

Bestimmung der Geometrie der Führungsschiene des Drehrestaurants am Münchner Olympiaturm und kinematische Prüfung der Rundlaufqualität

Thomas Wunderlich, Werner Stempfhuber, Peter Wasmeier
Lehrstuhl für Geodäsie, Technische Universität München

Zusammenfassung: Am Münchner Olympiaturm sollte vom Lehrstuhl für Geodäsie das kinematische Verhalten des Drehrestaurants bestimmt werden. Da keine Befestigung von GPS-Antennen oder Reflektoren an der Außenfassade des Drehrestaurants möglich war, wurde zunächst bei Stillstand nachts ein Ringpolygon unterhalb des Drehrestaurants in einem 60 cm breiten und 85 cm hohen Wartungszwischenraum auf der tragenden Plattform in etwa 180 m Höhe gemessen und ausgeglichen. Die Einflußgrößen aufgrund von Schwankungen und Auslenkungen des Turms wurden dabei simultan erfaßt und korrigiert. Nach der geometrischen Bestimmung der vertikalen Führungsschienen des Drehrestaurants wurden im Anschluss die radialen Abstandsänderungen mit einem ausgesuchten Handlasermeter während der Drehbewegung kinematisch erfaßt. Dadurch konnten die radialen Abweichungen zum Sollkreis für einen perfekten Rundlauf der tragenden Plattform unterhalb des Drehrestaurants im Millimeterbereich bestimmt werden. Zusätzliche Messungen mit Neigungssensoren und GPS zur Verifizierung der Turmneigungen und -schwingungen wurden zeitgleich durchgeführt.

1. Eine keineswegs alltägliche Bauwerksuntersuchung

1.1. Prüfaufgabe und konstruktive Merkmale

Gut 30 Jahre nach der Errichtung des Münchner Olympiaturms sollte routinemäßig das kinematische Verhalten des Drehrestaurants geprüft werden – eine Aufgabe wie geschaffen, um das Leistungspotential moderner ingenieurgeodätischer Meßverfahren und Instrumente unter Beweis zu stellen. Der Lehrstuhl für Geodäsie der TUM, seit langen Jahren mit dem Turmbauwerk als Übungsobjekt wohlvertraut, erhielt hierzu von der Olympiapark GmbH den Prüfauftrag.



Der Münchner Olympiaturm



Auflager und Führung des Drehkörpers

Die Last der doppelstöckigen Drehkonstruktion wird von zwei konzentrischen Betonringen einer massiven Stahlbetonplattform aufgenommen. Auf diesen, mit Stahlplatten belegten, Ringen kann die rotierende Konstruktion mittels zahlreicher Fahrgestelle rollen; eine volle Umdrehung dauert dabei 45 Minuten. Die Führung der Drehbewegung erfolgt, sich gegen die wechselnde Wirkung des Winddrucks durch einen Kranz von Blattfedern abstützend, um eine stählerne Manschette des Turmschafts, der vertikalen Führungsschiene. Der Durchmesser des Turms beträgt an dieser Stelle knapp 10 m, jener des Drehkörpers (außen) rund 26 m. Neben den tragenden Betonringen bleiben in der Unterkonstruktion Wartungsgänge mit einem Profil von 60 cm Breite und 85 cm Höhe frei, die für unsere Messungen genutzt wurden.

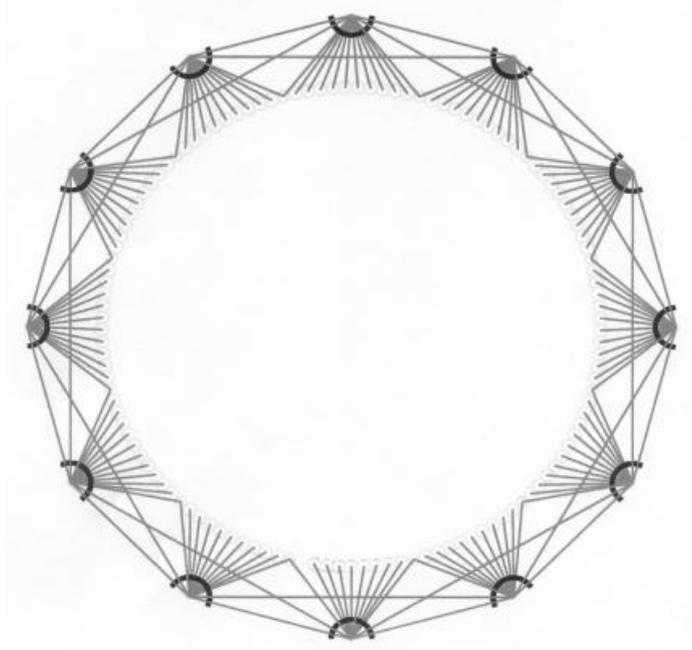
1.2. Kinematisches Verhalten und Störeinflüsse

