

BILDUNGSCAMPUS
NAYAPATI



Iris Braun BSc

**BILDUNGSCAMPUS NAYAPATI
eine erdbebensichere Konstruktion aus
Stampflehm und Bambus in Nepal**

MASTERARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieurin

Masterstudium Architektur

eingereicht an der

Technischen Universität Graz

Betreuer

Assoc.Prof. Dipl.-Ing. Dr. nat. techn. Andreas Trummer

Institut für Tragwerksentwurf

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am

.....

(Unterschrift)

VORAB

Die folgende Arbeit behandelt das Thema, wie man in seismisch aktiven Gebieten mit lokalen Materialien einfach und sicher bauen kann, ohne auf architektonische Qualität verzichten zu müssen.

Der Ausgangspunkt bildet hier Nayapati, ein Ort in der ländlichen Hügelregion Nepals, an dem ein Bildungscampus, bestehend aus einer Grund- und Sekundarschule, Sport- bzw. Veranstaltungshalle, Bibliothek und Mensa, entstehen soll.

Aufgrund des Erdbebens, welches im April 2015 mit einer Stärke von 7,6 Nepal erschütterte, kam es zum Einsturz unzähliger Gebäude, welche die Hauptursache für fast 9000 Todesopfer war. Viele Einrichtungen, wie Schulen, wurden danach notdürftig mit Holz und Wellblech errichtet.

Weiters ist Bildung ein wirksames Mittel um einen positiven Wandel in der Welt zu erreichen. Das Umfeld und das Bildungsprogramm spielen eine wichtige Rolle, um eine qualitativ hochwertige Ausbildung zu gewährleisten.

Um einem Entwurf in einem Land wie Nepal, dessen Kultur, Land und Leute so verschieden zu dem unseren ist, gerecht zu werden, begab ich mich vor Ort auf Forschungsreise.

Ziel war es, Projekte zu erkunden, deren Bauweise zu studieren und anhand der Gegebenheiten vor Ort einen realistischen Entwurf zu entwickeln, welcher mittels der verwendeten Baustoffe den thermischen Komfort, Tageslichtaufnahme, Luftqualität und Akustik optimiert und vor allem die Einsturzgefahr im Falle eines Erdbebens verhindert.

Im Zuge dieser Arbeit möchte ich einen Entwurf präsentieren, der einen positiven Einfluss auf die Menschen vor Ort und ihre weitere Zukunft ausübt. Abgesehen von der Grund- und Sekundarschule, soll allen Bewohnern aus der Umgebung die Möglichkeit gegeben werden, sich fortzubilden. Zum einen durch den freien Zugang zur Bibliothek und einer „Tool-library“, die Werkzeuge für dein Eigenbedarf zur Verfügung stellt, zum anderen durch Workshops, indem das Wissen der Anwendung von alternativen Baustoffen wie Lehm und Bambus weitergegeben wird, um das Erlernte selbst umsetzen zu können.

EINLEITUNG

Die Arbeit ist 6 Kapitel gegliedert, wobei sich die ersten vier mit den theoretischen Grundlagen des Landes, Entstehung von Erdbeben, sowie den Materialien Lehm und Bambus auseinandersetzen. Im fünften Kapitel kommt es zur Vorstellung der Feldforschung in Nepal, die aus Bildern, um einen Eindruck des Landes und den Gegebenheiten vor Ort zu vermitteln, und aus einer Analyse der Referenzprojekte besteht. Im sechsten Kapitel wird der Entwurf basierend auf den Ergebnissen vorgestellt.

Beginnend mit der Geographie des Landes bis zur Wirtschaft und dem Bildungswesen Nepals gibt das erste Kapitel einen Überblick zu den wichtigsten Fakten des Landes.

Das zweite Kapitel umfasst die Auseinandersetzungen mit Erdbeben, ihre Ursache und konkret das Erdbeben von April 2015, welches in Nepal stattgefunden hat. Weiters wird erläutert, auf welche Komponenten beim Entwerfen geachtet werden müssen, um ein sicheres Gebäude in seismisch aktiven Gebieten zu planen. Diese beziehen sich auf den „Nepal National Building Code For Earthen Buildings“ und nehmen bereits Bezug auf die vorgesehene Stampflehm und Bambuskonstruktion.

Das dritte und vierte Kapitel setzt sich umfassend mit den Materialien Lehm und Bambus auseinander. Zuerst wird der jeweilige geschichtliche Hintergrund abgehandelt, und in welchen Zonen der Erde, diese Konstruktionen bereits verwendet wurden. Es wird ein Überblick über die physikalischen Eigenschaften, die Behandlung und die vielen verschiedenen Anwendungsmöglichkeiten dieser Materialien gegeben. Alle wichtigen Informationen, die man benötigt, um ein ökologisch einwandfreies und sicheres Gebäude aus Lehm und Bambus zu errichten, werden behandelt.

Die Feldforschung im Kapitel fünf stellt einen Überblick des Ablaufes der Reise, alle besuchten Orte und Projekte, dar. Die vor Ort aufgenommenen Bilder sollen einen Eindruck des Landes vermitteln und vor allem zu verstehen geben, warum genau diese Art von Konstruktion bei diesem Projekt so sinnvoll ist. Bei jedem Projekt vor Ort werden die Materialien und die Bauweise analysiert.

Im sechsten Kapitel werden alle Ergebnisse der fundierten Recherche in einem Entwurf des Bildungscampus in Nayapati präsentiert.

NEPAL

- Geographie
- Klima
- Bevölkerung
- Ethnische Gruppen
- Sprachen
- Religion
- Wirtschaft
- Bildungssystem

ERDBEBEN

- Entstehung
- Häufigkeit
- Stärke und Intensität
- Erdbeben 2015
- Ursache
- Planungsgrundlagen für Gebäude aus Erde in Nepal:
 - Allgemein
 - Bauplatz
 - Entwurf
 - Grund-und Aufrisse
 - Fundamente
 - Materialien
 - Öffnungen

LEHM

- Allgemein
- Geschichte des Lehmbaus
- Weltkarte Lehmvorkommen
- Was ist Lehm
- Bodenprofil
- Bestandteile
- Einfluss der Mischung
- Einfluss der Witterung
- Einfluss von Dampf
- Zuschlagsstoffe
- Klassifizierung
- Handprüfungen
- Lehmbauweisen
- Ziegel
- Earthbags
- Lehmewurf/Leichtlehm

- Stampflehm
- Resumé

BAMBUS

- Die Pflanze
- Arten
- Ernte
- Materialeigenschaften
- Behandlung
- Konstruktionselemente
- Einsatzmöglichkeiten
- Verbindungen
- Erdbebensicherheit
- Relevanz von Bambus in Nepal
- Resumé

FELDFORSCHUNG

- Einleitung
- Ablauf
- Fotostrecke
- Mato Ghar
- Dulikhel Learning Center
- MPP Library
- Saraswate Secondary School
- The Coffee



Abb.1: Weltkarte; Nepal

GEOGRAPHIE

Nepal liegt zwischen den zwei asiatischen Giganten Indien und China, ist somit ganzheitlich von Land umschlossen und besitzt keinen Zugang zum Meer. Seine Form ist ungefähr rechteckig mit einer Länge von 650 und einer Breite von circa 200 Kilometer. Auf einer relativ kleinen Fläche von 147,181 km² gibt es eine große topographische Vielfalt. Angefangen von der Terai-Ebene im Süden auf 300 Höhenmeter bis zum 8.800 Meter hohen Mount Everest, welcher auf nepalesisch Sagar-Matha genannt wird. Vom Flachland im Süden entwickelt sich sukzessiv eine Hügellandschaft Richtung Norden, die mit der Himalaya Bergkette abschließt. Dieser kurze und spektakuläre Geländequerschnitt wird immer wieder von Tälern unterbrochen. Physiographisch wird Nepal in drei Regionen unterteilt die sich parallel zueinander von Westen nach Osten erstrecken: Die Terairegion, die Hügelregion und die Bergregion.¹

¹ Vgl. Savada 1993, 56-60.

KLIMA

Das Klima innerhalb des Landes variiert stark und hängt von der jeweiligen Höhenlage ab. Nepal liegt am gleichen geographischen Breitengrad wie Florida. Es gibt 5 Klimazonen innerhalb Nepals. Unter 1200 Meter herrscht ein tropisch und subtropisches Klima, zwischen 1200-2400 Meter ein gemäßigtes Klima, 2400-3600 Höhenmeter wird als kühles Kontinentalklima eingeordnet. Von 3600-4400 Meter spricht man von einem Subpolares Klima und über 4400 Meter von Polarklima. Die Jahreszeiten werden nach den Monsunzyklus eingeteilt, es wird zwischen Pre-monsun (April-Mai), Sommermonsun (Juli-September), Postmonsun (Oktober bis Dezember) und Wintermonsun (Jänner bis März) unterschieden.¹

1 Vgl. Savada 1993, 60-62.

BEVÖLKERUNG

2017 wurden knapp über 29 Millionen Einwohner in Nepal gezählt. Die Bevölkerungsanzahl hat sich in den letzten 30 Jahren fast verdoppelt.² 44% davon hat sich in der Terai-Ebene angesiedelt, 48% leben in der Hügelregion und 9% im Gebirge.³

2 Vgl. Nepal Population (live), <http://www.worldometers.info>, 17.08.2017.

3 Vgl. Savada, xxxiv.

4 Vgl. Savada, xxxiv.

ETHNISCHE GRUPPEN

Die Einwohner stammen von drei unterschiedlichen ethnischen Gruppen ab: Indo-Nepalesisch, Tibeto-Nepalesisch und Indigene Nepalesen. Weiters wird in Newar, Bhote, Rai, Limbu, Sherpa, Gurung, Tamang, Magar, Thakali und Brahman unterteilt.⁴

5 Vgl. Savada, xxxv.

SPRACHEN

Die Landessprache ist Nepali, die in der Devangari Schrift geschrieben wird. Nepali wird nur von 60% der Bevölkerung gesprochen. Es gibt noch 12 weitere gesprochene Sprachen mit zahlreichen Dialekten.⁵

6 Vgl. Savada, xxxv.

RELIGION

89,5% der Bevölkerung gehört dem Hinduismus an, also ein Großteil der Bevölkerung. Weiters sind Buddhisten mit 5,3% vertreten, 2,7 % Muslime und der Rest setzt sich aus anderen Religionen zusammen, unter anderem dem Christentum. Bemerkenswert ist, dass es nie zu Konflikten zwischen Hinduisten und Buddhisten gekommen ist. Grund dafür ist, dass sich beide Religionen inhaltlich etwas ähneln und sie sich Götter, Tempel und Festtage teilen.⁶

WIRTSCHAFT

Nepal wird zu den Entwicklungsländern gezählt und ist mitunter eines der ärmsten der Welt.

Aufgrund seiner geographischen Lage ist es stark von Indien und China abhängig. Die Wirtschaft stützt sich hauptsächlich auf die Agrarindustrie und versorgt circa 2 Drittel der Bevölkerung. Die industrielle Tätigkeit umfasst vor allem die Verarbeitung landwirtschaftlicher Erzeugnisse wie Hülsenfrüchte, Jute, Zuckerrohr, Tabak und Getreide. Nepal könnte jedoch sein Potenzial der Wasserkraft ausschöpfen, um die Wirtschaft im Land zu begünstigen. Durch das Erdbeben im April 2015 wurden Infrastruktur und Gebäude beschädigt und zerstört und die wirtschaftliche Entwicklung lahmgelegt. Die Wachstumsrate der industriellen Produktion ging um 6,3% zurück. Weitere wichtige Branchen in Nepal sind der Tourismus, die Teppich und Textilindustrie, die Zigaretten-, Zement- und Ziegelproduktion.¹

¹ Vgl. Economy:Nepal, <https://www.cia.gov>, 16.08.2017

BILDUNGSWESEN

Schulen selbst wurde erstmals 1853 eingeführt, blieb aber bis 1951, nachdem die Demokratie eingeführt wurde, nur der Elite vorbehalten. Ursprünglich war die Erziehung und schulische Bildung eine Sache der Hindu-Kultur und wurde es von Zuhause aus unterrichtet.

Danach etablierte sich das Gurukul Seminar, bei dem ein Guru für die Ausbildung seiner Schüler verantwortlich war.

Jeder Guru bestimmte selbst, was und wie er den Unterricht gestaltete. Nach 1951, als Bildung auch der Allgemeinheit zugänglich gemacht wurde, nahmen die Nepalesen sie nur sehr zögerlich an, zum Beispiel besuchten nur 5% der Bevölkerung weiterbildende Schulen. Erst als 1971 ein allgemeiner Lehrplan eingeführt wurde, begann das Bildungssystem langsam zu wachsen. Die Einschreibungen in den Schulen stiegen. Allerdings war die Qualität öffentlicher Schulen bescheiden und nur die Oberschicht konnte sich Privatschulen leisten. 80% der Schulen in Nepal sind heute öffentlich, 20% werden privat geführt und finanziert. Nach wie vor dominieren Privatschulen, wenn es darum geht eine qualitative Ausbildung zu erhalten.

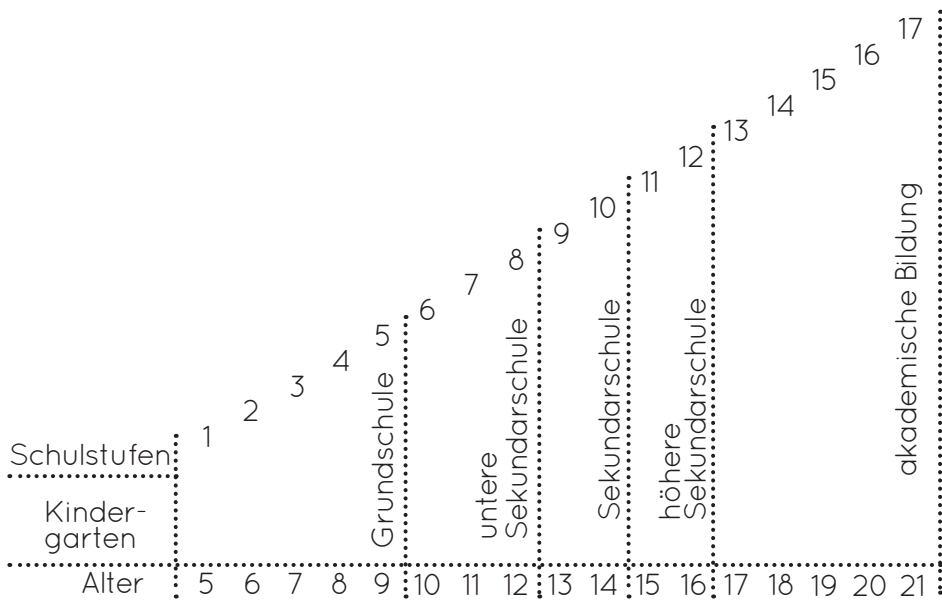


Abb. 2: Bildungsstruktur in Nepal

Das Schulsystem setzt sich aus Kindergarten (3-4 Jahren), Grundschule (5-9 Jahre), untere (10-12), obere (13-14) und höhere Sekundarschule (15-16) zusammen. Danach hat man die Möglichkeit eine Universität zu besuchen.

In internationalen Rankings liegt Nepal mit der Qualität der Schulen nach wie vor weit zurück. Ein Grund dafür ist die mangelhafte Infrastruktur der Schulen. Viele Kinder müssen weite Strecken auf sich nehmen und meist zu Fuß in die Schule gehen. Es fehlt oft an Büchern sowie Unterrichtsmaterialien und der Zustand der meisten Schulgebäude ist in vielen Fällen äußerst mangelhaft. Es werden einfachste und billigste Materialien verwendet, die oft der Witterung nicht standhalten können. So kann es sein, dass während der Monsunzeit Klassenzimmer wochenlang überflutet sind, oder der Unterricht auf offenem Feld stattfindet. Ein gut geplantes und gebautes Schulgebäude kann sich somit positiv auf die Qualität des Unterrichts und des gesamten Bildungssystems auswirken.¹

¹ Vgl. Deepak Raj Parajuli: Performance Of Community Schools in Nepal. A Macro Level Analysis, Juli 2013, <http://www.ijstr.org>, 16.08.2017

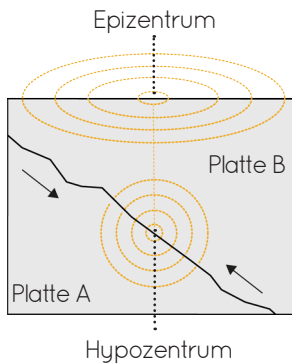


Abb. 3: Entstehung von Hypo- und Epizentrum

¹ Vgl. Frisch 1986,15.

ENTSTEHUNG

Die Kruste der Erde besteht aus sieben großen Platten und mehreren kleinen, die in Kontinente und Weltmeere unterteilt sind. Die Platten (der Lithosphäre) bewegen sich aufgrund von Konvektionsströmen im Erdmantel auf der Asthenosphäre um ein paar Zentimeter im Jahr. Die Platten können auf unterschiedliche Weise zusammentreffen:

- Kollision: sie stoßen zusammen
- Divergenz: sie entfernen sich voneinander
- Transformstörung: sie bewegen sich aneinander vorbei
- Subduktion: eine der beiden Platten wird nach unten gedrückt¹

Aus diesem Grund kommen an den Plattengrenzen die meisten Erdbeben vor. Die Spannungen, die sich durch die Reibung der Platten aufbauen, entladen sich, wenn die Scherkräfte des Gesteins versagen, und verursachen somit einen Bruch.

Die Kräfte der Erschütterung breiten sich wellenförmig vom Hypozentrum, dem Punkt des Bruches, aus. Im Epizentrum, dem Punkt an der Erdoberfläche senkrecht zum Hypozentrum, treten diese Wellen mit den größten Energien an die

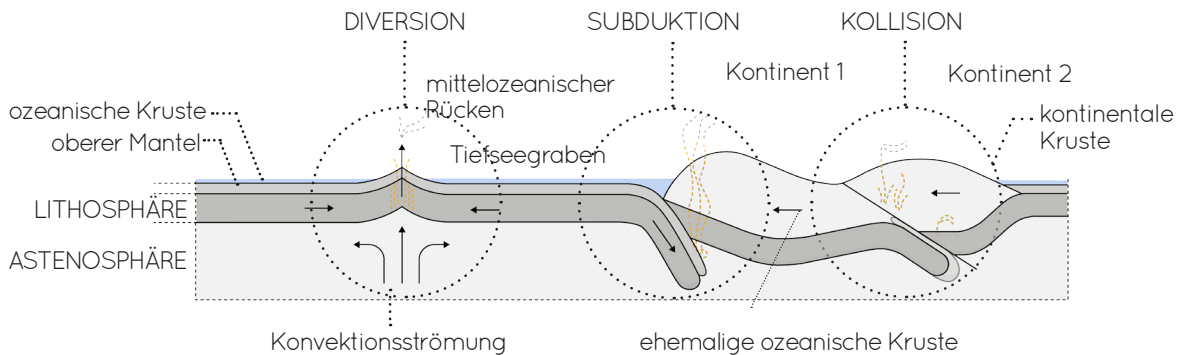


Abb. 4: Zusammentreffen der Gesteinsplatten

2 Vgl. Sebastian Siebert: Infoblatt Entstehung von Erdbeben, 28.07.2014, <https://www.klett.de/terrasse>, 03.08.2017.

Erdoberfläche aus und es entstehen die größten Schäden. Diese Art von Erdbeben treten weltweit am häufigsten auf. Weiters wird unter vulkanischen Beben, Einsturzbeben oder induzierte Beben in Bergbaugebieten unterschieden. Die Kräfte, die dabei freigesetzt werden, sind jedoch mit denen von tektonischen Beben kaum vergleichbar.²

HÄUFIGKEIT

- 70% der Erdbeben treten am Rand der pazifischen Platte auf
- 20% entstehen am südlichen Rand der eurasischen Platte vom Mittelmeer bis zur Himalayagebirgskette
- Die restlichen 10% sind überall auf der Welt verteilt

Es gibt viele schwache Erdbeben, aber nur wenige Starkbeben. Seismologen haben durchschnittlich in einem Jahr verteilt 200 Beben mit Stärke 6, 20 mit Stärke 7 und eines mit Stärke 8 aufgezeichnet.³

3 Vgl. Charleson 2008, 7.

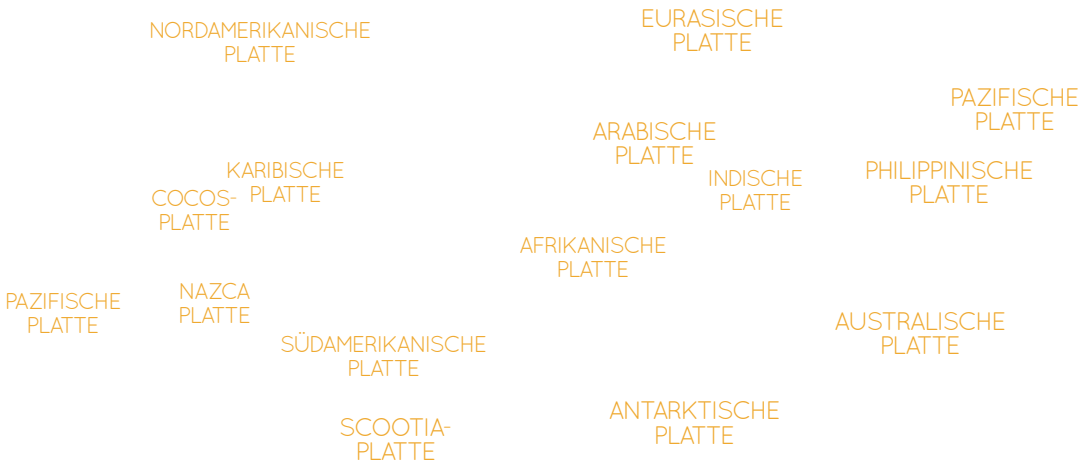


Abb. 5: Tektonische Platten

Abb. 6: Geographische Verteilung von Erdbeben. Jeder Punkt markiert ein Erdbeben mit der Stärke 4 oder mehr (Daten von 2003-2008)

Mercalli-Stufe	Beschreibung der Erdbebenfolgen	Richterskala
I	Unmerklich, nur durch Instrumente nachweisbar	1
II	Kaum merklich	2
III	Von einigen Menschen bemerkt	3
IV	Von den meisten Menschen im Umkreis von 30 km bemerkt, spürbar in Häusern, kleine Schäden möglich.	4
V	Menschen werden im Schlaf aufgeweckt, Bäume und Masten beginnen zu schwanken.	5
VI	Möbel können sich verschieben, leichte Schäden	5,3-5,9
VII	Leicht gebaute Häuser können schwer beschädigt werden. Menschen geraten in Panik und laufen aus den Häusern, leichte Schäden auch an massiven Bauwerken. Todesopfer in dicht besiedelten Regionen wahrscheinlich	6,0-6,9
VIII	Verbreitete Zerstörungen von Gebäuden, leichte Schäden auch an „erdbebensicheren“ Gebäuden und Anlagen. Felsen stürzen ein, Erdbeben treten auf.	7,0-7,3
IX	Allgemeine Gebäudezerstörungen, Fundamente verschieben sich, im Erdboden erscheinen erkennbare Risse.	7,4-7,7
X	Verwüstungen, katastrophentartige Zerstörungen, breite Risse im Erdboden, die meisten Gebäude sind zerstört	7,8-8,4
XI	Alle Gebäude zerstört, landschaftsverändernde Zerstörungen, breite Spalten im Erdboden und in Straßen.	8,5-8,9
XII	Großflächige, verheerende Katastrophe	ab 9

Abb. 7: Richterskala

STÄRKE UND INTENSITÄT

Die Stärke des Erdbebens wird anhand der gemessenen Magnitude (Richterskala) und am entstandenen Schaden der Betroffenen (Mercalliskala) ermittelt. Daher bestimmt Intensität des Bebens nicht immer das Ausmaß des Schadens.

