

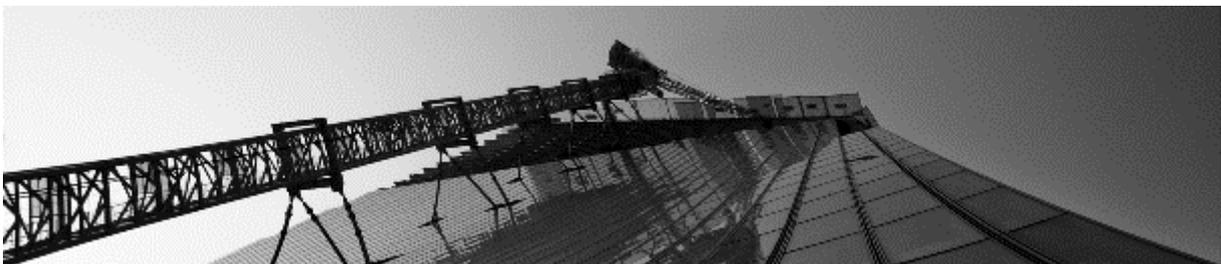
GPS-Messungen im Hochhausbau, Einsatzmöglichkeiten am Neubau der EZB in Frankfurt

Von Fabian Amtmann im Zuge einer Bachelor-Arbeit an der Hochschule für angewandte Wissenschaften Würzburg-Schweinfurt, Studiengang Vermessung und Geoinformatik



Ein neues Hochhaus in Frankfurt am Main ist an sich nichts Besonderes, gibt es doch bereits einige Gebäude, die mehr als 200m Höhe aufweisen. Der Neubau der Europäischen Zentralbank stellt jedoch tatsächlich eine Besonderheit dar, denn seine exponierte Lage auf dem Gelände der ehemaligen Großmarkthalle im Frankfurter Osten bringt die außergewöhnliche Architektur, die vom Wiener Architekturbüro COOP Himmelb(l)au entworfen wurde, erst zur vollen Entfaltung.

Anstatt symmetrischer Anordnungen weist das Gebäudeensemble eine ganze Reihe von Asymmetrien auf, die auffälligste in den beiden Hochhaustürmen. Der Nordturm besitzt im Erdgeschoss einen Grundriss, dieser verändert sich jedoch mit zunehmender Stockwerkzahl und mündet in Ebene 42 in einer Trapezform. Der Südturm durchläuft diese Entwicklung umgekehrt, vom Trapez zum Rechteck. Zwischen den Türmen befindet sich ein Atrium mit Übergängen, Balkonen und einer imposanten Stahlkonstruktion. Von außen betrachtet sind nicht nur die dadurch entstehenden, schrägen Fassaden erkennbar, es wird sogar der Anschein erweckt, dass die Türme sich umeinander verdrehen.



Die mit den Rohbauarbeiten beauftragte Ed. Züblin AG vergab die bauseitigen Vermessungsleistungen an die Ingenieurgesellschaft Gemmer und Leber mbH (IGL) aus Werneck, deren Messkonzept im Kern auf präzisen optischen Lotungen und anschließenden tachymetrischen Messungen fußt. Die Standardabweichung der abzusteckenden Punkte wurde mit $\pm 1\text{cm}$ prognostiziert. Um den verfälschenden Einfluss der Sonneneinstrahlung gering zu halten, wurden die Lotungen früh am Morgen vor Sonnenaufgang durchgeführt. Die für den Lotvorgang zwingend benötigten Lotöffnungen stellten sich als Achillesferse des Systems heraus: im laufenden Baubetrieb wurden diese immer wieder zugestellt oder verdeckt, sodass eine Lotung erst nach Freiräumen der Öffnung durchgeführt werden konnte. Hierdurch konnte sich die Dauer für einen Lotvorgang leicht verdoppeln.

