

800 Tonnen erdbebengerechter Stampflehm – Neubau des evangelisch-freikirchlichen Gemeindezentrums (Baptisten) in Karlsruhe

Der Kirchenraum des Gemeindezentrums ist mit seinen 800 Tonnen verbautem Stampflehm nach den rekonstruierten Römerbauten im Archäologischen Park Xanten [Kienzle/Ziegert, 2008] das größte Stampflehm-Bauvorhaben der letzten Jahre in Deutschland.

Von dem Gebäudekomplex, bestehend aus Raum der Stille, dem Gruppentrakt, dem Forum und dem Kirchenraum wurde nur der Kirchenraum als Herzstück des Gemeindezentrums aus Stampflehm ausgebildet. Dies dient zum Einen der Betonung der inhaltlichen Mitte der Gebäudestruktur, zum Anderen hätten weitere Teile gar nicht in einer derart kostenintensiven Bauweise ausgeführt werden können.

Aufgrund der Größe des Stampflehmvorhabens und den schwierigen Randbedingungen der Lage in der Erdbebenzone 1 (Beben bis 4,5 auf der Richterskala möglich) war von Beginn an klar, dass die Umsetzung des Projektes und die geplante Einbeziehung von Selbsthilfe nur durch Planung und Anleitung eines erfahrenen und professionellen Leitungsteams bewerkstelligt werden kann.

Entwurf

Ausgangspunkt des Entwurfes war es, ein zeitgemäßes Kirchengebäude für eine sehr vitale Gemeinde zu planen. Dies bedeutet Räume zu schaffen die dem Bedürfnis nach Kontemplation und Spiritualität als auch dem Bedürfnis nach Begegnung gerecht werden. Darüber hinaus sollte es ein sehr nachhaltiges Gebäude sein, und dem Ziel, die Schöpfung zu bewahren einen authentischen Ausdruck verleihen. Um diesen Ansprüchen gerecht zu werden wurden alle Bäume erhalten, Sichtmauerwerk verwendet und vom Architekten ein Kirchenraum in Stampflehm-Bauweise vorgeschlagen, da dieses Material wie keine andere Nachhaltigkeit, Ästhetik, und geradezu archaische Symbolkraft vereint. Zudem ermöglichte es die Chance für die Gemeindeglieder ihre Kirche mit zu bauen.

Leitlinie des Entwurfsprozesses war die Auseinandersetzung mit der Fragestellung, wie protestantischer Glaube und freikirchliches Gemeindeleben in Verpflichtung zu seiner Tradition und den neuen gesellschaftlichen Herausforderungen über die Architektur einen angemessenen Ausdruck finden kann.

In einem intensiven Dialog mit der gesamten Gemeinde entstand Konsens darüber, dass dies über eine Architektur gelingen könnte, die durch Entwurf, Konstruktion, Lichtführung und verwendetes Material paradigmatisch für eine verantwortliche Haltung gegenüber dem öffentlichen Raum, der Schöpfung und der besonderen Interaktion von Menschen in ihrer Spiritualität steht. Die Materialisierung dieser Haltung hat über den Stampflehm stattgefunden.

Konstruktion und Tragwerk

Der Stampflehmkubus des Kirchenraumes ist Bestandteil eines größeren Gebäudekomplexes. Die Tragwerksplanung dieses Komplexes hat das Ingenieurbüro Baumeister Sinzheim, erbracht. Erst zu einem wesentlich späteren Zeitpunkt wurde das Büro ZRS mit der Tragwerksplanung des Stampflehmteils beauftragt.

Sowohl aus gestalterischer Sicht als auch aus Sicht der Tragwerksplanung wäre eine tragende Stampflehmwand ohne Stützkonstruktion wünschenswert gewesen. Die interaktive Optimierung der jeweiligen Tragsysteme war jedoch durch den Zeitversatz nicht mehr möglich. Weiterhin war es nicht mehr möglich, die für eine 7,2 m hohe tragende Stampflehmwand im Erdbebengebiet notwendige Zustimmung im Einzelfall im zur Verfügung stehenden Zeitfenster zu erwirken. Das Planungsteam stand vor der Alternative, alle bisherigen Planungen zu verwerfen oder die Tragstruktur der Stampflehmwand unter den gegebenen Randbedingungen so gut als möglich zu gestalten.

