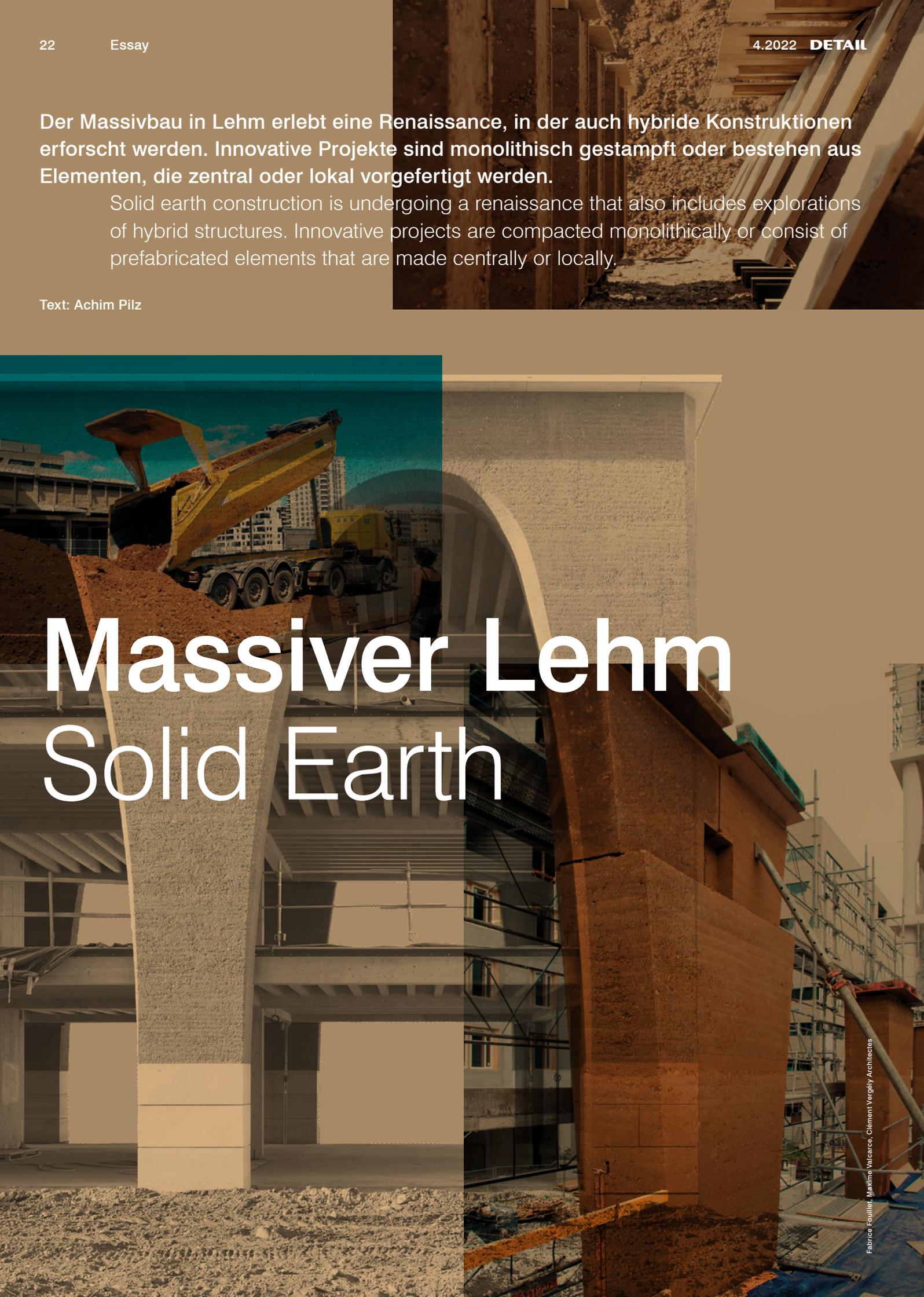


Der Massivbau in Lehm erlebt eine Renaissance, in der auch hybride Konstruktionen erforscht werden. Innovative Projekte sind monolithisch gestampft oder bestehen aus Elementen, die zentral oder lokal vorgefertigt werden.

Solid earth construction is undergoing a renaissance that also includes explorations of hybrid structures. Innovative projects are compacted monolithically or consist of prefabricated elements that are made centrally or locally.

Text: Achim Pilz



Massiver Lehm Solid Earth

Lehm ist ein optimales Material für kreislaufgerechtes Bauen.¹ Nach den Standards der Lehmbaueregeln² des Dachverbands Lehm verarbeitet, lässt er sich unbegrenzt wiederverwenden. Traditionell wird Lehm in Gebieten mit geeignetem Vorkommen einfach gestampft. Mit vorproduzierten Elementen erhält der Stampflehm eine neue Dynamik. Nun ist es möglich, aus dem Aushub der Baustelle auch Gebäude aus elementierten Fertigteilen herzustellen. Forschungen zu hybriden Konstruktionen erweitern die Einsatzmöglichkeiten.

Stampflehm ist ähnlich druckfest wie Beton und Mauerwerk. Gegenüber Beton ist er allerdings viel weicher: Seine Festigkeitswerte liegen um den Faktor 10–20 niedriger, das Elastizitätsmodul sogar um das 50-fache. Verglichen mit Mauerwerk erreicht die Festigkeit von Lehm maximal die Hälfte, das Elastizitätsmodul etwa ein Drittel.

Noch ist Stampflehm sehr teuer. Eine 25–30 cm dicke Wand kostet zirka 1000 € je m² – inklusive der aufwendigen Retusche, sagt Hartwig Ballis, Ansprechpartner für Architekten beim Hersteller Claytec. Dabei seien Fertigteile und eine monolithische Produktion momentan preislich ähnlich. Voraussichtlich werden Fertigteile in den nächsten Jahren besser verfügbar sein, so Ballis. Eine Vortragschale mit gebürsteter Oberfläche und stabilisierender Kasein-Emulsion lässt sich nach Angaben des Unternehmens Lehm Ton Erde zu Preisen ab 450 €/m² herstellen. Dabei beeinflussen Anzahl, Größe und Komplexität der Schale sowie deren Statik und Zugänglichkeit die Kosten.