Zudem wurde durch die freizuhaltenden Lotöffnungen auch der Innenausbau, der in den unteren Geschossen bereits begonnen worden war, erheblich behindert: pro Ebene mussten vier bis sechs Öffnungen ausgespart und im Nachgang geschlossen werden. Um diese Schwachstelle zu umgehen, sollte ein Messprinzip ohne Lotungen in Bezug auf seine Praxistauglichkeit im Baubetrieb geprüft werden. Basis des Alternativkonzepts: GNSS-Messungen. Zusammen mit Leica Geosystems und der Hochschule für angewandte Wissenschaften Würzburg-Schweinfurt wurde ein Messkonzept erarbeitet, bei dem (temporäre) Festpunkte in den einzelnen Etagen mittels GNSS bestimmt und über tachymetrische Messungen mittels „Freier Stationierung“ auf die Absteckpunkte übertragen wurden.

Die Messungen und Auswertungen wurden im Rahmen einer Bachelorarbeit durchgeführt. Projektziel war die Untersuchung wesentlicher Leistungsparameter und Kenngrößen für den GNSS-Einsatz im Baubetrieb. Neben der erreichbaren Genauigkeit sollte insbesondere der Einfluss von Abschattungen und die notwendige Beobachtungsdauer analysiert werden. Im Fokus der Untersuchungen stand auch die Frage, ob im vorliegenden Fall auf eine eigene Referenzstation verzichtet werden kann. Die Bereitstellung eines „schlüsselfertigen“ Messsystems war nicht Gegenstand der Aufgabenstellung.

Die für die Testmessungen verwendete Hardware bestand aus drei Leica GS10-/AS10-Roversystemen sowie einer eigenen Permanentstation auf der Baustelle. Zusätzlich wurden über das Internet Daten einer Referenzstation von Leica SmartNet bezogen. Die Auswertungen wurden im Post-Processing durchgeführt, die Ergebnisse sind aber durchaus auf Real-Time Anwendungen übertragbar.

Die GNSS Messungen wurden so angelegt, dass ein direkter Vergleich mit den weiterhin durchgeführten Lotungsmessungen möglich war. Zur Überführung der GNSS-Ergebnisse in das lokale Baustellensystem wurde einmalig ein Transformationssatz über am Rande des Baufeldes gelegene Messpfeiler bestimmt.



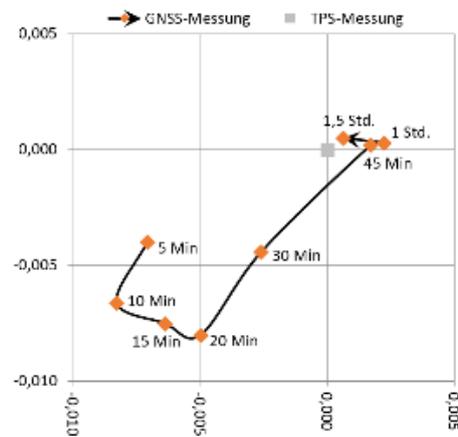
Eigene Basis oder Referenzdienst?

Diese Frage wurde sowohl in Hinblick auf die Performance bei der „Mehrdeutigkeitslösung“ als auch in Bezug auf Koordinatendifferenzen zu den Lotpunkten analysiert. Beide Vergleiche konnte die Variante „eigene Basis“ klar für sich entscheiden: hier lag die Erfolgsquote beim Ambiguity-Fixing bei 94%, die Abweichungen zu Lotungsergebnissen blieben in der Regel im Subzentimeterbereich. Bei Verwendung des Referenzdienstes SmartNet lag die Quote der gelösten Mehrdeutigkeiten nur bei 75%, die Differenzen zu den Lotungsergebnissen waren deutlich größer (häufig 2cm und mehr). Die nachstehenden Ausführungen beziehen sich daher auf die Variante „eigene Basis“

Optimale Beobachtungsdauer und Abschattungslage

Als optimale Beobachtungsdauer soll hier die Zeit bezeichnet werden, nach der eine Konvergenz der Koordinaten im Bereich weniger Millimeter erreicht wird. Dazu wurden entsprechende Messreihen künstlich „gekürzt“ und neu prozessiert. Werden die Ergebnisse

als Funktion der Beobachtungsdauer aufgetragen, ist das Konvergenzverhalten deutlich sichtbar.



