

# Erdbebensicheres Bauen auf den Philippinen



Von Isabel, Remi, Mateo und Jonas

## Inhaltsverzeichnis

1. Warum erdbebensicher bauen?
2. Planung eines erdbebensicheren Gebäudes
  - 2.1 Bodenbeschaffenheit beachten
  - 2.2 Durchgängig hält besser
  - 2.3 Duktilität erhöhen
  - 2.4 Schwachpunkt Schaufenster
3. Arten Häuser erdbebensicher zu machen
  - 3.1 Erdbebensicher bauen durch Schwingungsdämpfer
    - 3.1.1 Gegenschwingpendel
    - 3.1.2 Basisisolierung
    - 3.1.3 Stahlfedern
    - 3.1.4 Blei- Gummi- Lager
    - 3.1.5 Kugeldämpfer und hydraulische Systeme
4. Bauweise auf den Philippinen
5. Alternative für die Philippinen
  - 5.1 Bambus
    - 5.1.1 Zeitlicher nutzen
    - 5.1.2 Ökonomischer nutzen
    - 5.1.3 Ökologischer nutzen
    - 5.1.4 Gesellschaftlicher nutzen

## 1. Warum erdbebensicher bauen?

Heutzutage wird erdbebensicheres Bauen immer wichtiger. Über 10% der Weltbevölkerung lebt in Gebieten die durch Erdbeben bedroht sind. Eine Umsiedlung in ungefährdete Regionen ist also unmöglich. Die eigentliche Gefahr geht nicht vom Beben selber aus, sondern durch die vom Beben betroffenen Gebäude u.ä. So töten z.B. herunterfallende Teile von beschädigten Gebäuden um weiten mehr Menschen, als das Beben selber.

Ein Erdbeben kommt zustande indem die riesigen, den Erdmantel bildenden und durch die sich im Erdinneren befindende Magma angetriebenen Erdplatten aufeinander treffen und die Gesteins- und Reliefmassen den immensen seismischen Spannungen nicht mehr standhalten können, und sich die gesamte angehäuften Energie entlädt, zunächst im Inneren der Erde. Die entladene Energie breitet sich in Form von Wellen (ähnlich den Wellen im Wasser) aus und erreicht in Sekundenschnelle den Meeres- oder Erdboden. Dann kommt es zu abrupten Brüchen und Verschiebungen. Bei den stärksten Beben können mehrere Quadratkilometer große Bruchflächen entstehen, Spuren davon sind manchmal sogar auf der Erdoberfläche zu sehen.

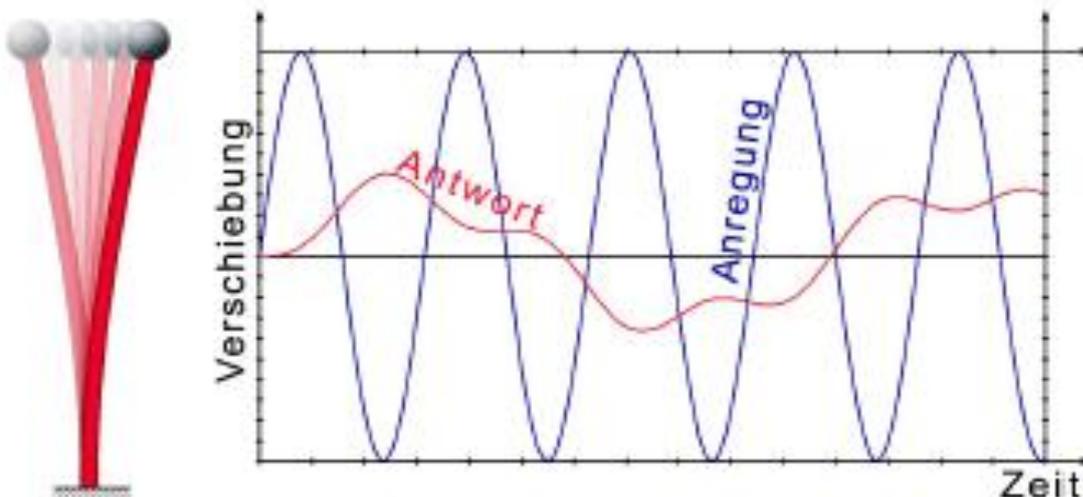
Häuser sind aber nicht starr, sondern haben durch das je nach Bauweise verwendete Material eine gewisse Elastizität, welche das Gebäude, wenn auch nur minimal, schwingen lässt, welches ein großes Problem aufwirft: Durch die Elastizität der Häuser besitzen sie die Fähigkeit zu schwingen. Jeder Oszillator besitzt eine spezifische Resonanzfrequenz – wenn ein Oszillator mit seiner Resonanzfrequenz angeregt wird, dann wird die Schwingung immer intensiver (z.B. Tacoma Bridge). Wenn die Resonanzfrequenz eines Hochhauses in dem Bereich der Erdbebenfrequenz liegt, schwingt das Haus immer stärker, es wird also gefährlich.

Ein Ziel des Gebäudeschutzes sollte also sein, die Eigenfrequenz in einen Bereich zu verlagern, der bei Erdbeben nicht auftritt. Selbst wenn das Gebäude die elastische Oszillation ohne Resonanzkatastrophe überstehen würde, kann es trotzdem zerstört werden. Bei der elastischen Oszillation entstehen mechanische Spannungen im Gebäude, die zu Rissen und dann zum Versagen der Materialien führen können. Zweites Ziel sollte also sein, die Schwingung des Erdbodens schon zu dämpfen, bevor sie auf das Gebäude einwirkt. Ideal wäre ein Gebäude, das einfach über dem Boden schwebt und von seiner horizontalen Bewegung völlig entkoppelt ist – was aber auf Grund der Schwerkraft technisch unmöglich ist. Den Versuch, das Gebäude vom Erdboden zu trennen nennt man daher Erdbebenisolierung.

## 2. Planung eines erdbebensicheren Gebäudes

Ist ein Bauwerk in einer erdbebengefährdeten Region in Planung, wird zuerst durch Ingenieure festgestellt, wie stark es an seinem zukünftigen Standort durch ein Beben belastet werden könnte. Dabei wird auf das Antwortspektrum zurückgegriffen. Das Antwortspektrum ist ein Verfahren das den Zusammenhang zwischen der Eigenfrequenz eines Einmassenschwingers und der maximalen Antwort der Masse liefert. Diese Antwort kann eine beliebige Bewegungsgröße (Verschiebung, Geschwindigkeit, Beschleunigung) sein. Dafür werden mehrere Einmassenschwinger auf einem Fundament angebracht, die alle eine unterschiedliche Eigenfrequenz besitzen, jedoch dieselbe Steifigkeit (Steifigkeit ist ein Maß für die Widerstandsfähigkeit eines Werkstoffes gegenüber mechanischen Verformungen) und Dämpfung. Auf das Fundament wird nun mit einem bestimmten Eingangssignal eingewirkt, wodurch die Schwinger aufgrund ihrer Eigenfrequenz unterschiedlich reagieren. Diese Schwingungen der Einmassenschwinger werden gemessen und aufgezeichnet.

Ein Oszillator mit hoher Eigenfrequenz und kleiner Schwingungsdauer, also Bauwerke mit einem starken Widerstand gegen horizontal wirkende Kräfte, sind sogenannte „steife“ Gebäude. Aus dem Antwortspektrum lässt sich dann ablesen, dass bei ihnen relativ hohe Beschleunigungen und somit Massenkräfte auftreten. „Weiche“ Systeme erfahren dagegen geringe Beschleunigungen zum Preis stärkerer Verformungen.



