

H. J. Blaß
P. Fellmoser

Schadensanalyse von Bauwerken in Indonesien nach einem Erdbeben



H. J. Blaß, P. Fellmoser

**Schadensanalyse von Bauwerken
in Indonesien nach einem Erdbeben**

Titelbild: Erdbebenschäden an Bauwerken

Band 7 der Reihe
Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau

Herausgeber
Universität Karlsruhe (TH)
Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen
Univ.-Prof. Dr.-Ing. H. J. Blaß

Schadensanalyse von Bauwerken in Indonesien nach einem Erdbeben

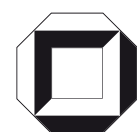
Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 02WT0424 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

von

H. J. Blaß

P. Fellmoser

Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen
Universität Karlsruhe (TH)



universitätsverlag karlsruhe

Impressum

Universitätsverlag Karlsruhe
c/o Universitätsbibliothek
Straße am Forum 2
D-76131 Karlsruhe
www.uvka.de



Dieses Werk ist unter folgender Creative Commons-Lizenz
lizenziert: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/de/>

Universitätsverlag Karlsruhe 2007
Print on Demand

ISSN: 1860-093X
ISBN: 978-3-86644-105-7

Vorwort

Im Mai 2006 wurde die Provinz Yogyakarta auf der indonesischen Insel Java von einem schweren Erdbeben erschüttert. Das Beben der Stärke 6,3 auf der Richterskala forderte über 6.000 Todesopfer und zerstörte mehr als 150.000 Gebäude und Einrichtungen.

Im Erdbebengebiet werden derzeit im Rahmen eines vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Verbundprojektes von der Universität Karlsruhe (TH) durch die Erschließung und Nutzung von unterirdischen Wasserressourcen Anstrengungen unternommen, die Wasserversorgung der Bevölkerung zu verbessern. Im Hinblick auf das laufende BMBF-Projekt und auf ein geplantes Folgeprojekt ist das Ziel dieses Ad-hoc-Projektes, aus den Erdbebenschäden Hinweise für verbesserte erdbebensichere Bauwerke zu erlangen.

Dieser Bericht wurde im Rahmen des Teilprojektes „Schadensanalyse von Bauwerken in Indonesien nach einem Erdbeben“ an der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Abteilung Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen der Universität Karlsruhe (TH) erstellt. Das Teilprojekt ist Bestandteil des Projektes „Wasserwirtschaft in einem realen Katastrophengebiet – Ad-hoc-Projekt im Nachgang zum Erdbeben in der Provinz Yogyakarta am 27. Mai 2006“, welches federführend vom Institut für Wasser und Gewässerentwicklung, Bereich Wasserwirtschaft und Kulturtechnik der Universität Karlsruhe (TH) durchgeführt wurde.

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 02WT0424 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Karlsruhe, Dezember 2006

Die Verfasser

*“The houses fell down because we simply don’t have
the financial resources to build decent houses.
We never expected an earthquake in our lifetime.”*

A resident in Bantul

Inhalt

| | | |
|----|---|----|
| 1 | Ziel des Ad-hoc-Projektes | 1 |
| 2 | Das Erdbeben in Yogyakarta am 27. Mai 2006 | 3 |
| | 2.1 Geologische Aspekte | 3 |
| | 2.2 Seismologische Aspekte | 4 |
| | 2.3 Erdbeben-Theorie | 7 |
| 3 | Bauten in Erdbebengebieten | 10 |
| | 3.1 Baunormen für erdbebensicheres Bauen | 10 |
| | 3.2 Bauwerke und Untergrund | 13 |
| | 3.3 Holzkonstruktionen bei Erdbebenbeanspruchung | 14 |
| | 3.3.1 Entwurf und Konstruktion | 14 |
| | 3.3.2 Verbindungen und Anschlüsse | 15 |
| 4 | Schadensaufnahme | 17 |
| | 4.1 Einteilung von Gebäudetypen | 17 |
| | 4.2 Schadensanalyse von ingenieurmäßig errichteten Bauwerken | 22 |
| | 4.3 Schadensanalyse von nicht-ingenieurmäßig errichteten Bauwerken | 25 |
| | 4.3.1 Bauweisen | 27 |
| | 4.3.2 Bauwerksgeometrie | 28 |
| | 4.3.3 Aussteifung | 31 |
| | 4.3.4 Anschlüsse | 33 |
| | 4.3.5 Baumaterialien | 35 |
| | 4.3.6 Zusammenfassung der schadensbegünstigenden Faktoren | 38 |
| 5 | Empfehlungen für erdbebensicheres Bauen von nicht-ingenieurmäßig errichteten Gebäuden | 39 |
| | 5.1.1 Bauweisen | 40 |
| | 5.1.2 Bauwerksgeometrie | 42 |
| | 5.1.3 Aussteifung | 44 |
| | 5.1.4 Anschlüsse | 45 |
| | 5.1.5 Baumaterialien | 48 |
| | 5.1.6 Ertüchtigung von erdbebengefährdeten oder beschädigten Gebäuden | 49 |
| 6 | Umsetzungs- und Schulungskonzept | 52 |
| 7 | Wiederaufbauprojekt einer zerstörten Schule | 54 |
| 8 | Musterhaus | 61 |
| 9 | Zusammenfassung und Ausblick | 63 |
| 10 | Literatur | 64 |
| 11 | Zitierte Normen | 66 |
| 12 | Anlagen | 67 |

1 Ziel des Ad-hoc-Projektes

Am 27. Mai 2006 erschütterte ein schweres Erdbeben die Provinz Yogyakarta auf der indonesischen Insel Java. Das Beben der Stärke 6,3 auf der Richterskala forderte über 6.000 Todesopfer und zerstörte mehr als 150.000 Gebäude und Einrichtungen. Nach Angaben der indonesischen Regierung verursachte das Erdbeben einen Schaden von ca. 2,4 Milliarden Euro (Consultative Group on Indonesia (2006)).

In der vom Erdbeben betroffenen Region werden derzeit im Rahmen eines BMBF-geförderten Verbundprojektes (Nestmann und Oberle (2002), Blaß und Fellmoser (2006)) durch die Erschließung und den Ausbau der Höhle Gua Bribin zur Nutzung von unterirdischen Wasserressourcen Anstrengungen unternommen, die Wasserversorgung der Bevölkerung zu verbessern.

In einem geplanten Folgeprojekt soll ein „Integriertes Wasserressourcen-Management (IWRM)“ (Nestmann und Oberle (2006)) für die Zielregion Gunung Kidul an der Südküste der indonesischen Insel Java eingerichtet werden. Dabei sollen alle Aspekte der Erkundung und Erschließung der Wasserressourcen über die bauliche Infrastruktur der Wasserverteilung bis hin zur Wasserqualitätssicherung und Abwasserentsorgung berücksichtigt werden. Die Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine der Universität Karlsruhe (TH) plant im Rahmen des IWRM-Projektes die Realisierung einer alternativen Konzeption zur Wasser- und Energiebewirtschaftung des Höhlensystems Gua Seropan als zentrale Wasserquelle des Wonosari-Plateaus. Als nachhaltige Variante zur Energiegewinnung und Wasserförderung ist eine Druckrohrleitung aus Holz als Bestandteil einer unterirdischen Kleinwasserkraftanlage in Gua Seropan geplant (Blaß und Fellmoser (2006)).

Die Zielregion des IWRM-Projektes entspricht weitestgehend der vom Erdbeben am stärksten betroffenen Region. Von Seiten der indonesischen Behörden wurde nach dem Erdbeben in der Provinz Yogyakarta der dringende Bedarf an erdbebensicheren Bauweisen und entsprechenden Konzepten, insbesondere für ländliche Regionen, geäußert. Durch das bestehende Netzwerk der Universität Karlsruhe (TH) und den indonesischen Institutionen wurde dieses Ad-hoc-Projekt initiiert. Durch die in dem Ad-hoc-Projekt durchgeführten Untersuchungen soll eine verbesserte Erdbebensicherheit der Baumaßnahmen im Rahmen des geplanten IWRM-Projektes erreicht werden. Die Ergebnisse der Untersuchungen sollen u.a. dazu führen, dass auch in einem Katastrophenfall die Wasserversorgung der Bevölkerung aufrechterhalten werden kann.

Im Rahmen des Ad-hoc-Projektes wurden zunächst die Gebäudeschäden im Katastrophengebiet untersucht. Hierzu wurde eine detaillierte Datenerhebung bezüglich der Schadensarten an Gebäuden bzw. Einrichtungen sowie Wasserbauwerken vorgenommen. Eine Klassifizierung von Gebäudetypen und Schadensarten ergab Auf-

schluss über die Widerstandsfähigkeit der Gebäude gegen dynamische Beanspruchungen. Neben der umfassenden Datenerhebung war auch die wissenschaftliche Begleitung des Wiederaufbaus der völlig zerstörten Schule im Dorf Glompong nordöstlich der Stadt Wonosari als Bestandteil des Ad-hoc-Projektes eingeplant.

Die Ergebnisse der Untersuchungen sollen Hinweise für vereinfachte Regeln für erdbebensichere Holz- und Mauerwerkskonstruktionen in Indonesien ergeben. Abschließend werden Empfehlungen zu verbesserten (erdbebensichereren) Bauweisen in ländlichen Regionen angegeben.

2 Das Erdbeben in Yogyakarta am 27. Mai 2006

2.1 Geologische Aspekte

Indonesien liegt am so genannten „Ring of Fire“, einem Gürtel mit zahlreichen Vulkanen am Pazifik, wo Erdbeben und Vulkanausbrüche besonders häufig vorkommen. Die Insel Java liegt am Rande einer geologisch aktiven Subduktionszone zwischen der Australischen Platte und der Eurasischen Platte. Die Provinzen Yogyakarta und Mitteljava waren von dem Erdbeben am 27. Mai 2006 am stärksten betroffen. Neben den Distrikten Gunung Kidul und Bantul (Provinz Yogyakarta) war vor allem im Distrikt Klaten (Provinz Mitteljava) das Ausmaß der Katastrophe am größten (Bild 2-1). Die beiden Provinzen Yogyakarta und Mitteljava zählen zu den am dichtesten besiedelten Regionen in Indonesien.

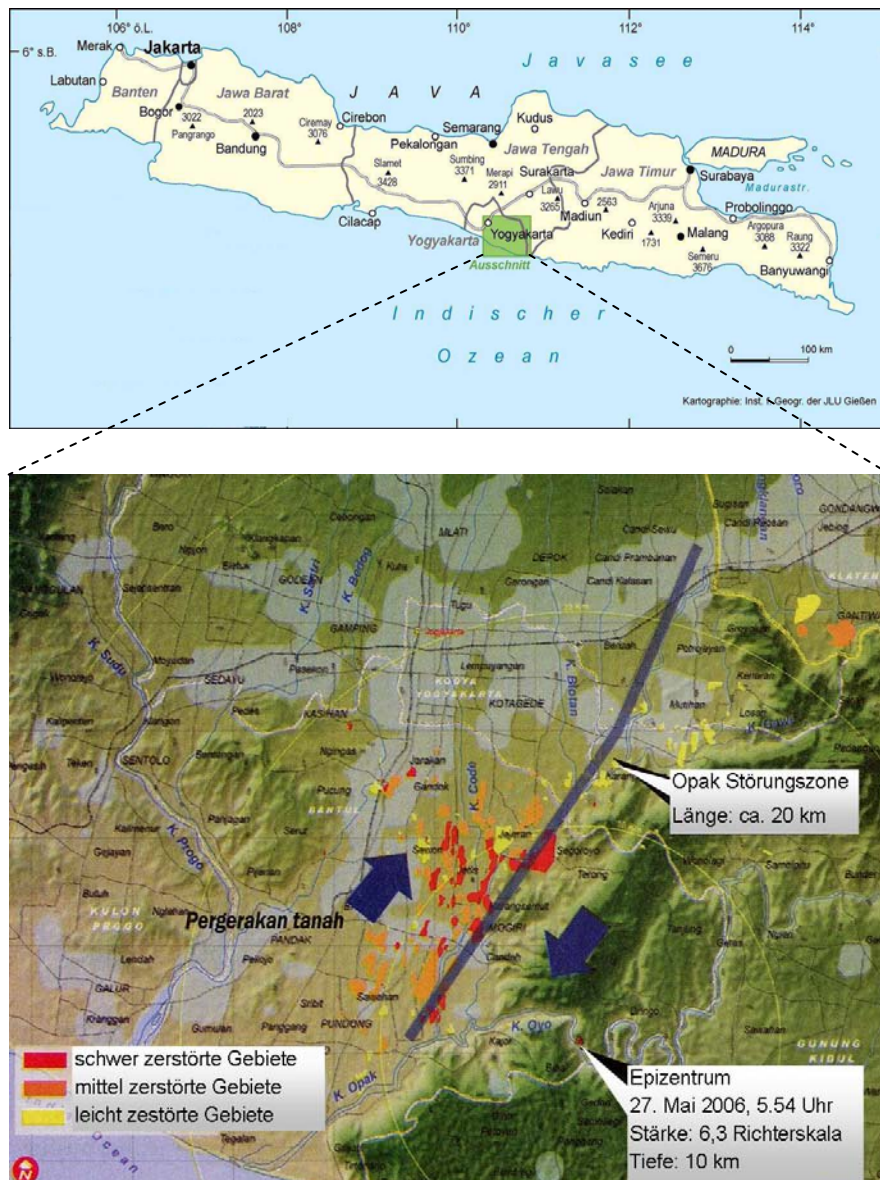


Bild 2-1 Katastrophengebiet in den Provinzen Yogyakarta und Mitteljava

Die Geologie im Erdbebengebiet wird durch Kalkformationen (Tertiär bis Quartär) bestimmt. Der Name der Karstlandschaft Gunung Sewu („Tausend Hügel“) ist auf die auffälligen, durch tropische Karsterosion entstandenen Kegelformationen zurückzuführen. Das gesamte Gebiet der Gunung Sewu ist von hunderten miteinander vernetzten Höhlen durchzogen, welche im Laufe der Jahrtausende durch Korrosion und Erosion des harten Riffkalkgesteins entstanden sind. Auf dem durch plattige Mergelkalke aufgebauten Wonosari-Plateau findet man ebenso typische Anzeichen eines verkarsteten Gebietes.

Die vom Erdbeben betroffenen Regionen sind teilweise zerstreut, einige Gebiete (Jettis, Imogiri, Sewon, Bantul, Klaten, Prambanan, Gantiwarno, Wedi) weisen besonders schwere Schäden auf. Das unterschiedliche Ausmaß der Schäden in den einzelnen Regionen ist neben der Qualität der Bauwerke auch auf geologische Aspekte zurückzuführen. Tatsächlich auftretende lokale Erschütterungen können von den regionalen Mittelwerten stark abweichen und kleinräumig große Unterschiede aufweisen.

Zwei Wochen vor dem Erdbeben am 27. Mai 2006 wurde die Gefahrenstufe im Hinblick auf einen Ausbruch des Vulkans Merapi nördlich von Yogyakarta von der indonesischen Regierung erhöht. Seit dem Erdbeben wurden mehrere kleinere Eruptionen beobachtet. Ein direkter Zusammenhang des Erdbebens mit dem erwarteten Ausbruch des Vulkans Merapi ist jedoch ungewiss.

