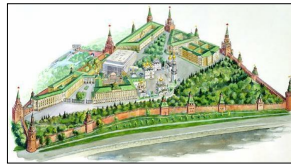


Geodätisches Monitoring des Moskauer Kremi Deformationsanalyse und Visualisierung von Hebungen und Setzungen mit GOCA und GOCA-Virtual-Sensor

Reiner Jäger, Katrin Fuchs

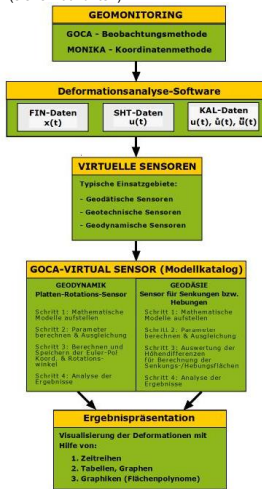
Projekt: Monitoring des Moskauer Kremi

Das "Geodätische Monitoring des Moskauer Kremi" ist ein gemeinsames Projekt des am **Institut für Angewandte Forschung (IAF)** der Hochschule Karlsruhe (HSKA) angesiedelten **GOCA-Projekts**, des **Instituts für Geodynamik** der Moscow State University of Cartography and Geodesy (MIIGAik) und der Moskauer Firma **GfK**. Mit der GOCA-Software und dem im Rahmen einer Masterthesis entwickelten Modul **GOCA-Virtual-Sensor** erfolgte die Deformationsanalyse und Visualisierung der bis in die jüngere Zeit hineinreichenden historischen Nivellementdaten unter Ermittlung des zeitlichen Verlaufs von Höhenänderungen. Künftig wird die Zustandsschätzung der historischen Gebäude und Anlagen des Moskauer Kremi unter Einsatz der GOCA-Software in einem zusammenhängenden auf externe Referenzpunkte gestützten dreidimensionalen hybriden Sensornetz (GNSS, LPS, Schlauchwaagen etc.) automatisiert erfolgen.



Softwaretechnologie GOCA-Virtual-Sensor

GOCA-Virtual-Sensor greift über eine offene Schnittstelle auf die in jeweils zusammenhängenden Referenzkoordinatensystemen und auf der Basis von geodätischen Netzausgleichungen ermittelten Verschiebungszustände der Geomonitoringpakete GOCA (www.goca.info) und MONIKA (www.monika.ag) zu, (siehe Abb. unten).



Virtuelle Sensoren sind Algorithmen, die nicht oder schwer messbare Größen unter Verwendung von Messwerten realer Sensoren in Verbindung mit unterschiedlichen numerischen Modellen ableiten. Ziel der Softwareentwicklung von GOCA-Virtual-Sensor ist, einen Katalog für virtuelle Sensoren mit dem Schwerpunkt auf geometrische Modelle in den Fachschalen Geodynamik, lokale Geotechnik und Bautechnik zu erstellen. Dieser Katalog ist bis hin zu Systemanalyse basierten Ansätzen (z.B. FEM) beliebig erweiterbar. Auf der Grundlage des entwickelten Modellkataloges bildet das Softwaremodul GOCA-Virtual-Sensor die Basis für die Realisierung virtueller Sensoren im geodätischen Monitoring. Im vorliegenden Projekt „Monitoring des Moskauer Kremi“ werden die gemessenen Nivellementdaten nach der netzausgleichungsbasierten Georeferenzierung der Objektpunkt-zustände durch die GOCA-Software

(FIN-Daten, siehe Abb. oben) mit Hilfe des Setzungs-/ Hebungssensors weiter analysiert. Im Folgenden werden Konzept und Vorgehensweisen des Sensors erläutert.

