

## Erdbebensicheres Bauen mit Kokosfaser Lehm

Nach einem großen Erdbeben taucht immer wieder die gleiche Frage auf, woran lag es, dass die Häuser einstürzten, und wie kann dies zukünftig vermieden werden.

Bei allen ausführlichen und tiefgehenden Diskussionen fällt auf, dass es ganz allgemein gesehen zwei Lager gibt. Die Einen bauen mit schweren und massiven Baustoffen steife Gebäude, während die Anderen mit leichten und flexiblen Baustoffen elastische Gebäude errichten.

Die Sicherheit bei der massiven Bauweise kommt von der Steifheit und Starrheit der Materialien. Wenn der Stress durch ein Beben zu groß wird, bricht das spröde Material einfach in sich zusammen.

Bei der leichten und flexiblen Bauweise wird die Erdbebenbelastung, sowohl horizontal wie auch vertikal durch elastische Verformung eliminiert.

Die Unterschiede werden am deutlichsten, wenn man sich ein Aquarium als ein schweres Bauteil und einen geflochtenen Korb als leichtes Bauteil vorstellt. Ab einer bestimmten Belastung zerbricht das Aquarium und fällt in sich zusammen, während der Korb diese Belastung durch Verformung weitgehend abfangen und eliminieren kann, ohne zu zerbrechen.

Dieser Effekt wird beim Bauen mit Lehm erheblich gesteigert, besonders wenn dieser mit Kokosfasern verstärkt wird. Der Korb verhält sich ähnlich, wie die Knautschzone bei einem Auto. Der einzige Nachteil des Korbes ist, dass er nicht wasserdicht ist, selbst wenn man ihn mit Lehm verschmiert.

### **Theoretisch kann mit jedem Material absolut erdbebensicher gebaut werden**

Setzt man voraus, dass entsprechend dem Baumaterial fachlich richtig geplant und gebaut wurde, dann hängt die absolute Erdbeben-Sicherheit (EBS), nur von der Größe, Form und den Proportionen ab. Diese sind für jedes Material und Bautechnik unterschiedlich zu bewerten.

In der Realität sieht es etwas anders aus. Absolut erdbebensichere Gebäude sind recht selten. In den meisten Fällen ist nach einem Beben festzustellen, dass Verletzte und Tote durch die eingestürzten Häuser aufgrund von Fehlern beim Bau durch den Bauunternehmer, bei der Planung und der Bauaufsicht zu beklagen sind, die nur indirekt etwas mit den verwendeten Baustoffen und Techniken zu tun haben. Es geht leider meistens nur ums Geld, und deshalb wurde nicht nach Vorschrift gebaut. Dagegen hilft nur ständiges und striktes Kontrollieren.

Allerdings haben Evaluierungen von Erdbebenschäden auch gezeigt, dass die in traditioneller Bauweise errichteten Gebäude weniger betroffen sind und auch in ihrer Schadenswirkung weit geringere Auswirkungen haben, als z.B. moderne, vor allem mehrstöckige Beton-Rahmen-Konstruktionen, die durch den „Pfannkuchen Effekt“ bekannt wurden.

Während bereits die kleinsten Fehler bei der massiven Bauweise tödlich sein können – man denke nur an die schweren Wand- und Deckenteile, die einstürzen können – führen Fehler bei der Leichtbauweise nicht zu derartig schweren Zerstörungen, vor allem lassen sich Verschüttete ohne schwere Räumfahrzeuge bergen.

### **Erfahrungen mit Gebäuden, die in traditioneller Bauweise errichtet wurden**

Wie Untersuchungen zeigen, sind Holzrahmen-Konstruktionen wie wattle-and-daub und Bahareque Techniken (verschmiertes Flechtwerk) die erdbebensichersten Bautechniken (nach Langenbach). Doch nicht immer steht für den Bau mit diesen Techniken regional ausreichend Holz zu erschwinglichen Preisen zur Verfügung. Oft genug möchte man diese „billige, Arme-Leute Technik“ auch nicht haben. In solchen Fällen wird empfohlen mit Massivlehm zu bauen – ob nun in Adobe Technik (mit unterschiedlichen Steingrößen) oder als Stampflehm. Dabei ist zu beachten, dass jeder Lehm-bau eine fachgerechte Planung und Ausführung voraussetzt!

