Analyse der Satellitenverfügbarkeit in Wien als Basis zum Aufbau des GNSS-Referenzstations-netzes von Wienstrom (WEP)

Günther Retscher und Peter Anzinger, Wien

Zur Zeit befindet sich in Wien ein neues GNSS-Referenzstationsnetz, namens WEP, für das Versorgungsgebiet der Firma Wienstrom im Aufbau. Als Voruntersuchung zur Überprüfung der Einsetzbarkeit der Satellitenpositionierung im Stadtgebiete von Wien wurde von Wienstrom eine Untersuchung der Satellitensichtbarkeit anhand von Simulationsrechnungen und Testmessungen in verschiedenen Messgebieten angeregt. Diese Untersuchungen wurden im Rahmen einer Diplomarbeit an der TU Wien ausgeführt. In dieser Arbeit werden die wesentlichen Ergebnisse dieser Untersuchungen zusammengefasst und vorgestellt.

1 Einleitung und Motivation

Seit Beginn der neunziger Jahre haben verschiedene öffentliche und private Organisationen in mehreren Ländern am Aufbau von sog. Referenzstationsnetzen gearbeitet. Diese Netze sollen die lokalen GPS-Einzelreferenzstationen des jeweiligen Anwenders für die Echtzeitvermessung mittels Satellitenverfahren ersetzen. Der Nutzer von Referenzstationsnetzen hat hierbei im wesentlichen zwei Vorteile:

- Kostenreduktion, da kein eigener Referenzstationsempfänger beschafft und betrieben werden muss,
- Einbindung der Messdaten in ein übergeordnetes Referenzsystem, worauf sich die ermittelten Ergebnisse automatisch beziehen.

Dabei ist vorausgesetzt, dass die Betreiber von Referenzstationsnetzen großen Wert auf Qualitätssicherung legen müssen, um höchste Qualität für die ausgesandten Korrektursignale zu erreichen. Um eine hohe Zuverlässigkeit in diesen Referenzstationsnetzen zu gewährleisten, sind besondere Kommunikationsverfahren und verschiedene Möglichkeiten für den Systemaufbau entworfen worden. Diese sollen die Wahrscheinlichkeit eines kompletten Ausfalls der Station minimieren. Die wesentlichen Merkmale des Systemdesigns von modernen Referenzstationsnetzen wurden z. B. in Retscher und Moser [2001] beschrieben. Heutzutage kommen im Wesentlichen redundante Systeme mit zentralen Kontrollstationen zum Einsatz. Dabei bringt eine Vernetzung der einzelnen Referenzstationen eine Steigerung der Zuverlässigkeit des Services sowie die Möglichkeit der Modellierung der wesentlichen Fehlereinflüsse mit sich. In diesem Falle kann dann ein Großteil der Informationen der simultanen Messungen in einem regionalen Netz herangezogen werden, um effektive Algorithmen zur Auffindung und Beseitigung von groben Messfehlern einzusetzen. Für die Verringerung der stationsabhängigen Fehler ist insbesondere die Anzahl der Stationen von Bedeutung. Die Fehlermodelle müssen in Echtzeit berechnet werden können, um sie bei allen Arten der relativen Positionierung anwenden zu können und damit auf der Mobilstation beim Einsatz von RTK-GPS eine Genauigkeit im cm-Bereich erreicht wird. Ein möglicher Ansatz stellt hierbei das Konzept zur Berechnung von sog. Flächenkorrekturparametern dar (siehe z. B. Wanninger [2000]). Eine Weiterentwicklung stellen sog. virtuelle Referenzstationen dar, bei denen Messdaten einer Referenzstation in unmittelbarer Nähe des Nutzers aus den realen Messdaten aller Stationen eines Netzes erzeugt werden. Im Folgenden werden kurz die wesentlichen Merkmale der beiden Konzepte zusammengefasst. Anschließend werden das Konzept und das Netzdesign des neuen Referenzstationsnetzes für Wien vorgestellt und die Ergebnisse der Testmessungen unserer Studie präsentiert.

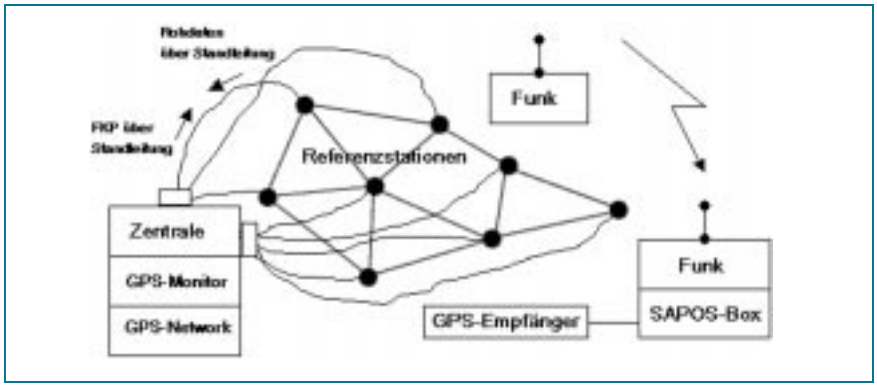

Abb. 1: Vernetzung für ein dezentrales Funksystem (nach Landau [2000])

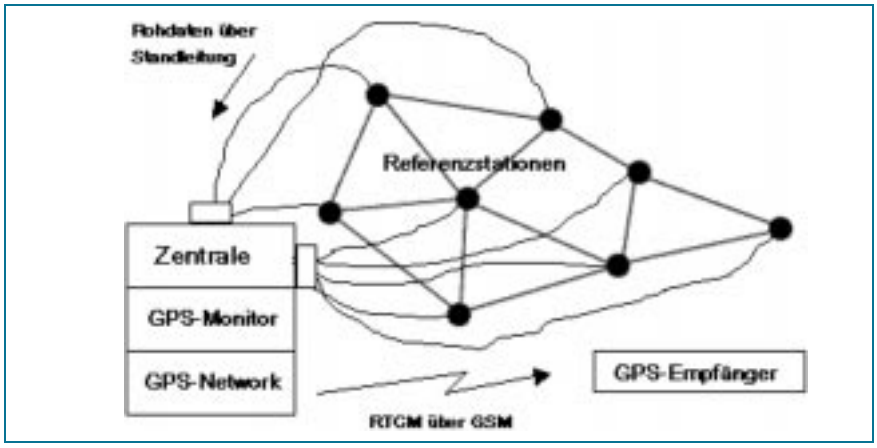

Abb. 2: Vernetzung über ein zentrales GSM-System (nach Landau [2000])

2 Vernetzung von Referenzstationsnetzen

Mögliche Realisierungen der Vernetzung sollen anhand des Konzepts des Satellitenpositionierungsdienstes der deutschen Landesvermessung (SAPOS[1]) erläutert werden. Man unterscheidet zwei verschiedene Typen:

- Vernetzung bei dezentraler Aussendung der Korrekturdaten und
- Vernetzung bei zentraler Aussendung der Korrekturdaten.

Abbildung 1 zeigt das erste Konzept. Bei SAPOS wird die dezentrale Aussendung von Korrekturdaten mit Hilfe des 2 m-Funkbandes von den Referenzstationen durchgeführt. Hierbei müssen die Messdaten der Stationen über Standleitungen an eine Rechenzentrale übermittelt werden. Dort werden mit einem Rechenmodell Flächenkorrekturparameter (FKP) berechnet und diese an die Referenzstationen zurückübertragen. Die Referenzstationen übermitteln dann über Funk die FKP an die Nutzer. Die Flächenkorrekturparameter werden gemeinsam mit den üblichen Korrekturdaten im SAPOS-Dekoder in ein standardisiertes Format (RTCM 2.1) umgewandelt und so dem Nutzer verfügbar gemacht. Der Nutzer erhält somit verbesserte Korrekturdaten auf der Grundlage seiner Position im Netz.

