

Experimentelle Spannungsanalyse zum Tragverhalten von historischen Kreuzgewölben



Veranlassung

In der Folge von spontanen Gebäudeeinstürzen, unter anderem auch eines Kirchengewölbes, in den letzten Jahren, ist die Frage nach den Tragsicherheitsreserven geschädigter Gewölbe verstärkt in das allgemeine Interesse gerückt. Ein großer Teil der historischen Gewölbeträgerwerke hat Schäden durch Risse und Verformungen.

Die Bewertung der Sicherheit für den Grenzzustand der Tragfähigkeit ist für historische Konstruktionen insbesondere mit vorhandenen Schäden sehr kompliziert. Sofern ein stark geschädigtes Gewölbe zwar noch trägt, aber kein Nachweis der Tragreserven erbracht werden kann, muss von einer Auslastung von 100% ausgegangen werden. Dieses Sicherheitsniveau ist für öffentlich genutzte Gebäude keinesfalls ausreichend. Einstürze von Gewölben in der jüngeren Zeit zeigen, dass die Tragsicherheitsreserven tatsächlich begrenzt sind. Daher ist eine kritische Untersuchung vorhandener Gewölbeschäden unverzichtbar.



Die Berechnung der Resttragfähigkeit geschädigter Gewölbe stellt sich als kompliziert dar, obwohl leistungsfähige Berechnungsprogramme zur Verfügung stehen, die auch eine fortschreitende Rissbildung in einer Mauerwerksschale erfassen können. Zur richtigen Abbildung eines Gewölbeträgerwerks mit seinem Schädigungsverlauf in einem Berechnungsprogramm muss das

Spannungs-Verformungsverhalten des Systems sowie sein Schädigungs- und Versagensverlauf bekannt sein.

Es wurden in vorangegangenen Forschungsarbeiten bereits Rechenmodelle zur Simulation des Tragverhaltens von Gewölben entwickelt. Verlässliche Aussagen zum Tragverhalten sind jedoch erst möglich, wenn die Berechnungsmodelle an Versuchen mit realen Tragwerken verifiziert und kalibriert werden können.

Aus diesem Grunde wurde ein Kreuzgewölbe als Versuchsmodell im Maßstab 1:1 nachgebaut und mit umfangreicher Messtechnik ausgestattet werden. An diesem Modell wird das Spannungs-Verformungsverhalten unter fortschreitender Schädigung bis zum Tragwerksversagen analysiert.

Diese Versuche liefern wichtige Aussagen über das Tragverhalten geschädigter Gewölbe, über Sicherheitsreserven, Versagenszustände und die Brauchbarkeit der verfügbaren Rechenmodelle.

Im Nachgang des Experiments wird ein Verfahren entwickelt, das für ein Gewölbe mit wenigen Messungen vor Ort eine computergestützte Tragfähigkeitsanalyse und eine verbindliche Aussage zur Resttragfähigkeit ermöglicht.

Das Versuchsgewölbe



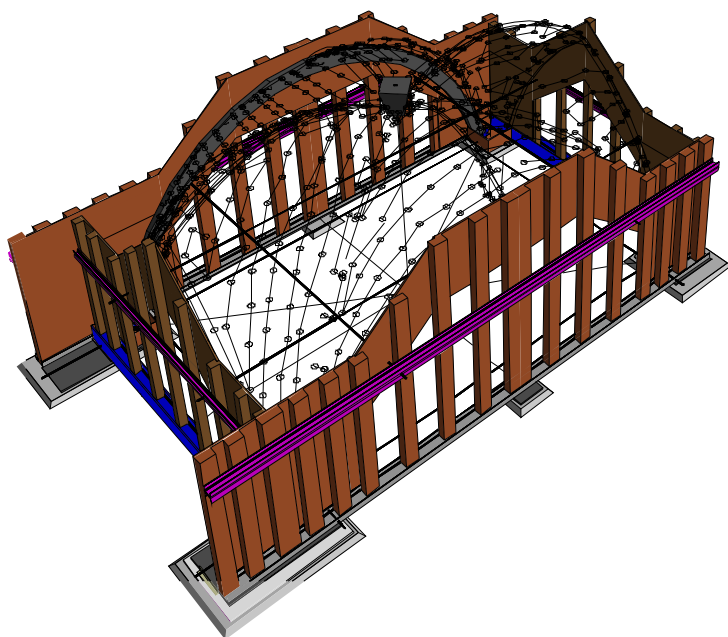
An der Kirche Zurow wurden in den letzten Jahren umfangreiche Sanierungsarbeiten am geschädigten Gewölbetragwerk durchgeführt. In diesem Zusammenhang wurde bereits ein Gewölbe vermessen und als Rechenmodell am Computer aufbereitet. Dieses Gewölbe wurde in einer Halle auf einem eigens errichteten Versuchstand aufgebaut und analysiert.



Entlang der Gurtbögen wurden starre Berandungen gesetzt, die die Lastsymmetrie zu den Nachbarjochen in einem Gewölbebau simulieren.

An den Seiten der Schildbögen wird durch Nachlassen von Ankern eine schrittweise Divergenz zugelassen. Somit wurde die seitliche Verschiebung der stützenden Außenwände nachvollzogen. Die in der Folge entstehenden Risse wurden kartiert. In den Verschiebungsschritten konnte anhand von Probelastungen das jeweilige Tragfähigkeitsverhalten gemessen werden.

bungsschritten konnte anhand von Probelastungen das jeweilige Tragfähigkeitsverhalten gemessen werden.



