

### 3.9 Die Lastabtragung im vollendeten Bau der dresdner Frauenkirche.

Zeit seines Bestehens wurde der Bau der dresdner Frauenkirche<sup>1</sup> von einer starken Rißbildung begleitet, die wiederholt zur Besorgnis Anlaß gab und 1938 gar zur baupolizeilichen Sperrung des Bauwerkes führte. Von der letzten Sanierungsperiode, die in den Jahren 1938-1942 unter Leitung von GEORG RÜTH durchgeführt wurde, existiert eine Rißdokumentation, die Aufschluß über die sich eingestellten Kräfteverläufe im Bau liefern kann.<sup>2</sup> Im Ergebnis der Erarbeitung einer Systemidentifikation können qualitativ die Kräfteverläufe beschrieben werden, wobei zu berücksichtigen ist, daß diese Kräfteverläufe abhängig vom Ausmaß der eingetretenen Rißbildung sind.

In dem oberen Teil der Hauptkuppel stellt sich ein Lastabtrag ein, der für eine überhöhte Halbkugelhauptkuppel zu erwarten ist. In Meridianrichtung bauen sich Druckkräfte auf, während die Ringdruckspannungen unterhalb der Bruchfuge in Ringzugspannungen umschlagen. Diese können vom Mauerwerksverband nicht aufgenommen werden, so daß sich die bekannten Meridianrisse einstellen.<sup>3</sup> Die im Mauerwerk vorhandenen Ringanker nehmen die Ringzugkräfte auf, Zur Aktivierung dieser Kraftaufnahme bedarf es allerdings einer Ringdehnung. Diese ist vom Mauerwerk nicht aufnehmbar.

Der Abtrag der Hauptkuppellasten in dem von BÄHR errichteten Tragwerk ist gemäß der ausgeführten Planung<sup>4</sup> statisch unbestimmt, so daß sich die Kraftverläufe in Abhängigkeit von der Steifigkeitsbelegung der die Kuppel stützenden Bauteile einstellt. An der Kuppelstützung werden der Tambour, 56 Schwibbögen, 12 Spieramenköpfe im Anschluß an die Regelpfeiler und vier Spieramenköpfe auf Bögen im Anschluß an die Altarpfeiler beteiligt. Diese Konstruktionselemente stützen sich wiederum über die Gurtbögen auf die acht Hauptpfeiler, 16 Spieramen, zwei Apsispfeiler und das umfassende Außenmauerwerk.

Die statisch unbestimmte Kraftzerlegung erfolgt am oberen Schwibbogenansatz. Hier wird im ebenen Vertikalschnitt die Kuppellast ( $K$ ) in die drei Richtungen Tambour ( $K_1$ ), Schwibbogen-normalkraft ( $N$ ) und Druckringkraft ( $W$ ) aufgeteilt.<sup>5</sup> In Kenntnis der aus dem Bauwerk ablesbaren Geometrie der genannten Bauteile wird es leicht ersichtlich, daß die Hauptpfeiler einen großen Teil der Hauptkuppellasten anziehen werden.

Die Fußpunkte der aus Tambour und Schwibbögen bestehenden Konstruktion<sup>6</sup> können nicht als fest angesehen werden. Die Vertikalsteifigkeit der Hauptpfeiler ist dabei geringer als die der Spieramen und des Umfassungsmauerwerkes. In der Folge erfahren die Hauptpfeilerköpfe und die Gurtbögen eine stärkere Vertikaldeformation als die weiter außen liegenden Stützpunkte. Resultierend aus dem zwangsläufigen Auftreten der Horizontalkomponente ( $H$ )<sup>7</sup> weichen die Spieramen und die Umfassungsmauern an ihrem oberen Ende aus. Die sich einstellende Versagenskette führt zu Relativverschiebungen zwischen dem oberen und dem unteren Schwibbogenansatz, die von der Mauerwerkskonstruktion des Schwibbogens nicht aufgenommen werden können. Daher reißen die Schwibbögen – teilweise vollständig – durch<sup>8</sup> und entziehen sich so Last-

<sup>1</sup> Vgl. Bild 3.9.1.

<sup>2</sup> Vgl. Bild 3.9.2.

<sup>3</sup> Vgl. Bild 3.9.2 b.

<sup>4</sup> Die ausgeführte Planung sei die Planung, auf deren Grundlage die Frauenkirche errichtet wurde.

<sup>5</sup> Vgl. Bild 3.9.3.

<sup>6</sup> Punkte (1) und (2) in Bild 3.9.3 b und c.

<sup>7</sup> Die zugehörige Vertikalkomponente ist die Kraft ( $K_2$ ). Vgl. Bild 3.9.3 a.

<sup>8</sup> Vgl. Bild 3.9.3 c und Bild 3.9.4.

