

A.10 Der Einfluß der Laternen nach unterschiedlichen Laternenentwürfen auf das Spannungs- und Verformungsverhalten des oberen Teils der Hauptkuppel der dresdner Frauenkirche.¹

Laternenlasten als Linienlasten an einem (oberen) Randglied einer Schale beeinflussen stets den Spannungs- und Verformungszustand in diesen Flächentragwerken. Laternenlasten auf Kuppeln mit positiver GAUßscher Krümmung, so wie es auch für den oberen Teil der Hauptkuppel der Frauenkirche zu Dresden gilt, vergrößern stets den Bereich der Ringzugspannungen, sie schieben also die (obere) Bruchfuge nach oben und erhöhen den Betrag der Spitzenwerte der Ringzugspannungen. Dem kann durch die Einlage geeigneter Ringanker in die Kuppelkonstruktion wirksam entgegengetreten werden.

In Meridianrichtung werden zwar die Normaldruckspannungen durch die Auflast vergrößert, gleichzeitig bilden sich aber - bei dickschaligen Kuppeln - zusätzliche Biegespannungen aus, die im ungünstigsten Fall auf der Außenseite der Kuppel die Meridiandruckspannungen überziehen können. Auf der Innenseite der Kuppel kann die Superposition der Normal- und der Biegedruckspannungen zu einer völligen Ausreizung des aufnehmbaren Spannungsniveaus führen.

Speziell für den oberen Teil der Kuppel der Frauenkirche soll der Einfluß der unterschiedlichen Laternenlasten von drei ausgewählten Laternenentwürfen auf die Radialverschiebungen, die Ringspannungen und die Vertikalspannungen vergleichend untersucht werden. Ausgewählt werden die Modelle mit den jeweiligen Gesamteigenlasten der Laternen:

- das Projekt mit einer schweren steinernen Laterne von GEORGE BÄHR (1735), 12341 kN,
- das Projekt mit einer steinernen Balustrade unter gänzlichem Verzicht auf eine Laterne von DAVID SCHATZ (1738), 5101 kN, und
- das Projekt mit der letztendlich ausgeführten leichten, steinernen Laterne mit hölzerner Haube von JOHANN GEORG SCHMIDT und JOHANN GOTTFRIED FEHRE (1743), 7505 kN.²

Im Ergebnis der computergestützten Berechnung³ zeigen erwartungsgemäß alle drei ausgegeben Zustände für die BÄHRsche Laterne das aus statischer Sicht ungünstigste und für das SCHATZsche Balustradenprojekt günstigste Spannungs- und Verformungsverhalten der Kuppel.

Das Vertikalspannungsbild der BÄHRschen Laterne weist auf der Außenseite oben das Auftreten von derartigen meridionalen Zugspannungen auf, die vom Sandsteinmauerwerk nicht mehr aufgenommen werden können und hier zu einer - allerdings lokalen - Schadensbildung geführt hätten. Noch größere Probleme lassen für dieses Projekt die Bilder der Radialverschiebungen und der Ringspannungen erkennen. Die großen Radialverschiebungen von bis zu +0,20 mm im Bereich unterhalb der obersten Öffnungsreihe gehen einher mit Ringzugspannung von bis zu +0,50 N/mm² im ungerissenen Zustand. Die Werte der vom Sandstein aufnehmbaren Zugspannungen verdeutlichen aber, daß sich hier Risse in meridionaler Richtung - entsprechend dem Gleichnis von der zu

¹ Vgl. Abschnitt 3.8.

² Vgl. Bild 3.8.2 und Bild A.10.1.

³ Zur FEM-Berechnung werden die Eigenlasten der Laternen jeweils gleichmäßig entsprechend der zugehörigen Elementbreite auf der äußeren Knotenreihe des oberen Druckringes verteilt. Im unteren - für diese Betrachtung unrelevanten - Bereich erhielt die Hauptkuppel eine vereinfachte Lagerung, indem der Tambour zylindrisch verlängert und an dessen Fuß alle Knoten fest gelagert werden. Der Einfluß der Laternenlast kann in diesem Bereich als abgeklungen angesehen werden, der verlängerte Tambour ermöglicht zugleich eine elastische Stützung des eigentlich zu betrachtenden Kuppelabschnittes.