2.2 Seismologische Aspekte

Erdbeben werden durch dynamische Prozesse in der Erde verursacht. Die Australische Platte schiebt sich nach Angaben von United States Geological Survey aufgrund der Plattentektonik bis zu 6 cm pro Jahr in nordöstlicher Richtung unter die Sunda-Platte (Teil der Eurasischen Platte). Aufgrund der Bewegungen der Platten werden insbesondere an den Plattengrenzen enorme Spannungen aufgebaut. Durch Erreichen der Scherfestigkeit des Gesteins können sich diese Spannungen schlagartig entladen. Bild 2-2 zeigt für Südostasien die wahrscheinliche maximale makroseismische Intensität von Erdbeben auf der EMS-Skala für ein Bemessungsbeben mit einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von 10 % in 50 Jahren (entspricht einer Wiederkehrperiode von 475 Jahren) bei normaler Beschaffenheit des Untergrundes. Die EMS-Skala gibt die „Stärken“ eines Erdbebens mit einer Einteilung von zwölf Graden an (Intensität 1: nicht fühlbar; Intensität 12: vollständige Verwüstung).

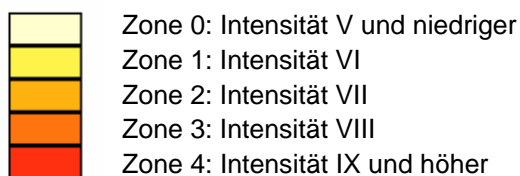


Bild 2-2 Erdbeben-Intensität nach EMS-Skala für Bemessungsbeben

(Munich Reinsurance Company, Geo Risks Research Department)

An Verwerfungen wie der Opak-Störungszone auf Java können sich die Gesteinsmassen relativ zueinander in jede beliebige räumliche Richtung bewegen. Diese Bewegungen erfolgen meist nicht entlang der gesamten Verwerfung, sondern nur in einem Teilbereich (Bruchfläche). Während dieser ruckartigen Bewegungen innerhalb der Bruchflächen entstehen Erdbebenwellen. Beim Erdbeben am 27. Mai 2006 in Yogyakarta wurde der Erdbebenherd südöstlich der Opak-Störungszone ($7,96^{\circ}\text{S}$ und $110,46^{\circ}\text{O}$) in ca. 10 km Tiefe bestimmt. Die Stärke des Erdbebens wurde mit einem Wert von 6,3 auf der Richterskala angegeben (Angaben von United State Geological Survey). In Bild 2-3 ist eine seismologische Aufzeichnung des Erdbebens in Yogyakarta vom 27. Mai 2006 dargestellt.

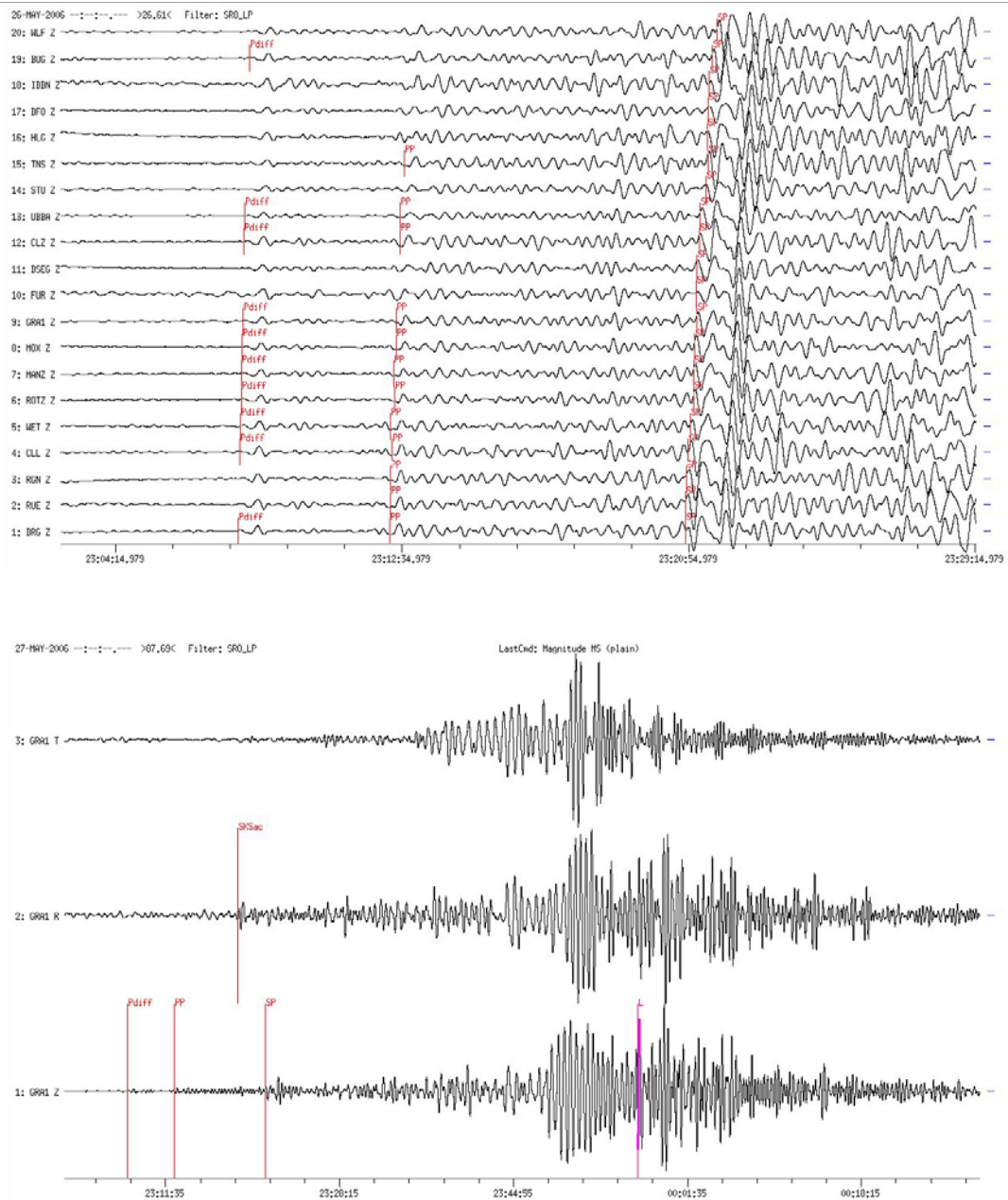


Bild 2-3 Aufzeichnung des Erdbebens in Yogyakarta vom 27. Mai 2006
(Seismologisches Zentralobservatorium Erlangen SZGRF) (Zeitangabe: MESZ)

Das Hauptbeben, welches weniger als eine Minute dauerte, war nach dem Tsunami in Aceh im Dezember 2004 und dem Erdbeben auf Sumatra im März 2005 die dritte größere Naturkatastrophe in Indonesien innerhalb von 18 Monaten. Mehr als 750 Nachbeben wurden seit dem Erdbeben am 27. Mai 2006 registriert, wobei Werte bis zu 5,7 auf der Richterskala gemessen wurden.

2.3 Erdbeben-Theorie

Bei einem Erdbeben werden ausgehend von einem Erdbebenherd im Erdinneren durch dynamische Prozesse radial seismische Wellen ausgelöst (Bild 2-4). Diese Raumwellen werden in P-Wellen (Primärwellen) und S-Wellen (Sekundärwellen) unterteilt, wobei sich die P-Wellen schneller ausbreiten. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit selbst ist abhängig vom Wellentyp und vom Material, welches von den Wellen durchlaufen wird.

P-Wellen schwingen parallel zur Ausbreitungsrichtung und sind daher Verdichtungs- wellen. S-Wellen hingegen schwingen quer zur Ausbreitungsrichtung und sind des- halb Scherwellen.

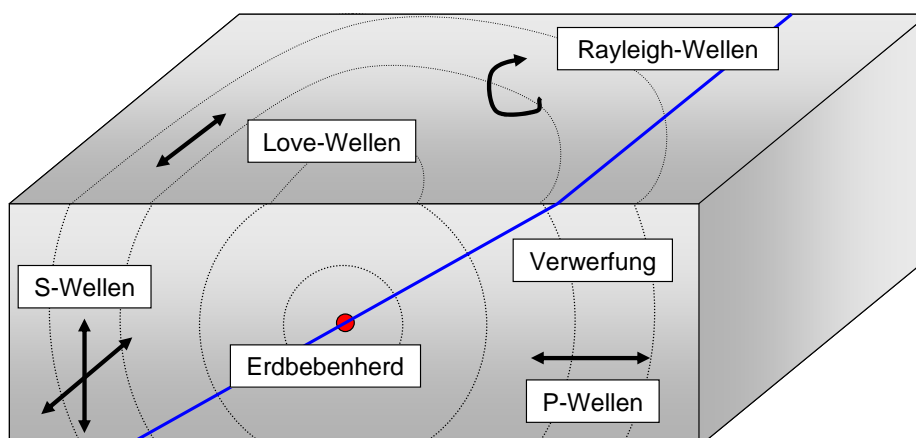


Bild 2-4 Ausbreitung von Erdbebenwellen

Die Raumwellen werden in die Oberfläche hinein gebrochen; somit entstehen die Oberflächenwellen. Diese Oberflächenwellen werden in Love- und Rayleigh-Wellen unterteilt. Bei den Love-Wellen erfolgt die Bodenbewegung in horizontaler Richtung (senkrecht zur Ausbreitungsrichtung); sie verursachen somit die größten Schäden. Die Rayleigh-Wellen entsprechen elliptischen Bodenbewegungen. Die meisten Erschütterungen werden von den Rayleigh-Wellen verursacht, da diese in der Regel die Wellen mit der maximalen Amplitude sind. In Bild 2-5 ist der zeitliche Verlauf von Erdbebenwellen dargestellt am Beispiel des Erdbebens auf der Insel Jan Mayen (Norwegen) am 15. Juni 1995 mit einer Stärke von 5,0 auf der Richterskala.

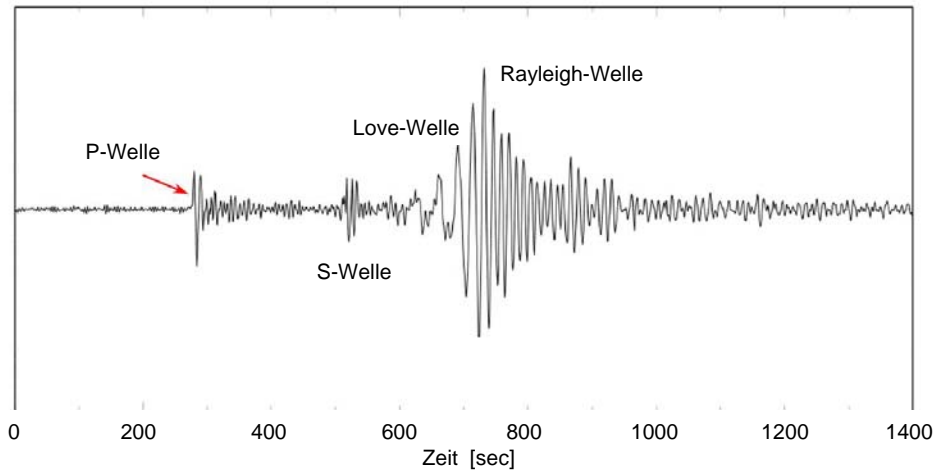


Bild 2-5 zeitlicher Verlauf von Erdbebenwellen

Bei Erdbeben stellen neben den vertikalen Beschleunigungen und Rissbildungen an der Erdoberfläche die horizontalen Beschleunigungen die größte Gefahr für Bauwerke dar. Dies wirkt sich besonders verheerend aus, wenn die dominierende Schwingungsfrequenz im Untergrund mit der Resonanzfrequenz von Bauwerken übereinstimmt.

Grundsätzlich führt die Anregung durch Erdbebenwellen zu zwei verschiedenen Reaktionen des oberflächennahen Untergrundes: Bodenbewegungen und Bodenveränderungen.

Als weitere geologische bedingte Folgen von starken Erdbeben können Bodenverflüssigungen, Hangrutschungen und Rissbildungen entstehen (Bild 2-6). Bei der Bodenverflüssigung sinkt die Kohäsion lockerer Sedimente unter Umständen plötzlich auf Null. In Extremfällen kann dies zum Einsturz von Bauwerken führen.

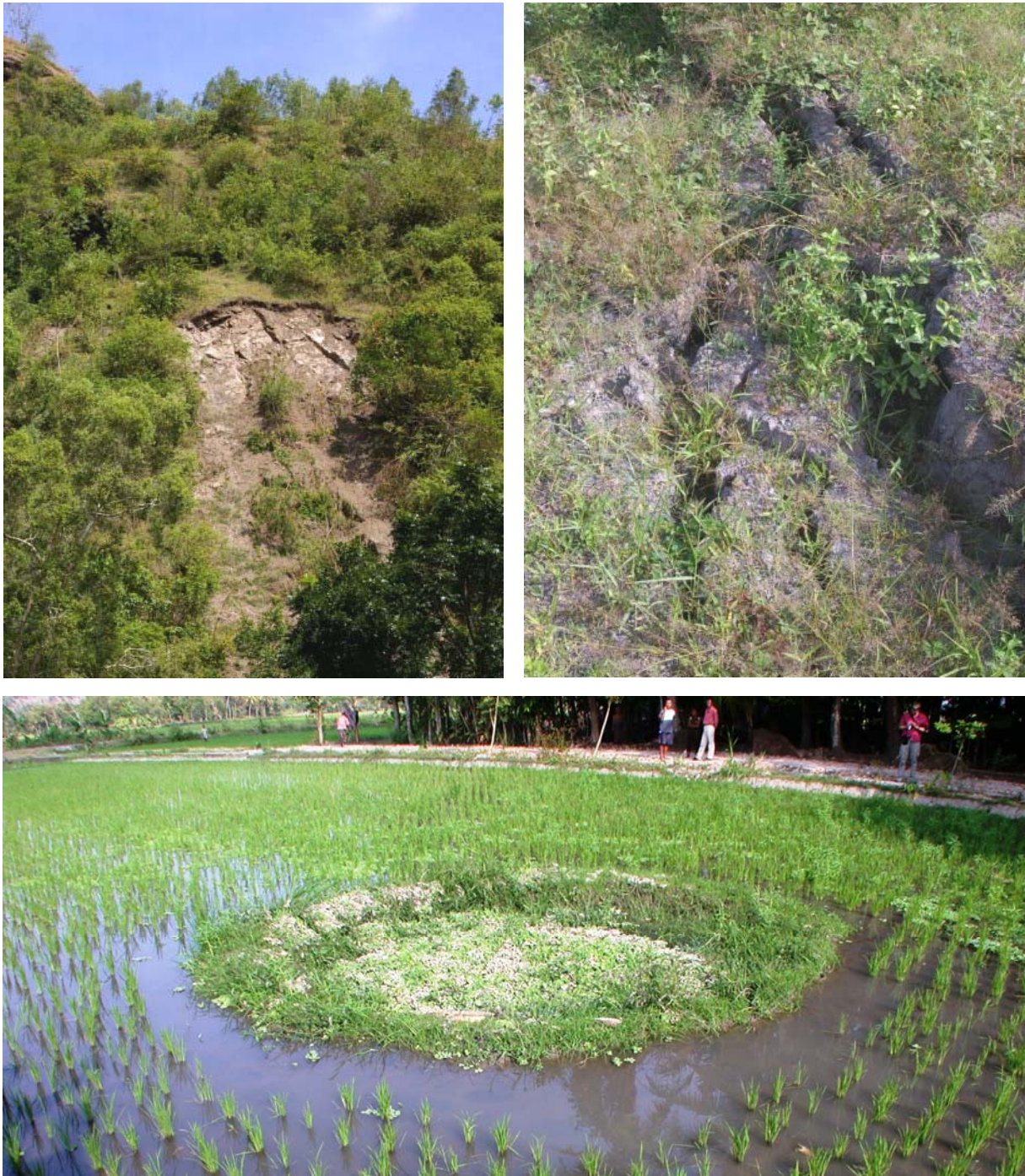


Bild 2-6 a) Hangrutschung, b) Rissbildung und c) Bodenverflüssigung infolge des Erdbebens in Yogyakarta am 27. Mai 2006

3 Bauten in Erdbebengebieten

3.1 Baunormen für erdbebensicheres Bauen

Eine Erdbebenbeanspruchung kann als horizontale Einwirkung angesehen werden, die im Gegensatz zu vertikalen Lasten, welche nur einen vergleichsweise kleinen Teil des Tragwerks beeinflussen, zu Beanspruchungen im ganzen Tragwerk führt. Obwohl dasselbe auch für die Windbeanspruchung gilt, sind oft die Erdbebenlasten, insbesondere bei schweren Konstruktionen, maßgebend (Ceccotti (1995)).