Die unter diesen Randbedingungen durchgeführte Variantenanalyse für das Tragsystem der Stampflehmwand ergab, dass diese als selbsttragende Wand mit integrierten Ringbalken konzipiert und bemessen werden soll. Zur Knickaussteifung unter Erdbebenbeanspruchung wurden die Ringbalken an vor der Wand stehende Stützen angeschlossen. Auf den Stützen ruhen auch die Dachlasten. Die Dicke der Stampflehmwand beträgt 50 bzw. 60 cm; die Höhe 7,2 m.

Der vertikale Abstand der in den Querschnitt integrierten Ringbalken ist derart festgelegt, dass die dazwischen liegenden 2-seitig gehaltenen Wandstreifen bei horizontaler Erdbebenbeanspruchung ausreichend gehalten sind. Zur alleinigen Aufnahme der Windlasten wären der mittlere Ringbalken und auch nicht die Stützen erforderlich gewesen.

800 tonnes of earthquake resistant rammed earth – New building for the Protestant Free-Church Parish Centre (Baptist) in Karlsruhe

The church interior of the Parish Centre with its 800 tonnes of built-in rammed earth is, with the exception of the reconstructed Roman buildings in the Archaeological Park at Xanten [Kienzle/Ziegert, 2008], the largest rammed-earth building project in recent years in Germany.

Of the building complex, comprising a room of tranquility, the group wing, the Forum and the church space only the church space as the core of the Parish Centre is constructed of rammed earth. On the one hand, this serves to emphasise the central focus of the building structure, and on the other, further parts of the complex could on no account have been built in this type of cost-intensive construction method.

Because of the size of the rammed earth project and the difficult circumstantial conditions of being sited in an earthquake zone 1 (tremors of up to 4.5 on the Richter Scale), it was clear from the beginning that the implementation of the project and the planned inclusion of self-help could be accomplished only with design and supervision of an experienced and professional leadership team.

Design

The starting point of the design was to create a contemporary church building for a very lively parish community. This means to create spaces, which satisfy the need for contemplation and spirituality as well as the requirement for a meeting place. Beyond that it should be an extremely durable building and meet the aim of preserving creation and propagating an authentic presence. To meet these demands all the trees were retained, fare-face brickwork was used and rammed earth construction for the body of the church was recommended by the architect, since this material combines like no other sustainability, aesthetics and an almost archaic symbolic power. Furthermore it also gave members of the parish community a chance to help build their church.

The guiding principle of the design process stemmed from consideration of the question, “How can Protestant belief and Free-Church parish life find appropriate expression honouring its tradition and new society challenges through architecture?”

In an intensive dialogue with the entire parish the consensus was reached that this can be achieved by architecture, which through design, construction, distribution of light and use of material is a paradigm for a responsible posture vis-à-vis open space, creation and the special interaction mankind has with spirituality. The materialisation of this posture took place through rammed earth.

Construction and supporting structure

The rammed earth cube forming the body the church is part of a larger building complex. The structural design for this complex was undertaken by Ingenieurbüro Baumeister in Sinzheim. Only at a much later stage was Büro ZRS commissioned for the structural design of the rammed earth element.

Both from an architectural and a structural design point of view a self-supporting rammed earth wall without a supporting structure would have been preferred. The interactive optimisation of the respective supporting systems was no longer possible because of the associated time delay. Furthermore it was no longer possible to accommodate the necessary special approval procedure for a 7.2 m high structural rammed earth wall in an earthquake zone.

The planning team was faced with the alternative either of discarding all the previous design work or designing a supporting structure for the rammed earth wall as congenially as possible in the given circumstances.