Ist die Aussendung der Korrekturdaten z. B. über Mobilfunk (GSM, zukünftig UMTS) vorgesehen, kann dies bei der Vernetzung von Referenzstationen von zentraler Stelle aus erfolgen. Wie Abbildung 2 zeigt, müssen auch hier die Daten der einzelnen Referenzstationen über Standleitungen an die Zentrale übertragen werden. Die Ausstattung der Referenzstationen kann hier einfacher ausfallen. Es werden lediglich ein GPS-Empfänger mit Antenne und ein Modem für die Standleitung benötigt. Eine Funkeinrichtung auf jeder Referenzstation ist hier nicht nötig, da die Erzeugung der Korrekturdaten sowie die Rohdatenarchivierung von der Zentrale übernommen werden und die Korrekturdaten von dort ausgesendet werden. Ein derartiges Konzept kann über bis zu 120 parallele ISDN Schnittstellen verfügen, die alle über die gleiche Nummer angewählt werden können. Bei Anruf eines Nutzers über Mobilfunk übermittelt dieser seine Position über die standardisierte NMEA Nachricht an die Zentrale. Die Zentrale berechnet dann für diese Position einen Datenstrom im standardisierten RTCM-Format, der letztendlich den Rohmessdaten entspricht, die an dieser Position gemessen worden wären. Man spricht deshalb auch von einer virtuellen Referenzstation (Landau [2000]).

Die Beobachtungen einer virtuellen Referenzstation werden aus den Messdaten der tatsächlich existierenden Referenzstationen berechnet. Die Positionierung einer Mobilstation erfolgt dann, wie bei jedem RTK-System, relativ zur virtuellen Referenzstation. Um die entfernungsabhängigen Fehlereinflüsse in dieser Basislinie möglichst gering zu halten, werden zur räumlichen Festlegung der virtuellen Referenzstation die Näherungskoordinaten der Mobilstation genutzt. Eine Genauigkeit von 100 m ist dafür mehr als ausreichend und durch absolute GPS-Positionierung jederzeit erzielbar. Probleme ergeben sich bei der Nachführung der Referenzstation bei bewegter Mobilstation. In diesem Fall ist es möglich, eine virtuelle Referenzstation für ein Messgebiet, mit einem maximalen Durchmesser von 2 bis 3 km, zu bestimmen. Die Fehlereinflüsse im Referenznetz werden aus den Messungen aller Stationen abgeleitet. Dadurch erhält man bessere Schätzwerte für die Modellierung. Unter der Annahme, dass die Restfehler durch Differenzbildung eliminiert werden, wirkt sich jetzt der Vorteil von kurzen Basislinien voll auf das Ergebnis aus. Zusätzlich können aufgrund des kurzen Abstandes zwischen den beiden Stationen Standardauswertealgorithmen für kurze Basislinien zur Bestimmung der Phasenmehrdeutigkeiten (Ambiguities) eingesetzt werden.

1 Für weitere Information zu SAPOS siehe z.B. http://www.sapos.de/.

Abb. 3: Standortübersicht der Referenzstationen mit Aktionsradius 25 km und Genauigkeitsbereich 1 – 5 cm (UW Leopoldau, Baden, Mattersburg, Neusiedl/See) (nach Wienstrom [2001]

3 Referenzstationsnetze in Österreich

In Österreich war ein landesweiter DGPS-Dienst seit einigen Jahren im Aufbau. Jedoch ist dieser DARC-DGPS-Dienst seit Herbst 2001 nicht mehr verfügbar. Betreiber war die DGPS Datenverbreitungs-GmbH, bestehend aus den Partnern GPS-Netz ZT-GmbH (Kooperation von rund 110 Ziviltechnikerbüros), dem Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, der österreichischen Akademie der Wissenschaften und dem ORF. Der Dienst sollte aus 15 Einzel-Referenzstationen bestehen und im Vollausbau bis zum Frühjahr 2001 ca. 20 Stationen umfassen. Dadurch sollte die Forderung nach einer landesweiten Positionierung im dm-Bereich erfüllt und im Nahbereich einer Referenzstation eine Genauigkeit von unter 10 cm für die Echtzeitvermessung gewährleistet werden. Die Korrekturen wurden hierbei über die Sendekette Ö1 des ORF übertragen und konnten mit einem speziellen DARC-DGPS Decoder empfangen werden. Für die Einstellung des DARC-DGPS-Dienstes können mehrere Ursachen ausschlaggebend sein. Dazu zählt mit Sicherheit die Deaktivierung von S/A (Selective Availabilty) im Mai 2000, da die Hauptnutzergruppe des Services im Bereich der Navigation zu finden war.

Andere lokale GNSS-Referenzstationsnetze wurden in Österreich von den Landesenergieversorgern aufgebaut. Beispiele dafür sind der Dienst SATVB in Burgenland des Energieversorgungsbetriebes BEWAG, der seit 1997 im Einsatz ist und vier Stationen betreibt, die mit kombinierten GPS/GLONASS-Empfängern ausgerüstet wurden; sowie der Dienst KELSAT in Kärnten von der KELAG, der seit 1999 aufgebaut wird und acht Referenzstationen vorsieht (siehe z. B. Titz und Weber [1998]). Das neue Referenzstationsnetz von Wienstrom WEP (Wienstrom Echtzeit Positionierung) soll für das Versorgungsgebiet der Wienstrom GmbH aufgebaut werden. Der Aufbau des Netzes wurde am 11. Juni 2001 von der Geschäftsführung der Wienstrom GmbH beschlossen. Mit dem Dienst soll es möglich sein, jederzeit an jedem Ort im Versorgungsgebiet (siehe Abb. 3) eine Standortsbestimmung mit der jeweiligen Genauigkeit in Echtzeit durchzuführen. In diesem Positionierungssystem soll wie bei den anderen Netzen in Österreich neben GPS auch das russische System GLONASS in Kombination verwendet werden. Eine homogene Genauigkeit soll für das gesamte Versorgungsgebiet gewährleistet werden, wobei die Korrekturdaten dem Nutzer über

GSM zur Verfügung gestellt werden. An eine kommerzielle Vermarktung des Korrektursignals an externe Kunden ist auch gedacht. Laut Projektplan soll der Aufbau des Referenzstationsnetzes bis Dezember 2002 abgeschlossen sein. Im Zeitraum von Juli 2001 bis Juni 2006 wird das Projekt in Kooperation mit der TU Wien durchgeführt.
Als Standorte für die Referenzstationen von Wienstrom, unter Berücksichtigung der Netzgeometrie und der verfügbaren Infrastruktur, sind das Umspannwerk (UW) Leopoldau und das UW Baden ausgewählt worden. Diese Standorte bieten eine ausfallsichere Stromversorgung, ISDN-Anschlüsse, gute Erreichbarkeit und ermöglichen eine gute Netzgeometrie der Referenzstationen. Zusätzlich werden zwei bereits bestehende Referenzstationen der BEWAG, nämlich Neusiedl am See und Mattersburg, in das Referenzstationsnetz mit einbezogen (Wienstrom [2001]). Mit dieser Anordnung kann eine Positionierung im gesamten Versorgungsgebiet mit der gewünschten Genauigkeit erreicht werden. Dabei wird eine Positionierungsgenauigkeit von ± 1 cm im Umkreis von 10 km zur Referenzstation und von ± 5 cm im Umkreis von 25 km angestrebt. Über größere Entfernungen können Genauigkeiten im dm-Bereich erzielt werden, was z. B. für den Einsatz in der Navigation, Maschinensteuerung in der Landwirtschaft sowie für die Positionierung von Schiffen auf der Donau von Interesse sein kann.
Tabelle 1 zeigt einen Vergleich der lokalen Referenzstationsnetze (bzw. DGPS-Dienste) in Österreich. Die Dienste unterscheiden sich zum Teil in ihren Systemeigenschaften und in den Methoden zur Bereitstellung der Korrekturdaten.
Ein wesentlicher Unterschied bei den hier vorgestellten Netzen ist bedingt durch die unterschiedlichen topographischen Verhältnisse im jeweiligen Versorgungsgebiet. Im Gegensatz zum Referenzstationsnetz SATVB liegt das KELSAT Netz in großteils hochalpinem, bewaldetem Gebiet. Das Referenznetz des SAPOS-Dienstes deckt ganz Deutschland ab und somit die verschiedensten Geländeformen. Das Referenzstationsnetz WEP wiederum beschränkt sich größtenteils auf das Stadtgebiet von Wien. Hier prägen natürlich die hohen Gebäude und engen Straßen das Erscheinungsbild. Dadurch ergeben sich zusätzliche Herausforderungen aufgrund der Abschattungsproblematik.

