

# 11

# Bautechnik

Zeitschrift für den gesamten Ingenieurbau

82. Jahrgang  
November 2005  
Heft 11, S. 764-770  
ISSN 0932-8351

A 1556

Sonderdruck

**Gründungstechnische  
Aspekte beim  
Wiederaufbau  
der Frauenkirche**



# Gründungstechnische Aspekte beim Wiederaufbau der Frauenkirche zu Dresden

Die Frauenkirche in Dresden wies bis zu ihrer Zerstörung ständig Schäden auf, deren Ursachen auch in der Gründung bzw. im Baugrund vermutet wurden. Es wird das im Rahmen des Wiederaufbaus realisierte Gründungskonzept für die Kirche vorgestellt. Dieses Konzept basiert auf einer optimierten Lastabtragung auf die vorhandenen historischen Mauerwerksfundamente durch ein statisch verbessertes Tragwerk der wiederaufgebauten Kirche. Die wichtigsten Ergebnisse der vorausgegangenen Schadensanalyse werden dabei vorgestellt. Außerdem werden die hierfür notwendigen, umfangreichen geotechnischen Untersuchungen der Baugrundverhältnisse und der historischen Gründungselemente beschrieben. Schließlich werden die beobachteten Hebungen und Setzungen während der Entrümmern und des Wiederaufbaus ausgewertet und mit den prognostizierten Werten verglichen. Die im Gründungsbereich beim Wiederaufbau gemessenen, weitgehend gleichmäßigen Verformungen bestätigen das Tragwerks- und Gründungskonzept und die daraus resultierende hohe Standsicherheit dieses Teils der Kirche.

**Aspects on the foundation technique during the reconstruction of the Church of our Lady at Dresden, Saxony.** *Up to the date of its destruction, the Church of our Lady (Frauenkirche) in Dresden permanently had damages which are supposed to originate as well in its foundations or its foundation ground respectively. This article reviews the foundation concept realized during the reconstruction of the church. This concept is based on an optimized load transference of the statically improved structure of the church onto the original historic foundations. The most important results of the preceding analysis of the building's damages are presented. The detailed geotechnical investigations on the foundation ground and the historical foundations necessary for the damage analysis are described. Finally, the data of heave and settlement measurements during removal of the ruins and reconstruction are analysed and compared with the precalculated values. The generally equalised displacements measured in the foundation level prove the validity of the structure, the foundation concept and the resulting high stability of this part of the church.*

## 1 Einführung

Seit der geschichtlichen Wende 1989/1990 in Deutschland steht der Wiederaufbau der Frauenkirche zu Dresden im öffentlichen Interesse. Zahlreiche Veröffentlichungen waren seitdem diesem Wiederaufbau gewidmet (siehe z. B. [2], [5], [6], [7]). Die bauliche Hülle ist seit längerem fertiggestellt, der Innenausbau wurde kürzlich vollendet, und die Weihe der Kirche fand als großes gesellschaftliches Ereignis in Dresden Ende Oktober 2005 statt.

Es bietet sich nun an, über die Erfahrungen zu berichten, die bei den Untersuchungen zur Gründung dieser wiederaufgebauten Kirche gesammelt wurden, zumal die Kirche bis zu ihrer Zerstörung 1945 permanent Schäden am Tragwerk aufwies, deren Ursachen auch in der Gründung bzw. dem Baugrund vermutet wurden (s. Bild 2a).

## 2 Die historische Frauenkirche und das Konzept für den Wiederaufbau

Die Frauenkirche wurde als barocker Zentralbau nach einem Entwurf und unter der Leitung des Ratszimmermeisters *George Bähr* in den Jahren 1726 bis 1743 errichtet und prägte mit der bekannten steinernen Glocke ganz wesentlich die Silhouette der Stadt Dresden bis zum Jahr 1945. Die Lasten dieses auf quasi quadratischem Grundriß errichteten Bauwerks – namentlich die der schweren Kuppel – sollten sowohl über die mächtigen Außenwände als auch die 8 schlanken Innenpfeiler in den Baugrund abgeleitet werden (s. Bild 2a). Nach dem Bombenangriff auf Dresden vom 13./14. Februar 1945 brannte die Kirche aus, stürzte am 15. Februar zusammen und blieb als Trümmerberg liegen (Bild 1).