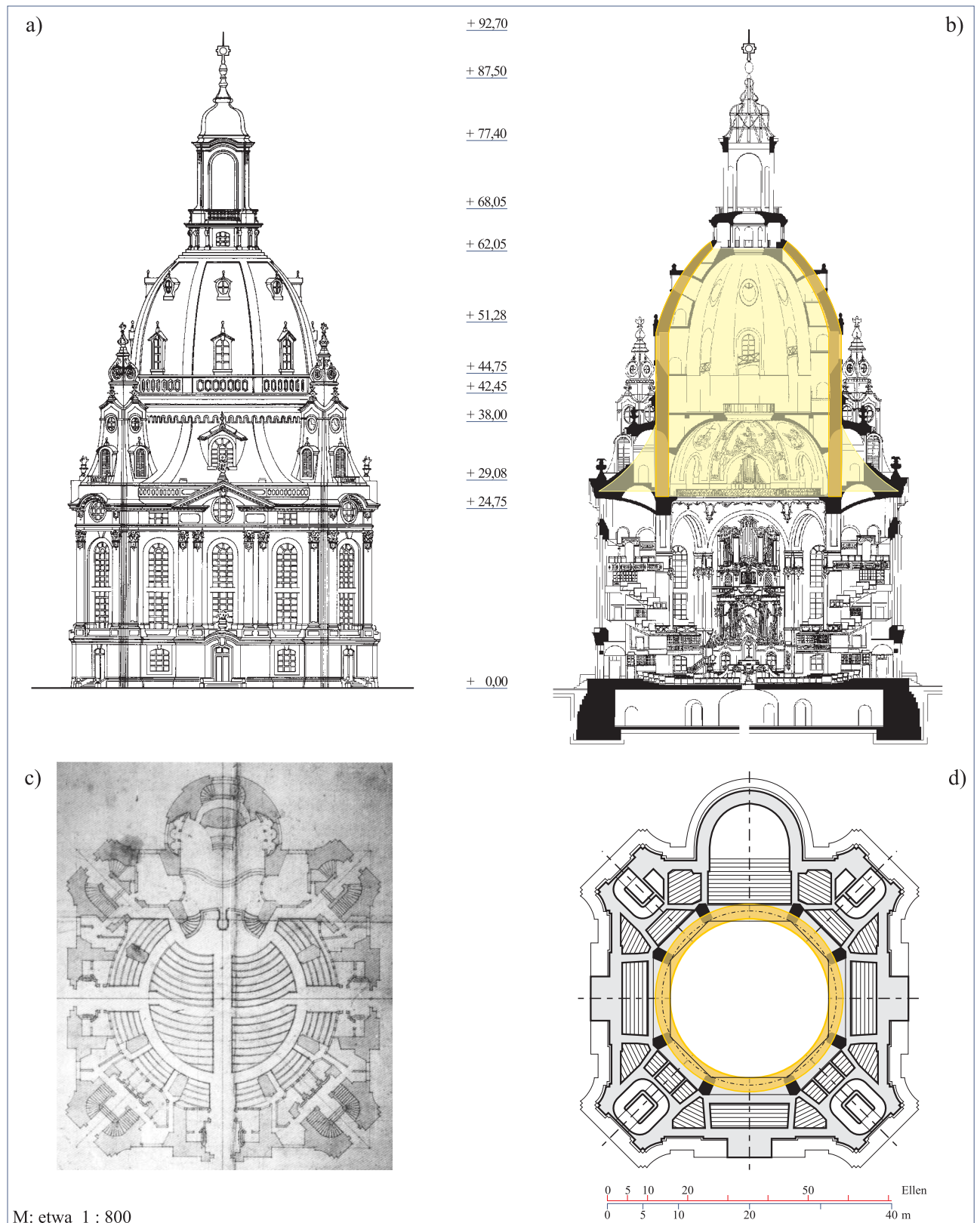


Bild 3.9.1: Der letztendlich nach der ausgeführten Planung von GEORGE BÄHR errichtete Bau der dresdner Frauenkirche mit der Laterne nach der Planung von JOHANN GOTTFRIED FEHRE und JOHANN GEORG SCHMIDT.

- a) Ansicht von West.
- b) Querschnitt.
- c) Grundriß.
- d) Horizontalschnitt am Fuß der Hauptkuppel.

