

Erde zu Erde – Moderne Lehmbauarchitektur am Beispiel ‚Trauer braucht Raum‘

Ausgangsfragestellungen

Wie kann dem Lehmbau zu einem anzustrebenden Marktanteil verholfen werden? Wie kann man seine Produktionskosten reduzieren? Wie könnte man den Baustoff oder die aus ihm herzustellenden Bauteile in ihrer Qualität bewerten oder zertifizieren, so dass sie einen geeigneten Platz in den die Baubranche beherrschenden Regelwerken finden? Wie können bauphysikalische Kennwerte verbessert werden? Wie kann eine Lehmarchitektur sinnfällig ergänzt werden mit Baustoffen und Bauteilen, die ebenfalls wieder in einen biologischen oder in Ausnahmefällen auch technischen Kreislauf zurückgeführt werden können?

Aufgabenstellung Entwurf

Der architektonische Entwurf sollte in Anlehnung an den aktuell ausgelobten Studentenwettbewerb ‚Trauer braucht Raum‘ des Kuratoriums Deutsche Bestattungskultur e.V. u.a. entwickelt werden und konkret auf einem geeigneten Grundstück ein Bestattungsinstitut mit Trauerhalle verortet werden. Die Lehmbauweise soll über die Erfüllung der bauphysikalischen und funktionalen Notwendigkeiten hinaus einen angemessenen Beitrag zur Raumwirkung von „Stiller Architektur“ liefern. Auf die Wirkung architektonischer Raumphänomene wird daher großer Wert gelegt.

Herangehensweise

Eine monolithische Bauweise mit dem Ziel, eine Sichtstampllehmoberfläche sowohl auf der Außenseite, als auch auf der Innenseite zu ermöglichen, ist unter Berücksichtigung der heutigen Wärmeschutzanforderungen nicht möglich. Es wurde deshalb nach Möglichkeiten gesucht, durch entsprechende Leichtzuschläge die Wärmedämmeigenschaften zu verbessern. Da bei den meisten Bauvorhaben in Stampflehmtechnik der vor Ort vorhandene Lehm sowieso mit Gesteinskörnung aufbereitet werden muss, bietet es sich an, anstatt schwerer Körnung auf eine leichte Körnung zurückzugreifen.

Um verlässliche Zahlen für die Eigenschaften der Tragfähigkeit und der Wärmeleitfähigkeit von Leichtlehm zu erhalten, wurden im Rahmen dieser Arbeit Versuche mit verschiedenen Stampflehmmischungen im Baustofflabor der Fachhochschule Münster durchgeführt. Hierzu wurden 3 mal 3 Probewürfel nach den Lehmbauregeln hergestellt und einer Druckprüfung unterzogen. Zwei Stampflehmproben mit Leichtzuschlag, die mit der je-

weils selben Mischung wie die Druckprüflinge hergestellt wurden, sind von der BVW (Baustoffüberwachung GmbH, Herzogenrath) auf ihre Wärmeleitfähigkeit getestet worden.

Herstellung der Prüfkörper

Unter Laborbedingungen wurden an mehreren Tagen jeweils 3 Prüfkörper der Mischungen hergestellt. Die Komponenten wurden im Zwangsmischer miteinander vermischt und in einer Stahlschalung von 20×20×20 cm Größe in Schichten von jeweils ca. 5 cm Höhe mit einem Elektrostamper verdichtet.

Die Fertigmischung ließ sich erwartungsgemäß auf ca. 2/3 ihres Volumens verdichten. Beim Stampfen des Bims-Leichtlehms fiel bereits auf, dass sich die Körnung teilweise zerdrücken ließ, wodurch sich die Verdichtung auf ca. 56% erhöhte. Die Schaumglas-Lehmmischung war beim Stampfen mit noch mehr Schaumglasbruch verbunden, die Verdichtung belief sich hierbei auf 43%. Durch diese enorme Verdichtung lag die durchschnittliche Rohdichte (feucht) der Schaumglas-Mischung trotz wesentlich geringerer Schüttdichte nur geringfügig unter der durchschnittlichen Rohdichte der Bims-Mischung; die Trockenrohddichte lag sogar noch darüber.

Hieran ließ sich bereits ablesen, dass das Schaumglasgranulat die Erwartungen der Versuchsreihe nicht erfüllt.

Die Mischung für den Prüfkörper 8 wurde versehentlich falsch zusammengestellt. Der Volumenanteil des Schaumglasgranulats war wesentlich zu hoch. Der Fehler wurde dokumentiert.

