

Chesi/Weinold (Hrsg.)

15. Internationale Geodätische Woche Obergurgl 2009



Wichmann

Geodätisches Monitoring des Moskauer Kreml

Viktor LOBAZOV

Die russische Hauptstadt Moskau ist mit rund 10,4 Millionen Einwohnern (2006) inzwischen die größte Stadt Europas. Das historische und geografische Zentrum der Stadt befindet sich im Kreml (Abb. 1), der sich auf eine Fläche von 28 Hektar ausdehnt und von einer 2235 m langen, roten Backsteinmauer umschlossen wird. Seit dem 14. Jahrhundert war der Kreml die Residenz der russischen Zaren. Neben mehreren Kathedralen befinden sich im Kreml der Sitz des Präsidenten, der Kongresspalast, der Terempalast und der große Kremlopalast. Alle seine Bauwerke und der nahliegende Rote Platz stehen seit 1990 auf der UNESCO-Liste des Weltkulturerbes.



Abb. 1: Panorama des Moskauer Kreml

Die Deformationsmessungen von Bauwerken des Moskauer Kreml wurden in der Mitte der dreißiger Jahre des letzten Jahrhunderts begonnen. Dem damaligen Stand der Technik entsprechend wurden für diese Zwecke an den gefährdeten Bauwerken mehrere Höhenbolzen angebracht und durch ein Präzisionsnivelement kontrolliert. In den folgenden Jahrzehnten waren jedoch immer wieder unterschiedliche staatliche Institutionen für diese Messungen und Auswertungen verantwortlich, sodass das Messprogramm und entsprechend Art der Vermarkung oftmals ohne Bezug auf frühere Messungen geändert wurde. Ein erheblicher Teil von vermarkten Punkten wurde außerdem nicht ausreichend geschützt und ging zum Teil durch die Restaurationsarbeiten verloren. Aus diesen Gründen ist es heutzutage sehr schwer, ein aussagekräftiges Bild von Deformationsprozessen in ganzem Gebiet zu rekonstruieren. Ein entscheidender Wandel bezüglich der Überwachungsmessungen fand im Jahr 1996 statt, als das Forschungszentrum „Geodynamika“ bei der Staatsuniversität MIIGAIK für diese Aufgaben verantwortlich geworden ist und ein Versuch unternommen wurde, alle vorhandene Daten zusammen zu modellieren.

In den letzten Jahren wurde von der verantwortlichen Forschungseinrichtung mehrere Deformationsmessungen an unterschiedlichen Bauwerken des Moskauer Kremls initiiert und unterschiedliche Auswertestrategien bei der Lösung dieser Aufgaben getestet. Während dieses Vorhabens haben sich drei Hauptrichtungen ergeben:

- Mathematische Analyse von Ergebnissen der früheren Deformationsmessungen
- Komplexe Abschätzung von geodynamischen, geologischen und bautechnischen Parametern aller umliegenden Territorien von Moskau, die die Stabilität der betrachteten Bauwerke beeinflussen können
- Einwendung von modernen und je nach der Notwendigkeit voll automatischen und kontinuierlichen Methoden der Bauüberwachung

