

Ermittlung mechanischer Eigenschaften von Tontopfmauerwerk an Kleinproben

L.-D. Fiedler, G. Kapphahn; ifem Leipzig

Einleitung:

Die Wiederherstellung des Neuen Museums auf der Museumsinsel in Berlin ist eine Aufgabe von hohem kulturhistorischen Wert und denkmalpflegerischem Anspruch.

Im Ergebnis wird eine Lösung gefordert, die sowohl dem Schutz des Denkmals dient, als auch den funktionalen und bautechnischen Anforderungen an heutige Museumsbauten genügt. Die Stiftung Preußischer Kulturbesitz, vertreten durch das Bundesamt für Raumordnung und Bauwesen als Bauherr und die Ingenieurgruppe Bauen Karlsruhe als Koordinator haben frühzeitig erkannt, dass experimentelle Untersuchungen zum Tragverhalten sowohl an der historischen Substanz als auch an den neuen Materialien für den Wiederaufbau erforderlich sind.

Mit diesen Untersuchungen wurde Prof. Steffens vom Institut für experimentelle Statik an der HS Bremen und das Institut für experimentelle Mechanik (ifem) an der HTWK Leipzig beauftragt.

Besondere Beachtung kommt den historisch einmaligen Tontopfgewölbedecken zu.

Der Komplex der experimentellen Untersuchungen zur Ermittlung des Tragverhaltens der historischen Substanz und zur Optimierung der Materialien für den Wiederaufbau zerstörter Deckenbereiche umfasst neben Belastungsversuchen an historischen Decken (s. Vortrag 8) die Untersuchung von neuen Tontöpfen verschiedener Hersteller und von gemauerten Kleinproben zur Ermittlung von Materialkennwerten sowie zur Optimierung der Materialzusammensetzung und Herstellungstechnologie.

Dabei sind denkmalpflegerische Aspekte hinsichtlich der verwendeten Substanzen, Form, Farbe, Größe der Tontöpfe etc. zu berücksichtigen.

Belastungsversuche an gemauerten Probegewölben sollen u.a. zeigen, dass die bautechnischen Forderungen an moderne Museumsbauten erfüllt werden.

1. Grundlagenversuche an Tontöpfen

Zur Optimierung und Auswahl der für den Wiederaufbau zu verwendenden Tontöpfe waren zunächst Untersuchungen an Töpfen verschiedener Hersteller und Herstellungstechnologien im Hinblick auf Materialkennwerte wie Maßhaltigkeit, Dichte, Wasseraufnahme und Porosität durchzuführen. Darüber hinaus sollte ein geeignetes Verfahren zur Ermittlung eines Materialkennwertes für die Festigkeit gefunden werden.

Es ergaben sich zum Teil deutliche Abweichungen von den Vorgaben hinsichtlich der Geometrie der Töpfe. Insbesondere wiesen die Wandstärken der Töpfe zwischen einzelnen Herstellern starke Schwankungen auf (zw. 3-12mm, Sollwandstärke 7mm).

Hinsichtlich Geometrie und Farbe wiesen einzelne Töpfe starke Schwankungen auf, was sich zum Teil auch in den Kennwerten für Porosität und Wasseraufnahme niederschlägt.

1.1 Druckfestigkeit

Für die Tontöpfe wurde ein Prüfverfahren benötigt, welches einen objektiven Materialkennwert für die Festigkeit liefert.

Als geeignet erwies sich letztendlich eine Scheiteldruckprüfung an 65mm breiten Kreisringen, wozu eine Versuchseinrichtung in Anlehnung an DIN 1230 Teil 2 (Bild 1) geschaffen wurde. Die Abbildung 1 zeigt den DIN-Vorschlag und Abbildung 2 die realisierte Einrichtung.

Dabei wird der Ring auf einem V-förmigen mit Gummi belegten Auflageklotz aus Aluminium positioniert und mit einer Linienlast (mit Gummi belegter Aluminiumstreifen) beansprucht. Dieser Streifen ist in Querrichtung beweglich angeordnet, um Schwankungen im Ringdurchmesser besser ausgleichen zu können. Aus diesem Grund, zum Abbau von Spannungsspitzen und um eine parallele Lasteinleitung zu gewährleisten, wurde an der Probe ein Gipsausgleich geschaffen. Die Versuche wurden an einer servohydraulischen 10kN-Prüfmaschine der Firma WPM-Leipzig durchgeführt. Es wurden weggesteuerte Versuche mit einer Belastungsgeschwindigkeit von 0,1mm/s gefahren. Das Last-Verformungsbild eines vollständigen Versuches zeigt Abbildung 3.