Die Trocknung der ausgeschalteten Prüfkörper erfolgte über eine Dauer von 6 Wochen bis zur Massekonstanz im Normklima bei einer relativen Luftfeuchte von 55-65% und einer konstanten Temperatur von 20-21 °C.

Druckprüfung

Vor der Prüfung wurden die Prüfkörper nochmals vermessen, gewogen und die Druckflächen nivelliert. Die Druckprüfung erfolgte in einer hydraulischen Prüfmaschine mit einer Prüfungsgeschwindigkeit von 5 kN pro Sekunde bis zum Erreichen des Bruchzustandes. Die Ergebnisse der Druckprüfung sind in Tabellen 1 und 2 dokumentiert.

Earth to earth – modern earthen architecture exemplified by the concept ‘mourning needs space’

Initial questions

How can we help the earthen building to become a market share to be aspired to? How can one reduce its production costs? How could one evaluate and certify the quality of the building material earth or building components made of it, so that can find a suitable place in the predominant regulating mechanisms of the building industry? How can the parameters of its construction physics be improved? How can earthen architecture be effectively complemented by building materials and components, which can also be returned to a biological or, in exceptional cases, technical cycle?

The design task

With reference to the currently running student competition ‘Trauer braucht Raum’ (Mourning needs space) of the Kuratoriums Deutsche Bestattungskultur e.V., the architectural design should be, among other things, developed and firmly placed in the context of a suitable cemetery site with a Hall of Mourning. The earth-building method should make an appropriate contribution to the spatial effect of “calm architecture” by addressing and going beyond the physical and functional necessities. Much importance will be attached to the impact of architectonic spatial phenomena.

A monolithic building method that aims to provide an exposed rammed earth surface externally and internally is not possible because of thermal insulation requirements. Possibilities were therefore sought to improve the thermal insulating performance through the use of appropriately light supplements. Since, as with most building projects involving the rammed earth technique, the earth extracted directly at the site has to be mixed up with stone granules anyway, it seemed reasonable to make use of lightweight granules for this instead of using heavier supplements.

In order to achieve reliable figures for the bearing capacity and thermal conductivity of light clay, part of this project was to carry out research into different rammed earth mixes in the Materials Laboratory at the University of Applied Science in Münster. For this 3×3 test cubes were prepared in accordance with the Lehmbau Regeln (Earth-building Regulations) and subjected to a compression test. Two rammed earth samples with lightweight supplements, which were both prepared with the

same composition as the pressure samples, were tested for their thermal conductivity by the BVW (Baustoffüberwachung GmbH, Herzogenrath).

Preparing the test samples

Under laboratory conditions three test samples were prepared on each of several days using the chosen mixture. The components were combined in a compulsory mixer and consolidated in a 20×20×20 cm steel mould in ca. 5 cm thick layers with a power tamper.

As expected the finished mix could be compressed to about 2/3 of its initial volume. When compressing the pumice-clay mixture it became apparent that the grain structure could be compressed further, which increased the density to ca. 56%. The foam-glass/clay mixture was combined during tamping with still more foam-glass fragments, which changed the density to 43%. Due to this enormous density the average (moist) raw density of the foam-glass mixture, in spite of its considerably lower bulk density, was only slightly below the average raw density of a mixture containing pumice; the dry raw density was actually still higher.

One could already observe here, that the foam-glass granulate did not meet the expectations for the test series. The mix for Test Cube 8 was to a large extent wrongly composed. The volume proportion of the foam-glass granulate was much too high. The error was documented.

The drying out of the struck test sample took place over a period of 6 weeks until constant mass was reached in a regulated climate with a relative humidity of 55-65% and a constant temperature of 20-21 °C.

Compression test

Before the test the samples were re-measured, re-weighed and the pressure surfaces were levelled. The compression test was performed in a hydraulic testing machine with a testing rate of 5 kN per second until the fracture condition was reached. The results of the compression test are documented in Tables 1 & 2.