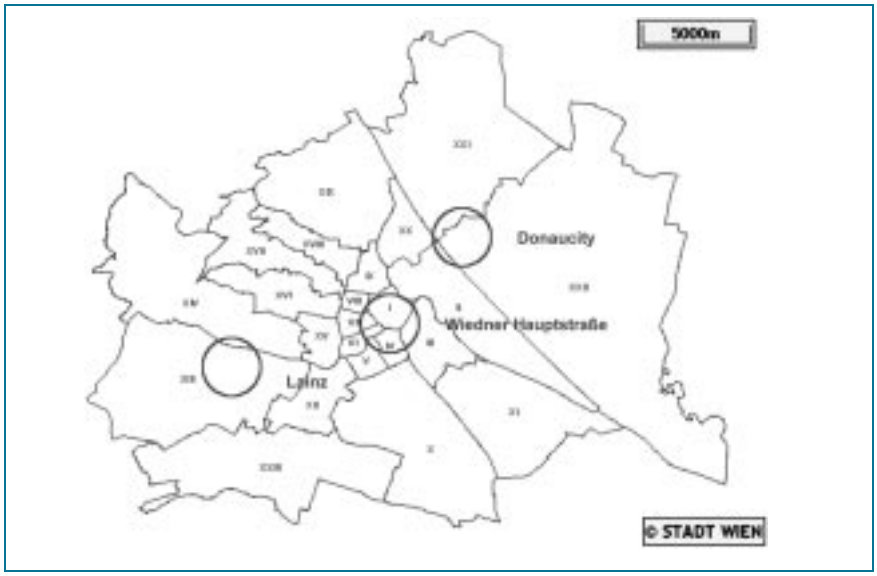

Abb. 4: Lageübersicht der drei Testgebiete

4 Untersuchungen zur Satellitenverfügbarkeit im Referenzstationsnetz von Wienstrom

Für die Untersuchungen zur Einsetzbarkeit von RTK-GPS im Abdeckungsgebiet des Referenzstationsnetzes von Wienstrom (WEP) sind im Wesentlichen folgende Kriterien zur Gewährleistung einer Positionierung mit der geforderten Genauigkeit maßgeblich:

- Verfügbarkeit von mindestens 4 sichtbaren Satelliten, um prinzipiell eine kontinuierliche Positionierung zu gewährleisten,
- ein Beobachtungszeitraum mit 5 sichtbaren Satelliten, damit bei kurzen Beobachtungszeiten bzw. RTK-Messungen die Lösung der Ambiguities möglich ist,

Tab. 1: Systemeigenschaften der lokalen Referenzstationsnetze in Österreich im Vergleich zum SAPOS-Dienst in Deutschland

	Satellitensystem		Art der Datenübertragung			Korrekturdatenart		Verfügbare Genauigkeitsklassen		
	GPS	GLONASS	Rundfunk	Funk	Mobilfunk	Netzwerklösung	VRS	< 1 m	< 5 cm	< 1 cm
SAPOS	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
SATVB	X	X		X		X		X	X	X
KELSAT	X	X		X		X		X	X	X
WEP	X	X			X	X	O	X	X	X

X – verfügbar, O – in Planung

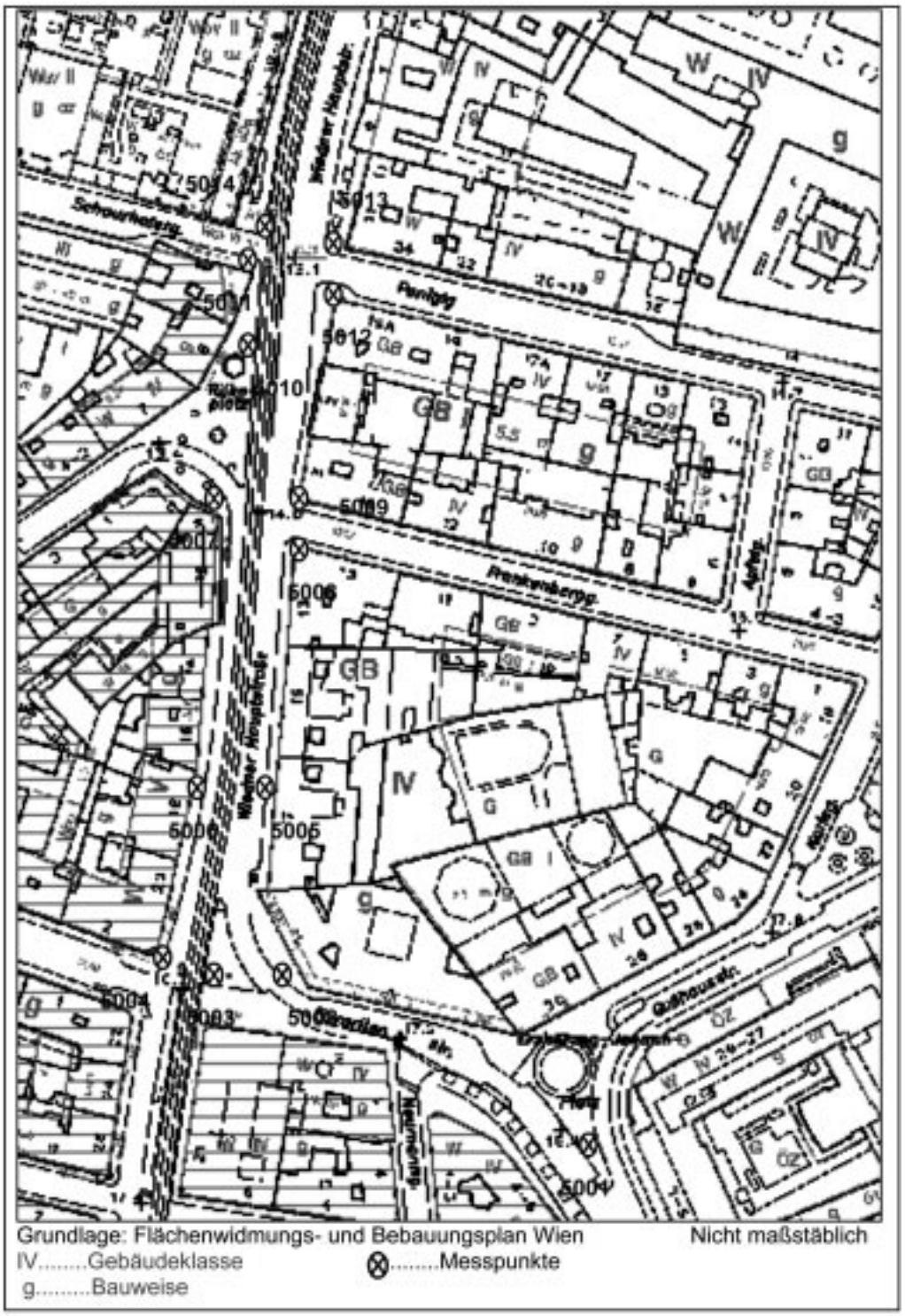

Abb. 5: Lageplan der Messpunkte im Testgebiet 1 entlang der Wiedner Hauptstraße

- ein GDOP-Wert kleiner als ein bestimmter Grenzwert, um optimale Ergebnisse zu erhalten (bei den folgenden Untersuchungen wurde ein GDOP < 6 gefordert, obwohl manche Hersteller auch einen Grenzwert von GDOP < 8 als ausreichend angeben),
- ein möglichst großer zusammenhängender Beobachtungszeitraum (Beobachtungsfenster) mit einem GDOP < 6.