Die allgemeinen Regeln sollten dabei immer an die regionalen Klimaverhältnisse, Baustoffangebote und die Standort spezifischen Bedingungen angepasst werden.

## Earthquake resistant construction using coconut fibre reinforced earth

After a severe earthquake the same question always arises: Why did the buildings collapse and how could this be avoided in the future?

During detailed and profound discussions it becomes clear that, generally speaking, there are two camps. The one proposes building stiff structures using heavy and solid materials while the other prefers using light and flexible materials to produce resilient buildings.

In the case of solid constructions the structural stability derives from the stiffness and rigidity of the materials. If the stress caused by the quake becomes too extreme, the brittle material simply disintegrates and collapses.

With lightweight and flexible constructions the earthquake stresses are eliminated horizontally and vertically through elastic deformation.

The differences become clearest when one imagines an aquarium as a heavy building component and a woven basket as a light building component. Beyond a certain load the aquarium breaks and collapses, but the basket can largely absorb and eliminate this load by deforming without breaking.

This effect is substantially increased using clay, particularly when it is reinforced with coconut fibres. The basket behaves in a similar way to the crumple zone of a car. The only disadvantage of the basket is that it is not watertight, even if it is smeared with clay.

### **Theoretically one could use any material to construct absolutely earthquake safe buildings**

Assuming that one designs and builds technically correctly in a manner appropriate to the building material, absolute earthquake safety is only a matter of size, shape and proportions. These must be assessed differently for each material and construction method.

In reality things are rather different. Absolutely earthquake safe buildings are extremely rare. In most cases after an earthquake it is established that the injuries and deaths in a collapsed building can be blamed on the building contractor, the designer and

finally the construction supervisor and are only indirectly the result of the materials and techniques used. Usually it is simply a matter of cost: corners are cut and regulations are not adhered to. This can only be tackled by continual and strict building controls.

Nevertheless evaluations of earthquake damage have shown that traditional buildings are less affected and also that the scale of their damage is far less than modern buildings for example, in particular multi-storey concrete framed constructions, which are known for their “pancake effect”.

While even the smallest defect in a solid structure can be lethal – one thinks of the heavy bricks or wall and ceiling components that can cave in – defects in lightweight construction do not lead to such serious destruction and, above all, the victims can be rescued without the need for heavy lifting gear.

### **Experience with traditional buildings**

As investigations have shown, timber framed structures (wattle and daub and the bahareque technique, clay-daubed lattice-work) are the most earthquake resistant techniques (according to Langenbach). However, in some regions sufficient affordably-priced timber is not always available for these techniques. Quite often people do not want this “cheap method for the poor”. In these cases it is better to adopt solid earthen construction – either the adobe technique, with different-sized blocks, or as rammed earth: all types of earthen construction depend on proficient design and implementation!

In some instances, however, the general rules require some adaptation to regional climatic circumstances and available building materials as well as to the specific conditions of the location.

### **Earthquake-resistant light-clay post-and-beam construction**

For my work in Indonesia I chose timber post-and-beam construction, since the requirements in Sumatra for earthquake safety are extremely rigorous. Furthermore flood protection should also be taken into account.



### Erdbebensichere Leichtlehm-Ständer-Bauweise

Bei meinen Arbeiten in Indonesien habe ich mich für die Holz-Ständer-Konstruktion (HSK) entschieden, da die Anforderungen in Sumatra an die Erdbebensicherheit (EBS) recht hoch sind, außerdem muss auch noch flutsicher gebaut werden.

Die Leichtlehm-Ständer-Bauweise ist hierfür und für die tropischen Verhältnisse besonders geeignet. Dafür gibt es verschiedene Gründe, die von natürlichen Kühl-Prinzipien über die Baustoffe bis hin zur CO<sub>2</sub> Reduzierung reichen.