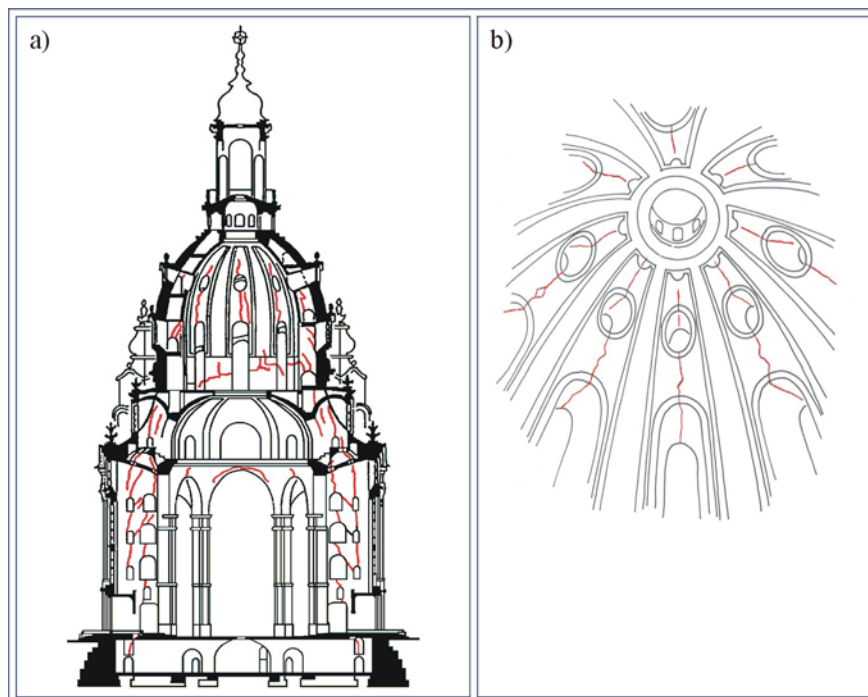


Bild 3.9.2: Rißkartierung der dresdner Frauenkirche, entstanden im Zusammenhang mit der Sanierung in den Jahren 1938-1942 unter Leitung von GEORG RÜTH<sup>9</sup>.

a) Querschnitt.

b) Risse in Meridianrichtung im oberen Teil der Hauptkuppel, aufgenommen von CURT SIEGEL.<sup>10</sup>

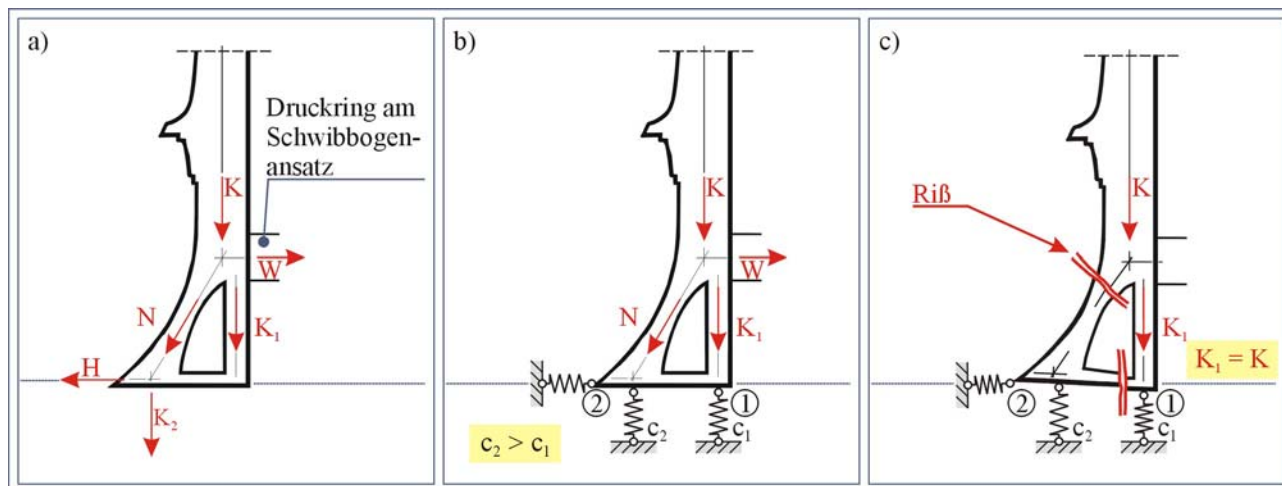


Bild 3.9.3: Statisch unbestimmte Kraftzerlegung am oberen Schwibbogenansatz.<sup>11</sup>

a) Kraftzerlegung.

b) Modellbildung unter Berücksichtigung der Steifigkeitsverhältnisse von Hauptfeilern, Spiegramen und Umfassungsmauerwerk.

c) Versagensfigur. Ableitung der Hauptkuppellast nur über die Hauptfeiler.

abtrag. Durch den Wegfall dieser Stütze reduziert sich die statisch unbestimmte Kraftzerlegung am Schwibbogenkopf auf einen bestimmten Fall. Die Kuppellast ( $K$ ) wird so kollinear in die Gurtbögen und weiter in die Hauptfeiler eingetragen.<sup>12</sup> Die damit einhergehende Erhöhung der Last in den

<sup>9</sup> GEORG RÜTH, 1880 –1945.

<sup>10</sup> Abbildung nach Siegel, 1960. Vgl. auch Siegel, 1994, und Büttner & Hampe, 1977.

<sup>11</sup> Darstellung auf der Grundlage der Zeichnung zu dem Gutachten von CHIAVERI. Vgl. Bild 3.8.4.

<sup>12</sup> Vgl. Bild 3.9.5 und Bild 3.9.6.