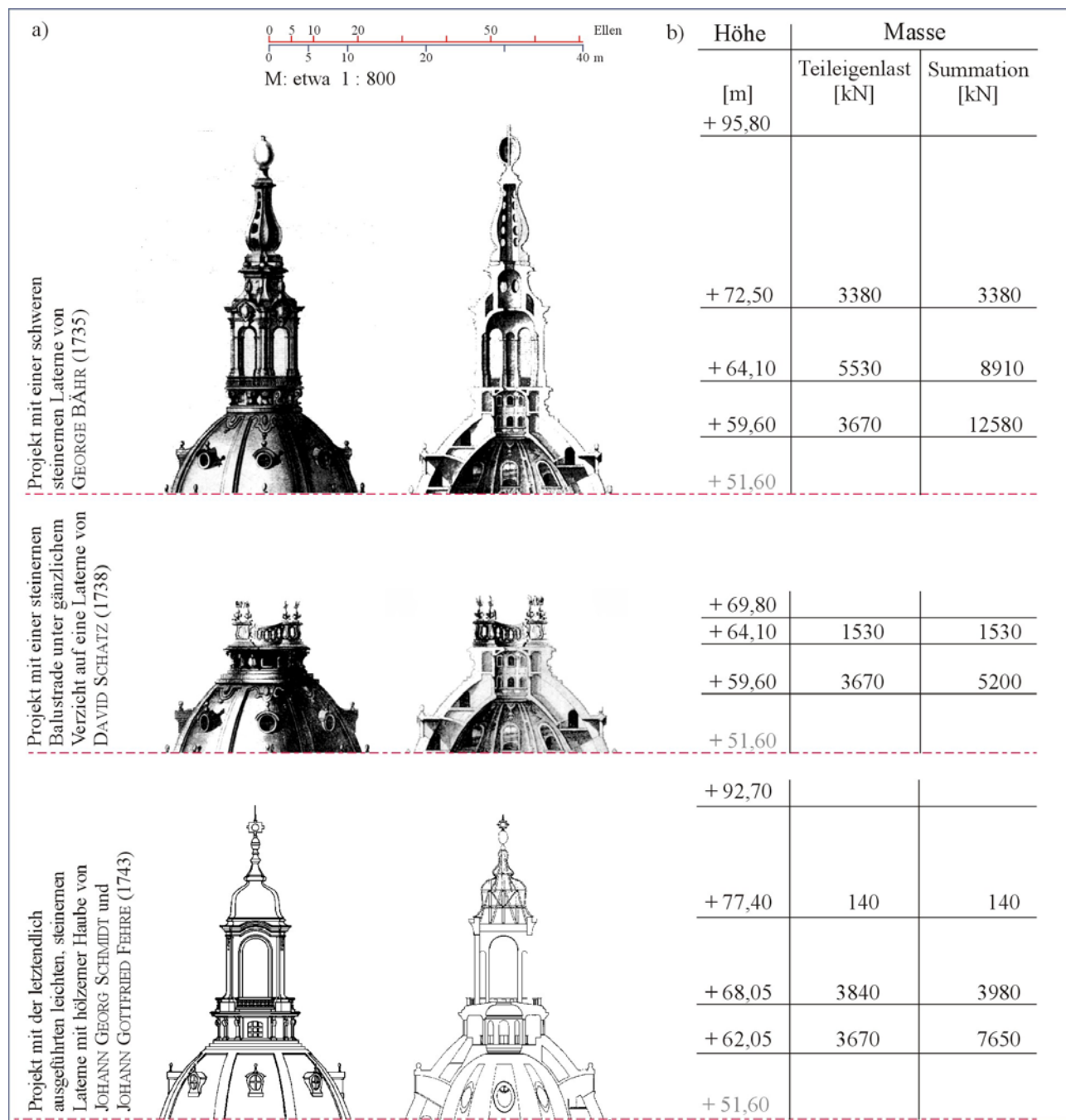


Bild A.10.1: Gegenüberstellung ausgewählter Laternenprojekte für die dresdner Frauenkirche.

a) Ansicht und Querschnitt der Laternenprojekte.