In den meisten Ländern gibt es traditionelle Holz-Ständer-Techniken. So auch in Indonesien. Es ist sinnvoll diese Techniken soweit als möglich zu integrieren, denn das vereinfacht das Bauen, macht es schneller, sicherer und letztendlich auch billiger.

Die Ausfachung der Rahmen erfolgte mit einer modifizierten wattle-and-daub und Weidengeflecht-Technik, bei der die horizontale und vertikale Armierung (rechtwinklige Gitterstruktur) durch ein zusätzliches diagonales Gitter verstärkt wird. Erst damit entstehen Dreiecke, die sich nicht, wie die sonst üblichen rechtwinkligen Gitter, verschieben lassen.

Das erste übergeordnete Gitter, mit Stababständen von ca. 20 bis 30 cm, wird mit Zweigen oder Latten von max. 2 cm Durchmesser, bzw. bei Bambussplit mit einer Breite von ca. 2 bis 3 cm hergestellt. Die Abstände werden durch zusätzliches Einflechten von dünneren und kürzeren Bewehrungsstäben weiter verkleinert.

Durch das horizontale, vertikale und diagonale Flechten der elastischen Bewehrungsstäbe – das kann Bambus, kann aber auch jedes andere Holz oder Zweige sein –, stehen diese unter Spannung wie ein Bogen. Diese unsichtbaren Kräfte sorgen dafür, dass die Wand nach einer Verformung wieder gerade wird (elastische Verformung). Die Wand reagiert wie eine Feder. Diese Elastizität ist erforderlich, um die Kräfte, die durch die Rahmenkonstruktion bei einem Beben auf die Ausfachung wirken, aufzunehmen. Durch Reibung und das Elastischbleiben wird die Verformung eliminiert. Da sowohl der Rahmen als auch das Flechtwerk der Ausfachungen aus Holz sind, passen alle physikalischen Größen zusammen und harmonisieren.

IBE Model House – Caritas Czech Republic, Sumatra, 2006

1 Traditionelle Ständerkonstruktion aus dem Holz der Kokosnusspalme. Das Fachwerk und der Dachstuhl sind auch aus Kokosnuss Holz.  
Traditional post construction using coconut trunks. The framing and roof structure are of coconut timber.

Das Flechtwerk wird nun von unten nach oben mit der Lehm-Mischung gefüllt. Der fette Lehm, der bereits mit Kokosgranulat gemagert ist, wird durch Kneten in die Kokosfaser, die zu losen Strängen zusammengedreht ist, eingearbeitet. Diese Lehm/Kokosfaser-Stränge von 15 bis 30 cm Länge und einem Durchmesser von etwa 2 bis 5 cm werden nun in das Flechtwerk aus horizontalen, vertikalen und diagonalen Stäben geflochten. Nach dem Einflechten werden die einzelnen Stränge jeweils auf die darunterliegende Stränge gedrückt und von beiden Seiten durch Pressen mit den Handballen leicht verdichtet und dabei etwas geglättet. Mit dieser Technik lassen sich sehr dünne Wände von nur 5 bis 10 cm Stärke herstellen. Da ist kaum noch Masse für die Wärmespeicherung vorhanden, das sind also reine Isolationswände und für viele Zwecke im Wohnbereich völlig ausreichend.

Durch das Flechten mit den Lehm/Kokosfasersträngen wird das Holzflechtwerk zusätzlich stabilisiert. Da die Kokosfaser zu über 45 % aus Lignin besteht, harmonisiert auch dieser Baustoff bestens mit dem Holz des Rahmens und des Flechtwerks. Durch den hohen Anteil von Kokosfaser wird die Elastizität der Wände noch erheblich verbessert.