Das Interesse des Auftraggebers galt zentral der Fragestellung, wie exakt der Umlauf des Drehrestaurants den Idealfall einer zentrischen Kreisbewegung um einen festen Drehpol erfüllt. Prinzipiell wäre ja auch ein Abrollen der Konstruktion auf der Stahlmanschette denkbar, was für die Spuren der Punkte des Gangsystems auf höhere Radlinien statt Kreisbahnen führen würde, welche auch bei mehreren Umläufen i.a. nicht kongruent ausfallen würden.

In der Realität wird natürlich die Beobachtung der Drehbewegung von Störeinflüssen überlagert. Die in 180 m Höhe befindliche Konstruktion ist klarerweise von den lang- und kurzperiodischen Auslenkungen des Turmes selbst betroffen. Erstere ergeben sich aus dem thermisch bedingten Wegbiegen des Turmes von der Sonne, zweitere werden durch die Windanregung bewirkt und folgen der theoretischen Eigenfrequenz des Bauwerks. Die Störeinflüsse müssen entweder geeignet erfasst und kompensiert oder, z.B. durch Beobachtung in windstillen Nachtstunden, gezielt vermieden werden.

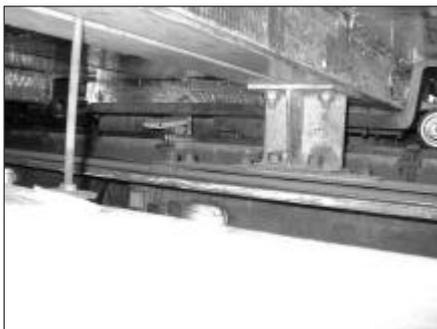
2. Meßkonzept und Umsetzung

Ursprünglich bestand die Idee, eine GPS-Antenne außen am Restaurant anzubringen und im kinematischen Modus die Bewegung zu erfassen. Die Störkomponenten sollten simultan mit einem zweiachsigen Neigungssensor aufgezeichnet und bei der Auswertung berücksichtigt werden. Neben der schwierigen Abschattungs- und Mehrwegproblematik sowie der lästigen Mitführung des Antennenkabels bewirkte jedoch insbesondere die Vorgabe, die Außenverkleidung bei der Montage völlig unversehrt zu lassen, ein rasches Verwerfen des Vorhabens. Das Risiko der Befestigung mit Industriesaugnapfen wollten wir lieber nicht eingehen. So schied auch die alternative Beobachtung eines Reflektors mit drei zielverfolgenden Tachymetern aus. Die Entscheidung fiel schließlich auf ein zweistufiges Konzept, bei dem einmal polare Messungen bei stillstehender und dann Abstandsbeobachtungen bei rotierender Konstruktion geplant waren. Stufe 1 sah die Anlage eines verschränkten Ringpolygonzugs im äußeren Wartungsgang vor, von dessen Standpunkten aus 125 Punkte der Stahlmanschette aufzunehmen waren, um deren Kreisform zu prüfen. Eine Netzsimulation mit dem Programmpaket PANDA (Fa. Geotec) wies die angestrebte Punktlagegenauigkeit von ± 2 mm a priori nach. Als Instrument kam ein LEICA TCRA1101+ zum Einsatz, dessen optisch-elektronischer Kompensator zur vollständigen Eliminierung der Einflüsse der Turmbewegungen geeignet war. Die Aufstellung unter den extrem beengten Verhältnissen konnte durch eine Spezialkonsole, die Erfassung der Schienenpunkte durch spezielle Prismenhalterungen, alle gefertigt von der feinmechanischen Werkstatt des Lehrstuhls, bewerkstelligt werden. Die Messungen fanden bei Stillstand statt, also zwangsläufig frühmorgens außerhalb der Betriebszeit des Restaurants. Zur Beschleunigung der körperlich höchst belastenden Meßarbeiten vor Ort wurde der Roboter-Tachymeter schon am Institut mit den Näherungskordinaten für selbsttätige Zielungen vorprogrammiert.