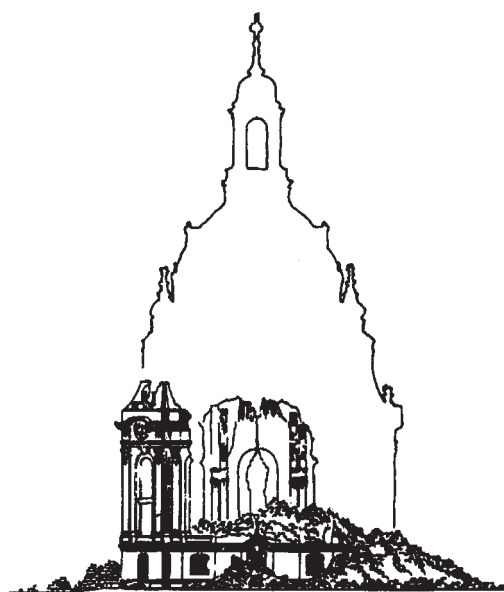


Bild 1. Silhouette der Kirche vor ihrer Zerstörung und ihr Trümmerberg

Fig. 1. Silhouette of the church before damage and its heap of ruins



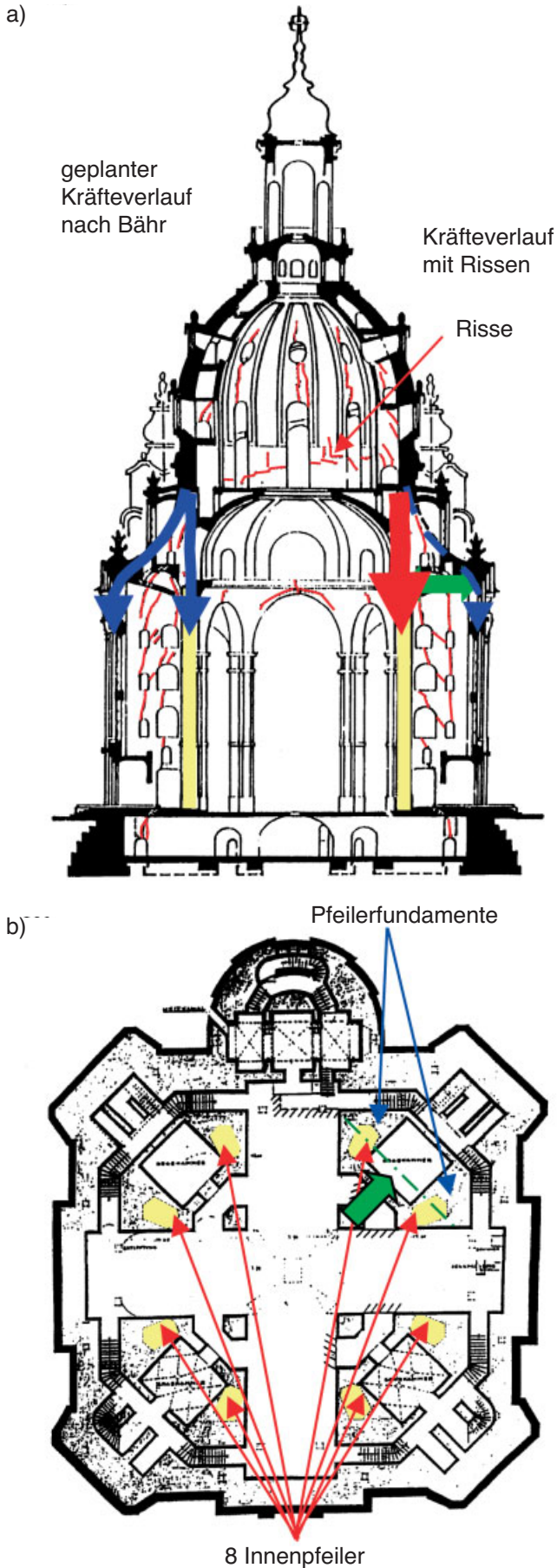


Bild 2. Vertikalschnitt der historischen Kirche mit Kräfteverläufen (a) und Grundriß mit vorhandenen Gründungselementen (b)

Fig. 2. Vertical section of the historic church with load distribution paths (a) and plan view with original foundations (b)

Der von einer Bürgerinitiative geäußerte „Ruf aus Dresden“ vom 13. 02. 1990 fand weltweit ein breites Echo und war der Anlaß dafür, diese Kirche wieder aufzubauen.

Das Konzept des Wiederaufbaues sah vor, die Kirche innen und außen in originaler Form und aus dem gleichen Baustoff – aus Stein und Eisen – wieder herzustellen, wobei so weit wie möglich originale Bausubstanz wiederzuverwenden war. Das sollte auch für die Gründung gelten, die seinerzeit, entsprechend dem *Bährschen* Entwurf, als Flächengründung aus Mauerwerk etwa 7 m unter Gelände auf den Ablagerungen der Elbe ausgeführt worden war (s. Bilder 2 und 3).

Die geotechnischen Fragestellungen für einen Wiederaufbau betrafen folglich neben der Untersuchung des Baugrunds unter der Kirche – vor allem bezüglich seines Verformungsverhaltens – Art und Zustand der vorhandenen Gründungselemente im Hinblick auf ihre Wiederverwendbarkeit. In dem Zusammenhang war zu klären, inwieweit Baugrund und Gründung für die überlieferten Schäden am Tragwerk der Kirche verantwortlich waren.

Originaler Wiederaufbau bedeutete auch, daß die abzutragenden Lasten aus dem Bauwerk etwa in der Größe der Lasten des historischen Baues bleiben.

### 3 Geotechnische Untersuchungen und ihre Ergebnisse

Die Untersuchungen begannen noch vor dem Abräumen des Trümmerbergs mit Hilfe von Baugrundbohrungen und Schürfen sowie – soweit zugänglich – von Durchbohrungen des Gründungsmauerwerks mit Erkundung des dann folgenden Baugrunds. Während des behutsamen Abtrags der Trümmer im Zeitraum Januar 1993 bis Mai 1994 erfolgten weitere Untersuchungen und Begutachtungen der jeweils freigelegten Bereiche (s. Bild 4).

