

Zukunft Bau

KURZBERICHT

Titel

Entwicklung von Bemessungshilfen für die Tragsicherheitsbewertung von Gewölbekonstruktionen im Hochbau

Anlass / Ausgangslage

Die rechnerische Bewertung der Tragfähigkeit von Gewölbekonstruktionen ist oft mit sehr großen Unsicherheiten verbunden. In den derzeitig verfügbaren Berechnungsmethoden bleiben verschiedene Tragreserven unberücksichtigt, wodurch in vielen Fällen die Tragsicherheit nicht nachgewiesen werden kann. Wesentliche Tragreserven können durch den Ansatz der Plastizitätstheorie und der Berücksichtigung von Überschüttungen auf der Widerstandsseite erschlossen werden.

Gegenstand des Forschungsvorhabens

Überschüttungen von Gewölben werden heute meist ausschließlich auf der Einwirkungsseite angesetzt. Ihre versteifende Wirkung bzw. ihr Anteil am Lastabtrag, infolge des vergrößerten ideellen Querschnittes, wird i.d.R. vernachlässigt. Ziel des Forschungsvorhabens war es, ein möglichst einfach zu handhabendes mechanisches Modell zu entwickeln, welches die Überschüttung von Gewölben auf der Widerstandsseite für den Lastabtrag berücksichtigt. Dabei wurde der Schwerpunkt auf flache Gewölbe gelegt, wie sie in den meisten Fällen des Hochbaus anzutreffen sind. Diese bisher nicht berücksichtigten Tragreserven wurden mit Hilfe von Laborversuchen und begleitenden numerischen Berechnungen qualitativ und quantitativ erfasst. In den Laborversuchen wurde zudem das Verformungsverhalten der Gewölbe fotogrammetrisch überwacht, so dass bereits geringste Rissentwicklungen beurteilt werden konnten und somit Rückschlüsse auf die Tiefe klaffender Fugen im Gewölbemauerwerk gezogen werden konnten.

Eine auf das Gewölbe einwirkende Belastung führt zu einer veränderten Biegebeanspruchung im Gewölbemauerwerk und damit zu einer zusätzlichen Krümmung der Gewölbelängsachse. Wird eine schubfeste Verbindung zwischen Mauerwerk und Überschüttung unterstellt, so wird diese Krümmung auch dem Boden aufgezwungen. Solange die Scherfestigkeit des Bodens nicht überschritten wird, treten in Abhängigkeit der Elastizitätsmoduln entsprechende Spannungen in der Überschüttung auf, die einer Biegebeanspruchung mit überlagerter Längsdruckkraft zuzuschreiben sind. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sowohl das Gewölbemauerwerk als auch der Boden nur eine sehr geringe Zugfestigkeit aufweisen. Die für den Lastabtrag ansetzbaren Querschnittsteile sollten daher ausschließlich Druckspannungen aufweisen. Daraus ergibt sich wiederum, dass die restlichen Querschnittsteile für Spannungsnachweise unberücksichtigt bleiben sollten.

Unter vereinfachenden Annahmen lässt sich ein mathematischer Zusammenhang für einen konkreten Querschnitt an der Gewölbelängsachse herleiten, bei dem die mitwirkenden Querschnittsteile von Gewölbemauerwerk und Überschüttung im Vorfeld einer Spannungsberechnung berechnet werden können. Die mitwirkenden Querschnittsteile im betrachteten Querschnitt des Gewölbes sind dabei abhängig vom Verhältnis der Elastizitätsmoduln von Mauerwerk und Überschüttung, der berechneten Exzentrizität der Normalkraft im Gewölbemauerwerk ohne Berücksichtigung der mitwirkenden Wirkung der Überschüttung sowie die zur Verfügung stehenden Querschnittshöhen der beiden Teilquerschnitte. Dieser mathematische Zusammenhang wurde erstmalig im Rahmen dieses Forschungsvorhabens formuliert und die Ergebnisse an einer großmaßstäblichen Versuchsreihe an Gewölben aus Mauerwerk sowie anhand versuchsbegleitender numerischer Modelle verifiziert.

Für die Separation des Einflusses der Überschüttung wurde eine Versuchsreihe mit vier unterschiedlich gearteten Gewölbekonstruktionen gewählt:

- | | |
|-----------|--|
| Versuch 1 | Gewölbe ohne Überschüttung als Referenz für die Tragfähigkeit und das Last-Verformungs-Verhalten ohne Überschüttung |
| Versuch 2 | Gewölbe mit Überschüttung, wobei die Last direkt auf die Bogenkonstruktion wirkt und durch die Hinterfüllung hindurchgeführt wurde |
| Versuch 3 | Gewölbe mit Überschüttung und Belastung in Höhe der „Geländeoberkante“ |
| Versuch 4 | wie Versuch 3, jedoch mit einer eingebauten Gleitschicht zwischen Mauerwerk |

und Boden, um an Erkenntnisse zum Einfluss der Schubkraftübertragung zu gelangen

Die belastungsinduzierte Krümmung der Gewölbelängsachse führt hypothetisch zu zusätzlichen Spannungen in der Überschüttung, welche tangential zur Gewölbelängsachse gerichtet sind. Sie sind die Voraussetzung dafür, dass sich die Überschüttung entsprechend der aufgestellten Hypothese am Lastabtrag beteiligt. Für den versuchsbasierten Nachweis war es daher wichtig, diese tangential zur Gewölbelängsachse gerichteten, belastungsinduzierten Spannungsanteile in der Überschüttung messtechnisch zu erfassen. Die Separation dieser Spannungsanteile konnte mit einem eigens für die Gewölbeversuche

entwickeltem Erddruckmesspanel erfolgreich durchgeführt werden und mit den Ergebnissen der numerischen Berechnungen sowie des vereinfachten mechanischen Modells verglichen werden.