Bauten in Erdbebengebieten werden in der Regel auf dynamische Beanspruchungen bemessen und ausgebildet, so dass sie einem Bemessungserdbeben widerstehen können und auch nach dem Beben über eine ausreichende Resttragfähigkeit verfügen. Maßgebende Parameter für die Bemessung von Bauten in Erdbebengebieten sind:

- geologische Standortbedingungen;
- Gebäudehöhe;
- Bauwerksmasse;
- Entwurf / Aussteifungssystem;
- Baukonstruktion / Duktilität.

Normen für Bauten in Erdbebengebieten definieren Vorgaben, die ein Bauwerk erfüllen muss, um als „erdbebensicher“ zu gelten. Dabei werden Anforderungen bezüglich dem Schutz vor Einsturz der Bauwerke, der Begrenzung von Schäden an Bauwerken, der Erhaltung von Funktionen wichtiger Gebäuden wie z.B. Krankenhäuser und der Begrenzung von Folgeschäden gestellt.

In Deutschland ist hierzu die DIN 4149 (04/2005) maßgebend. Auf europäischer Ebene werden im Eurocode 8 (12/2004) bzw. in DIN EN 1998-1 (04/2006) Regeln für die Bemessung von Bauwerken gegen Erdbeben angegeben. In Indonesien wird für den Nachweis der Standsicherheit von Bauwerken gegen Erdbebeneinwirkung die Norm SNI 03-1726 (1989) angewendet.

Für die Erdbebenbemessung werden in den Normen so genannte Gefährdungszonen (Erdbebenzonen) angegeben, welche die Auftretenswahrscheinlichkeit von Erdbeben in bestimmten Regionen widerspiegeln sollen. Der Einfluss der örtlichen Baugrundbeschaffenheit auf die Erdbebeneinwirkung wird in den Untergrundklassen (Baugrundklassen) geregelt. Für die Erdbebenbemessung von Bauwerken werden je nach Baustoff verschiedenen Duktilitätsklassen definiert, um die erforderliche Dissipationsfähigkeit bestimmen zu können. Der Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit wird für das Bauwerk durch den Nachweis des Widerstands und der Duktilität für die jeweilige Bauwerksklasse erbracht. Dabei wird ein Bemessungsbeben mit einer bestimmten Wiederkehrperiode zugrunde gelegt. Der Nachweis im Grenzzustand

der Gebrauchstauglichkeit besteht aus dem Nachweis der Verformungen für die jeweilige Bauwerksklasse.

Generell lassen sich drei verschiedene Ansätze für die Erdbebenbemessung unterteilen:

- dynamische Berechnung mit idealisierten Wellen: hierzu sind Datenmodelle von Bauwerken und Computersimulationen nötig;
- Berechnung der Eigenschaften des Bauwerkes und Bestimmung des Antwortspektrums (erwartete Größenordnung der Erdbebenkräfte); dieses als Antwortspektrenverfahren bezeichnete Berechnungsverfahren ist die Referenzmethode des Eurocode 8 (12/2004);
- Bestimmung einer horizontal wirkenden Ersatzlast mit Hilfe von Daten über das Gebiet (historische Erdbeben, Untergrundbeschaffenheit) und der Steifigkeit des Bauwerkes; das Ersatzlastverfahren kann nur für regelmäßige Gebäude angewendet werden.

Das Antwortspektrenverfahren (AWS-Verfahren) ist die gebräuchlichste Bemessungsmethode für Bauwerke in Erdbebengebieten. Es basiert auf der Entwicklung der Bauwerksschwingung in Eigenformen und ist somit streng genommen nur für lineares Bauwerksverhalten gültig. Das Antwortspektrenverfahren kann aber auch näherungsweise nichtlineare Effekte wie z.B. Energiedissipation durch plastische Verformungen berücksichtigen.

Bei diesem Rechenverfahren wird ein Einmassenschwinger mit definierter Masse, Steifigkeit und Dämpfung (und somit definierter Eigenfrequenz) am Fußpunkt durch Bodenbewegungen zu Schwingungen angeregt (Bild 3-1). Der Maximalwert der Antwort (Beschleunigung, Geschwindigkeit, Verschiebung) wird über der Eigenfrequenz aufgetragen.

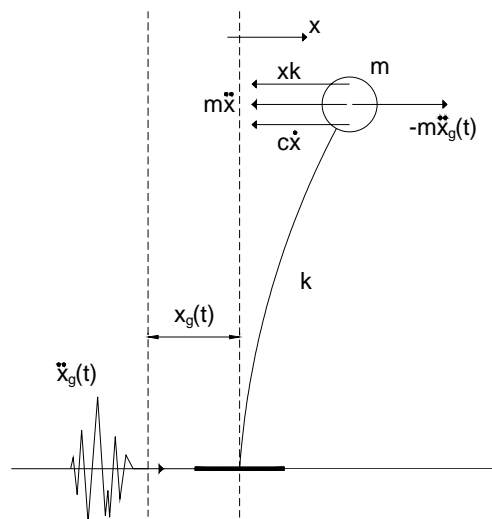


Bild 3-1 Einmassenschwinger zur Berechnung eines Antwortspektrums

In Bild 3-2 ist beispielhaft ein Beschleunigungszeitverlauf und das zugehörige berechnete Antwortspektrum des Einmassenschwingers dargestellt.

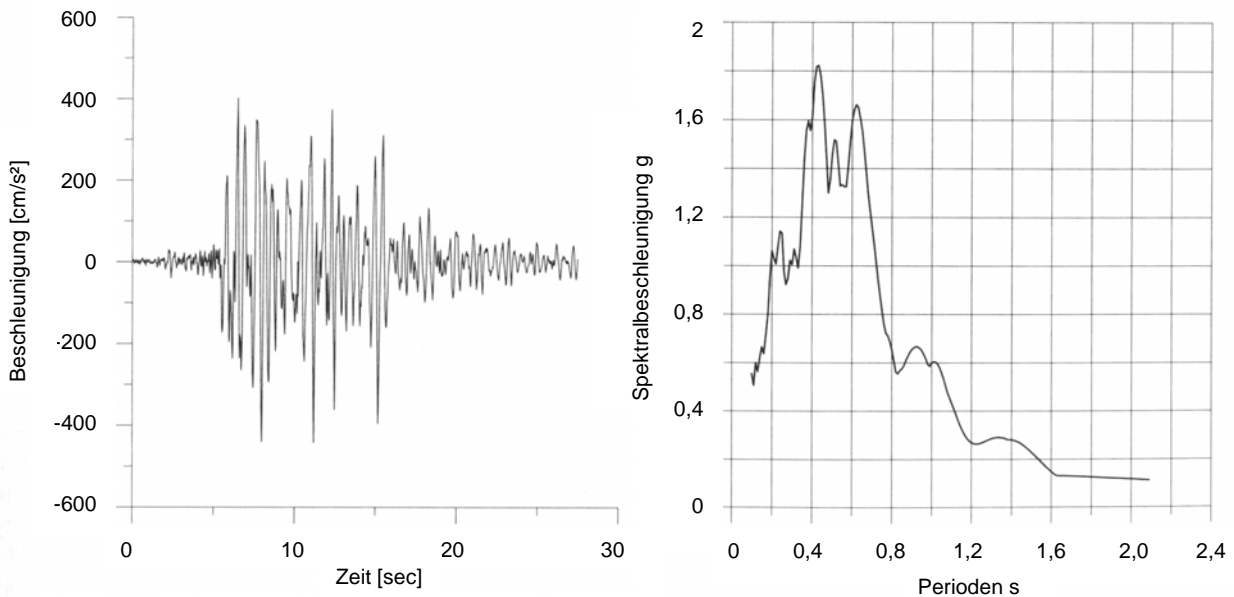


Bild 3-2 Beispiel für Beschleunigungszeitverlauf und zugehöriges Antwortspektrum

Diese Berechnung wird für elastische Einmassenschwinger verschiedener Eigenfrequenz und Dämpfung durchgeführt. Die Vorgehensweise kann beispielsweise Petersen (1996) oder Ramm (1997) entnommen werden. Die dadurch erhaltene Kurve wird als Antwortspektrum bezeichnet. Die gewonnenen Antwortspektren für verschiedene Erdbebenanregungen werden zusammengefasst und eine Einhüllende wird gebildet (Bild 3-3). Aus dem Antwortspektrum, wie es in verschiedenen Normen angegeben ist, können bei der Bemessung Ersatzträgheitskräfte für das Tragwerk ermittelt werden. Die Vorgehensweise zur Bestimmung der Ersatzträgheitskräfte ist in der Anlage (Bild A1) in einem Flussdiagramm zusammengefasst.

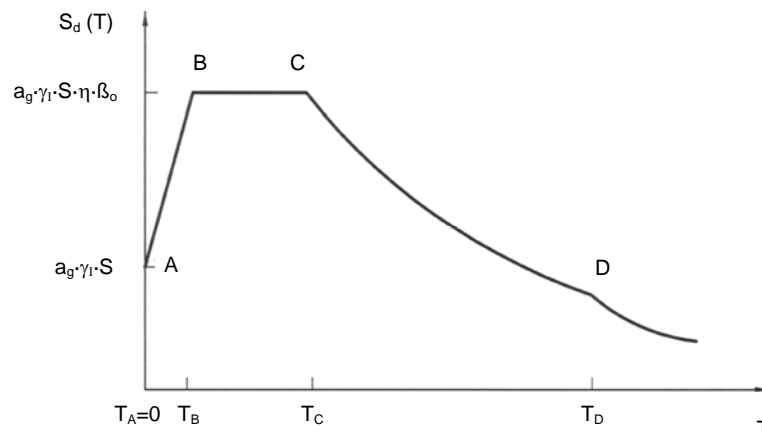


Bild 3-3 elastisches Antwortspektrum nach DIN 4149 (04/2005)

Für die Erdbebenbemessung werden in verschiedenen Normen Bedeutungskategorien und zugehörige Bedeutungsbeiwerte für Bauwerke angegeben. Entsprechend ihrer „Wichtigkeit“ werden Bauwerke in verschiedene Kategorien eingeteilt. In der höchsten Bedeutungskategorie sind beispielsweise Krankenhäuser, Feuerwehrhäuser etc. zu finden. Die Bedeutungsbeiwerte werden bei der Beschreibung der Erdbebeneinwirkung berücksichtigt.

Zur Beschreibung der Wirkung von Erdbeben kann die EMS-98 (1998) verwendet werden. Die Abschätzung von makroseismischen Intensitäten kann mit Hilfe der EMS-98 (1998) in zwölf Klassen eingeteilt werden: von nicht fühlbaren Wirkungen bis hin zur vollständigen Zerstörung nahezu aller Konstruktionen (vgl. Anhang Tabelle A1). Dabei werden Konstruktionen je nach Material und Bauweise in fünf unterschiedliche Gefährdungsklassen (A - F) und der Grad der Beschädigung ebenfalls in fünf unterschiedliche Klassen (1 - 5) eingeteilt.

3.2 Bauwerke und Untergrund

Wie stark die Schäden an einem Gebäude nach einem Erdbeben sind, hängt nicht nur von Material und Bauweise ab, sondern auch von der Beschaffenheit des Untergrundes (Studer und Koller (2006)). Die lokalen Bodenverhältnisse haben somit einen entscheidenden Einfluss auf Stärke und dominanten Frequenzgehalt der Erdbebenanregung. Wenn Erdbebenwellen die Eigenfrequenz des Bodens anregen, kann es zu verstärkten oder länger anhaltenden Bodenbewegungen kommen. Im ungünstigsten Fall kann diese Eigenfrequenz auch der Eigenfrequenz des Gebäudes entsprechen. Die Folge sind Bauwerksschäden, die bis zum Einsturz führen können.

Zur Verdeutlichung des Einflusses des lokalen Untergrundes ist in Bild 3-4 die Vertikalkomponente der Schwinggeschwindigkeit eines Bebens in Deutschland dargestellt (Meskouris und Hinzen (2003)). Das obere Seismogramm wurde an einer Station auf Festgesteinsuntergrund registriert, das untere Seismogramm stammt von einer Station auf Lockersedimenten. Beide Stationen waren ca. 28 km vom Epizentrum des Bebens entfernt. Deutlich ist sowohl die um den Faktor 3 größere Maximalamplitude als auch der längere zeitliche Verlauf der Bodenbewegungen bei Lockergestein zu erkennen.

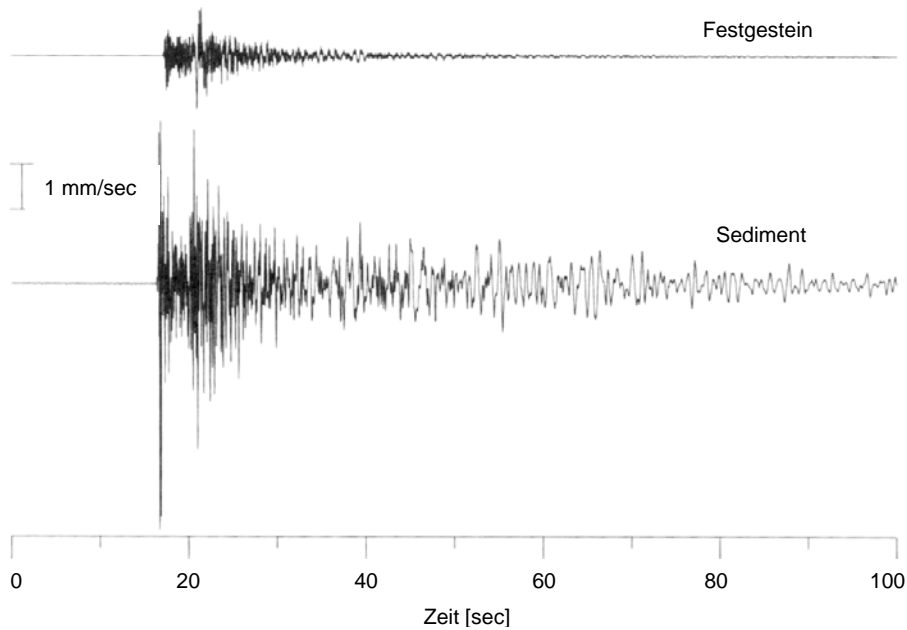


Bild 3-4 Einfluss des lokalen Untergrundes auf die Vertikalkomponente der Schwinggeschwindigkeit (Meskouris und Hinzen (2003))

In Normen für Erdbebenbemessung sind verschiedene Baugrundklassen definiert und zugehörige Parameterwerte des elastischen Antwortspektrums angegeben. Das elastische Antwortspektrum dient somit als Schnittstelle zwischen seismologischen Untersuchungen und Erdbebenbemessung.