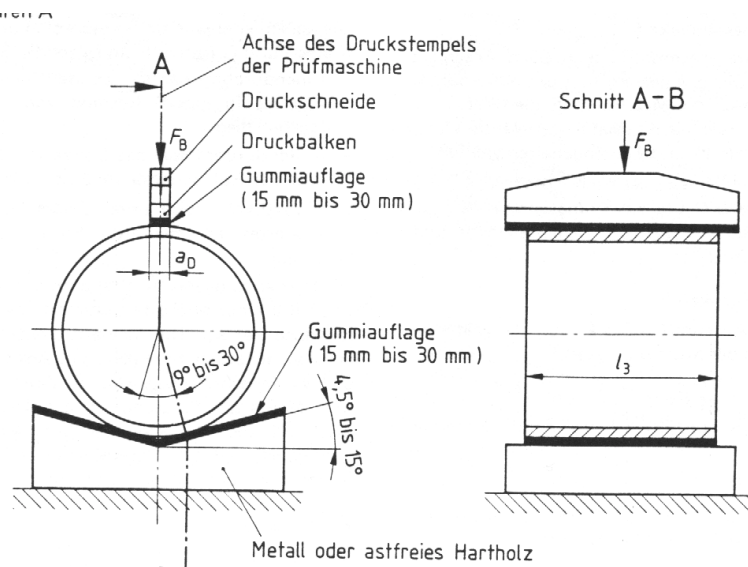


Abbildung 1 Versuchsanordnung laut DIN 1230 Teil 2

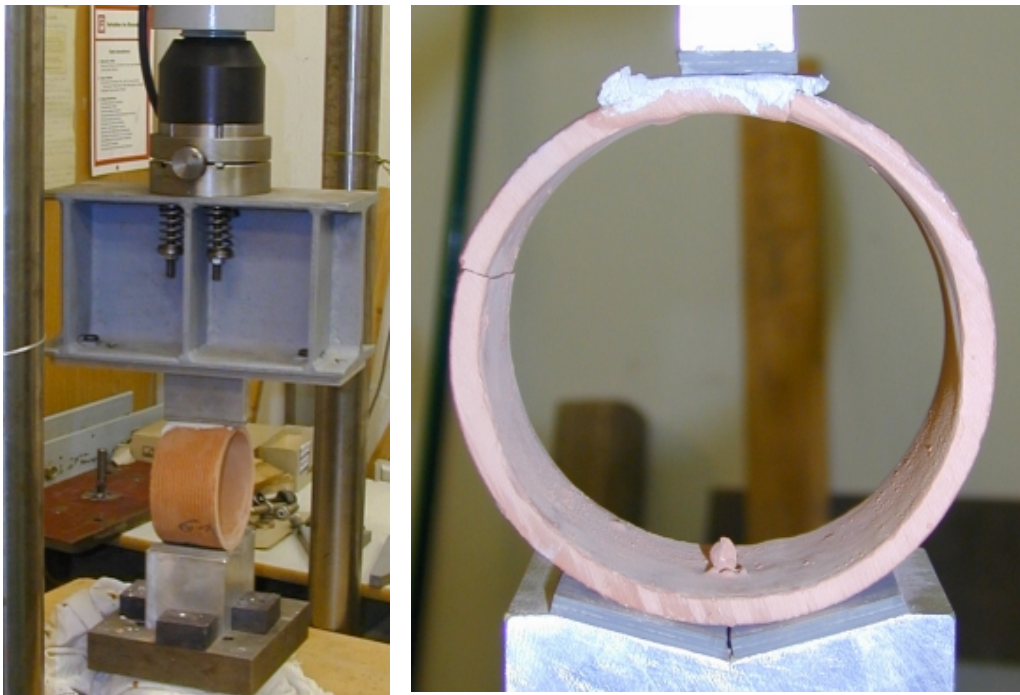


Abbildung 2 Realisierte Versuchseinrichtung (links), eingespannte Probe mit erstem Riss (r)

Pro Versuch wurden die Bruchlast F , der Ringdurchmesser d und die Wandstärke ermittelt.. Aus den Messwerten wurde die Biegezugnormalspannung σ unter der vereinfachenden Annahme einer Zwei-Punkt-Belastung ermittelt.

$$\sigma = \frac{3 \cdot F \cdot d}{4 \cdot t^2 \cdot b} = \frac{3 \cdot F \cdot d}{260 \cdot t^2}$$