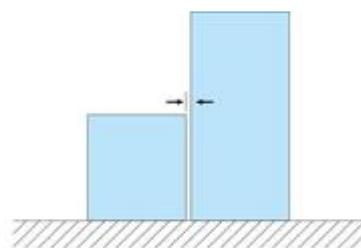
Bevor Ingenieure ein bestimmtes Antwortspektrum zugrunde legen, müssen sie die Stärke der anzunehmenden Bodenbewegung definieren. Damit legen sie fest, wie erdbebengefährdet der geplante Standort ist. Für übliche Büro- und Wohngebäude ist es weltweit Standard, die an der Baustelle alle ca. 475 Jahre vorkommenden Bodenbewegungen anzusetzen, das bedeutet das alle Bodenbewegungen und Erdbeben um die angegebenen Jahreszahl zurück auf Frequenz und Stärke untersucht werden; Bei für die Allgemeinheit besonders wichtigen Bauwerken wie Krankenhäusern oder solchen mit hohen Schadensfolgen wie beispielsweise Talsperren oder Kernkraftwerken wird wesentlich weiter zurückgegangen, denn es ist von wesentlich stärkeren Beben auszugehen, mit mittleren Wiederkehrperioden von 1000, 2500 oder 10.000 Jahren.

Mit diesen Angaben lässt sich dann rechnerisch ermitteln, wie stark Schwingungen und die somit auftretenden Schnittkräfte und Verformungen ein bestehendes oder geplantes Bauwerk beanspruchen.

Auf der Basis dieser Ergebnisse wählen die Ingenieure dann eine geeignete Konstruktion. Die Tragfähigkeit der gewählten Bauweise muss mindestens ausreichen, um ein Versagen infolge der angenommenen Erdbebeneinwirkung auszuschließen. Der Schutz der Gebäude und des Materials und somit auch von Menschenleben ist dadurch gewährleistet. Einfamilienhäuser und kleinere Gebäude werden gegen schwächere, dafür häufiger vorkommende Bodenbewegungen mit einer mittleren Wiederkehrperiode von ca. 95 Jahre gesichert. Kostspielige Reparaturen und Nutzungsausfälle sind so vermeidbar.

Beim Entwurf erdbebengerechter Bauwerke müssen bautechnische Grundlagen beachtet werden: So sind kompakte Baukörper mit symmetrischen Grundrissen generell vorteilhafter als solche mit gegliedertem Grundriss:

Rechteckige Gebäude, die maximal dreimal so lang wie breit sind, gelten als besonders stabil. Zudem sollten die Gebäude maximal viermal so hoch wie breit sein, da sonst eine erhöhte Gefahr auf Grund von starken Horizontalverschiebungen auftritt – in Folge dessen stürzen die Gebäude in sich zusammen. Als besonders erdbebengefährdet gelten Gebäude mit U-förmigen und T-förmigen Grundrissen sowie besonders lange Gebäude. Der Grundriss sollte drei Eigenschaften aufweisen: Gedrungen, einfach und symmetrisch. Sollten komplexere Formen in Planung sein, so sind diese in mehrere einfache Grundrisse aufgeteilt. Fugen verbinden die einzelnen Bauten, je größer diese sind, desto geringer ist die Gefahr, dass die einzelnen Gebäudeteile bei einem Erdbeben aufeinanderprallen, und somit einen Schaden verursachen.

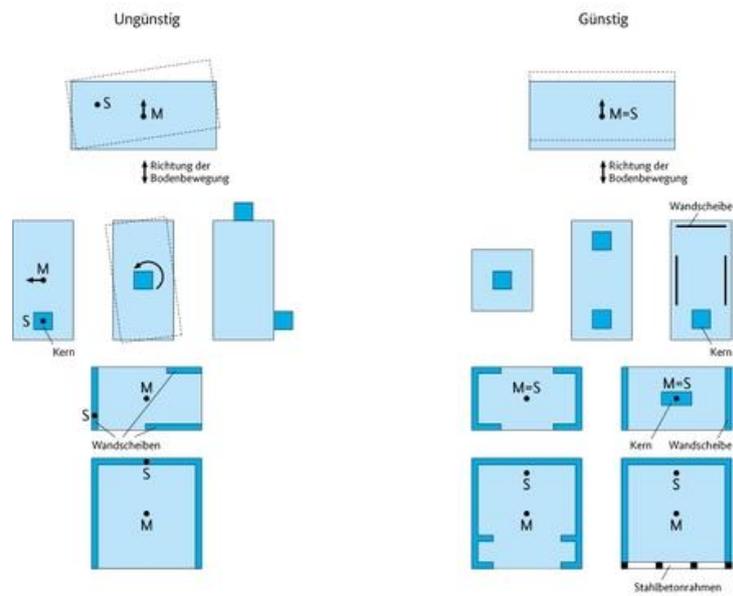


Fugen zwischen benachbarten Gebäuden fachgerecht ausbilden!

Darstellung nach: Bachmann, Hugo. Erdbebengerechter Entwurf von Hochbauten – Grundsätze für Ingenieure, Architekten, Bauherren und Behörden. Richtlinien des BWG, Biel 2002, S. 50.

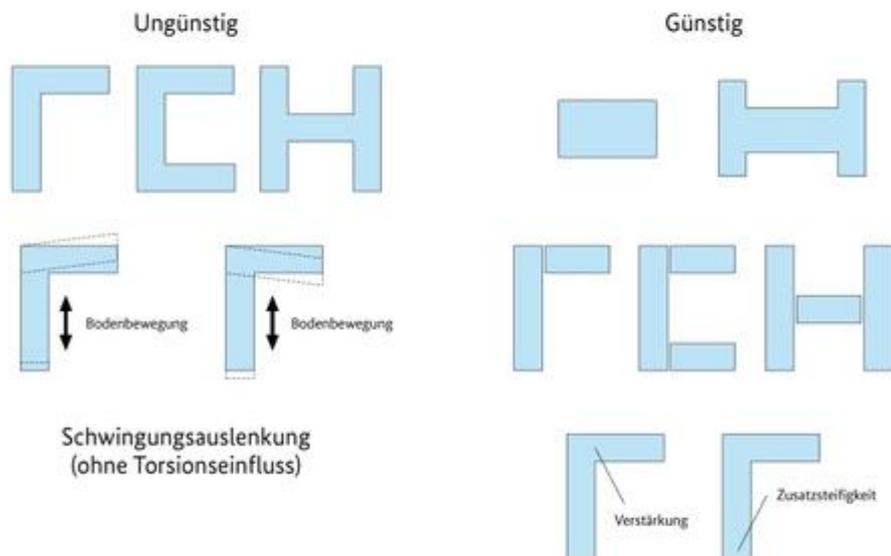
Wie das Tragwerk eines Gebäudes reagiert, hängt von vielen Faktoren ab. So werden Bauten von essenzieller infrastruktureller Bedeutung besonders steif gehalten damit sie eine hohe Eigenfrequenz aufweisen. Auf diese Weise schwingen sie nicht, sondern bewegen sich mit dem Boden mit, wie starre Körper. Um einem Gebäude die nötige Steifigkeit zu verleihen, bedarf es eines Stahlbetonkerns, der Treppenhäuser, Aufzugs- und Installationsschächte zusammenfasst. Grundsätzlich sollte der Steifigkeitsmittelpunkt (S) des Bauwerks so nahe wie möglich am Massemittelpunkt (M) liegen, um das Gebäude weniger anfällig für Torsionsschwingungen zu machen. Ist M gleich S, muss das Gebäude lediglich die horizontale Bodenbewegung aushalten. Sollen Wandscheiben für die Aussteifung sorgen – und das ist besonders bei langen Bauwerken nötig – sind diese symmetrisch anzuordnen und optimaler Weise zusätzlich auszusteifen.