Verschränkter Ringpolygonzug mit doppelten Polarpunkten

In Stufe 2 sollte während mehrerer Umdrehungen mittels eines, an der Drehkonstruktion angebrachten, Handlasermeters laufend der radiale Abstand zur vertikalen Führungsschiene gemessen und von einem angeschlossenen Notebook aufgezeichnet werden. Die Wahl fiel nach ausgedehnten Testreihen am Geodätischen Prüflabor des Lehrstuhls auf einen LEICA Disto Pro4a mit $\pm 1,5$ mm Distanzmessgenauigkeit bei statischer Verwendung.



Radiale Abstandsmessung

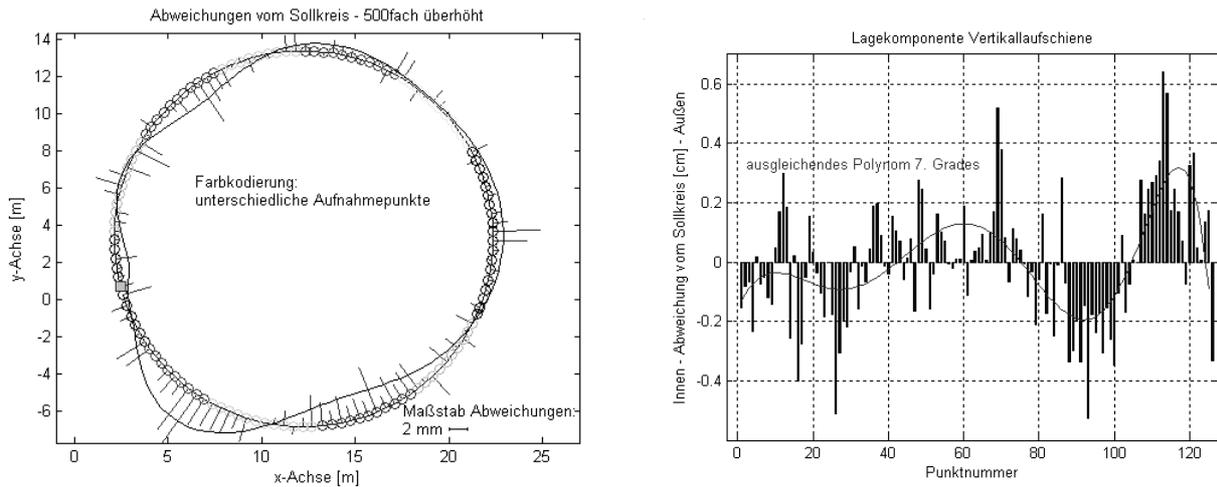


Disto Pro4a

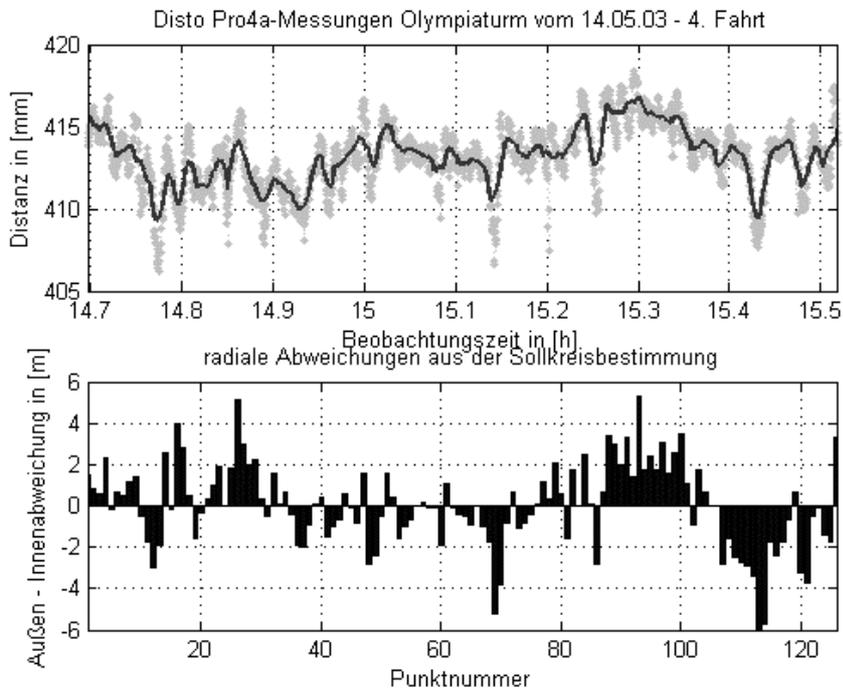
Während sämtlicher Messungen beider Stufen wurden auftretende Turmbewegungen mit einem im Turminneren von uns installierten Neigungsmesser des Typs LEICA Nivel20 ermittelt und mit externen Informationen bezüglich Windstärke und Windrichtung verglichen. Die Eigenfrequenz des Turms ergab sich dabei zu 5,8 Hz.

3. Darstellung der Ergebnisse

Die folgenden Abbildungen (STEMPFHUBER, 2003) präsentieren die wesentlichen Ergebnisse der Messkampagnen am Olympiaturm. Dabei ist eine hohe Übereinstimmung der statischen mit den kinematischen Resultaten zu bemerken (beachte die notwendige Vorzeichenumkehr). Insgesamt zeigen sich nur sehr geringe Abweichungen der Führungsschiene von der idealen Kreisform und eine weitgehende Erreichung der gewünschten Rundlaufqualität.



Grundrissdarstellung und Abwicklung der radialen Abweichungen (statisch)



Abwicklungsdarstellung der radialen Abweichungen (kinematisch)