Die Überprüfung der Satellitenverfügbarkeit in Wien erfolgte in ausgewählten Testgebieten. Um die praktischen Untersuchungen in einem überschaubaren Rahmen zu halten, wurden für das Stadtgebiet Wien drei repräsentative Gebiete ausgewählt. Diese wiederum werden durch eine gewisse Anzahl von Punkten repräsentiert. Bei der Auswahl der Messgebiete bzw. Messpunkte wurde folgendes berücksichtigt:

- Gebiete mit unterschiedlicher Bauklasseneinteilung (nach § 75 WBO – Wiener Bauordnung): Die Bauklasseneinteilung legt die maximal zulässige Bauhöhe

Abb. 6: 3 D-Ansicht der Donaucity (Testgebiet 2)

eines Gebäudes fest (z. B.: BKl I: Gebäudehöhe 2,5 – 9 m bis BKl VI: mehr als 26 m),

- Gebiete mit unterschiedlicher Bauweise (§ 76 WBO): Die Bauweise legt die Art der Verbauung fest (offen, gekuppelt, offen oder gekuppelt, Gruppenbauweise, geschlossen),
- Unterschiedlicher Verlauf bzw. Azimut der Straßenzüge (verschiedenartige Charakteristik der Satellitenverfügbarkeit in Abhängigkeit der Ausrichtung der Straße: Extremfälle bei Nord-Süd oder Ost-West Verlauf, siehe z. B. Jobst [1994]),
- Lage der Messpunkte in messbaren Bereichen (vorwiegend an Straßenrändern bzw. im Gehsteigsbereich).

Abbildung 4 zeigt die Lage der drei Testgebiete. Beim Testgebiet 1 handelt es sich um ein Gebiet im städtischen Bereich entlang der Wiedner Hauptstraße rund um die TU Wien. Die Bebauung weist hier geschlossene Bauweise mit Bauklassen IV-V (d. h. maximale Gebäudehöhen von 21 – 26 m) auf. Die Wiedner Hauptstraße verläuft in Nord-Süd Richtung und weist deshalb eine äußerst ungünstigste Abschattungssituation auf. In Abbildung 5 sind die 14 Messpunkte in diesem Gebiet dargestellt. Das zweite Messgebiet liegt im Bereich der Donaucity, wo neben den Bürotürmen der Vereinten Nationen (UNO) noch weitere Hochhäuser in den letzten Jahren errichtet wurden. Es handelt sich hier um teilweise offene und geschlossene Bauweise in den Bauklassen I-VI, wobei das höchste Gebäude, der Andromeda-Tower, eine Gebäudehöhe von 113 m erreicht. Die ausgewählten 26 Messpunkte liegen rund um die UNO-City und entlang der Wagramer Straße. Die Abbildung 6 zeigt eine dreidimensionale Ansicht der Donaucity mit ihren Hochhäusern. Aufgrund der räumlich weit voneinander entfernt liegenden Punkte wurde auf Darstellung im Lageplan hier verzichtet. Beim dritten Messgebiet handelt es sich um ein Siedlungsgebiet in einem Randbezirk von Wien (Lainz). Hier stehen vorwiegend Einfamilienhäuser und es herrscht offene Bauweise mit Bauklassen I-II (Gebäudehöhe maximal 12 m) vor. Die 21 ausgewählten Punkte liegen entlang der Joseph-Lister Gasse, Löfflergasse und Lafitegasse und ihre Lage ist in Abbildung 7 dargestellt.

Vor der Durchführung von Testmessungen mit einem RTK-System in den Testgebieten, wurden die Satellitenverfügbarkeit und der Beobachtungsplan für die Messungen vorausberechnet. Dafür wurde die Abschattungssituation für die einzelnen Messpunkte aus den Flächenwidmungsplänen (siehe Abb. 5 und 7) durch Annahme der maximalen Gebäudehöhe nach der Bauklasse abgeleitet. Im Folgenden werden die wesentlichen Ergebnisse der Planung und GPS-Messung in den Testgebieten zusammengefasst. Ausführlichere Informationen findet man in der Diplomarbeit von Anzinger [2002].

4.1 Satellitenverfügbarkeit und Dauer der Beobachtungsfenster im Testgebiet 1 (Wiedner Hauptstraße)

Das Ergebnis der GPS-Planung für das Testgebiet entlang der Wiedner Hauptstraße ist in Abbildung 8 dargestellt. Von den ausgewählten Punkten sind bis auf zwei (Punkte 5005 und 5006) alle messbar. Wie im Lageplan in Abb. 5 ersichtlich ist, liegen diese beiden Punkte im Vergleich zu den anderen nicht im Kreuzungsbereich zweier Straßen, sondern am östlichen und westlichen Rand der Wiedner Hauptstraße. Die verhältnismäßig breite Straße (ca. 20 m) ist also laut dem Ergebnis der Planung schon zu schmal, um eine ausreichende Satellitenverfügbarkeit für GPS-Messungen an den Straßenrändern zu ermöglichen. Das längste Beobachtungsfenster F_{max} ergibt sich für den Punkt 5004 mit 70 Minuten, bei einer Gesamtmesszeit Z_{ges} von 340 Minuten für einen Tag. Hingegen ergibt sich für Punkt 5007 aufgrund seiner Lage in der Nähe einer abschattenden Häuserfront im Süden ein F_{max} von gerade noch 10 Minuten und Z_{ges} von nur 20 Minuten.