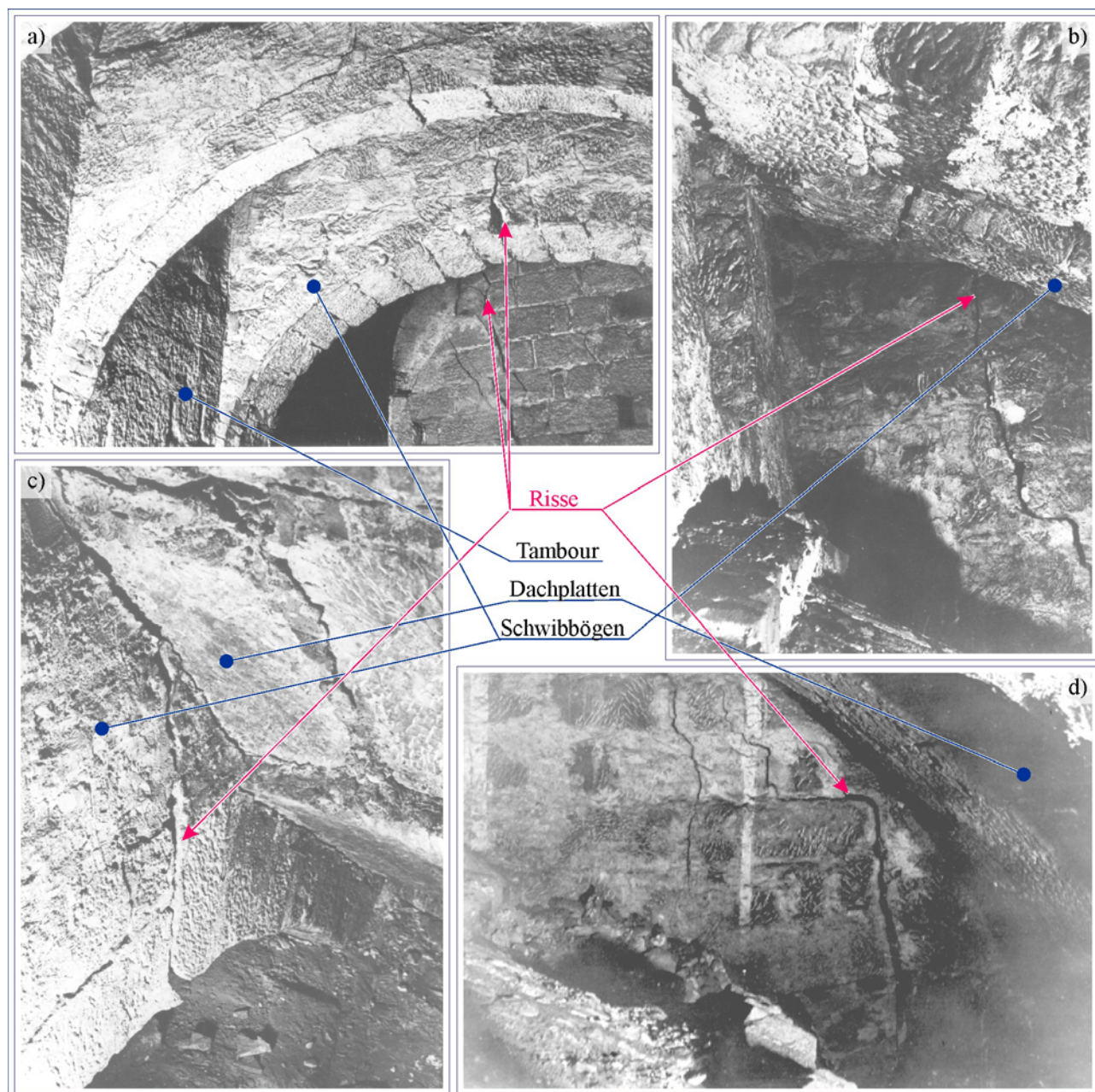


Bild 3.9.4: Auszug aus der fotografischen Schadensdokumentation aus der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts.

- a) Risse in den Schwibbögen und in einem Spieramenkopf (Verstrebungsmauer) (hinten).<sup>13</sup>
- b) Riß im Spieramenkopf.<sup>14</sup>
- c) Komplet durchgerissener Schwibbogen.<sup>15</sup>
- d) Riß im Mauerwerksverband eines Spieramenkopfes.<sup>16</sup>

<sup>13</sup> Auszug aus der Fotodokumentation des Landeskirchenamtes. Aufnahme vom 5. Oktober 1937, Signatur: Heft IV, Blatt 14; Titel: Gewölbe über III. Empore hinter dem Glockenturm. Zerstörter und abgebrochener Scheitel des Treppentragbogens (vorn), dahinter der steinerne Tragbogen, im Hintergrund die zersplitterte Verstrebungsmauer nach dem Turm.

<sup>14</sup> Auszug aus der Fotodokumentation des Landeskirchenamtes. Aufnahme vom 6. September 1937, Signatur: Heft IV, Blatt 2; Titel: Gewölbe bei Turm E unter dem Kuppelanlauf. Westseite. Links oben 5 cm gesenkte und 3 cm nach außen verschobene Auflagerrippe der Abdeckplatten des Kuppelanlaufes. Die dahinter liegende Auflagerrippe ebenfalls 3 cm auseinander gerissen. Im Hintergrund eine voll ausgemauerte Rippe mit unterer Durchgangsöffnung, von da mit durchgehendem Riss bis unter die Abdeckplatte. Unten das Ziegelgewölbe des Durchganges nach Turm E 3 cm von der Innenwand abgetrennt.