## Massen- und Steifigkeitsverteilung im Grundriss



Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg. Erdbebensicher Bauen – Hinweise für das Bauen in Erdbebengebieten Baden-Württembergs. Stuttgart 2008, S. 14.

## Erdbeben und der richtige Grundriss



Darstellung nach: Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg. Erdbebensicher Bauen – Hinweise für das Bauen in Erdbebengebieten Baden-Württembergs. Stuttgart 2008, S. 12.

Desweiteren ist ein gleichmäßiger Widerstand gegen horizontal wirkende Massenkräfte entlang der Höhe des Bauwerks, folglich nur die Verwendung einer Stockwerksart, also keine „weichen“ und „steifen“ Geschosse in demselben Gebäude, ist von Vorteil. Zudem sollten Bauwerke mit großen Massen in den höheren Etagen oder für Drehschwingungen anfällige Systeme vermieden werden.

Bei Bauwerken von besonderer Wichtigkeit und/oder hohen Schadensfolgen im Falle eines Einsturzes wird das Tragwerk so bemessen, dass es selbst unter den stärksten anzunehmenden Beben den elastischen Zustand beibehält: Ein sehr steifes System mit hohen Eigenfrequenzen und sehr geringen Verformungen ist demnach von sehr großem Vorteil. Bei üblichen Hochbauten, wie zum Beispiel Bürogebäude, wird dagegen ein bestimmtes Maß an plastischer Verformbarkeit, die sogenannte „Duktilität“, explizit genutzt, was niedrigere Baukosten ermöglicht, welche aber keinesfalls eine erhöhte Versagensanfälligkeit zur Folge haben.

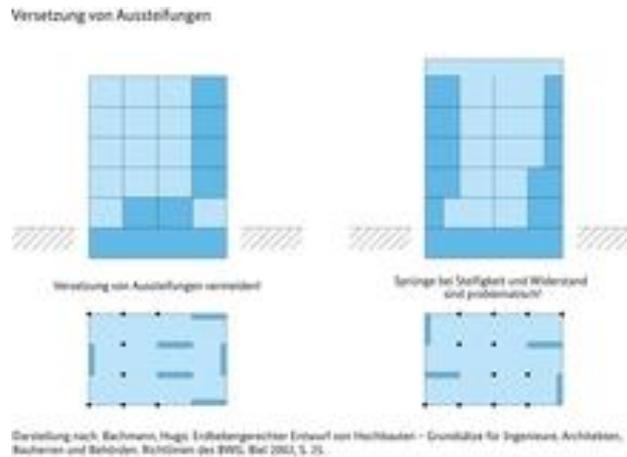
Ein hohes Maß an seismischer Sicherheit garantiert die ausgewogene Kombination der drei Parameter Duktilität, Steifigkeit und Festigkeit (Festigkeit: Ist ein Maß für die Belastbarkeit eines Werkstoffes, also die Last die ohne Zerstörung aufgebracht werden kann) eines Bauwerks. Ausreichende Duktilität sorgt dafür, dass es im Falle von örtlicher Überbeanspruchung nicht zum Globalversagen kommt, sondern die Lage durch Umlagerung entschärft wird; Ausreichende Steifigkeit gegen Horizontalverschiebungen ist nicht nur für die Standfestigkeit selbst wichtig, sondern auch um Inventarschäden und Nutzungsausfall zu vermeiden. Schließlich darf die Festigkeit der Tragglieder selbst nach mehreren starken Lastwechseln nicht so stark abnehmen, dass ein Versagen und ein somit resultierender Einsturz drohen.

## 2.1 Die Bodenbeschaffenheit beachten

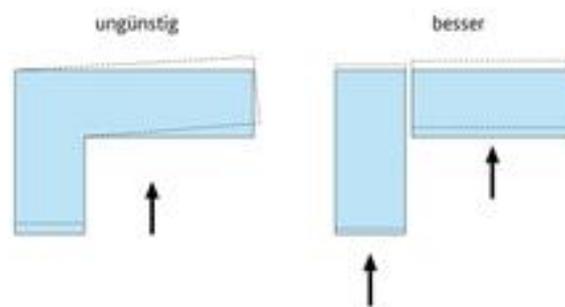
Die Konstruktion des Hauses hängt stark von Bodenbeschaffenheit ab und muss perfekt auf diese abgestimmt werden. Dabei gilt: "Nachgiebige" Hauskonstruktionen sollten auf harten Felsböden zum Einsatz kommen, während umgekehrt auf weicheren Böden steife Bauten die höhere Widerstandskraft gegen Erdbeben aufweisen. Der Grund dafür liegt in der Übertragung der Erdstöße auf die Gebäudekonstruktion: Die Häuser schwingen in einem bestimmten, konstruktionsbedingten Rhythmus und das kann zur Katastrophe führen: Erfolgen nämlich die Erdstöße in dem selben Rhythmus in dem das Haus schwingt, kommt es zu einer Resonanzverstärkung - die Belastungen für die Konstruktion steigen stark an und das Gebäude stürzt ein.

## 2.2 Durchgängig hält besser

Weiche, also nicht ausreichend durch Wände ausgesteifte Unter- und Obergeschosse sind beim Bau zu vermeiden. Ebenso dürfen sich beide Gebäudeteile hinsichtlich ihrer Steifigkeit nicht grundlegend unterscheiden. Andernfalls verhielten sie sich im Erdbebenfall unterschiedlich – eine weitere Belastung droht. Idealerweise sollten die Aussteifungselemente zudem über mehrere Geschosse fortlaufen: Aussteifungen, die in den jeweiligen Gebäudegeschossen unterschiedlich angeordnet sind, begünstigen den Zusammenbruch des Bauwerks



### Grundriss-Teilung für Kompaktheit



Kompakte Grundrisse anstreben!

Darstellung nach: Bachmann, Hugo. Erdbebensicherer Entwurf von Hochbauten – Grundsätze für Ingenieure, Architekten, Bauherren und Behörden. Richtlinien des BWS, Biel 2002, S. 52.

Essenzielle Bedeutung kommt bei der Erdbebensicherheit auch den Decken von Gebäuden zu: Sie leiten die durch Erdbeben hervorgerufenen horizontalen Kräfte auf die aussteifenden Wände und/oder den Stahlbetonkern ab. Ihre Auflast ist maßgeblich für die Tragfähigkeit von Wandscheiben. Monolithische Deckenscheiben aus Stahlbeton, die praktisch aus einem Guss sind, erfüllen diese Anforderung mit Abstand am besten. Einer sich von Raum zu Raum verändernden Deckenhöhe ist durch eine Trennung der entsprechenden Gebäudeteile entgegenzuwirken.

Erdbebenschutz erstreckt sich natürlich auch auf das Fundament. Wichtig ist hier, die Gründung komplett in die gleiche Tiefe zu verlagern. Ein unterschiedlich tiefes Fundament ist in diesem Fall hinderlich.

Eine zusätzliche Aussteifung benötigen Dächer und Mauerwerkswände: Sie sind bei einem Erdbeben besonders betroffen, und vor allem Dächer stellen eine sehr große Gefahr dar. Besonders anfällige Dächer und Giebelwände in nicht gemauerten Gebäuden, also Bauwerke mit Stahlbetonwänden o.ä., können haltbar und kostengünstig durch über die Sparren diagonal gespannte Windrispen und durch Einzug von Querwänden versteift werden. Gemauerte Häuser sollten mit Stahlbetonwänden ausgesteift werden, da dieser deutlich robuster als Backstein ist.