4.2 Satellitenverfügbarkeit und Dauer der Beobachtungsfenster im Testgebiet 2 (Donaucity)

Im Vergleich zum Testgebiet 1 ergibt sich für die Messpunkte im Bereich der Donaucity eine deutlich Verbesserung in der Satellitenverfügbarkeit und der Dauer der Beobachtungsfenster (siehe Abbildung 9). Fast alle ausgewählten Punkte sind trotz der dort vorhandenen hohen Gebäude (Andromeda-Tower, Ares-Tower, UNO-City, etc.) laut Planung messbar. Der Punkt 8007 befindet sich direkt neben dem Austria-Center, das von mehreren Hochhäusern umgeben ist (vgl. Abb. 6), und hat dadurch eine ringförmige Abschattung mit einem Elevationswinkel von 43°. Kritisch könnte eine Messung auch

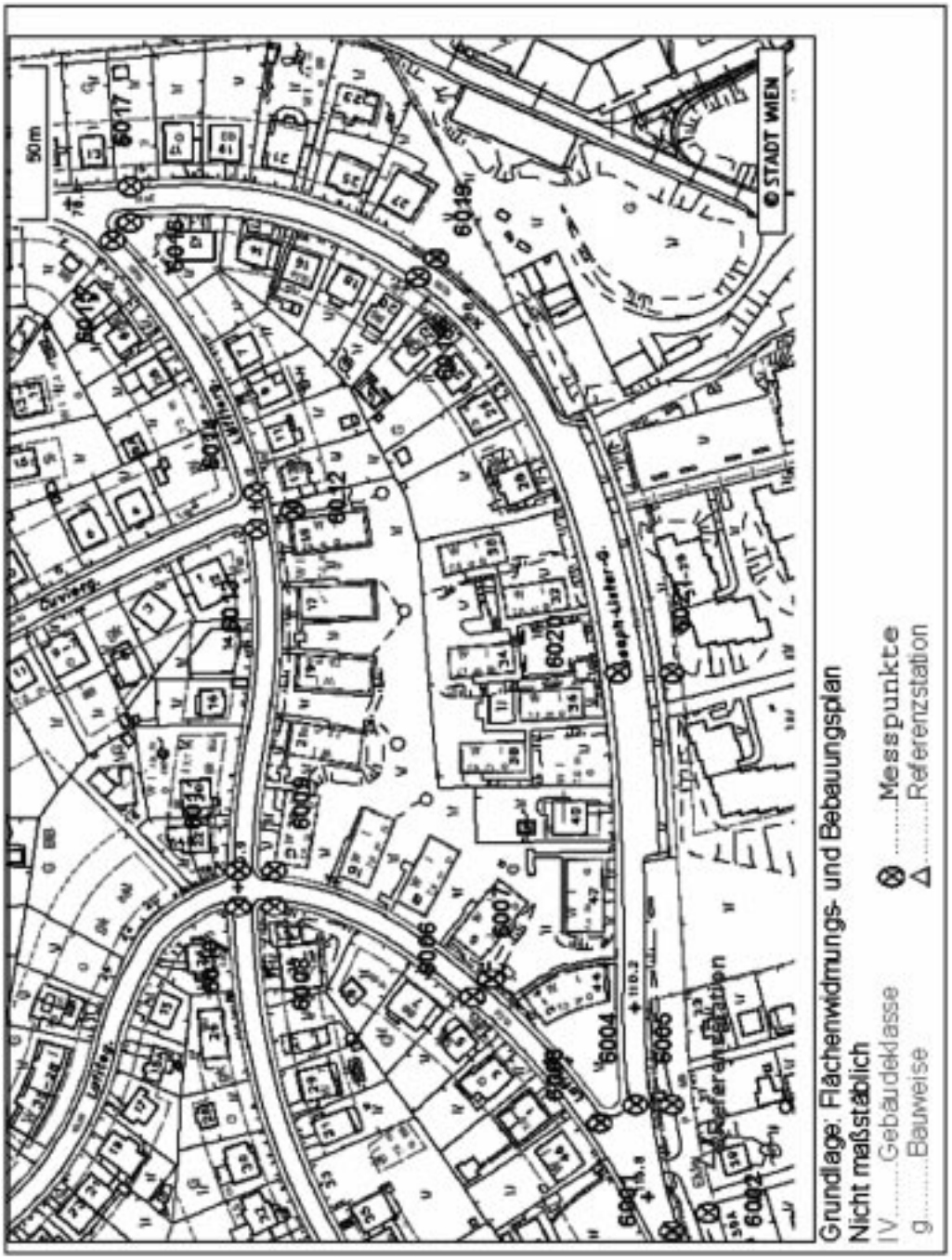

Abb. 7: Lageplan der Messpunkte im Testgebiet 3 in Lainz

auf den Punkten 8002, 8003 und 8014 sein, da sie die kürzesten Beobachtungsfenster aufweisen ($F_{max} \leq 20$ Minuten).

4.3 Satellitenverfügbarkeit und Dauer der Beobachtungsfenster im Testgebiet 3 (Lainz)

In einem typischen Siedlungsgebiet in den Randbezirken von Wien ist die Abschattungssituation erwartungsgemäß am Geringsten. Abbildung 10 zeigt, dass das längste Beobachtungsfenster F_{max} bei den Messpunkten in Lainz mindestens 170 Minuten beträgt. Laut Planung dürfte es bei den hier ausgewählten Punkten zu keinen erheblichen Einschränkungen der Satellitenverfügbarkeit durch Abschattungen kommen und es treten für die meisten Punkte nur kurze Zeiträume an einem Messtag auf, in denen die erforderliche Zahl von Satelliten für die Positionierung unterschritten wird und eine ungünstige geometrische Konfiguration vorliegt. Es kann deshalb im Normalfall in Siedlungsgebieten mit Einfamilienhäusern und offener Bauweise auf eine detaillierte Planung des GPS-Messeinsatzes verzichtet werden.

4.4 Ergebnisse der GPS-Messungen in den Testgebieten

Anhand von GPS-Messungen in der Zeit von Juli bis September 2001 in den einzelnen Testgebieten wurden die Ergebnisse der Planung verifiziert. Als Messausrüstung wurde das RTK-GPS System 530 von Leica

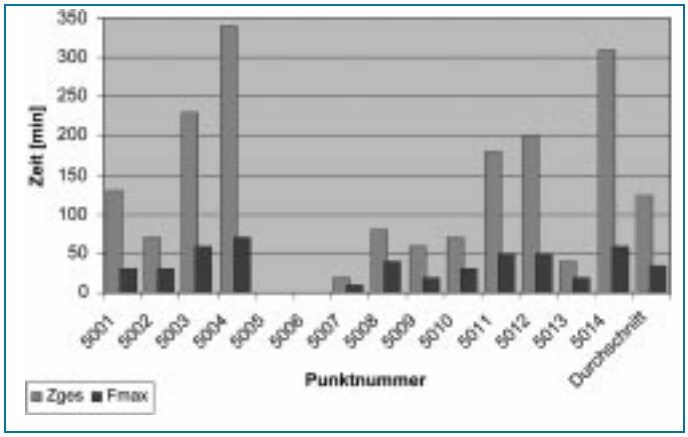

Abb. 8: Gesamtmesszeit Z_{ges} pro Tag und längstes Beobachtungsfenster F_{max} der Punkte entlang der Wiedner Hauptstraße (Testgebiet 1)

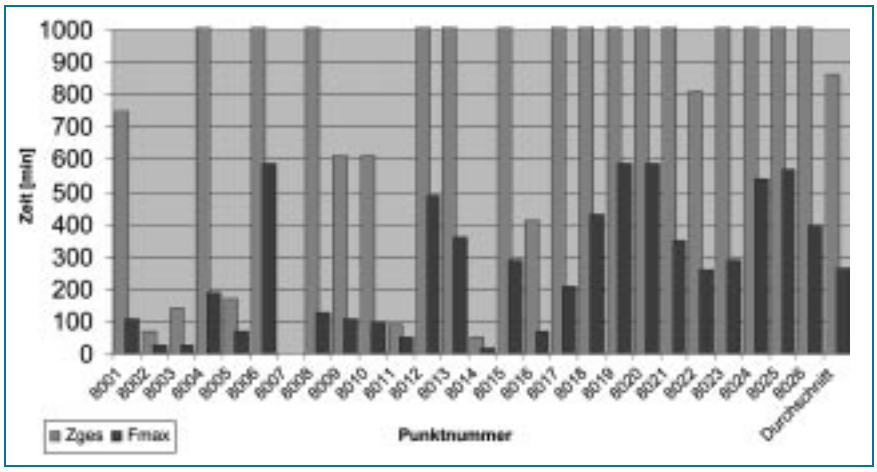

Abb. 9: Gesamtmesszeit Z_{ges} pro Tag und längstes Beobachtungsfenster F_{max} der Punkte in der Donaucity (Testgebiet 2)