<sup>15</sup> Auszug aus der Fotodokumentation des Landeskirchenamtes. Aufnahme vom 22. September 1937, Signatur: Heft IV, Blatt 7; Titel: Auflagerwölbrrippen der Abdeckplatten des Kuppelanlaufes an der Südseite (Tür B) bei

Hauptpfeilern führt in diesen zu noch größeren Vertikalverformungen. Abplatzungen an den Hauptpfeilerrändern zeugen von auftretenden Querspannungen, die vom Mauerwerksverband nicht aufgenommen werden konnten. Unglückliche Fugenausbildung in den Hauptpfeilern verstärkten diesen Effekt<sup>17</sup>. Durch die großen Verformungsdifferenzen der Hauptpfeiler gegenüber den Spieramen rissen auch die Bögen zwischen beiden Bauteilen. Die Spieramenköpfe sind einschließlich der Spieramen in sich steifer als die Schwibbögen, sie vermögen daher mehr zur Kuppelstützung beizutragen. Ungeachtet dessen weisen auch sie eine starke Rißbildung auf.

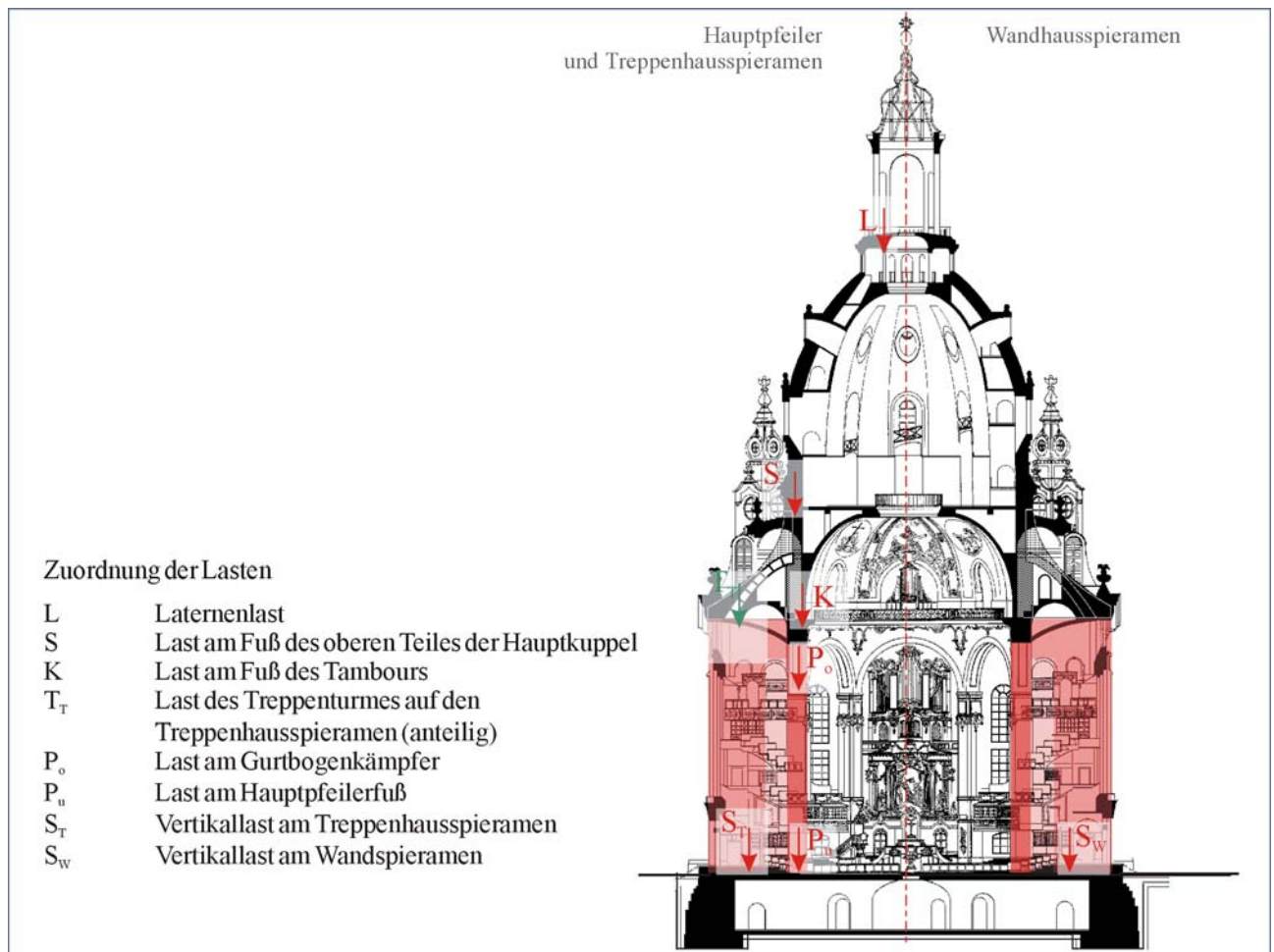


Bild 3.9.5: Abtrag der Hauptkuppellast ausschließlich über die Hauptpfeiler. Zuordnung der Lasten.

Nach Einstellung der Rißbildung können zwei Grenzzustände für den Abtrag der Hauptkuppellasten formuliert werden: Der Abtrag der Hauptkuppellasten ausschließlich über die

Turm A. Eingebrochene Abdeckplatte des Kuppelanlaufes, nunmehr frei hängend ohne Auflager, da Auflagerrippe 8 cm gesenkt ist und die untere Wölbsteine nur noch klemmen. Die Abdeckplatte in der Mitte des Bildes ringsum abgerissen.