3.3 Holzkonstruktionen bei Erdbebenbeanspruchung

3.3.1 Entwurf und Konstruktion

Bei der Erdbebenbemessung ist die Duktilität des Tragwerks von besonderer Bedeutung. Unter Duktilität eines Tragwerks versteht man dessen Fähigkeit, plastische Verformungen aufzunehmen. Die Duktilität eines Tragwerks ist überwiegend von Tragwerkstyp, Baumaterial und den verwendeten Verbindungsmitteln abhängig. Das Verhalten eines Bauwerks bei Erdbeben wird neben der Duktilität auch durch die Steifigkeit und den Tragwiderstand bestimmt. Die vom Boden übertragene Energie wird entweder als Verformungsenergie aufgenommen oder zum Beispiel durch Dämpfung abgebaut (Dissipation der Verformungsenergie). Je nach Bauwerkstyp können Tragfähigkeit, Steifigkeit und Duktilität von unterschiedlicher Bedeutung sein; dabei sind mehrere Faktoren wichtig. Ein hoher Tragwiderstand ist entscheidend für eine geringe plastische Verformung. Je größer die Horizontalsteifigkeit ist, desto geringer sind die Verschiebungen; die Kräfte im Bauwerk werden jedoch sehr groß. Je größer die Duktilität des Tragwerks ist, desto größer ist die Standsicherheit gegenüber dem Versagen bei Erdbeben. Der Duktilitätsbedarf wird dabei als die maximal erforderli-

che Verformung eines Tragwerks unter einer gegebenen dynamischen Erdbebenwirkung definiert. Vereinfacht kann dies wie folgt zusammengefasst werden:

Erdbebensicherheit = Tragwiderstand x Duktilität

Ceccotti (1995) gibt einen Überblick zu den wichtigsten Details einer erdbebengefährdeten Holzkonstruktion an. Im Allgemeinen bietet eine korrekt entworfene Holzkonstruktion gegenüber den Baustoffen Stahl oder Beton sehr gute Eigenschaften bei Erdbebeneinwirkung. Ein wichtiger Vorteil von Holzkonstruktionen bei Erdbebenbeanspruchung ist das geringe Eigengewicht der Konstruktion: die bezogen auf die Tragfähigkeit sehr niedrige Masse des Holzes verursacht auch nur entsprechend geringe Trägheitskräfte bei durch Erdbeben verursachten Beschleunigungen. Beobachtete Schäden sind meist auf die gleichen Ursachen zurückzuführen: Mangel an der Gesamtsteifigkeit der Konstruktion, ungenügende Verankerung in den Fundamenten oder zu schwere Dacheindeckung.

Grundsätzlich verhält sich der Werkstoff Holz bei Biege- und Zugbeanspruchung näherungsweise linear-elastisch und es tritt ein sprödes Versagen auf. Lediglich bei Druckbeanspruchungen sind nennenswerte plastische Verformungen zu erwarten. Da dieses Materialverhalten im Hinblick auf die Energiedissipation ungünstig ist, muss die zur Energiedissipation erforderliche Zähigkeit einer Holzkonstruktion auf andere Art und Weise gewährleistet werden. Beispielsweise können Konstruktionen gewählt werden, bei denen die Tragwerksglieder überwiegend druckbeansprucht sind. Eine weitere Möglichkeit besteht durch den Einsatz von mechanischen Verbindungsmitteln an den richtigen Stellen, so dass der Konstruktion plastische Verformungsreserven zur Verfügung stehen, ohne die vertikal tragende Struktur zu gefährden.

Die Gesamtsteifigkeit der Holzkonstruktion wird überwiegend durch die nachgiebigen Verbindungen bestimmt. Die Duktilität von Verbindungsmitteln ermöglicht eine Energievernichtung (Dissipation) durch Verformung der Verbindungsmittel. Die Gesamtsteifigkeit der Konstruktion kann nach Zeitter (2006) durch das Prinzip der duktilen Kette beschrieben werden: in einem Bauwerk müssen sowohl starre Elemente für die Steifigkeit vorhanden sein als auch duktile Elemente für die Energiedissipation.

3.3.2 Verbindungen und Anschlüsse

Das Trag- und Verformungsverhalten einer Holzkonstruktion bei Erdbebeneinwirkung wird maßgebend vom Verhalten der Verbindungen beeinflusst. An den Verbindungsstellen muss die Energie übertragen werden, die bei einem Erdbeben aufgrund der zyklischen Beanspruchung entsteht. Plastifizierende Bereiche einer Konstruktion ermöglichen eine Verformungs- und Energiedissipation bei Erdbebenbeanspruchung

und schützen die übrigen Bereiche des Tragwerks vor einem vorzeitigen spröden Versagen.

Im Holzbau wird zwischen zimmermannsmäßigen Verbindungen und Verbindungen mit mechanischen Verbindungsmitteln unterschieden. Für erdbebensichere Konstruktionen sollten solche Verbindungen gewählt werden, welche Energie abbauen und in der Lage sind, plastische Verformungen aufzunehmen. Deshalb sollte in Holzkonstruktionen im Hinblick auf Erdbebenbeanspruchung auf gerade Stöße, Versätze, Zapfen, Blatt- und Schwalbenschwanzverbindungen verzichtet werden.

Bei mechanischen Verbindungen weisen hingegen insbesondere Nagel- und Dübelverbindungen ein wesentlich besseres Verhalten bei Erdbebenbeanspruchung auf. Da die Last-Verformungsbeziehungen von Holzverbindungen mit stiftförmigen Verbindungsmitteln wie Nägel, Schrauben oder Stabdübeln ein ausgeprägt elastisch-plastisches Verhalten aufweisen, lassen richtig konstruierte Holzbauwerke auch bei Erdbebenbeanspruchung ein günstiges, „zähes“ Verhalten erwarten. Durch die Nachgiebigkeit der Verbindungsmittel ergeben sich besonders für Bauwerke mit geringem Eigengewicht ein starkes Dämpfungsverhalten und ein duktiler Bruchverhalten.

4 Schadensaufnahme

Das Erdbeben in Yogyakarta ereignete sich am 27. Mai 2006. Am 03. Juli 2006 reiste eine Gruppe der Universität Karlsruhe (TH) nach Yogyakarta, um eine Schadensaufnahme vor Ort durchzuführen. Unterstützt wurde sie dabei von der Deutschen Gesellschaft für Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik (DGEB) e.V. und der Gadjah Mada University in Yogyakarta.

Auf der Grundlage einer detaillierten Datenerhebung bezüglich der Schadensarten an Bauwerken werden in Kapitel 5 Empfehlungen zu verbesserten (erdbebensicheren) Bauweisen in ländlichen Regionen abgeleitet. Dabei steht im Rahmen des Ad-hoc-Projektes die Ertüchtigung der Erdbebensicherheit von nicht-ingenieurmäßig errichteten Bauwerken im Vordergrund.

4.1 Einteilung von Gebäudetypen

Holz war traditionell neben Lehm eines der am häufigsten verwendeten Baumaterialien in Indonesien. Im 20. Jahrhundert wurden zunehmend mehr Bauwerke mit Stahlbeton oder Mauerwerk ausgeführt.

Für die Schadensanalyse werden zwei unterschiedliche Bauwerksklassen definiert:

- Klasse A: ingenieurmäßig errichtete Bauwerke („engineered buildings“)
- Klasse B: nicht-ingenieurmäßig errichtete Bauwerke („non-engineered buildings“)

Unter ingenieurmäßig errichteten Bauwerken werden im Rahmen dieser Schadensanalyse größere, teilweise mehrgeschossige Stahl- und Stahlbetonhochbauten verstanden. In Bild 4-1 sind typische Beispiele für ingenieurmäßig errichtete Bauwerke in Indonesien dargestellt. Die Konstruktionen bestehen in der Regel aus Stützen-Riegel-Systeme, deren Rahmenfelder ausgemauert sind. Diese Bauwerke (öffentliche Gebäude, Schulen, Krankenhäuser etc.) sind überwiegend in Ballungszentren wie Yogyakarta vorhanden. Beim statischen Nachweis dieser Bauwerke wird in der Regel eine Erdbebenbeanspruchung berücksichtigt. Es ist aber in Indonesien nicht auszuschließen, dass die durch Normen vorgeschriebenen Regeln für erdbebengeRechtes Bauen teilweise nicht beachtet werden oder bei der Ausführung nicht richtig umgesetzt werden.



Bild 4-1 Beispiele für typische ingenieurmäßig errichtete Bauwerke in Indonesien

In ländlichen Regionen dominieren hingegen die nicht-ingenieurmäßig errichteten Bauwerke. Diese Bauwerke sind meist ein- oder zweistöckige Gebäude, die als Mischkonstruktion (bestehend aus Stahlbetonstützen, Ausfachung mit Mauerwerk und Dachkonstruktion aus Holz) ausgeführt werden (Bild 4-2). Weniger verbreitet sind die traditionellen Gebäude, die aus einer reinen Holz- oder Bambuskonstruktion bestehen (Bild 4-3). Holz- oder Bambuskonstruktionen besitzen bei dynamischen Beanspruchungen im Vergleich zu Mischkonstruktionen günstigere Eigenschaften. Jedoch wurden in ländlichen Regionen auf Java in den letzten Jahrzehnten vermehrt Mischkonstruktionen erstellt, da diese Bauweise gegenüber den durch Termitenbefall gefährdeten Holzkonstruktionen bevorzugt wurde.

Die nicht-ingenieurmäßig errichteten Gebäude werden nicht auf der Grundlage einer statischen Bemessung konstruiert, sondern nur aufgrund von Erfahrung und Wissen der Bevölkerung gebaut. Beim Bau dieser Gebäude sind in den meisten Fällen keine qualifizierten Fachleute beteiligt.

Nach Angaben von indonesischen Behörden (Consultative Group on Indonesia (2006)) wurden beim Erdbeben am 27. Mai 2006 ca. 154.000 Gebäude komplett zerstört und 260.000 Gebäude beschädigt. Dabei sind 90 % der zerstörten bzw. beschädigten Gebäude dem privaten Bereich zuzuordnen und 10 % dem öffentlichen Bereich. Das Erdbeben in Indonesien forderte die meisten Todesopfer durch den Einsturz von nicht-ingenieurmäßig errichteten Gebäuden. Die Anzahl ingenieurmäßig errichteter Bauwerke, welche beschädigt oder eingestürzt sind, ist dazu im Vergleich gering.



Bild 4-2 nicht-ingenieurmäßig errichtete Bauwerke in Indonesien: Beispiele für typische Mischkonstruktionen



Bild 4-3 nicht-ingenieurmäßig errichtete Bauwerke in Indonesien: Beispiele für die traditionelle Holzbauweise

4.2 Schadensanalyse von ingenieurmäßig errichteten Bauwerken

Die Schadensanalyse von ingenieurmäßig errichteten Bauwerken wird in diesem Bericht nur kurz zusammengefasst. Der Schwerpunkt des Ad-hoc-Projektes ist die Verbesserung der Erdbebensicherheit von nicht-ingenieurmäßig errichteten Bauwerken.

Eine erste Schadensübersicht wurde von der Gadjah Mada Universität in Yogyakarta vorgelegt (Posyanis (2006)). Hierbei wurden ingenieurmäßig errichtete Bauwerke in Yogyakarta untersucht und bezüglich Erdbebenschäden bewertet. Tabelle 4-1 enthält Angaben über den prozentualen Anteil der Schäden an den untersuchten Bauwerken. In Bild 4-4 ist die Schadensübersicht graphisch dargestellt.

Tabelle 4-1 Schadensübersicht bei ingenieurmäßig errichteten Bauwerken in Yogyakarta

| untersuchte Bauwerke | keine oder leichte Schäden | mittlere Schäden | schwere Schäden oder Einsturz | verschieden | Gesamt |
|-------------------------------|----------------------------|------------------|-------------------------------|-------------|--------|
| Schulen / Universitäten | 63 (= 29%) | 73 (= 34%) | 69 (= 32%) | 9 (= 4%) | 214 |
| Gebethäuser / Moscheen | 47 (= 39%) | 36 (= 30%) | 32 (= 27%) | 5 (= 4%) | 120 |
| Krankenhäuser | 9 (= 39%) | 7 (= 30%) | 6 (= 26%) | 1 (= 4%) | 23 |
| öffentliche Gebäude | 1 (= 50%) | 0 (= 0%) | 1 (= 50%) | 0 (= 0%) | 2 |
| Einkaufszentren / Markthallen | 0 (= 0%) | 1 (= 33%) | 2 (= 67%) | 0 (= 0%) | 3 |
| Studentenwohnheime | 1 (= 100%) | 0 (= 0%) | 0 (= 0%) | 0 (= 0%) | 1 |
| Bürogebäude | 14 (= 26%) | 17 (= 32%) | 21 (= 40%) | 1 (= 2%) | 53 |
| Versammlungsräume | 1 (= 14%) | 4 (= 57%) | 1 (= 14%) | 1 (= 14%) | 7 |