Bei der unter anderem auf den Philippinen üblichen Skelettbauweise wird sehr häufig Backstein und Mauerwerk für die Wände verwendet. Hier ist es von Vorteil, auf horizontal kurze, dafür aber über die gesamte vertikale Länge des Gebäudes verlaufende Stahlbetonwände zurückzugreifen, da diese deutlich stabiler sind.

So sind Mauerwerkshäuser zwar keineswegs weich, dafür jedoch umso spröder. Und spröde Stoffe laufen Gefahr, durch Horizontallasten zu brechen.



### 2.3 Duktilität erhöhen

Allerdings bietet nicht nur die Aussteifung Schutz für Mauerwerksbauten. So erhöhen Lamellen die Duktilität (plastische Verformbarkeit) eines Gebäudes. Eine wichtige Eigenschaft die Bauwerke haben sollten um ein Erdbeben unbeschadet zu überstehen, ist die Fähigkeit „nachzugeben“. Das bedeutet, dass das Gebäude plastisch verformbar ist, und es dadurch weniger anfällig für die Lasten eines Erdbebens ist. Dieses hat dann grundsätzlich Verformungsschäden zu Folge, welche allerdings weniger schwerwiegend sind, als ein Bruch durch zu hohe Sprödigkeit.

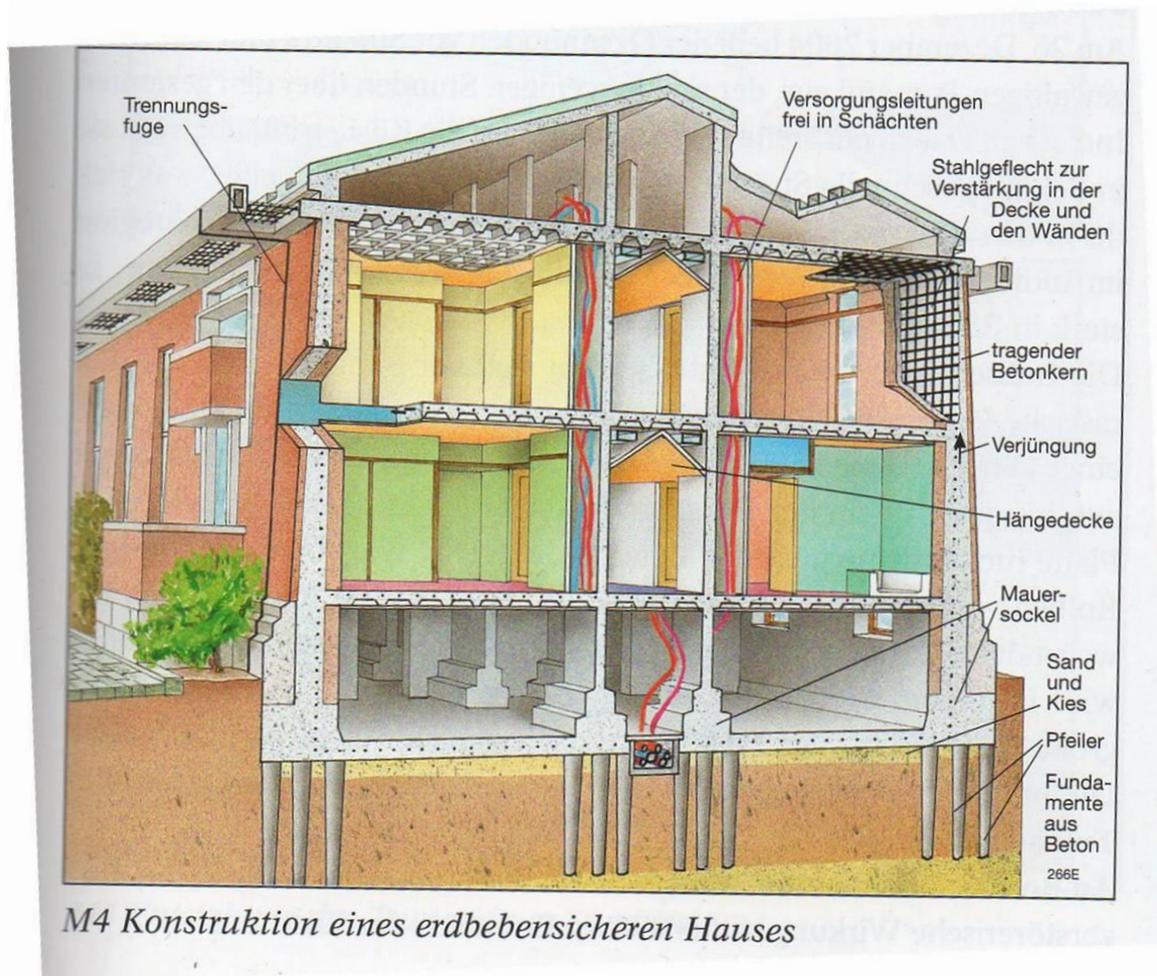


Ein Bauwerk ist dann besonders Erdbebensicher, wenn es sich durch eine Kombination aus Steifigkeit, Duktilität sowie Festigkeit des Tragwerks aufweist.

Desweiteren haben besonders leichte Bauten einen Vorteil: Die geringere Masse hat geringere Trägheitskräfte zur Folge. Genau deshalb gilt Holz als ein besonders erdbebenerprobter Stoff, welcher allerdings bei anderen Naturkatastrophen, vor allem bei Hochwasser, eher hinderlich ist.

### 3. Arten Häuser erdbebensicher zu machen

Die einfachste Art ein Bauwerk erdbebensicher zu machen ist, die aus einem Betonkern und einem Stahlgeflecht zur Verstärkung und Stützung bestehenden Wände verjüngend zu bauen. Das bedeutet, je höher die Wände, desto dünner sind sie gebaut. Dabei wird das Gebäude zudem auf mehreren Mauersockeln errichtet, welche wiederum auf sich im erdboden befindende Pfeiler gestellt sind, die sich in einem Fundament aus Beton befinden. Zwischen einzelnen Gebäuden muss beachtet werden, dass eine Trennungsfuge vorhanden ist, damit das schwingende Gebäude genug Raum zum schwingen hat. Für die Decken ist zu beachten, dass diese hängend sind und dass die Kabel frei in Schächten beweglich sind. Wäre das nicht der Fall, würden zu große Spannungen auf die Kabel wirken, sodass diese brechen, was wiederum zu einem Kurzschluss und Stromausfall führt.