Erläuterung der Prüfergebnisse zur Druckfestigkeit

Die Prüfergebnisse der Stampflehm-Fertigmischung entsprechen weitgehend den Angaben des Herstellers und liegen innerhalb der Anforderungen der Lehmbauregeln. Auffällig ist die beim Prüfkörper Nr. 3 erhöhte Druckfestigkeit mit einer nicht innerhalb der zulässigen Toleranz liegenden Abweichung um 50% gegenüber den Prüfkörpern Nr. 1 und 2. Die Mischungen wurden an unterschiedlichen Tagen hergestellt, wobei der Mischung für den Prüfkörper 3 mehr Wasser zugegeben wurde. Die Messung bestätigt damit die Untersuchungen von SCHNELBERT an der Bauhausuniversität Weimar, wonach eine erhöhte Einbaufeuchte die Bindekraft des Lehms steigert und damit zu höheren Druckfestigkeiten (aber auch zu größerem Schwindverhalten) führt. [1]

Die Prüfergebnisse der Schaumglasmischung haben die Erwartungen nicht erfüllt. Die Druckfestigkeit des Schaumglasgranulats ist nicht hoch genug, um eine ausreichende Tragfähigkeit des Stampflehms zu gewährleisten. Lediglich ein Prüfkörper erreichte knapp die erforderliche Druckfestigkeit von 2,0 N/mm². Die Abweichungen der Schaumglas-Prüfkörper untereinander überschreiten zudem die zulässige Toleranz von 15%.

Die Prüfergebnisse des Bims-Stampflehms liegen bei allen 3 Proben nahe beieinander und erreichen alle die für eine tragende Bauweise erforderliche Druckfestigkeit von 2,0 N/mm.

Nach der Prüfung zeigten alle Prüfkörper das vom Beton bekannte, typische Versagensbild: Ein Abschieben des Lehms unter 45° zur Längsachse, also einen Schubspannungsbruch mit dem in Abb. 4 gezeigten Restkörper. Der Stampflehm versagt, genau wie der Beton, im Grunde nicht auf Druck, sondern auf Zug, der bei unbehinderter Seitendehnung entsteht. Die Schubspannung könnte durch eine Zugabe von Armierungsfasern, bspw. aus Flachs, gemindert werden. Weitergehende Versuche mit einer Kombination von Bims und Flachs als Zuschlagstoff erscheinen lohnenswert, konnten aber aus Zeitgründen in dieser Arbeit nicht mehr durchgeführt werden.

Erläuterung der Prüfergebnisse zur Wärmeleitfähigkeit

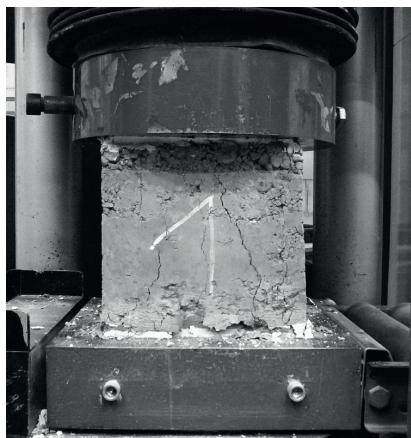
Den Prüfberichten der Baustoffüberwachung Herzogenrath zur Wärmeleitfähigkeitsprüfung der Stampflehmproben mit Leichtzuschlag ist zu entnehmen, dass die Mischungen mit den Leichtzuschlägen Bims und Schaumglasschotter beide sehr gute

Tabelle 1: Prüfprotokoll Stampflehmversuche / Protocol of rammed earth tests

Proben-Nr. Sample No.	Lehmmischung Earth mixture	Herst. Datum Manuf. date	Prüfdatum Test date	Prüfalter Age <i>d</i>	Wassergeh. Frischm. Water content fresh. <i>M</i> -%*	Rohd. erdfeucht Raw den. moist <i>kg/dm³</i>
1	Claytec-Stampflehm/ Claytec rammed earth	02.11.11	13.12.11	41	6,7	2,400
2		02.11.11	13.12.11	41	6,7	2,470
3		02.11.11	13.12.11	40	17,5	2,375
Mittel/ Mean						2,415
4	Stampflehm mit Bims/ RE + pumice	03.11.11	13.12.11	40	40,4	1,635
5		03.11.11	13.12.11	40	40,4	1,640
6		07.11.11	16.12.11	39	39,3	1,520
Mittel/ Mean						1,598
7	Stampflehm mit Schaumglas/ RE + foamed glass	07.11.11	16.12.11	39	17,5	1,460
8		14.11.11	23.12.11	39	16,2	1,311
9		14.11.11	23.12.11	39	16,7	1,559
Mittelwerte aus / Mean of 7 & 9						1,509