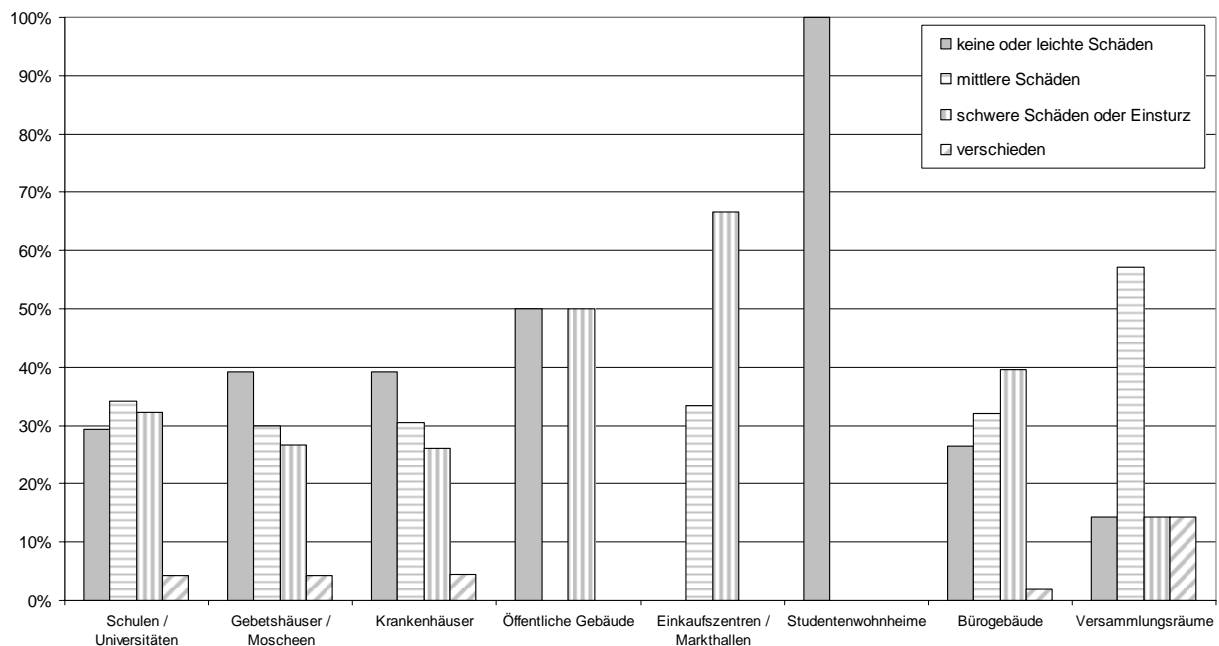


Bild 4-4 Schadensübersicht bei ingenieurmäßigen Bauwerken in Yogyakarta

Nachfolgend werden einige typische Schadensfälle von ingenieurmäßig errichteten Gebäuden dargestellt (Bild 4-5 bis Bild 4-8). Die überwiegende Anzahl dieser Bauwerke ist durch das Erdbeben zwar beschädigt worden, jedoch nicht komplett eingestürzt. Die Ursache für den Einsturz von Gebäuden war in den meisten Fällen eine unzureichende Bewehrung der Stahlbetonstützen und mangelhafte Betonqualität. Sehr oft wurde auch eine schlechte Verankerung der Bewehrung festgestellt, welche für die Duktilität des Bauwerkes und somit auch für die Erdbebenwiderstandsfähigkeit von Bedeutung ist. Die Ausfachung mit Mauerwerk wurde bei den meisten Bauwerken in der Regel stark beschädigt, da hier eine Fugenanordnung nicht berücksichtigt wurde.

Bei den meisten Gebäuden traten die für Erdbeben typischen Rissbilder wie Betonabplatzungen und Schubrisse in Wandscheiben auf. Die Mehrzahl der Gebäude besaß in den unteren Geschossen einen regelmäßigen Grundriss, wies jedoch in den oberen Geschossen Auskragungen bzw. Rücksprünge auf, welche zu Steifigkeitsunstetigkeiten innerhalb des Bauwerkes führten. Daraus resultieren Exzentrizitäten des Bauwerkes, die Torsionseffekte bei Erdbebenbeanspruchung verursachen. Aus dem gleichen Grund waren Bauwerke mit unregelmäßigem Grundriss sehr stark beschädigt.



Bild 4-5 Gebäudeansicht mit kollabiertem Erdgeschoss



Bild 4-6 Stützenversagen (Ausknicken der Bewehrung)



Bild 4-7 Seitenansicht mit eingestürztem Bereich



Bild 4-8 Ansicht mit schwer beschädigtem Gebäudeteil

4.3 Schadensanalyse von nicht-ingenieurmäßig errichteten Bauwerken

In ländlichen Regionen sind hauptsächlich Mischkonstruktionen aus schwachen Stahlbetonstützen und einer Ausfachung mit Mauerwerk sehr weit verbreitet. In wenigen Fällen ist diese Konstruktion mit einem Ringanker aus Stahlbeton verstärkt. Das Erdbeben am 27. Mai 2006 forderte die meisten Todesopfer und Verletzte durch den Einsturz dieser nicht-ingenieurmäßig errichteten Bauwerke. In den ländlichen Gebieten waren teilweise ganze Dörfer komplett zerstört (Bild 4-9). Nach Angaben von indonesischen Behörden (Consultative Group on Indonesia (2006)) belaufen sich die Kosten für den Wiederaufbau von nicht-ingenieurmäßig errichteten Gebäuden auf etwa 100 €/m² Grundfläche.



Bild 4-9 zerstörte nicht-ingenieurmäßig errichtete Gebäude in ländlichen Gebieten

Nachfolgend werden einige typische Schadensfälle und deren Ursache bei nicht-ingenieurmäßig errichteten Gebäuden dargestellt. Die Angaben sollen einen Eindruck über die Schadenssituation in den betroffenen Regionen übermitteln und markante bzw. typische Schäden beschreiben.

4.3.1 Bauweisen

Mischkonstruktionen, die aus schwachen Stahlbetonstützen und einer Ausfachung mit Mauerwerk bestehen, sind in ländlichen Regionen in Indonesien eine weit verbreitete Bauweise. Beim Bau dieser Gebäude sind in der Regel keine qualifizierten Fachleute beteiligt; dementsprechend werden die für erdbebensicheres Bauen notwendigen Regeln oftmals nicht eingehalten. Nach Angaben von indonesischen Behörden (Consultative Group on Indonesia (2006)) wurde der Großteil der zerstörten oder schwer beschädigten nicht-ingenieurmäßig errichteten Gebäuden erst vor 15 bis 25 Jahren erstellt.

Bei dynamischen Beanspruchungen, wie sie bei Erdbeben auftreten, besitzen diese Mischkonstruktionen nur eine geringe Widerstandsfähigkeit. Dies ist u.a. auf die schlechte Bauwerksqualität zurückzuführen. Da zwischen Stahlbetonstützen und Mauerwerk in der Regel keine Verbindung besteht, kollabieren bei einem Erdbeben zuerst die Mauerwerks-Wandscheiben (Bild 4-10). Die schwachen Stahlbetonstützen (Querschnitt ca. 12/12 cm, Rundstahl \varnothing 8 mm) sind in den meisten Fällen nicht ausreichend für die Standsicherheit des Gebäudes. Folglich kann dies zum Einsturz des gesamten Bauwerks führen.



Bild 4-10 kollabierte Mauerwerkswandscheiben

4.3.2 Bauwerksgeometrie

In der Regel besitzen die nicht-ingenieurmäßig errichteten Gebäude in Indonesien einen rechteckigen oder quadratischen Grundriss ohne aussteifende Zwischenwände (Bild 4-11). Der Grundriss beträgt durchschnittlich ca. 9 x 6 m (54 m²). Da die Bauweise der Mischkonstruktionen kein torsionssteifes Tragwerk bildet, gleichzeitig aber Massenexzentrizitäten vorhanden sind, führt dies zu erhöhten Torsionsbeanspruchungen.



Bild 4-11 typische Bauwerksgeometrie nicht-ingenieurmäßig errichteter Gebäude

Oftmals werden jedoch regelmäßige und einheitliche Grundrisse bzw. Ansichten des Bauwerks, welche für ein günstiges Verhalten im Erdbebenfall maßgebend sind, nicht berücksichtigt. Insbesondere bei zweigeschossigen Gebäuden werden durch Vorsprünge des oberen Stockwerkes Steifigkeitssprünge in der Gesamtkonstruktion verursacht, die sich negativ auf die Widerstandsfähigkeit bei Erdbeben auswirken. In Bild 4-12 sind zwei typische Beispiele dargestellt.



Bild 4-12 ungünstige Bauwerksgeometrien (Steifigkeitssprünge)

Der Einsturz vieler nicht-ingenieurmäßig errichteter Gebäude ist auf das Missverhältnis der Massenverteilung zurückzuführen. Den schwachen Stahlbetonstützen und Wänden aus Mauerwerk steht in der Regel eine sehr schwere Dacheindeckung aus Ziegeln gegenüber. Bei dynamischen Beanspruchungen wird dieses System durch Fußpunktbeschleunigungen zu Schwingungen angeregt (Einmassenschwinger), wel-

che zum Einsturz des Bauwerkes führen können (Bild 4-13). Gefährdet sind vor allem Bauwerke, die große Kopfmassen tragen und dabei horizontal nur schwach aussteift sind.



Bild 4-13 ungünstige Massenverteilung aufgrund der schweren Dacheindeckung

Durch sehr große Öffnungen in den Wandscheiben kann eine Scheibenwirkung der Konstruktion nicht mehr vorausgesetzt werden. Typische Rissbilder entstehen und führen zum Versagen der Wandscheiben (Bild 4-14).



Bild 4-14 ungünstige Öffnungen in Wandscheiben

4.3.3 Aussteifung

Bei den meisten nicht-ingenieurmäßig errichteten Mischkonstruktionen ist eine Verstärkung bzw. Aussteifung des Gebäudes mit einem Ringanker aus Stahlbeton nicht vorhanden. Horizontale oder vertikale Einfassungsbauteile fehlen oder sind nicht miteinander verbunden.

Ebenso ist die Dachkonstruktion aus Holz in den wenigsten Fällen ausgesteift (Bild 4-15). Druckstäbe mit hohem Schlankheitsgrad und unzureichender Knickaussteifung können den dynamischen Einwirkungen aus Erdbeben nicht standhalten.



Bild 4-15 a) fehlender Ringanker und b) mangelhafte Dachaussteifung

Dünne Mauerwerks-Wandscheiben besitzen nur eine geringe Dissipationsfähigkeit. Aufgrund von geringen Wanddicken, fehlender Bewehrung und Einfassung sowie mangelndem Verbund zwischen Mauerziegeln und Mörtel haben diese Mauerwerks-

Wandscheiben einen geringen Widerstand gegen Erdbebeneinwirkungen und kollabieren sehr schnell (Bild 4-16).



Bild 4-16 kollabierte Wandscheibe (Mauerwerk)

4.3.4 Anschlüsse

Bei nicht-ingenieurmäßig errichteten Mischkonstruktionen, die vom Erdbeben zerstört oder beschädigt wurden, waren u.a. fehlende oder mangelhafte Anschlüsse maßgebend für die geringe Erdbebenwiderstandsfähigkeit des Gebäudes.

Die nicht ausreichende Verankerung des Bewehrungsstahls der Stützen führt zur Verringerung der Gesamtsteifigkeit des Gebäudes bei Erdbebenbeanspruchung. Des Weiteren ist in der Regel zwischen Mauerwerk und Stahlbetonstützen keine Verbindung vorhanden (Bild 4-17).

Der Anschluss der Dachkonstruktion aus Holz an Mauerwerksscheiben oder Stahlbetonstützen ist in den meisten Fällen mangelhaft (Bild 4-18). In der Regel werden die Balken in den Außenwänden eingemauert oder Bewehrungsstäbe der Stahlbetonstützen zur Lagesicherung der Balken verwendet. Die nicht kraftschlüssig ausgeführten Anschlüsse besitzen bei dynamischen Beanspruchungen eine geringe Steifigkeit.



Bild 4-17 fehlender Anschluss von Mauerwerk und Stahlbetonstütze



Bild 4-18 mangelhafter Anschluss von Dachkonstruktion und Wand / Stütze

Viele Einstürze von nicht-ingenieurmäßig errichteten Bauwerken sind auf Fehler bei der baulichen Durchbildung von Anschlüssen zurückzuführen. In Bild 4-19 ist ein typisches Beispiel dargestellt, bei der die Verbindung den dynamischen Beanspruchungen des Erdbebens nicht standgehalten hat.



Bild 4-19 Beispiel für mangelhafte bauliche Durchbildung von Verbindungen

4.3.5 Baumaterialien

In den ländlichen Regionen werden Mischkonstruktionen mit leicht verfügbaren Materialien errichtet. Die schwere Beschädigung sowie der Einsturz vieler Gebäude während und nach dem Erdbeben sind u.a. auf die schlechte Qualität der verwendeten Baumaterialien zurückzuführen. Die mangelhafte Verarbeitung von Beton, Mörtel und Mauerziegel verringert zusätzlich die Widerstandsfähigkeit der Bauwerke (Bild 4-20 und Bild 4-21).



Bild 4-20 a) Versagensdetail einer Stütze und b) mangelhaft ausgeführte Stütze

Ursache für die geringe Widerstandsfähigkeit des Mauerwerks ist sowohl die geringe Festigkeit der Mauerziegel als auch die schlechte Qualität des Mörtels. Zur Herstellung von Mörtel wird eine Mischung aus zerkleinerten Ziegelsteinen, Kalk, Sand und Wasser verwendet. Die Festigkeit des Mörtels wird durch den Wassergehalt bestimmt. Die geringe Haftzugfestigkeit der Mörtelfuge ist bedingt durch ein falsches Mischverhältnis bei der Herstellung des Mörtels, da kein qualifiziertes Personal beim Bau von nicht-ingenieurmäßig Gebäuden vorhanden ist.

Die Verwendung von Bauschutt (vor allem Ziegelsteine) für den Wiederaufbau führt zwangsläufig zu einer weiteren Minderung der Bauwerksqualität. Aufgrund der Knappheit von Baumaterialien wie Ziegelsteine und Holz sind die Preise etwa auf das doppelte Niveau vor dem Erdbeben gestiegen.



Bild 4-21 a) Mauerwerk mit geringer Qualität und b) schlechter Ausführung

4.3.6 Zusammenfassung der schadensbegünstigenden Faktoren

Generell sind fünf schadensbegünstigende Faktoren bei nicht-ingenieurmäßig errichteten Gebäuden, insbesondere bei Mischkonstruktionen, für die schweren Schäden bzw. vielen Einstürze dieser Gebäude maßgebend:

- Art und Qualität der Bauweise (prinzipielle Entwurfs- und Ausführungsfehler);
- ungünstige Bauwerksgeometrie (Grundriss, Öffnungen, schwere Dacheindeckung);
- fehlende oder unzureichende Aussteifung des gesamten Gebäudes;
- fehlende oder unzureichende Anschlüsse;
- Baumaterialien mit geringer Qualität.

Im folgenden Kapitel werden auf der Grundlage der Schadensanalyse Empfehlungen für eine erdbebensichere Konstruktion von nicht-ingenieurmäßig errichteten Bauwerken angegeben. Durch Beachtung von Angaben über Mindestabmessungen, Detaillierungsregeln für Verbindungen, Anschlüsse und Aussteifung sowie sonstigen Anforderungen kann die Widerstandsfähigkeit kleinerer Bauwerke bei Erdbebenbeanspruchung erheblich gesteigert werden.

5 Empfehlungen für erdbebensicheres Bauen von nicht-ingenieurmäßig errichteten Gebäuden

Die wichtigsten Konzepte für erdbebensicheres Bauen von nicht-ingenieurmäßig Gebäuden sind in Indonesien bereits vorhanden. Dennoch werden solche einfachen und äußerst wirksamen Regeln bei vielen Bauten nicht eingehalten. Einerseits ist dies auf fehlendes Wissen der Bevölkerung zurückzuführen, andererseits auf die Rahmenbedingung, möglichst günstigen Wohnraum mit minimalen Kosten zu erstellen. Ein umfassender Erdbeschutz der Bevölkerung ist jedoch in erster Linie nur durch Anwendung und Einhaltung der Regeln für erdbebensicheres Bauen zu erreichen. Mit Hilfe dieser Konstruktionsregeln soll ein günstiges dynamisches Verhalten des Bauwerks und eine sichere Kraftübertragung zwischen den einzelnen Bauteilen erreicht werden.

