

3.4 Der Abtrag der Kuppellast im Ersten Entwurf zur Frauenkirche.

3.4.1 Beschreibung der Lastabtragung und Ermittlung der Beanspruchungen in ausgewählten repräsentativen horizontalen Schnitffugen durch Plausibilitätsbetrachtungen.

Die Art der Abtragung der Lasten ist im Ersten Entwurf zur Frauenkirche mit Holzkuppel klar und einfach, sie unterscheidet sich prinzipiell nicht von denen der Vorgängerbauten in Schmiedeberg und Forchheim. Der Lastabtrag folgt dabei nicht der Architekturform des Bauwerkes, somit sind Strukturform und Architekturform nicht identisch.¹

Die vereinfachte Analyse der Strukturform zeigt, daß die Eigen- und Auflasten von Turm² und Kuppel durch die Strebenwerke³ innerhalb der hölzernen ausgeführten Kuppel punktförmig auf die umlaufende Mauer des Tambours geführt⁴, hier durch dessen Eigenlast gemehrt und mittels der Gurtbögen wiederum punktförmig gefaßt und auf die acht Hauptpfeiler übertragen werden.⁵ In den Hauptpfeilern laufen die Kräfte perpendicular nach unten zur Fundamentierung. Die Eigenlasten der aufgehenden Außenwände folgen gleichfalls dem Prinzip der perpendicularen Lastabtragung, die Spieramen haben aussteifende Wirkung.

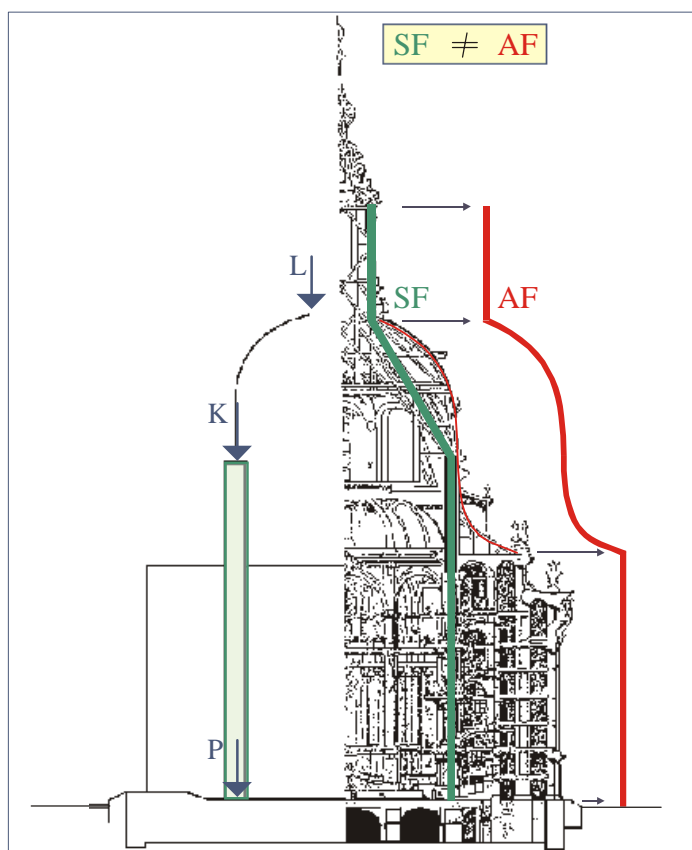


Bild 3.4.1: Lastabtrag im Tragwerk des Ersten Projektes der dresdner Frauenkirche sowie die Kennzeichnung von Architekturform (AF) und (vereinfachter) Strukturform (SF) im Aufriß.



Bild 3.4.2: Lastfluß in einem beispielhaft herausgegriffenen Strebenwerk unter Eigenlast. Kennzeichnung am Modell.⁶

¹ Vgl. Bild 3.4.1 und Bild 3.2.8.

² Laternenlast (*L*) im Bild 3.4.1.

³ Vgl. Bild 3.4.2.

⁴ Kuppellast (*K*), d.h. Last aus dem oberen Teil der Kuppel, im Bild 3.4.1.

⁵ Pfeilerlast (*P*) im Bild 3.4.1.

⁶ Vgl. Abschnitt 3.3.