- Richterskala

Wurde vom kalifornischen Seismologen Charles F. Richter 1930 entwickelt. Die Magnitude (Größe) wird anhand des maximalen Ausschlags (Amplitude) mittels eines Seismographen berechnet und mit Hilfe einer logarithmischen Skala von 1-10 bemessen.

- Mercalliskala

Wurde vom italienischen Seismologen Guisepppe Mercalli Ende des 19. Jahrhunderts entwickelt und misst die Stärke eines Erdbebens anhand von sicht- und fühlbaren Auswirkungen auf einer Skala von 1-12.¹

¹ Vgl. Charleson 2008, 7-10.

ERDBEBEN NEPAL 2015

Nepal wurde am 25. April 2015 um 11:56 (Ortszeit) von einem Erdbeben mit einer Magnitude von der Stärke 7,6 getroffen.

Das Epizentrum lag in Barpak im Bezirk Gorkha, im Nordwesten von Kathmandu, südlich der chinesischen Grenze. Das Hypozentrum lag circa 15 km tiefer. Tausende Menschen verloren dabei ihr Leben oder wurden verletzt. Dem ersten Erdschlag folgten viele starke Nachbeben. Die westlich und zentral gelegenen Teile und das Kathmandu-Tal wurden stark getroffen. Insgesamt waren 14 Regionen betroffen, die am stärksten beschädigten Bezirke waren Gorkha, Lamjung, Kavre, Sindhupalchowk, Dhading, Nuwakot, Rasuwa, Dolakha und das Kathmandutal. Viele ländliche Dörfer wurden komplett zerstört, öffentliche und historische Bauten sind eingestürzt. Es gilt als das stärkste Erdbeben in der Himalaya Region seit dem Beben 1934.

Ein weiteres Erdbeben erschütterte nicht ganz drei Wochen später am 12 Mai 2015 um 12:50 (Ortszeit) mit der Stärke von 7,3 Kodari im Bezirk

Sindhupalchowk, welches 76 km von Kathmandu entfernt liegt. Dem Beben folgten viele Erdbeben.¹

Insgesamt verloren bei der Naturkatastrophe 8.891 Menschen ihr Leben, 605.254 Häuser wurden zerstört, und 288.255 wurden stark beschädigt.²

¹ Gorkha Earthquake 2015, <http://www.seismonepal.gov.np>, 18.08.2017.

² Vgl. Nepal Earthquake, Humanitarian Response, <https://www.humanitarianresponse.info>, 17.08.2017.

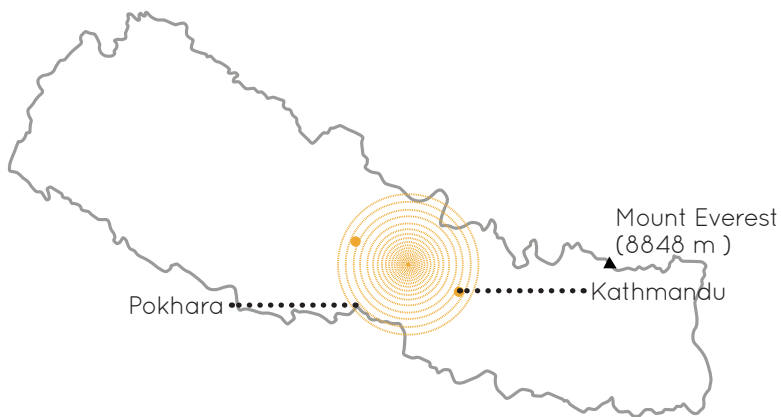


Abb. 8: Erdbeben Nepal April 2015

URSACHE

Nepal befindet sich in einer geologischen Risikozone, da es an der Grenze zweier konvergierenden Platten liegt, der indischen und der eurasischen. Die Indische Platte schiebt sich jährlich 45 mm Richtung Norden/Nord-Osten unter die Eurasische Platte. Auf diese Weise faltete sich auch das Himalayagebirge auf. Obwohl die Plattengrenze eine lange Geschichte an mittleren bis schweren Erdbeben aufweist, sind verheerende Erdbeben im Himalayagebirge eher selten. Seit Seismologen die Bewegungen der Erde aufzeichnen, hat es nur 4 schwere Beben in einem Radius von 250 km, abgesehen von dem Beben im April 2015, gegeben. Das letzte traf Nepal im August 1988 mit einer Stärke von 6,9 und forderte 1500 Todesopfer.

Das schwerste Beben mit einer Magnitude von 8 erschütterte 1934 Nepal und Nordindien. Kathmandu wurde stark beschädigt und es gab 10.600 Todesopfer.³

³ Vgl. Nepal Earthquake of 25 April 2015, <https://earthquake.usgs.gov>, 17.08.2017.



Abb. 9: Suche nach Überlebenden im Geröll eines eingestürzten Gebäudes, Kathmandu, 04/ 2015



Abb.10: Der denkmalgeschützte Dharahara Turm vor und nach dem Erdbeben, Kathmandu, 04/ 2015



Abb.11: Ein Riss in der Strasse, der durch das Erdbeben verursacht wurde, Bhaktapur, 04/ 2015



Abb.12: Mann geht an einem zerstörten Haus entlang, Bhaktapur, 04/ 2015

ALLGEMEIN

• Geeigneter Bauplatz

Der Grund muss fest sein und die Lasten des Gebäudes, dessen Inhalt und ihre Nutzer tragen können.

• Adäquate Planung

Die Form, Größe und Proportionen des Gebäudes sind ausschlaggebend für die Sicherheit. Bei Gebäuden mit asymmetrischen Grundrissen und Aufrissen besteht eine größere Einsturzgefahr als bei symmetrischen.

• Starke Fundamente und Boden

Die Qualität der Fundamente sowie des Bodens sind für die Stabilität des Gebäudes äußerst wichtig.

- **Erzeugen eines „Box-Effekts“**

Das Gebäude muss als Einheit funktionieren, um Erdbeben standhalten zu können. Das kann mithilfe einiger konstruktiven Maßnahmen erzeugt werden:

- vertikale Bewehrung
- horizontale Bewehrung, die fest mit den vertikalen Elementen verankert ist.
- diagonale Verstrebenungen (horizontal und vertikal)
- seitliche Einspannung

- **Qualität der Bauteile**

Die fachgerechte Herstellung der einzelnen Bauelemente ist hauptverantwortlich für die Stärke und Integrität des gesamten Gebäudes. Zum Beispiel müssen bei einer Ziegelwand alle Ziegel fachgerecht verlegt und verbunden werden, damit sie als Einheit funktionieren.

- **Größe und Lage der Öffnungen**

Jede Öffnung im Bauteil schwächt das Tragverhalten. Große, unverteifte Öffnungen können bei Erdbeben zu größeren Deformationen in Bauwerken führen.¹

¹ Vgl. Mahal 1994, 2-3.

BAUPLATZ

Der Bauplatz soll der möglichst sicherste im Bezug auf Naturgefahren sein. Man kann die umliegenden Gebäude auf eventuelle Schäden hin überprüfen. Die häufigsten Gefahren in Nepal sind Erdbeben, Erosionen und Bodensenkungen. Dazu sollten folgende Gebiete vermieden werden:

- Orte, die anfällig für Erdbeben sind
- Böden mit Verwerfungen (=Bruch, Sprung, Verschiebung); ein Abstand von mindestens 500 Metern soll eingehalten werden.
- Aufgrund der Berglandschaft in Nepal, gibt es viele Orte an denen Felsbrocken nach unten rollen und Gebäude und Menschen treffen können; wird in solchen Gebieten gebaut, muss der Bereich mittels Stützmauern und grünen Barrieren aus Bambuswäldern geschützt werden.
- in der Nähe von Flussufern besteht die Gefahr von Überschwemmungen
- Sumpfige Gebiete
- Steiles Gefälle: mehr als 20 Grad sollte vermieden werden oder mit geeigneten Stützmauern geplant werden
- Fundamente dürfen nicht auf unverdichteten Boden stehen¹

¹ Vgl. Mahal 2994, 5-6.

ENTWURF

- **Form**

Die Form des Gebäudes soll möglichst einfach, symmetrisch und regelmäßig in Grund- und Aufriss sein.

- **Proportion**

Das Verhältnis von der Länge zur Breite des gesamten Gebäudes soll das Verhältnis von 1:3 nicht überschreiten. Dies gilt ebenso für die Dimensionierung der Innenräume.

- **Geschosshöhen**

Die Geschosshöhe von Fußbodenoberkante zu Fußbodenoberkante soll 1,8 Meter nicht unter und 2,5 Meter nicht überschreiten.

- **Geschossanzahl**

Grundsätzlich ist das Bauen von eingeschossigen Häusern die sicherste Variante. Sollte jedoch mehr Platz von Nöten sein, ist es erlaubt, bei Gebäuden aus Erde, ein weiteres Stockwerk mit zusätzlichem Dachbodenausbau zu planen. ²

GRUNDRISSE UNVORTEILHAFT

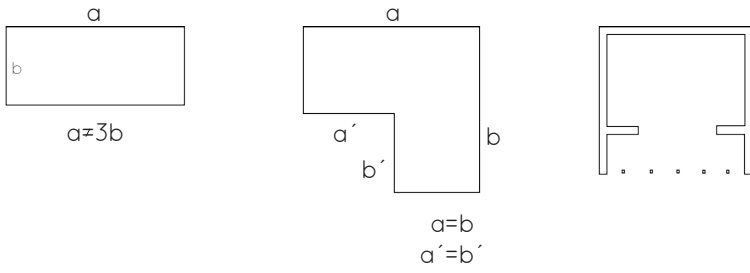


Abb.13 Grundrisse unvorteilhaft

AUFRISSE UNVORTEILHAFT

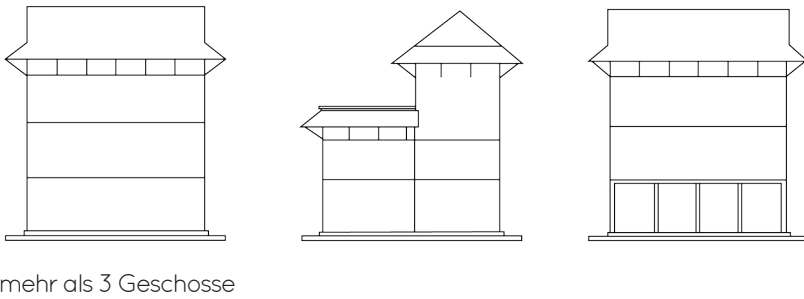


Abb.14 Aufrisse unvorteilhaft

GRUNDRISSE VORTEILHAFT

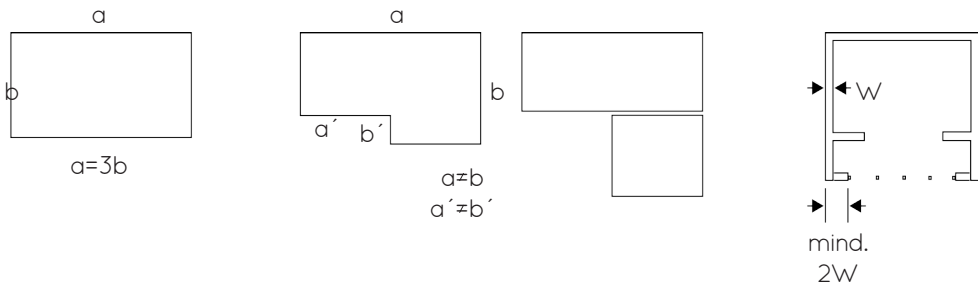


Abb.15 Grundrisse vorteilhaft

GRUNDRISSE VORTEILHAFT

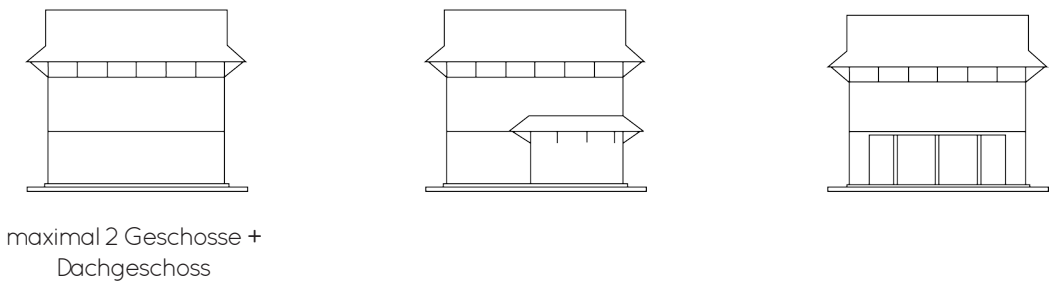


Abb.16 Grundrisse vorteilhaft

BOX EFFEKT/ÖFFNUNGEN

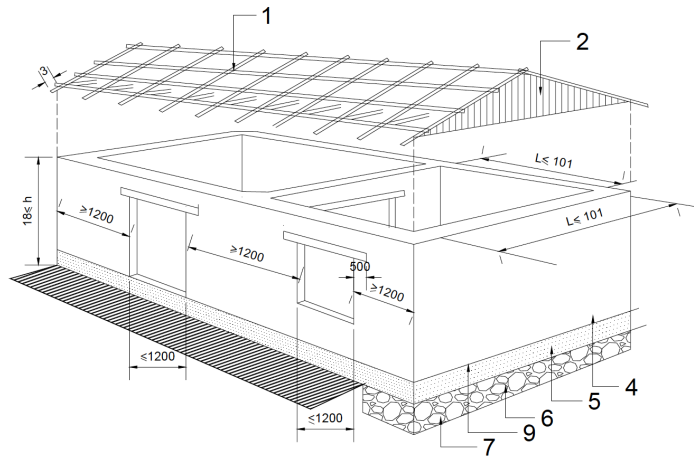


Abb.19

- 1-leichte Dachkonstruktion
- 2- leichte Giebelmauer
- 3-Dachüberstand von mind. 60 cm, um Schutz vor Regen zu gewährleisten
- 4-stabiler Putz
- 5-Sockel wegen Schutz von Überschwemmungen
- 6-Stabile Fundamente
- 7- Stabiler Mörtel
- 8- Boden
- 9-Wasserdichte Schicht $t-h/8$, $t- L/18^2$

Empfohlen

- eingeschossig
- annähernd quadratische Räume
- Symmetrische Grundrisse
- kleine Wandöffnungen
- verwendung von Wandpfeilern



Abb. 20: Herzog&deMeuron, Ricola Kräuterzentrum, Laufen, Schweiz, 2014



Abb. 21: Herzog&deMeuron, Ricola Kräuterzentrum, Laufen, Schweiz, 2014, das Gebäude besteht aus Lehmblöcke

ALLGEMEIN

Erde als Baumaterial ist eines der ältesten der Welt, und wurde in Ländern der trockenen-heißen Klimazonen als Baustoff eingesetzt. Circa ein Drittel der Weltbevölkerung lebt in Häusern, die aus Lehm gebaut worden sind. Zwei Drittel davon in Entwicklungsländern, da es vom logistischen und finanziellen Standpunkt aus unmöglich wäre, alle Menschen in den unterschiedlichsten Regionen mit Industriebaustoffen wie Ziegel, Beton oder Stahl zu versorgen. Der Bedarf an Unterkünften kann somit nur durch lokal erhältliche Materialien und Selbstbauweise gedeckt werden. Erde zu verwenden ist somit am naheliegendsten -da sie fast überall auf der Welt verwertbar ist. Es hat nicht nur den Vorteil, dass das Aushubmaterial für die Fundamente oder den Keller direkt vor Ort zu Wänden, Böden, Ziegel usw. verarbeitet werden kann. Die Primärenergie beträgt im Vergleich zu industriellen Baustoffen fast 0, und auch die ausgeglichenen, klimatischen Bedingungen im Innenraum überzeugen.¹ Durch das wachsende Interesse an nachhaltigen Bauweisen wird Lehmarchitektur auch in den westlichen Ländern immer mehr zu einem Begriff und findet teils auch schon in der modernen Architektur Anwendung (Abb.20,21).

¹ Vgl. Minke 2006, 11.

GESCHICHTE

Die Geschichte des Lehmbaus ist eng mit der Entwicklung der Menschheit verbunden und hat sich vor 9000 Jahren in Vorderasien bzw. dem Nahen Osten entwickelt, aber auch in Europa hat Lehmbau Tradition.

Er wurde nicht nur als Baumaterial für Wohnbauten, sondern auch für Kulturbauten, religiöse Stätten, Zikkurate oder Befestigungsmauern verwendet, die heute noch unsere Städte prägen. Aufgrund archäologischer Forschungen wissen wir, dass Lehmbauten fortwährend das meist verwendete Baumaterial quer durch alle Kulturen und Kontinente war.

Vor 3200 Jahren wurde der Totentempel für Ramses den Zweiten in Gournä (Ägypten) aus Lehmziegel erbaut, in Mexiko besteht der Kern der Sonnenpyramide in Teotihuacán, die zwischen 300 und 900 Jahren nach Christus errichtet wurde, aus circa 2 Tonnen Stampflehm. Viele heute noch erhaltene Gebäude sind Zeugnisse dafür, dass Lehmbauten über die Jahrhunderte bestehen können.

In der Geschichte der zeitgenössischen Lehmbauten war eine der Schlüsselfiguren der französische Architekt Francois Coignet (1740-1830), welcher „Pisé de terre“ (Stampflehm) in den umliegenden Regionen von Lyon verwendet hat. Mit der Hoffnung den Lebensstandard in seinem Land zu verbessern, entwickelte er eine

Typologie von Lehmarchitektur, die eine Bereicherung für die ärmere sowie wohlhabendere Gesellschaftsschicht sein sollte. Conteraux fand Gleichgesinnte in Großbritannien, wo Henry Holland (1745-1806) mit Experimenten in der Lehmarchitektur begann. Sein Buch „Handbuch der Lehm-architektur“ war sehr verbreitet. Durch die Industrialisierung verschwanden die Lehm- bauten und Stahl, Beton und Glas wurden inhärente Bestand- teile der Moderne. Erst als es die sozialpolitischen Umstände ver- langten, wurden unter anderem von Adolf Loos (1870-1933) nach dem ersten Weltkrieg und von Le Corbusier (1887-1965) während dem zweiten Welt- krieg vorgeschlagen, Wohn- häuser und Flüchtlings- unterkünfte aus Lehm zu er- richten. Zur selben Zeit waren auch im Frank Lloyd Wrights (1867-1957) „Broadacre city proposal“ „low-cost“ Häuser aus Erde ein Teil des Entwurfs. Parallel dazu begann der Ägyptische Architekt Hassan Fathy (1900-1989) die vernaku- lare Architektur seines Landes zu erforschen. Sein Buch „Architecture for the Poor“ wurde zu einem einflussreichen Werk. In Australien wird Lehmarchitektur mit dem englischen Architekt George Frederick Middleton (1900-1956), der „Build your House of Earth“ (1953) herausbrachte, in Verbindung gebracht.¹

¹ Vgl. Zsuzanna Stánitz: history, la biennale di venezia, 30.09.2016



Abb. 22: TAOS PUEBLO, NEW MEXICO, 13./14. JHD.