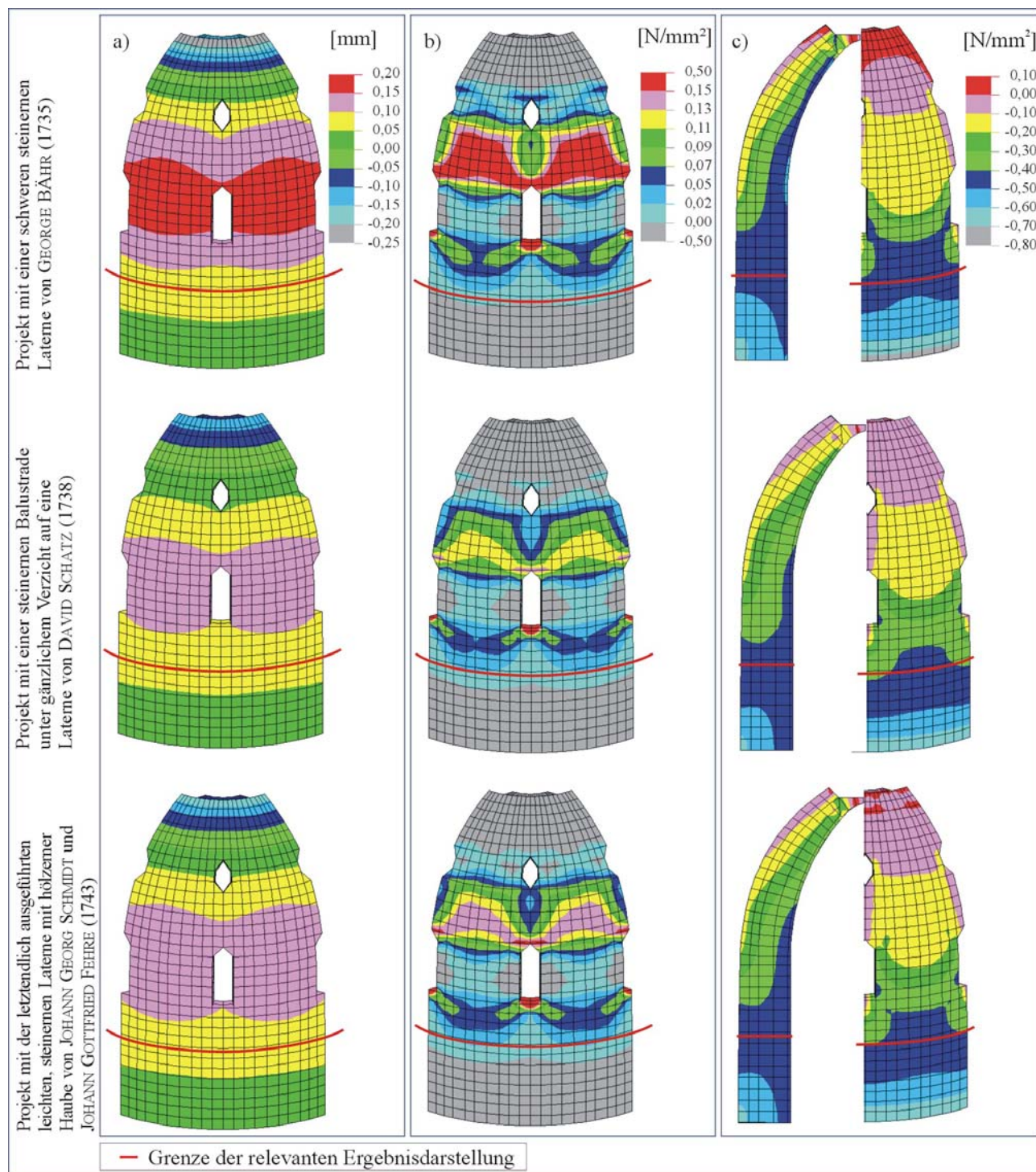
b) Höhenentwicklung und Angabe der Eigenlasten.