Forschungen der Aachener Firma Lehmlabor zur gesteuerten Erosion und Steinausbrüche auf den Wetterseiten der Alnatura Arbeitswelt in Darmstadt (Detail 11.2019) und des Besucherzentrums der Schweizerischen Vogelwarte in Sempach (Detail 12.2015) zeigen, dass es auch wetterbedingt ungeeignete Expositionen für Stampflehm gibt. So liegt das Besucherzentrum direkt am See, über den sich größere Windgeschwindigkeiten aufbauen können. Dadurch ist die Schlagregenbelastung der Fassade unverhältnismäßig groß.

Vorzüge von Fertigteilen

Stampflehm wird meist pneumatisch oder elektrisch gestampft. Lage für Lage wird 10–15 cm erdfeuchter Lehm in eine Schalung geschüttet und stark verdichtet. So entstehen ablesbare Schichten. Eine akkurate Umsetzung der Planung ist Grundvoraussetzung für ein gelungenes Ergebnis, da sich Bauteile aus Stampflehm im Nachhinein kaum noch korrigieren lassen. Für eine schön gezeichnete Oberfläche braucht es hier – mehr noch als beim Sichtbetonbau – erfahrene Handwerker.

Beim Verdichten vor Ort wirken zusätzlich zum Eigengewicht des Lehms große Kräfte auf den Baukörper. Lärm, Staub und Feuchtigkeit sind weitere störende Faktoren. Hinzu kommt eine relativ lange Trocknungszeit des Lehms bis zur vollen Belastbarkeit der Wandelemente.

Eine Vorfertigung ist einfacher planbar, die Zeiten auf der Baustelle lassen sich enger takten, der

ACHIM PILZ ist freier Fachjournalist, Kurator und Buchautor. An den Universitäten Wien, Aachen und Stuttgart studierte er Architektur und arbeitete in Indien und Deutschland. Außerdem ist er Baubiologe IBN und Chefredakteur von baubiologie-magazin.de.

ACHIM PILZ is a freelance journalist, curator and book author. He studied architecture at the Universities of Vienna, Aachen, and Stuttgart and has worked in India and Germany. He is also an accredited building biology consultant as well as the editor-in-chief of baubiologie-magazin.de.

Earth is an optimal material for circular construction.¹ Used in accordance with the Lehmbau Regeln², the earth building standards specified by the German Association for Building with Earth, it can be reused indefinitely. Traditionally, in areas with suitable deposits, the earth is simply compacted. With prefabricated elements, rammed earth construction takes on a new dynamic. Now it is also possible to make buildings from elements prefabricated with the soil excavated from the building site. And research on hybrid structures is expanding potential applications.

Rammed earth's compressive strength is similar to concrete and masonry. But it is much softer than concrete: its strength is lower by a factor of 10–20, and the modulus of elasticity is actually 50 times less. Earth attains a maximum strength half that of masonry, and a modulus of elasticity of about one-third.

Rammed earth is still very expensive. A 25–30 cm thick wall costs about € 1000 per m² – including costly retouching, says Hartwig Ballis, manufacturer Claytec's contact partner for architects. Precast elements and monolithic production are currently similar in cost. Prefabricated elements will likely become more readily available in the next few years, says Ballis. Facings with a brushed finish and stabilizing casein emulsion can be produced starting at € 450/m², according to the company Lehm Ton Erde. The costs are affected by the quantity, size, and complexity of the wythe as well as its statics and accessibility.

Für eine schön gezeichnete Oberfläche braucht es hier – mehr noch als beim Sichtbetonbau – erfahrene Handwerker.

For a beautifully finished surface, you need experienced artisans – here even more so than with exposed concrete.

Research by the Aachen-based firm Lehmlabor on controlled erosion and spalling on the windward sides of Alnatura's headquarters in Darmstadt and the Swiss Ornithological Institute's visitor centre in Sempach show that weather conditions can yield unsuitable exposures for rammed earth. The visitor centre, for example, is directly next to the lake, where greater wind speeds can build up, causing a disproportionately high driving rain load on the facade.

Advantages of precast elements

Rammed earth is usually compacted pneumatically or electrically. Layer by layer, 10–15 cm of naturally moist earth is heaped into formwork and densely compacted, resulting in visible layers. Accurately implementing the work as planned is a must for successful results, since components made of rammed earth can hardly be corrected afterwards. For a beautifully

Schalaufwand kann geringer sein. Fertigteile halten die Baustelle trocken und verlagern Lärm- und Staubproduktion in die Werkhalle. Kleinere Elemente wie exklusive Tresen, Sitzbänke, Reliefs oder repräsentative Vorsatzplatten werden deshalb schon länger vorgefertigt. Die Dimensionen sind durch den Transport, die Situation auf der Baustelle und durch die statische Belastbarkeit des Gebäudes begrenzt. Elemente mit bis zu 5 t Gewicht sind auf normal zugänglichen Baustellen handhabbar. In Wandscheiben lassen sich Öffnungen, Heizungsrohre und andere Sonderdetails integrieren. Vorsatzschalen können ab einer Mindestdicke von 7 cm hergestellt werden. 2021 hat die Firma Lehm Ton Erde eine Broschüre über Vorsatzschalen und einen Design Guide für Stampflehmelemente veröffentlicht. Er erläutert konstruktive Vorgaben, Wetterschutz und bauphysikalische Themen und gibt die übliche Trocknungszeit mit 4–6 Wochen an. Typische Elemente sind demzufolge 70–80 cm dick, 120 cm hoch und 120–350 cm lang.



Mit einer Festigung des Lehms durch Zement können scharfkantige und dünne Fassadenelemente wie hier beim Expo-Pavillon in Dubai von Oualalou + Choi hergestellt werden.

Consolidating the earth with cement enables the creation of sharp-edged and thin facade elements such as here at the Expo pavilion in Dubai by Oualalou + Choi



Ein Interview mit dem Architekten des Pavillons Tarik Oualalou können Sie als Podcast anhören.

Listen to a podcast interview with the pavilion's architect, Tarik Oualalou.

detail.de/4-2022-oualalou

Herausforderungen

Bautechnische Herausforderungen der Vorproduktion sind der Transport der brüchigen Elemente und das Fügen. Um den Transport zu erleichtern und die Erdbebensicherheit zu erhöhen, werden horizontale Lagen aus Geotextilien in die Lehmbauelemente eingestampft. Sie können aus Kunststoff oder aus ökologischem Material bestehen. So stampfte Roger Boltshauser bei seinem Ofenturm im Ziegeleimuseum Cham (CH) je Element zwei Geotextilgitter aus gespaltenem Bambus ein. Die Fugen zwischen

finished surface, you need experienced artisans – here even more so than with exposed concrete.