<sup>16</sup> Auszug aus der Fotodokumentation des Landeskirchenamtes. Aufnahme vom 8. September 1937, Signatur: Heft IV, Blatt 2; Titel: Gewölbe bei Turm C unter dem Kuppelanlauf. Ostseite. Bis 5 cm breite Risse in der Verstrebmauer, zum Teil frei hängende Stücke, unter den Abdeckplatten des Kuppelanlaufes. Unten das Ziegelgewölbe des Durchganges ebenfalls von der Innenwand vollständig abgetrennt. Die Auflagergewölberippen entsprechend der obigen Risse an mehreren Stellen gerissen und z.T. freihängend.

<sup>17</sup> GEORGE BÄHR erzeugte Lastkonzentrationen an den Außenseiten der Hauptpfeiler, in dem er dort die Fugen sehr eng und exakt arbeitete. Vgl. Jäger, 1997.

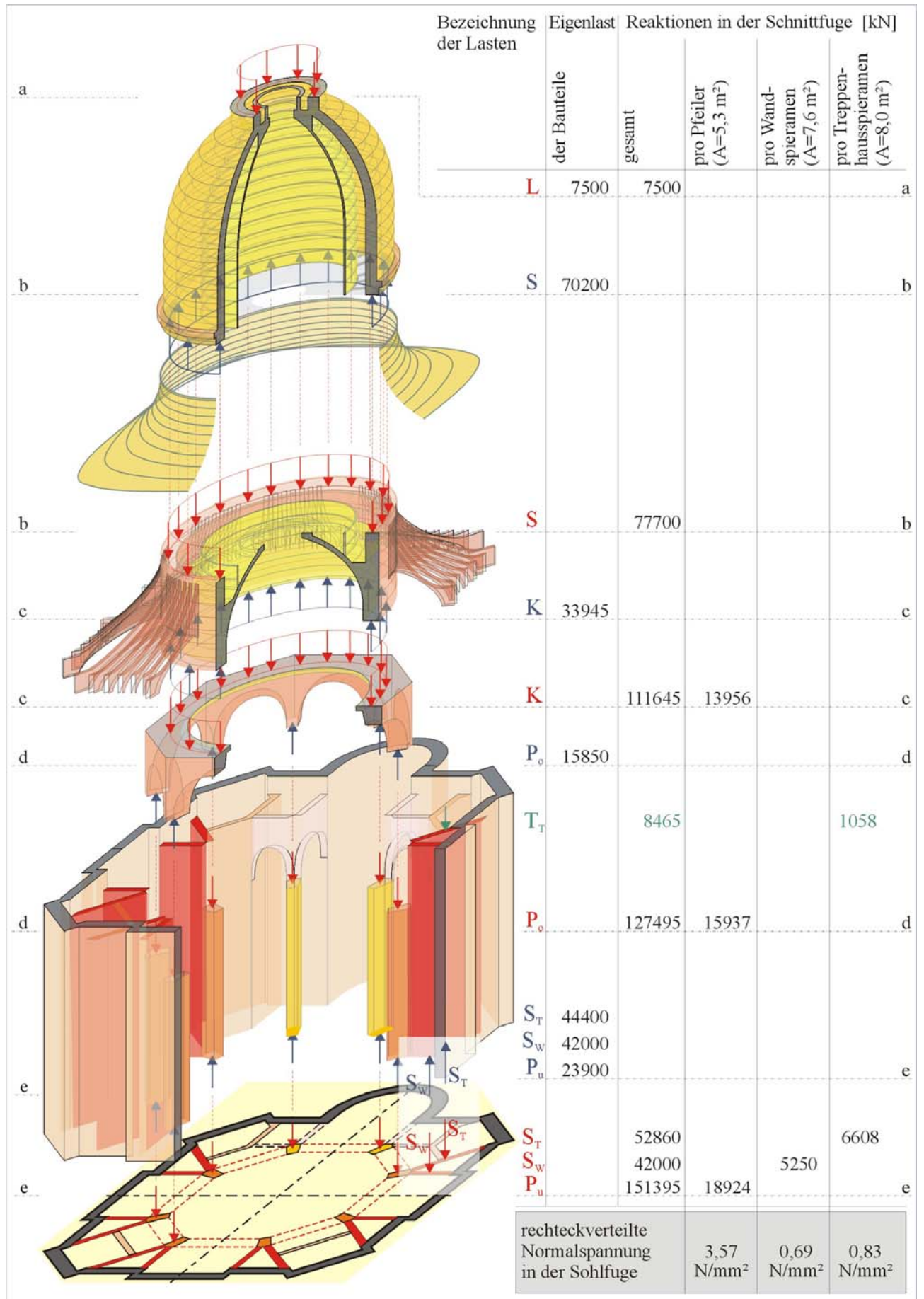


Bild 3.9.6: Abtrag der Hauptkuppellasten ausschließlich über die Hauptpfeiler. Angabe der Lasten.