Abb. 23: MOSCHEE IN DJENNÉ, MALI, 1935

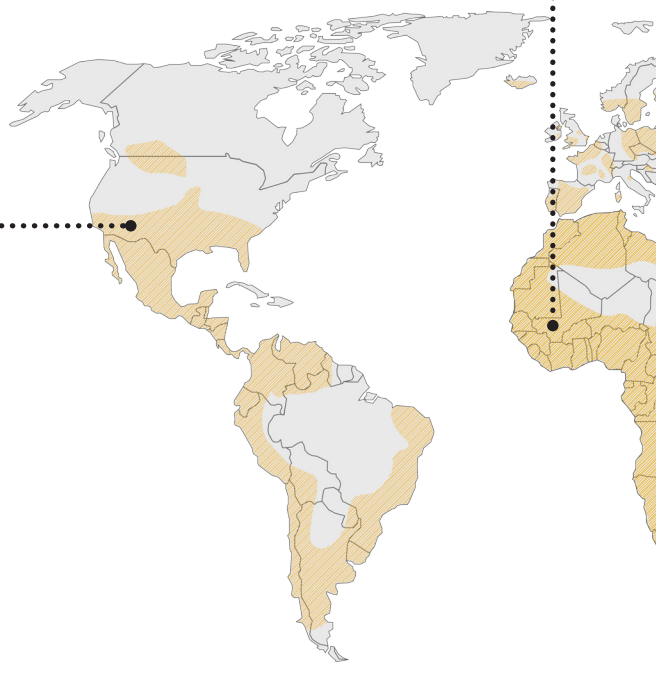




Abb. 24: STADT SHIBAN, YEMEN, 15.-18. JHD.



Abb. 25: KLOSTER TABO, INDIEN 996. V. CHR.



Abb. 26: CHINESISCHE MAUER, 7. JHD. V. CHR.

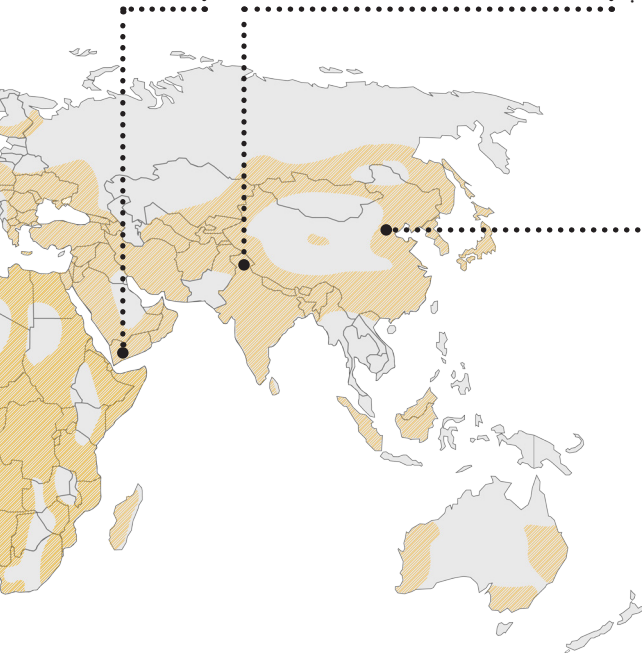


Abb. 27, Zonen der Welt, in denen mit Lehm gebaut wurde

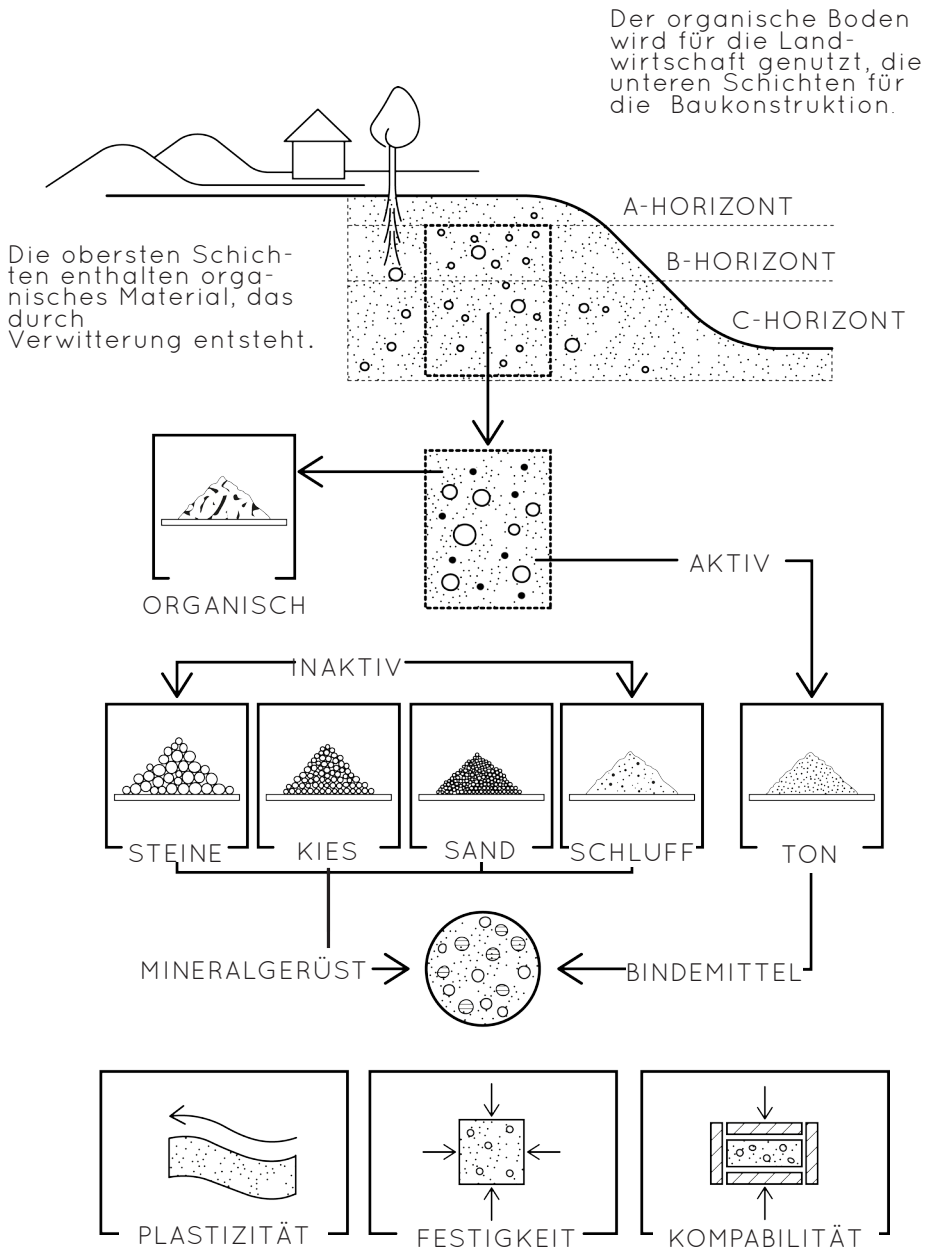


Abb. 28: Entstehung von Lehm

1 Vgl. Schröder, 2010, 33.

2 Vgl. Schröder 2010, 22.

3 Vgl. Schröder 2010, 32.

WAS IST LEHM?

Lehm ist ein Verwitterungsprodukt fester Gesteine und bildet den obersten Bereich der Erdkruste. Die Verwitterung erfolgt hauptsächlich durch die mechanische Zerstörung des Gesteins, aber auch durch chemische Reaktionen.

Verschiedene Faktoren wie Zeit, Klima, Vegetation, Gestein, Relief und menschliche Tätigkeiten wirken sich unterschiedlich auf die Bodenbildung

aus.¹ Je nach Verarbeitungsgrad wird zwischen Naturlehm/Rohlehm (unbehandelter Lehm), Baulehm (Lehm, der im Bauwesen Anwendung findet) und Lehmbauteil/-

Konstruktion (mit Zuschlagstoffen oder Zusätzen aufbereitet) unterschieden.²

BODENPROFIL

Es wird zwischen A-Horizont, B-Horizont und C-Horizont unterschieden.

Während der humusreiche A-Horizont die Grundlage für Vegetation und Landwirtschaft bildet, kann aus dem heller gefärbten, humusfreien B-Horizont geeigneter Baulehm entnommen werden.³

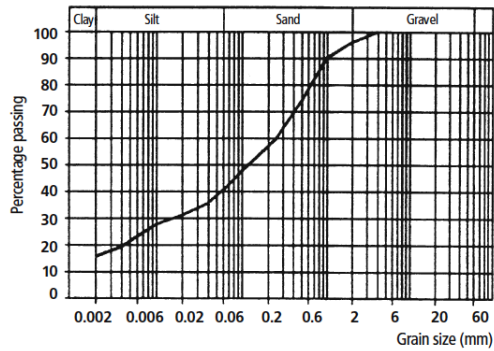
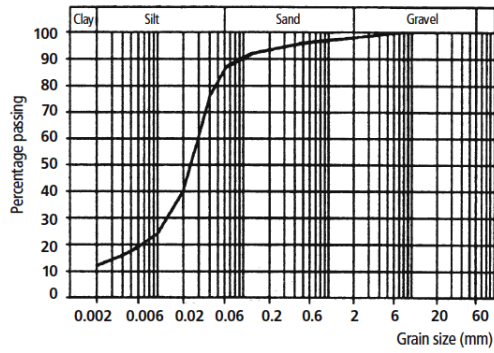
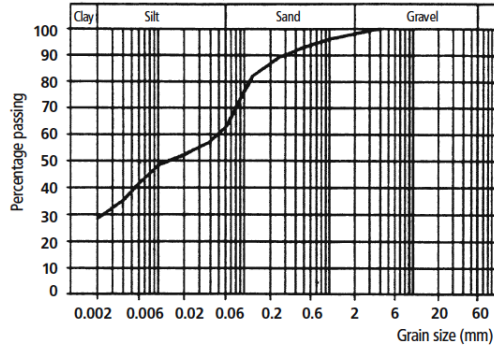


Abb. 29: Verteilung der Bestandteile des Lehms anhand der Korndurchmesser bei hohem Lehmanteil (oben), hohem Schluffanteil (mitte) und hohem Sandgehalt (unten)

1 Vgl. Minke 2006, 20.

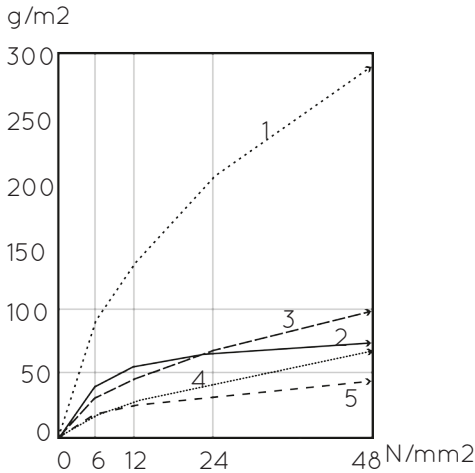
2 Vgl. Schröder 2010, 56.

BESTANDTEILE

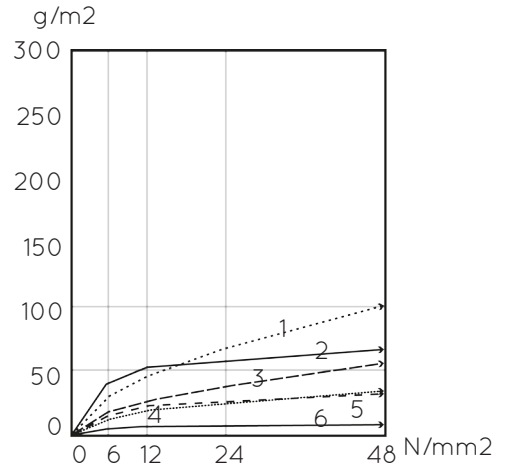
Lehm setzt sich aus Ton, Schluff, Sand und Kies zusammen und kann je nach Fundort variieren. Der Ton ist das Bindemittel, das die gröberen Partikel miteinander verbindet und wirkt als Mineralgerüst. Diese Stoffe sind sogenannte „Füllstoffe“ und geben dem Ton, der dem Lehm als Bindematerial dient und ihm Glätte und Plastizität verleiht, die entsprechende Festigkeit.¹ Die Bestandteile des Lehms werden im Bauwesen nach ihren Korndurchmesser eingeteilt.

- Ton < 0,002 mm
- Schluff von 0,002-0,06 mm
- Sand von 0,06-2 mm
- Kies von 2-6 mm

Wenn der Tongehalt hoch ist, handelt es sich um einen fetten Lehm, überwiegt der Sandgehalt, spricht man von einem mageren Lehm.²



- 1 Toniger Lehm
- 2 Lehmputz
- 3 Fichteholz gehobelt
- 4 Kalkputz
- 5 Gipsputz



- 1 Zement beton
- 2 Kalksandstein
- 3 Schaumbeton
- 4 Leichtziegel
- 5 Vollziegel
- 6 Klinker

Abb. 30: Aufnahme der Luftfeuchtigkeit anhand von Beispielen:
Bei einer Materialstärke von 15 cm und einer Temperatur von 21 Grad° Wird die Luftfeuchtigkeit plötzlich von 50% auf 80% erhöht

Lehm	Gewicht [kg/m ³]	Druckfestigkeit [N/mm ²]
schluffig	2003	3,77
	1977	4,11
	2005	4,17
sandig	2003	2,63
	2009	2,91
	2024	3,00

Abb. 31: Vergleich von Druckfestigkeit von komprimierten Erdblocken aus sandigen (15% Ton, 29% Schluff, 56% Sand) und schluffigen Lehm (12% Ton, 74% Schluff, 14% Sand)

1 Vgl. Rauch 2015, 116.

2 Vgl. Rauch 2015, 116.

3 Vgl. Minke 2006,16.

EINFLUSS DER MISCHUNG

Die Eigenschaften des Materials spielen bei der Zusammensetzung eine entscheidende Rolle. Art und Menge, sowie Zuschlagstoffe steuern diese Eigenschaften:
Fetter Lehm erhöht die Festigkeit, schwindet aber auch stärker und ist schwerer zu verarbeiten als magerer Lehm. In der Mischung muss ein gutes Mittelmaß zwischen den Eigenschaften entstehen.¹

EINFLUSS DER WITTERUNG

Lehm ist nicht wasserfest und muss deswegen vor einwirkender Witterung konstruktiv geschützt werden. Bei traditionellen Bauten wurde meist ein ausladendes Dach angebracht. Man kann aber auch an Flachdächern und freistehenden Mauern ein wasserfestes Material, wie beispielsweise Blech, anbringen.
Um vor aufsteigender Feuchtigkeit zu schützen muss der Sockel ebenfalls wasserfest ausgeführt werden.²

EINFLUSS VON DAMPF

Während Lehm, wenn er mit Wasser in Berührung kommt quillt und ihn als Baumaterial schwächt, absorbiert er im Gegensatz dazu Dampf und reguliert die Luftfeuchtigkeit im Raum. Der Lehm bleibt dabei fest und stabil.³

ZUSCHLAGSSTOFFE

Mittels Zuschlagstoffen können die bauphysikalischen Eigenschaften von Lehmbauteilen beeinflusst und den Gegebenheiten vor Ort nach optimiert werden. Leichtzuschläge wie Stroh, können die Wärmedämmung verbessern, reduzieren aber die Tragfähigkeit. Zuschläge wie Zement erhöhen Zugfestigkeit und Stabilität, der Lehm verliert jedoch dabei seine Natürlichkeit und viele seiner guten Eigenschaften. Daher muss die Zusammensetzung bei jedem Projekt individuell bestimmt und genau abgewogen werden, wann Zuschlagstoffe sinnvoll erscheinen.¹

¹ Vgl. Rauch 2015, 117.

KLASSIFIZIERUNG

Über verschiedene Klassifizierungs- und Prüfverfahren muss entschieden werden, ob der Rohlehm als Baulehm geeignet ist und für welche Bauteile und Techniken er eingesetzt werden kann. Über die Erkennung der Zusammensetzung des Lehms kann auf seine Eigenschaften geschlossen werden.² Zumeist wird auf drei Arten geprüft: Erstens kann man ganz gut vor Ort per Handprüfung entscheiden ob die Erde als Baulehm geeignet ist. Der nächste Schritt bildet das Probestampfen. Eine kleine Menge Lehm wird unter realen Bedingungen in die Schalung gestampft. Widerstand und Klang verraten viel über die Eigenschaften des Materials. Bei der dritten Qualitätsprüfung wird der Lehm in Form von Probewürfeln im Labor auf Druckfestigkeit untersucht.³

2 Vgl. Schröder 2010, 48-50.

3 Vgl. Minke 2006, 117.

HANDPRÜFUNGEN

Handprüfungen sind nicht allzu genau, reichen aber aus, um vor Ort schnell die Qualität des Lehmes einzuschätzen.

Farbprobe

Die Färbung des feuchten Lehms weist auf die chemische Zusammensetzung des Feinkornanteils hin. Nach der Trocknung erfolgt ein Farbumschlag von dunkel nach hell. Lehm kann schwarz, grau, beige, ocker, rot oder gelb gefärbt sein.

Hell-weiß: Kalzium und
Magnesium

dunkelbraun: Mangan

grün: Chlor

rötlich-gelb-braun: Eisen

grau-schwarz: Humus⁴

4 Vgl. Schröder 2010, 52.



Abb. 32: Kugelfalltest; Links aussen sehr toniger Lehm, rechts aussen sehr sandiger Lehm, Zweite Probe von links hat noch eine sehr gute Bindekraft, die dritte von links hat fast gar keine Bindekraft mehr.

1 Vgl. Schröder 2010, 51.

2 Vgl. Minke 2006, 22.

3 Vgl. Minke 2006, 22.

4 Vgl. Minke 2006, 23.

• **Formbarkeit**

Der Lehm wird zu einer Kugel geformt, um die Bindekraft des Rohlehms zu überprüfen.

Fetter Lehm bleibt an den Händen kleben, magerer bis kaum fetter Lehm klebt nicht und ist nach dem Trocknen formstabil. Zu magerer Lehm ist als Baulehm ungeeignet, er lässt sich kaum formen und fällt nach dem Trocknen auseinander.¹

• **Waschprobe**

Der Lehm wird zu einer Kugel geformt und anschließend mit Wasser abgespült.

Fühlt er sich dabei seifig an, handelt es sich um Ton; fühlt sich das Material pulvrig wie Mehl an und lässt sich leicht abwaschen, dann ist es Schluff. Sandige Anteile werden gleich weggespült.²

• **Schneidetest**

Die feuchte Lehmprobe wird zu einer Kugel geformt und danach mit einem Messer durchgeschnitten. Sollte die Schnittstelle mattglänzend sein, ist der Lehm schluffig.

Ist sie dagegen sehr glänzend, dann handelt es sich um eine tonige Probe. Ist der Sandanteil sehr hoch, dann ist die Schnittstelle aufgeraut.³

• **Kugelfalltest**

Man lässt eine Lehmkugel einer Höhe von ca. 1,5 m fallen und kann folgende Ergebnisse erzielen (siehe Abb Nr. 32).⁴

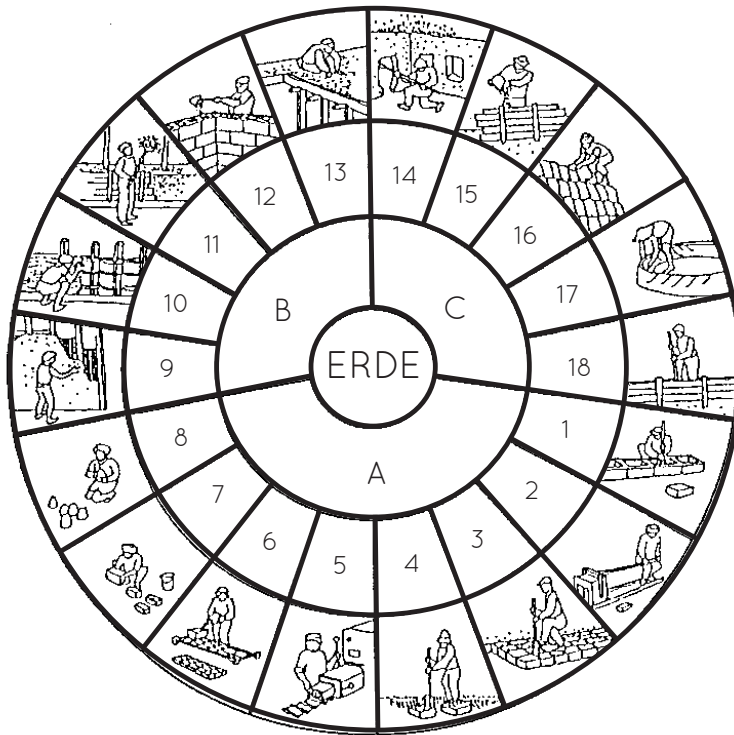


Abb. 33: Verschiedene Lehmbauweisen

A

ELEMENTARE BAUWEISE

- 1 Gestampfte Ziegel
- 2 Gepresse Ziegel
- 3 Geschnittene Ziegel
- 4 Rasenziegel
- 5 Gtranggepresste Ziegel
- 6 Maschinell geformte Ziegel
- 7 In Form geworfen
- 8 Handgeformte Elemente

B

LEHM ALS VERBUNDSTOFF

- 9 Lehmewurf
- 10 Lehmummantelung
- 11 Leichtlehm
- 12 Befüllung
- 13 In Schichten an einer gerade Oberfläche

C

MONOLITHISCHE BAUWEISE

- 14 Erdaushub
- 15 In Form gegossen
- 16 Gestapelt
- 17 Direktes Formen aus Nasslehm
- 18 Stampflehm

LEHMBAUWEISEN

Im Laufe der Zeit sind viele verschiedene Techniken entwickelt worden, um den Lehm in unterschiedlichster Form im Bauwesen zum Einsatz zu bringen. Man kann sie in drei Übergruppen kategorisieren.