1 Oberfläche Schaumglas-Leichtstampflehm
1 Surface of foam-glass light rammed earth

2 Nivellierung der Prüfflächen
2 Alignment of the test surfaces



Commentary on the results of the compression test

The test results of the pre-mixed rammed earth conformed largely to the of the manufacturer's data and lay within the requirements of the Lehm bau Regeln. What was conspicuous was the increased compressive strength of Test Sample No. 3, deviating around 50% from Test Samples 1 and 2 and not within accepted tolerances. The mixes were prepared on different days, but more water was added to the mix for Test Sample 3. The values thus confirmed the investigations of SCHNELLERT at the Bauhaus Universität Weimar; according to which increased moisture content at the time of installation improves the adhesive strength of the earth and therefore leads to a higher compressive strength (but also to more extreme shrinkage behaviour). [1]

The test results of the foam-glass mix did not fulfil expectations. The compressive strength of the foam-glass granulate was not high enough to ensure sufficient load-bearing capacity of the rammed earth. Only one test sample just reached the required compressive strength of 2.0 N/mm². Furthermore the relative deviations between the foam-glass test samples exceeded the permitted tolerance of 15%.

The test results of the pumice rammed earth in all 3 samples were very close and met the compressive strength requirement of 2.0 N/mm for structural building elements.

After the test all the test samples displayed a similar failure pattern, typical of that for concrete: displacement of the earth at 45° to the longitudinal axis and also an interlaminar shear failure with the fragments shown in Fig. 4. The rammed earth failed in just the same way as concrete, in principle not due to compression but when in tension, which occurs when lateral expansion is not restrained. The shear stress could be reduced by the introduction of reinforcing fibres, for example flax. Continued testing with a combination of pumice and flax as a supplement would seem worthwhile, but these could not be performed as part of this study due to lack of available time.

Commentary on the results of the tests for thermal conductivity

The test reports by Baustoffüberwachung Herzogenrath on the thermal conductivity test of the rammed earth samples with light supplements are in the appendix. It can be seen from these that the mixes with the light additives pumice and foam-glass fragments both produce very good Lambda values (0.39 and 0.36 W/m*K against 1.5 W/m*K for rammed earth with heavy additives).

Crucial for the use of pumice, which also fulfils the requirements for compressive strength, is now the fulfilment of the regulation

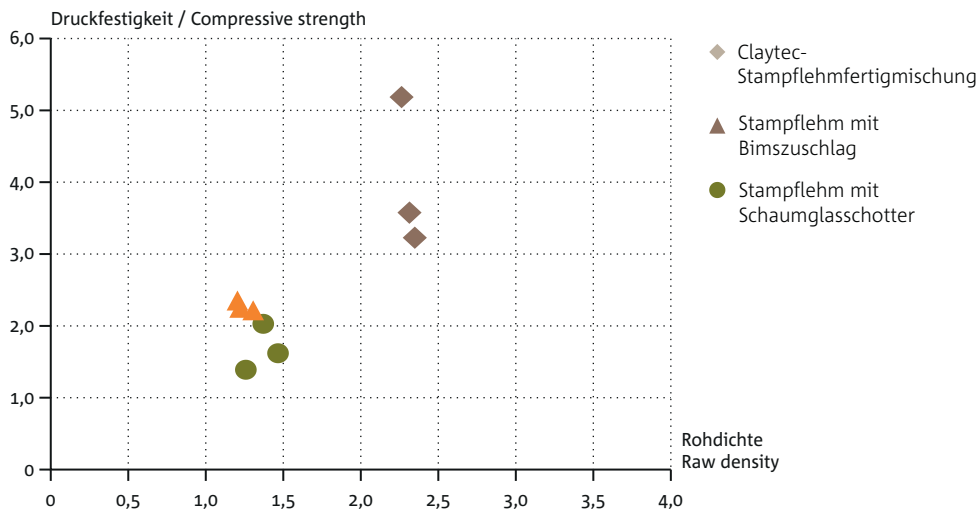
Tab. 2 Probandaten Prisma / Prisma sample data

Länge length mm	Breite width mm	Höhe height mm	Vol. volume dm ³	Masse mass kg	Trock.-Rohd. Dry raw den. kg/dm ³	Prüffläche Test surface mm ²	Bruchlast Fracture load kN	Druckfest. Compress. str N/mm ²	Wärmeleitf. Therm. Cond. W/m*K
199	200	200	7,96	18,439	2,316	39800	142,60	3,58	1,5 ¹⁾
199	199	200	7,92	18,611	2,350	39601	128,00	3,23	
200	199	200	7,96	18,026	2,265	39800	206,70	5,19	
					2,310			4,00	
200	199	200	7,96	9,775	1,228	39800	88,30	2,22	0,39 ²⁾
200	200	200	8,00	9,674	1,209	40000	93,04	2,33	
200	200	200	8,00	9,049	1,131	40000	87,30	2,18	
					1,189			2,24	0,36 ²⁾
200	200	200	8,00	10,103	1,263	40000	55,70	1,39	0,36
200	200	199	7,96	9,131	1,147	40000	64,60	1,62	
200	200	198	7,92	10,890	1,375	40000	81,00	2,03	
					1,262			1,68	