Hauptpfeiler und der Abtrag der Hauptkuppellasten über die Spieramenköpfe, Spieramen sowie über die Hauptpfeiler.

Beim Abtrag der Hauptkuppellast ausschließlich über die Hauptpfeiler wurden die Spieramen nur von den Lasten des Treppenturmes belastet. Die Kräfte in der Fuge im Niveau Straße rufen rechteckverteilte Normalspannungen hervor, die in den Hauptpfeilern mit  $3,57 \text{ N/mm}^2$  an der Grenze der vom Gesteinsmauerwerk in der vorhandenen Qualität aufnehmbaren Beanspruchung liegen. Die Normalspannung in dem Spieramen ist entsprechend niedrig.<sup>18</sup>

Wenn für die Kuppelstützung unterstellt wird, daß sich die Spieramenköpfe und die Spieramen am Lastabtrag beteiligen, dann stellt sich ein komplizierterer Kräfteverlauf ein.<sup>19</sup> Die Aktivierung der Komponenten ( $S_{tov}$ ) und ( $S_{wov}$ ) bedingt gleichzeitig, daß die Horizontalkomponenten ( $S_{toh}$ ) und ( $S_{woh}$ ) am Fuß des Spieramenkopfes auftreten. Diese Horizontalkomponenten verschieben die Resultierende in der Fuge im Niveau Straße nach außen.<sup>20</sup> Die Normalspannung vergleichmäßig sich in der Folge geringfügig, sie beträgt nun im Pfeiler  $2,62 \text{ N/mm}^2$ . Zusätzlich wirken in dieser Fuge die Schnittreaktionen ( $S_{tuv}$ ) und ( $S_{wuv}$ ), die durch ( $S_{tov}$ ) und ( $S_{wov}$ ) hervorgerufen werden.<sup>21</sup>

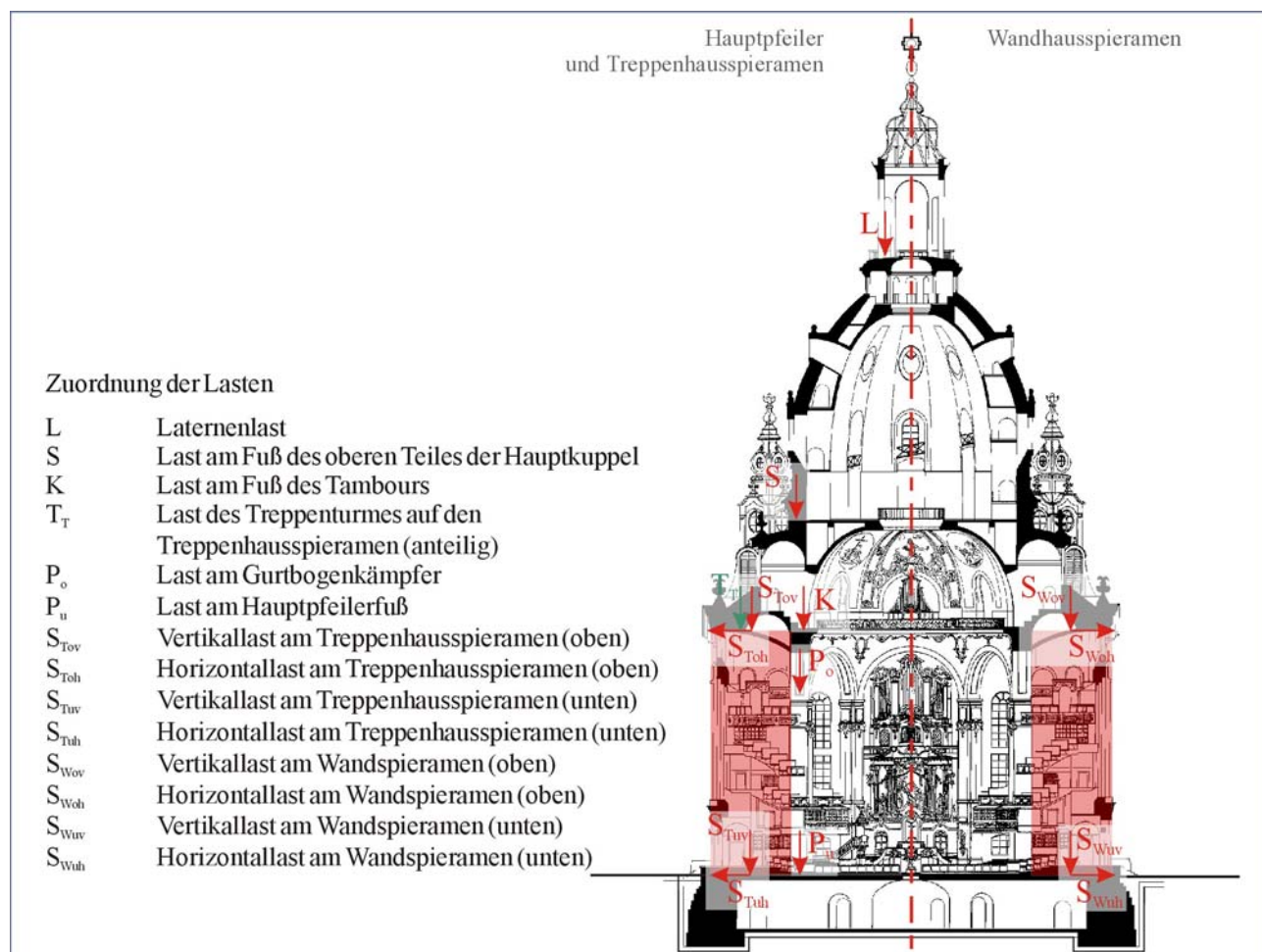


Bild 3.9.7: Abtrag der Hauptkuppellasten über die Hauptpfeiler, die Spieramenköpfe und die Spieramen. Zuordnung der Lasten.