Wenn die Wand nicht zu dünn ist, kann direkt genagelt und geschraubt werden. Bei Bruchversuchen zeigte sich, dass die Proben nicht brachen, sondern sich unter der Belastung soweit bogen, dass sie durch die Auflage der Prüfanlage rutschten. An der Biegestelle bröckelte der Lehm, doch die Kokosfaser hielt die beiden Teile zusammen.

Bei Versuchen mit Modellen hat sich gezeigt, dass bei einer solchen Konstruktion nach einer starken physischen Einwirkung (Schlag) lediglich im Innenraum der Putz abbröckelt. Solche Schäden sind einfach zu beheben.

Die wattle-and-daub Technik ist keineswegs nur eine Bautechnik für arme Leute, sondern eignet sich auch hervorragend für größere und luxuriöse Gebäude.

### Erdbebensichere Adobe-Bauweise

Bei der erdbebensicheren Adobe Technik verwende ich ebenfalls Kokosfaser und Granulat als Armierungs- und Magerungsmaterial für die Herstellung von Steinen und Blöcken. Die Ado-

2 Zöpfe aus Kokosfasern  
Braided coconut fibre



The light-clay post-and-beam construction suits these requirements particularly well and is also appropriate for tropical conditions. There are several reasons for this, including natural cooling principles, building materials and CO<sub>2</sub> reduction measures.

Traditional post-and-beam construction techniques can be found in most countries and Indonesia is no exception. It makes sense to integrate these techniques as far as possible, for this makes construction simpler, faster, safer and ultimately cheaper.

Framework infilling is achieved with a modified wattle and daub and willow lattice technique, whereby the horizontal and vertical elements (a right-angled grid structure) are strengthened by the addition of diagonal struts. Only in this way is triangulation achieved which, unlike the usual right-angled grid, does not deform.

The first principal grid, with strut centres at ca. 20 to 30 cm, is formed with branches or laths of max. 2 cm thickness or with 2 to 3 cm wide split bamboo. The centres are reduced by weaving in additional thinner and shorter reinforcement struts.

Through the horizontal, vertical and diagonal interweaving of the flexible reinforcement – which can be bamboo, but also any other wood or even branches – these stand under tension like an arch. These invisible forces ensure that the wall straightens up again after deformation (elastic distortion). The wall behaves like a feather. This elasticity is necessary, so that during an earthquake the forces that pass through the construction framework, imposing pressure on the infill panels, are absorbed and, through friction and by retaining elasticity, eliminate the distortion. Since the framework and the wattle of the infill are both timber, all the main physical elements match and harmonise.

The wattle is now filled from the bottom upwards with the earthen mixture. The rich clay, which has already been tempered with coconut granules, is worked in by kneading into the coconut fibres, which have been twisted together into loose strands. These clay/coconut fibre strands of 15 to 30 cm length and approximate thickness of 2 to 5 cm are now woven into the wattle of horizontal, vertical and diagonal staves. After weaving these in, the individual strands are each pressed down onto the strand below and lightly consolidated from both sides by



pressing with the flat of the hand and smoothed over. With this technique very thin walls of only 5 to 10 cm thickness can be made. Since there is hardly any mass to retain the heat, these are purely separating walls and quite sufficient for most domestic purposes.

The timber wattle is further stabilised through the interweaving of the clay/coconut fibre strands. Since the coconut fibres consist of over 45% lignin, this building material also harmonises excellently with the wood of the framework and the wattle. Due to the high proportion of coconut fibres, the elasticity of the walls is improved still further.

If the wall is not too thin, nails and screws can be directly applied. Fatigue tests showed that the test samples did not break but when load was applied they deflected so far that they slipped right out of the test rig. At the point where the bending occurred, although the clay crumbled, the coconut fibre held both components together.

Tests with models have shown that with this sort of construction, after a severe physical event (impact), the render only crumbles on the inside. This damage is therefore extremely easy to repair.

The wattle and daub technique is by no means a technique only for the poor. It is also an outstanding method for luxurious and larger buildings.