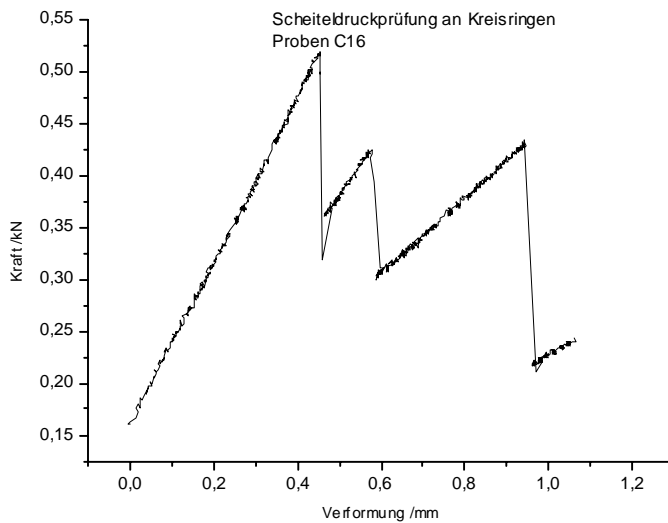


Abbildung 3 Last-Verformungsbild bis zum Bruch bei Wegsteuerung

Die Ergebnisse zeigen eine bessere Vergleichbarkeit der Proben mit unterschiedlichen Wandstärken (s. Tabelle 1).

Tabelle 1: Zusammenfassung der Ergebnisse der Scheiteldruckprüfung

Topfart	Bruchkraft /kN	Biegezugspannung / Nmm ²	Mittlere Wandstärke /mm
Crinitz C16	0,54	12,02	8,27
Crinitz C18	1,00	16,28	9,64
Crinitz C24	2,08	30,65	10,16
Glindow G16	0,52	18,57	6,29
Glindow G18	0,57	20,36	6,18
Glindow G24	0,55	19,43	6,33
Velten V16	0,30	18,29	4,82
Velten V18	0,30	21,48	4,52
Velten V24	0,16	13,38	4,21

Das modifizierte Scheiteldruckverfahren hat sich als tauglich erwiesen und kann sowohl für die Topfauswahl als auch für eine spätere Qualitätskontrolle herangezogen werden.

2. Belastungsversuche an Kleinproben

Neben den Grundlagenuntersuchungen zu den Materialeigenschaften der Tontöpfe waren Grundlagenversuche an Tontopf- Kleinproben als Basis zur Tragwerksplanung beim Wiederaufbau der beschädigten bzw. zerstörten Tontopf- Deckenbereiche durchzuführen. Dadurch sollen Daten für das Last- Verformungsverhalten, die Festigkeiten und Steifigkeiten aber auch Erfahrungen über den Herstellungsprozess des Tontopf- Mauerwerks gesammelt werden. Nicht zuletzt sollen diese Versuche helfen die Mörtelrezeptur und den Tontopf zu optimieren.

2.1 Versuchskonzept

Es wurden Belastungsversuche an Kleinproben in Anlehnung an die in /1/ beschriebenen Versuche an historischem Material vorgesehen, allerdings mit wesentlich verfeinerter Messtechnik und unter Variation der Belastungsart. Dazu wurden Versuche mit zentrischer Lasteinleitung mit und ohne Querdehnungsbehinderung sowie exzentrischer Lasteinleitung mit Querdehnungsbehinderung durchgeführt.

Zur Lasteinleitung dienten zwei stählerne Lasteinleitungsplatten mit eingefrästen Nuten zur Aufnahme eines Stabstahles für die Eintragung einer Linienlast.

Die Querdehnungsbehinderung wird über seitlich angeordnete MSH-Profile realisiert, welche von 4 Ankerstangen gehalten werden. Die Querkräfte können mittels DMS mit hoher Genauigkeit anhand der Dehnungen im verjüngten Teil der Ankerstangen gemessen werden (vgl. Abb.4).

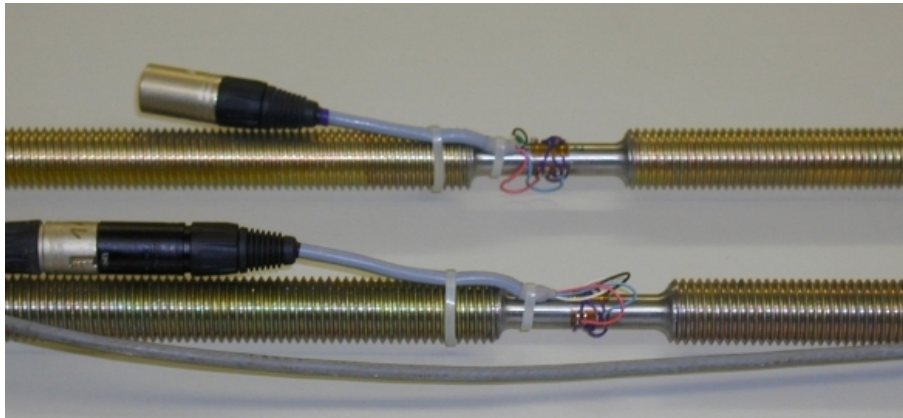


Abbildung 4 Gewindestangen mit DMS zur Messung der Querkräfte.