The analysis of variants compatible with these circumstances for the structural system of the rammed earth wall revealed that a self-supporting wall with integral ring beam should be designed and calculated. To stiffen the structure against buckling in an earthquake, ring beams were connected to columns standing adjacent to the wall. Columns also take the roof load. The thicknesses of the rammed earth wall are 50 and 60 cm respectively and its height is 7.2 m.

The vertical distance between the built-in ring beams was determined in such a way that the intervening wall sections, held on top and bottom, are sufficient to withstand the horizontal forces of an earthquake. For resisting wind loads alone neither the



Einbauteile, wie die Ringbalken und die Stürze werden in Stahlbeton ausgebildet. Durch das Einbringen des Betons in den entsprechend ausgeformten Stampflehm ergeben sich ein Einsickern des Zementleims in die Stampflehmmatrix und damit ein guter Haftverbund. Oberseitig ist der Verbund durch auf den frischen abgeglichenen Beton aufgestreuten und etwa hälftig eingedrückten Grobsplitt 8-16 mm verbessert. Zur Kompensation der Setzungen aus Schwinden und Kriechen wurden alle Koppungen der Stampflehmwände an die Aussteifungskonstruktion vertikal verschieblich ausgeführt.

Da die Stampflehmwand am Wandkopf keine Auflast erhält, bestand die Gefahr eines Schubversagens im Erdbebenlastfall zwischen oberen integrierten Ringbalken und Stampflehmwand. Der obere Ringbalken wurde deshalb in die Stampflehmwand über Ankerstangen mit Kopfplatte rückverankert. Nach Abklingen des Schwindens und Kriechens aus der Vorbelastung wurden die Anker nachgespannt.

Auf der Ostseite des Gebäudes ist die Wand der Bewitterung ausgesetzt. Die Exposition wurde bewusst auf diese Seite begrenzt. Ostseitiger Schlagregen ist ausgesprochen selten. Eine temporäre oberflächennahe Durchfeuchtung kann aber nicht ausgeschlossen werden. Zur Verringerung von Erosionserscheinungen wurden traditionell verwendete, stabilisierende Mörtelleisten in regelmäßigen Abständen eingestampft. Sie verringern die Geschwindigkeit eventuell an der Wand herabrinneenden Schlagregens und stabilisieren die ggf. durchfeuchtete oberflächennahe Zone. Das Risiko von Erosionserscheinungen wurde mit allen Beteiligten kommuniziert und abgewogen.

Zur weitgehenden Verhinderung von vertikalen Schwindrissen wurde horizontal rißbreitenbeschränkende Geogitterbewehrung eingebaut. Die Methode ist inzwischen allgemein anerkannt und vielfach angewendet [Röhlen/Ziegert, 2010]. Zusätzlich zur Funktion der Rißbreitenbeschränkung wirkt die Geogitterbewehrung im Erdbebenlastfall wie eine elastische Zugbewehrung auf der durch Horizontallasten jeweils zugbelasteten Plattenseite. Für die Geogitterbewehrung wurden im Rahmen der Ausführungsplanung Bewehrungspläne mit Darstellung von Regel- und Zulagenbewehrung angefertigt. Insgesamt wurden ca. 1250 m² Geogitterbewehrung eingebaut.

Bemessung

Die Bemessung erfolgte in Anlehnung an die bauaufsichtlich eingeführten Lehmbau Regeln des Dachverbandes Lehm e.V. [DVL, 2009] und DIN 1053-1.

Während in der Erdbebenzone 0 nur konstruktive Grundsätze zu beachten sind, müssen für Gebäude in der Erdbebenzone 1 Nachweise unter der Berücksichtigung von Erdbebenlasten geführt werden. Die Erdbebenbemessung wurde nach DIN 4149, Abschnitt 6.4, durchgeführt. Die bewehrende Wirkung der Geogitterbewehrung wurde im Rechenmodell nicht angesetzt und stellt damit eine zusätzliche Sicherheit dar.