Zum einen die elementarische Formgebung, bei der aus ungeformten Lehm stein-, block-, platten-, oder patzenförmige Elemente hergestellt werden. Erst durch das

Zusammenfügen im feuchten oder trockenen Zustand ergeben sie ein fertiges Lehmbauteil. Weiters kann der Lehm als reiner Verbundwerkstoff in einer bereits tragenden Struktur, wie etwa Holz, eingebracht werden. Diese Technik eignet sich besonders gut für Leichtlehmwände, da diese selbst keine Lasten aufnehmen können.

Die dritte Kategorie ist die direkte bauteilbildende Formgebung, die Bezug auf den monolithischen Betonbau nimmt. Dabei geht es um die Herstellung eines kompletten Bauteils, wie Wand oder Boden, aus ungeformten Lehmbaustoff. Im Bild (Abb.Nr. 33) sind 18 traditionelle Lehmverarbeitungsvarianten aufgelistet. Viele sind in Entwicklungsländern und in Europa während des 1. und 2. Weltkrieges aus

Ressourcenknappheit entstanden. Einige davon sind äußerst einfach umzusetzen, andere erfordern ein ausgereifteres technisches Verständnis, haben sich weiterentwickelt und finden noch heute Anwendung.

Im folgenden Kapitel werden einige der heute noch relevantesten Techniken etwas genauer beschrieben.¹

¹ Vgl. Schröder 2010, 98.



Abb. 34: Levs Architekten, Gangouroubouro Primary School, Mali, Afrika, 2013, Ansicht von Süden, Ziegel aus lokal hergestellten HCEB (hydraulic compressed earth blocks)



Abb. 35: Levs Architekten, Gangouroubouro Primary School, Mali, Afrika, 2013, Klassenzimmer

ZIEGEL

Lehmziegel werden in allen Teilen der Welt in unterschiedlichsten Formaten mit verschiedenen Techniken hergestellt. Sie müssen zuerst in Form gebracht werden und trocknen, erst dann können sie nach den Regeln des Mauerwerksbaus verarbeitet werden. Wichtig ist, dass sie dabei immer vom

Regen geschützt sind, da sonst die Gefahr der Rissbildung besteht. Nicht gebrannte Ziegel nennt man Grünlinge. Sie benötigen für die Herstellung eine andere Lehmzusammensetzung als gebrannte Ziegel. Im Allgemeinen kann man sagen, dass der Lehm genug Grobsand enthalten muss, damit eine hohe Porosität und Druckfestigkeit zustande kommt und genug Ton, der als Bindemittel dient.¹

- Pressen

Die vor allem in den Entwicklungsländern meist verbreitete Variante der Ziegelherstellung erfolgt mittels Hand- oder Kniebelpresse. Die Pressen sind einfach zu bedienen und zu transportieren. Weiters ermöglichen sie in relativer kurzer Zeit mit wenigem Aufwand eine große Stückzahl Ziegel herzustellen.

- Stampfen oder Werfen

Lehm wird in eine Formkammer für mehrere Ziegelsteine entweder geworfen und an der Oberfläche mit einem Brett abgestrichen oder in die Form gestampft. Je fester man den Lehm in die Form wirft, desto druckbeständiger wird der Ziegel.²

¹ Vgl. Minke 2006, 65.

² Vgl. Schröder 2010, 100-101.



Abb. 36: NGO „Good Earth Nepal“, Grundschule während den Bauarbeiten, Phulping, Nepal, 09/ 2016, Ansicht von Süden



Abb. 37: NGO „Good Earth Nepal“, Grundschule während den Bauarbeiten, Phulping, Nepal, 09/ 2016, Bewohner des Dorfes beim stampfen der Erdsäcke

EARTHBAGS

„Earthbags“ sind große, dicht komprimierte Erdsteine. Ursprünglich wurde diese Technik vor circa 250 Jahren entwickelt um schnelle, kugelsichere Schutzwälle für militärische Zwecke zu errichten. Zusätzlich werden sie auch seit vielen Jahrzehnten zur Kontrolle von Überschwemmungen eingesetzt.

Aus denselben nützlichen Gründen aus denen „Earthbags“ zum Schutz vor Feinden und Naturkatastrophen eingesetzt werden, können sie auch für den Hausbau verwendet werden. Für diese Technik sind nur wenige Hilfsmittel erforderlich. Man füllt Erde oder Kies in Polypropylensäcke und schichtet sie ähnlich wie bei einem Ziegelmauerwerk. Die errichteten Wände werden festgestampft und danach verputzt. Da nur wenige Hilfsmittel zum Bau benötigt werden, eignet sich diese Technik besonders gut in schwer zugänglichen, oft höher gelegenen Gebieten. Weitere Vorteile dieser Technik sind der geringe Kostenaufwand, Erdbebensicherheit und dass sie ökologisch einwandfrei ist.¹

¹ Vgl. Geiger 2011, 2.



Abb. 38: Kunstuni Linz mit Martin Rauch und Anna Heringer, Living Tebogo, Orange Farm, Township südwestlich von Johannesburg, 2005, Ansicht Süd-West



Abb. 39: Kunstuni Linz mit Martin Rauch und Anna Heringer, Living Tebogo, Orange Farm, Township südwestlich von Johannesburg, 2005, Arbeiterin beim verputzen der Wände mit Leichlehm

Straw [%/mass]	Weight [kg/m ³]	Compressive strength [N/mm ²]
0	1882	2.2
1	1701	1.4
2	1571	1.3
4	1247	1.1
8	872	0.3

*Abb. 40
Verhalten von Druck-
festigkeit zum Gewicht
des Lehms bei der
erhöhung des
Prozentanteils von
geschnittenen Stroh*

¹ Vgl. Minke 2006, 80.

² Vgl. Minke 2006, 48-49.

LEHMBEWURF

Leichtlehmbauten wurden in allen Ländern der tropischen, subtropischen und mäßigen Klimazonen eingesetzt und sind möglicherweise älter als Stampflehm und Ziegel. Vertikale Holzstützen werden mit einem Flechtwerk aus Zweigen verbunden und mit Lehm beworfen und verputzt. Es gibt viele verschiedene Varianten der Ausführung.¹

LEICHTLEHM

Leichtlehm ist ein Gemisch aus Lehm und Stroh oder anderen Zuschlägen, welcher alternativ zu reinem Lehm der Lehm-bewurfkonstruktion verwendet werden kann. Leichtlehm mit beigemengtem Stroh besitzt eine Dichte weniger als 1,200 kg/m³. Zudem ist er äußerst kostengünstig, und man benötigt keine speziellen Werkzeuge. Er hat allerdings den Nachteil, dass in feuchten Gebieten Schimmelbefall häufig Vorkommt. Außerdem nimmt die Bindekraft ab und die Herstellung ist aufgrund zweier notwendigen Schichten aufwendiger.

Alternativ zu Stroh kann auch Schaumglas, Blähebenton, aufgeblähtes Perlit, Lava, Bimsstein uvm. verwendet werden.²



*Abb. 41: Blaanc Architekten,
Vineyard house, Montijo, Portugal, 2012, Ansicht,
Stampflehmkonstruktion mit Flachdach*



*Abb. 42: Blaanc Architekten,
Vineyard house, Montijo, Portugal, 2012, Ansicht*

STAMPFLEHM

• **Kennwerte:**

- Zusammensetzung: 30% Ton/Schluff, 70 % Sand/Kies, 8-16% Wasser
- Druckfestigkeit: 2,40 N/mm²
- Biegefestigkeit: 0,52 N/mm²
- Scherfestigkeit: 0,62 N/mm²
- Schwindmaß: Je nach Material 0,25%-1%
- Kriechmaß: 0,2%
- Wärmedehnung: 0,005mm/Km
- Wärmeleitfähigkeit: Je nach Material 0,64W/mK bis 0,93 / mK¹

1 Vgl. Rauch 2015, 125.

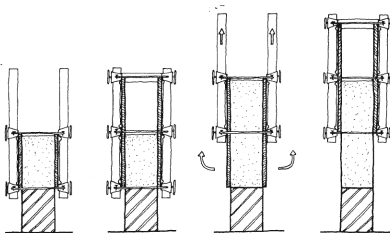


Abb. 43: Kletterschalung

Die ersten Stampflehmefunde machte man in Assyrien und wurden bis auf 5000 n. Chr. datiert. Die Technik der in Schalung gestampften Erde existiert also schon seit Jahrtausenden. Erdfeuchter Lehm wird dabei in 10-15 cm hohen Schichten in eine Schalung geschüttet und mit Stampfgeräten verdichtet. Das Schalungssystem muss ausreichend ausgesteift



*Abb. 44: Blaanc Architekten,
Vineyard house, Montijo, Portugal, 2012, Fensterdetail*



*Abb. 45: Blaanc Architekten,
Vineyard house, Montijo, Portugal, 2012, Ansicht, Fenster mit
Holzrahmen*

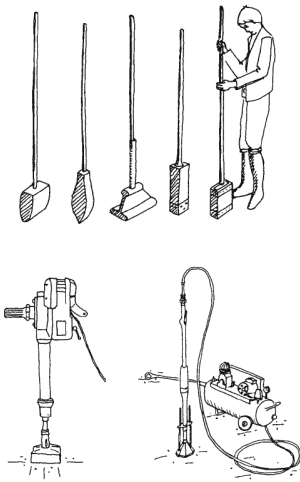


Abb. 46: Stampfer

¹ Vgl. Minke 2006, 52.

² Vgl. Schröder 2010, 107.

sein und besteht aus zwei parallelen Schaltafeln. Früher verwendete man schwere Holzschalungen und Stampfer aus Holz, die mit der Zeit durch Schalungen aus Schichtholzplatten, Stahl oder Aluminium ersetzt wurden, ähnlich wie im Betonbau.

Holzstampfer wurden gegen Pressluftstampfer ausgetauscht. Durch die Mechanisierung konnte der Arbeitsaufwand von 20-30 H/m³ auf 10 h/m³ gesenkt werden.

Türen und Fenster werden in den Wänden ausgespart. Gleich nach dem Stampfen kann ausgeschalt werden, da es keine Abbindezeit gibt. Die Wand muss jedoch zuerst trocknen. Es kann zwischen 28 und circa 56 Tage dauern, bis Fenster, Türen und Dach angebracht werden können. Die Oberfläche muss nicht mehr behandelt werden, Ver- und Anputzen der Wände fällt üblicherweise weg.¹

Bei der Anwendung der Schalungssysteme sind folgende Aspekte zu beachten: Die Schaltafeln dürfen sich beim Verdichten nicht nach außen durchbiegen, die Schalung muss leicht justierbar, und sein die Einzelteile der Schalung müssen sich einfach transportieren lassen.²

VORTEILE

- **Lehm ist recyclebar**

Ein Haus aus Lehm kann sich nach Jahren rückstandsfrei, ohne jede Kontamination in „Natur“ zurückverwandeln. Egal wie alt es ist, man kann es immer wieder mit Wasser aufbereiten, ohne dass es seine Eigenschaften verliert oder verändert.

- **Lehm spart Energie**

Die aufgewandte Energie der Herstellung, des Betriebs und des Abbaus des Gebäudes wird absolut minimiert, die Primärenergie durch Transport und Herstellung kann somit stark reduziert werden.

- **Lehm eignet sich zum Selbstbau**

Man kann Erde so zum Einsatz bringen, dass die Mehrheit der Weltbevölkerung dies eigenständig und zur wesentlichen Verbesserung ihrer Lebensumstände nutzen kann. Ein weiterer Vorteil ergibt sich daraus, dass man völlig unabhängig von industriellen Preissteigerungen mit einfachen handwerklichen Können, gute, ökologisch korrekte Häuser bauen kann.¹

- **Lehm reguliert die Luftfeuchtigkeit**

Er besitzt die Fähigkeit Luftfeuchtigkeit schnell aufzunehmen und bei Bedarf wieder abzugeben und trägt so zu einem gesunden Raumklima bei. Ungebrannte Lehmziegel können innerhalb von zwei Tagen 30 mal soviel Feuchtigkeit aufnehmen wie gebrannte Ziegel wenn die relative Feuchte des Raumes von 50 auf 80% steigt. Die konstante Luft-

¹ Vgl. Rauch 2015,6-12.

2 Vgl. Minke 2006, 14.

feuchtigkeit erzeugt ein äußerst angenehmes und gesundes Wohnklima, es verhindert das Austrocknen der Schleimhäute und reduziert Feinstaubbildung.²

- **Lehm speichert Wärme**

Lehm erhitzt sich aufgrund seiner Masse nur langsam, und speichert die Wärme. Im Winter bleiben die Räumlichkeiten somit angenehm warm, im Sommer kühl.³

3 Vgl. Minke 2006, 14.

- [...] „Bauen mit Erde ist-kurz gesagt- „low tech+ high touch+ high performance“[...]“⁴

4 Rauch 2015,12.

NACHTEILE

- **Lehm ist kein genormter Baustoff**

Die Bestandteile Ton, Schluff und Sand, die auch gröbere Bestandteile wie Schotter, Kies und Steine enthalten, können territorial unterschiedlich sein und können daher auch unterschiedliche Eigenschaften mit sich bringen. Lehm muss je nach Verwendungszweck individuell vor Ort aufbereitet werden.⁵

5 Vgl. Minke 2006, 13.

- **Lehm schwindet**

Damit Lehm verarbeitet werden kann, muss seine Bindekraft mit Wasser aktiviert werden. Dies hat zur Folge, dass bei der Verdunstung in der Trocknungsphase das Volumen des Lehmes reduziert wird und dadurch sogenannte Trocken- bzw. Schwindrisse entstehen.⁶

6 Vgl. Minke 2006, 13.

- **Lehm ist nicht wasserfest**

Lehm muss durch konstruktive Maßnahmen wie z.B. Dachüberstand, Spritzwassersockel, horizontale Isolierungen ect. gegen Nässeinwirkungen geschützt werden.⁷

7 Vgl. Minke 2006, 14.

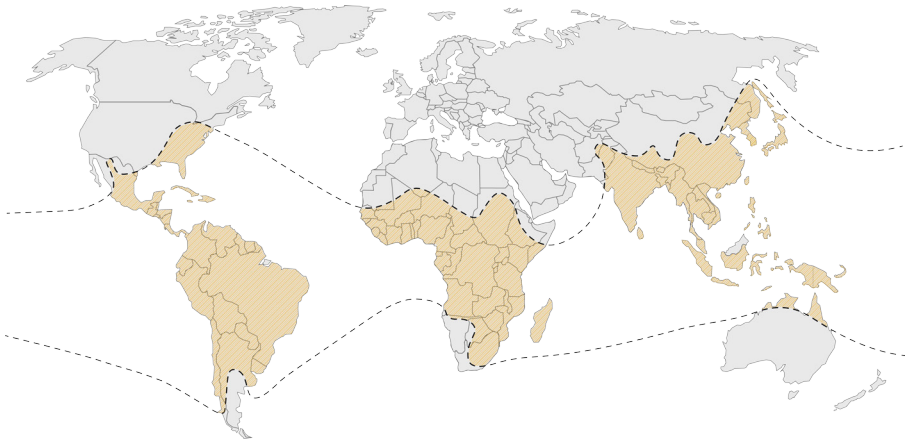


Abb. 47: Regionen der Welt, in denen Bambus wächst

ALLGEMEIN

Bambus ist eine der weltweit am meist genutzten Pflanzen und Existenzgrundlage für eine Milliarde Menschen. Er ist in Asien, Lateinamerika und Afrika als Baustoff weit verbreitet und mit vielen positiven Eigenschaften ausgestattet. Während der Hochzeit der Moderne wurden natürliche Baustoffe hauptsächlich durch Stahl, Beton und Glas ersetzt und das Interesse an der Bambusarchitektur ging verloren. Nur für ärmere Menschen dient er noch bis heute als Material für ihre Häuser. Durch das in den letzten Jahrzehnten entstandene Interesse an nachhaltigem Bauen richtete sich der Blick wieder auf Bambus aufgrund seiner Ästhetik, physikalischen Eigenschaften, Nachhaltigkeit und Wirtschaftlichkeit.¹

¹ Vgl. Vitra Design Museum und Autoren 2000, 8-9.



Abb. 48: Bambuswald



Abb. 49: Pachymorphe Rhizome



Abb. 50: Letomorphe Rhizome

1 Vgl. Minke 2012, 9.

2 Vgl. Minke 2012, 15.

3 Vgl. Ujjwal Raj Pokhrel: Bamboo engineered house, <http://abari.earth/bamboo-engineered-house/>, 23.7.2017.

4 Vgl. Minke 2012, 15.

DIE PFLANZE

Vom botanischen Standpunkt aus gesehen gehört Bambus zur Familie der Gräser. Der Name stammt vom indischen Wort „Mambu“ oder „Bambu“ und wurde 1778 vom Naturforscher Carl von Linné eingeführt.

Bambus ist sozusagen ein Riesengras und gehört der gleichen Gattung an wie Reis, Zuckerrohr oder Mais.¹

Es gibt um die 1200 verschiedene Bambusarten von 75 Gattungen, die circa 25 Millionen Hektar in tropischen und subtropischen und ca. 10% in der gemäßigten Zone bedecken. 740 davon sind in Asien zu finden, 450 auf dem amerikanischen Kontinent. Bambus besteht aus Rhizomen, also einem Wurzelstock, an dem sich die Halme bilden. Pachymorphe Rhizome (2.1) wachsen in alle Richtungen und formen unterirdisch ein 3-dimensionales Netzwerk. Die Halme wachsen oberirdisch sehr dicht aneinander und formen Büsche. Bei letomorphen Rhizomen wachsen die Halme in geregelten Abständen aus linearen Wurzelstöcken.²

Bambus kann innerhalb eines Tages bis zu 100 cm wachsen und ist einer der am schnellsten reproduzierenden Pflanzen der Welt. Er wächst auch auf sehr nährstoffarmen Böden, die für herkömmliche Landwirtschaft ausgeschlossen werden.³ Wenn Bambus geerntet wird, bleibt der Wurzelstock erhalten und treibt immer wieder von neuem aus.⁴

ARTEN

Die folgenden Arten sind einige der wichtigsten, die in der Konstruktion Anwendung finden.

Die Eigenschaften des Bambus sind nicht nur abhängig von der Art, sondern auch, davon, wo er wächst.

• **Bambusa**

Bambusa Balcoa:

Höhe: 12-20 m.

Durchmesser: 8-15 cm

Herkunft: Indien

Besonderheit: Internodium ist mehr als 3 cm breit

Bambusa polymorpha:

Höhe: 27 m.

Durchmesser: 15 cm

Herkunft: China, Bengal, Burma

• **Chusquea**

Chusquea culeou:

Höhe: 6 m

Durchmesser: 4 cm

Herkunft: Chile

Besonderheit: Es wächst in den südlichsten Zonen des Planeten und hat einen sehr starken Halm

• **Guadua**

Guadua angustifolia Kunth:

am meisten in der Konstruktion verwendet

Höhe: 15-30 m

Durchmesser: 9-12 cm, in Ausnahmefällen bis zu 21 cm

Herkunft: Südamerika

Besonderheit: wächst bis zu 12 cm am Tag und hat nach 3 Monaten

80-90% seines Wachstums erreicht

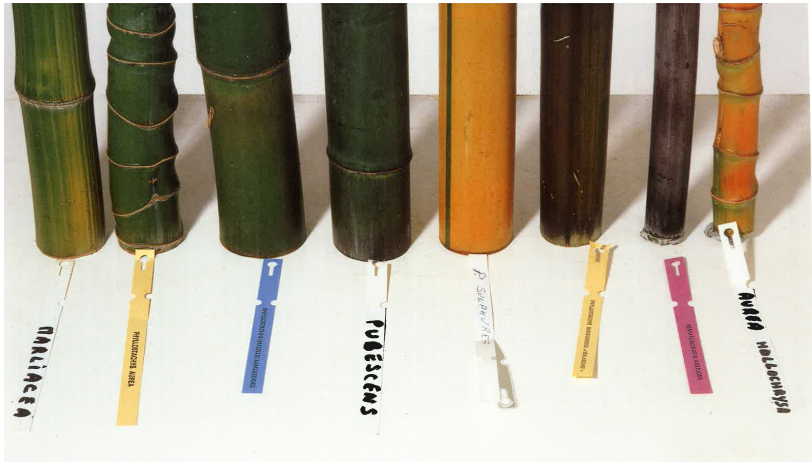


Abb. 51: Verschiedene Bambusarten

- **Dendrocalamus**

Von dieser Gruppe gibt es viele Variationen, sie werden sehr hoch und sind wichtig für Konstruktionen.