Zunächst werden in diesem Kapitel stichpunktartig Empfehlungen für erdbebensicheres Bauen von nicht-ingenieurmäßig Gebäuden angegeben. Anschließend werden in den folgenden Abschnitten verschiedene Detaillösungen genauer betrachtet.

Bei der Errichtung von nicht-ingenieurmäßigen Gebäuden sollten folgende Konstruktionsmerkmale berücksichtigt werden:

- Höhe der Gebäude auf ein oder zwei Geschosse begrenzen;
- Form des Gebäudes sollte möglichst symmetrisch sein (auch in Bezug auf Öffnungen); dies führt zu einer ausgeglichener Kräfteverteilung in der Struktur;
- aussteifende Wände beim Entwurf berücksichtigen;
- große Öffnungen vermeiden;
- keine zu schwere Dacheindeckung im Verhältnis zur Masse des Bauwerkes wählen;
- Anordnung von Ringbalken bei Mischkonstruktionen zur Erhöhung der Gesamtsteifigkeit des Gebäudes;
- ausreichende Verankerung der Stahlbewehrung vorsehen;
- kraftschlüssige Verbindung zwischen Stahlbetonstützen und Mauerwerk anordnen;
- kraftschlüssige Verbindung zwischen Stahlbetonstützen / Mauerwerk und Dachkonstruktion anordnen;
- Aussteifung der Dachkonstruktion berücksichtigen;
- Qualität und Verarbeitung der verwendeten Baumaterialien optimieren.

5.1.1 Bauweisen

Beim Bau von nicht-ingenieurmäßigen Gebäuden sind in der Regel keine qualifizierten Fachleute beteiligt; dementsprechend werden die für erdbebensicheres Bauen notwendigen Regeln oftmals nicht eingehalten. Durch Schulung von Fachpersonal und Aufklärung der Bevölkerung muss ein Bewusstsein für die Notwendigkeit der Einhaltung dieser Regeln geweckt werden.

Bei der Schadensaufnahme vor Ort drei Wochen nach dem Erdbeben wurde teilweise festgestellt, dass die Bevölkerung ihre zerstörten Häuser wieder neu aufbaut, jedoch die gleichen Fehler bei der Konstruktion und Ausführung macht, welche zum Einsturz der Gebäude geführt haben (Bild 5-1).



Bild 5-1 Wiederaufbau zerstörter Gebäude ohne Verbesserung der Erdbebensicherheit

Insbesondere die weit verbreitete Bauweise der Mischkonstruktion besitzt bei dynamischen Beanspruchungen aufgrund der schlechten Ausführung der Bauwerkskonstruktion nur eine geringe Widerstandsfähigkeit. Die dünnen Wandscheiben aus unbewehrtem Mauerwerk haben nur eine geringe Zugfestigkeit und Duktilität und sollten daher in Erdbebengebieten nur begrenzt eingesetzt werden. Im Gegensatz dazu besitzen Holz- oder Bambuskonstruktionen bei Erdbebenbeanspruchung günstigere Eigenschaften: diese duktilen Konstruktionen besitzen die Fähigkeit zu möglichst großer Energiedissipation. Die Erfahrungen aus den vergangenen Erdbeben sollten zur Verbesserung der Mischkonstruktionen genutzt werden oder zu einer vermehrten

Erstellung von Holzkonstruktionen führen. Für kleine Bauwerke, die im Grundriss und in der Ansicht regelmäßig aufgebaut sind, kann durch Beachtung einiger Mindestabmessungen der Bauteile und Detaillierungsregeln von Anschlüssen und Aussteifung eine erdbebensichere Konstruktion ohne Bemessung erreicht werden.

In Bild 5-2 wird der Nutzen dieser Regeln für erdbebensicheres Bauen verdeutlicht: sowohl die Mischkonstruktion unter Berücksichtigung der Regeln für erdbebensicheres Bauen als auch die reine Holzkonstruktion haben das Erdbeben unbeschadet überstanden, während die jeweiligen Nachbargebäude (Mischkonstruktionen ohne Berücksichtigung der Regeln für erdbebensicheres Bauen) eingestürzt sind.



Bild 5-2 Gebäude ohne Erdbebenschäden: a) Mischkonstruktion unter Berücksichtigung von Regeln für erdbebensicheres Bauen; b) reine Holzkonstruktion

5.1.2 Bauwerksgeometrie

Das Verhalten von Bauwerken unter Erdbebenlasten wird wesentlich durch ihre Geometrie beeinflusst. Als verhältnismäßig günstig erweist sich das Verhalten von regelmäßig gestalteten Bauwerken mit gedrunenem und symmetrischem Grundriss und über die Höhe annähernd gleichmäßiger Massen- und Steifigkeitsverteilung. Für die Bauwerksgeometrie sollte eine Konstruktion mit eindeutigen und direkten Wegen der Kraftübertragung von Erdbebenkräften als Grundlage dienen. Die Grundrissform sollte möglichst kompakt und ohne gegliederte Formen (z.B. H-förmig) sein. Die günstigste Grundrissform stellt dabei die kompakte Quaderform dar. Ist jedoch aus Randbedingungen nur eine gegliederte Grundrissform möglich, so sollte der Grundriss in einzelne Rechtecke aufgeteilt werden (Bild 5-3).

Die Form des Gebäudes ist möglichst symmetrisch zu wählen, um Massenexzentrizitäten und somit erhöhte Torsionsbeanspruchungen bei Erdbeben zu vermeiden. Falls erforderlich, muss bei größeren Bauwerken das Tragwerk mittels Fugen in dynamisch unabhängige Einheiten aufgeteilt werden.

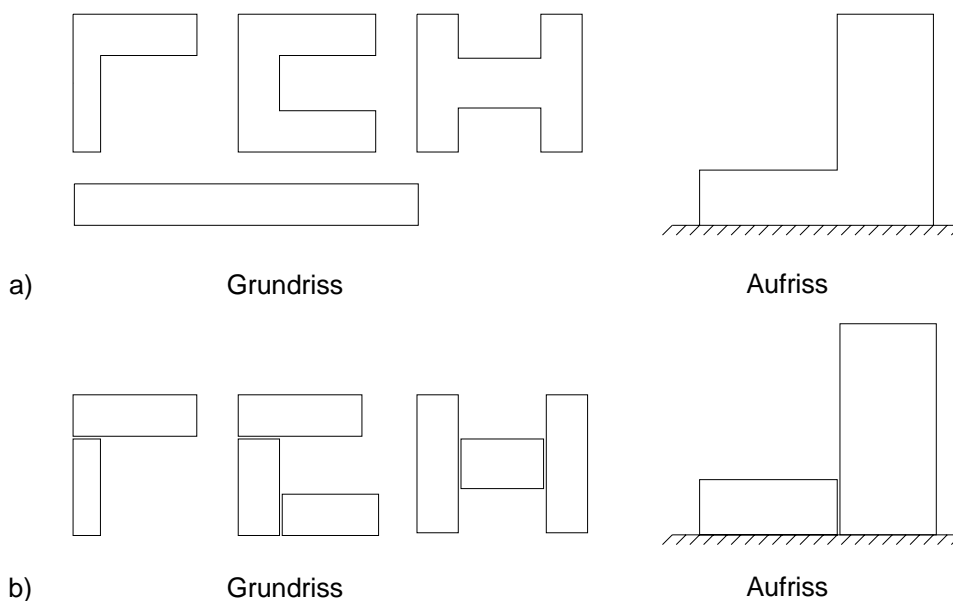


Bild 5-3 a) ungünstige Grundrissformen; b) günstige Grundrissformen

Aussteifende Elemente müssen im Grundriss derart angeordnet werden, dass das Gebäude hinsichtlich der Horizontalsteifigkeit sowie der Massenverteilung zu zwei senkrecht zueinander liegenden Achsen symmetrisch ist. Dies bedeutet, dass das Steifigkeitszentrum „S“ nahe bei dem Massenzentrum „M“ liegen muss, um große Exzentrizitäten und somit Torsionsbeanspruchungen zu vermeiden (Bild 5-4).

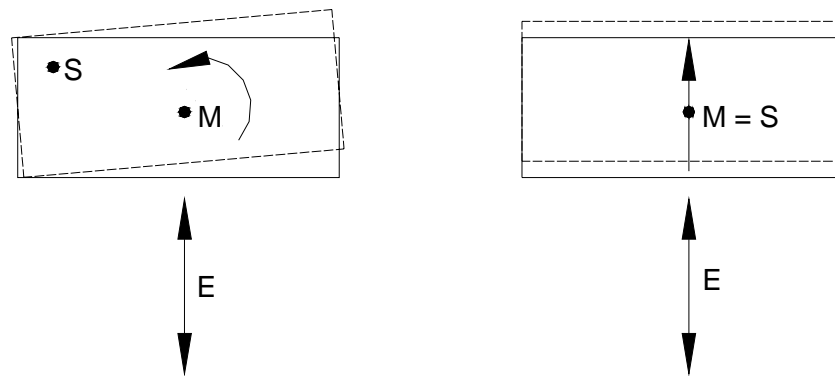


Bild 5-4 a) Torsionsbeanspruchung (aufgrund ungünstiger Anordnung von Aussteifungselementen); b) Starrkörperbewegung

Die Höhe der Gebäude, die als nicht-ingenieurmäßige Bauwerke errichtet werden, sollte auf ein oder zwei Geschosse begrenzt sein. Zur Vermeidung von Steifigkeitssprüngen sollten Vorsprünge vermieden werden. Bei zweigeschossigen Gebäuden sollte im oberen Geschoss keine zu große Masse im Verhältnis zum gesamten Bauwerk vorhanden sein. Deshalb sollte keine schwere Dacheindeckung gewählt werden. Dies gilt ebenso für eingeschossige Bauwerke.

Eine Erhöhung der Gesamtsteifigkeit der Gebäude kann durch Zwischenwände erreicht werden. Nichttragende Bauteile wie leichte Trennwände oder Bodenaufbauten beeinflussen durch Reibung die Dämpfung und somit das gesamte dynamische Verhalten der Konstruktion. Dieser Effekt wirkt sich günstig aus, da zusätzliche Energie dissipiert wird. Es muss jedoch auch berücksichtigt werden, dass das Mitwirken von nichttragenden Trennwänden die Bauwerkssteifigkeit und somit auch die Erdbebenlasten vergrößern sowie durch unsymmetrische Steifigkeitsverteilung die Torsionsbeanspruchung erhöhen kann (Müller und Keintzel (1984)).

Tragwerksteile zur Aufnahme von Horizontallasten (z.B. Rahmen) müssen ohne Unterbrechung von ihren Gründungen bis zur Oberkante des Gebäudes verlaufen. Aussteifende Wände sollten eine ausreichende Torsionssteifigkeit besitzen; deshalb sind große Wandöffnungen zu vermeiden. Sind größere Öffnungen in Wandscheiben nicht zu vermeiden, sollte die entstehende Ausmittigkeit durch zusätzliche Aussteifungsmaßnahmen (fachwerkähnliche Bauteile, Rahmen) beschränkt werden.

Einzelfundamente sollten vermieden bzw. miteinander verbunden werden, um unterschiedliche Verschiebungen von Gründungen zu behindern. Besonders bei Bauwerken auf weichem Baugrund muss die Gründung so ausgeführt sein, dass sie als Platte oder Gitterrost steif genug ist, um bei Erdbebenbeanspruchung als ein „Floß“ zu wirken.

5.1.3 Aussteifung

Aussteifende Tragwerksteile mit ähnlicher Steifigkeit und Tragfähigkeit sollten in jeder Hauptrichtung angeordnet werden. Die aussteifenden Wände sind so anzuordnen, dass der Steifigkeitsmittelpunkt und der Massenschwerpunkt nahe beieinander liegen und somit eine ausreichende Torsionssteifigkeit besitzen.

Probleme können entstehen, wenn Bauteile oder Konstruktionen unterschiedlicher Steifigkeit miteinander verbunden werden. Bei Mischkonstruktionen trifft dies beispielsweise auf Verbindungen zwischen Mauerwerk und Stahlbetonstützen oder Anschlüsse von Holzkonstruktionen an Mauerwerk bzw. Stahlbetonbauteile zu. Besitzen miteinander verbundene Bauteile größere Steifigkeitsunterschiede, können beide Konstruktionen entweder so ausgeführt werden, dass sie die auf sie entfallenden Erdbebenlasten selbstständig abtragen können, oder dass beide Konstruktionen so miteinander verbunden werden, dass sie eine konstruktive Einheit bilden.

Bei reinen Holzkonstruktionen sollten die Wände bzw. Rahmenecken mit Diagonalen ausgesteift werden (Bild 5-5). Bei Mischkonstruktionen ist ein Ringbalken zur Erhöhung der Gesamtsteifigkeit des Gebäudes anzuordnen (Bild 5-6). Somit wird gewährleistet, dass sich die Lage der Tragwände oder der Rahmen zueinander nicht ändert. Es können deshalb lediglich Starrkörperbewegungen (Verschiebungen und Verdrehungen) auftreten.

Auch nichttragende Trennwände wirken sich bei einem Erdbeben günstig aus, da sie zur Energiedissipation durch Reibung und Hysterese beitragen und somit die Gesamtsteifigkeit des Tragwerks erhöhen.