Konzept Setzungs- / Hebungssensor über bivariate Polynome

I. Ausgleichungsmodell für zwei Epochen

Ausgleichungsansatz: $I + v = A \times \hat{x}$ und C_I

Beobachtungen: $I = \begin{bmatrix} h_i(t_0) \\ h_i(t) \end{bmatrix}$ mit Höhen aus FIN-Daten

Parameter: $\hat{x} = [(\hat{h}_1, \dots, \hat{h}_n, \hat{a}_0 | a_{10} a_{02} | a_{20} a_{11} a_{02} | a_{30} a_{21} a_{12} a_{03} | \dots)]^T$

Stochastisches Modell: $C_I = \begin{bmatrix} \sigma_{h_i}^2(t_0) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{h_i}^2(t_0) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{h_i}^2(t) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_{h_i}^2(t) \end{bmatrix}$

II. Deformationsanalyse mit GOCA

Der virtuelle Sensor zur Berechnung von Setzungen bzw. Hebungen kann typischerweise im Bereich der Bergschadenskunde auf Grund von Bergbautätigkeiten oder auch zur Bauwerksüberwachung, wie im Projekt "Monitoring des Moskauer Kremi", eingesetzt werden. Im vorliegenden Projekt handelt es sich ausschließlich um Nivellementdaten, die in Präzisionsnivelements in der Zeitspanne von 1936 bis 1998 beobachtet wurden. Die Auswertung mit der GOCA-Software liefert in den GOCA-Ausgleichungsstufen I und II die in einem einheitlichen Referenzkoordinatensystem georeferenzierten Objektpunktpositionen (FIN-Daten). Diese können in der simultan zur Monitoring-Stufe II laufenden GOCA Stufe III weiteren Deformationsanalyse-Zustandsschätzungen (Moving-Average, Verschiebungsschätzung, Kalmanfilterung) unterzogen werden, oder über die FIN-Schnittstelle online oder postprocessed mit GOCA-Virtual-Sensor weiter analysiert werden. Als Gegenstand dieser Posterpräsentation wurde die Analyse auf zwei repräsentative historische Gebäude des Kremis beschränkt. Nachfolgend sind zunächst die Ergebnisse von GOCA dargestellt.

Moskauer Kremi – Übersichtskarte



Gebäude 1 - Zarenglocke

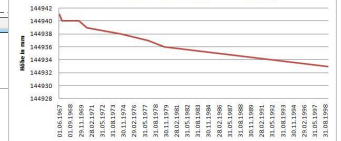


Gebäude 2 – Mariä-Verkündigungskathedrale

Gebäude 2 - Zeitreihengraphik mit Verschiebungsschätzung

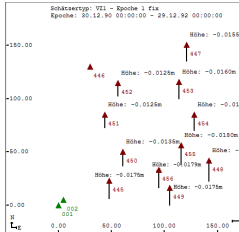


Setzung Objektpunkt "650" [mm]

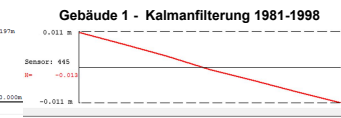


Gebäude 2 - Setzungsverhalten 1967-1998

Gebäude 1 - Bauwerksgraphik mit Verschiebungsschätzung



Gebäude 1 - Kalmanfilterung 1981-1998



Die GOCA-Ausgleichungsstufe II liefert die in der Netzausgleichung georeferenzierten Objektpunktreihen (FIN-Daten) sowie als Bestandteil der GOCA-Deformationsanalyse Stufe III die im Gebäudegrundriss dargestellten Verschiebungen (SHT). Als weiteres Beispiel zur GOCA-Stufe III ist die Zustandsschätzung der Kalmanfilterung eines der Objektpunkte dargestellt. Von dem typischen Einschwingeffekt des Kalmanfilters abgesehen ergibt sich eine mit konstanter Geschwindigkeit verlaufende Setzung.

III. GOCA-Virtual-Sensor Hebungs-/Senkungsflächen-Ermittlung

Teil III dieser Posterpräsentation zeigt die mit GOCA-Virtual-Sensor „Hebung/Setzung“ im entsprechenden Graphikmodul ermittelte Hebungs- bzw. Senkungsfläche.