On-site compaction exerts high forces on the structure in addition to the dead load of the earth. Noise, dust and moisture are other disruptive factors. Moreover, it takes a relatively long time for earth to dry before wall elements can be fully loaded.

Prefabrication is easier to plan, work on the building site can be scheduled more tightly, and the need for formwork can be less. Prefab elements keep the building site dry and shift noise and dust production to the workshop. Thus smaller items such as exclusive counters, benches, reliefs or decorative facings have been prefabricated for a while already. The dimensions are limited by transport, building site conditions and the building's loading capacity. Elements weighing up to 5 t are manageable on normally accessible sites. Openings, heating pipes, and other special details can be integrated into walls. Facings can be made with a minimum thickness of 7 cm. In 2021, the company Lehm Ton Erde released a brochure on interior linings and its Design Guide for Rammed Earth. It provides construction specifications, explains weather protection and building physics, and identifies the usual drying time as 4–6 weeks. Typical elements are 70–80 cm thick, 120 cm high and 120–350 cm long.

Challenges

Construction challenges posed by pre-production are the transport of fragile elements and their assembly.

Für eine Vor-Ort-Produktion spricht der geringere Bedarf an grauer Energie.

The advantage of on-site production is its lower demand for embodied energy.

den Blöcken werden meist nachträglich in aufwändiger Handarbeit verschlossen, oft so, dass die Spuren der Elementierung verschwinden. In seinem Buch „Pisé – Stampflehm. Tradition und Potenzial“ über den Stampflehmbau in der Schweiz und im angrenzenden Frankreich nennt Roger Boltshauser Nicolas Meunier als den Ersten, der große Stampflehmblöcke vorfabrizierte.³

2014 baute Meunier auf diese Weise die Außenhülle des Zentrums für archäologisches Kulturgut in Dehlingen von Nunc Architectes. Die großformatigen Lehmblöcke der zweischaligen, im Kern gedämmten Wände fertigte er vor Ort vor. Auch Martin Rauch stampfte die Elemente für das Ricola-Kräuterzentrum von Herzog & de Meuron und die Alnatura-Arbeitswelt von Haascookzemmrich Studio2050 in Feldfabriken vor Ort. Während Meunier die baustellennahe Fertigung auch bei seinem jüngsten Projekt, der Orangerie in Lyon von Clément Vergély Architectes und Diener & Diener beibehielt, hat sich Rauch mit seiner neuen Werkhalle in Schlins für eine Zentralisierung entschieden.

Für eine Vor-Ort-Produktion spricht der geringere Bedarf an grauer Energie. Allerdings kann er auch dann noch erheblich sein, wie Transsolar Klimaengineering für die kerngedämmte Stampflehmfassade der Alnatura-Arbeitswelt in Darmstadt nachgerechnet hat. Dort wurde das Rohmaterial nicht vor Ort gewonnen, sondern stammte größtenteils aus dem Aushub der Bahnhofsbaustelle Stuttgart 21. Auch Vulkangestein aus der Eifel sowie getrockneter und gemahlener Ton aus dem Westerwald mussten zur Baustelle transportiert werden.

Literaturhinweise
References

1 Anna Heringer, Lindsay Blair Howe, Martin Rauch: **Upscaling Earth – Material, Process Catalyst**, gta Verlag, Zürich 2019

2 Dachverband Lehm e.V. (Hrsg.): **Lehmbauregeln, überarbeitete Auflage**, Springer Vieweg Verlag, Wiesbaden 2009

3 Roger Boltshauser, Cyril Veillon, Nadja Maillard (Hrsg.): **Pisé. Stampflehm – Tradition und Potenzial** Pisé. Rammed Earth – Tradition and Potential **2. Auflage**, Triest Verlag, Zürich 2020

4 Raik Hartmann: **Moderne Lehmmauerwerk ist richtungweisend für nachhaltiges Bauen**, in *Edition Bauen+ Schwerpunkt Gebäudetechnik*, Band 1, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2021

To facilitate transport and increase earthquake safety, horizontal layers of geotextiles, which can be made of plastic or ecological material, are tamped into the earthen building elements. For instance, Roger Boltshauser tamped two geotextile grids made of split bamboo into each element of his kiln tower in Cham. The joints between the blocks are then usually closed laboriously by hand, often such that any traces of the discrete elements disappear.

In his book “Pisé” on rammed earth construction in Switzerland and neighbouring France, Roger Boltshauser names Nicolas Meunier as the first to have prefabricated large blocks of rammed earth.³ In 2014, Meunier used this method to build the outer shell of the Archaeological Heritage Interpretation Centre in Dehlingen by Nunc Architectes. For the double-wythe, core-insulated walls, he prefabricated the large-format earth blocks on site. Martin Rauch also compacted the elements for Herzog & de Meuron’s Ricola Herb Centre and Haascookzemmrich Studio2050’s Alnatura headquarters on site in field factories. Whereas Meunier kept production close to the building site for his latest project, l’Orangerie in Lyon by Clément Vergély Architectes and Diener &

Die Lehmblöcke der Orangerie in Lyon von Clément Vergély Architectes und Diener & Diener Architekten werden auf einem Gelände in der Nähe der Baustelle natürlich getrocknet und gelagert.

The earth blocks of l’Orangerie in Lyon by Clément Vergély Architectes and Diener & Diener Architekten are air dried and stored near the construction site.



Clément Vergély Architectes



Clément Vergély Architectes

Am Fuß der bis zu 4 t schweren Blöcke stampfte Lehmbaumeister Nicolas Meunier Gewindestangen ein. So konnten sie mit einem mobilen Kran millimetergenau gesetzt werden.

At the base of blocks weighing up to four tonnes each, earth builder Nicolas Meunier embedded threaded rods, allowing them to be set to millimetre precision with a mobile crane.