Für die Bemessung wurden für den Stampflehm folgende Materialkennwerte angesetzt:

Rohdichte	$\rho = 2.300 \text{ kg/m}^3$
Schwindmaß	ca. 0,5 %
Druckfestigkeit	$\beta_D = 3,0 \text{ N/mm}^2$
E-Modul	$E = 3.000 \text{ N/mm}^2$
Querdehnzahl	$\mu = 0,29$

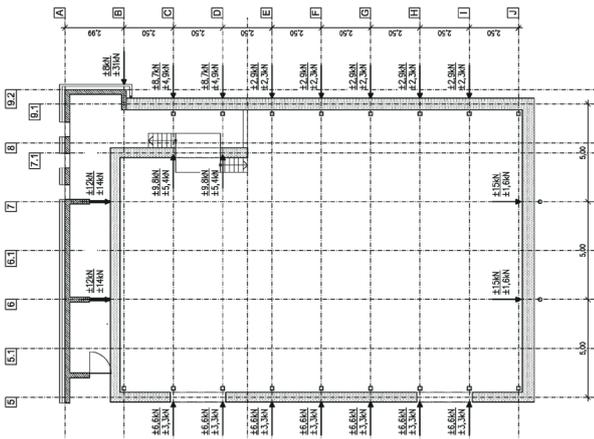
Die Simulation des Bauteilverhaltens wurde mit Dlubal-RFEM durchgeführt. Aus dieser Berechnung ergaben sich Schwingungsverhalten im Erdbebenfall und daraus abgeleitet die Schnittkräfte für die Stützen und Ringbalken. Im Modell sind alle Flächen gelenkig an die Ringbalken angeschlossen. Querbiegemomente können von der Stampflehmwand nur begrenzt aufgenommen werden. Aus diesem Grund werden für das seitlich gehaltene System zusätzlich vertikale Liniengelenke zwischen den einzelnen Flächen angeordnet.

Material

Eingebaut wurde eine Werksmischung der Fa. Conluto unter Nachweis der notwendigen Eigenschaften (siehe Abschnitt 4) durch den Hersteller gemäß dem durch die Lehmbau Regeln vorgegebenen Turnus. Das Material wurde im Big-Bag angeliefert und vor dem Einbau in der Regel durch leichtes Besprühen auf die nach handwerklichem Ermessen optimale Einbaufeuchte gebracht.

1 Ostfassade des Gemeindezentrums in Karlsruhe, Deutschland, 2012. Der Stampflehmkubus des sakralen Innenraumes tritt nur an der Seite mit geringer Witterungsbeanspruchung sichtbar nach außen.

1 East façade of the Parish Centre in Karlsruhe, Germany, 2012. The rammed earth cube of the sacral interior is externally visible only on the side with the least exposure to weathering.



intermediate ring beam nor the columns would have been necessary.

Built-in elements such as the ring beams and the lintels are in reinforced concrete. By introducing concrete into the appropriately shaped rammed earth enabled the cement slurry to soak into the rammed earth cavities, thus improving the bond. On the upper side adhesion is facilitated by applying fresh special-consistency cement and course 8-16 mm grit, rolled-in roughly halfway. To compensate for settlement due to shrinkage and creep, all the couplers between the rammed earth wall and the stiffening structure can slide vertically.

Since the top of the rammed earth wall has no imposed load, there was a danger of shear fracture in the event of earthquake stresses between the upper integral ring beam and the rammed earth wall. The upper ring beam was therefore anchored back to the rammed earth wall with head plates. Once shrinkage and creep had abated, the anchors were readjusted.

On the top edge of the building the wall is exposed to the elements. The exposure was purposely confined to this edge. Driving rain from the east is extremely rare. Temporary saturation of the surface cannot be ruled out, however. To reduce the occurrence of erosion, the traditionally used stabilising mortar strips were stamped in at regular intervals. These reduce the velocity of any driving rain running off onto the wall and stabilise the top surface area should it become saturated. The risk of erosion damage was communicated to and evaluated by all those involved.