Enttrümmerung und späterer Wiederaufbau wurden durch regelmäßige geodätische Messungen an stehenbleibenden Gründungskörpern, vor allem in bezug auf ihre Höhenänderung, begleitet.

Aus all diesen Untersuchungen, ergänzt durch ältere Baugrunduntersuchungen mit Altbohrungen aus dem Umfeld der Kirche, ergab sich folgende Baugrundsituation:

- Die Kirche steht als Ganzes auf holozänen bis pleistozänen Sanden und Kiesen der Elbe, die hier eine natürliche Erhebung bilden.
- Bindige Ausbildungen, wie sie aus der unmittelbaren Umgebung der Kirche bekannt sind und die als mögliche Ursache für die früher beobachteten Schäden am Bauwerk anzusehen waren, reichen nicht bis unter die Kirche.
- Die Sande und Kiese werden in größerer Tiefe – etwa ab 12 m unter Unterkante der vorhandenen Gründungen – von einem kreidezeitlichen Mergelsandstein (sogenannter Pläner), zunächst als Zersatz in geringer Mächtigkeit, dann als Festgestein unterlagert.
- Die genannten Sande und Kiese, die vorwiegend weit gestuft sind und einen Anteil von  $\leq 5\%$  Feinkorn besitzen, sind mindestens mitteldicht gelagert.
- Anhand von im Labor ausgeführten Triaxialversuchen und Ödometerversuchen ergab sich, daß diese Sande und Kiese eine hohe Reibungsfestigkeit ( $\varphi' = 38^\circ$ ,  $c' = 0$ ) und geringe Verformbarkeit unter Last mit Steifzahlen bei Erstbelastung von  $E_S \geq 65 \text{ MN/m}^2$  bzw. bei Wiederbelastung von  $E_S \geq 160 \text{ MN/m}^2$  besitzen.

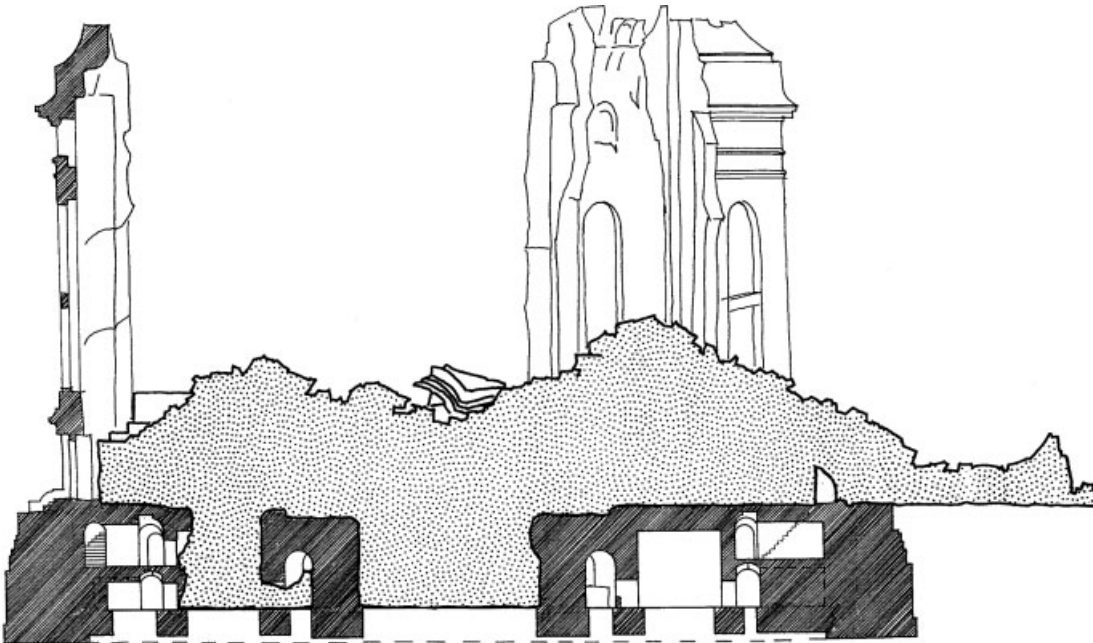


Bild 3. Schnitt durch den Trümmerberg und die historischen Fundamente  
 Fig. 3. Cross section of the heap of ruins and the historical foundations



Bild 4. Freigelegte Fundamente nach Abtrag des Trümmerbergs im Jahre 1994  
 Fig. 4. Foundations laid bare in 1994 after removal of the ruins