Neue Anwendungsnormen

Während die wichtigsten Lehmbaumstoffe seit 2013 durch DIN-Normen geregelt sind, existieren für die massiven Bauweisen Stampflehm, Lehmsteinbau und Wellerbau in Deutschland noch keine Normen. „Der Lehmsteinbau hat am ehesten Potenzial für eine umfangreiche Anwendung, deshalb arbeiten wir gerade mit Hochdruck an der entsprechenden Norm“, betont Christof Ziegert. Ziegert ist Inhaber des auf Lehmbau spezialisierten Planungsbüros ZRS und Obmann des DIN-Ausschusses Lehm. In seine Dissertation nahm er schon 2003 Erkenntnisse zum massiven Bauen mit Lehm aus zehn Jahren Forschung auf. Heute berechnet er die Statik von Lehmgebäuden und ist an vielen Projekten beteiligt wie etwa Golehm.de, einem Netzwerk zum Massivbau mit Lehm, das fast 10 Millionen € Fördersumme an Projektträger vergibt. Zur Bemessung von tragendem Lehmsteinmauerwerk gilt bis 2023 noch das Konzept nach den Lehmregeln. Die dann greifende Norm stellt das Bemessungskonzept, wie heute üblich, auf Teilsicherheitsbeiwerte ab. Um sie auszuarbeiten,



Gereon Legge

Für das Dach wurden die Elemente vorgefertigt. Herausragendes Geogitter erleichtert den Transport und wird dann mit Armierungsstahl verrödelt.

The elements for the roof were pre-fabricated. Protruding geogrids ease transport and are subsequently lashed to reinforcing steel.



Gui Rebbio

Diener, Rauch chose centralised fabrication for his new workshop in Schlins.

The advantage of on-site production is its lower demand for embodied energy, although even then it can still be considerable, as Transsolar Klima-Engineering has calculated for the core-insulated rammed earth facade of the Alnatura Arbeitswelt in Darmstadt. There the raw material was not obtained on site. It came instead mainly from excavations for the Stuttgart 21 railway station. Volcanic rock from the Eifel and dried and ground clay from the Westerwald was also hauled to the site.

New application standards

While the principal earth building materials have been regulated by DIN standards since 2013, no standards exist yet in Germany for the solid construction methods of rammed earth, earth block masonry, and cobwork. “Earth block construction has the best potential for extensive application, so we are currently working intensely on the pertinent standard”, stresses Christof Ziegert. Ziegert is principal of ZRS, a design firm that specialises in earth buildings, and chairman of the DIN committee on earthen construction. His 2003 dissertation already incorporated findings from ten years of research on solid earth construction. Today he calculates the statics for earth buildings and is engaged in many projects, such as Golehm.de, an earth construction network that awards almost €10 million in funding to project sponsors. For the design of load-bearing

Das Berliner Gartenhaus des Architekten Gereon Legge wurde teils vor Ort gestampft, teils vorproduziert.

The garden house in Berlin by architect Gereon Legge was partly compacted on site, partly pre-fabricated.

earth block and brick masonry, the Lehmregeln concept applies until 2023. The standard that applies thereafter relies on partial safety factors, as per current practice. To formulate these, the Federal Institute for Materials Research, TU Darmstadt’s Institute of Solid Construction, and ZRS are conducting a major research project. Large-sized earth blocks are also covered. “But the market is currently limited to small-format bricks”, Ziegert observes. “Drying large, level blocks is too complicated. Rammed earth construction will surely then be regulated next.” A component catalogue for earth masonry and basic connections was published in 2019.⁴

Milestone: Monolithic and prefabricated

Architect Gereon Legge’s garden house demonstrates the plasticity of earth in minimalist built form and is a good example of the trade-off between monolithic and prefabricated rammed earth construc-



Gui Rebello

gibt es ein großes Forschungsprojekt der Bundesanstalt für Materialforschung, des Lehrstuhls für Massivbau an der TU Darmstadt und von ZRS. Auch großformatige Lehmsteine sind darin abgedeckt. „Der Markt beschränkt sich aber momentan auf kleinformatige Steine“, stellt Ziegert fest. „Die Trocknung großer Planblöcke ist zu kompliziert. Als nächstes wird dann sicher der Stampflehmbau geregelt.“ Zu Lehm-mauerwerk wurde 2019 ein Bauteilkatalog mit den wesentlichen Anschlüssen veröffentlicht.⁴

Meilenstein: Monolithisch und elementiert

Das Gartenhaus des Architekten Gereon Legge zeigt die Plastizität von Lehm in einem minimalistisch gestalteten Baukörper und ist ein gutes Beispiel für die Abwägung zwischen monolithischer und elementierter Stampflehm-bauweise. Es ist 8 × 4 × 3 m groß, besteht ganz aus Lehm und ist ungedämmt. Lagen aus Trasskalk schützen die 32 cm dicken, an Ort und Stelle gestampften Außenwände gegen Erosion. Der Architekt hat die Schalung für die Außenwände gut detailliert, so dass möglichst wenig Material benötigt wird. Die Systemschalung besteht aus vier beidseitig an der Wand anliegenden Holz-elementen, die mit dem Baufortschritt am Rohbau empowandern.

Die Untersicht des geneigten Dachs aus weichem Lehm ließ sich nur aus vorgefertigten Elementen

Vorgefertigte Lehmplatten mit einer Schicht Opus Caementitium ermöglichen den Einsatz des Naturwerkstoffs bis unter das Dach.

Prefabricated earth slabs with a layer of Roman concrete enables the natural material to be used up to the roof.

tion. It measures 8 × 4 × 3 m, is made entirely of earth and has no added insulation. Layers of trass lime protect the 32 cm thick, in-situ rammed exterior walls against erosion. The architect did a good job of detailing the formwork for the exterior walls to minimize the amount of material. The modular formwork consists of four timber panels that abut both sides of the wall and travel up as construction progresses.

