

# Interdisziplinäre Beiträge für das Monitoring und die Sicherung von neugotischen Gewölbekonstruktionen

Ulrich Stenz<sup>1</sup>, Jens-André Paffenholz<sup>1</sup>, Michael Hansen<sup>2</sup>, Jens Piehler<sup>2</sup> und Ingo Neumann<sup>1</sup>

## Monitoring neugotischer Gewölbekonstruktionen

Im interdisziplinären Forschungsprojekt (Tabelle 1) „Sicherung neugotischer Gewölbekonstruktionen (SNG)“ werden Schadensbilder an neugotischen Kirchengewölben (Abbildung 1) mit dem Ziel analysiert, nachhaltige Sanierungsmaßnahmen zu identifizieren.

Projektpartner	Aufgaben
Ingenieurbüro Götz & Ilseman, Hildesheim (G & I)	Pegelstand und Rissweitenmessung
Institut für Baustoffe, Leibniz Universität Hannover (IFB)	Materialuntersuchung, Thermografie, Temperatursensoren
Geodätisches Institut, Leibniz Universität Hannover (GIH)	Terrestrisches Laserscanning, Tachymetrie, Lasertracker, Neigungs- und Temperatursensoren
Institut für Massivbau, Leibniz Universität Hannover (IFMA)	Numerische Untersuchungen, Finite-Elemente-Modellierung, Rissweitesensoren
Ingenieurgesellschaft für experimentelle Mechanik mbH, Markkleeberg (IFEM)	Belastungsversuch mit ergänzender Sensorik (Kraft-, Weg-, Dehnungs- und Neigungssensoren)
Prof. Steffens Ingenieurgesellschaft mbH Bremen	Beratend Belastungsversuch

Tabelle 1: Projektbeteiligte SNG

Aus ingenieurgeodätischer Sicht wurde dieses Vorhaben seitens des GIH mit folgenden Maßnahmen (Abbildung 2, Tabelle 2) begleitet. Alle Messungen sollen zu einem besseren geometrischen und zeitlichem Verständnis für das Verhalten des Bauwerkes beitragen.

Maßnahme	Ziel
Netzmessung mit Präzisionstachymeter (Abbildung 1a)	Verknüpfung der Punktwolken im Innenraum und Dach der Kirche
Geometrieerfassung mit terrestrischem Laserscanning (TLS, Abbildung 1b)	Freiformflächenmodellierung für die Finite-Elemente-Modellierung
Monitoringsystem im Innenraum der Kirche (Abbildung 1c)	Nachweis von Deformationen und „Gebäudeatmung“ (Studentisches Projekt)
Hochgenaue Lasertrackermessung (Abbildung 1d)	Validierung hydraulischer Belastungsversuch