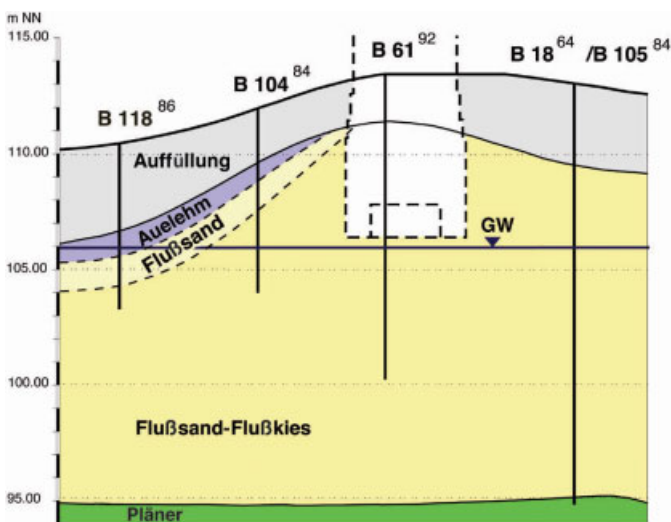


Bild 5. Baugrundverhältnisse unter der Kirche  
 Fig. 5. Foundation ground below the church

– Das mittlere Grundwasser steht etwa 7 m unter Gelände und damit etwas unter Gründungsunterkante (s. auch Bild 5). Hohe Grundwasserstände resultieren aus hohen, lang anhaltenden Wasserständen der nahen Elbe und können im Extremfall Flurnähe erreichen. Das vorhandene Mauerwerk der Wand- und Pfeilergründungen (Sandsteinmauerwerk) befindet sich in einem sehr guten Zustand. Das gilt sowohl für den Sandstein als auch für den Fugenmörtel.

In Bild 5 sind die Baugrundverhältnisse in einem etwa ostwest-orientierten Schnitt dargestellt. Es ist zu erkennen, daß sich die Kirche an dem geotechnisch günstigsten Standort befindet.

#### 4 Schadensanalyse und Gründungskonzept für den Wiederaufbau

Das Schadensbild der Kirche nach den bis zu ihrer Zerstörung gemachten Beobachtungen äußerte sich u. a. in Rissen in der steinernen Kuppel selbst und in den Wandscheiben zwischen den Pfeilern und Außenwänden sowie in nach außen verkippten Außenwänden mit entsprechenden Überhängen der Hauptgesimse (s. Bild 2a).

Es hat sich gezeigt, daß sich die Außenwände dem Abtrag der Kuppellasten wegen ungenügender Steifigkeit im Bereich des Kuppelanlaufs z. T. entzogen haben und dadurch die Innenpfeiler besonders hoch beansprucht wurden.

Sohl drücke am gedrückten Rand der Pfeilerfundamente, auf denen die Pfeiler nicht mittig stehen, in einer Größe von  $\sigma \approx 2000 \text{ kN/m}^2$  sind möglicherweise aufgetreten, und Plastifizierungen am Fundamentrand waren dabei nicht auszuschließen. Die Folge waren Setzungen – trotz des guten Baugrunds – in der Größe mehrerer Zentimeter und entsprechende Setzungsdifferenzen zwischen Pfeiler- und Wandfundamenten. Insofern war der Baugrund – wenn auch nur mittelbar – an den eingetretenen Schäden am Tragwerk beteiligt.



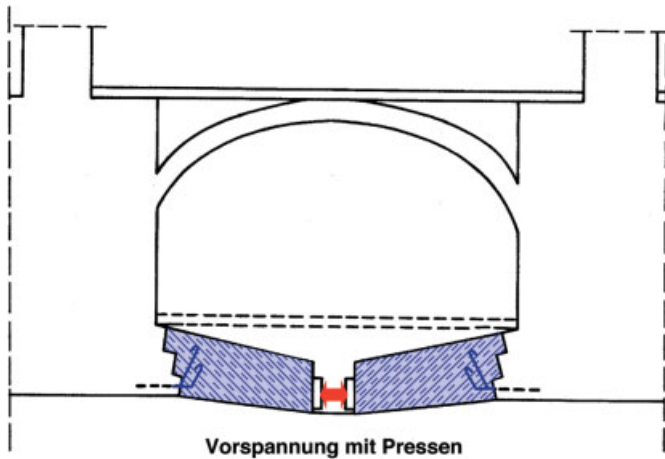


Bild 6. Verstärkung der Pfeilerfundamente in den Jahren 1937 bis 1942

Fig. 6. Improvement of the pillar foundations in 1937 to 1942

Noch in den Jahren 1937 bis 1942, also kurz vor ihrer Zerstörung, wurde im Zuge einer Sanierung der Kirche versucht, die Flächen der Pfeilerfundamente gemäß Bild 6 durch zwischengeschaltete umgekehrte Stahlbetongewölbe zu vergrößern und damit die Sohldrücke zu reduzieren. Der grüne Pfeil in Bild 2b weist auf die Lage des in Bild 6 dargestellten Querschnitts durch ein Pfeilerfundament hin.

Die Wirkung dieser Maßnahme kann aber nur gering gewesen sein, da sich notwendige Vertikalverschiebungen des Gewölbes zur Aktivierung von Sohldrücken in nennenswerter Größe so nur begrenzt realisieren lassen.