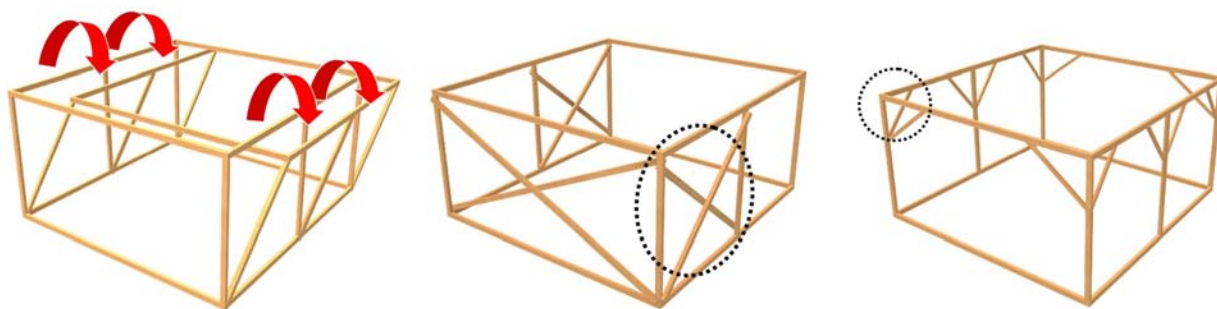


Bild 5-5 Aussteifung durch Diagonalen bei Holzkonstruktionen (Posyanis (2006))

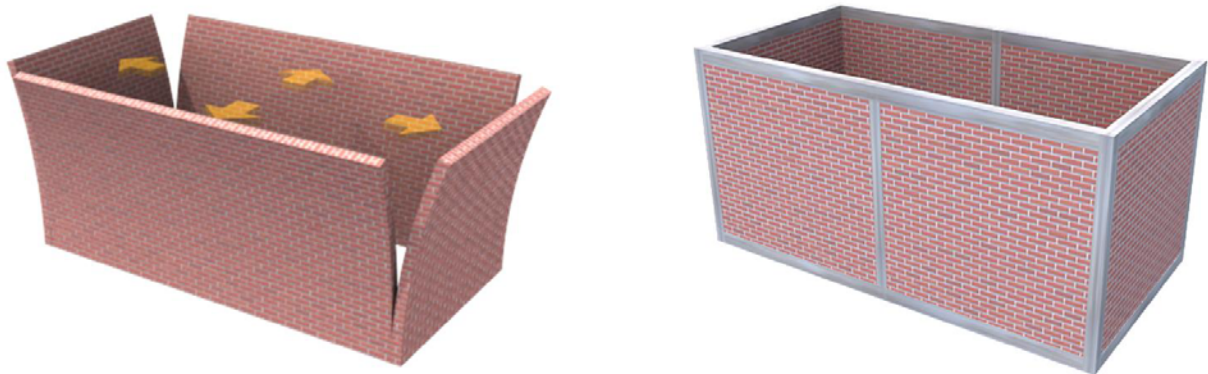


Bild 5-6 Aussteifung durch Ringbalken bei Mischkonstruktionen (Posyanis (2006))

Bei vielen Einstürzen von nicht-ingenieurmäßig errichteten Gebäuden war eine große Kopfmass in Zusammenhang mit einer horizontal nur schwachen oder gar fehlenden Aussteifung die Ursache. Giebelwände sollten deshalb umlaufend mit einem Ringbalken versehen werden, die Dachkonstruktion selbst ist mit Diagonalen auszusteiern (Bild 5-7). Dabei ist jedoch zu beachten, dass Druckstäbe mit hohem Schlankheitsgrad und unzureichender Knickaussteifung den dynamischen Einwirkungen aus Erdbeben nicht standhalten können.

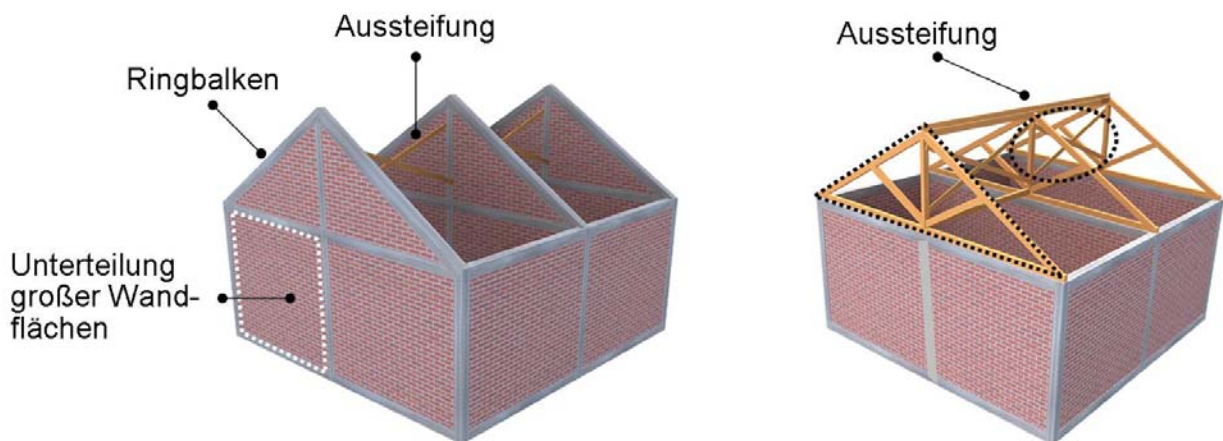


Bild 5-7 Aussteifung der Dachkonstruktion (Posyanis (2006))

5.1.4 Anschlüsse

Bei den Mischkonstruktionen, die vom Erdbeben zerstört oder beschädigt wurden, sind vor allem fehlende oder mangelhafte Anschlüsse ausschlaggebend für die geringe Erdbebenwiderstandsfähigkeit dieser Gebäude.

Die durchgängige Verbindung der verschiedenen Bauteile und ihre Beanspruchbarkeit in verschiedenen Richtungen (z.B. Zug und Druck) ist für ein günstiges Verhalten bei Erdbeben eine wichtige Voraussetzung.

Bei Mischkonstruktionen ist zwischen Mauerwerk und Stahlbetonstützen in den meisten Fällen keine Verbindung vorhanden. Bei dynamischen Beanspruchungen kollabieren deshalb die Wandscheiben und das Gebäude ist einsturzgefährdet. Um dies zu verhindern, sollte das Mauerwerk mit den Stahlbetonstützen verbunden werden. Beispielsweise kann aus den Stahlbetonstützen eine horizontale Bewehrung in die Lagerfugen oder in geeignete Nuten der Mauersteine geführt werden (Bild 5-8). Der Abstand der Verankerung sollte 60 cm nicht überschreiten.

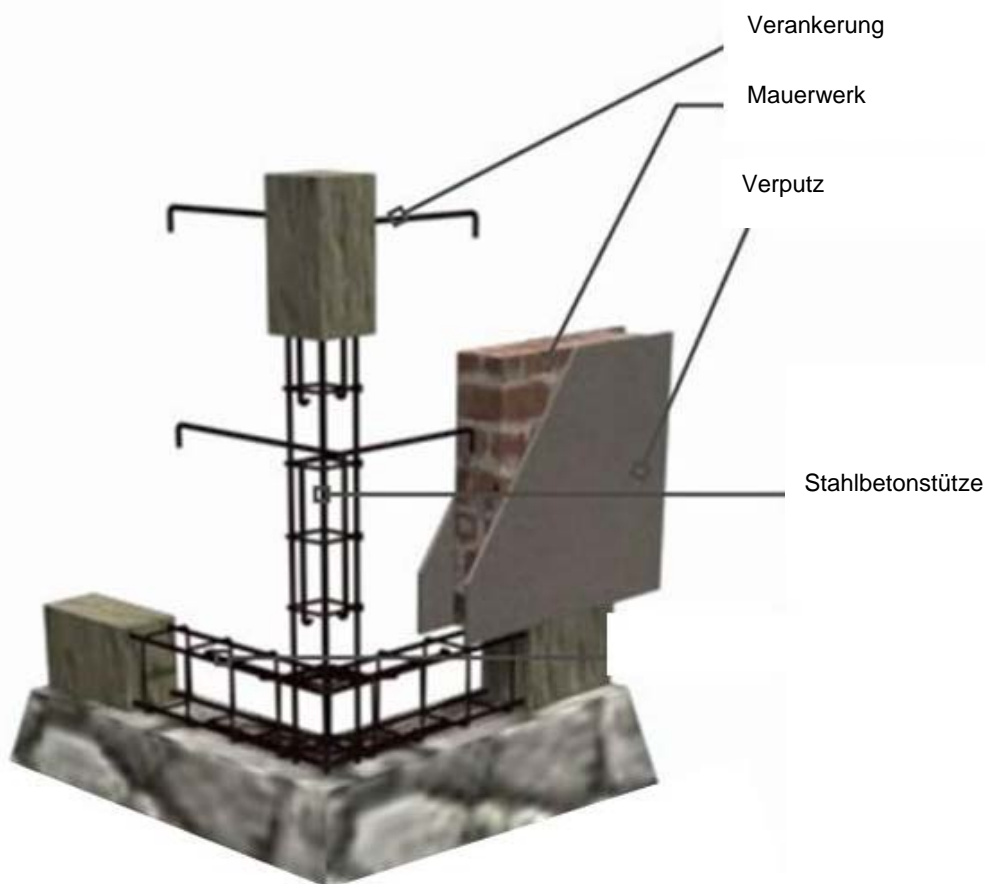


Bild 5-8 Anschluss Mauerwerk an Stahlbetonstütze (Posyanis (2006))

Der Anschluss der Dachkonstruktion aus Holz an Mauerwerk oder Stahlbetonbauteile ist bei den nicht-ingenieurmäßig errichteten Bauwerken in den meisten Fällen mangelhaft. Insbesondere die Auflager sollten jedoch kraftschlüssige Verbindungen aufweisen. Befestigung und Unterlage müssen so ausgeführt werden, dass die Bauteile nicht vom Auflager abrutschen können. Die Anschlüsse und Verbindungen müssen Wechselbeanspruchungen aufnehmen können, da sich während eines Erdbebens

die Belastungsrichtung und das Vorzeichen mehrfach ändert. Aus diesem Grund sind einfache Kontaktanschlüsse, die nur Druckkräfte übertragen können, nicht geeignet. Für erdbebensichere Konstruktionen sollten solche Anschlüsse und Verbindungen gewählt werden, welche Energie abbauen und in der Lage sind, plastische Verformungen aufzunehmen. Der Anschluss der Dachkonstruktion an Stahlbetonbauteilen oder Mauerwerksscheiben kann beispielsweise durch Verankerung oder Einsatz von Stahlbändern am Traufpunkt erfolgen (Bild 5-9). Weitere Anschlussdetails für die Dachkonstruktion sind in Bild 5-10 dargestellt. Bei reinen Holzkonstruktionen erhöhen zusätzliche Kopfbänder die Gesamtsteifigkeit der Konstruktion.

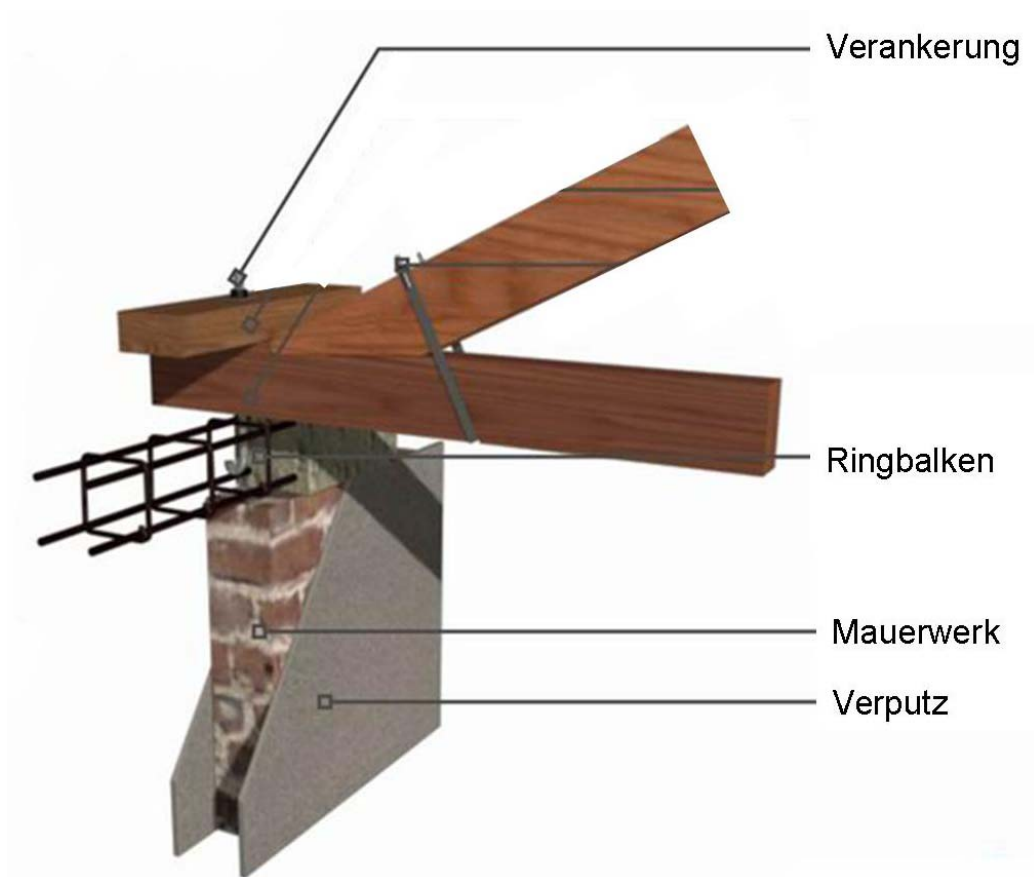


Bild 5-9 Verankerung der Dachkonstruktion (Posyanis (2006))

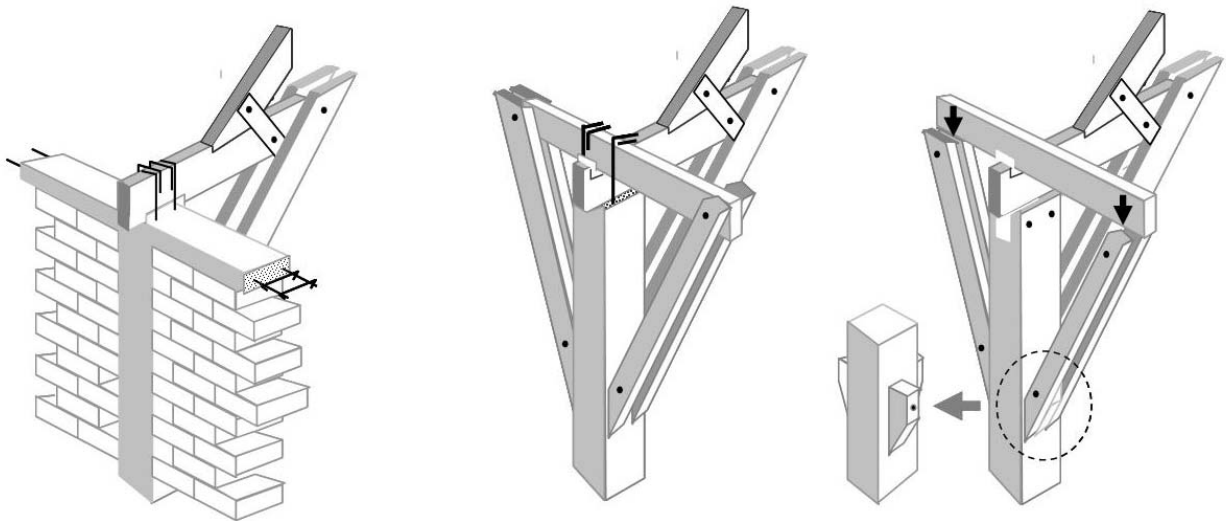


Bild 5-10 weitere Anschlussdetails für Dachkonstruktion (Posyanis (2006))

5.1.5 Baumaterialien

Die Baumaterialien für Mischkonstruktionen in ländlichen Gebieten sind in der Regel von geringer Qualität. Zusätzlich verringert die mangelhafte Verarbeitung von Beton, Mörtel und Mauerziegeln die Widerstandsfähigkeit dieser Gebäude. Sowohl die Mauersteine als auch der Mörtel sollten eine bestimmte Mindestfestigkeit aufweisen.

Eine Verbesserung der Bauwerksqualität kann durch bewehrtes Mauerwerk (horizontale Bewehrung in Lagerfugen oder in geeigneten Nuten von Mauerziegeln sowie vertikale Bewehrung in geeigneten Aussparungen von Mauerziegeln) erreicht werden. Dies ist jedoch mit einem Kostenmehraufwand verbunden.