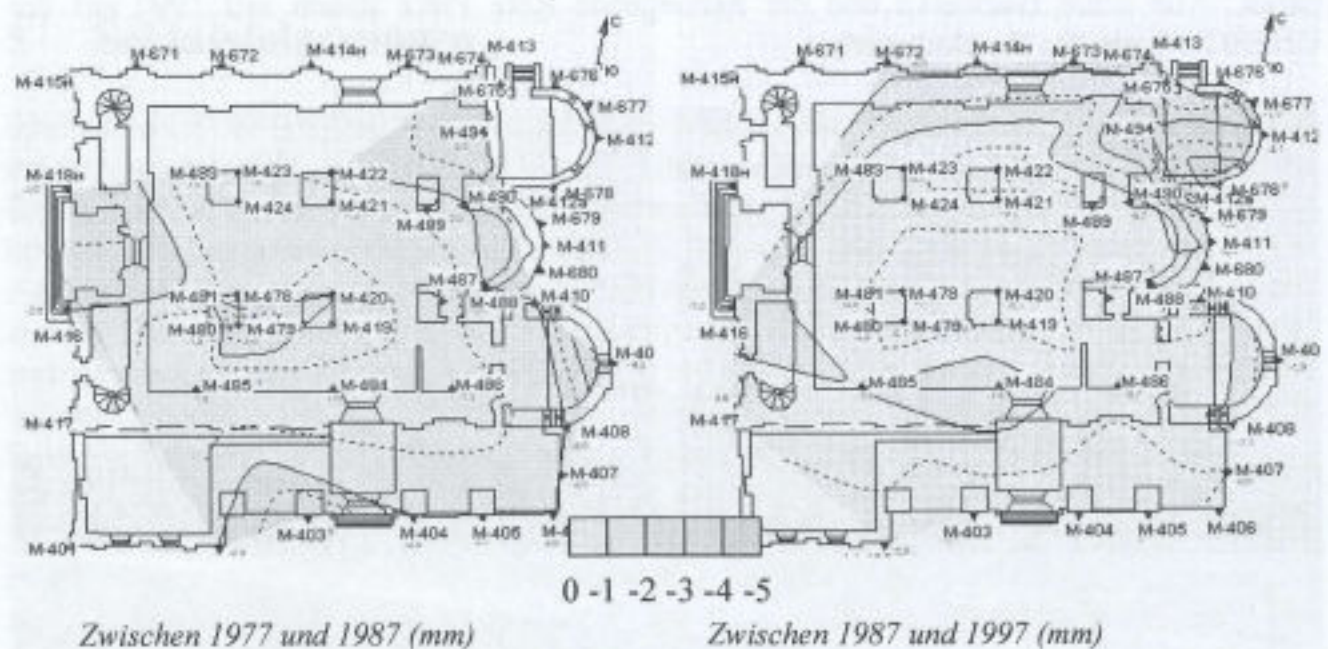


Abb. 2: Festgestellte Setzungen von Erzengel-Michael-Kathedrale (Архангельский собор) (s. auch Farbtafel 52, S. 300)

Exemplarisch sollte hier nur ein praktisches Beispiel, die sog. Setzungsanalyse von Erzengel-Michael-Kathedrale, in der Abbildung 2 präsentiert werden. Bei dem untersuchten Bauwerk handelt es sich um die zwischen 1505 bis 1509 erbaute Kathedrale, für die inzwischen sehr umfangreiche Messdaten gesammelt wurden.

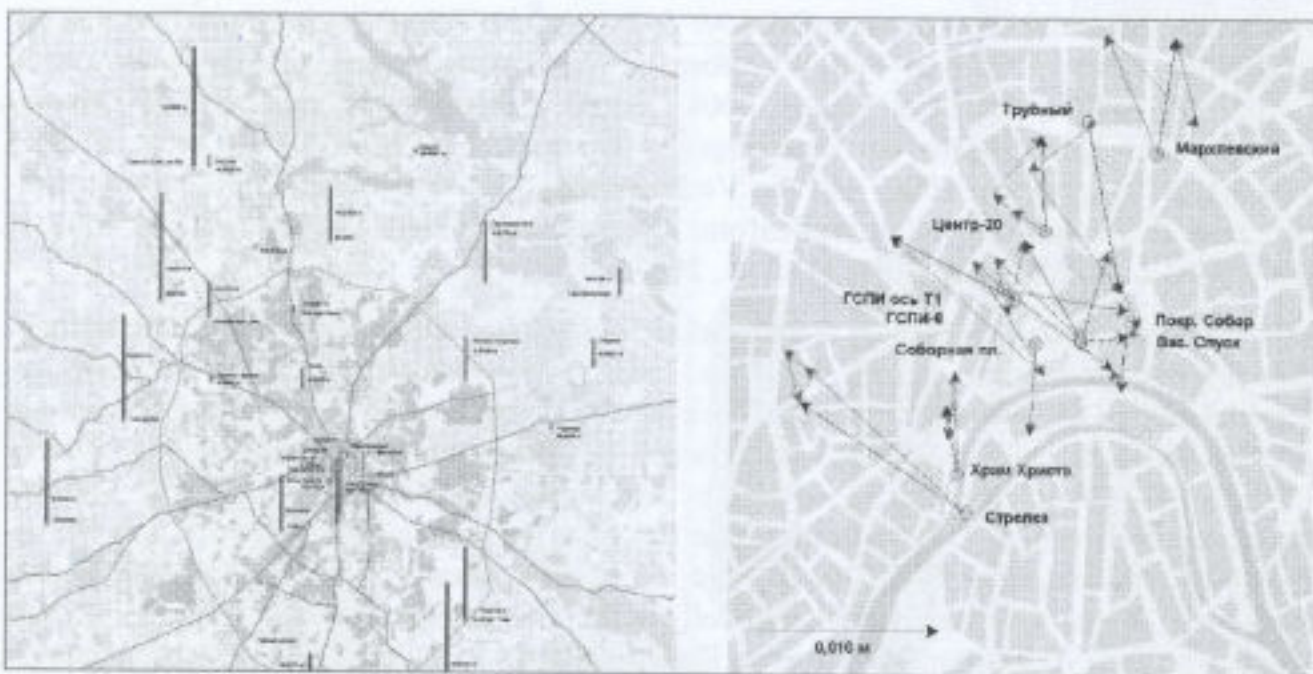
Bei allen Auswertungen dieser Art waren die folgenden Schritte bzw. entsprechenden mathematischen Methoden von besonderer Bedeutung:

- Da die Messdaten eine unterschiedliche Herkunft aufweisen, mussten sie in fast allen Fällen zunächst aufbereitet werden. So bestand bei der Auswertung ein besonderes Interesse daran, mögliche grobe Fehler zu detektieren, die oftmals durch die oben erwähnte Verschiebung oder Verwechslung von einzelnen Messpunkten verursacht wurden.
- Abschätzung der Beobachtungen auf das Vorhandensein von signifikanten systematischen Verschiebungen
- Im nächsten Schritt wurden die signifikanten Verschiebungen als eine Zeitreihe behandelt, analysiert bzw. prognostiziert, wobei ein analytischer Ausdruck des funk-

tionalen Zusammenhangs zwischen Messwerten und entsprechender Zeitangabe z. B. durch eine Korrelationsanalyse konstruiert wurde.

Um den Zustand von Bauwerken im Kreml langfristig modellieren zu können, muss deren Zustand als Teil der Veränderungen von großer Megalopolis Moskau betrachtet werden. Aus diesen Gründen wurden inzwischen die folgenden Schritte unternommen:

- In den letzten Jahren wurden Lage und Höhenbewegungen auf Basis von allen vorhandenen Deformationsmessungen in Großraum Moskau analysiert und alle kritischen Bereiche lokalisiert.
- Es wurde eine komplexe geologische, hydrogeologische und bautechnische Analyse für das ganze Stadtgebiet durchgeführt.
- Es wurde ein neues, modernes, geodynamisches Festpunktnetz aus 36 Punkten in allen gefährdeten Stadtteilen realisiert.
- Die Beobachtungen mit satellitengestützten Verfahren werden inzwischen zwei Mal pro Jahr durchgeführt und analysiert.
- Die Ergebnisse von diesen Präzisionsbeobachtungen erlauben jeweils eine Aktualisierung von Deformationskarten in Höhe und Lage. Wie auch zu erwarten war, wurden dabei die systematische Setzungen und Lageverschiebungen in Richtung von Fluss Moskau festgestellt (Abb. 3).



Vertikale Setzungen

Horizontale Bewegungen

Abb. 3: Deformationsanalyse für den Großgebiet Moskau (s. auch Farbtafel 53, S. 300)

Auf Basis von den genannten Untersuchungen wurde inzwischen ein neues Konzept für Monitoring des Kreml auf Basis von modernen Computerprogrammen GeoMos (Leica) und GOKA (FH Karlsruhe) entwickelt und zurzeit für die ausgewählten, besonders gefährdeten Objekte eingesetzt.