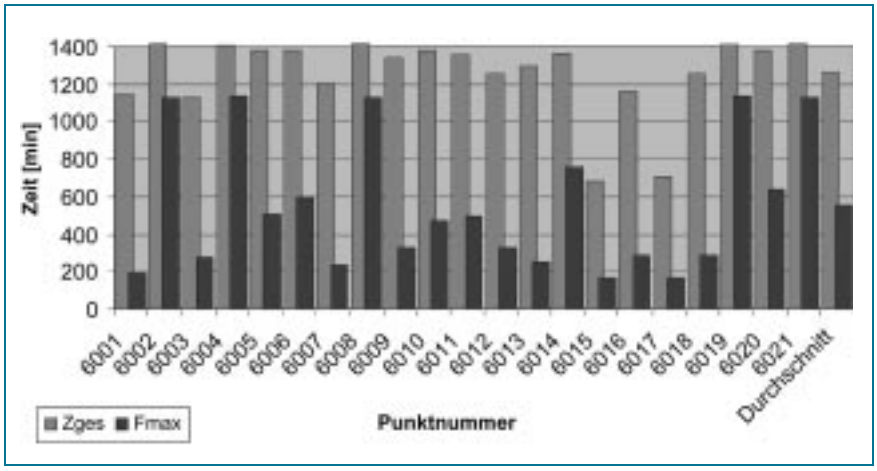

Abb. 10: Gesamtmesszeit Z_{ges} pro Tag und längstes Beobachtungsfenster F_{max} der Punkte in Lainz (Testgebiet 3)

eingesetzt, wobei für die Beobachtungen im Testgebiet 1 (Wiedner Hauptstraße) und 2 (Donaucity) eine Referenzstation am Dach unseres Institutsgebäudes der TU Wien und für das Testgebiet 3 (Lainz) eine lokale Referenzstation verwendet wurde. Für den Messablauf wurde ein detaillierter Beobachtungsplan angesichts der teilweise besonders kurzen Beobachtungsfenster in den Messgebieten erstellt. Nach erfolgreicher Initialisierung (= Lösung der Ambiguities der Phasenmessung) am Rover-Empfänger wurden die Messpunkte mit dem kurzzeit-statischen Messverfahren (d. h. Beobachtungszeiten von wenigen Minuten bei Basislinien bis 5 km, < 20 Minuten für Basislinien über 15 km Länge) beobachtet. In Lainz (Testgebiet 3) wurden aufgrund der besseren Satellitenverfügbarkeit Stop and Go-Messungen mit kürzeren Beobachtungszeiten von wenigen Epochen durchgeführt. Die Auswertung der Messung erfolgte im Post-Processing. Zur Klassifizierung der Messergebnisse wurde der Status der Lösung der Ambiguities der jeweiligen berechneten Basislinien als Maß für die Güte verwendet. Die Klassifizierung wurde wie folgt vorgenommen:

- Fixed-Lösung der Ambiguities: laut Post-Processing Software gelöste Ambiguities,
- Float-Lösung der Ambiguities: laut Post-Processing Software nicht gelöste Ambiguities,
- keine Lösung der Ambiguities: Float-Lösung bei Überschreitung der zulässigen Genauigkeitsschranke (Lagegenauigkeit ± 5 – 20 mm + 1 ppm bei kurzeit-statischem Messverfahren und Stop and Go),
- GPS-untauglich: Punkte, an denen durch Abschattungen weniger als vier Satelliten verfügbar waren und diese somit nicht messbar waren.

Von den 61 besetzten Punkten in allen drei Testgebieten konnten die Basislinien zu 54 Punkten (entspricht 88 %) erfolgreich berechnet werden. Abbildung 11 zeigt die Klassifizierung der Basislinien nach der Güte der Lösung in den Messgebieten. Es ist zu erkennen, dass der Prozentsatz der Fixed-Lösungen der Ambiguities in den drei Gebieten annähernd gleich ist (ca. 65%). Bei den Float-Lösungen sticht Lainz mit einem überdurchschnittlichen hohen Wert von 33% hervor. Zu erklären ist dies damit, dass eine hohe Verfügbarkeit der Satelliten gegeben ist, aufgrund von Abschattungen durch Vegetation kam es aber immer wieder zu kurzen Signalaus-

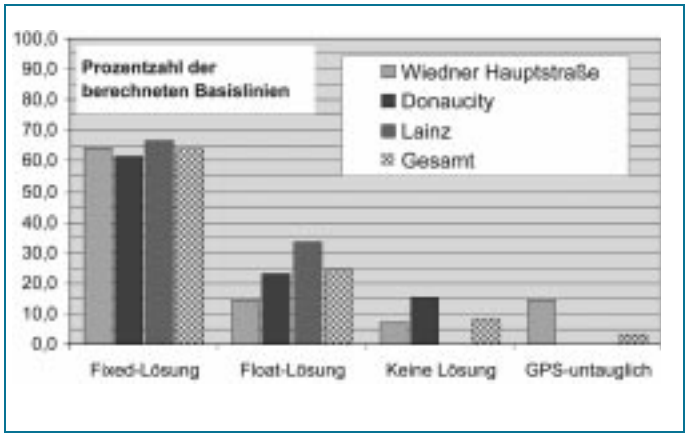

Abb. 11: Ergebnis der Auswertung der GPS-Messung für alle Messgebiete

fällen und damit zu einer Verminderung der Genauigkeit. Längere Beobachtungszeiten würden hier Abhilfe schaffen. Keine Lösungen (bzw. fehlerhafte Lösungen) der Ambiguities ergaben sich überwiegend im Gebiet rund um die Donaucity (15% der berechneten Basislinien). Dabei war nicht die Länge der Basislinie zur Referenzstation an der TU Wien ausschlaggebend, sondern die Punkte im Gehsteigbereich entlang der Wagramer Straße waren aufgrund einer Baumallee zum Teil abgeschattet, und es konnte keine ausreichend genaue Positionierung erzielt werden. Lediglich zwei Punkte (entspricht ca. 3%) waren generell untauglich für GPS-Messungen.

4.5 Vergleich zwischen der GPS-Planung und den Ergebnissen der Messung

Im Vergleich zur Planung ist allgemein feststellbar, dass die Beobachtungsfenster laut Planung eher zu gering ausfallen. Dies liegt daran, dass bei der Planung von der pessimistischsten Situation ausgegangen wird. Teilweise werden die Gebäudehöhen laut Flächenwidmungsplan jedoch unterschritten und ein größeres Satellitensichtbarkeitsfenster ist vorhanden, wie es z. B. bei Punkt 8007 direkt neben dem Austria-Center im Testgebiet 2 der Fall war, wo bei der Planung eine ringförmige Abschattung mit einem Elevationswinkel von 43° angenommen wurde. Erstaunlicherweise war dieser Punkt trotz der starken Abschattung bei einem GDOP von 8 mit ausreichender Genauigkeit messbar. Die Abschattung entlang der Wagramer Straße durch eine Baumallee konnte in der Planung nicht berücksichtigt werden. Vier Punkte waren dadurch zu stark abgeschattet und die Float-Lösung der Ambiguities überschritt die maximal zulässige Genauigkeitsschranke. Im Messgebiet 1 wurde die Untauglichkeit der Punkte 5005 und 5006 entlang der Wiedner Hauptstraße (liegen nicht im Kreuzungsbereich) für GPS-Messungen durch die Messung bestätigt. Hingegen war das Beobachtungsfenster F_{max} von lediglich 10 Minuten bei Punkt 5007 ausreichend für eine kurzzeitstatische Messung mit Lösung der Ambiguities. Die Planung in Lainz konnte ebenfalls durch die Messung erfolgreich verifiziert werden. Die Auswertung zeigt hier deutlich, dass in Siedlungsgebieten mit vorwiegend Einfamilienhäusern (Gebäudeklasse I-II) eine GPS-Messung sehr gut einsetzbar ist.