4. Begleitende Untersuchungen

Zum Zwecke weiterführender wissenschaftlicher Untersuchungen wurden, begleitend zu den auftragsgemäßen Messungen, weitere Versuche unternommen. So wurde etwa auf einer kleinen Plattform oberhalb des Drehrestaurants ein GPS-Empfänger vom Typ LEICA 530 installiert, um kinematische Beobachtungen der Turmbewegungen durchzuführen. Erste Auswertungen haben, bedingt durch den knappen Abstand zum Turmkörper, periodische Kontaminierungen durch Mehrwegeeffekte zu Tage gefördert, welche von Herrn *Dr. Andreas Wieser* an der TU Graz mit spezieller Software weiter erforscht werden. Darüber hinaus wurden mehrere Umläufe des Drehrestaurants auch mit einer, am rotierenden Bauwerkskörper montierten, hochwertigen INS-Plattform verfolgt. Über diese Messungen und ihre Ergebnisse wird an anderer Stelle berichtet werden (NEUHIERL u. FOPPE, 2004).

Literatur:

- NEUHIERL, T., FOPPE, K. [2004]: Anwendungen inertialer Meßsysteme in der Ingenieurgeodäsie. Tagungsband 58. DVW-Seminar „Kinematische Meßmethoden – Vermessung in Bewegung“, Stuttgart, 2004.
- STEMPFHUBER, W. [2003]: Geometrische Bestimmung der horizontalen und vertikalen Führungsschiene am Drehrestaurant des Münchner Olympiaturms. Technischer Report Nr.1, Lehrstuhl für Geodäsie, TUM, 2003.

Anschriften:

Technische Universität München:
Univ.Prof. Dr.-Ing.habil. Thomas Wunderlich
Dipl.-Ing. Werner Stempfhuber
Dipl.-Ing. Peter Wasmeier
Lehrstuhl für Geodäsie
Arcisstrasse 21
D-80290 München
geodaesie@bv.tum.de