Durch doppellagige NOFRI-Gleitfolien wurde die Dehnungsbehinderung am Rand parallel zu den Stahlflächen verringert.

Die Abbildungen 5 und 6 zeigen den realisierten Versuchsaufbau. Messtechnisch erfasst wurden beidseitig die Längs- und Querverformung über einen Messbereich von 450mm bzw. die Querkraft. Weiter wurden Schallemissionsmessungen zur Ermittlung irreversibler Strukturänderungen durchgeführt. Die Versuche erfolgten kraftgesteuert.

2.2 Ergebnisse

Tabelle 2 fasst die Mittelwerte der Bruchkräfte und Spannungen für die untersuchten Topfarten zusammen. Abbildung 7 zeigt ein Last-Verformungsdiagramm. Vergrößert dargestellt ist der untere Lastbereich. Hier finden bei ca. 80kN erste Lastumlagerungen und der Abbau von Spannungsspitzen durch Rissbildung statt, was anhand der Schallemissionsmessungen nachgewiesen werden konnte und sich außerdem in einem Lastabfall um ca. 20kN äußert.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Untersuchungen sowohl an den Tontöpfen als auch an den Kleinprobekörpern eine gute Basis für numerische Analysen darstellen. Sie haben gezeigt, dass und wo noch Verbesserungen an den Materialien notwendig und möglich sind.

Die Versuche werden mit verbesserten Töpfen fortgesetzt, die dann auch für ein Probegewölbe Verwendung finden sollen.



Abbildung 5 Versuche mit zentrischer Belastung mit Querdehnungsbehinderung



Probekörper	Bruchkraft In kN	Bruchspannung N/mm ²
Versuche ohne Querdehnungsbehinderung		
zentrisch belastet		
Mittelwert C	127	1,09
Mittelwert G	111	1,07
Mittelwert V	106	0,99
Versuche mit Querdehnungsbehinderung		
zentrisch belastet		
Mittelwert C	248	2,11
Mittelwert G	237	2,29
Mittelwert V	279	2,39
Versuche mit Querdehnungsbehinderung		
exzentrisch belastet		
Mittelwert C	128	1,10
Mittelwert G	185	1,78
Mittelwert V	147	1,37

Tabelle 2: Zusammenfassung der Bruchkräfte und –spannungen für alle Belastungsarten

Abbildung 6 Versuche mit exzentrischer Belastung mit Querdehnungsbehinderung (Aufnahme nach dem Probenversagen)

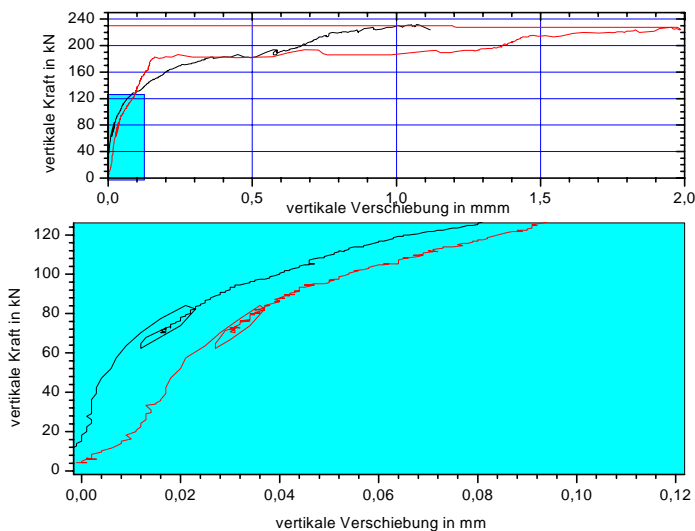


Abbildung 7 Last-Verformungsdiagramm, Probe mit Querdehnungsbehinderung

Literatur

/1/ J. Böttcher, G. Konrad, K. Lewerenz
Historische Bauweisen im Neuen Museum zu Berlin
Bauplanung – Bautechnik, Heft 9 1987