Dendrocalamus balcoa:

Höhe: 20 m

Durchmesser: 20 cm

Herkunft: Südost-Asien und Indien

Dendrocalamus giganteus

Höhe: bis zu 30 m

Durchmesser: 30 cm und mehr

Herkunft: Indien, Burma, Sri Lanka, Thailand

Besonderheit: eine der größten Bambussorten, wächst bis zu 20 cm pro Tag

- **Phyllostachys:**

Dieser Bambus wächst auch in gemäßigten Zonen und hat Zickzackförmige Nodien und andere irreguläre Formen.

Er ist ursprünglich aus China, wächst aber auch in Japan, Amerika und Europa

Phyllostachys pubescens

Höhe: 15 m

Durchmesser: 9 cm

Herkunft: China, Japan, USA¹

¹ Vgl. Minke 2012, 9-10.

		USES ACCORDING TO THE PLANT SECTION		DESCRIPTION	HEIGHT	LENGTH
Top Part	Leader	Returns to the earth as organic material		Apical part of the plant	20 m	1.20 – 2 m
	Stick	Structural straps for roofs, and guides for transitory cultivations		Part of the stalk with the smallest section	18 m	3 m
	Top					
Middle Part	Middle	In structures such as roof purlins, scaffolding, structural columns for greenhouses		Because of its diameter, it is the most marketable part of the upper stalk	15 m	4 m
		Elaboration of planks, slender columns and beams		Part of the stalk most used, for its diameter	11 m	8 m
Bottom Part	Bottom	Columns in civil works, greenhouses and fences		In this part, the stalk has the greatest diameter. It is the most resistant part of the plant	3 m	3 m
	Rhizome	Sculptures, furniture and children's toys		Network of underground stalks	2m	2 m
	USES ACCORDING TO AGE	30 days Food	1 year Basketwork	2 years Planks, Strips, Laths	3 to 4 years Civil Structures, Floors, Laminates	

Abb. 52: Verwendung der einzelnen Teile des Bambus *Guadua angustifolia* Kunth

ERNTE

Bambus wird entweder traditionell mit einer Machete oder mit einer Säge über den ersten oder zweiten Nodium schräg abgeschnitten. Der schräge Schnitt ist notwendig, um das weiter erhalten bleibende Rhizom vor Regen und so vor Verrottung zu schützen. Der Bambus soll bei der Ernte so trocken wie möglich sein. Das bedeutet, man muss ihn während der Trockenzeit im Morgengrauen und im letzten Viertel des Mondes ernten, da die Stämme zu diesen Zeiten am wenigsten Feuchte beinhalten. Schon nach 30 Tagen kann man Bambus ernten und verzehren, nach 6 bis 12 Monate lassen sich daraus etwa Körbe flechten, nach 2 Jahren kann er gespalten und weiterverarbeitet werden und nach 3 bis 6 Jahren sind die Stäbe für die Konstruktion einsetzbar.¹

¹ Vgl. Minke 2012, 17.

Mechanisch-technische Eigenschaften kp/cm ²					
Holzart	E-Modul	Druckfestigkeit	Zugfestigkeit	Biegefestigkeit	Scherfestigkeit
Fichte	110.000	430	900	660	67
Bambus	200.000	621-930	1484-3843	763-2760	198

Abb. 53: Vergleich der Eigenschaften von Fichte und Bambus

2 Vgl. Dunkelberg 2000, 90.

MATERIALEIGENSCHAFTEN

Viele Faktoren, wie das Klima, die Topographie, Boden, Höhenlage, Alter, Nachbehandlung, Zugschnitt und Teil des Bambusstabs beeinflussen seine Qualität als Baumaterial. Die physikalischen und mechanisch-technischen Eigenschaften sind aber am stärksten vom Feuchtigkeitsgehalt des Bambus abhängig und bestimmen die Weiterverarbeitung. Dieser Faktor beeinflusst Bambus gleichermaßen wie Holz. Man stellte fest, dass die unterschiedlichen Bambusarten stark im Wassergehalt variieren, ebenso spielt das Alter und die Klimazone eine große Rolle.²

BEHANDLUNG

Die Stärke, die der Bambus enthält, wirkt äußerst anziehend für Insekten, die die Struktur des Stammes zerstören und die Tragfähigkeit stark einschränken können. Deshalb muss man den Bambus nach der Ernte dementsprechend behandeln. Im Laufe der Zeit haben sich viele unterschiedliche Methoden entwickelt. Die Stärke ist im Pflanzensaft des Halmes enthalten, was bedeutet, dass sie für die Weiterverarbeitung aus den Stäben entfernt werden muss. Dies kann entweder durch Lufttrocknen, Räuchern, Einschlämmen, Einkalken, Wässern, Anstriche oder auch durch chemische Behandlung erreicht werden.³

3 Vgl. Minke 2012, 17-20.



Abb. 54: Werkzeug um Bambus zu spalten

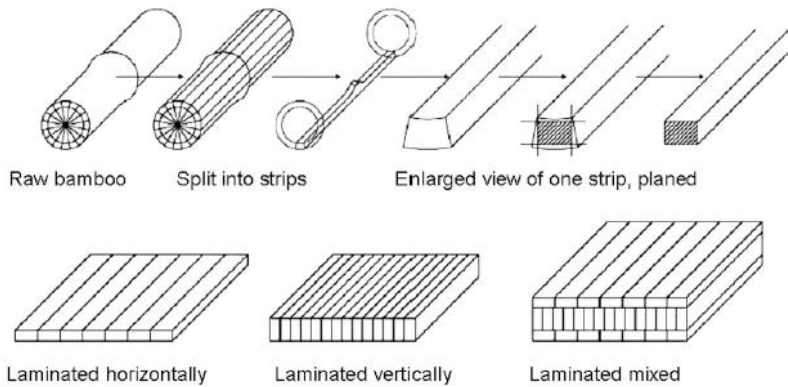


Abb. 55: Verarbeitungsmöglichkeiten von Bambus

KONSTRUKTIONSELEMENTE

• Rohr

Wenn Äste, Blätter und Wurzeln vom Stamm entfernt werden kann das Rohr zur Konstruktion von Stützen, Pfählen, Träger, Fachwerke, 3 -Dimensionale Strukturen und vieles mehr verwendet werden.

• Brett

Das Rohr wird mittels Längsschnitte aufgeschnitten und aufgefaltet. Es kann unter anderem als negativer Abdruck für Betonschalungen, als Konstruktionselement in Bambuswänden oder als Bauelement in Bambusdachstühlen eingesetzt werden.

• Band

Das Bambusrohr wird der Länge nach in circa 1 cm breite Streifen geschnitten, die sehr flexibel und biegsam sind. Aus ihnen werden Körbe, Paneele und andere Flechtkunstwerke hergestellt.

• Latte

Ähnlich wie beim Band wird der Bambus in Längsstreifen geschnitten, allerdings etwas Breiter. Außerdem muss der Bambus schon älter sein.

• Laminierte Platten

Die Innen- und Außenhaut des Rohres wird abgeschnitten und nur der innere Teil des Bambus wird verwendet und wiederum in Streifen geschnitten, welche geschichtet und verklebt werden. Unterstützt man diesen Vorgang mit Hitze und hohem Druck, können Platten hergestellt werden, die absolut waserdicht sind.¹

¹ Vgl. Minke 2012 33-35.



Abb. 56: Markus Heinsdorff, „German-Chinese House“, Shanghai World Expo, 2010, Metallverbindung von 10 Bambusstäben



Abb. 57: VTN Architects, Bamboo Forest, Tokyo, Japan, 2015, Bambusinstallation auf der Terrasse eines Hochhauses

EINSATZMÖGLICHKEITEN

Jegliche Elemente eines Hauses, wie Wand, Decke, Dach, Treppen, Türen, Fenster können aus Bambus entworfen und konstruiert werden.

VERBINDUNGEN

Das Wichtigste bei Konstruktionen aus Bambus sind die Verbindungen von einzelnen oder mehreren Stäben. Sie müssen sorgfältig ausgeführt werden, um Lasten in den Knotenpunkten aufnehmen zu können.

Da Bambus einen runden Querschnitt besitzt, müssen andere Lösungen als vergleichsweise beim Holzbau angewendet werden. Nägel und Schrauben können nicht direkt angebracht werden, da das Rohr zu splintern beginnt und die Konstruktion somit geschwächt werden würde. Zudem muss beachtet werden, dass die Querschnitte der Rohre nicht immer exakt den gleichen Radius besitzen, was das Zusammenfügen der Stäbe erschwert.

Im Laufe der Zeit hat sich eine große Bandbreite an unterschiedlichen Verbindungen, die gebunden, gesteckt oder verklebt werden können, entwickelt. Als grundsätzliche Formen sind die Parallelverbindung, orthogonale Verbindung und Winkelverbindung. Letztere kann sehr komplex ausgeführt werden, da bis zu 8-10 Stäbe auf einen Punkt zusammen treffen können.¹

¹ Vgl. Vitra Design Museum und Autoren 2000, 109.

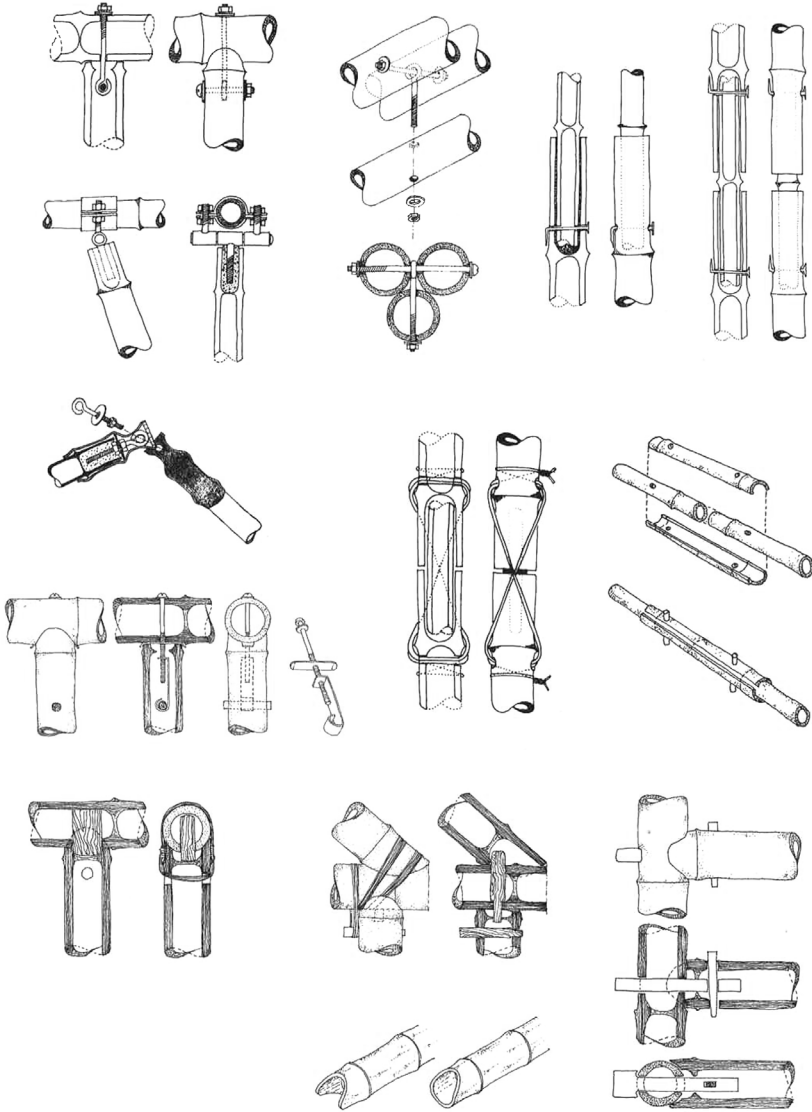


Abb. 58: Bambusverbindungen, geschraubt oder gesteckt

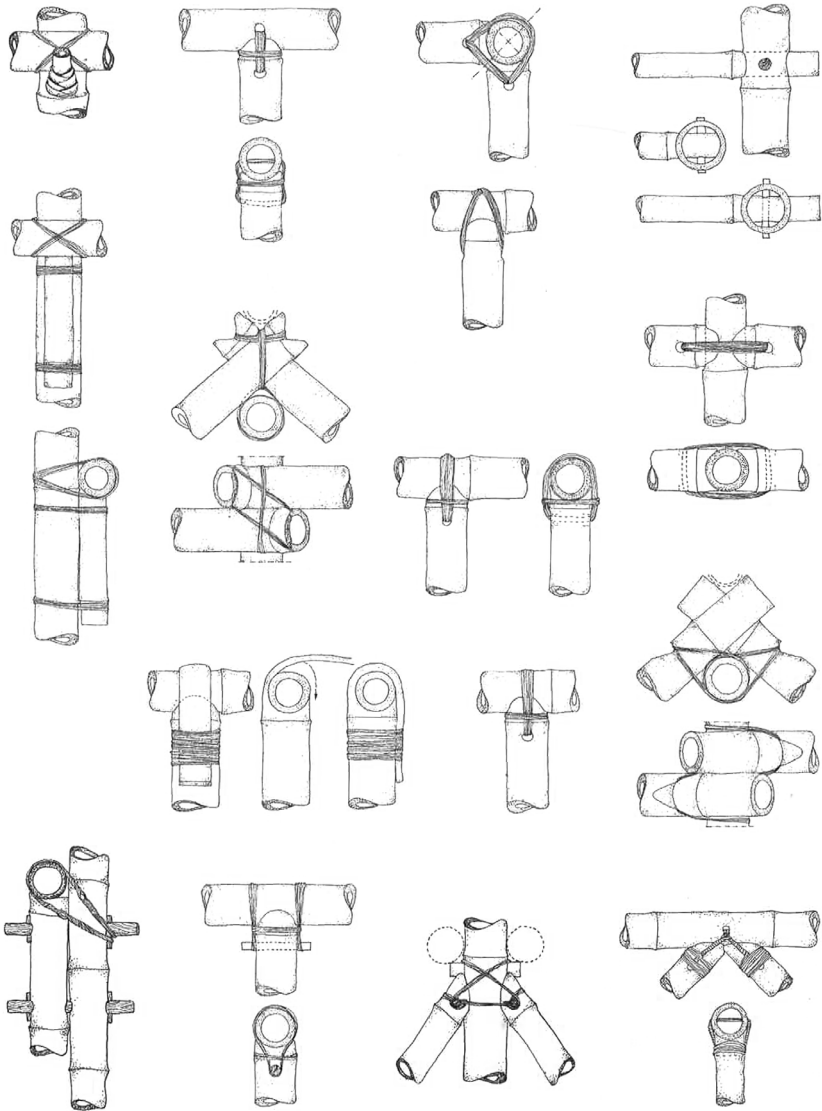


Abb. 59: Bambusverbindungen, gebunden

ERDBEBENSICHERHEIT

Bambus ist ideal für erdbebengefährdete Regionen, da es eine hohe Flexibilität besitzt und im Gegensatz zu seinem geringen Gewicht ein hohes Maß an Kräfte aufnehmen kann. Es hat sich über viele Jahre hinweg als Material für sichere Bauten bewährt. Zum Beispiel hat das Timirai Beach Hotel und Eco Bamboo Resort, welche komplett aus *Guadua angustifolia* gebaut wurden, ein Erdbeben von der Stärke 6,9 ohne jegliche Schäden überstanden. Beim architektonischen Entwurf müssen jedoch einige Aspekte beachtet werden, welche bereits im Kapitel Erdbeben auf Seite 22-27 behandelt wurden.¹

¹ Vgl. Minke 2012, 26.

DIE RELEVANZ VON BAMBUS IN NEPAL

Bambus ist seit Jahrhunderten fester Bestandteil in der Gesellschaft Nepals und wird im Alltag unter anderem als Speise, Baugerüst, Lampe oder Tasse vielseitig eingesetzt.

Man konnte 23 Gattungen und 81 Arten von Bambus auf 63 Hektar Grund in Nepal finden, wovon 60 Prozent naturbelassene Wälder sind. Aus der jährlichen Produktion entstehen 3 Millionen Bambusstäbe, die auf 63 Hektar wachsen. Eine halbe Million, also rund 17 %, davon wird nach Indien exportiert. Da es einen

hohen Bedarf an Wohnbauten in Nepal gibt und der Preis von Materialien wie Zement dauerhaft steigt, kann Bambus als Baumaterial eine perfekte Alternative sein. Beispiele aus Südamerika, Asien und auch Europa haben gezeigt, dass es auch im Kontext des modernen Bauens erfolgreich eingesetzt werden kann. Allerdings müsste der Markt in Nepal dazu noch weiter ausgebaut werden, denn derzeit gibt es nur 3.3% an Konsumenten. Grund dafür ist, dass Bambus als „Holz der armen Männer“ angesehen wird und es als soziale Schande für diejenigen verstanden wird, die sich kein Haus aus Beton leisten können. Um die Perspektive der Menschen zu ändern, darf das Material jedoch nicht nur für leistbares Wohnen, sondern muss auch für luxuriöse Designs eingesetzt werden. Aktuell gibt es keine nationalen Normen für Bauen mit Bambus in Nepal, da jeder Stab je nach Art und Behandlung unterschiedliche Eigenschaften und Größen besitzt. Jedoch könnte sich der Ausbau des Bambusmarktes nicht nur auf lange Sicht innerhalb Nepals als großen Vorteil erweisen, sondern könnte auch wegen der steigenden Nachfrage weltweit einen wirtschaftlichen Aufschwung bedeuten.²

² Vgl. Nripal Adhikary: Economic potential of bamboo, <http://abari.earth/economic-potential-of-bamboo-in-nepal/>, 24.7.2017

1 Vgl. Minke 2012, 29.

2 Vgl. Minke 2012, 11.

3 Vgl. Vitra Design Museum und Autoren 2000, 163.

4 Vgl. Minke 2012, 29.

VORTEILE

• **Bambus ist günstig**

Er wächst schnell und die Verarbeitung ist einfach und unkompliziert. Er besitzt keine Rinde und die Äste sind einfach zu entfernen. Bambus kann man daher sehr kostengünstig erwerben.¹

• **Bambus stärkt den Boden**

Er hat ein weites Wurzelwerk und festigt somit den Boden und verringert Bodenerosionen bei Überschwemmungen.

• **Bambus wächst schnell**

Bambus kann innerhalb eines Tages bis zu 100 cm wachsen und bereits nach 3-6 Jahren kann er als Baumaterial verwendet werden.²

• **Bambus ist vielseitig einsetzbar**

Er kann als Nahrungsmittel, Konstruktion, Möbel, Alltagsgegenstände uvm. verwendet werden.³

• **Bambus eignet sich zum erdbebensicheren Bauen**

Bambus ist sehr leicht, flexibel und kann hohe Zugkräfte aufnehmen. Er kann daher für erdbebensichere Bauten eingesetzt werden.⁴

NACHTEILE

- **Bambus muss behandelt werden**

Bambus ist anfällig für Insektenbefall und seine physikalischen Eigenschaften hängen stark vom Feuchtigkeitsgehalt, der Sonneneinstrahlung und dem Regen ab. Bambus muss daher bevor er als Baumaterial verwendet werden kann, behandelt werden um diesen Einflüssen zu trotzen.

- **Bambus wächst selten gerade**

Bambusstäbe wachsen oft krumm, daher ist jeder individuell und der Querschnitt innerhalb des Stabes ändert sich. Das erschwert den Bau der Konstruktion und muss berücksichtigt werden.

- **Leistungsfähigkeit variiert**

Die Kondition des Bambus ist stark von Alter, Art, Boden und Feuchtigkeitsgehalt abhängig. Wichtig ist auch welcher Teil der Pflanze verwendet wird.⁵

EINLEITUNG

Um ein Projekt in einem Land mit sehr unterschiedlichen kulturellen Hintergründen und Gegebenheiten zu planen, ist es das sinnvollste, direkt vor Ort Recherche zu betreiben. Zu diesem Zweck bin ich von 01.09.2016-16.10.2016 nach Nepal gereist. Mit dem Ziel, einerseits Land, Leute und Kultur kennenlernen und verstehen, andererseits, bestehende Projekte, welche mit alternativen Materialien wie Lehm und Bambus bereits erdbebensicher konstruiert wurden, besichtigen und dokumentieren. Beide Erkenntnisse sollten den Entwurf für die Schule in Nayapati maßgeblich beeinflussen. Als Methode wählte ich bei den Befragungen formelle und informelle Interviews, bei der Beobachtungen teilnehmende, nicht teilnehmende und direkte Beobachtung. Alles wurde mittels Notizen, Skizzen und Fotos dokumentiert.

ABLAUF

2.9.2016:

Ankunft in Kathmandu

3.9.2016:

Besichtigung der Hauptstadt Kathmandu

9.9.16:

„Earthbag Workshop“ der NGO „Good Earth Nepal“: theoretischer Unterricht, Baustellenbesichtigung bei nepalesischen Familien in Kaule, Einwöchiger Aufenthalt und Mithilfe bei dem Bau einer Schule in Phulping, Sindupalchowk

21.9.2016:

Treffen mit Dr. Sushil B. Bajracharya, Professor für alternative Baumaterialien an der „Tribhuvan University“, Kathmandu

21.9.2016:

Besichtigung des „Passive CSEB Centre & Building Science Laboratory“ am Tribhuvan Campus

21.9.2016:

Besichtigung der Stadtbibliothek „Madan Puraskar Pustalaya“

21.9.2016:

Besichtigung der „Patan Higher Secondary School“, Kathmandu

23.9.2016:

Treffen mit den Mitarbeitern des Architekturbüros ABARI, Kathmandu

24.9.2016:

Besuch des Waisenhauses „Sundarijal Bottle House“ in Nayapati

24.9.2016:

Besichtigung des Bauplatzes in Nayapati

25.9.2016:

Besichtigung des Einfamilienhauses „Mato Ghar“ und Treffen mit dem Besitzer und Architekten Hemendra Bohra in Budanilkantha

28.9.2016:

Besichtigung des „Dulikhel Learning Centers“

28.9.2016:

Besichtigung der Baustelle der Saraswati Secondary school

1.10.-7.10.2016:

Trekkingtour zum „Annapurna Basecamp“: Besichtigung von höhergelegenen Dörfern auf bis zu 4130 Meter.