Mit den Ergebnissen der genannten Untersuchungen wurde schließlich folgendes gründungstechnisches Konzept für den Wiederaufbau zugrunde gelegt:

- Die Wand- und Pfeilerfundamente der Kirche sind intakt, auch dort, wo in der Standzeit der Kirche und bei ihrem Einsturz Wandverschiebungen bzw. Fundamentkipungen stattgefunden haben.
- Auf diesen Fundamenten kann die wiederaufzubauende Kirche gegründet werden, wenn – anders als beim historischen Bauwerk – die Bauwerkslasten so auf die Pfei-



Bild 7. Baugrube für das Außenbauwerk mit Spundwandverbau und freigelegtes Außenmauerfundament im Jahre 1995

Fig. 7. Construction pit for the external building with sheet pile wall and foundations for the church in 1995

ler- und Wandfundamente verteilt werden, daß die auftretenden Setzungen untereinander etwa gleich werden.

– Sondermaßnahmen zur Baugrundertüchtigung, wie etwa Injektionen oder gar Tiefgründungen, sind nicht erforderlich oder sogar schädlich.

Das Konzept der Tragwerksplaner zum Bau der steinernen Kuppel mit einem Ringanker definierter Vorspannung in Höhe des Hauptgesimses gemäß [3] trägt der zu fordernden Lastaufteilung Rechnung. Es führt – auch als Ergebnis von Finite-Elemente-Berechnungen – zu einer erheblichen Reduzierung der Sohldrücke unter den Pfeilern, wobei nun mit mittleren Spannungen von  $\sigma \leq 800 \text{ kN/m}^2$  und Randspannungen von  $\sigma \leq 1200 \text{ kN/m}^2$  zu rechnen ist. Damit bleiben die Spannungen hier deutlich unter dem Erstbelastungszustand. Er wird bei den Wandfundamenten überschritten, die aber bezüglich ihrer Setzungen ohnehin unkritisch sind.

Für dieses Tragwerkskonzept waren mit den labormäßig ermittelten Baugrundkennwerten als Ergebnis von konventionellen Setzungsberechnungen Mittensetzungen der Pfeilerfundamente von  $s \leq 2 \text{ cm}$  und Schiefstellungen von  $\alpha \leq 0,0015$  zu erwarten, die z. T. bereits vor dem Bau der Kuppel eintreten.

Das o. g. Tragwerkskonzept in Verbindung mit einer umfassenden Wiederverwendung der alten Kirchengründung wurde schließlich realisiert.

Eine Abdichtung des Kellers der Kirche, d. h. der sogenannten Unterkirche, gegen von außen drückendes Wasser bei hohen Grundwasserständen wurde nicht vorgesehen. Sie wäre bautechnisch auch im Sinne eines historischen Aufbaus nicht zu realisieren gewesen. Zur Trockenhaltung dient vielmehr eine Grundwasserabsenkanlage mittig unter der Kirche, die im Hochwasserfall anspringen soll.

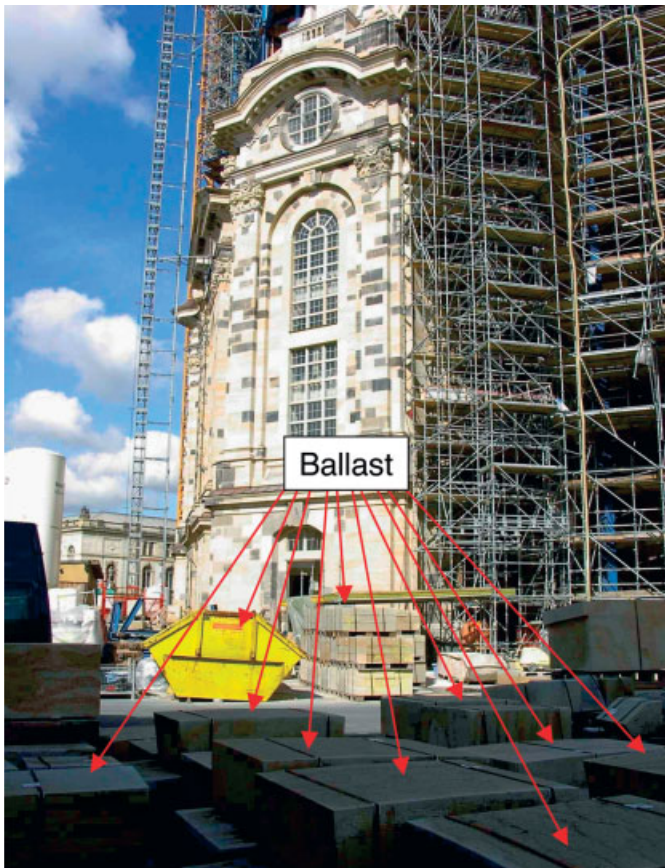
Im Unterschied zur historischen Kirche wird für die Nutzung der wieder aufgebauten Kirche einschließlich der Unterkirche Platz für Haustechnik, Garderoben und Toiletten benötigt. Hierfür wurde ein unterirdisches Außenbauwerk errichtet (s. Bild 9). Dieses Außenbauwerk reicht bis zur Tiefe der historischen Außenfundamente und umschließt den historischen Gründungsteil an der Seite des Chorbereichs und an den beiden angrenzenden Seiten. Die Decke des Außenbauwerks liegt nur wenig unter der Höhe des späteren gepflasterten Neumarkts. Das Außenbauwerk wurde als wasserdichte, auftriebssichere Stahlbetonkonstruktion ausgeführt.