4.6 Kombinierter Einsatz von GPS und GLONASS

Eine Möglichkeit zur Verbesserung der Verfügbarkeit der Satellitensignale im Stadtgebiet besteht bei Verwendung von zusätzlichen GLONASS-Satellitensignalen zu reinen GPS-Signalen. Der kombinierte Einsatz ist auch im Konzept des Referenzstationsnetzes von Wienstrom WEP vorgesehen. Abbildung 12 zeigt in einer Vorausberechnung die Erhöhung der Gesamtmesszeiten pro Tag und Abbildung 13 die Länge der Beobachtungsfenster für die Punkte im Messgebiet 1 entlang der Wiedner Hauptstraße. An dem gewählten Messtag (28. Jänner 2002) waren zusätzlich zu den GPS Satelliten 9 GLONASS Satelliten verfügbar. Es ist deutlich zu erkennen, dass ein Einsatz beider Satellitensysteme erheblich zur Steigerung der Messzeiten beitragen würde. Am meisten macht sich diese Tatsache bei Punkt 5004 bemerkbar. Hier kommt es zur Verdoppelung der Gesamtmesszeit sowie des längsten Beobachtungsfensters. Auch bei den kritischen Punkten 5007 und 5013 verlängert sich die Beobachtungszeit merklich. Auch der Punkt 5006 wäre jetzt messbar, wenn auch nur innerhalb eines Beobachtungsfensters von 10 Minuten. Wie bei der GPS-Messung bestätigt wurde, kann diese Zeitspanne ausreichend sein, um mit dem kurzzeit-statischen Messverfahren eine Punktbestimmung mit der geforderten Genauigkeit zu erzielen. Punkt 5005 wäre jedoch weiterhin nicht messbar. Aufgrund der wesentlichen Erhöhung der Messzeiten kann eine kombinierte Nutzung beider Systeme speziell beim Einsatz von Satellitenmessverfahren im Stadtgebiet nur empfohlen werden.

5 Zusammenfassung

Grundsätzlich ist eine GPS-Messung im Stadtgebiet gut einsetzbar. Aufgrund der Abschattungen der Satellitensignale muss der Planung des Messeinsatzes im innerstädtischen Bereich mit besonders dichter Verbauung jedoch ein hoher Stellenwert beigemessen werden. Die Planung des Messeinsatzes und die Testmessungen wurden in der vorgestellten Arbeit für drei typische Gebiete von Wien ausgeführt, in denen unterschiedliche Bauweisen und Gebäudeklassen vorherrschen. Die Auswahl der Gebiete wurde so getroffen, dass eine repräsentative Aussage über die Satellitenverfügbarkeit für Gebiete mit ähnlichen oder gleichen Charakteristika vorgenommen werden kann. In unseren Untersuchungen erfolgte keine Aufnahme der

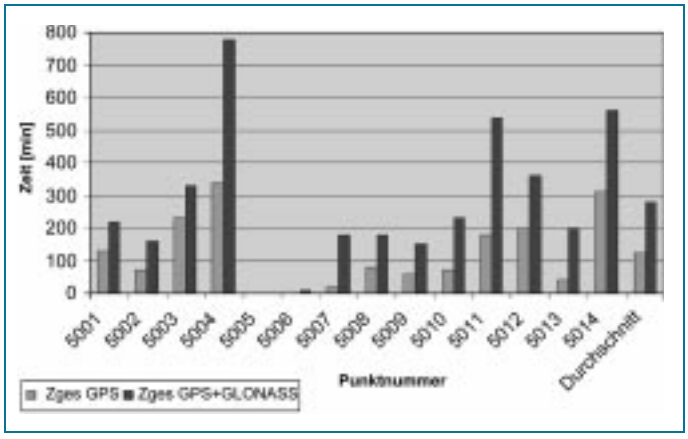

Abb. 12: Vergleich der Gesamtmesszeiten Z_{ges} für GPS und GPS+GLONASS der Messpunkte im Testgebiet 1 (Wiedner Hauptstraße)

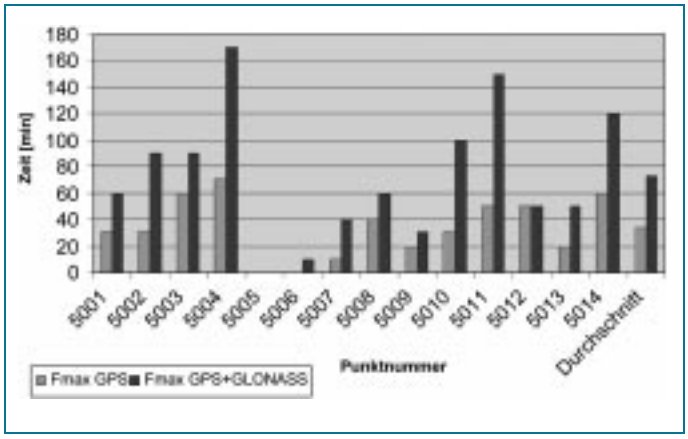

Abb. 13: Vergleich des längsten Beobachtungsfensters F_{max} für GPS und GPS+GLONASS der Messpunkte im Testgebiet 1 (Wiedner Hauptstraße)

Abschattungssituation für die einzelnen Messpunkte in der Natur, sondern es wurde eine Abschätzung aus Flächenwidmungsplänen unter Berücksichtigung der Gebäudehöhen durchgeführt. Damit konnte hinreichend genau ohne Berücksichtigung von Abschattungen durch Vegetation die Satellitenverfügbarkeit im Stadtgebiet abgeschätzt und der Messeinsatz vorausgeplant werden. Auch bei besonders kurzen Beobachtungsfenstern konnte in der Regel in den verschiedenen Testgebieten die gewünschte Genauigkeit für die Positionierung erreicht werden. Einzelne Punkte sind jedoch aufgrund der hohen Gebäude und sehr engen Straßenschluchten völlig abgeschattet. Eine besonders ungünstige Situation tritt bei Messpunkten im Gehsteigbereich entlang von Straßen auf, die in Nord-Süd Richtung verlaufen. Hier kann es möglich sein, dass eine Messung nur im Kreuzungsbereich oder auf Plätzen möglich ist. Eine Verbesserung kann durch eine kombinierte Nutzung von GPS- und GLONASS-Satellitensignalen erreicht werden. Die Entscheidung, die Referenzstationen von WEP mit kombinierten GPS/GLONASS-Empfängern auszurüsten, kann demnach auch als wirkungsvoller Beitrag zur Steigerung der Verfügbarkeit des in Zukunft angebotenen Dienstes gesehen werden. In einigen Jahren kann auch das neue europäische Satellitensystem GALILEO weiter zur Steigerung der Verfügbarkeit und somit zu einem noch effizienteren Einsatz der Vermessung in lokalen GNSS-Referenzstationsnetzen im Stadtgebiet beitragen.

Literatur

ANZINGER, P.: Analyse des Referenzstationsnetzes von Wienstrom auf der Basis bereits entwickelter lokaler GNSS-Referenzstationsnetze. Diplomarbeit, Abt. Angewandte Geodäsie und Ingenieurgeodäsie, TU Wien, 2002.