### Earthquake-resistant adobe construction

For the earthquake safe adobe technique I also use coconut fibres and granules as reinforcement and as a tempering material for the bricks and blocks. The adobe bricks, in regular brick dimensions (20 × 10 × 8 cm) or as blocks (45 × 20 × 10/20 cm), are supplemented with up to 30% coconut fibres and granules.

With the bricks and blocks (light-clay adobe blocks) we are talking about a fish-shaped interlocking system. Whereas most interlocking systems presuppose straight and right-angled building, the fish form is ideal for constructing rounded corners, which eliminates a significant weakness: the right-angled corner. One can, of course, also achieve straight lines and right-angles, if one really wants to.

3 Vor dem Einknetten des Lehms werden die Kokosfaser Zöpfe in eine fette Lehmschlämme getaucht.  
Before the clay is kneaded in, the coconut fibre strands are immersed in a rich earthy soup.

4 Flechten des übergeordneten Vertikal-, Horizontal- und Diagonalgitters aus gesplittetem Bambus.  
Weaving of the secondary vertical, horizontal and diagonal wattle of split bamboo.



be Steine, in Ziegelstein-Größe (20 × 10 × 8 cm) oder als Block (45 × 20 × 10/20 cm), werden mit Kokosfasern und Granulat bis zu 30% gemischt.

Bei den Steinen und den Blöcken (Leicht-Lehm-Block – LLB) handelt es sich um ein sogenanntes „Interlocking System“ in einer Fischform. Während die meisten Interlocking Systeme darauf ausgelegt sind, nach Möglichkeit gerade und genau rechteckig zu bauen, eignet sich die Fisch-Form hervorragend zum Bauen von abgerundeten Ecken, wodurch einer der wesentlichen Schwachpunkte bei Beben entfällt: Die rechteckige Ecke. Man kann natürlich auch gerade und rechteckig bauen, wenn man unbedingt will.

In Längsrichtung der Steine/Blöcke ist in der Mitte eine Nut von ca. 2 cm Breite und Tiefe eingelassen. Beim Vermauern wird diese Nut mit Lehmörtel gefüllt, genau so wie die vertikale Nut an der Stirn- und Fußseite der Steine/Blöcke. Der harte, horizontal verlaufende Nutenlehmkern von 2 × 4 cm zwischen den Stein-schichten soll ein seitliches – horizontales – Verschieben verhindern.

Um die Reibung zwischen den Steinen zu erhöhen, klebe ich die Steine/Blöcke zusammen, der Mörtel gleicht lediglich die Unebenheiten der Steine aus und wird zum Füllen der horizontalen und vertikalen Nut benötigt. Der Nutenkern ist an beiden Seiten mit der vertikalen Nutenfüllung verbunden. In die Nuten können auch Armierungsstäbe – zum Beispiel Bambussplit – gelegt werden. Ich bevorzuge Seile aus Kokosfasern. Diese sind elastisch und verhalten sich eher wie ein Dichtungsring in einer Muffe. Da passt auch das Material besser zusammen.

Hervorragend zur Verstärkung von Ecken sind auch alte Ketten geeignet, die zwischen die Schichten in die Nut des Mauerwerks gelegt werden. Durch die unterschiedlichen Lagen der Ketten-glieder wird diese fest im Lehmörtel und den Steinen eingebunden.

Neben der Bautechnik ist die Armierung des Lehms mit Kokosfasern nach meiner Auffassung der wichtigste Faktor bei der oben beschriebenen erdbebensicheren Bauweise.



Durch die Zugaben von Kokosfasern und Granulat werden Lehmsteine und damit die Wand elastischer. Das Verhalten unter Druck ändert sich ebenfalls.