Bild 7 zeigt die zur Errichtung des Außenbauwerks vergrößerte Baugrube und ein freigelegtes Außenmauerfundament der Kirche. Aus Platzgründen wurde die Baugrube mit einem einfach rückverankerten Spundwandverbau umschlossen.

## 5 Bauzeitliche Feststellungen

Die Beherrschung der Verformungen an diesem Bauwerk ist – wie auch die Vergangenheit gezeigt hat – in besonderem Maße entscheidend für die Gewährleistung der Stand- und Funktionssicherheit der Kirche.

Das Abräumen des bis zu 14 m hohen Trümmerbergs und der Wiederaufbau der Kirche wurden kontinuierlich durch geodätische Messungen an Festpunkten im Gründungsbereich und am aufgehenden Bauwerk kontrolliert.



*Bild 8. Ballastierung des Außenbauwerks im Bereich des Technikellers während des Hochwassers im August 2002*  
 Fig. 8. Ballasting the external building in the area of the technical installations cellar during high flood in August 2002

Bei der Enttrümmerung wurden an allen von dieser Entlastung betroffenen Gründungsbereichen Hebungen festgestellt, die etwa synchron zur Abnahme der Trümmerberghöhe, d. h. zur Größe der wirksamen Auflast verliefen. Für ausgewählte Gründungsbereiche – dort, wo eine definierte und weitgehende Entlastung erfolgte – konnten bei Spannungsänderungen von  $\Delta\sigma = -150 \text{ kN/m}^2$  bis  $\Delta\sigma = -180 \text{ kN/m}^2$  aus den gemessenen Hebungen Entlastungsmoduln für den unterlagernden Baugrund in einer Größe von  $E_{s,e} = 160 \text{ MN/m}^2$  bis  $360 \text{ MN/m}^2$  abgeleitet werden. Sie entsprechen etwa den Steifezahlen für eine Wiederbelastung und liegen damit z. T. deutlich über den im Labor ermittelten Steifigkeiten.

Der eigentliche Wiederaufbau der baulichen Hülle und damit der Lasteintrag in die Gründung endete im Juni 2004 mit der Fertigstellung der Laterne auf der Kuppel und dem Aufsetzen des Kuppelkreuzes. Aus den während des Wiederaufbaues der Kirche gemäß [1] gemessenen Verformungen im Gründungsbereich, die für 2 repräsentative Bereiche in Bild 9 angegeben sind, ergibt sich:

- Die Setzungen, die im Anschluß an die Hebungen infolge der Enttrümmerung (1993 bis 1995) gemessen wurden, sind quasi abgeklungen.
- Die seit Ende der Enttrümmerung bzw. Beginn des Wiederaufbaus eingetretenen Setzungen liegen im Bereich der Pfeilerfundamente sehr gleichmäßig bei 9 mm, bei den Wandfundamenten zwischen 2 und 5 mm, d. h., die Verformungsunterschiede zwischen Pfeilern und Wänden sind entsprechend klein.

Da diese Unterschiede z. T. während des Baus noch vor Aufführen der Kuppel eingetreten sind, sind sie für die Beanspruchung des Tragwerks kaum relevant.

Während der Hochwasserkatastrophe im August 2002 stieg das Grundwasser weit über die Gründungsunterkante der historischen Fundamente, so daß Wasser in die bereits genutzte Unterkirche eindrang. Eine kritische Situation trat für das unterirdische Außenbauwerk ein, weil der extrem hohe Grundwasserstand den Bemessungswasserstand für den Nachweis der Sicherheit gegen Auftrieb des Außenbauwerks zu erreichen drohte. Vorsorglich wurden Baumaterialien zur Ballastierung in die Bereiche des Außenbauwerks umgestapelt (s. Bild 8).

## 6 Setzungsprognosen

In der Planungsphase wurden umfangreiche numerische Berechnungen sowohl zur Ermittlung des Kräfteverlaufs im Tragwerk der Kirche als auch zur Ermittlung der Fundamentsetzungen durchgeführt, wobei die Interaktion Baugrund – Bauwerk angemessen berücksichtigt wurde. Die in [4] durchgeführten Finite-Elemente-Berechnungen hatten vorrangig zum Ziel, Setzungsprognosen für den Wiederaufbau mit realitätsnah modellierten Untergrundverhältnissen und unter Berücksichtigung der komplexen Belastungsgeschichte in der Gründungsebene zu erstellen.

In dem rotationssymmetrischen Finite-Elemente-Modell bildeten vereinfacht die historischen Gründungselemente, der Trümmerberg und der umgebende Baugrund das FE-Netz. Die Fundamentlasten für die einzelnen Bauzustände und den Endzustand wurden den umfangreichen Berechnungen der Tragwerkplaner entnommen.