To prevent as far as possible the formation of shrinkage cracks, horizontal crack-limiting geogrid reinforcement was built-in. This method is now generally recognised and regularly used [Röhlen/Ziegert, 2010]. In addition to its function of crack prevention, the geogrid reinforcement works in the event of an earthquake as elastic tensile reinforcement for the respectively tension-stressed plate sides. The geogrid reinforcement was assembled according to reinforcement plans prepared during the construction design stage, showing regular and supplementary reinforcement. In total ca. 1250 m² of geogrid reinforcement was built in.

Calculations

The calculations were performed on the basis of the building regulatory Lehmbau Regeln of the Dachverband Lehm e. V. [DVL, 2009] and DIN 1053-1.

While in Earthquake Zone 0 only the fundamental rules of construction need to be observed, for buildings in Earthquake Zone 1 verification must be prepared that earthquake loads have been taken into account. The earthquake calculations were carried out in accordance with DIN 4149, Section 6.4. The reinforcing performance of the geogrid was not called for in the calculation model but represents an additional safety margin.

For the calculations of the rammed earth the following material parameters were used:

Raw density	$\rho = 2,300 \text{ kg/m}^3$
Shrinkage value	ca. 0.5 %
Compressive strength	$\beta_D = 3.0 \text{ N/mm}^2$
Modulus of elasticity	$E = 3,000 \text{ N/mm}^2$
Poisson's ratio	$\mu = 0.29$

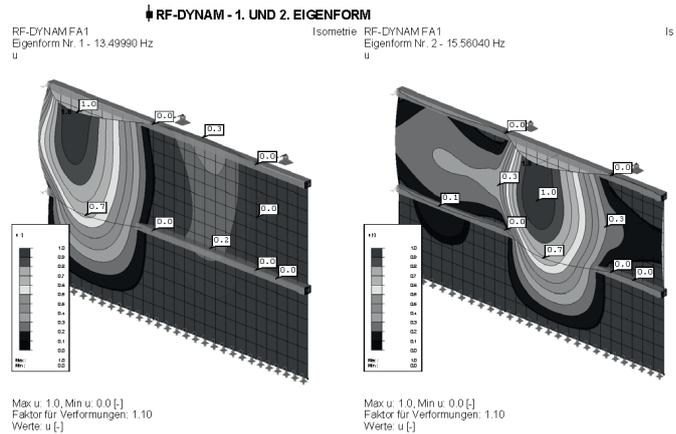
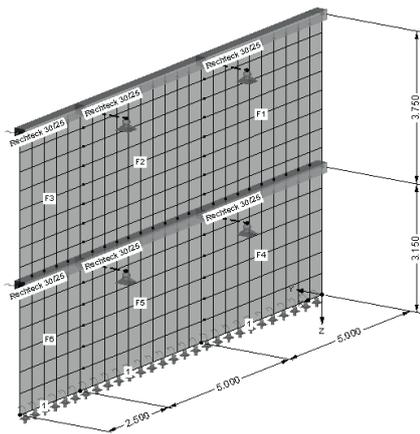
The simulation of building component behaviour was produced using Dlubal-RFEM. The results of these calculations revealed the oscillation behaviour in an earthquake and the derived sectional forces of the columns and the ring beams. In the model all panels are flexibly connected to the ring beam. Lateral bending moments of the rammed earth wall can only be recorded with limitations. For this reason, for the side-held system, additional vertical line joints were included between the individual panels.

Material

A factory produced pre-mixed mortar by the firm Conluto was used, delivered with the manufacturer's description of its essential characteristics (see Section 4) in accordance with the provisions of the Lehmbau Regeln. The material was delivered in Big-Bags and, as a rule, lightly sprayed to achieve, in the operative's judgement, the optimal moisture content before installation.