8.10.2016:

Besichtigung des Cafe´s „The Coffee“ in Pokhara



Abb. 60: Kathmandu während der Monsunzeit, 09/2016



Abb. 61: Kathmandu während der Monsunzeit, 09/ 2016



Abb. 62: Sicht von der Fußgängerbrücke auf die Hauptverkehrsstrasse Kanti Path, 09/2016



Abb. 63: Rikschas am Durbar Platz, 09/2016



Abb. 64: Thamel Marg, Strasse im Touristenviertel Thamel, 09/2016



*Abb. 65: Geschäftiges Treiben auf einem
Marktplatz, 09/2016*



Abb. 66: Durbar Platz, Taleju Tempel,
09/2016



Abb. 67: Streetfood, 09/2016



Abb. 68: Apotheke, 09/2016



*Abb. 69: Frau beim Verkauf von Kleidung,
09/2016*



Abb. 70: Tempel am Durbar Platz, der durch das Erdbeben 2015 zu Schaden gekommen ist, 09/2016



*Abb. 71: Gerüst aus Bambus, Durbar Platz,
09/2016 09/2016*



Abb. 72: Baustelle, mehrgeschossiges Gebäudes aus Stahlbeton und gebrannten Ziegel, 09/ 2016



Abb. 73: Weitere Baustelle, mehrgeschossiges Wohnhaus aus Stahlbeton und gebrannten Ziegel, 09/ 2016



*Abb. 74: Lernzentrum der „Patan Higher Secondary School“,
Kathmandu, 09/ 2016,
Sicht auf den Schulhof mit umliegenden
Klassenzimmern, Die Schule wurde nach dem Erdbeben 2015
als semi-permanente Installation errichtet*



Abb. 75: Lernzentrum der „Patan Higher Secondary School“, Kathmandu, 09/2016, Klassenzimmer aus Holz und Stahlblech



Abb. 76: Haus einer 6-köpfigen Familie, welches beim Erdbeben 2015 beschädigt wurde, 10/09/2016



Abb. 77: Gesamte Familie mit Ziegen vor ihrem Haus,
10/09/2016



Abb. 78: Fahrt zu dem Bergdorf Phulping; die Strasse muss aufgrund eines Erdbebens geräumt werden 13/09/2016



Abb. 79: Dorf Phulping, Sindhupalchok; es gibt keine Strasse, die bis in das etwas höhergelegene Gebiet führt, man muss circa eine Stunde von der nächstgelegenen Strasse nach oben wandern, 13/09/2016



Abb. 80: Einfamilienhaus aus Holz, Wellblech und Steinfundament, welches nach dem Erdbeben neu errichtet wurde, 14/09/2016



Abb. 81: Hausbesitzer in der Küche beim Teetrinken. Die Küche ist das Herzstück des Hauses(Abb.?) die offene Kochstelle dient gleichzeitig als Heizung, 14/09/2016



Abb. 82: Frau vor dem höchstgelegenen Haus des Dorfes, welches Unterkunft für 7 Familienmitglieder bietet, 14/09/2016



Abb. 83: Bau eines neuen Wohnhauses; das Fundament wird von einigen Bewohnern des Dorfes aus Steinen errichtet, 14/09/2016



Abb. 84: Grundschule, die nach dem Erdbeben aus Wellblech für die Kinder des Dorfes errichtet wurde, 15/09/2016



Abb. 85: Schüler während des Unterrichts, 15/09/2016



*Abb. 86: Bau der neuen Grundschule aus „Earthbags“,
15/09/2016*



Abb. 87: Bewohner des Dorfes helfen, die neue Schule zu errichten, 15/09/2016



Abb. 88: Schaukel aus Bambus, Pokhara, 10/ 2016



*Abb. 89: Dorf Chomrong auf 2340 Höhenmeter;
Die für Nepal typischen Häuser mit länglichen, rechteckigen
Grundrissen werden entlang der Reisterrassen gebaut, 10/2016*



Abb. 90: Machhapuchhre Basecamp (3800 m), 10/2016



*Abb. 91: Annapurna Basecamp (4130 m);
Sicht auf Machapuchare(6997 m), 10/ 2016*

ALLGEMEIN

In Nepal werden oft mit einfachen und günstigen Materialien wie Wellblech Unterkünfte und öffentliche Gebäude, wie zum Beispiel Schulen, errichtet.

Diese bieten zwar ein gewisses Maß an Sicherheit im Falle eines Erdbebens, besitzen jedoch keine thermische Speichermasse und sind für einen dauerhaften Aufenthalt ungeeignet. In höher gelegenen Regionen gibt es oft keine direkte Zufahrt durch Straßen, viele Dörfer können nur zu Fuß erreicht werden. Um trotzdem architektonisch und ökologisch wertvolle und vor allem sichere Häuser zu bauen, ist es eine logische Schlussfolgerung, soweit wie möglich auf vor Ort vorhandene Materialien zurückzugreifen.

Die folgenden Projekte, die hauptsächlich aus Lehm und Bambus errichtet worden sind findet man nur vereinzelt in Nepal, sind jedoch Beweis dafür, dass sich das Konzept, aus alternativen Materialien zu bauen, bewehrt.



*Abb. 92: Sicht auf Südseite des Hauses und Garten mit Teich,
25/09/2016*

BASICS



Erdbeben
resistent



nachhaltig



lokale
Materialien



Energie-
autark

DACH

MATERIALIEN



Bambus Holz Wellblech

WÄNDE UND
BODEN

FUNDAMENT



Stampflehm



Stein

MATO GHAR

Das Einfamilienhaus befindet sich in Budhanilkantha, circa eine Stunde mit dem Auto von Kathmandu entfernt, in einer ländlichen Gegend.

Der Architekt Hemendra Bohra entwarf und baute das Haus für sich selbst und seine Familie, welches 2012 fertiggestellt wurde. Es ist eines der ersten Häuser in Nepal, die aus Stampflehmwänden und einer Dachkonstruktion aus Bambus umgesetzt wurden.

Regenwasser wird gesammelt, aufbereitet und wiederverwendet, zusätzlich gibt es Solarpaneele um die Räumlichkeiten mittels einer Fußbodenheizung

zu beheizen. Die Wände haben eine Stärke von 45 cm und bestehen lediglich aus Stampflehm, Dach und Boden sind ausreichend gedämmt, die Fenster sind doppelt verglast, um ganzjährig ein angenehmes Raumklima zu gewährleisten.

Mit einer Fläche von 232m² ist es für nepalesische Standards ein sehr großzügig geplantes Haus, und besitzt zusätzlich eine Garten mit einem Naturteich.

Weiters ist es der Beweis dafür, dass man mit Lehm sicher bauen kann, da es das Erdbeben im April 2015 völlig unbeschadet überstanden hat.



Abb.93: Eingangssituation und Solaranlage; 25/09/2016



Abb. 94: Küche und Gang; grosszügige Belichtung durch grosse Fensterfläche und Oberlichten, 25/09/2016



*Abb. 95: Bambusstütze auf Metallfuss um vor der Witterung zu schützen,
25/09/2016*



Abb. 96: Sicht von Küche auf die Terrasse und den Garten , 25/09/ 2016

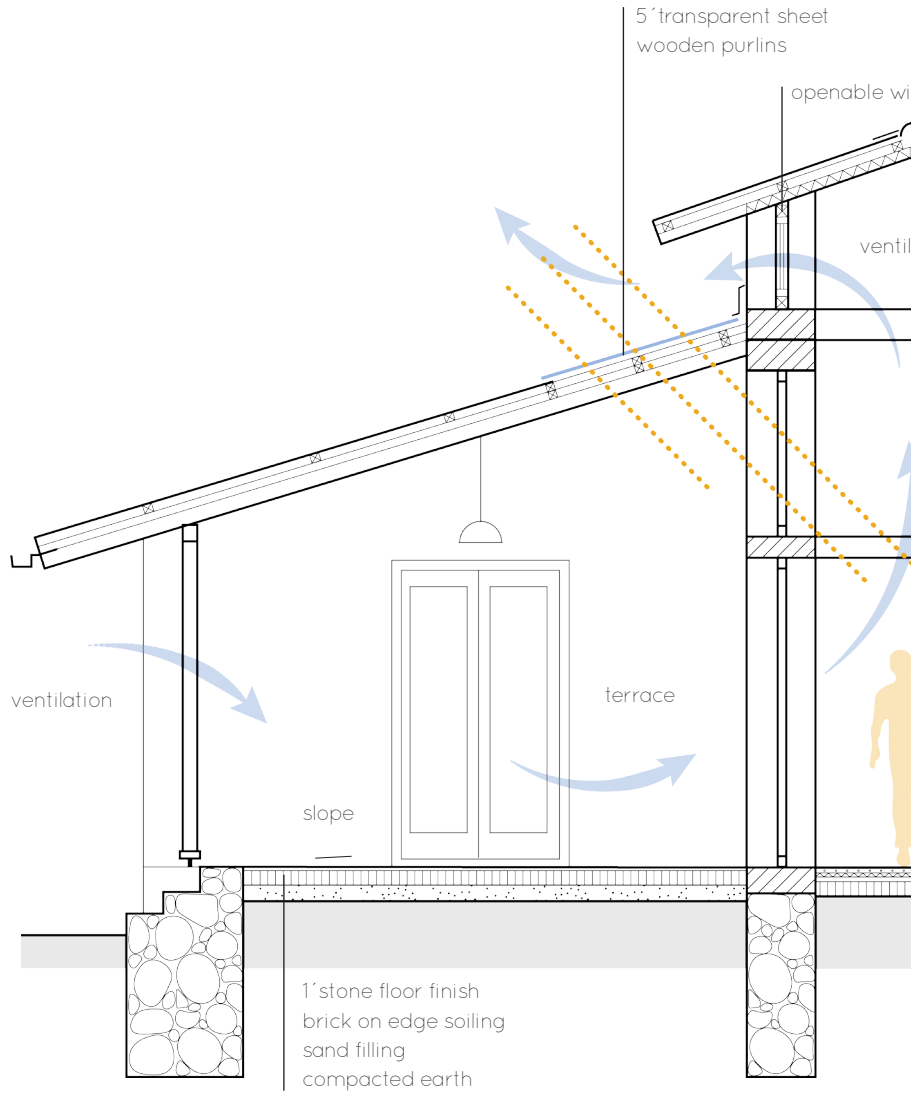
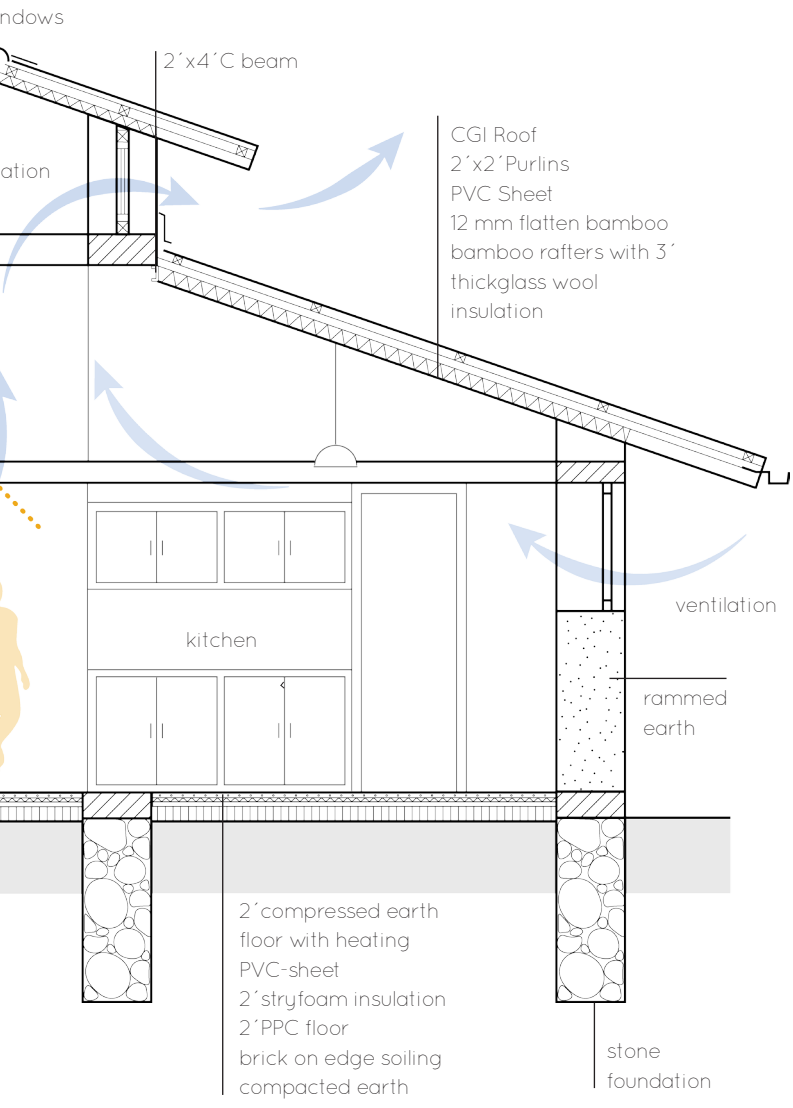
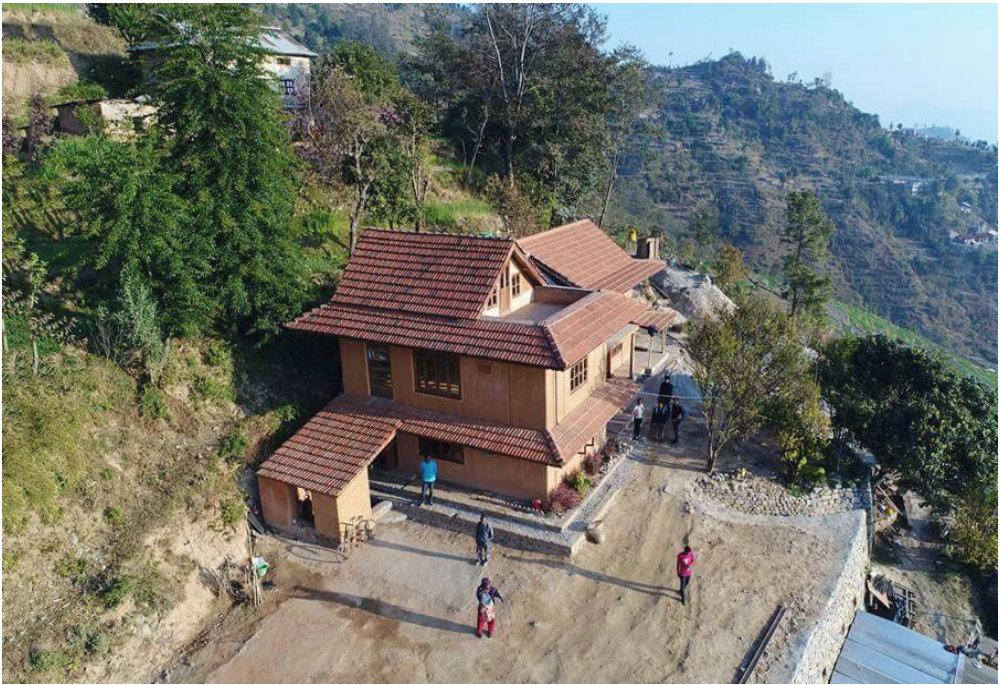


Abb. 97: Fassadenschnitt





*Abb. 98: Abari, Dulikhel Learning Center, Dulikhel, 2017,
Vogelperspektive*

BASICS



Erdbeben
resistent



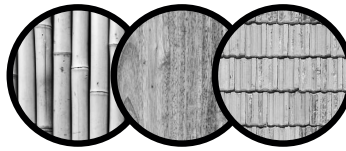
nachhaltig



lokale
Materialien

MATERIALIEN

DACH



Bambus Holz Ziegel

WÄNDE UND
BODEN



Stamflehm

FUNDAMENT



Stein

DULIKHEL LEARNING CENTER

Das Lernzentrum in Dulikhel befindet sich in einer hügeligen Berglandschaft, recht abgeschieden in einem zersiedelten, ländlichen Gebiet.

Von Kathmandu kann man es mittels einer zweistündigen Busfahrt und einem einstündigen Fußmarsch aus erreichen. Es führt keine gepflasterte Straße bis zum Bauplatz.

Das Lernzentrum wurde vom Architekturbüro Abari geplant und umgesetzt und im Oktober 2016 waren die Bauarbeiten

noch im Gange. Beide Geschosse sind aus Lehm gestampft, zusätzlich wurde auch der Dachboden ausgebaut. Man kann sich somit auf drei verschiedenen Ebenen aufhalten.

Das Lernzentrum soll einerseits Abari Platz für weitere Forschungsarbeiten auf dem Gebiet des Lehm- und Bambusbaus bieten, andererseits den Bewohnern in der Umgebung die Chance geben, für sich selbst die Anwendung solcher Baustoffe zu erlernen.



Abb. 99: Abari, Dulikhel Learning Center, Dulikhel, Ansicht von Süden, 10/ 2016



Abb.100: Abari, Dulikhel Learning Center, Dulikhel, Testreihe von verschiedenen Lehmputzen, 10/2016



Abb.102: Abari, Dulikhel Learning Center, Dulikhel, Innenraum, 10/2016



*Abb.103: Abari, Dulikhel Learning Center, Dulikhel,
Treppe aus Bambus, 10/2016*



Abb.104: Abari, Dulikhel Learning Center, Dulikhel, Säulen aus Bambus und Holz ,10/2016



Abb.105: Abari, Dulikhel Learning Center, Dulikhel, Testreihe
Lehmziegel mit Zuschlägen aus Stroh, 10/ 2016



Abb.106: Abari, Dulikhel Learning Center, Dulikhel, Dachausbau, Dachstuhl aus Bambuskonstruktion, 10/ 2016



Abb.107: Abari, Dulikhel Learning Center, Dulikhel, Stützen aus je 4 Bambusstäben und Knoten aus Metall, 10/ 2016



*Abb.108: Abari, Madan Puraskar Pustakalaya Library, Kathmandu,
Lesesaal, 10/ 2016*

BASICS



Erdbeben
resistent



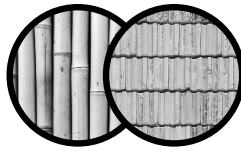
nachhaltig



lokale
Materialien

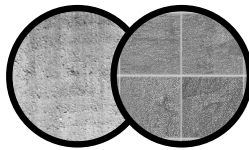
MATERIALIEN

DACH



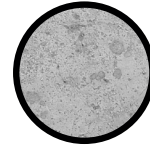
Bambus Ziegel

WÄNDE UND
BODEN



Stampflehm
Lehmkacheln
In Stahlgerüst

FUNDAMENT



Beton

**MADAN PURASKAR PUSTAKALAYA
LIBRARY**

Die Konstruktion der Nationalbibliothek Nepals versagte beim Erdbeben im April 2015 und vieles aus den Archiven wurde beschädigt. Somit wurde der Anspruch gestellt, ein neues, erdbebensicheres Gebäude, welches die vernakuläre Architektur Nepals repräsentieren soll, zu bauen. Die Antwort war, eine von Abari geplante und gebaute, 2 stöckige Lehm-

und Bambuskonstruktion. Das komplexe Bambustragwerk wird von Lehmkacheln, in einer Stahlkonstruktion, verkleidet, die Innenwände sind aus Lehm gestampft. Das neue Archiv mit Lese- und Arbeitssaal, enthält über 35.000 Bücher, 50.000 seltene Fotografien, 10.000 Manuskripte, Zeitungen, Berichte, Kalender u.v.m.



Abb.109: Abari, Madan Puraskar Pustakalaya Library, Kathmandu, Eingang, 10/2016



Abb.110: Abari, Madan Puraskar Pustakalaya Library, Kathmandu, Archiv, 10/2016



Abb.111: Abari, Saraswati Secondary School, Dulikhel, 01/ 2017

BASICS



Erdbeben
resistent



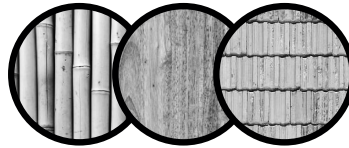
nachhaltig



lokale
Materialien

MATERIALIEN

DACH



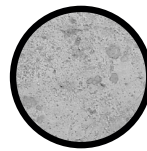
Bambus Holz Ziegel

WÄNDE UND
BODEN

FUNDAMENT



Lehmziegel



Beton

**SARASWATI SECONDARY
SCHOOL**

Die „Saraswati Secondary School“ befand sich im Oktober 2016 noch im Baubeginn, lediglich die Fundamente und die ersten Teile der Wände waren fertiggestellt.

Durch das Erdbeben 2015 wurden einige Teile der Schule zerstört, der Wiederaufbau erfolgte durch das Architekturbüro Abari.