<sup>18</sup> Vgl. Bild 3.9.6.

<sup>19</sup> Vgl. Bild 3.9.7 und Bild 3.9.8.

<sup>20</sup> Vgl. MalaBa, 1998.

<sup>21</sup> Vgl. Bild 3.9.8.

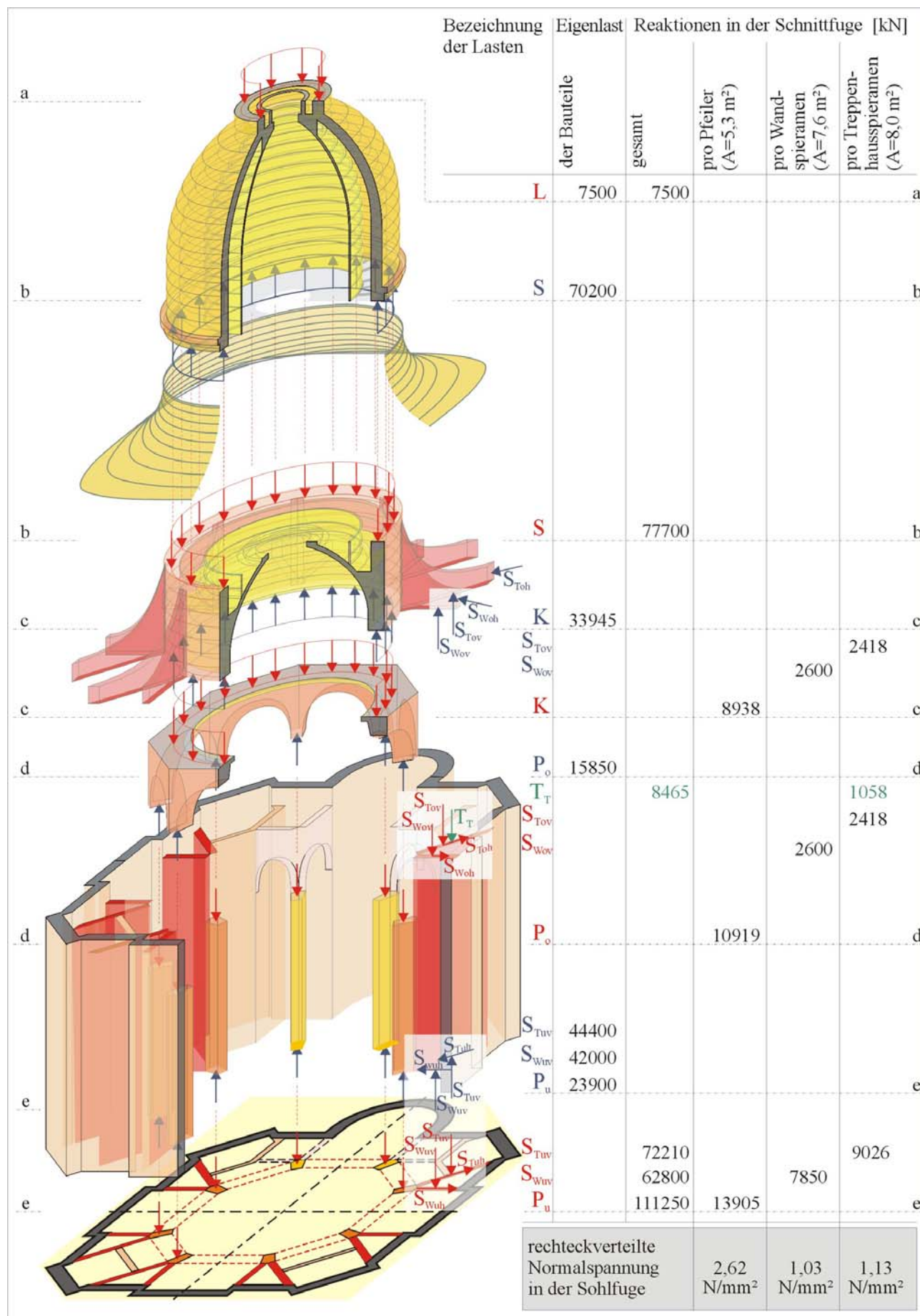


Bild 3.9.8: Abtrag der Hauptkuppellasten über die Hauptpfeiler, die Spieramenköpfe und die Spieramen. Angabe der Lasten und der rechteckverteilten Normalspannung in der Sohlfuge.