Zu einer untersetzten Beschreibung der Lastabtrages der Kuppellasten im Ersten Projekt der dresdner Frauenkirche, wobei unter den Kuppellasten hier nur die des oberen Teils der Kuppel verstanden werden, wird das gesamte Bauwerk mit horizontalen Schnittfugen in Sektionen eingeteilt. Die an den Sektionsgrenzen auftretenden Schnittreaktionen können in ihrer Größenordnung gemäß der anliegenden Eigenlast festgehalten werden kann.⁷ Die Eigenlast ist für diese Konstruktion im globalen Maßstab als die mit Abstand bestimmende Lastgröße anzusehen. Die Ermittlung der Schnittreaktionen erfolgt unter Ausnutzung der Antivalenzbedingungen im vertikalen Fall.⁸

Die in Fuge (*a*) aufgestellte Laterne stützt sich mit ihrer Laternenlast (*L*) direkt auf den acht Turmstielen⁹ der Strebenwerke ab. Der obere Teil der Kuppel ist an der Fuge (*b*) zu unterteilen, um die Auflagerreaktionen (*S*) am Fußpunkt der Strebenwerke feststellen zu können. Die Haupt- und Nebenstrebenwerke¹⁰ werden dabei zu insgesamt jeweils zwei Strebenwerken pro Gebäuderichtung idealisiert. Die Auflagerreaktion am Fuß eines idealisierten Strebenwerkes beträgt für den Lastfall Eigenlast der Gesamtkonstruktion 293 kN. Die Strebenwerke rufen in ihren Spannriegeln horizontale Druckkomponenten und in ihren Spannbalken horizontale Zugkomponenten hervor, die in dem gewählten Modell betragsmäßig gleich sind.

Die Neigung der Rahmenscheiben zwischen den Fugen (*b*) und (*c*), die aus der Geometrie der Architekturform herrührt, führt im oktagonalen Balkenring bei (*b*) zu einer umlaufenden Druckkraft und im oktagonalen Balkenring bei (*c*) zu einer umlaufenden Zugkraft. Die in dem gewählten Modell auftretenden Ausmitten in den oktagonalen Balkenringen werden durch zusätzliche aussteifende Balken in den Ringebenen in der auszuführenden Konstruktion kompensiert.

Die Kuppellast (*K*), die an den Fußpunkten der Rahmenscheiben lotrecht in den steinernen Tambour eingetragen wird, steht für die Eigenlast der gesamten Holzkuppel einschließlich der Laterne, die 4541 kN beträgt. Für den Lastfall Eigenlast werden in den Fugen (*c*) und (*c'*) keine Horizontallasten aus der Holzkonstruktion der Kuppel an den Mauerwerksverband des Tambours übergeben.

Der oktagonale Kuppeltambour, die Innenkuppel und die Gurtbögen erzeugen, da aus Stein gefertigt,¹¹ mit 54575 kN eine bedeutend höhere Eigenlast als die Kuppel selbst. Die Gurtbögen fassen sämtliche bis an diese Stelle anliegenden Eigenlasten punktförmig über den Hauptpfeilerköpfen an Fuge (*d*) in der Kraft (*P_o*). Die Gurtbögen sind über dem Grundriß jeweils geradlinig ausgeführt, sie erzeugen damit Horizontalkomponenten ausschließlich in der Bogenebene. An den Kämpferpunkten der Bögen überlagern sich die Horizontalkomponenten zweier benachbarter Bögen wechselseitig und erzeugen Abtriebskräfte in grundrißradialer Richtung, die von den an dieser Stelle anschließenden Spieramen im Verbund mit dem umfassenden Mauerwerk aufgenommen werden können.¹²

⁷ Vgl. Bild 3.4.2. Auf dieses Bild beziehen sich sämtliche Bezeichnungen der Schnittfugen und der Lasten.

⁸ Die Eigenlast der Holzkonstruktion wird in der überschlägigen Ermittlung mit 8,0 kN/m³ angesetzt, wobei das Gesamtvolumen der Kuppelkonstruktion mit einem anteiligen Faktor für die Holzbalken von 8 % belegt wird. Die Dachhaut (Schalung und Kupferblech) erhält ein Eigenlastbild von 0,3 kN/m². Zur Ermittlung der Eigenlastanteile vgl. auch Schinke, 1996.

⁹ Hängesäulen der Strebenwerke.

¹⁰ Vgl. Abschnitt 3.3 mit Bild 3.3.12 und Bild 3.3.13.

¹¹ Das spezifische Gewicht des Sandsteinmauerwerkes wird mit 25,0 kN/m³ angenommen.