1) nach Ziegert/Röhlen „Lehm baupraxis“ 2) Prüfbericht Baustoffüberwachung BÜW GmbH, Herzogenrath v. 23.01.12

3 Druckprüfung in hydraulischer Prüfmaschine
3 Compression test in a hydraulic test machine

4 Typisches sanduhrförmiges Bruchbild (Pk. 9)
4 Typical hourglass-shaped break pattern (Test Cube 9)



Lamda-Werte aufweisen (0,39 und 0,36 W/m*K gegenüber 1,5 W/m*K bei Stampflehm mit schweren Zuschlägen).

Entscheidend für die Nutzung des Bims, der auch die Anforderungen der Druckfestigkeit erfüllt, ist nun die Erfüllung der gesetzlichen Wärmeschutzanforderungen in Bezug zum Bauwerk. Nach EnEV 2009 ist bei Nichtwohngebäuden ein mittlerer, flächengewichteter U-Wert aller opaken Bauteile einzuhalten. Dieser beträgt bei niedrig beheizten Bereichen $U = 0,50$.

Die Anforderung für die Trauerhalle wird knapp erfüllt. Zusätzlich ist der Mindestwärmeschutz einzuhalten (Schimmelvermeidung). Hierzu muss die Wand ohne Wärmeübergangswiderstände mindestens einen thermischen Widerstand von $R = 1,20 \text{ m}^2\text{K/W}$ aufweisen.

Der Mindestwärmeschutz wäre mit $U = 0,384$ erfüllt ($1/0,384 = (0,13 + 0,04 \text{ Übergangswiderstände}) = 1,34 > 1,20$). Darüberhinaus weist die Trauerhalle keine großen Feuchtelasten auf und der Lehm wirkt zusätzlich absorbierend.

Zum Entwurf

Über den Vorhof nähert sich der Besucher den beiden Gebäudeteilen.

Der Hauptzutritt zum Bestattungsinstitut erfolgt über ein zweigeschossiges helles Foyer. In diesem Gebäudeteil, die im Konzept als ‚Vorderbühne‘ bezeichnet ist, wird die Ausstellung mit Besprechung und der Vorraum zur Aufbahrung angeordnet. Letzterer kann zusätzlich auch außerhalb der Öffnungszeiten von Trauernden über einen separaten Zugang erreicht werden.

Die Aufbahrungsräume liegen zwischen dem Besuchergang und dem Versorgungsgang. Diese durch die Holzlamellen gekennzeichneten Zugänge bilden einen Schwellenraum, der die Grenze zwischen Leben und Tod markiert. Der Abstand der Lamellen ist so gewählt, das auch ein ‚Durchschlüpfen‘ möglich ist.

Der im Konzept als ‚Hinterbühne‘ bezeichnete Bereich nimmt hauptsächlich den Herrichtungsraum, den Kühlraum und das Bestattungsfahrzeug auf. Über einen durch Hecken abgegrenzten Hinterhof ist eine Verbindung zur Trauerhalle zum Überführen der Urne oder eines Sarges mit dem Verstorbenen möglich.

Von hier aus erfolgt auch die Anlieferung von Blumenschmuck zur Gestaltung des Feierraums.

Der Gebäudeteil Trauerhalle hat eine klare Richtung und ist als eine Abfolge von Übergängen zu sehen. Der Zutritt erfolgt über das ‚Torhaus‘, das den Treppenraum und die Nebenräume aufnimmt. Über einen zweigeschossigen Durchgang betritt der Besucher die Vorhalle, in der sich die Trauernden versammeln. Diese dient auch als Erweiterungsmöglichkeit für den Feierraum. Das Licht- und Schattenspiel der Holzlamellen bildet auch auf dem Boden imaginäre Schwellen, die überschritten werden. Der eigentliche Feierraum ist zur Natur und zum Friedwald ausgerichtet und erschließt sich in seiner Höhe über 3 Geschosse.