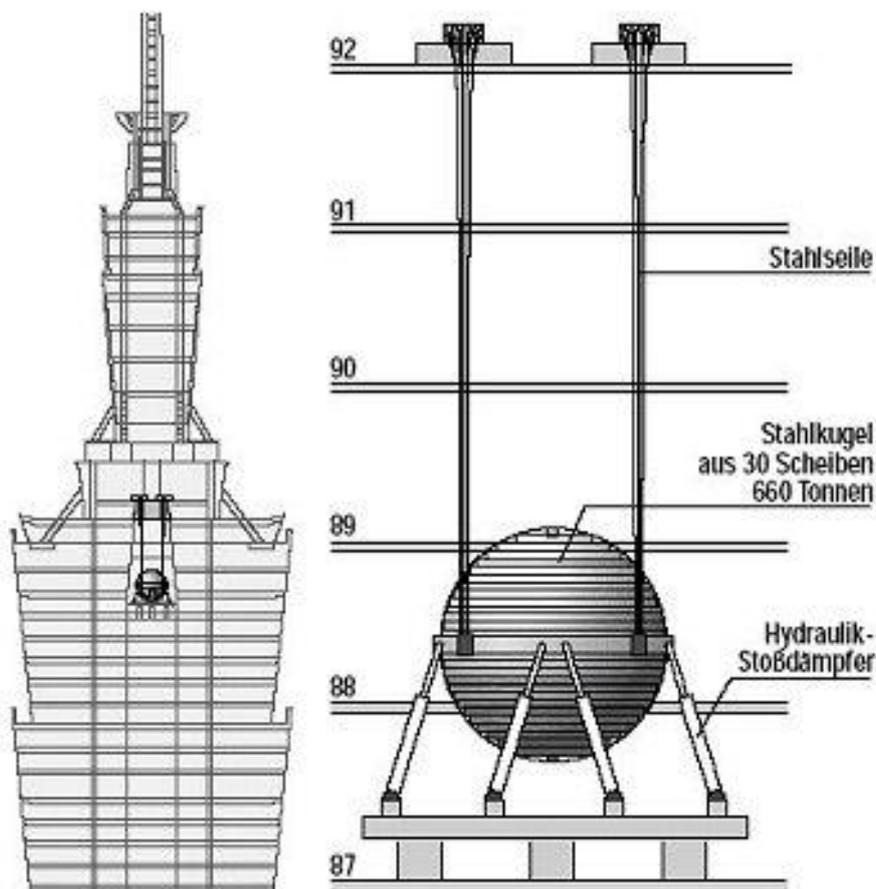
### 3.1 Erdbebensicher bauen durch Schwingungsdämpfer

Eine erfolgreiche Methode ein Gebäude, vor allem besonders hohe, erdbebensicher zu gestalten, ist der Schwingung des Bebens mit einem Dämpfer entgegen zu wirken, damit das Haus gar nicht erst zu schwingen beginnt bzw. nur leicht in Bewegung versetzt wird, damit es nicht einstürzt. Dafür gibt es verschiedene Möglichkeiten.

#### 3.1.1 Gegenschwingpendel

Das Gegenschwingpendel besteht aus einer großen Masse. Dafür wird meistens Stahl verwendet, da es eine hohe Dichte von  $7,9 \text{ g/cm}^3$  besitzt. Diese Masse wird in der Spitze des Gebäudes als Pendel aufgehängt oder auf bewegliche Räder platziert, welche durch horizontale Federn gestützt werden. Masse, Federn und zusätzlich hydraulische Dämpfer bilden ein System, das Schwingungen entgegengesetzt der Gebäudeschwingungen sowie entsprechende Kräfte ausübt. Damit werden die Gebäudeschwingungen reduziert oder fast ganz getilgt.

Eine Abwandlung dieses Systems ist das so genannte „Tilgerpendel“, welches unter anderem in dem höchsten Gebäude der Welt, dem „Taipei 101“, zum Einsatz kommt. Bei dem Tilgerpendel werden Wassertanks oder frei aufgehängte Pendel eingesetzt. Diese schwingen entgegengesetzte Richtung der Erdbebenschwingung und dämpfen somit das Gebäude.



### 3.1.2 Basisisolierung

Ein wirksamer Schutz gegen Erdbebenschäden ist die „seismische Isolierung“: Bei einem Starkbeben wird das Bauwerk mittels geeigneter Lagerkonstruktionen von dem sich bewegenden Baugrund entkoppelt. In diesem Fall bleibt das Bauwerk im Wesentlichen in Ruhe, beziehungsweise erfährt nur geringe Beschleunigungen, während der Boden sich erdbebenbedingt hin und her bewegt.



Für den Fall das eine solche Basisisolierung nicht möglich oder nicht vorhanden ist, also das Gebäude in einem festen Fundament verankert ist, und durch dieses ungehindert in Schwingung versetzt werden kann, lässt sich die Sicherheit durch andere Maßnahmen gewährleisten: Spezielle Mechanismen wandeln die vom Erdbeben aufgebrauchte Arbeit gezielt in andere Energieformen um, zum Beispiel durch Dämpferelemente, oder reduzieren die Gebäudeschwingung, indem sie die Energie über einen breiteren Frequenzbereich verteilen. Es wird zwischen aktiven Mechanismen, passiven Mechanismen und Hybridmechanismen unterschieden, wobei letztere nur die Elemente aktiver und passiver Mechanismen in sich vereinen.

### 3.1.3 Stahlfedern

Das Bild zeigt Dämpfer der Londoner Millennium Bridge – diese dienen hier vor allem dazu, Resonanzkatastrophen durch Windlasten oder Fahrzeuge zu verhindern.

Eine Alternative sind Gegenschwingmassen (auch Schwingungstilger genannt). Das sind massive Körper, die zu Schwingungen angeregt werden, wenn das Gebäude schwingt, und die deshalb bestimmte Schwingfrequenzen dämpfen können.



### 3.1.4 Blei-Gummi-Lager

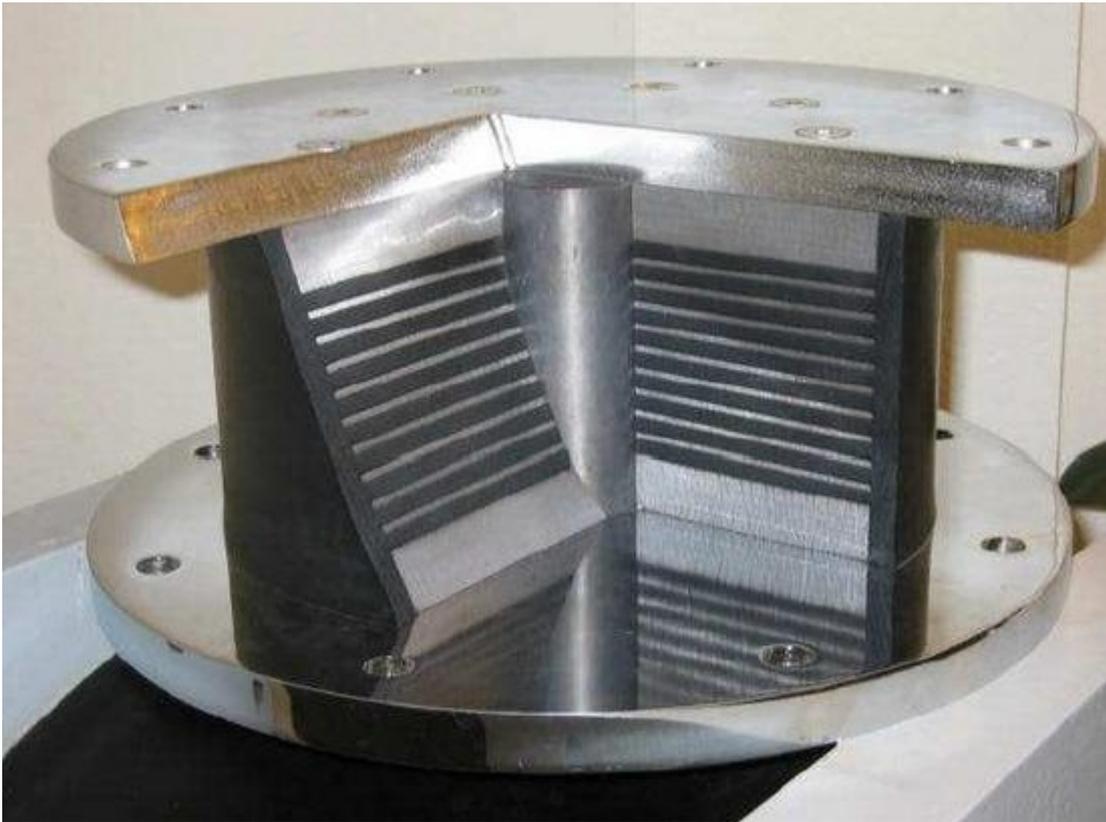
Gummi ist als Erdbebenisolator ein gut geeignetes Material, weil es gute Dämpfungseigenschaften besitzt und eine geringe Steifigkeit besitzt.