Zur Erfassung des Spannungs-Verformungsverhaltens der Flußand-Flußkies-Schichten wurde ein nichtlineares elasto-plastisches Stoffmodell (Hardening Soil Model) verwendet. Damit können insbesondere die unterschiedlich großen Steifigkeiten bei Erstbelastung und Entlastung/Wiederbelastung berücksichtigt werden. Die Parameter für das Stoffmodell wurden anhand der Ergebnisse von Ödometerversuchen und Triaxialversuchen bestimmt. Dazu wurde ein nachgemischter Modellboden verwendet. Die Steifigkeitsparameter des Stoffmodells wurden so angepaßt, daß die rechnerischen Setzungen bzw. Hebungen mit den bereits vorliegenden Meßergebnissen gut übereinstimmten (s. Bild 9).

Für die Größe der Setzungen war entscheidend, die Vorbelastungen aus historischem Kirchenbau und Zerstörung, d. h. aus einer Umlagerung der Fundamentlasten in eine Belastung aus Trümmerberg zu berücksichtigen, denn bei einer maßgeblichen Wiederbelastung des Baugrunds sind wegen seiner sehr viel größeren Steifigkeit kleinere Setzungen zu erwarten. Insgesamt wurden 18 Berechnungsphasen (7 Phasen Belastungsgeschichte, 11 Phasen Herstellung des Bauwerks) in der Finite-Elemente-Prognose für die Setzungen während des Wiederaufbaus berücksichtigt (s. Tabelle 1).

In Bild 9 sind außer den beobachteten Hebungen/Setzungen eines Pfeilerfundaments und im Außenbereich die entsprechenden Ergebnisse der Finite-Elemente-Berechnungen dargestellt. Der Vergleich zeigt, daß die prognostizierten Hebungen und insbesondere die prognostizierten



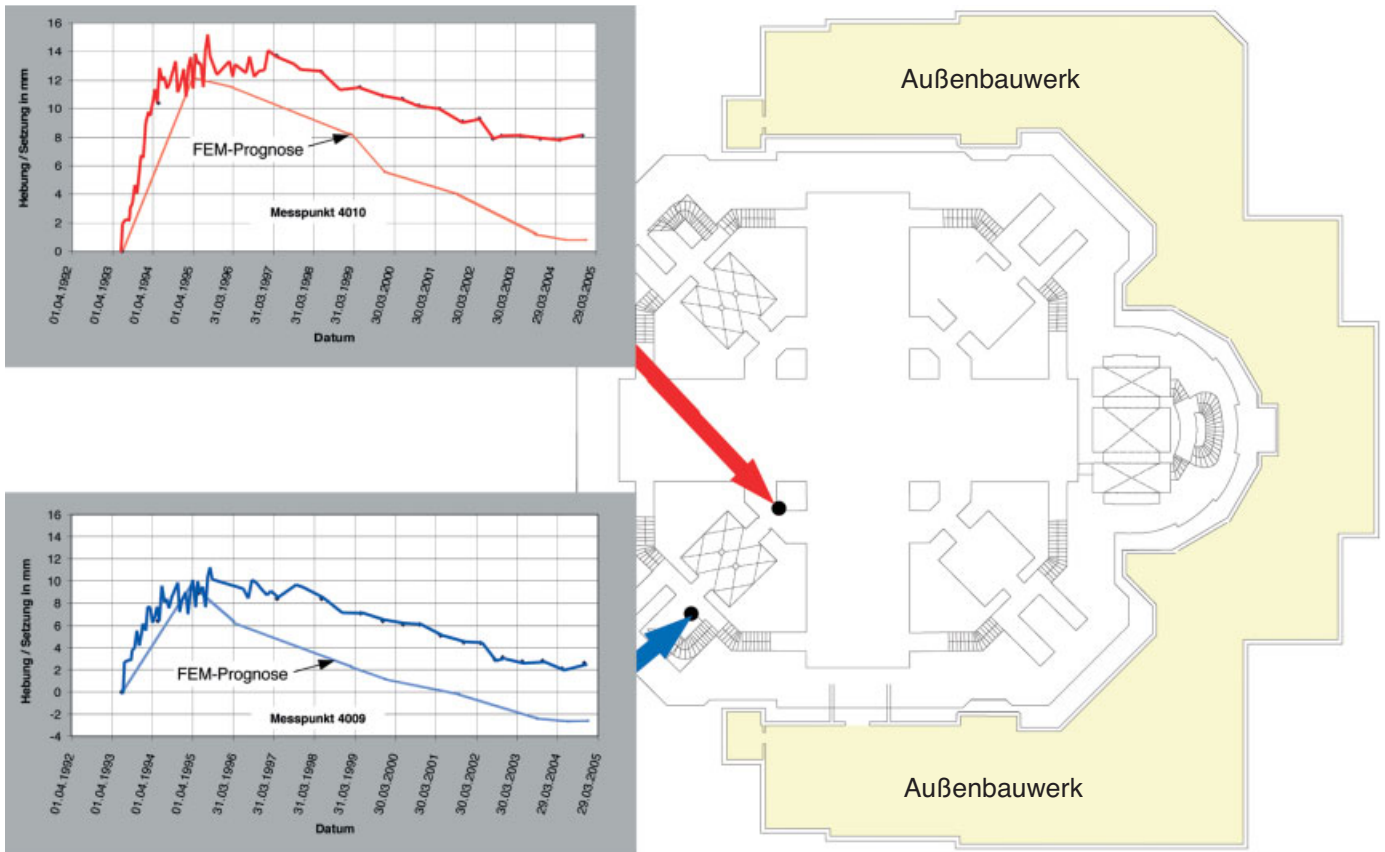


Bild 9. Grundriß in der Gründungsebene mit Außenbauwerk – Ergebnisse der beobachteten und prognostizierten Hebungen/Setzungen eines Pfeilerfundaments und im Außenbereich