The soffit of the pitched roof of soft clay could only be made of prefabricated slabs. The roof grid determined their 63.5 × 81 cm dimensions, and Christof Ziegert’s calculations established the 10 cm thickness. For greater roof stability, the slabs at the ridge are offset by 1/3 in relation to those at the eaves. The bending forces are resisted by a 10–12 cm thick slab of reinforced concrete. Geotextiles protruding up from the rammed earth slabs bond them to the concrete. A total of 41 slabs were made for the roof, plus two in reserve. One of the earthen building slabs broke in half during lifting, but could still be installed.

ten herstellen. Ihre Maße von 63,5 × 81 cm sind aus dem Raster der Dachflächen entwickelt, die Dicke von 10 cm nach Statik von Christof Ziegert. Die Elemente im Firstbereich sind gegenüber jenen an den Traufen um 1/3 versetzt, um die Stabilität des Dachs zu vergrößern. Die auftretenden Biegekräfte nimmt eine Stahlbetonscheibe von 10–12 cm Dicke auf. Senkrecht aus den Stampflehelementen ragende Geotextilien verbinden diese mit dem Beton. Insgesamt wurden für das Dach 41 Elemente vorproduziert sowie zwei als Reserve. Beim Heben brach eine der Lehmbauplatten entzwei, konnte aber dennoch eingebaut werden. Durch die Fertigteile war es möglich, die Verarbeitung in die kalte Jahreszeit zu verlängern. „Der Aufwand für die Vorfertigung war genauso hoch wie die Wand lokal zu schalen“, fasst Legge seine Erfahrungen zusammen. „Man spart sich letztendlich wenig, kann aber

Der Ofenturm in Cham von Boltshauser Architekten gewinnt durch eine Vorspannung der Wand an Höhe. Die Elemente sind einfach zu transportieren, ihre Fugen schnell zu retuschieren.

The kiln tower in Cham by Boltshauser Architekten gains height by prestressing the wall. The blocks are easy to transport, and their joints can be quickly retouched.

Using prefabricated parts allowed the work to extend into the cold season. “The effort for prefabrication was the same as for shuttering the wall on site,” says Legge, summarising his experience. “In the end you save little, but different shapes are possible, such as pitched roof slabs, contoured walls or curved shells.”

Rammed-earth look

The Moroccan Expo Pavilion in Dubai by Oualalou + Choi is a reinforced concrete building with an aesthetic facade of concrete with a rammed-earth look. So while the firm has created beautiful tamped concrete, it hardly embodies circularity. The facing units vary in width from 2.1 to 3 m, are 1.2 to 1.8 m high and 15 cm thick, and they are tied back to 15 cm thick reinforced concrete panels. To enable future repurposing of the interiors and admit natural light,





Kuster Frey

the facades have window openings that are presently closed by smaller, removable panels of tamped concrete that is just 2.5 cm thick. These are fixed to 1 cm thick cement panels. The concrete surfaces of the building are sealed and the facades are insulated from inside, meaning the earth can no longer improve the indoor climate.

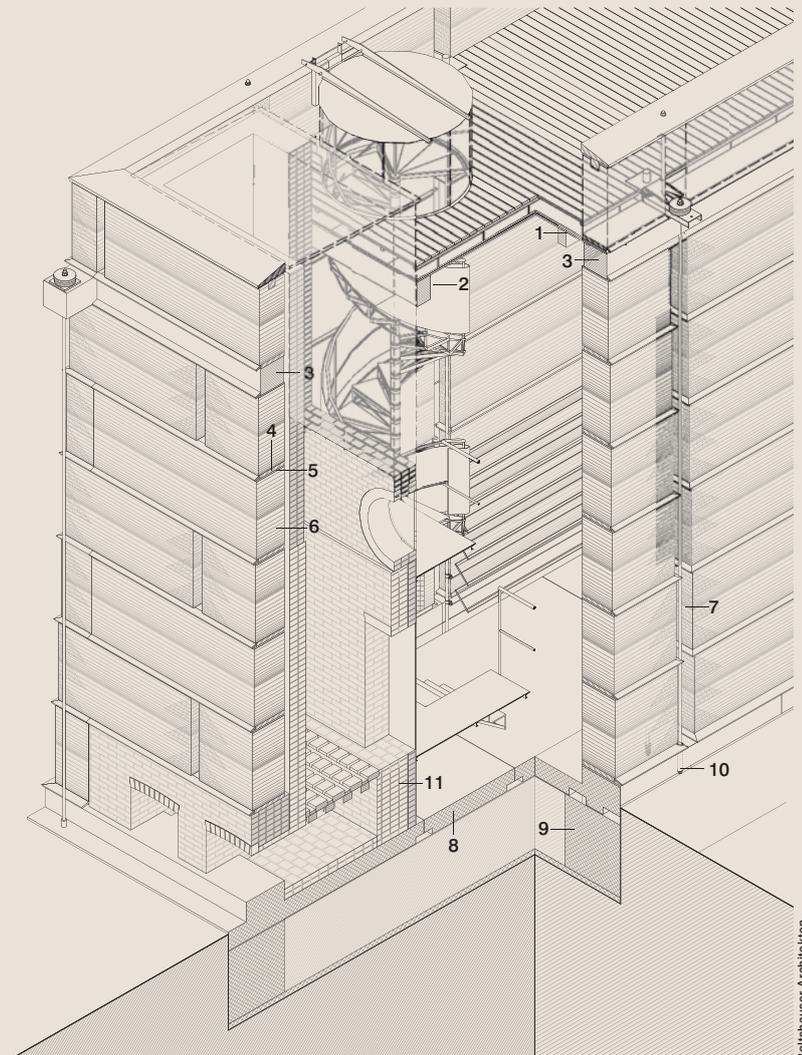
Prestressed hybrid with concrete and timber

In Cham, Switzerland, Boltshauser Architekten set 200 tonnes of rammed earth within a concrete and timber structure. Their kiln tower at the local brickworks museum has a single, extra-high exhibition space with no intermediate floor or horizontal bracing. Prestressing cables with steel disc springs provide stability against earthquake loads. A mock-up showed no continuous creep of the earthen material under the additional load of prestressing.

Im Inneren des Ofenturms sind der Stampflehm und die Vorspannung in den Fugen durch Tageslicht ausgeleuchtet.

Inside the kiln tower, the rammed earth and the prestressing at the joints are illuminated by daylight.