Tabelle 2: Maßnahmen und Ziele des GIH im Projekt SNG

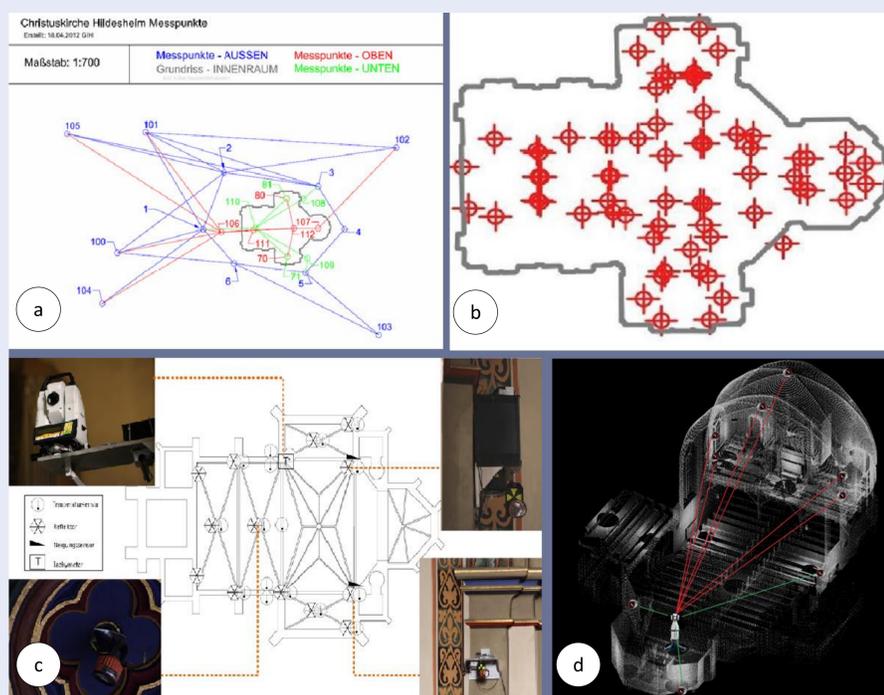


Abbildung 2: Netzmessung (a), TLS-Standpunkte Dach (b), Monitoringsystem (c), Belastungsversuch (d)

## Auswertung/ Ergebnisse

### Netzmessung und TLS (Abbildung 3a und 3b)

Im Rahmen des Projektes SNG wurde gezeigt, dass ein konsistenter Arbeitsprozess von der 3D-Datenerfassung mit TLS bis zur Modellierung der hochdetaillierten Geometrien über Freiformflächen einen Mehrwert für die Berechnungen der Finite-Elemente-Modellierung liefert und somit Schadensbilder besser erklärt werden können.

### Monitoringsystem (Abbildung 3c)

Die im Rahmen des Monitoringsystems erfassten Daten wurden in einem Projektseminar und einer Masterarbeit einer statistisch begründeten Deformationsanalyse unterzogen. Die so gewonnenen Punktverschiebungen und Streckenänderungen können unmittelbar in der Untersuchung von Temperaturabhängigkeiten bei der Deformation des Referenzbauwerkes einfließen.

### Lasertrackermessung/ Belastungsversuch (Abbildung 3d)

Die im Belastungsversuch mit dem Lasertracker erzielten Ergebnisse für die Punktverschiebung und deren Übereinstimmung mit der taktilen Messtechnik zeigen das Potential der geodätischen Messtechnik für die Bauwerksuntersuchungen. Die Stärken der geodätischen Messtechnik gegenüber den taktilen Messverfahren liegen dabei insbesondere in der Langzeitstabilität sowie der zerstörungsfreien Erfassung von Punktverschiebungen bei großen 3D Messvolumen mit einer hohen Genauigkeit.

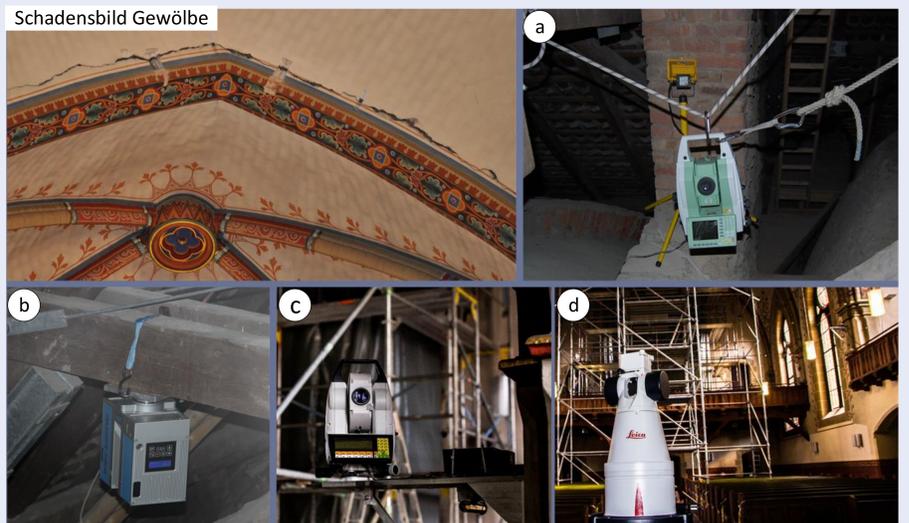


Abbildung 1: Schadensbild (o.l.) und Monitoring (a-d)