Der armierte LLB zerbricht bei flächigem Druck nicht in viele kleine Stücke, sondern lässt sich zusammendrücken, wobei er an Breite zunimmt ohne zu zerbrechen. Nach der Druckbelastung entspannt sich der Block um den elastischen Anteil der Verformung. Der Anteil an bleibender und elastischer Verformung wird bestimmt durch die Zugaben von Kokosfasern und Granulat. Mit ihnen ändern sich die physikalischen Eigenschaften der Lehmprodukte. Je höher der Anteil an Fasern und Granulat, umso holzähnlicher wird die Mischung. Der so gefertigte LLB ist nagel- und schraubbar und wird am besten mit Holzwerkzeugen bearbeitet. Mit Sandpapier bearbeitet lässt sich die Oberfläche sogar polieren und mit Ölen und Wachsen behandeln.

LLB-Steine und Blöcke eignen sich auch für die Ausfachung von Stahlbetonskeletten. Eine feste, jedoch gleichzeitige elastische Verbindung mit dem Rahmen sorgt dafür, dass die Ausfachung mit elastischer Verformung auf die Bewegungen des Rahmens bei einem Erdbeben reagiert, ohne dabei zerstört zu werden oder herauszuspringen.

Durch die Ausfachung mit solchen Lehmsteinen können Rahmenkonstruktionen stabilisiert werden. Da der durch Kokosfasern armierte Lehm nicht zerbröckelt wie Ziegelsteine oder Zementsteine, sondern sich verdichten lässt, kann dadurch auch der Pfannkuchen Effekt vermieden werden.

### Vermeiden von Schwachstellen

Alle rechteckigen Änderungen, ob horizontal oder vertikal, sowie alle Öffnungen in einem Gebäude sind potenzielle Gefahrenstellen, bzw. Schwachstellen des Gebäudes im Hinblick auf ihre Erdbebensicherheit. Da nicht alle rechten Winkel und Öffnungen vermieden werden können, sollten die verbleibenden Öffnungen nur maximal ein Drittel der Wandfläche ausmachen, bzw. entsprechende Proportionen haben und richtig angeordnet werden (siehe Minke).

Ich bevorzuge das Mauern von Rund- oder Segmentbögen für Fenster und Türen, denn dadurch entfallen nicht nur die Tür- und Fensterstürze, sondern auch die rechten Winkel der Fens-

5 Lehmgetränkte Kokosfaserstränge werden in das Bambusflechtwerk eingebracht. Clay-saturated coconut fibre strands are woven into the bamboo wattle.

6 Unverputzte wattle-and-daub Wand und Wand aus mit Kokosfasern bewehrten Lehmziegeln. Unrendered wattle and daub wall and wall built of earth bricks reinforced with coconut fibre.



In the longitudinal axis of the bricks/blocks there is a ca.  $2 \times 2$  cm groove along the middle. When constructing a wall, this groove is filled with clay mortar, as is the vertical groove on the end faces and undersides of the bricks/blocks. The hard, horizontal  $2 \times 4$  cm clay core in the groove between the brick courses impedes lateral – horizontal – movement.

To increase the friction between the bricks, I bond the bricks/blocks together; the mortar is just to accommodate irregularities in the bricks and is needed to fill the horizontal and vertical grooves. The groove core is joined on both sides to the vertical groove filling. In the grooves one can also place reinforcement rods, split bamboo for example. I favour coconut fibre strands. These are flexible and behave much like a sealing ring in a socket. They also adjust to the material better.

Old chains placed in the grooves between the layers are also excellent for strengthening the corners. Because of the differing positions of the chain links, these are bonded firmly into the clay mortar and the bricks.

Apart from the construction technique, the reinforcement of the clay with coconut fibres is, in my opinion, the most important factor in the earthquake-resistant method of construction described above. By adding coconut fibres and granules, the clay bricks and with them the wall become more flexible. Their behaviour under compression also changes.

Under even pressure, the reinforced light-clay adobe block does not break into small fragments but tolerates compression, where it spreads out without fragmenting. When the pressure strain eases the block relaxes in accordance with the proportion of flexible deformation. The ratio of permanent and flexible deflection is determined by the addition of coconut fibres and granules. The addition of these alters the physical properties of the clay products. The higher the proportion of fibres and granules, the more wood-like the mixture becomes. Light-clay adobe blocks made in this way can accept nails and screws and are best worked using woodworking tools. This type of surface can even be polished with sandpaper and treated with oils and waxes.