1: Konvergenzverhalten der GNSS-Messungen

Die Untersuchungen wurden für unterschiedliche Messbedingungen (Abschattungslagen, Tageszeiten) durchgeführt. Ergebnis: die GNSS-Koordinaten stabilisieren sich in den meisten Fällen nach ca. 45 Minuten. Diese – relativ hohe - Zeitspanne resultiert aus der Tatsache, dass im praktischen Baubetrieb eine Messung auf „abschattungsfreien“ Punkten nur selten realisiert werden kann. Extreme Abschattungssituationen (z.B. Hindernisse „oberhalb“ der GNSS-Antenne) wurden hierbei nicht berücksichtigt.



2: Typische Abschattungssituation in der Nähe der Windschilde

Erreichbare Genauigkeiten

Genauigkeitsangaben wurden durch Vergleich mit den Lotungsmessungen abgeleitet. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Lotungsmessungen selbst auch nur eine begrenzte Genauigkeit aufweisen. Die eigentliche GNSS Genauigkeit wird daher eher zu pessimistisch abgeschätzt.

Die Abweichungen zwischen den aus GNSS und den aus „Lotung“ bestimmten Koordinaten blieben in der Lage klar unterhalb von einem Zentimeter, in der Höhenkomponente konnte eine mittlere Abweichung zwischen GNSS und terrestrischen Messungen von 1.5 cm erreicht werden. Problematisch sind extreme Abschattungssituationen: auch bei hohen Beobachtungsdauern können die geforderte Genauigkeit nicht erreicht werden.

Fazit

Bauvermessung im Hochhausbau unter Einsatz von GNSS ist auch bei hohen Genauigkeitsanforderungen im „harten Baustellenbetrieb“ möglich und praktikabel. Durch den Verzicht auf Lotungen und das damit verbundene Freihalten von Lotungsöffnungen ist eine erhebliche Effizienzsteigerung verbunden. Aber: GNSS ist keine immer und überall einsetzbare Wunderwaffe. Die Restriktionen im praktischen Einsatz werden primär durch die Abschattungsbedingungen diktiert. Diesbezügliche Überlegungen sind in die Planungsphase des Messeinsatzes und bei der Auswahl der Messmittel zu berücksichtigen. Und: für den GNSS-Einsatz ist fachkundiges Personal mit entsprechender Messerfahrung erforderlich.

Die gewonnenen Erkenntnisse bezüglich Beobachtungsdauer, Referenzstationsdaten und Anforderungen in Hinblick auf Satellitensichtbarkeit sind für die IGL ein wichtiger Schritt im Hinblick auf GNSS Einsätze bei zukünftigen Projekten. Außerdem ist durch eine geeignete Kommunikationsinfrastruktur der Übergang zu RTK-Verfahren (problemlos) möglich.

Literaturangaben

- Amtmann, Fabian: *Nutzung von GNSS-Messungen für vermessungstechnische Arbeiten im Hochbau am Beispiel EZB-Neubau in Frankfurt/Main*. Bachelorarbeit im Studiengang Vermessung und Geoinformatik, Hochschule für angewandte Wissenschaften Würzburg-Schweinfurt, Würzburg, 2013, unveröffentlicht
- Ingenieurgesellschaft Gemmer und Leber mbH / Almesberger, Willi: *EZB New Premises Frankfurt/Main Konzeption baubegleitende Vermessung, vermessungstechnische Überwachung der Bauausführung*, Werneck, 2011, unveröffentlicht
- Europäische Zentralbank: Internetauftritt „EZB-Neubau“, <http://www.ecb.int/ecb/premises/html/index.de.html>, 2013

Autoren

Amtmann, Fabian / Hollmann, Rolf / Almesberger, Willi