2 Kircheninnenraum des Gemeindezentrums in Karlsruhe, Deutschland. 2012
 2 Church interior of the Parish Centre in Karlsruhe, Germany. 2012

3 Positionsplan der Stampflehmwand mit Koppelkräften für die Stahlstützen aus dem mittleren und oberen Ringbalken. ZRS, 2011
 3 Location plan of the rammed earth with connecting forces for the steel supports from the intermediate and upper ring beam. ZRS, 2011



Ausführung

Die ausführende Firma entschied sich gegen eine komplette Systemschalung. Stattdessen wurde eine Schalung aus ausgewählten Systemkomponenten in Kombination mit Holzbalken und Holzwerkstoffplatten errichtet. Dabei hat sich die Auslegung auf einen Verdichtungsdruck von 60 kN/m² erneut bewehrt.

Der nachbereitete Stampflehm wurde per Kran in Mörtelwan- nen gefördert. Der Einbau des Materials erfolgte zur Gewährleistung einer einheitlichen Oberflächenstruktur und vor allem bautechnisch zur Gewährleistung gleichmäßiger Setzungen jeweils komplett lagenweise umlaufend mit der üblichen Stampf- technik.

Die ausführende Firma war wie allgemein üblich für die Sicherung der Bauzustände zuständig. Der Bauzustand stellt den kritischen Zustand im Stampflehm dar. Mit steigender Arbeitshöhe wurde der untere bereits ausgeschaltete Bereich mittels durchgeankerter senkrechter Korsettstiele gesichert (Abb. 5).

Die ausgeschalteten Oberflächen wurden im Laufbereich durch Aufsprühen einer dünnen Wachsschicht fixiert.

Zusammenfassung und Ausblick

Der Kirchenraum des Gemeindezentrums in Karlsruhe kann nicht nur als eines der größten, sondern auch gelungensten Stampflehm- bauhvorhaben der letzten Jahre bezeichnet werden. Die bautechnische und organisatorische Erfahrung der Beteiligten im Bereich Stampflehm wurden auf die hier vorliegenden anspruchsvollen Randbedingungen transformiert. Diese reichten von sozialen Aspekten der Einbeziehung der Selbsthilfe der zukünftigen Nutzer bis hin zu den bautechnischen Anforderungen des erdbebengerechten Bauens.

Noch während der Realisierung des Kirchenraumes ergab sich für die Beteiligten die erneute erfolgreiche Zusammenarbeit an dem inzwischen realisierten Naturinformationszentrum Ludwigsburg; diesmal mit aus dem Ortlehm hergestelltem Stampflehm und ohne sekundäre Tragstruktur.

Projektdaten

Objektstandort: Ohiostr. 17, 76149 Karlsruhe

Ausführung: 2011

Architektenleistungen: PIA Generalplanung GmbH, Prof. Andreas Löffler, Karlsruhe, Germany, andreas.loeffler@pia-architekten.de

Tragwerksplanung Stampflehm und Fachplanung Lehm- bau: ZRS Ziegert | Roswag | Seiler Architekten Ingenieure, Berlin, Germany, seiler@zrs-berlin.de; ziegert@zrs-berlin.de

Ausführung Stampflehm: Zimmerei Heinrichs, Hubert Heinrichs, Hiddenhausen, Germany, hubert.heinrichs@web.de

Referenzen

DIN 1053 DIN 1053-1:1996-11, Mauerwerk – Teil 1: Berechnung und Ausführung

DIN 4149 DIN 4149:2005-04, Bauten in deutschen Erdbebengebieten.

[DVL, 2009] Dachverband Lehm e.V. (Hrsg.): Lehm- bau Regeln – Begriffe, Baustoffe, Bauteile. 3. Auflage, Viehweg-Teubner, Wiesbaden 2009

[Kienzle/Ziegert, 2008] Die Rekonstruktion römischer Stampflehm- bauten im Archäologischen Park Xanten. In: Lehm 2008, Tagungsbeiträge der 5. internationalen Fachtagung für Lehm- bau. Eigenverlag Dachverband Lehm e.V., Weimar 2008.