Schnitt Maßstab 1:50	Section scale 1:50
1 Dachaufbau: Holzdielen 26 mm Unterkonstruktion Profil Aluminium 40 mm Stelzlager höhenverstellbar Abdichtung 2 mm Dreischichtplatte 19 mm Kantholz Fichte 200/120 mm	1 roof construction: 26 mm wood boards substructure 40 mm aluminium section; adjustable- height pedestal 2 mm waterproofing; 19 mm three- ply panel 200/120 mm spruce squared timber
2 Kantholz Fichte 320/200 mm	2 320/200 mm spruce squared timber
3 Kantholz Fichte 340/200 mm	3 340/200 mm spruce squared timber
4 Brettschichtholz Fichte 350-459/60 mm	4 350-459/60 mm glulam timber, spruce
5 Fuge Lehmörtel 20 mm	5 20 mm clay mortar joint
6 Wandelement Stampflehm 375-500/1030 mm	6 375-500/1030 mm rammed earth wall element
7 Vorspannung Stahlseil Ø 20 mm	7 Ø 20 mm steel prestressing cable
8 Bodenplatte Stahl- beton 250 mm	8 250 mm reinforced concrete floor slab
9 Streifenfundament Stahlbeton 970 mm	9 970 mm reinforced concrete strip footing
10 Verschraubung Vorspannung: Gewindeanker in Hüllrohr DN60	10 bolted-connection for prestressing: threaded anchor in DN60 steel pipe
11 Ziegelofen: Schamottestein 250/125/60 mm Lehmstein 220/105/60 mm	11 brick kiln: 250/125/60 mm refractory brick 220/105/60 mm earth brick



Boltshauser Architekten

andere Formen erreichen, wie schräge Dachplatten, geschwungene Wände oder gebogene Schalen.“

Stampflehm-Optik

Der marokkanische Expo-Pavillon in Dubai von Oualalou + Choi ist ein Stahlbetonbau mit einer ästhetischen Fassade aus Beton in Stampflehm-Optik. So schafft das Büro zwar einen schönen Stampfbeton, der allerdings kaum kreislaufgerecht ist. Die vorgeblendeten Elemente variieren in der Breite von 2,1–3 m, sind 1,2–1,8 m hoch und 15 cm dick. Sie sind mit 15 cm dicken Stahlbetonelementen verbunden. Um die Innenräume später umnutzen und natürlich belichten zu können, erhielten die Fassaden Fensteröffnungen, die aktuell noch durch kleinere, herausnehmbare Stampfbetonelemente von nur 2,5 cm Dicke verschlossen sind. Diese Elemente sind auf 1 cm dicken Zementplatten fixiert. Die Betonoberflächen des Gebäudes sind versiegelt und die Fassaden von innen gedämmt. Damit hat der Lehm keine Möglichkeit mehr, das Raumklima zu verbessern.

Vorgespannter Hybrid Beton/Holz

Im Schweizer Cham spannten Boltshouser Architekten 200 t Stampflehm in eine Beton-Holz-Konstruktion. Ihr Ofenturm im dortigen Ziegelei-Museum enthält einen einzigen, überhohen Ausstellungsraum ohne Zwischendecke und Aussteifung in der Horizontalen. Stabilität gegen Erdbebenlasten erzeugt die Vorspannung mit Tellerfedern aus Stahl. In einem Mock-up war es unter der zusätzlichen Last der Vorspannung zu keinem fortwährenden Kriechen des Baustoffs gekommen.

Beim Turm entwickelten Boltshouser und Felix Hilgert von Lehmag auch die Elementierung innovativ weiter. Sie erhöhten nicht nur die Stabilität der Konstruktion, sondern auch die Effizienz des Stampfprozesses. So stampften sie die 91 Elemente auf hölzerne Grundplatten, die danach schnell und einfach versetzt und retuschiert werden konnten. „Die Retusche ist einfacher und weniger ästhetisch anspruchsvoll“, erklärt Hilgert. Er stellte einen ökologischen Materialmix aus fast $\frac{3}{4}$ Mischabbruch und $\frac{1}{4}$ Ton her. Bauseits erhielten die Holzplatten einen Wetterschmel. Horizontale Schichten und Ecken aus Trasskalk wirken zusätzlich als Erosionsbremse. Nach zehn Jahren soll der Turm vollständig zurückgebaut werden.

Bauen mit dem Aushub

In und um Lyon hat der Massivbau mit Lehm eine lange Tradition. Das örtliche Material eignet sich dafür hervorragend. Clément Vergély Architectes haben diese Tradition zusammen mit Diener & Diener wieder aufgegriffen und postulieren: „Moderner Lehm-bau in Fertigteilbauweise und eine ambitionierte Formensprache sind miteinander vereinbar und bedingen sich gegenseitig.“ Im Neubauquartier Confluence, mitten in der Stadt, bauten sie ein dreistöckiges Bürogebäude aus 286 Stampflehmblöcken und Holz, die sogenannte Orangerie. 14 dreigeschossige Parabelbögen, an ihrer Basis 4,75 m breit, gliedern die 11 m hohen Außenwände. Damit beträgt die Öffnungsfläche 40%. „Der tra-

Die monolithische Wand der Orangerie in Lyon besteht komplett aus Erdaushub einer 30 km entfernten Baustelle. Der aufgeschüttete Baugrund im Quartier Confluence eignete sich nicht für den Stampflehm-bau.

The monolithic wall of l'Orangerie in Lyon consists entirely of soil excavated from a building site 30 km away. The backfilled subsoil in the Confluence district was unsuitable for rammed earth construction.

For the tower, Boltshouser and Felix Hilgert from Lehmag also made innovative advances in prefabrication. They increased not only the stability of the structure, but also the efficiency of the tamping process. The 91 blocks were rammed atop wooden base plates, facilitating their transport and retouching. „Retouching is easier and aesthetically less exacting“, explains Hilgert. He used an ecological material blend of almost $\frac{3}{4}$ mixed rubble and $\frac{1}{4}$ clay. On site, a drip nose is added to the timber plates. Horizontal layers and corners of trass lime provide added protection from erosion. After ten years, the tower is to be completely dismantled.

Building with excavated material

In and around Lyon, solid earthen construction has a long tradition. The local soil is ideal for the purpose. Clément Vergély Architectes, together with Diener & Diener, have taken up this tradition and postulate: „Modern prefabricated earthen construction and an ambitious formal vocabulary are mutually compatible and interdependent.“ In the emerging Confluence district at the city's centre, they built a three-storey office building of 286 rammed-earth