JOBST, M.: Erfassung und Beurteilung von Abschattungen bei GPS-Messungen. Diplomarbeit ausgeführt am Institut Geodäsie und Geophysik, Abteilung Angewandte Geodäsie und Ingenieurgeodäsie der Technischen Universität Wien, 1994.

LANDAU, H.: Zur Qualitätssicherung in GPS Referenzstationsnetzen. Paper präsentiert am 23. Kurs für Ingenieurvermessung, München, 13.-17. 03. 2000, Verlag Konrad Wittwer, Stuttgart 2000, S. 277–290.

MOSER, R.: Untersuchung und Vergleich von Local Area und Wide Area DGPS Diensten. Diplomarbeit, Abt. Angewandte Geodäsie und Ingenieurgeodäsie, TU Wien, 2001.

RETSCHER, G.: Charakteristika und Einsatz von GPS-Echtzeitvermessungssystemen für Spezialanwendungen, Allgemeine-Vermessungs-Nachrichten, Wichmann Verlag, Heidelberg, AVN 1/97 1997, S. 2-11.

RETSCHER, G. / CHAO, C. H. J.: Precise Real-Time Positioning in WADGPS Networks. GPS Solutions, Vol. 4, No. 2, 2000 S. 68–75.

RETSCHER, G. / MOSER, R.: Untersuchung und Vergleich von Local-Area- und Wide-Area-DGPS-Diensten. Allgemeine-Vermessungs-Nachrichten, Wichmann Verlag, Heidelberg, AVN 10/01 2001, S. 341–351.

RETSCHER, G.: Accuracy Performance of Virtual Reference Station (VRS) Networks. Journal of Global Positioning Systems, CPGPS, Vol. 1, No. 1 2002, pp. 40–47.

TITZ, H. / WEBER, R.: SATVB – A multipurpose GPS/GLONASS reference station network in Burgenland/Austria. Paper präsentiert am Symposium on Geodesy for Geotechnical and Structural Engineering, Eisenstadt, 20.-22.04.1998, S. 564–569.

WANNINGER L.: Der Einfluss ionosphärischer Störungen auf die präzise GPS-Positionierung mit Hilfe virtueller Referenzstationen. Zeitschrift für Vermessungswesen, Nr. 124 1999, S. 322–330.

WANNINGER L.: Präzise Positionierung in regionalen GPS-Referenzstationsnetzen. Dissertation erschienen in der Schriftenreihe der Dt. Geod. Kommission, Heft Nr. 508, München, 2000.

WIENSTROM: WEP – Wienstrom Echtzeit Positionierung. Interner Projektbericht, 2001.

Adresse der Autoren:
Ass.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. GÜNTHER RETSCHER,
Dipl.-Ing. PETER ANZINGER,
Institut für Geodäsie und Geophysik,
Abteilung Angewandte Geodäsie und Ingenieurgeodäsie,
Technische Universität Wien,
Gusshausstraße 27–29,
A-1040 Wien, Österreich,
E-mail: gretsch@pop.tuwien.ac.at
und peteranz@gmx.at

Acknowledgements

Die Autoren danken der Vermessungsabteilung der Fa. Wienstrom für die Bereitstellung der Abbildung zur Standortübersicht der Referenzstationen im WEP. Die Lageübersicht sowie die Flächenwidmungs- und Bebauungspläne für die Darstellung der Messpunkte und Ableitung der Abschattungen wurden vom Web-Service der Stadt Wien unter http://service.magwien.gv.at/flaechenwidmung/ bezogen.

Abstract

At the time of writing a new local GNSS reference station network in Vienna called WEP for the service area of the company Wienstrom is under development. To analyse the performance of such a service in an urban environment, Wienstrom suggested an analysis of the satellite visibility conditions for certain urban test areas of Vienna. The analysis was performed in a diploma thesis at the Vienna University of Technology based on simulations and test measurements. The major results of the study are summarized and presented in this paper.

Zum Stand der Luftbildaufnahme in den Ländern der GUS

Der Stand der Luftbildaufnahme in den nach dem Ende der Sowjetunion entstandenen Ländern ist durch das Fehlen der staatlichen Planung und Koordinierung gekennzeichnet. Die UdSSR zerfiel zu einer Zeit, als die technische Umrüstung aller Luftbildaufnahmeeinheiten geplant war. In dem seither vergangenen Jahrzehnt hat sich die Situation noch verschlechtert, sowohl in Bezug auf die spezialisierten Flugbetriebe als auch auf die verschiedenen Flugdienste. Der Umfang der Arbeiten verringerte sich mehr und mehr, nicht nur bei der Luftbildaufnahme, sondern auch bei der Nutzung der spezialisierten Flugdienste durch die Volkswirtschaft. Als Besonderheit besaßen die Betriebe eigene Basisflughäfen mit Start- und Landebahnen. Die bei der Luftbildaufnahme verwendete Technik wird seit drei Jahrzehnten genutzt, sie ist moralisch und physisch veraltet. Der geringe Umfang der Arbeiten ermöglicht es nicht, die Luftflotte auf dem erforderlichen Niveau zu halten, ihre Reserven befanden sich an dessen Grenze. Große Luftfahrtunternehmen sind wegen des geringen Arbeitsumfangs nicht daran interessiert, Mittel für die Entwicklung der Luftbildaufnahme bereitzustellen. Forschungsarbeiten auf diesem Gebiet werden nicht vom Staat und auch nicht von den Betrieben finanziert. In einigen Ländern der GUS blieben die Luftfahrtbetriebe erhalten, in anderen wurde die Hilfe dritter in Anspruch genommen, und in dritten wurde versucht, eigene Luftbildaufnahmeabteilungen zu schaffen.

Die Luftbildaufnahme als klassische Methode der Fernerkundung der Erde steht den kosmischen Methoden nach, die von Geodäten, Kartografen Geoinformatikern und anderen zur Nutzung der Naturressoursen verwendet werden. Die Kosten der Aufnahmen mit dem Satelliten Ikonos z. B. sind aber eine Größenordnung höher als bei der Luftbildaufnahme.

Da die Anlage von Katastern verschiedener Art sehr langwierig ist und die topografischen Karten aller Maßstäbe ständig zu erneuern sind, ist die GIS-Technologie von allgemeiner Bedeutung. Daraus ist zu folgern, dass die Anforderungen an die Fernerkundung ständig wachsen. Für ein Land der GUS ist daher wichtig, über eigene Hilfsmittel für die Fernerkundung zu verfügen. Vorläufig können aber nicht alle Länder der GUS im Besitz solcher kosmischen Komplexe sein. Die Einschränkung des Umfangs der Luftbildaufnahme in den letzten Jahren erhöht jedoch die Forderung nach ihr in naher Zukunft.

In den Ländern der GUS fehlt die Koordinierung zwischen den staatlichen Betrieben, die Luftbild- und kosmische Aufnahmen benutzen. Als Schlussfolgerung ergibt sich für die GUS, eigene Luftfahrtunternehmen in Form offener Aktiengesellschaften zu bilden. In Mittelasien entstand der Gedanke, die Kräfte aller Staaten der Region zu vereinen und eine kleine mobile, gut ausgerüstete Luftbildaufnahmeeinrichtung zu schaffen. Da jetzt die Mittel wegen des geringen Arbeitsumfangs nicht effektiv eingesetzt sind, ermöglicht die Vereinigung der Kräfte nicht nur, die staatlichen Aufgaben der Einrichtungen auf modernem technischen Niveau zu lösen, sondern auch den Aufwand für die Fernerkundung der Erde einzuschränken.

Aus: O sostojanii aėrofotosemki v stranach SNG. Von Chan, V. A. – Geodez. i Kartogr., Moskva (2002) 2, S. 52–53

DEUMLICH