[Röhlen/Ziegert, 2010] Röhlen, U., Ziegert, C.: Lehm- bau- Praxis. Beuth Verlag, Edition Bauwerk, Berlin 2010, ISBN-10: 3410216219; ISBN-13: 978-3410216216

Abbildungen

Abbildungsrechte für Abbildungen 1 und 2 bei PIA Generalplanungs GmbH. Für alle weiteren Abbildungen bei ZRS.

4 Modellbildung im FEM-Programm (links) sowie generierte Verformungsbilder der 1. und 2. Eigenform (rechts). ZRS, 2011

4 Model formation in the FEM programme (left) and generated distortion diagram of the 1st and 2nd mode shape (right). ZRS, 2011



Implementation

The contractor decided against complete system formwork. Instead shuttering was assembled comprising selected system components in combination with squared timbers and wood-based boards. A construction set up to take a compaction pressure of 60 kN/m² proved again to be satisfactory.

The worked-up rammed earth was handled by crane in mortar buckets. The building-in of the material was always performed in complete layers over the full circuit by the usual rammed earth technique to ensure a uniform surface structure and above all to guarantee even settlement.

The contractor, as is generally usual, was responsible for ensuring the good state of the building. The “good state of the building” refers to the critical condition of the rammed earth. As the working height increased, the lower, already shuttered area was splinted using through-ties and vertical corset planks (Fig. 5).

After striking the shuttering, the surfaces were fixed with a light spray-applied wax coating from the scaffolding.

Summing up and outlook

The church space of the Parish Centre in Karlsruhe can be not only regarded as one of the largest, but also one of the most successful rammed earth projects of recent years. The construction and organisational experience gained by those involved in this rammed-earth building project was transformed by the challenging circumstances that prevailed here. These ranged from the social aspects of calling on self-help by the future users through to the constructional challenges of earthquake resistant building.

Even during the realisation of this church there arose for those involved a chance for renewed successful collaboration on the now completed Nature Information Centre Ludwigsburg; this time using locally extracted rammed earth material and without a secondary support structure.

Project data

Project location: Ohiostrasse 17, 76149 Karlsruhe

Constructed: 2011

Architectural services: PIA Generalplanung GmbH, Prof. Andreas Löffler, Karlsruhe, Germany, andreas.loeffler@pia-architekten.de

Structural design: rammed earth and earth-building consultation: ZRS Ziegert | Roswag | Seiler Architekten Ingenieure, Berlin, Germany, seiler@zrs-berlin.de; ziegert@zrs-berlin.de

Rammed earth construction: Zimmerei Heinrichs, Hubert Heinrichs, Hiddenhausen, Germany, hubert.heinrichs@web.de

References

DIN 1053 DIN 1053-1:1996-11, Mauerwerk – Part 1: Berechnung und Ausführung

DIN 4149 DIN 4149:2005-04, Bauten in deutschen Erdbebengebieten.

[DVL, 2009] Dachverband Lehm e.V. (Editor): Lehm-bau Regeln – Begriffe, Baustoffe, Bauteile. 3rd Edition, Viehweg-Teubner, Wiesbaden 2009

[Kienzle/Ziegert, 2008] The reconstruction of Roman rammed earth building in the Archaeological Park, Xanten. In: Lehm 2008, Tagungsbeiträge der 5. internationalen Fachtagung für Lehm-bau. Eigenverlag Dachverband Lehm e.V., Weimar 2008.

[Röhlen/Ziegert, 2010] Röhlen, U., Ziegert, C.: Lehm-bau-Praxis. Beuth Verlag, Edition Bauwerk, Berlin 2010, ISBN-10: 3410216219; ISBN-13: 978-3410216216

Illustration credits

Illustration rights for Figures 1 and 2: PIA Generalplanungs GmbH. For all other illustrations: ZRS.

5 Blick auf die Baustelle mit werksmäßig hergestellter Stampflehm-mischung, Schalung im oberen und temporären Korsettstielen im unteren Wandbereich

5 View of the building site with factory-produced rammed earth mixture, shuttering at the upper level and temporary corset planks at the lower wall level