Für die numerische Modellierung kam ein diskreter Ansatz für das Gewölbemauerwerk zum Einsatz. Die Modellierung der Überschüttung erfolgte als Kontinuum, wobei sowohl ein linear-elastischer Ansatz als auch ein Ansatz nach Drucker-Prager für die Überschüttung untersucht wurde.

Fazit

Eine mittragende Wirkung der Überschüttung konnte sowohl modellbasiert als auch aus den Ergebnissen der Versuche nachgewiesen werden. Bei der quantitativen Beurteilung wurden allerdings die Spannungen im Gewölbemauerwerk beim vereinfachten mechanischen Modell unterschätzt. Als Ursache könnte insbesondere die Annahme gesehen werden, welche ein Ebenbleiben des Querschnittes der Gewölbeüberschüttung unterstellt. Sollen für die Berechnung von Bogen- und Gewölbetragwerken auch zukünftig vereinfachte, stabförmige Modelle für die Spannungsnachweise zur Anwendung kommen, so sollte dies unter Berücksichtigung der horizontalen Nachgiebigkeit der Auflagerpunkte und unter der Berücksichtigung der Überschüttung erfolgen. Bei letzterem muss jedoch der Modellfehler durch eine Abminderung des Steifemoduls der Gewölbeüberschüttung berücksichtigt werden.

Eckdaten

Kurztitel: Bemessungshilfen für Gewölbe

Forscher / Projektleitung: Jens Piehler, M.Sc.; Univ.-Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx

Gesamtkosten: 124.710,00 €

Anteil Bundeszuschuss: 61.250,00 €

Projektlaufzeit: 18 Monate

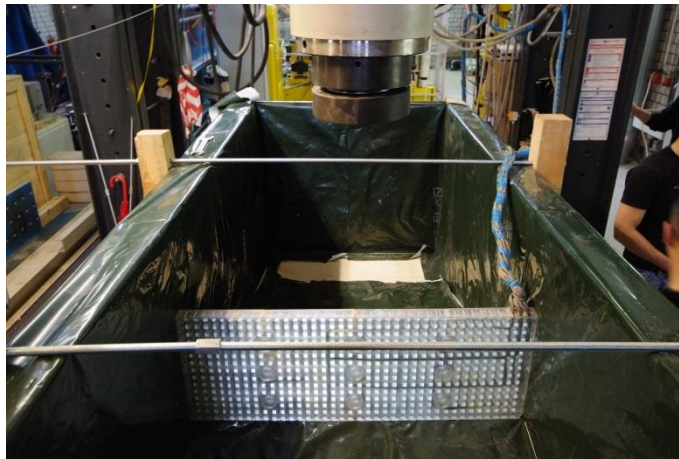
BILDER / ABBILDUNGEN:

Bild 1: 1_Versuchsaufbau_Ansicht.jpg



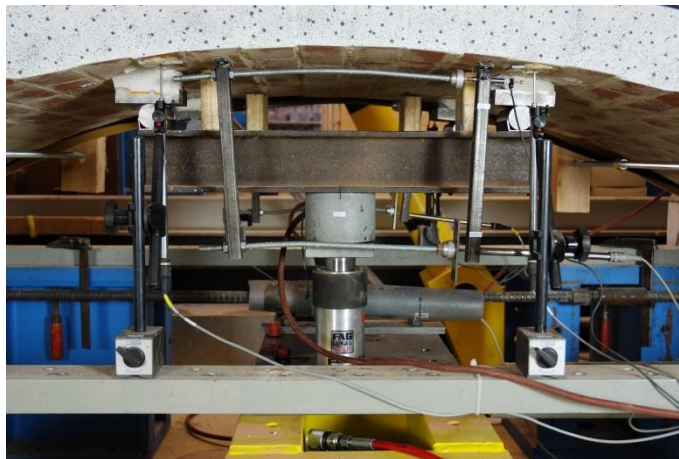
Ansicht Versuchsgewölbe

Bild 2: 2_Erddruckmesspanel.jpg



Sensorpanel zur Messung horizontaler Erddrücke über dem Gewölbescheitel und Folienauskleidung zur reibungsarmen Begrenzung der Gewölbeüberschüttung

Bild 3: 3_Unterstuetzungskonstruktion_Gewoelbe.jpg



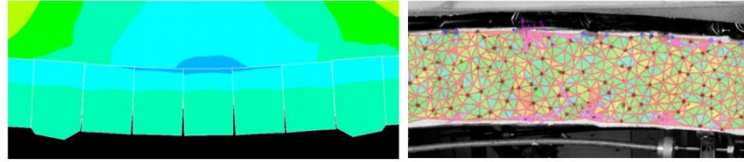
Temporäre Gewölbeunterstützung und Konstruktion zur Krümmungsmessung

Bild 4: 4_Versagen_Intrados.jpg



Versagensbild des Gewölbes im Drittelspunkt

Bild 5: 5_Vergleich_FE_Fotogrammetrie.png



Vergleich klaffender Fugen im Scheitelbereich bei 64 kN Versuchslast; links: FE-Berechnung; rechts: Ergebnisse der 2D-Fotogrammetrie Versuch 3