## Messung/ Durchführung

### Tachymetrische Netzmessung (Abbildung 2a)

- Zehn Punkte im übergeordneten Koordinatensystem außerhalb der Kirche
- Drei Tachymeterstandpunkte im Innenraum der Kirche
- Vier Tachymeterstandpunkte im Dach der Kirche

zur

- Verknüpfung der Punktwolken aus TLS für Dach und Innenraum (Zusammenfügen der jeweiligen Teilflächen zu einem Gewölbe aus Gewölbeunter- und oberseite)
- Georeferenzierung der verknüpften Punktwolke

### Geometrieerfassung mit TLS (Abbildung 2b)

- 72 Scannerstandpunkte (Innenraum: 15/ Dach: 57)
- Flächenhafte reflektorlose Erfassung der Geometrie der Kirche und Gewölbe als
- Geometrische Datengrundlage für Modellierung der Kappen als Freiformflächen
- Datengrundlage für Strukturableitung, Freiformflächen und geometrisches Finite-Elemente-Modell

### Monitoringsystem (Abbildung 2c)

- Ein Tachymeter und zwölf Prismen
- Zwei Neigungssensoren
- 16 Temperatursensoren
- Datenerfassung an 126 Tagen mit 650 Tachymeterepochen, 12000 Werten der Neigungssensoren und 235000 Temperaturwerten

### Lasertrackermessung für Belastungsversuch (Abbildung 2d)

- Drei Kontrollpunkte außerhalb des Deformationsbereichs zur Gewährleistung der Standsicherheit des Lasertrackers
- Sechs beobachtete Objektpunkte im Gurtbogen und den Schlusssteinen
- Messungen alle zwei Minuten über alle hydraulischen Belastungsstufen

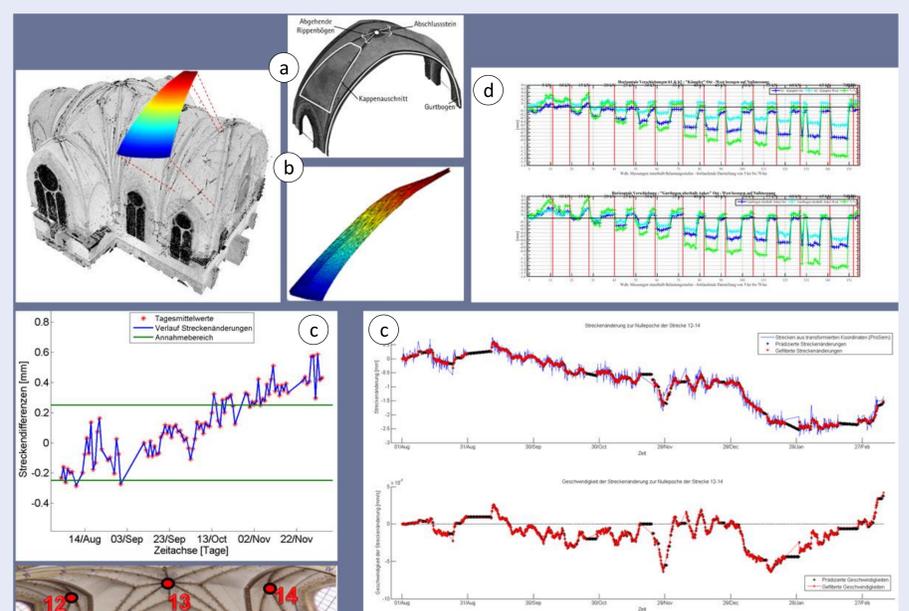


Abbildung 3: Modellierung einer Kappe als Freiformfläche aus TLS (a und b), Streckenänderung zwischen den Schlusssteinen beobachtet mit Präzisionstachymeter (c), hochgenaue Punktverschiebung (horizontal) beobachtet mit Lasertracker (d)

<sup>1</sup> Geodätisches Institut, Leibniz Universität Hannover, Nienburger Str. 1, 30167 Hannover

<sup>2</sup> Institut für Massivbau, Leibniz Universität Hannover, Appelstr. 9a, 30167 Hannover