These bricks and blocks are also suitable for infilling reinforced concrete skeleton construction. In the event of an earthquake,



firm but nevertheless flexible contact with the frame ensures that the infill reacts to movements of the frame with elastic deformation without being destroyed or becoming displaced.

Using these clay bricks for infilling can stabilise the framed structure. Since the coconut fibre reinforced clay does not crumble like fired bricks or cement blocks but accommodates compression, the so-called pancake effect can also be avoided.

#### Avoidance of weak spots

All right-angled changes in direction, whether horizontal or vertical, as well as all openings in a building are potential failure or weak spots in a building with regard to earthquake safety. Since not all right angles and openings can be avoided, the essential openings should only represent a maximum of one third of the wall surface or have commensurate proportions and should be correctly positioned (see Minke).

I favour the use of round or segmental arches for windows and doors, because these not only eliminate door and window lintels but also the right angles of the windows and doors. Using a template and appropriately bevelled bricks/blocks, the arch is quite easy to construct. In load-bearing walls the doors and windows can easily be planned to occur between essential supporting posts.

The supporting posts of a load-bearing adobe wall should project from the inside face of the building. In this way only one face is affected by water from the outside. Posts positioned on the outer surface, on the other hand, can become wet on three faces, which leads logically to faster saturation and a consequent loss of stability.

Although the earthquake resistance of post and beam structures is not affected by becoming saturated, an adobe wall rapidly loses its stability and bearing capacity.

Since support capability is not influenced by the infill, light-clay adobe blocks are ideally suitable for infilling the now common-place concrete framed structures. Using the blocks described above as infill one can stabilise the framed structure. Because, unlike fired bricks or cement blocks, light-clay adobe blocks do

7 Mit armierten Lehmsteinen gemauerter Fensterbogen, teilweise unverputzte Rückwand mit innen liegender Terrasse.  
Window arch constructed of reinforced clay bricks – Partially unrendered rear wall with in-lying terrace.

8 Seitenansicht des Modellhauses. Traditionelle Rahmenkonstruktion aus Stämmen des Kokosnussbaumes. Der Ringanker und das Fachwerk sind ebenfalls aus Kokosholz. Lehmputz und Kalkanstrich. / Side view of the model house. Traditional framed construction using coconut trunks. The ring beam and the framing are also in coconut timber. Clay render and lime wash.



ter und Türen. Mit einer Schablone und entsprechenden konischen Steinen/Blöcken ist der Bogen recht einfach zu mauern. Bei tragenden Wänden lassen sich die Türen und Fenster auch gut zwischen den erforderlichen Stützpfeilern in den Wänden einplanen. Die Stützpfeiler einer tragenden Adobe Wand sollten auf der Innenseite des Gebäudes hervorstehen. So wird nur eine Wandseite durch äußeren Wassereinfluss benetzt werden. Der außenliegende Stützpfeiler kann dagegen von drei Seiten benetzt, was logischerweise zu einer viel schnelleren Durchnässung und damit zu Stabilitätsverlust führt. Während die Erdbebensicherheit der Ständerbauweise nicht durch eine Durchnässung beeinflusst wird, verliert die Adobe-Wand rasch ihre Festigkeit und Tragfähigkeit.

Da die Tragfähigkeit bei Ausfachungen keine Bedeutung hat, eignen sich LLB auch hervorragend für die Ausfachungen der jetzt üblichen Betonrahmen-Konstruktionen. Durch die Verwendung von LLB können Rahmenkonstruktionen stabilisiert werden. Da die LLB bei Druck Belastung nicht zerbröckeln wie Ziegelsteine oder Zementsteine, sondern sich verdichten lassen, wird dadurch auch der Pfannkuchen-Effekt vermieden.