Ein Hochhaus direkt auf ein riesiges Gummikissen zu stellen, würde allerdings ein paar Probleme mit sich bringen:

Diese niedrige Steifigkeit haben zur Folge, dass das Gebäude nicht einfach nur auf einen Gummisockel gestellt werden kann. Deshalb wird Gummi mit Blei kombiniert, was ausschlaggebend für den Namen ist. Es wird Blei verwendet, weil es auch bei starker Last sehr ermüdungsbeständig ist und plastisch gut verformbar ist.

Statt eines dicken Gummiklotzes werden viele dünne Klötze verwendet, zwischen denen die Bleiplatten angeordnet sind. Damit das Haus fest steht und nicht bei jedem Windstoß anfängt sich zu bewegen, besitzen die Blei-Gummi-Lager einen Blei Kern, welcher der Konstruktion eine gewisse Grundsteifigkeit.

Die Abbildung veranschaulicht dieses Prinzip.



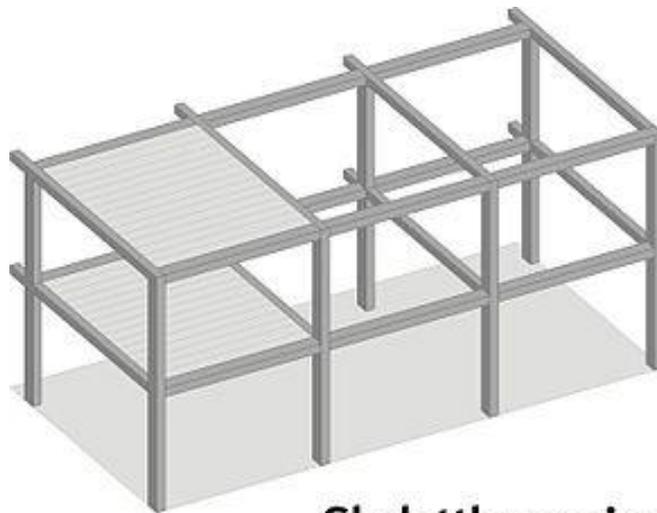
In der Mitte befindet sich der Blei Kern, außen die Lagen aus Gummi und Blei. Je dicker der Blei Kern, desto höher ist die Energieabsorption, allerdings wird dadurch die horizontale Steifigkeit des Gebäudes erhöht, was zu einer negativen Beeinflussung der Eigenfrequenz führt. Die Konstruktion wird von den an der Ober- und Unterseite befindlichen Stahlplatten gehalten. Auf der Oberseite wird das Haus befestigt, die Unterseite wird im Boden verankert.

### 3.1.5 Kugeldämpfer und hydraulische Systeme

Eine weitere Möglichkeit sind Kugeldämpfer und hydraulische Dämpfungssysteme. Die Kugeldämpfer setzen sich aus einer Pfanne und einer Kugel zusammen. Getragen wird das Gebäude von einer zwischen Fundament und Erdgeschoss eingespannten Stahlkugel getragen, und steht auf einer konkav geformten Pfanne. Im Falle eines Erdbebens rollt das Haus, die Pfanne „zwingt“ das Haus aber in die Ruhestellung zurückzurollen. Bei größeren Bauwerken werden Kugeldämpfer mit hydraulischen Systemen kombiniert. Dabei kommen mit Öl gefüllte Kammern zum Einsatz, die bei einem Beben die Kugeln bremsen und so die Kräfte durch Reibung absorbieren.

#### 4. Bauweise auf den Philippinen

Um ein Haus auf den Philippinen bauen zu dürfen, bedarf es dort zunächst einer Baugenehmigung. Vorteilhaft ist es, einen Ingenieur oder Baumeister, der für die Pläne verantwortlich ist zu Rate zu ziehen. Diese Person sollte auch die nötigen Kontakte zur Baubehörde haben, die die Pläne genehmigen muss. Die Kosten für den Baumeister sind nicht so hoch, für eine Kostenpauschale von 20.000 bis 30.000 PHP (Philippinische Pesos), also ca. 320 – 460 Euro. Es wird noch einen zweiten Plan fürs Elektrische - einen Elektroinstallationsplan benötigt, der ebenfalls genehmigt werden muss. Die Kosten für einen Hausbau sind bedeutend günstiger als in Europa. Man kann für 25.000 Euro schon ein nettes Haus bauen. Und für 60.000 bis 100.000 Euro kann man sich schon einen kleinen Palast errichten. Auf den Philippinen wird in der Skelettbauweise gebaut. In der Skelettbauweise wird erst ein tragendes Gerüst aufgebaut, welches das Gebäude hält. Danach werden die Wände eingebaut, dabei ist es egal wo welche Wand gesetzt wird, da die Wände keine tragenden Funktionen haben. Das bedeutet, die Wände können beliebig platziert und wieder rausgenommen werden ohne dass die Statik des Gebäudes gefährdet ist. Wenn allerdings das „Skelett“, also das Gerüst, beschädigt wird hat es Auswirkungen. Die Skelettbauweise ist sehr kostengünstig und nicht zeitaufwendig.



**Skelettbauweise**

Neben der Skelettbauweise liegen den verwendeten Ziegeln ein falsches Mischungsverhältnis zugrunde: Ziegel sollten aus einem Gemisch von 10 – 20% Ton, 15 – 25% Lehm und 55 – 70% Sand bestehen und unter Wassereinfluss vermengt werden. Bei der Verwendung von zu viel Wasser, wird das Gemisch zu flüssig und der Ziegel im Nachhinein Brüchig, dass selbe passiert bei der Verwendung von zu viel Sand. Um die Ziegel zu trocknen, benötigt es an Sonne, Trockenheit und Schatten. Da auf den Philippinen aber tropisches Klima herrscht, ist die Feuchtigkeit sehr hoch. Desweiteren werden die Ziegel auch nicht nach dem Trocknen auf Festigkeit überprüft, sondern sofort verbaut. Die Form der Ziegel ist auch von Bedeutung, vor allem in Bezug auf die Stabilität: Ein Ziegel sollte viermal so lang wie hoch sein. Darauf wird auch nicht geachtet. Außerdem fehlt es den Häusern aufgrund des fehlenden Fundamentes an einer Grundfestigkeit.

Die Festigkeit der Gebäude wird auch durch für die Wände zu große Türen und Fenster gesenkt. Außerdem sind die Wände in Relation zu der Anzahl der Etagen meistens zu dünn, wodurch das Haus instabil wird. Zusätzlich sollten zum Schutz vor Unterspülung bei Starkniederschlägen Kanäle um das Haus gegraben werden, um das Wasser abzuleiten und aufzufangen. Die Ziegel- und Lehmhäuser auf den Philippinen, werden im Normalfall im Eigenbau gemauert, jedoch sind sie nicht besonders erdbebensicher und gefährden somit viele Menschenleben.