¹² Die Spieramen sind in Bild 3.4.3 nur als Projektion im Grundriß abgebildet. Vgl. dazu Bild 3.2.6.

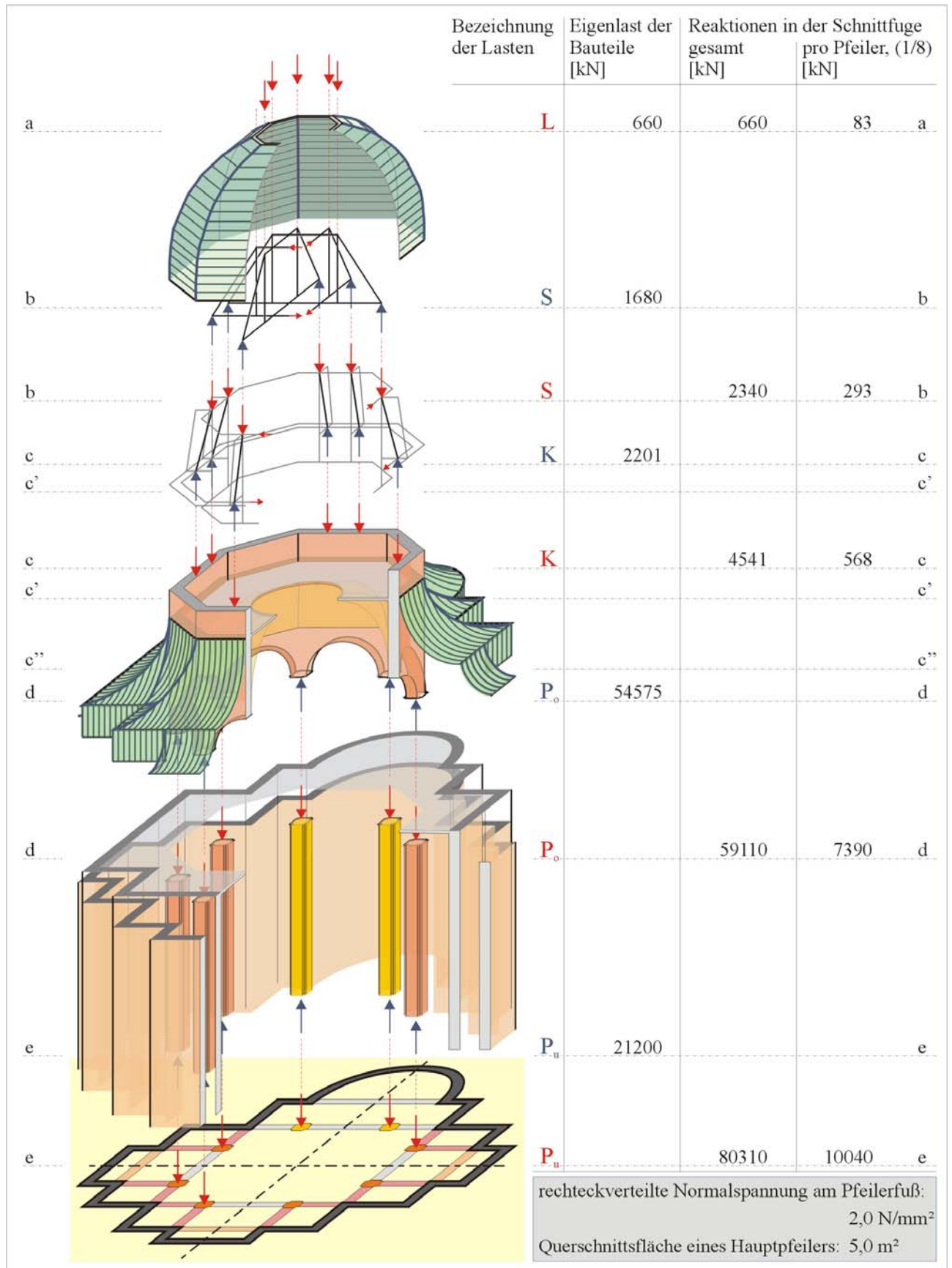


Bild 3.4.3: Untersetzung des Lastabtrages im Tragwerk des Ersten Projektes der dresdner Frauenkirche mit der Angabe der Eigenlast der für den Abtrag der Kuppellasten verantwortlichen Bauteile einschließlich der Aufsummierung der Eigenlastanteile und der rechteckverteilten Normalspannung am Pfeilerfuß.
 Perspektivische Explosionsdarstellung.