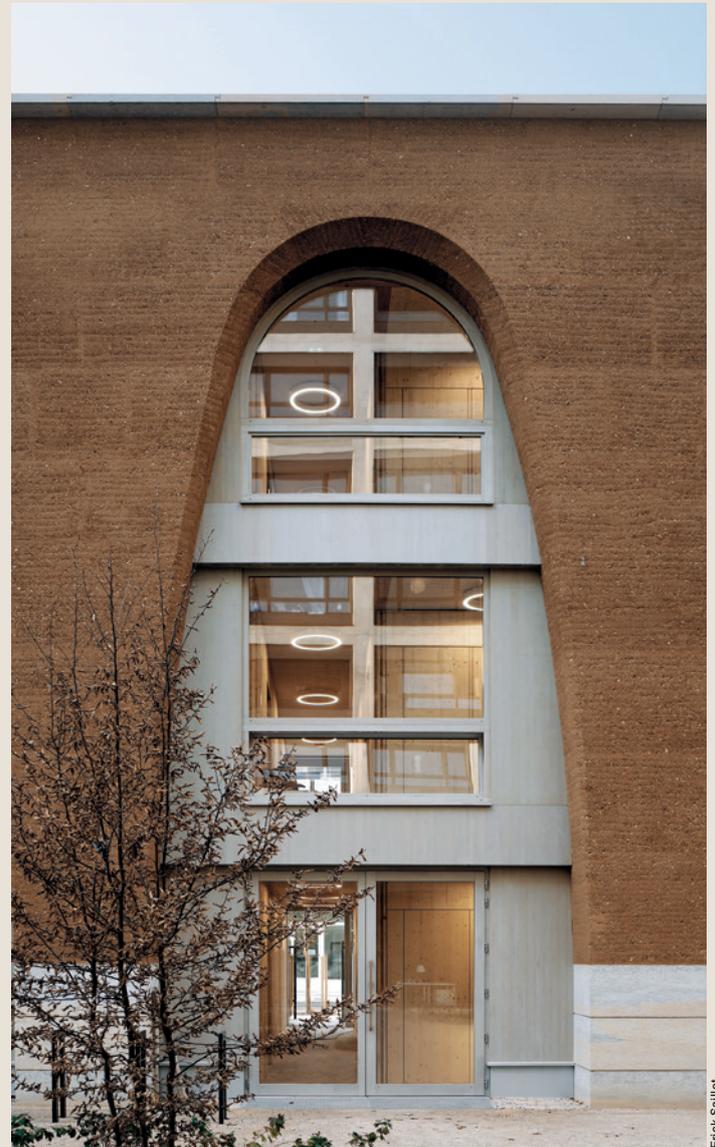
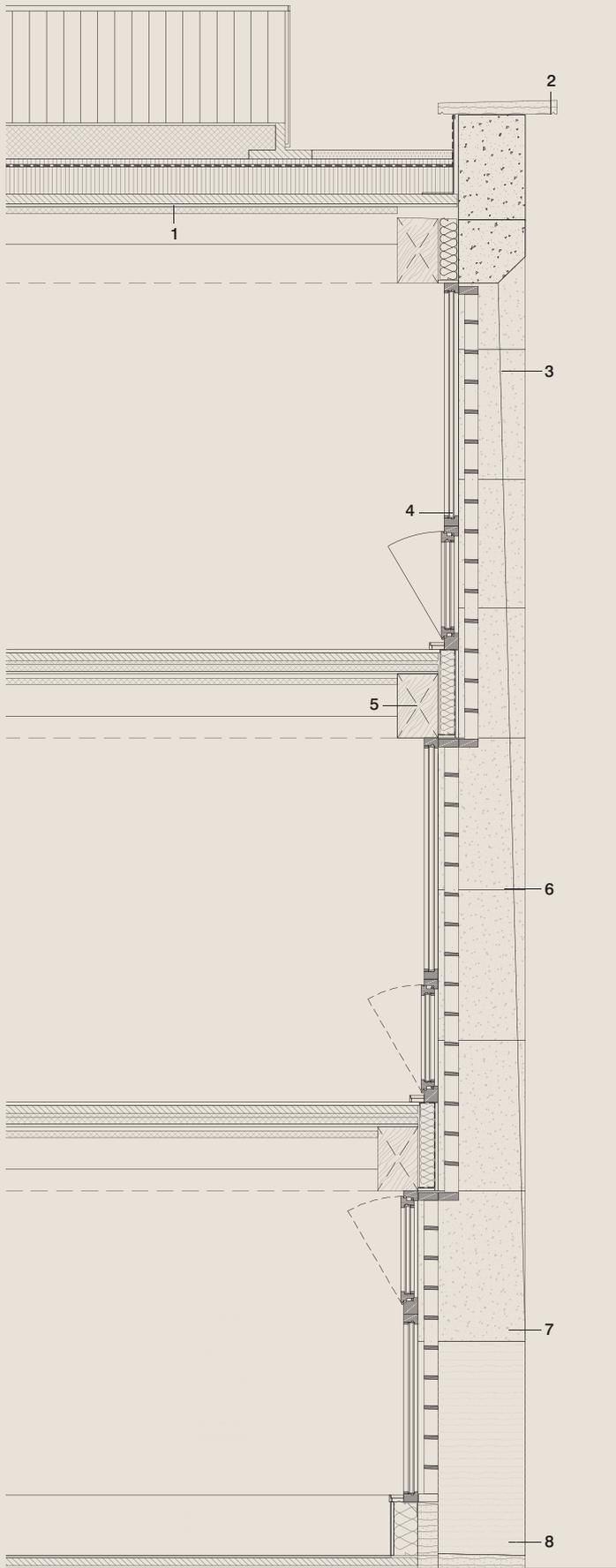


Benjamin Vergély

Schnitt Maßstab 1:50	Section scale 1:50
1 Dachaufbau: Intensive Dachbegrünung Substratschicht 300 mm Filter- und Dränschicht Wärmedämmung in 3% Gefälle verlegt 200 mm Brettsperrholz 100 mm Spanplatte zementgebunden 22 mm als Dampfsperre Kantholz 120/240 mm	1 roof construction: intensive roof planting 300 mm substrate layer filter and drainage layer 200 mm thermal insulation laid with 3% fall 100 mm cross-laminated timber 22 mm cement-bonded particle board as vapour barrier 120/240 mm squared timber
2 Platte Kalkstein 100/900 mm	2 100/900 mm limestone coping
3 Außenwand aus Stampflehmblöcken 850/500 mm	3 exterior wall of 850/500 mm rammed earth blocks

Eine Holz-Lehmkonstruktion, wie sie auch an historischen Gebäuden zu finden ist: Tragende Außenwände sind aus Lehm, die innenliegenden Tragelemente und die Decken aus Holz.

Timber and earth construction like that found in historic buildings: the load-bearing exterior walls are made of earth, the interior load-bearing elements and ceilings are made of timber.