Damit die Mauersteine bei Erschütterungen standhalten und die Sicherheit für die Menschen gewährleistet ist, werden Bambus-Korsette als preisgünstige und haltbare Lösung für Gebäude empfohlen: Draht, der durch Löcher zwischen den Steinen verlegt wird, wird an der Außenwand mit einem Geflecht aus Bambusstäben verbunden. Die elastischen Streben nehmen den Großteil der Energie eines Bebens auf. Sollte Bambus nicht erwerbbar sein, ist es möglich Materialien wie Hanf, Jute, Draht oder Flachs für das Stützkorsett zu verwenden. Diese Methode ist jedoch nur bei kleineren Häusern anwendbar.

## 5. Alternative für die Philippinen

Die Philippinen sind ein Entwicklungsland (Stand 2013). Daher ist von kostspieligen Methoden abzusehen. Die einzig realistische Möglichkeit in Bezug auf Kosten, Ressourcen und Umsetzbarkeit ist Bambus.

### 5.1 Bambus

Aufbau und Eigenschaften von Bambus entsprechen dem eines hochmodernen Hightech-Werkstoffes. Er weist einige herausragende Eigenschaften auf: Durch seine dichte Zellstruktur verfügt Bambus über eine sehr hohe Oberflächenhärte. Weitere Vorzüge sind neben dem geringen Gewicht die hohe Belastbarkeit auf Druck, Zug und Biegung sowie die leichte Verarbeitungsfähigkeit. Diese Qualitäten resultieren direkt aus dem Wuchs der Pflanze: Die härtesten Schichten der Bambusstäbe liegen außen. Harthölzer dagegen sind innen hart und außen weich. Durch seine charakteristischen Knoten, auch Nodien genannt, wird der Bambus in einzelne Abschnitte unterteilt. Die Rohre erhalten dadurch eine zusätzliche Aussteifung. Der hohe Silikatgehalt der äußeren Schichten des Bambus sorgt zudem für eine schwere Entflammbarkeit, wodurch der Bambus relativ Feuerbeständig ist. Das Bauen mit Bambus ist aber keineswegs veraltet. Durch die genannten Eigenschaften wird Bambus auch in Zukunft häufig verwendet, vor allem in ärmeren Gebieten, da er sehr günstig, dafür aber extrem beständig ist, mit dem auch erdbebensicher bauen kann.

#### 5.1.1 Zeitlicher Nutzen von Bambus

Das Knotenpunkt-Verbindungssystem ist eine Systemlösung mit hohem Vorfertigungsgrad, das bedeutet die einzelnen Knotenpunkte und Bauträger einer Bambuskonstruktion werden im Werk vorgefertigt und auf der Baustelle innerhalb kurzer Zeit zusammengebaut. So steht der Rohbau eines Einfamilienhauses binnen zwei bis drei Tage. Die zeitliche Effizienz des Knotenpunkt-Verbindungssystems bezieht sich auch auf die Planung und die Kalkulation: Sämtliche Bauelemente sind in einer zentralen Computerbibliothek gespeichert, die jederzeit abrufbar ist. Je nach Kundenauftrag wird die gewünschte Konstruktion mit den vorgefertigten Elementen aus der Computerbibliothek zusammengestellt und statisch berechnet.

Ist die Konstruktion vom Kunden genehmigt und sind alle Tests bestanden, werden ein Bauplan und eine Materialliste mit allen notwendigen Bauelementen ausgedruckt und an die Produktion weitergeleitet. Dieser Herstellungsprozess garantiert dem Kunden sehr kurze Aufstellzeiten bei hoher Bauqualität zu günstigen Konditionen.

### 5.1.2 Ökonomischer Nutzen

Bambus ist in den Tropen weit verbreitet und preislich das günstigste Baumaterial überhaupt. Das Ressourcenproblem gibt es bei Bambus nicht, da das weltweite Vorkommen schier unerschöpflich ist, und Bambus sehr schnell wächst, ungefähr 30 – 50 cm am Tag. Die Energiekosten für Erzeugung, Verarbeitung und Transport, bezogen auf die Festigkeit des Materials, liegen deutlich unter denen von Stahl und Beton. Durch die Möglichkeit der Vorfertigung des Verbindungssystems und der jeweiligen Aufbereitung der benötigten Menge, sind die Kosten gegenüber Materialien wie Stahl und Beton bis zu 60% geringer, ebenso bei den Errichtungskosten: Durch das geringe Gewicht, kann auf den Einsatz eines Kranes verzichtet werden.

### 5.1.3 Ökologischer Nutzen

Der ökologische Nutzen von Bambus ist gewaltig. Bambus stellt eine sehr gute Alternative zu den sehr gefährdeten Harthölzern, auch Tropenhölzer genannt, dar. In 35 Jahren bringt eine einzige Bambuspflanze bis zu 15 Kilometer verwertbare Stämme hervor. Eine sanfte Forstwirtschaft sichert die Verfügbarkeit des Rohstoffes und vermeidet den im Bereich der Tropenholzgewinnung üblicherweise praktizierten Kahlschlag. Bambus ist weiter ein idealer Luftreiniger und spielt eine wichtige Rolle in einem gesunden Ökosystem: So produziert ein Bambushain 35% mehr Sauerstoff als ein vergleichbares Baumäquivalent und bindet auch mehr CO<sup>2</sup> als eine gleich große Waldfläche. So wird in Asien auf den Flächen ausgelaugter Reisfelder Bambus gepflanzt, mit dem Ergebnis, dass nach 10 Jahren die Bodenqualität wieder hergestellt ist.

Desweiteren ist Bambus dank seiner weit verzweigten Wurzelsysteme und seines enormen unterirdischen Wachstums ein sehr guter Schutz gegen Bodenerosion. Bambus zu verwenden ist also ökologisch gesehen sehr sinnvoll, da dadurch die nur sehr langsam wachsenden Tropenhölzer geschützt werden.

### 5.1.4 Gesellschaftlicher Nutzen

Da Bambus vielfach vorhanden ist und sehr schnell wächst, ist er preislich besonders günstig und dadurch auch für ärmere Menschen zugänglich. Außerdem schafft die Bambusindustrie Arbeitsplätze, beispielsweise in den Verbindungssystemfabriken, auf den Plantagen und auf den Baustellen, was vielen Menschen eine Perspektive schafft.