Die acht Hauptpfeiler führen sämtliche Lasten (P_o) perpendicular nach unten zum Fundamentkörper und vergrößern diese um ihre eigene Eigenlast von jeweils 2650 kN.¹³ Die rechteckverteilte Normalspannung am Pfeilerfuß in Fuge (e) beträgt 2,0 N/mm² bei einer vorhandenen Querschnittsfläche eines Hauptpfeilers von 5,0 m². Damit ist unter Berücksichtigung der perpendicularen Abtragung der Kuppellasten und der Dimensionierung der recht schlank gehaltenen Hauptpfeiler eine Spannungsverteilung erreicht, die zu einer nach heutigen Gesichtspunkten tolerierbaren Beanspruchung des Pfeilermauerwerkes in der zu erwartenden minderen Verarbeitungsqualität führt. Tragreserven in den Hauptpfeilern sind nur noch im begrenzten Maß aktivierbar.¹⁴

3.4.2 Der Spannungs- und Verformungszustand des Kuppeltragwerkes des Ersten Projektes zur dresdner Frauenkirche infolge Eigenlast und Wind.

Zur Beurteilung der prinzipiellen Ausführbarkeit des hölzernen Stabtragwerkes der Kuppel des Ersten Projektes wurden überschlägig Spannungs- und Verformungszustände unter Eigen- und Windlasten zu dessen statischer Überprüfung ermittelt. Das Tragwerk erfuhr dabei seine Abbildung als räumliches Stabwerk zur rechnergestützten Bearbeitung.¹⁵ Erforderlich war dazu eine Rekonstruktion der einzusetzenden Balkenquerschnitte, die im Analogieschluß zu verwandten, ausgeführten Tragwerken und auf der Basis eines Kostenanschlages von BÄHR vom 25. November 1723¹⁶ unternommen werden konnte.¹⁷ So kann für ausgewählte, repräsentative Balken eine Zuordnung der Querschnitte vorgenommen und dafür die zu erwartende Spannung im Balkenquerschnitt als Richtgröße angegeben werden.

Der ermittelte Verformungszustand weist beherrschbare Verformungen der Turmspitze bei Wind auf. Es muß eingeschätzt werden, daß der hier mitgeteilte Verformungswert infolge der beträchtlichen aussteifenden Wirkung der Brettschalung, die im vorliegenden Rechenmodell vernachlässigt wurde, in der ausgeführten Konstruktion deutlich unterschritten worden wäre.

Der Längskraftzustand widerspiegelt die sich prinzipiell in Strebenwerken einstellende Lastabtragung. Auch bei asymmetrischer Belastung bildet sich über die Druckstreben und über den Spannriegel ein Druckbogen aus, der sich auf den Rahmenscheiben absetzt. Der als Zugband wirkende Spannbalken hängt an den Hängesäulen und erzeugt in diesen Zugkräfte.

Wie zu erwarten, ist die Biegung der Balken innerhalb der Strebenwerke von untergeordneter Bedeutung, sie tritt nur innerhalb der Turmstiele auf, die biegesteif über die oberen Ansatzpunkte der Strebenwerke hinaus geführt werden müssen.¹⁸

Dem von GEORGE BÄHR in seinem Ersten Projekt vorgelegten Tragwerk der Kuppel der dresdener Frauenkirche kann damit in der rekonstruierten Fassung bescheinigt werden, bei einer sachgerechten Ausbildung der Knotenpunkte ausreichend tragfähig und gebrauchstauglich zu sein. Aus baustatischer Sicht ist damit dieser Entwurf ausführbar.

¹³ Die Eigenlast der acht Hauptpfeiler beträgt insgesamt 21200 kN.

¹⁴ In der Betrachtung nicht berücksichtigt werden die Eigenlasten des unteren Teiles der Kuppel, der Spieramen und des Umfassungsmauerwerkes.

¹⁵ Parallel dazu wurde eine Abbildung des Tragwerkes als ebenes Stabwerk zur Erstellung einer Handrechnung zur Gewinnung einer Plausibilitätskontrolle vorgenommen. Die jeweils erzielten Ergebnisse zeigten innerhalb der gewählten Approximationsgrenzen eine gute Übereinstimmung. Vgl. Schinke, 1996.

¹⁶ Vgl. Sponsel, 1893, S. 78.

¹⁷ Zum Ergebnis der Zuweisung der Balkenquerschnitte vgl. Anhang A.8.

¹⁸ Vgl. Bild 3.4.4.