Fig. 9. Plan view of the foundation level with external building – results of the measured and precalculated heave and settlement of a pillar foundation and the wall foundation

Tabelle 1. Berechnungsschritte für die FE-Prognose der Hebungen bzw. Setzungen im Gründungsbereich  
 Table 1. Construction stages for the prediction of the heaves and settlements by using FEM

Lfd. Nr.	Bezeichnung
1	Ausgangszustand ohne Bauwerk
2	Historischer Baugrubenaushub
3	Belastung infolge historischen Kirchenbaus
4	Verfüllen der historischen Baugrube
5	Grundwasseranstieg
6	Trümmerberg (Zerstörung 1945)
7	Enttrümmerung
8	Baugrubenverbau
9	Baugrubenaushub
10	Einbau des Außenbauwerks
11	Verfüllung der Baugrube
12	Grundwasserabfall
13	Belastung infolge Bauzustand – Höhe ca. 23 m
14	Grundwasseranstieg
15	Belastung infolge Bauzustand – Höhe ca. 31 m
16	Belastung infolge Bauzustand – Höhe ca. 38 m
17	Belastung infolge Bauzustand – Höhe ca. 62 m
18	Belastung infolge Endzustand

stizierten Setzungen größer sind als die entsprechenden Meßergebnisse. Der Grund dafür ist, daß die im Berechnungsmodell verwendete Bodensteifigkeit für Entlastung/Wiederbelastung trotz vorgenommener Anpassung an gemessene Hebungs-Setzungsverläufe in situ immer noch zu klein war.

Auch die rechnerischen Setzungen der anderen, während der Planungsphase erstellten Prognosen für den Wiederaufbau der Kirche, auf deren Grundlage die für die Tragstruktur zulässigen Fundamentsetzungen, -setzungsunterschiede und -schieffstellungen festgelegt wurden, waren im Vergleich zu den Meßergebnissen größer. Die Steifigkeit bzw. die Tragfähigkeit des Baugrunds unter den historischen Gründungen der Frauenkirche dürfte somit größer sein, als sie anhand der umfangreichen geotechnischen Untersuchungen erwartet werden konnte.

### 7 Schlußbemerkungen

Der Wiederaufbau der Kirche in historischer Form und mit historischem Material ist glücklich vollendet (Bild 10). Dazu trägt auch die weitgehende Belassung der historischen Gründung der Pfeiler und Wände bei.

Die mit dem Wiederaufbau im Gründungsbereich gemessenen Verformungen bestätigen das Tragwerks- und Gründungskonzept und die daraus resultierende hohe Standsicherheit dieses Teils der Kirche.



*Bild 10. Die außen vollendete Frauenkirche im Juli 2005*  
*Fig. 10. The Church of our Lady after finishing reconstruction of the building in July 2005*

#### Literatur

- [1] Büro für Industrievermessung Prof. Schütze & Dr. Weber: Wiederaufbau Frauenkirche, Protokolle zur Deformationsmessung, November 2004.
- [2] Franke, D.: Die Dresdner Frauenkirche und ihre Gründung beim Wiederaufbau, Vorträge der Baugrundtagung 1992 in Dresden, S. 81–87.
- [3] Jäger, W.; Stoll, V.: Die Dresdener Frauenkirche. Grundzüge der Statik, Dresdner Hefte 20 (2002), H. 71, S. 48–56.
- [4] Markert, U.: Möglichkeiten zur Vorhersage von Setzungen beim Wiederaufbau der Frauenkirche Dresden mit Hilfe moderner Berechnungsverfahren. TU Dresden, Fakultät Bauingenieurwesen, Lehrstuhl für Bodenmechanik und Grundbau, Diplomarbeit, 2000
- [5] Siegel, K.: Bautechnische Aspekte des Wiederaufbaus der Dresdner Frauenkirche, Deutsche Bauzeitung 1991, H. 11, S. 72–79.
- [6] Wenzel, F.: Ein Bau aus Stein und Eisen. Die bautechnische Konzeption zum Wiederaufbau der Frauenkirche zu Dresden, Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Universität Dresden 45 (1996), Sonderheft, S. 48–53.
- [7] Zumpe, G.: Die Tragende Steinerne Glocke und die Kuppel der Frauenkirche zu Dresden, Bauingenieur 73 (1998), H. 6, S. 259–266.

#### Autoren dieses Beitrages:

Dr.-Ing. Eckart Schulz, , Privatdozent Dr.-Ing. Peter-Andreas von Wolffersdorff, BAUGRUND DRESDEN Ingenieurgesellschaft, Paul-Schwarze-Straße 2, 01097 Dresden