Versuchsaufbau

Das Experiment wurde an der Hochschule Wismar durchgeführt mit finanzieller Unterstützung der Landeskirche Mecklenburgs, der Nordelbischen Kirche, dem Kirchenkreis Lübeck-Lauenburg, dem Bildungsministerium M-V, sowie einer hochschulinternen Forschungsförderung. Weiterhin wird das Projekt unterstützt durch handwerkliche Umsetzung durch

Fa. Bauhof Dorsch in Rostock sowie mit Ingenieurleistungen durch die Guericke Ingenieurgesellschaft mbH in Wismar.

Das Gewölbe wurde in einem Messstand errichtet, der die Bewegungen der stützenden Außenwände einer Kirche nachvollziehen kann und dabei die Kämpferkräfte sowie die Kräfte auf aus den Schildkappen misst.



An dem Modell wurde der Schädigungsverlauf in Form von Rissbildungen und Verformungen protokolliert.

Diese Daten dienen dem Aufbau und der Kalibrierung eines zuverlässigen Berechnungsmodells einschließlich Rissmodell für Computersimulationen und somit für die Vorhersage der Resttragfähigkeit geschädigter Gewölbe.



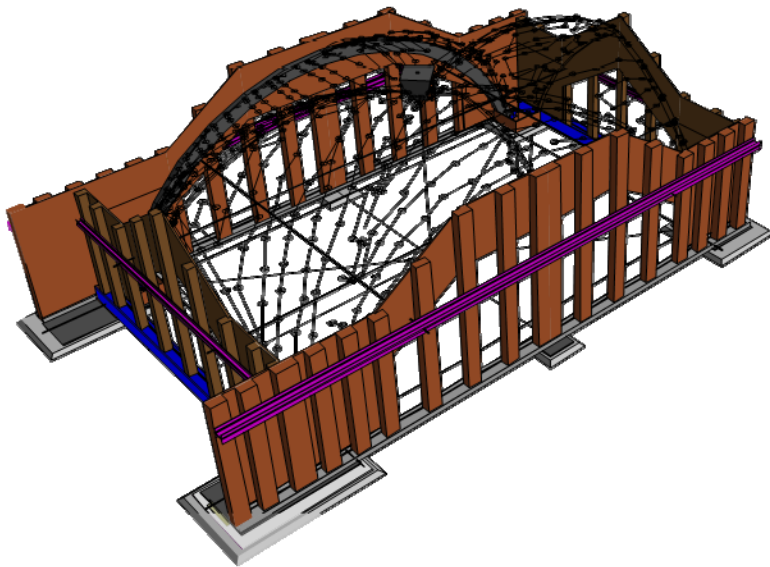
Dazu wurde das Versuchsgewölbe mit unterschiedlicher Messtechnik ausgestattet. Über Dehnungsmessstreifen an den Zugankern werden die Kämpferkräfte und die Kräfte aus den Schildkappen gemessen. Weiterhin wurden auf dem Gewölbe DMS-Rosetten beidseitig angebracht, um den Normal- und Biegespannungszustand aufzuzeichnen.

Parallel dazu wurde am Gewölbe ein photogrammetrisches Verfahren angewandt, das für alle Verformungszustände ein räumliches Modell über alle Messpunkte liefert.

Die Messverfahren sollen hier die Datenbasis der für das Rechenmodell liefern. Weiterhin wird auch untersucht, welche Messverfahren tauglich sind für Untersuchungen an geschädigten Kirchengewölben unter realen Bedingungen.



Forschungsprojekt



Die Arbeiten am Versuchsgewölbe sind ein Teil aus einem ganzen Forschungsprojekt, das sich mit der Auswertung der Experimente, der Verfeinerung von Simulationsrechnungen fortsetzt. In diesem Zusammenhang werden derzeit Untersuchungen an bestehenden Gewölben im Rahmen von Sanierungsprojekten durchgeführt.

Das Projekt wird in Zusammenarbeit mit der Hochschule Wismar unter Leitung von Prof. Dr.-Ing. Bernd Guericke durchgeführt.

Die Ergebnisse werden durch Veröffentlichungen der Fachwelt zugänglich gemacht und sollen allgemein die Möglichkeiten zur statischen Analyse von Kreuzwölben verbessern.



Literatur

Barthel, R.: Tragverhalten gemauerter Kreuzgewölbe. Dissertation, Universität Karlsruhe (TH), Heft 26, 1991.

Barthel, R.: Tragverhalten und Berechnung gemauerter Kreuzgewölbe.
In: Bautechnik 70, Heft 7, 1993.

Bode, U.F.W.: Funktionale Steingewölbe während des 18. Jahrhunderts.
In: Mauerwerk 8, Heft 4, 2004.

Jagfeld, M.; Barthel, R.: Zur Gelenkbildung in historischen Tragsystemen aus Mauerwerk. In:
Bautechnik 81, Heft 2, 2004.

Jagfeld, M.: Tragverhalten und statische Berechnungen gemauerter Gewölbe bei großen Auflagerverschiebungen - Untersuchungen mit der Finiten-Elemente-Methode. Dissertation, Technische Universität München, 2000.

Guericke, B., Kähler, A., Lucius, D.: Gewölbesanierung an der Kirche Zurow. In: Europäische Sanierungskalender 2009.

Kontakt:

Prof. Dr.-Ing. Bernd Guericke

Hochschule Wismar

Fakultät für Ingenieurwissenschaften

Fachbereich Bauingenieurwesen

Philipp-Müller-Straße 18

23966 Wismar

Tel: 03841-753-532

Mobil: 0179 210 5342

Mail: bernd.guericke@hs-wismar.de