schälenden Apfelsine - einstellen werden. Diese Reißbildung ist deutlich größer als bei den beiden anderen Modellen⁴, sie führt dazu, daß die Kuppel ihre Flächentragwerkwirkung verliert. Unter Berücksichtigung der von BÄHR eingelegten Ringanker in der Kuppel⁵ bleibt es zu erwarten, daß die Frauenkirche mit der großen steinernen Laterne⁶ prinzipiell standsicher gewesen wäre. Die potentiell schwerwiegenden lokalen Schädigungen, die mit diesem Laternenprojekt verbunden sind, hätten Auswirkungen auf den gesamten Bau und dessen dauerhafte Standsicherheit nach sich

⁴ Vgl. Bild A.10.2.

⁵ Vgl. Bild 3.7.13.

⁶ Vgl. Bild 3.8.2 a und b.

Bild A.10.2: Gegenüberstellung ausgewählter Laternenprojekte für die dresdner Frauenkirche.⁷

- Radialverschiebungen.
- Ringspannungen.
- Vertikalspannungen.

gezogen. Es kann die Aussage getroffen werden, daß die Wahrscheinlichkeit des Gesamtversagens der Tragstruktur der Frauenkirche, vor allem in einem Katastrophenfall, mit der Ausführung der BÄHRschen Laterne gestiegen wäre. Beispiele einer praktikablen Abtragung großer Laternenlasten unter Zuhilfenahme eines in der Kuppel eingestellten Kegelstumpfes waren freilich zu BÄHRs

⁷ Erstellung der Computeranalyse mit dem Programmsystem NISA. Vgl. auch Malaža, 1998.

Zeiten vorhanden, so im Baptisterium von Pisa oder in der Kuppel der St. Paul's Cathedral in London. Ob allerdings GEORGE BÄHR Kenntnis von diesen Bauten hatte, ist nicht nachweisbar.⁸

