die Unterschiede der erzielten Genauigkeiten waren bei beiden untersuchten Geräten so ähnlich, dass die Ergebnisse zusammengefasst wurden (Tab. 1). Bei der Interpretation der Ergebnisse

Tab. 1: Koordinatengenauigkeiten für Messungen mit GPS/GIS-Empfänger

Positionsbestimmungsmodus	Standardabweichung [m]		
	Nord	Ost	Höhe
absolut	1,5	0,8	2,3
relativ (EGNOS)	0,6	0,6	1,1
relativ (WSV, Mauken, 100 km Entfernung)	0,7	0,5	1,2

ist zu berücksichtigen, dass sowohl die absolute Positionsbestimmung als auch die relative Positionsbestimmung über die Basislinie nach Mauken von der augenblicklich besonders schwachen ionosphärischen Beeinflussung in hohem Maße profitieren.

Die Ergebnisse zeigen, dass sich mit heutigen GPS/GIS-Empfängern unter idealen Bedingungen schon im Absolutmodus Genauigkeiten (einfache Standardabweichung) von 2 m in Lage und Höhe erreichen lassen. Diese können durch die Verwendung von Korrekturdaten deutlich gesteigert werden. Zwischen DGPS mit EGNOS-Korrekturdaten und mit Korrekturdaten der WSV ist bei unseren Testmessungen kein bedeutender Genauigkeitsunterschied festzustellen. Da die EGNOS-Korrekturdaten jedoch von geostationären Satelliten ausgestrahlt werden, muss der Nutzer bei vielen Anwendungen mit häufigen Abschattungen des Datenempfangs rechnen, da diese geostationären Satelliten in unseren Breiten sehr tief stehen, aber gleichzeitig „direkte Sicht“ zu den Satelliten bestehen muss.

4 Schlussfolgerungen

Die deutsche Wasser- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) betreibt einen DGPS-Dienst, der seit wenigen Jahren auch im Binnenland genutzt werden kann. Die Untersuchung des Korrektursignals der Referenzstation Mauken (Sachsen-Anhalt) ergab, dass in Sachsen dieser Dienst flächendeckend mit Ausnahme einiger Täler in den Mittelgebirgsregionen empfangen werden kann und Genauigkeiten in der Positionsbestimmung auf dem 1 m-Niveau erzielbar sind.

5 Literatur und Internetquellen

- [1] ASCOS (2006): <http://www.ascos.de>
- [2] ESA (2006): <http://www.esa.int/esaNA/egnos.html>
- [3] HOPPE, M.; WALTERFANG, M. (2004): DGPS-Referenzstationen nach IALA-Standard (MF-Beacon) für Telematik-anwendungen in der Binnenschifffahrt. Fachstelle der WSV für Verkehrstechniken, http://www.wsv.de/fvt/funknavi/dgps_bericht_2004_02/dgps_bericht_02.html
- [4] IALA (2002): DGNSS Reference and Transmitting Stations in the Maritime Radionavigation (Radiobeacons) Band – Issue 8 – September 2002 – Introduction http://site.ialathree.org/pages/publications/documentspdf/doc_140_eng.pdf
- [5] RTCM (1998): RTCM Recommended Standards for Differential GNSS (Global Navigation Satellite Systems) Service, Version 2.2, RTCM paper 11-98/SC104-STD
- [6] SAPOS (2006): <http://www.sapos.de>

Anschrift der Autoren:

Dipl.-Ing. SEBASTIAN PAHLING,
 Prof. Dr.-Ing. habil. LAMBERT WANNINGER,
 Geodätisches Institut der TU Dresden,
 Helmholtzstraße 10, 01069 Dresden,
s.pahling@web.de, lambert.wanninger@tu-dresden.de