

**Universität Hannover:** Dipl.-Ing. Stefan Willgalis wurde am 1. April 2005 mit der Dissertation *Beiträge zur präzisen Echtzeitpositionierung in GPS-Referenzstationsnetzen* zum Dr.-Ing. promoviert.

Referenten waren Prof. Dr.-Ing. Günter Seeber und Prof. Dr.-Ing. habil. Hansjörg Kutterer, Vorsitzender der Prüfungskommission Prof. Dr.-Ing. Christian Heipke.

### **Zusammenfassung:**

Die Dissertation analysiert die Voraussetzungen und das Potential der Vernetzung von GPS-Referenzstationen für die präzise differentielle Positionsbestimmung in Echtzeit. Bei einer Referenzstationsvernetzung werden die Beobachtungen der Referenzstationen in einer Multistationslösung in Echtzeit ausgewertet. Durch Berechnung einer Interpolationsfläche mit Hilfe der Residuen der Referenzstationen können die entfernungsabhängigen Fehler, zu denen durch die Ionosphäre und Troposphäre bedingte Laufzeitverzögerungen sowie Satellitenbahnfehler zählen, für jeden Ort innerhalb der Netzmasche prädiert werden. Verschiedene Vernetzungsansätze zur Schätzung und Repräsentation der entfernungsabhängigen Fehler werden vergleichend diskutiert.

Die Einrichtung und der Betrieb von Referenzstationsnetzen erfordern einen hohen technischen, logistischen und administrativen Aufwand, um insbesondere die Echtzeitforderung zu erfüllen. So muss die Übertragung der Trägerphasenkorrekturen zum Nutzer innerhalb von einer Sekunde erfolgen. Die zeitlich und räumlich kontinuierliche Verfügbarkeit der Korrekturen ist sicherzustellen. Durch ein permanentes Monitoring und Qualitätsmanagement ist die Integrität eines solchen komplexen Gesamtsystems zu gewährleisten. Zugleich sind die RTK-Netze multifunktional auszugestalten, so dass sie für unterschiedliche Anwender und für verschiedenste Anwendungen nutzbar sind. Der gegenwärtige Stand und die zukünftigen Entwicklungen der dafür notwendigen Korrekturdatenformate und der Kommunikationslösungen sowie ausgewählter Referenzdienste werden eingehend beschrieben.

Das Potential der Referenzstationsvernetzung wurde durch Messungen in Norddeutschland und in den beiden brasilianischen Bundesstaaten Paraná und Pernambuco untersucht. Die BMBF-geförderte Wissenschaftlich-Technische Zusammenarbeit hatten zum Ziel, die Methodik und Technologie der Referenzstationsvernetzung nach Brasilien zu transferieren, auf die vorhandene Infrastruktur zu adaptieren und in verschiedenen Anwendungen zu erproben. Dabei waren besonders die durch die Nähe zum geomagnetischen Äquator bedingten extremen ionosphärischen Fehlereinflüsse zu berücksichtigen.

Die Untersuchungsergebnisse sowohl in Norddeutschland als auch in Brasilien belegen, dass die entfernungsabhängigen Fehler durch eine Referenzstationsvernetzung bis auf einen verbleibenden Fehler von 0,1 ppm weitestgehend kompensiert werden. Die mit dem Maximum des Sonnenzyklus 23 verbundenen Störungen spiegeln sich ebenso wie die erhöhte ionosphärische Aktivität am geomagnetischen Äquator in einem höheren Anteil erfolgloser Mehrdeutigkeitslösungen wider. Die Dauer und die Erfolgsquote der Mehrdeutigkeitslösungen ist darüber hinaus auch von der Signalverarbeitung der GPS-Empfänger, von den Übertragungseigenschaften der Kommunikationslösungen und von der Leistungsfähigkeit der Rechnerhardware abhängig.

Die horizontale und vertikale Integration der zunehmenden Anzahl an parallel arbeitenden aktiven GPS-Referenznetzen ist vorteilhaft für die Optimierung der Referenzstationsvernetzung. Für große Flächenländer wie Brasilien wird ein Konzept entworfen, verschiedene kleinräumige Netze in das übergeordnete landesweite Referenznetz

einzubinden. Grundlage dieser Netzintegration ist die Zustandsmodellierung der GPS-Fehler in einem dynamischen Kalman-Filter mit dem Ziel, die entfernungsabhängigen Fehler für den Standort eines Nutzers direkt aus den Zustandsmodell abzuleiten.

Die Integration von GPS mit GLONASS und dem künftigen GALILEO-System erhöht die Redundanz bei der Echtzeitpositionierung. Wie kombinierte GPS/GLONASS-Messungen zeigen, ermöglicht die hohe Anzahl der künftig gleichzeitig verfügbaren Satelliten die genaue, schnelle und zuverlässige Positionsbestimmung auch bei größeren Abschattungen. Auch für die GNSS-Integration stellt die Zustandsmodellierung eine optimale Grundlage dar, um die Signale auf den unterschiedlichen Frequenzen, die vielen verschiedenen Uhrfehler und Laufzeitverzögerungen in der Hardware und sonstigen Fehler modellieren zu können. Bis zum Maximum des nächsten Sonnenzyklus bleibt Zeit, die Auswertalgorithmen und Infrastruktur der Referenzdienste den erneuerten und neuen Satellitennavigationssystemen anzupassen.

Die Dissertation ist in der Schriftenreihe der *Wissenschaftliche Arbeiten der Fachrichtung Geodäsie und Geoinformatik der Universität Hannover* (ISSN 0174-1454) als Heft Nr. 255 erschienen und kann über das [Sekretariat](#) des Instituts für Erdmessung bestellt werden. Über die Technische Informationsbibliothek der Universität Hannover ist eine elektronische Version der Dissertation als [Leseprobe](#) und als [Vollversion](#) (3,7 MB) verfügbar.