Die Ziegel wurden aus rotem Lehm und Schotter mittels einer Ziegelpresse („compressed earth block machine“) von den Bewohnern aus der Umgebung hergestellt und an der Sonne getrocknet. Der Lehm wurde innerhalb eines Radius von 5 km bezogen. Das Stahlbeton-

gerüst wird durch das Lehmziegel-Mauerwerk ausgefacht. Diese Bauweise ist in Nepal häufig anzutreffen, in diesem Fall wurden jedoch keine, wie sonst üblich, gebrannten Ziegelsteine verwendet. Die Kinder der Saraswati Schule müssen in der Grundschule kein Schulgeld bezahlen, von der 5.-8.Klasse 300(ca. 2,5 Euro) Rupien pro Monat und ab der 8. Klasse 800 (ca. 6,6 Euro) Rupien pro Monat. Zusätzlich wurde eine „Tool library“ geplant, welche die Bewohner aus der Umgebung bei Reparaturen und Neubauten zu unterstützen soll.



*Abb.112: Abari, Saraswati Secondary School, Dulikhel,
Ansicht von Süden 01/2017*



Abb.113: Abari, Saraswati Secondary School, Dulikehl, Klassenzimmer, 01/2017



*Abb. 114: Abari, Saraswati Secondary School, Dulikhel,
Bau des Mauerwerks aus Lehmziegel, 09/ 2016*



Abb.115: Abari, Ziegelproduktionsstätte, Dulikhel, 09/ 2016



Abb. 116: Abari, The Coffee, Pokhara, 10/ 2016

BASICS



Erdbeben
resistent



nachhaltig



lokale
Materialien

MATERIALIEN

DACH



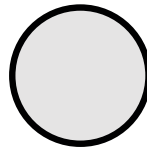
Bambus Metall

EINRICHTUNG



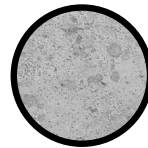
Bambus

WÄNDE UND
BODEN



Leichtlehm

FUNDAMENT



Beton

THE COFFEE

Pokhara ist die zweitgrößte Stadt Nepals und im Gegensatz zum hektischen Kathmandu um einiges ruhiger. Es ist ein beliebtes Touristenziel und um den Phewa-See häufen sich Hotels, Restaurants und Cafes.

„The coffee“ von Abari ist eines davon, fällt aber durch die Lehm und Bambuskonstruktion und

vor allem durch die Innenraumgestaltung ins Auge. Das Gebäude besteht aus einer Leichtlehmkonstruktion und einem Satteldach ohne Dachüberstand. Um die Konstruktion dennoch vor der Witterung zu schützen, sind Dach und Seitenwände von rotem Stahlblech überzogen.



Abb.117: Abari, The Coffee, Pokhara, Innenraum, 10/2016



Abb.118: Abari, The Coffee, Pokhara, Sicht auf die Dachkonstruktion, 10/2016

ENTWURF

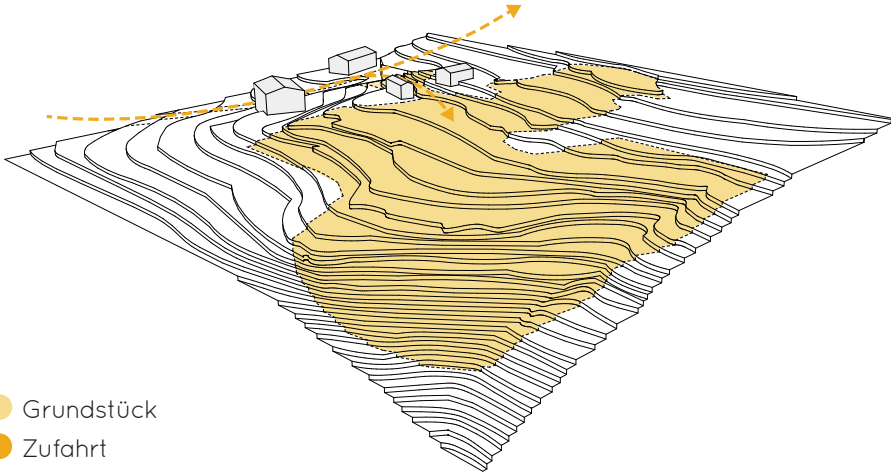
Der Bauplatz für das Projekt befindet sich in Nayapati und liegt circa eine Stunde mit dem Auto Richtung Norden von Kathmandu entfernt. Das zersiedelte, ländliche Gebiet wird von Reisterrassen dominiert und das Grundstück weist einen Höhenunterschied von 16 Meter auf.

Der Bildungscampus soll in 3 Bauphasen errichtet werden. Zuerst werden Grundschule mit 5 Klassenzimmer und ein Sportplatz gebaut. In der zweiten Phase wird die Schule um eine Sekundarschule mit 5 Klassen und Workshops erweitert. Den Abschluss bildet eine Mensa und eine Bibliothek, welche auch von den Bewohnern in der Umgebung genutzt werden soll.

Da erdbebensicheres Bauen einfache Grund- und Aufrisse erfordert, bestehen alle Gebäude aus quadratischer Form. Aufgrund von Platzmangel, müssen die Geschosse zweistöckig ausgeführt werden.

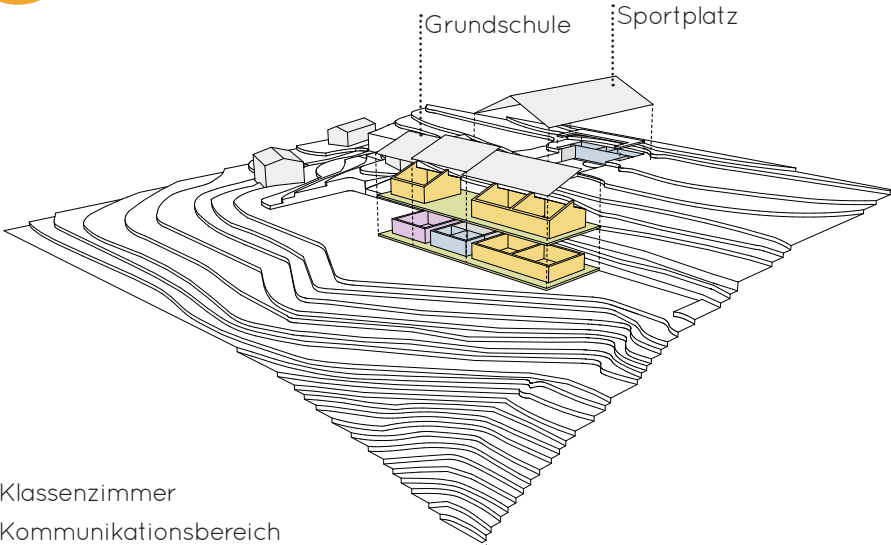
Alle Wände werden aus

Stampflehm konstruiert, und horizontal und vertikal bewehrt. Das Dach besteht aus einer leichten Bambuskonstruktion und ist von Innen sichtbar. Eingespante Stützen aus Bambus unterstützen das Dach und dienen als raumabschließendes Element für den Laubengang. Dieser dient als Aufenthalts- und Kommunikationsbereich und verbindet alle Klassenzimmer. Ein weiteres Element der Fassade bilden verschiebbare Bambuspaneele. Sie dienen dem Sonnenschutz und der Zonierung des Gangbereiches. Außerdem verändert sich das Erscheinungsbild der Gebäude je nach Sonnenstand. Alle Räume haben Fenster auf der Süd- und Nordseite, die eine strömende Luftzirkulation erlauben. Stampflehm speichert Wärme im Winter und kühlt die Räume im Sommer-somit herrscht ganzjährig ein angenehmes Raumklima.



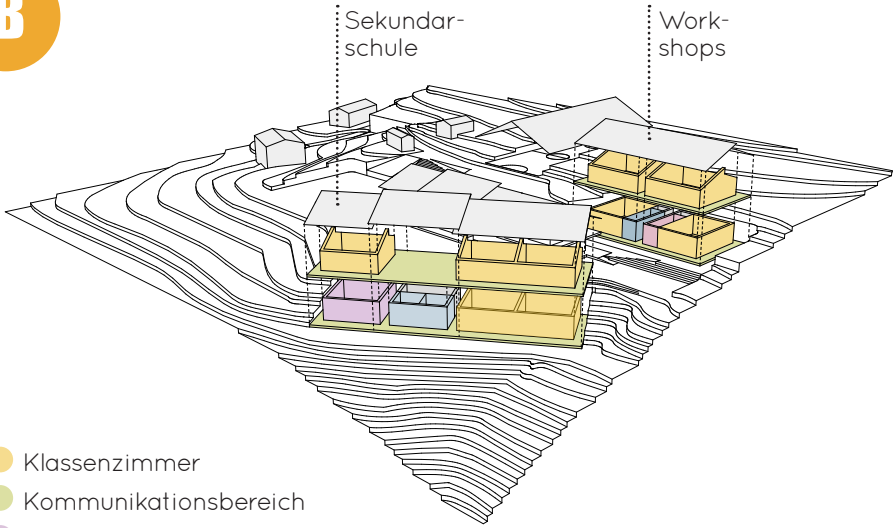
- Grundstück
- Zufahrt

A



- Klassenzimmer
- Kommunikationsbereich
- Aufenthaltsbereich Pädagogen
- Sanitär Kinder
- Sanitär Personal/Stauraum

B



● Klassenzimmer

● Kommunikationsbereich

● Aufenthaltsbereich Pädaggen

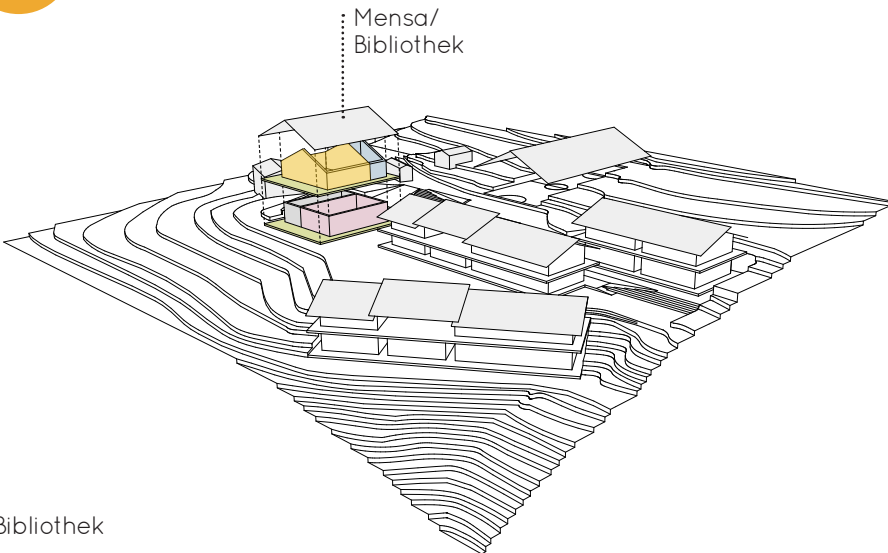
● Sanitär Kinder

● Sanitär Personal/Stauraum

● ärztliche Versorgung

● „Tool library“

C



● Bibliothek

● Kommunikationsbereich

● Mensa

● Direktor

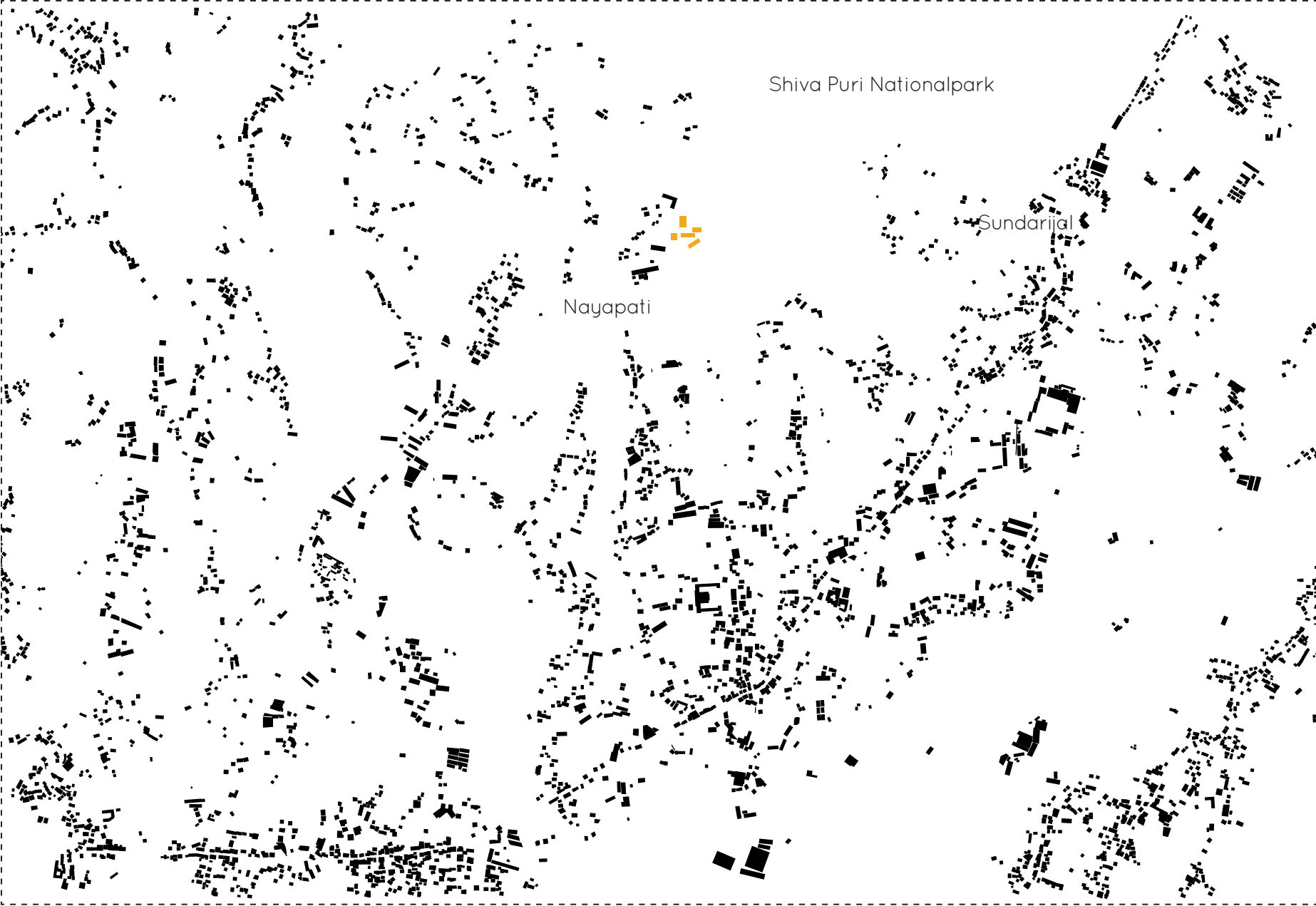
● Küche/ Lager



Aussicht nach Süden



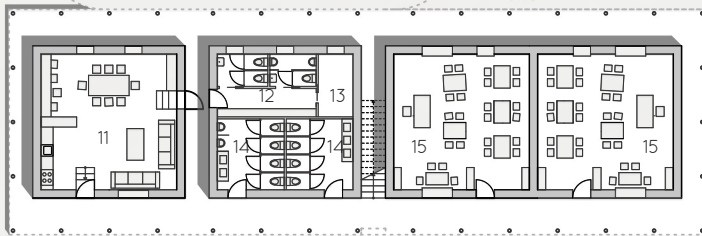
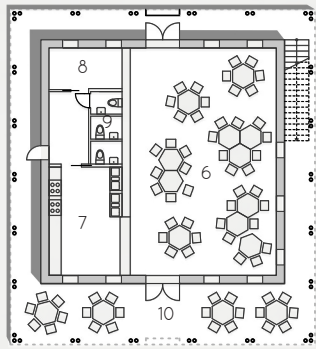
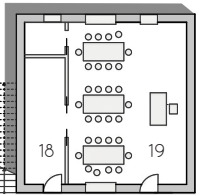
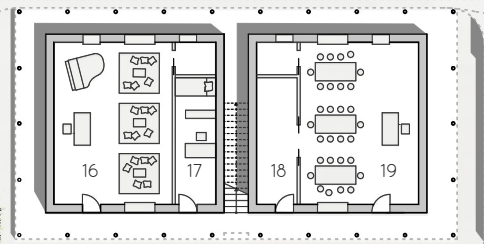
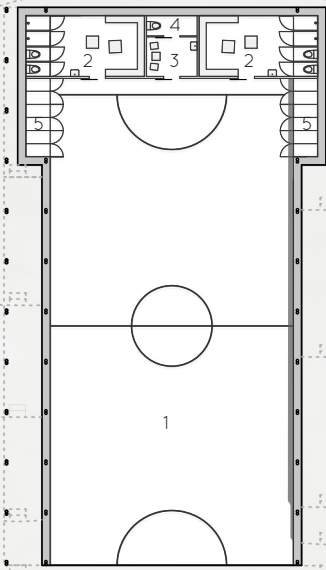
Aussicht nach Westen



DRAUFSICHT M 1:350



N



SPORTPLATZ

- 1 Sportfeld 290 m²
- 2 Umkleide Schüler 14 m²
- 3 Umkleide Lehrer 7,4 m²
- 4 Sanitär 3,6 m²
- 5 Stauraum 4,6 m²

MENSA/ BIBL. EG

- 6 Speisesaal 80 m²
- 7 Küche 20 m²
- 8 Lager 8 m²
- 9 Sanitär 6 m²
- 10 Terrasse 45 m²

GRUNDSCHULE EG

- 11 Aufenthaltsraum
Lehrer 45 m²
- 12 Sanitär Lehrer 7,8 m²
- 13 Stauraum 5,3 m²
- 14 Sanitär Schüler 12 m²
- 15 Klassenzimmer 45 m²

WORKSHOPS EG

- 16 Musik 46 m²
- 17 ärztliche Versorgung 16 m²
- 18 „Tool Library“ 12 m²
- 19 Werkraum 12 m²

SEKUNDARSCHULE

- 20 Klassenzimmer 45 m²
- 21 Terrasse 70 m²

OBERGESCHOSS M 1:350

MENSA/ BIBL. EG

- 1 Lesesaal 90m²
- 2 Administration 15,5 m²
- 3 Direktor/in 15,5 m²
- 4 Terrasse 45 m²

GRUNDSCHULE OG

- 5 Klassenzimmer 45 m²
- 6 Terrasse 68 m²

WORKSHOPS OG

- 6 Kunst 63 m²
- 7 Computerraum 63 m²

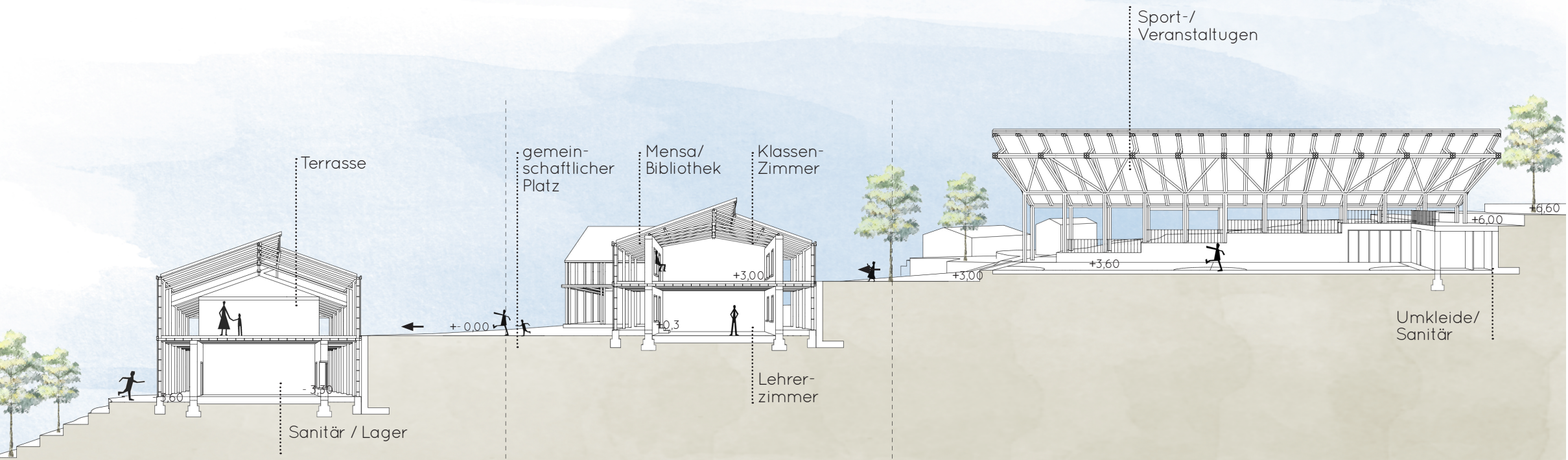
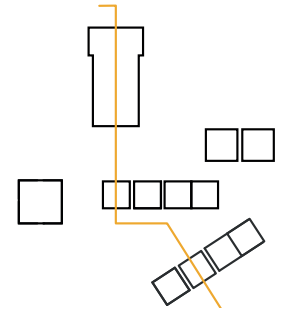