(Texte, Bilder und Grafiken basieren auf der Präsentation der Masterarbeit der Autorin)

Referenzen

- [1] Schröder: Lehm bau – Mit Lehm ökologisch planen und bauen, Vieweg+Teubner, Wiesbaden, 2010



requirements for thermal insulation with regard to the building. According to EnEV 2009 for non-residential buildings a mean basis weight U-value for all the opaque building components must be achieved. For nominally heated areas this must be $U = 0.50$.

The requirement for the Hall of Mourning is just about fulfilled. In addition the minimum thermal insulation must be met (avoidance of mould growth). For this the wall must exhibit, without heat transfer resistance, a thermal resistance of at least $R = 1.20 \text{ m}^2\text{K/W}$.

The minimum thermal insulation of $U = 0.384$ is satisfied ($1/0.384 - (0.13 + 0.04 \text{ heat transfer resistance}) = 1.34 > 1.20$). Moreover, the Hall of Mourning shows no significant moisture load and the earth has an additional absorbing capability.

The design

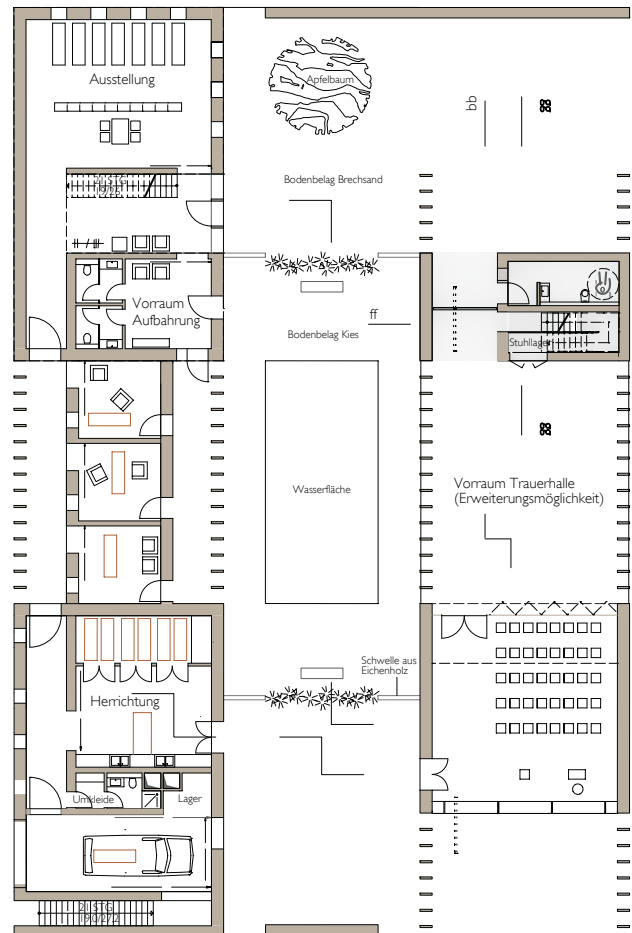
The visitor reaches the two buildings via the forecourt.

The main entry to the funeral establishment is through a light, two-storey foyer. This part of the building, which is referred to in the concept as the ‘Proscenium’ contains the Display Room with meeting area and the anteroom to the laying out space. The latter can also be reached by mourners outside opening hours by a separate entrance.

The preparation rooms are situated between the visitor’s passage and the service passage. These approaches, characterised by wooden slats, form a threshold space, marking the transition from life to death. The intervals between the slats are especially chosen to enable one to ‘slip through’ if desired.

The area referred to in the concept as ‘Backstage’ incorporates mainly the Preparation Room, the Cold Room and the funeral vehicle. Via a rear courtyard, which is enclosed by hedges, one can gain access to the Hall of Mourning where the urn or the coffin of the deceased is dispatched. This is also where floral tributes for the decoration of the Hall of Mourning can be handed over.

The building has a clear directional emphasis, which can be regarded as a sequence of transition. Access is gained through the



Grundriss EG / Ground floor plan

‘Gate House’, which incorporates the stairwell and the ancillary rooms. The visitor enters through a double-height passageway into the Anteroom, in which the mourners assemble. This area can also serve as an extension to the Hall of Mourning. The play of light and shade produced by the wooden slats also creates an imaginary threshold across which one must walk. The actual Hall of Mourning terminates at a height of over three storeys and orientates towards nature and the Forest Cemetery.

(Texts, photographs and diagrams are based on the presentation of the author’s master thesis)