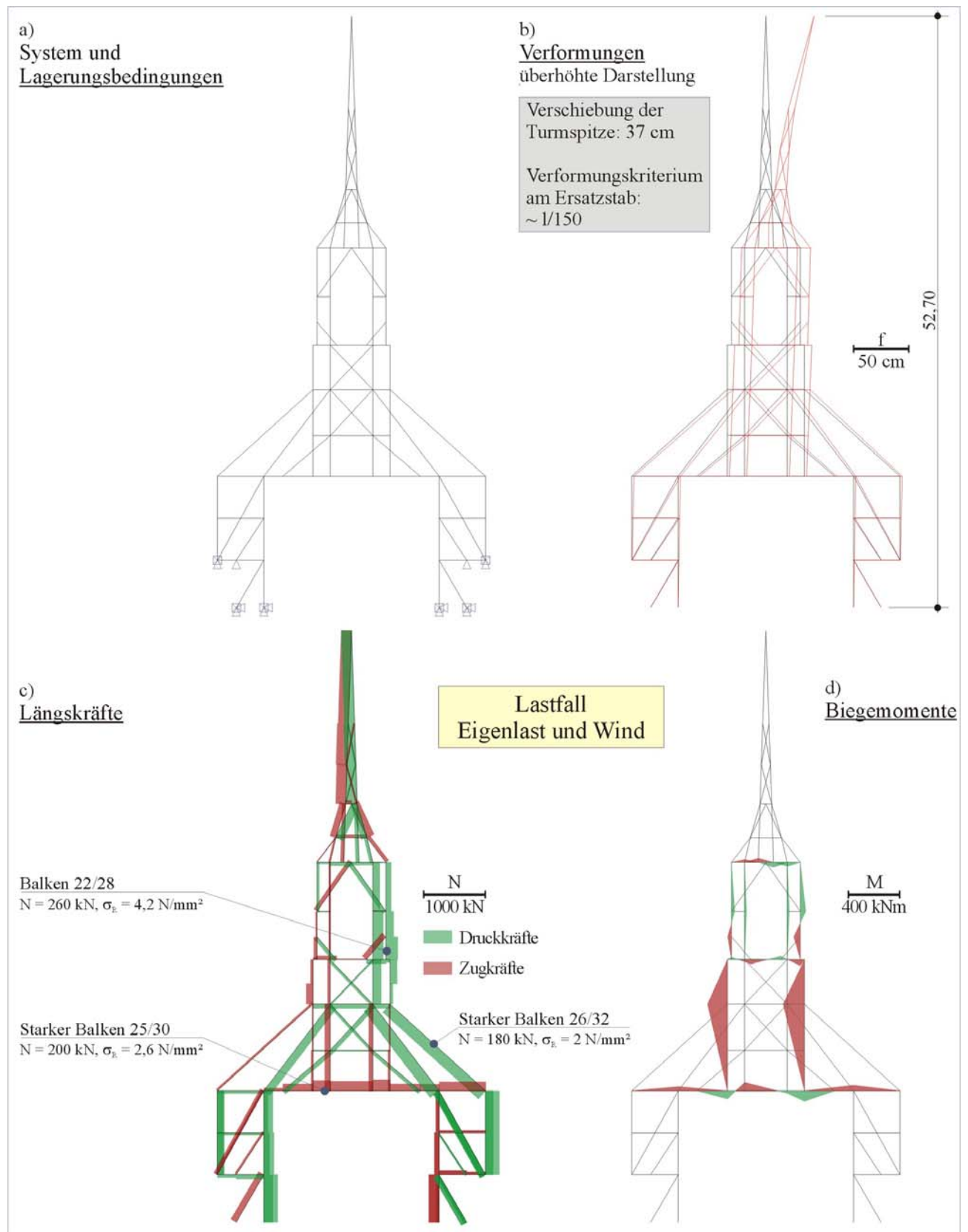


Bild 3.4.4: Ausgewählte Ergebnisse der Analyse des hölzernen Kuppeltragwerkes des Ersten Projektes.
a) Lage des Systemschnittes, Ansicht des Systems und Angabe der Lagerungsbedingungen.
b) Verformungsfigur infolge Lastfall Eigenlast und Wind.
c) Längskräfte infolge Lastfall Eigenlast und Wind.¹⁹
d) Biegemomente infolge Lastfall Eigenlast und Wind.

¹⁹ Zu den angegebenen Querschnitten der Stäbe vgl. Anhang A.8.