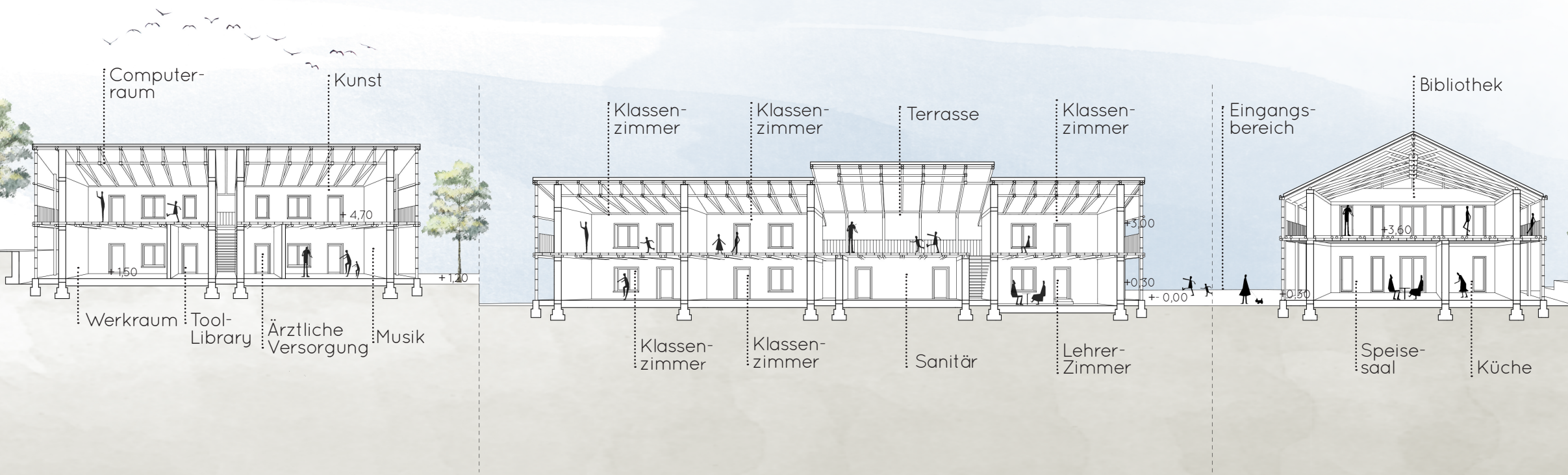
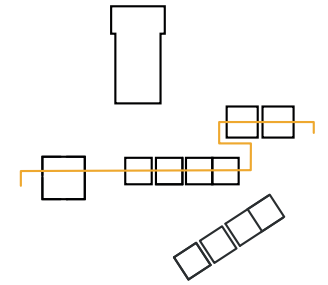


SEKUNDARCHULE EG

- 1 Aufenthaltsraum
Lehrer 45 m²
- 2 Sanitär Lehrer 7,8 m²
- 3 Stauraum
- 4 Sanitär Schüler
- 5 Klassenzimmer

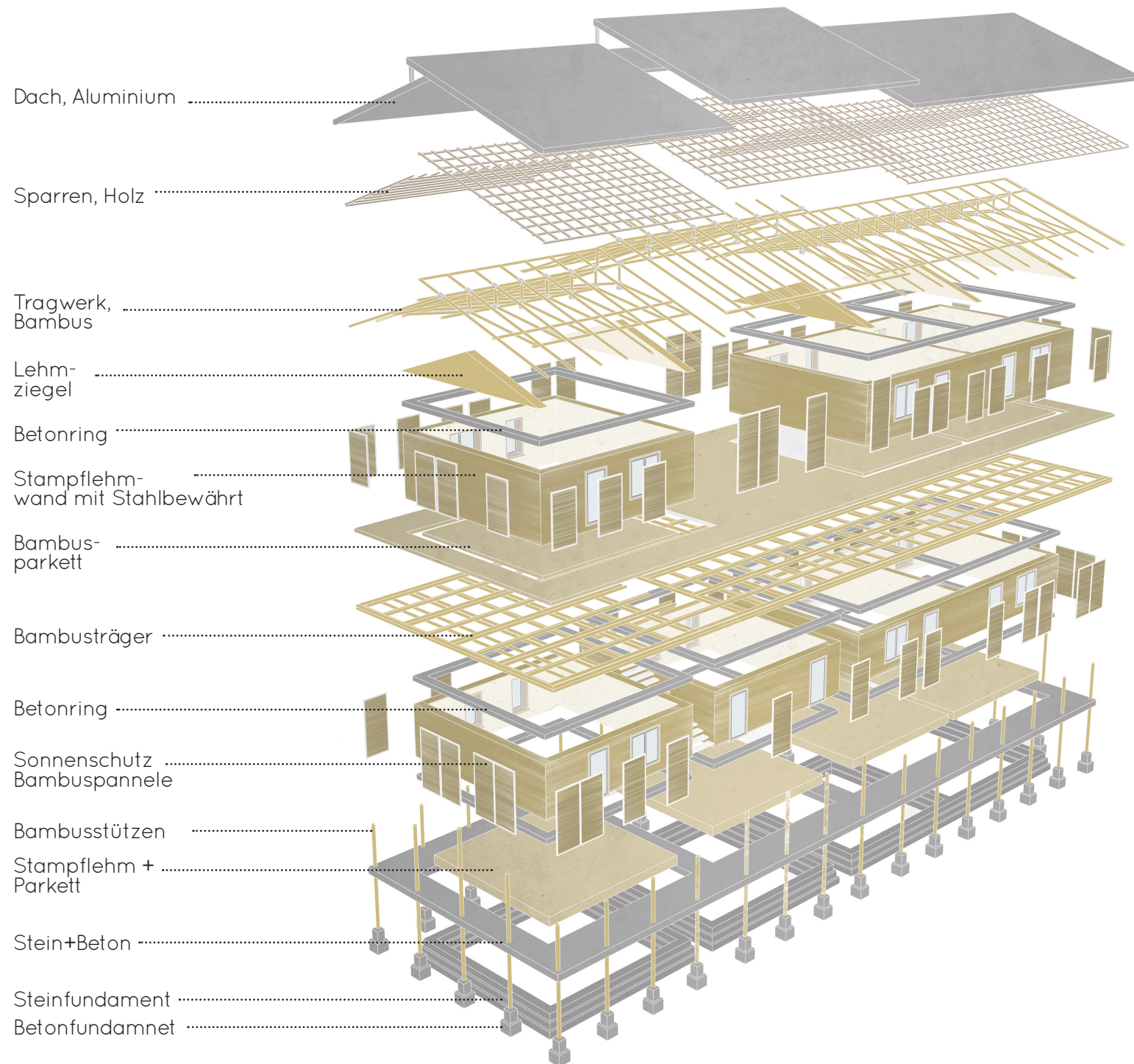
SCHNITT A-A M 1:250





ANSICHT M 1: 250





1-DACH

- Aluminiumdach Stehfalzprofil verzinkt reflektieren 0,3 cm
- Dachabdichtung
- Lattung 6x4 cm/ Holzfaserplatte 6 cm
- Lattung 6x4/ Holzfaserplatte 6 cm
- Bambusträger ø 12 cm
- Bambusmatte

2-DECKE

- Parkett 1,5 cm
- Bambusträger 2 x ø 12 cm
- Trittschalldämmung Holzfaserplatte 5 cm
- Bambusrohre ø 7 cm
- Bambusträger 2 x ø 12 cm
- Bambusmatte

3-FUSSBODEN

- Parkett 1,5 cm
- Lattung 5x5 cm/ Dämmung Holzfaserplatte
- Lattung 5x5/ Dämmung Holzfaserplatte
- Stampflehm 40 cm

4-WAND

- Stampflehm horizontal und vertikal mit Stahl bewährt 40 cm

5-GANG

- Beton geschliffen 3 cm
- Stein 30 cm

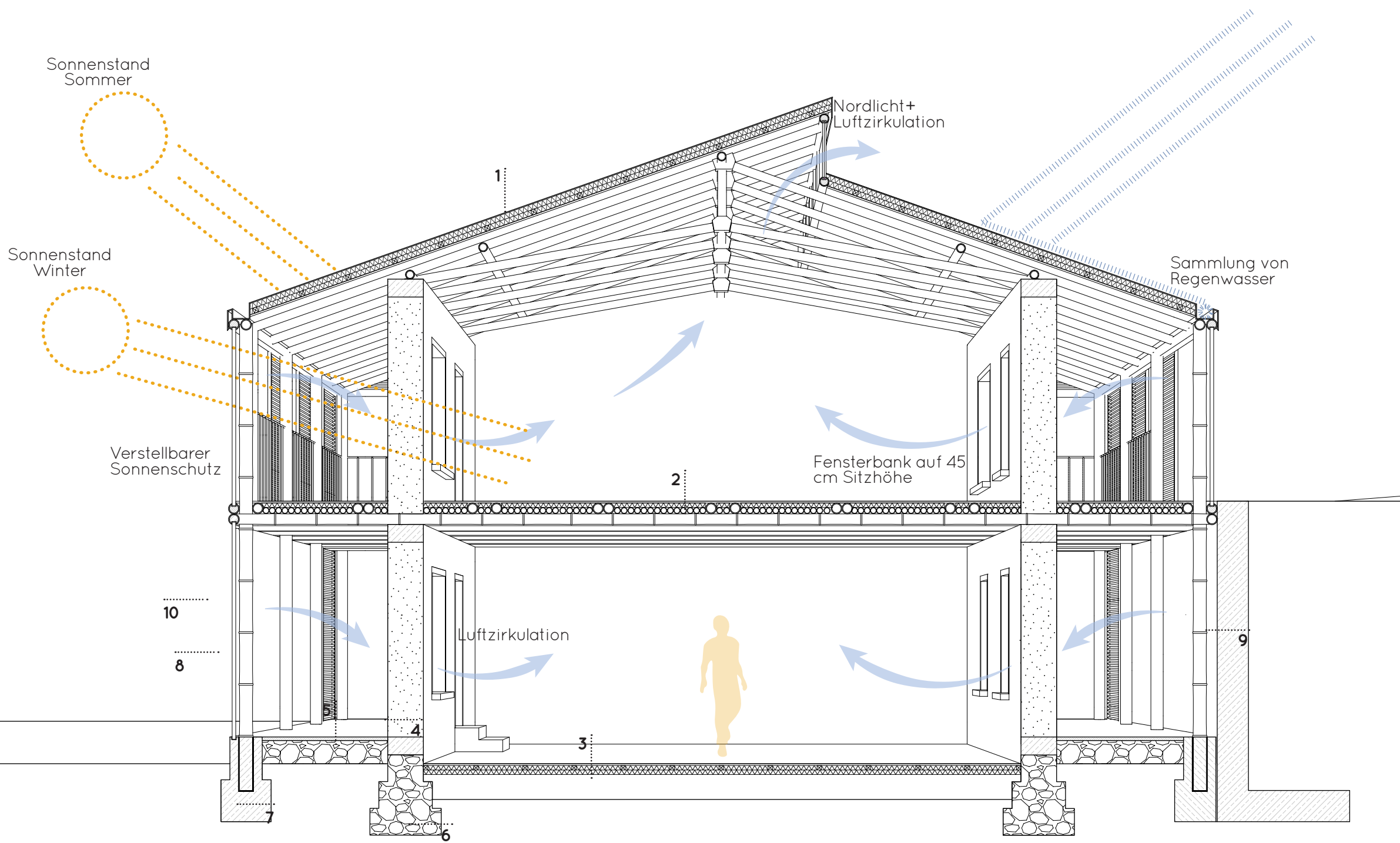
6-Treppenfundament aus Stein

7-Punktfundament aus Stahlbeton zum Einspannen der Bambusstütze

8-Bambusstütze ø 15 cm

9-Stützmauer Stahlbeton 40 cm

10-verschiebbare Paneele aus Bambus

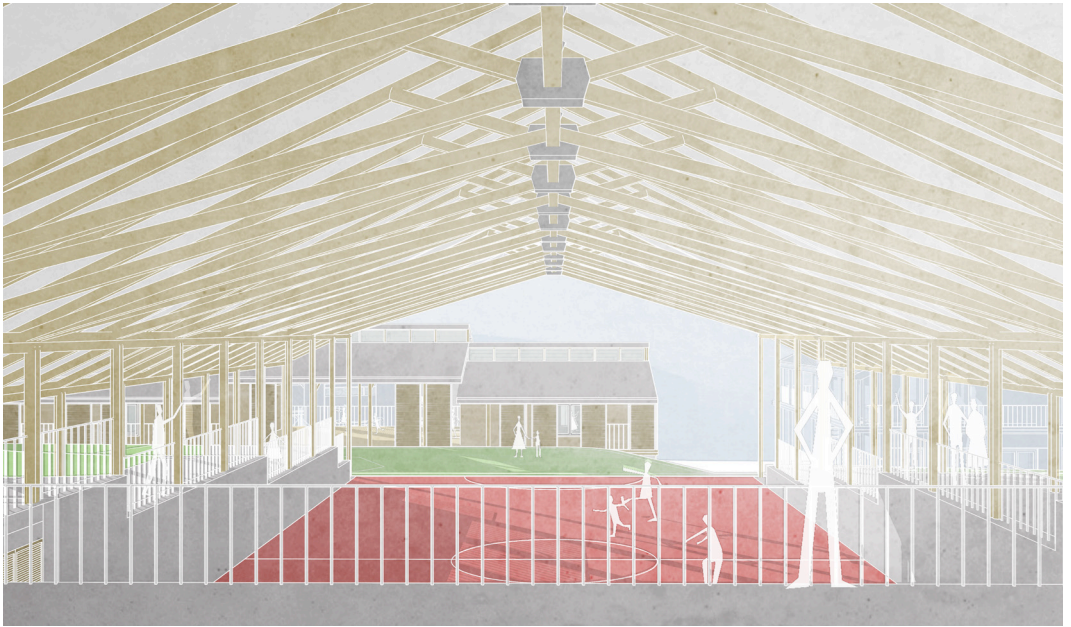




Perspektive 1: gemeinschaftlicher Platz



Perspektive 2: Klassenzimmer



Perspektive 3: Sportfeld

BÜCHER

Charleson, Andrew:
Seismic design for architects.
Outwitting the quake,
Oxford, UK, Burlington, USA, 2008

Dunkelberg, Klaus:
IL31 Bambus-Bamboo,
Stuttgart, 2000

Frisch, Wolfgang:
Plattentektonik.
Erträge der Forschung,
Darmstadt, 1986

Geiger, Owen:
Earthbag Building Code,
USA, 2011

Mahal, Babar:
Nepal National Building Code.
Guidelines for earthquake resistant
building construction: Earthen
Building (EB), Kathmandu 1994

Minke, Gernot:
Building with Bamboo. Design and
Technology of a Sustainable
Architecture, Basel, 2012

Minke, Gernot:
Building with Earth. Design and Tech-
nology of a Sustainable Architecture,
Basel, 2006

Rauch, Martin:
Gebaute Erde.
Gestalten& Konstruieren mit Stampf-
lehm, Immenstadt, 2015

Savada, Andrea Mattes:
Nepal and Bhutan.
Country studies,
Washington D.C., 1993

Schröder, Horst:
Lehmbau.
Mit Lehm ökologisch planen und
bauen, Wiesbaden, 2010

Vitra Design Museum und Autoren:
Grow your own house. Simón Vélez
und die Bambusarchitektur, Weil am
Rhein, 2000

INTERNETQUELLEN

<http://www.worldometers.info>,
17.08.2017

<https://www.cia.gov/library/publications/resources/the-world-factbook/geos/np.html>
16.08.2017

Parajuli, Deepak Raj:
Performance Of Community Schools
in Nepal.A Macro Level Analysis,
[http://www.ijstr.org/final-print/
july2013/Performance-Of-
Community-Schools-In-
Nepal-A-Macro-Level-Analysis.pdf](http://www.ijstr.org/final-print/july2013/Performance-Of-Community-Schools-In-Nepal-A-Macro-Level-Analysis.pdf) ,
16.08.2017

Siebert, Sebastian:
Infoblatt Entstehung von
Erdbeben,
<https://www.klett.de/terrasse>,
03.08.2017

Gorkha Earthquake 2015,
<http://www.seismonepal.gov.np>,
18.08.2017

Nepal Earthquake,Humanitarian
Response,
[https://www.humanitarianresponse.
info](https://www.humanitarianresponse.info),
17.08.2017

Nepal Earthquake of 25 April
2015, <https://earthquake.usgs.gov>,
17.08.2017

Ujjwal Raj Pokhrel:
Bamboo engineered house,
[http://abari.earth/bamboo-
engineered-house/](http://abari.earth/bamboo-engineered-house/),
23.7.2017

Nripal Adhikary:
Economic potential of bamboo,
[http://abari.earth/economic-
potential-of-bamboo-in-nepal/](http://abari.earth/economic-potential-of-bamboo-in-nepal/),
24.7.2017

01

Nepal und Bhutan Country Studies,
Savada 1993

02

<http://www.ijstr.org/final-print/july2013/Performance-Of-Community-Schools-In-Nepal-A-Macro-Level-Analysis.pdf> (Zugriff am 16.8.2017)

04, 07, 08

TU Graz, ITE, Erdbebengerechtes
Konstruieren

03, 06, 05

Seismic Design For Architects,
Andrew Charleson

09, 10

<https://www.theguardian.com/world/gallery/2015/apr/25/earthquake-in-nepal-in-pictures> (Zugriff am 7.10.2017)

11, 12

<http://www.hindustantimes.com/india/nepal-earthquake-in-75-photos-all-about-the-disaster-that-killed-6-100-destroyed-6-lakh-houses/story-elUBVJM1TiCZbonnuasiPL.html> (Zugriff am 7.10.2017)

13, 14, 15, 16, 17, 18, 19

Nepal National Building Code; Guidelines for earthquake resistant building construction: Earthen Buildings

20, 21

<http://www.archdaily.com/634724/ricola-krauterzentrum-herzog-and-de-meuron> (Zugriff 8.10.2017)

22

<http://newmexicotravelblog.com/experience-taos-pueblo/> (Zugriff 8.10.2017)

23

<http://www.1001inventions.com/timbuktu?page=2> (Zugriff am 8.10.2017)

24

<http://www.nationalgeographic.com/travel/destinations/asia/yemen/shibam-mud-skyscraper-yemen/#/aerial-shibam-yemen.jpg> (Zugriff am 8.10.2017)

25

<http://mapio.net/pic/p-48128971>
(Zugriff am 8.10.2017)

26

<https://www.getyourguide.at/chinesische-mauer-1525/> (Zugriff am 8.10.2017)

27

http://craterre.org/galerie-des-images/default/gallery/38/gallery_view/Gallery/ctl/galerie-des-images/default/gallery/38/gallery_view/Gallery
(Zugriff 8.10.2017)

28

<https://de.slideshare.net/bhavivador/thesis-on-earth-architecture> (Zugriff 20.8.2017)

29, 30, 31, 32, 43, 46

Building with earth, Gernot Minke, 2006

33

<http://www.new-territories.com/blog/india1/latritelocationlibrary/> (Zugriff 8.10.2017)

34,35

<http://www.archdaily.com/564873/gangouroubouro-pri-mary-school-levs-architecten> (Zugriff 8.10.2017)

36,37

Bilder vom Autor

38,39

[http://www.archdaily.com.br/br/01-56267/living-tebogo-basehabitat\(-Zugriff 8.10.2017\)](http://www.archdaily.com.br/br/01-56267/living-tebogo-basehabitat(-Zugriff%208.10.2017))

41,42,43,44

[http://www.archdaily.com/780149/vineyard-house-blaanc\(Zugriff 8.10.2017\)](http://www.archdaily.com/780149/vineyard-house-blaanc(Zugriff%208.10.2017))

47, 53

IL 31 Bambus-Bamboo, Dunkelberg Klaus, 2000

49, 50, 52, 58, 59

Building with bamboo, Gernot Minke, 2012

48

Die wunderbare Welt des Bambus, Takama Shinji, 1996

51

Grow your own house, Simon Vélez und die Bambusarchitektur

54

[https://www.pinterest.at/source/bambooland.com.au/\(Zugriff 8.10.2016\)](https://www.pinterest.at/source/bambooland.com.au/(Zugriff%208.10.2016))

55

[https://www.researchgate.net/figure/301303022_fig8_Fig-8-Manufacturing-process-of-laminated-bamboo-lumber-LBL-using-bamboo-strips\(Zugriff 8.10.2017\)](https://www.researchgate.net/figure/301303022_fig8_Fig-8-Manufacturing-process-of-laminated-bamboo-lumber-LBL-using-bamboo-strips(Zugriff%208.10.2017))

56

[http://inhabitat.com/shanghai-expo-bamboo-german-chinese-house-glow-like-a-lantern/\(Zugriff 8.10.2017\)](http://inhabitat.com/shanghai-expo-bamboo-german-chinese-house-glow-like-a-lantern/(Zugriff%208.10.2017))

57

<http://www.archdaily.com/776536/bamboo-forest-vo-trong-nghia-architects>(Zugriff 8.10.2017)

60-91

Bilder vom Autor

92, 93, 94

<http://matoghar.com.np>(Zugriff 8.10.2017)

95-97

Bilder vom Autor

98

Matt Edwards;<https://www.facebook.com/abari.nepal/photos> (Zugriff 5.10.2017)

99-107

Bilder vom Autor

108-110

<http://abari.earth/mpp/>(Zugriff 5.10.2017)

111-113

<http://abari.earth/saraswati/>(Zugriff 5.10.2017)

114-115

Bilder vom Autor

116,117

<http://abari.earth/the-coffee/>

118

Bild vom Autor