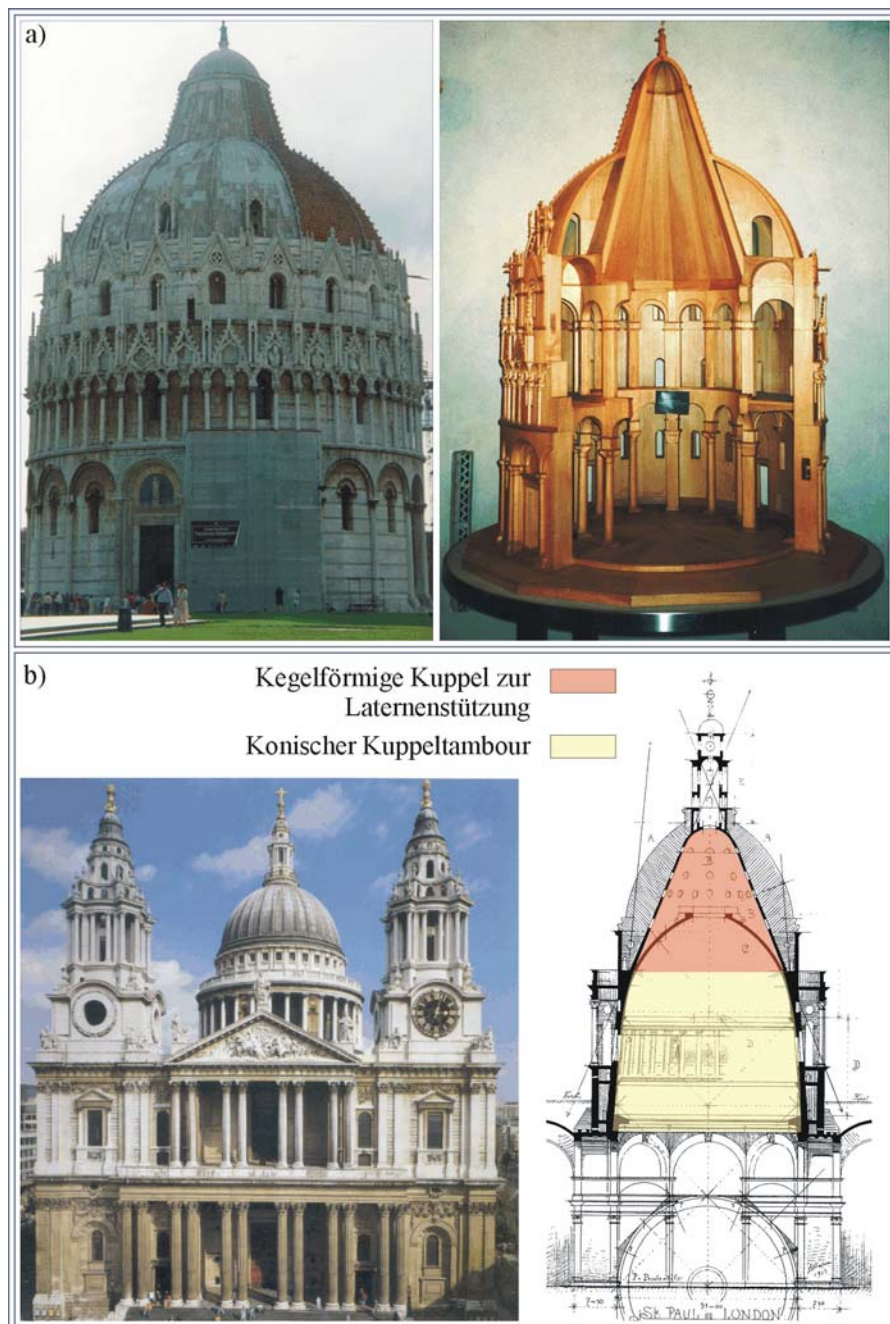


Bild A.10.3: Beispiele für die Anwendung eines zur Laternenstützung in der Kuppel eingestellten Kegelstumpfes.

a) Baptisterium in Pisa.⁹ Ansicht und Schnittmodell.

b) St. Paul's Cathedral in London.¹⁰ Ansicht und Schnitt.

⁸ Vgl. Bild A.10.3.

⁹ Ausführung der Kuppel um 1358 von einem unbekanntem Baumeister. Bau einer kegelförmigen Hauptkuppel, die auf einer zweigeschossigen Pfeilerarkade lagert. Sie trägt statt einer Laterne eine kleine Halbkreiskuppel. Die blech- und ziegelgedeckte Außenkuppel ist eine Sekundärstruktur, die am oberen Rand auf der Hauptkuppel aufliegt. Sie dient getreu der Funktionszuordnung der italienischen Renaissancekuppeln als Schutzkuppel.

¹⁰ Vgl. Abschnitt 2.1. In der Kuppel der St. Paul's Cathedral befindet sich zwischen der hölzernen Außenkuppel und der steinernen Innenkuppel eine spezielle Stützkonstruktion zur Abtragung der Laternenlast. Die reichlich perforierte steinerne Kegelschale, die oben von einer Kugelkalotte abgeschlossen wird, trägt die über 20 m hohe steinerne Laterne. Die kegelförmige Stützkuppel geht in einen konischen Tambour über, der von einem Ring emporstrebender Fenster durchbrochen wird. Der Tambour ruht auf Gurtbögen und mächtigen Vierungspfeilern.