Erick Salliet

- 4 Isolierverglasung in Rahmen Lärche lasiert
- 5 Fester Sonnenschutz (Südseite) Lärche lasiert Holzständerwand Lärche 150 mm Kantholz 490/120 mm
- 6 Außenwand aus Stampflehmblöcken 850/650 mm
- 7 Außenwand aus Stampflehmblöcken 850/800 mm
- 8 Sockel Naturstein 800 mm Höhe gesamt 1790 mm

- 4 double glazing in larch frame with stained finish
- 5 fixed brise-soleil (southern side), larch with stained finish; wood stud wall 150 mm larch 490/120 mm squared timber
- 6 exterior wall of 850/650 mm rammed earth blocks
- 7 exterior wall of 850/800 mm rammed earth blocks
- 8 800 mm stone base, total height 1790 mm



Die Stärke der Außenwand der Orangerie reduziert sich von unten nach oben von 80 auf 65 auf 50 cm.

Nach dem Setzen werden die Fugen retuschiert. Nur im Streiflicht sind die Elemente noch zu erkennen.

The thickness of the exterior wall of l'Orangerie reduces upwards from 80 to 65 to 50 cm. After the blocks are set

in place, the joints are touched up. The discrete elements can only be discerned in glancing light.

gende Lehm-bau hier ist ein Novum“, betont Stefan Jeske, der verantwortliche Architekt bei Clément Vergély Architectes und ergänzt: „Und die Bogenform lotet das statische Limit von Lehm aus. Wir haben dazu mit den besten Wissenschaftlern und Ingenieuren hier in der Gegend gearbeitet.“

In Lyon stampfte Lehm-pionier Nicolas Meunier am Fuß der Blöcke Gewindestangen ein, so dass er sie einfach mit einem kleinen mobilen Kran versetzen kann. Die Löcher der Stangen werden nach dem Setzen händisch mit Lehm verfüllt, die Fugen retuschiert. Nur im Streiflicht sind die Elemente noch ablesbar, die durch keine Erosionsbremse gegliedert sind. Ein hoher Sockel und die 25 cm überkragende Attikaabdeckung schützen den Lehm. „Das reicht vollkommen“, sagt Jeske.

Meunier produzierte fast wie bei einem Steinbauwerk Blöcke, deren Seite zum Bogen komplex geschnitten ist. Die Fase der Bogenkante wird zum Scheitel zunehmend größer. Alle Blöcke wurden horizontal gestampft, einschließlich der Schrägen. Sie sind 80–90 cm hoch, ihre Stärke reduziert sich geschossweise von 80 auf 65 und weiter auf 50 cm. Die schwersten wiegen bis zu 4 t. Nur die Lagen der relativ kleinen Schlusssteine wurden radial, senkrecht zum Lastverlauf, von Hand gestampft. Technisch aufwendig war, die Deckenaufleger aus Metall und die T-Profile einzustampfen, an die die Fenster beim Einbau angedrückt wurden.

Zentrale Produktion

Auch Lehm Ton Erde hat den lasttragenden Lehm-bau mit neuen Anschlüssen für Decken, Dächer, Fenster und Fensterstürze weiter entwickelt. Die Lehmelemente für Vorsatzschalen werden bei dem Unternehmen mit Haltebügeln oder integrierten Hülsen versehen, mit denen sie sich an die Unterkonstruktion anhängen lassen.

Inzwischen produziert die Firma auch ein Fertighaus aus Stampflehmelementen mit Wärmedämmverbundsystem. Die Auftragsbücher sind gefüllt mit Projekten aus vorfabrizierten Elementen wie der Galerie „Werkraum AHA“ in Zürich, einem Bürobau, einer Werkhalle und mehreren privaten Wohnhäusern. Ob zentral oder lokal vorproduziert – mit der massiven Lehm-bauweise wird es weitere ästhetische Meilensteine geben.

Das Erden-Fertighaus von Martin Rauch besteht aus großformatigen Stampflehmelementen, die außen gedämmt und verputzt werden.

Martin Rauch's prefabricated ERDEN house is made of large-format rammed earth blocks with exterior insulation and render.



Moderner Lehm-bau in Fertigteilbauweise und eine ambitionierte Formensprache sind miteinander vereinbar.

Modern prefabricated earthen construction and an ambitious formal vocabulary are mutually compatible.

blocks and timber, dubbed the Orangerie. Fourteen three-storey parabolic arches, 4.75 m wide at the base, articulate the 11 m high exterior walls, whose surface is thus 40% open. “The load-bearing earthen structure here is a first”, stresses Stefan Jeske, architect in charge at Clément Vergély Architectes, adding: “And the arch form pushes the structural limit of earth. We worked with the best scientists and engineers in the area to do so.”

In Lyon, earth-building pioneer Nicolas Meunier embedded threaded rods at the base of the blocks so he can easily move them with a small mobile crane. After placement, the holes from the rods are filled with earth by hand and the joints are touched up. The discrete elements, not separated by erosion checks, are only detectable in glancing light. A tall base plus parapet copings that project 25 cm protect the earth. “That’s utterly sufficient”, Jeske says.

Working almost like a stonemason, Meunier produced blocks whose side toward the arch is complexly cut. The chamfer on the arch’s edge grows larger towards the crown. All the blocks were rammed horizontally, including the bevels. They are 80–90 cm high, and their thickness reduces storey by storey from 80 to 65 and then 50 cm. The heaviest weigh up to 4 t. Only the relatively small keystones were rammed radially by hand, perpendicular to the load distribution. It was technically difficult was to embed the metal slab supports and the T-sections against which the windows were installed.

Centralised production

Lehm Ton Erde has also advanced load-bearing earthen construction with new connections for floors, roofs, windows and lintels. The company equips its earthen lining elements with retaining brackets or integrated sleeves with which they can be attached to the substructure. Meanwhile, they also offer a prefab house made of rammed earth elements with a composite thermal insulation system. Their order books are filled with projects built with prefabricated elements, such as the “Werkraum AHA” gallery in Zurich, an office building, a workshop and various private homes. Whether prefabricated centrally or locally, solid earth construction will set further aesthetic milestones.



Buch-tipp:
Martin Rauch:
Gebaute Erde. Gestalten und Konstruieren mit Stampflehm
 Refined Earth. Construction & Design with Rammed Earth Edition Detail 2., erweiterte und überarbeitete Auflage shop.detail.de