Natürlich kann man auch jeden anderen Lehmstein zur Ausfachung verwenden, vor allem auch bei nicht erdbebengefährdeten Gebäuden und dies weltweit. Bei der jetzigen Diskussion über Energien und Nachhaltigkeit wird deutlich, wie viel Energie wir gegenwärtig für das Bauen verschwenden. Immerhin macht die CO<sub>2</sub>-Gesamtbelastung eines Landes durch das Bauen fast 50% aus. Durch die Verwendung von Lehmstoffen könnte dieser Anteil erheblich reduziert werden. Lehm ist sicherlich auch aus diesem Grund einer unserer wichtigsten Baustoffe. Der Energieverbrauch und die Umweltbelastung von Lehmprodukten ist gering, und nachfolgende Energieaufwendungen für eine Beseitigung von Lehmbauten entfällt nahezu ganz.

Lehm erfüllt wie kein anderer Baustoff alle Kriterien der Nachhaltigkeit! Es ist ein Baustoff mit einer großen Vergangenheit und noch größerer Zukunft.

**IBE Model Haus – Caritas Czech Republik, Sumatra, 2006**

EG / Ground	3 rooms, kitchen and bath	4 × 3 × 3 m	36 m <sup>2</sup>
	Terrasse / Terrace	6 × 3 m	18 m <sup>2</sup>
OG / Upper floor	3 Zimmer / rooms	3 × 3 × 3 m	27 m <sup>2</sup>
	1 Zimmer / rooms	6 × 3 m	18 m <sup>2</sup>
Terrasse / Terrace		3 × 3 m	9 m <sup>2</sup>
Gesamtfläche, Zimmer / Total area, rooms			81 m <sup>2</sup>
Gesamtfläche, Terrassen / Total area, terraces			27 m <sup>2</sup>
Gesamtfläche unter dem Dach / Total floor area			108 m <sup>2</sup>
Kosten pro Quadratmeter Büro / Cost per m <sup>2</sup> office			ca. 630 000 Rp (63 €)

9 Mit Kalkfarbe gestrichenes Modellhaus für Caritas.  
Model house for the Caritas finished with a lime wash.

10 Errichten der Rahmenkonstruktion für ein Flut- und erdbebensicheres Haus auf Stelzen.  
Erection of the frame structure for a flood and earthquake resistant house on stilts.



not crumble under extreme load but tolerate compression, the pancake effect can thus also be avoided.

Naturally one can also use any other earthen brick for the infill, particularly in buildings that are not subject to earthquakes, anywhere in the world. In the current debate about energy and sustainability it becomes clear how much energy we waste in construction. After all, construction accounts for almost 50% of the total CO<sub>2</sub> impact of a country. With the use of earthen building products this proportion could be substantially reduced. Clay and earth therefore is surely one of the most important building materials. The energy consumption and environmental impact of clay products is low and the energy requirement for the later removal of earthen buildings is negligible.

Clay meets all the criteria for sustainability better than any other building material! It is a building material with a great past and a still greater future.

#### IBE Modell Haus – Deutsche Welt Hunger Hilfe, Sumatra, 2006

EG / Ground floor	Kitchen & Bad / Küche & Bad	2 × 3	6 m <sup>2</sup>
	Terrace (under the roof)	6 × 6 m	36 m <sup>2</sup>
OG / Upper floor	4 Zimmer / rooms	4 × 3 × 3 m	36 m <sup>2</sup>
Gesamtfläche, Zimmer / Floor area, rooms			42 m <sup>2</sup>
Gesamtfläche, Terrassen / Floor area, terraces			36 m <sup>2</sup>
Gesamtfläche, insgesamt / Total floor area			78 m <sup>2</sup>
Kosten pro Quadratmeter, Zimmer / Cost per m <sup>2</sup> for rooms			ca. 930 000 Rp (93 €)
Kosten pro Quadratmeter, insgesamt / Cost per m <sup>2</sup> overall			ca. 500 000 Rp (50 €)

11 Das Flut und erdbebensichere IBE-ECO Modellhaus fertig verputzt und gestrichen  
The flood and earthquake resistant IBE-ECO Model House, rendered and painted.