## Quellen

- <http://www.youtube.com/watch?v=F126RJWKLfw#t=12>
- <http://www.akbw.de/archiv/home/serviceangebot-der-akbw/bauplanung-technik-und-baubetrieb/aenderungen-beim-erdbebensicheren-bauen.html>
- <http://www.bafu.admin.ch/erdbeben/07641/index.html?lang=de>
- [http://www.finanzberatung-rehberger.de/news/Beema-Bambus\\_-\\_gruener\\_Energierohstoff\\_der\\_Zukunft](http://www.finanzberatung-rehberger.de/news/Beema-Bambus_-_gruener_Energierohstoff_der_Zukunft)
- <http://www.baupraxis-blog.de/erdbebensicheres-bauen/>
- [http://www.focus.de/immobilien/bauen/brennpunkt-erdbebensicheres-bauen\\_aid\\_473521.html](http://www.focus.de/immobilien/bauen/brennpunkt-erdbebensicheres-bauen_aid_473521.html)
- [http://www.bbk.bund.de/SubSites/Bauprotect/DE/Naturrisiken/Erdbeben/erdbeben\\_no\\_de.html](http://www.bbk.bund.de/SubSites/Bauprotect/DE/Naturrisiken/Erdbeben/erdbeben_no_de.html)
- <http://www.nationalgeographic.de/aktuelles/meldungen/die-neue-idee-erdbebensichere-bauen>
- <http://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/erdbebensicheres-bauen-bambusstoecke-haetten-tausende-retten-koennen-a-671862.html>
- <http://www.mps-kiel.de/bildung/erdbeben/index.html>
- <http://www.baumarkt.de/nxs/389///baumarkt/schablone1/Erdbebensicherheit-was-muss-man-beim-Hausbau-beachten>
- [http://www.baunetzwissen.de/standardartikel/Beton-Einfuehrung\\_151088.html](http://www.baunetzwissen.de/standardartikel/Beton-Einfuehrung_151088.html)
- [http://www2.klett.de/sixcms/list.php?page=Infothek\\_artikel&extra=TERRA-Online%20/%20Gymnasium%20/%20neu&artikel\\_id=160629&inhalt=klett71prod\\_1.c.1680814.de](http://www2.klett.de/sixcms/list.php?page=Infothek_artikel&extra=TERRA-Online%20/%20Gymnasium%20/%20neu&artikel_id=160629&inhalt=klett71prod_1.c.1680814.de)
- <http://www.philippinen-tipps.com/auswandern/hausbauen.php>
- <http://www.philippines4ever.de/hausbau-philippinen-1.shtml>
- <http://nicabambu.com/was-wir-wollen/fakten/?type=98>
- <http://www.planet-schule.de/wissenspool/japan-erdbeben-tsunami-atomkatastrophe/inhalt/sendungen/japan-achtung-erdbeben.html>
- <http://bazonline.ch/wissen/technik/Standhafte-Hochhaeuser/story/27327140>
- <http://www.technik-welten.de/intro/ingenieur-welt/berufsbilder/bauingenieurwesen/bauingenieurwesen/erdbebensicheres-bauen.html>
- <http://bankenverband.de/service/waehrungsrechner>
- [http://www.nzz.ch/aktuell/feuilleton/kunst\\_architektur/warum-hochhaeuser-nur-schwanken-1.10006895](http://www.nzz.ch/aktuell/feuilleton/kunst_architektur/warum-hochhaeuser-nur-schwanken-1.10006895)
- <http://www.weltderphysik.de/gebiet/technik/konstruktion/erdbebensicheres-bauen/>
- <http://scienceblogs.de/hier-wohnen-drachen/2011/03/24/wie-schutzt-man-gebäude-vor-erdbeben/>
- Silka\_Kalkstein\_-\_Erdbebensicheres\_Bauen.pdf
- Erdbebensicheres Bauen- Badenwürttemberg. Pdf
- Wie man ein Haus in den Philippinen baut.pdf
- Erdbebensicher Bauen mit Ziegelmauerwerk.pdf
- Konstruktionshandbuch
- für erdbebensicheres Bauen mit Bambusfachwerk.pdf
- <http://www.geo.de/GEOlino/natur/wie-entstehen-erdbeben-62942.html>

- <http://schulmodell.eu/unterricht/118-unterrichtsfaecher/physik-unterricht/physikbereiche/tafelwerk-physik/503-dichte-fester-stoffe.html>
- Diercke Weltatlas, Ausgabe 1980/81
- Westermann „Diercke Geographie für Gymnasien in Hamburg 10“ Ausgabe 2008
- <http://www.bambus.de/bambus-informationen#1?sCoreId=vj204nojilt6vq6dd2auku21d4>
- <http://www.geo.de/GEO/reisen/reiseziele/taipei-101-der-hoechste-wolkenkratzer-der-welt-2781.html>
- [http://www.jochen-munz.de/wolkenkratzer/01\\_pendel-skizze.jpg](http://www.jochen-munz.de/wolkenkratzer/01_pendel-skizze.jpg)
- [http://www.google.de/imgres?sa=X&biw=1366&bih=673&tbn=isch&tbnid=RVVndQCu9TDWvM%3A&imgrefurl=http%3A%2F%2Fwww.zoo-arche-noah.de%2Findex.php%3Fsite%3Dstatic%26staticID%3D6&docid=Em5TOEwns4a\\_9M&imgurl=http%3A%2F%2Fwww.zoo-arche-noah.de%2Fimages%2Fprojekte%2Fbambushaus%2F18as.jpg&w=700&h=524&ei=xevbUqTAJlrFtAbuhYDgBA&zoom=1&iact=rc&dur=752&page=2&start=18&ndsp=25&ved=0CM8BEK0DMCQ](http://www.google.de/imgres?sa=X&biw=1366&bih=673&tbn=isch&tbnid=RVVndQCu9TDWvM%3A&imgrefurl=http%3A%2F%2Fwww.zoo-arche-noah.de%2Findex.php%3Fsite%3Dstatic%26staticID%3D6&docid=Em5TOEwns4a_9M&imgurl=http%3A%2F%2Fwww.zoo-arche-noah.de%2Fimages%2Fprojekte%2Fbambushaus%2F18as.jpg&w=700&h=524&ei=xevbUqTAJlrFtAbuhYDgBA&zoom=1&iact=rc&dur=752&page=2&start=18&ndsp=25&ved=0CM8BEK0DMCQ)
- [http://www.google.de/imgres?sa=X&biw=1366&bih=673&tbn=isch&tbnid=T8HRILDx0Gv\\_zM%3A&imgrefurl=http%3A%2F%2Fwww.payer.de%2Ftropenarchitektur%2Ftroparch035.htm&docid=y2auVDPe0EaHqM&imgurl=http%3A%2F%2Fwww.payer.de%2Ftropenarchitektur%2Ftrarch030111.jpg&w=861&h=520&ei=xevbUqTAJlrFtAbuhYDgBA&zoom=1&iact=rc&dur=616&page=1&start=0&ndsp=18&ved=0CGAQRQMwAQ](http://www.google.de/imgres?sa=X&biw=1366&bih=673&tbn=isch&tbnid=T8HRILDx0Gv_zM%3A&imgrefurl=http%3A%2F%2Fwww.payer.de%2Ftropenarchitektur%2Ftroparch035.htm&docid=y2auVDPe0EaHqM&imgurl=http%3A%2F%2Fwww.payer.de%2Ftropenarchitektur%2Ftrarch030111.jpg&w=861&h=520&ei=xevbUqTAJlrFtAbuhYDgBA&zoom=1&iact=rc&dur=616&page=1&start=0&ndsp=18&ved=0CGAQRQMwAQ)
- [http://www.google.de/imgres?sa=X&biw=1366&bih=673&tbn=isch&tbnid=S392BSII\\_lLgDM%3A&imgrefurl=http%3A%2F%2Fthinassite.npage.eu%2Fcamiling-my-ny-lot.html&docid=lifO8KfOFA3qFM&imgurl=http%3A%2F%2Ffile1.npage.de%2F000415%2F18%2Fbilder%2Fbambushaus1.jpg&w=567&h=425&ei=7WjqUonmC9DLswbK8IHdW&zoom=1&iact=rc&dur=796&page=2&start=18&ndsp=24&ved=0CJkBEK0DMBQ](http://www.google.de/imgres?sa=X&biw=1366&bih=673&tbn=isch&tbnid=S392BSII_lLgDM%3A&imgrefurl=http%3A%2F%2Fthinassite.npage.eu%2Fcamiling-my-ny-lot.html&docid=lifO8KfOFA3qFM&imgurl=http%3A%2F%2Ffile1.npage.de%2F000415%2F18%2Fbilder%2Fbambushaus1.jpg&w=567&h=425&ei=7WjqUonmC9DLswbK8IHdW&zoom=1&iact=rc&dur=796&page=2&start=18&ndsp=24&ved=0CJkBEK0DMBQ)