Nach dem Erdbeben im Mai 2006 sind die Preise für Baumaterialien auf das doppelte Niveau angestiegen. Aus diesem Grund wird für den Wiederaufbau der zerstörten Gebäude überwiegend Bauschutt (vor allem Ziegelsteine) verwendet, was zwangsläufig zu einer weiteren Minderung der Bauwerksqualität führt. Deshalb wurde von der Gadjah Mada University in Yogyakarta ein Projekt initiiert, bei dem das Recycling von Bauschutt für den Wiederaufbau untersucht wurde (Bild 5-11). Für die Bevölkerung bietet sich somit die Möglichkeit, in Eigeninitiative Mauerziegel mit besserer Qualität herzustellen.



Bild 5-11 Recycling von Bauschutt zur Herstellung von Mauerziegeln

5.1.6 Ertüchtigung von erdbebengefährdeten oder beschädigten Gebäuden

Die in Bild 5-12 dargestellten Schäden wurden bei nicht-ingenieurmäßig errichteten Gebäuden besonders häufig festgestellt. Bei Schwingungen der Längswand rechtwinklig zu ihrer Ebene bilden sich an den Stoßstellen mit den Querwänden von oben nach unten fortschreitende Biegerisse. Durch übermäßige Beanspruchungen im unteren Wandbereich kommt es zwangsläufig zum Biegebruch (Bild 5-12a). Der Kollaps der Längswand kann zum Einsturz des ganzen Gebäudes führen.

Bei schlanken Mauerwerkswänden und Mauerpfeilern zwischen Tür- und Fensteröffnungen bilden sich bei starker zyklischer Beanspruchung in der Wandebene aufgrund der geringen Zugfestigkeit des Mauerwerks sich kreuzende Schubrisse (Bild 5-12b). Diese führen zum Schubbruch der Wand.



Bild 5-12 a) Versagen der Längswand infolge Biegebruch und b) Schubrisse in der Querwand

Geeignete Ertüchtigungsmaßnahmen sind in den vorangegangenen Kapiteln aufgeführt: vor allem in den Bereichen Anschlüsse und Aussteifungen kann mit einfachen Mitteln eine deutliche Verbesserung der Widerstandsfähigkeit von Bauwerken bei Erdbebenbeanspruchung erzielt werden.

Die Anordnung eines Stahlbetonringbalkens längs der oberen Mauerwerksränder trägt wesentlich zur Stabilität des Bauwerks bei. Eine einfachere und preislich günstigere Methode besteht in der Ausführung eines horizontalen Ringzugbandes aus Stahl unmittelbar unterhalb des oberen Mauerwerksrandes. Die Zugbänder werden an den Gebäudeecken mittels einer abgewinkelten Stahlplatte verankert. Zusätzlich können die Zugbänder leicht vorgespannt werden.

In Entwicklungsländern wurden nach Erdbeben teilweise auch an den Wänden von beschädigten Gebäuden Bewehrungsmatten oder gekreuzte Diagonalstäbe und eine Mörtelschicht als Verstärkungsmaßnahme angeordnet. Wesentlich für die Wirksamkeit dieser relativ teuren Maßnahme ist die Kontinuität der Bewehrung an den Bauwerkskanten und deren Verankerung mit dem Bauwerk.

Die Zweckmäßigkeit dieser Verstärkungsmaßnahmen wurden von Meli (1980) anhand dynamischer Versuche belegt.

Weitere Maßnahmen zur Ertüchtigung von erdbebengefährdeten Bauwerken sind die Anordnung von aussteifenden Querwänden, die Aussteifung der Dachkonstruktion sowie die Verstärkung von Anschlüssen und Verbindungen einzelner Bauteile.

6 Umsetzungs- und Schulungskonzept

Einfache und äußerst wirksame Regeln für erdbebensicheres Bauen von nicht-ingenieurmäßigen Gebäuden werden in Indonesien oftmals nicht eingehalten, obwohl die wichtigsten Konzepte vorhanden sind. Einerseits ist dies auf fehlendes Wissen der Bevölkerung zurückzuführen, andererseits auf beschränkte Möglichkeiten bei der Umsetzung dieser Maßnahmen. Ein umfassender Erdbebenschutz der Bevölkerung ist jedoch in erster Linie nur durch Anwendung und Einhaltung dieser Regeln für erdbebensicheres Bauen zu erreichen.

Für die Umsetzung von Maßnahmen zur Erdbebensicherung von nicht-ingenieurmäßig errichteten Bauten sind die Ausbildung von Fachleuten und der Wissenstransfer in die Bevölkerung von entscheidender Bedeutung. Deshalb wurde im Rahmen des Ad-hoc-Projektes vom Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen und dem Institut für Massivbau und Baustofftechnologie, Abteilung Baustofftechnologie der Universität Karlsruhe (TH) in Zusammenarbeit mit der Gadjah Mada University in Yogyakarta ein Schulungsprojekt initiiert. Unter der Leitung von Posyanis (Technical Support Center of Civil Engineering Department, Gadjah Mada University) werden Mitarbeiter und Studenten der Gadjah Mada University im Bereich erdbebensicheres Bauen geschult. Schwerpunkt des Schulungsprojektes bilden nicht-ingenieurmäßig errichtete Bauwerke in ländlichen Regionen. Die Projekthinhalte lassen sich wie folgt gliedern:

- Erstellen eines Leitfadens für erdbebensicheres Bauen von nicht-ingenieurmäßig errichteten Bauwerken;
- Unterrichtung von Studenten und Mitarbeitern der Gadjah Mada University in erdbebensicheren Bauweisen und Wissenstransfer;
- Schulung der Bevölkerung sowie Begleitung von Wiederaufbauprojekten.

Schulungsunterlagen für dieses Projekt sind in der Anlage (Bild A2 bis Bild A7) dargestellt. Die Umsetzung und der Wissenstransfer in die Bevölkerung erfolgt vor Ort: insgesamt drei Büros in Panggunrejo, Kalitirto (Yogyakarta) und Muruh (Mitteljava) wurden von Posyanis im Rahmen dieses Ad-hoc-Projektes eröffnet. Diese Außenstellen sind mit geschultem Personal für sechs Tage in der Woche besetzt (zunächst auf drei Monate befristet). Die Aktivitäten konzentrieren sich auf Beratung, Schulung und Betreuung von Gemeinden in ländlichen Regionen mit überwiegend nicht-ingenieurmäßig errichteten Bauten. Während der Dauer des Projektes werden zusätzlich zwölf Workshops zur Schulung der Bevölkerung durchgeführt. Diese Workshops mit bis zu 120 Teilnehmern erfahren einen regen Zuspruch und unterstreichen die Notwendigkeit solcher Maßnahmen. Die folgenden Bilder (Bild 6-1 bis Bild 6-3) dokumentieren einen Ausschnitt der Aktivitäten.



Bild 6-1 Studenten in der Diskussion mit Experten und Wissenstransfer in die Bevölkerung



Bild 6-2 Begleitung von Wiederaufbauprojekten durch geschultes Personal



Bild 6-3 Workshops zur Schulung der Bevölkerung

7 Wiederaufbauprojekt einer zerstörten Schule

Als konkrete pilothafte Umsetzung der Ergebnisse dieses Ad-hoc-Projektes wurde ein Wiederaufbauprojekt der Hilfsorganisation „Komitee Cap Anamur – Deutsche Notärzte e.V.“ begleitet. Durch das Erdbeben am 27. Mai 2006 wurde die Schule in Glompong (östlich von Yogyakarta) völlig zerstört. Als Soforthilfe-Maßnahme wurde zunächst notdürftig eine Zeltunterkunft errichtet. Unter der Leitung von Cap Anamur wurde das zerstörte Schulgebäude im Zeitraum von Juni bis September 2006 zunächst abgerissen und anschließend wieder aufgebaut. Anhand des Wiederaufbaus der zerstörten Schule in Glompong sollte beispielhaft die Anwendung und Umsetzung der Maßnahmen für erdbebensichere Bauweisen erfolgen.

Die Ursachen für die schwere Beschädigung des Schulgebäudes spiegeln die in Kapitel 4.3 angegebene Schadensanalyse von nicht-ingenieurmäßig errichteten Bauwerken. Fehlende oder mangelhafte Aussteifung des Gebäudes, unzureichende Anschlüsse für die Lastabtragung, große Wandöffnungen und eine schwere Dacheindeckung im Verhältnis zur gesamten Bauwerksmasse waren maßgebend für den Einsturz der Schule. In Bild 7-1 und Bild 7-2 werden einige dieser Ursachen dokumentiert.

Das Schulgebäude wurde komplett abgerissen (Bild 7-3) und an derselben Stelle unter der Leitung von Cap Anamur wieder neu aufgebaut. Der Grundriss mit 27,5 x 7,2 m² blieb unverändert, jedoch wurden beim Wiederaufbau die Regeln für erdbebensicheres Bauen berücksichtigt (Bild 7-4 bis Bild 7-6):

- optimierte Bewehrungsführung, ausreichende Verankerung des Bewehrungsstahls;
- verbesserte Anschlüsse und Verankerung von tragenden Bauteilen;
- Anordnung eines Ringbalkens zur Erhöhung der Gesamtsteifigkeit des Gebäudes;
- Berücksichtigung von aussteifenden Wänden beim Entwurf;
- Verstärkungsmaßnahmen im Bereich großer Wandöffnungen;
- kraftschlüssige Verbindungen zwischen Stahlbetonbauteilen und Mauerwerk;
- kraftschlüssige Verbindungen zwischen Stahlbetonbauteilen bzw. Mauerwerk und Dachkonstruktion;
- Aussteifung der Dachkonstruktion.

Ein Grundkonzept bei Wiederaufbauprojekten unter der Leitung von Cap Anamur ist die aktive Beteiligung der lokalen Bevölkerung. Das Ziel dabei ist die Hilfe zur Selbsthilfe: die Bevölkerung soll dadurch Wissen über Bauweisen in Erdbebengebieten vermittelt bekommen und in der Lage sein, ihre eigenen Häuser erdbebensicher zu bauen bzw. zu verstärken.



Bild 7-1 zerstörte Schule in Glompong nach dem Erdbeben vom 27.Mai 2006



Bild 7-2 Schadensursachen: mangelnde Aussteifung und fehlerhafte Anschlüsse



Bild 7-3 Abriss des Schulgebäudes und Notunterkunft



Bild 7-4 Wiederaufbau: Fundamente und Bewehrungsführung



Bild 7-5 Wiederaufbau: Mauerwerk und aussteifende Zwischenwände



Bild 7-6 Wiederaufbau: Anschluss und Aussteifung der Dachkonstruktion

8 Musterhaus

Die Regeln für erdbebensicheres Bauen von nicht-ingenieurmäßigen Bauwerken wurden beim Bau eines Musterhauses an der Indonesian Islamic University in Yogyakarta (Dr. Sarwidi, Center for Earthquake Engineering, Dynamic Effects and Disaster Studies) umgesetzt (Bild 8-1 und Bild 8-2). Mit Hilfe von Ergebnissen aus Modellversuchen und Erfahrungen aus vorherigen Erdbeben wurden verbesserte Konzepte für erdbebensicheres Bauen von nicht-ingenieurmäßigen Gebäuden realisiert. Die Kosten für ein Musterhaus belaufen sich auf umgerechnet 6.000 € (Grundfläche ca. 80 m²) bis 9.000 € (Grundfläche ca. 140 m²).



Bild 8-1 Musterhaus: Außen- und Innenansicht



Bild 8-2 Musterhaus: Aussteifungs- und Anschlussdetails

9 Zusammenfassung und Ausblick

In Indonesien sind teilweise eklatante Unterschiede der Grundvoraussetzungen für den richtigen Umgang mit der Erdbebengefahr vorhanden. Die Existenz von spezifischen Baunormen bezüglich Erdbebenbeanspruchung ist für kleinere Gebäude in ländlichen Regionen von Indonesien nicht entscheidend. Hier ist eher eine konsequente Umsetzung von Detaillösungen und Konzeptionen, welche in diesem Bericht aufgezeigt wurden, von besonderer Bedeutung.

Die sorgfältige Planung und Ausführung von Konstruktionen in Erdbebengebieten ist eine wesentliche Voraussetzung für erdbebensicheres Bauen. Plastisches Verhalten und eine hohe Energiedissipationsfähigkeit sind für die Standfestigkeit des Tragwerks im Erdbebenfall maßgebend. Besonders nicht-ingenieurmäßig errichtete Bauwerke sollten regelmäßig und einfach aufgebaut sein, um Torsionsbeanspruchungen durch Ausmittigkeiten zu vermeiden. Durch Berücksichtigung von Detaillierungsregeln für Verbindungen, Anschlüsse und Aussteifungen ist eine erhöhte Widerstandsfähigkeit im Erdbebenfall problemlos zu erreichen. Anhand von Beispielen wurde aufgezeigt, dass mit relativ einfachen Mitteln eine erdbebensichere Bauweise erreicht werden kann und somit die Auswirkungen eines Bebens minimiert werden.

Mit den aufgezeigten Ansätzen kann mit einfachen Mitteln eine verbesserte, erdbebensichere Bauweise erzielt werden. Der arbeitstechnische und finanzielle Mehraufwand ist in den meisten Fällen nur begrenzt. Durch die Anwendung der dargestellten Regeln für erdbebensicheres Bauen von nicht-ingenieurmäßigen Gebäuden können im Falle eines Erdbebens Schäden begrenzt und menschliches Leben geschützt werden. Der Nutzen infolge der Berücksichtigung dieser Regeln ist, wenn es um Menschenleben und nicht mehr um finanziell erfassbare Werte geht, nicht zu gewichten.

Die Reduzierung seismischer Risiken durch Verstärkung bzw. Erdbebenertüchtigung vorhandener Bauwerke sollte ein weiterer Bestandteil bei Wiederaufbauprojekten in Indonesien sein. Bei leichten Schäden an Gebäuden wurden diese bislang entweder belassen oder lediglich kosmetisch repariert; Verstärkungsmaßnahmen wurden jedoch nur in den seltensten Fällen durchgeführt. Geeignete Ertüchtigungsmaßnahmen sind in den vorangegangenen Kapiteln aufgeführt: vor allem in den Bereichen Anschlüsse und Aussteifungen kann mit einfachen Mitteln eine deutliche Verbesserung der Widerstandsfähigkeit von Bauwerken bei Erdbebenbeanspruchung erzielt werden.

10 Literatur

Blaß, H.J., Fellmoser, P. (2006). Bemessung und Herstellung einer Druckrohrleitung aus Holz zur Wasser- und Energiebewirtschaftung der Höhle Gua Seropan - Verbundprojektantrag. Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Abteilung Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen. Universität Karlsruhe (TH).

Blaß, H.J., Fellmoser, P. (2006). Druckrohrleitungen aus Holz. Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau, Band 3, Universitätsverlag Karlsruhe (ISBN 3-86644-025-1).

Ceccotti, A. (1995). Holzkonstruktionen in Erdbebengebieten - Details. In: Holzbauwerke STEP2 - Bauteile, Konstruktionen, Details. Hrsg.: Blaß, H.J., Görlacher, R., Steck, G. Fachverlag Holz, Düsseldorf.

Consultative Group on Indonesia (2006). Preliminary Damage and Loss Assessment – Yogyakarta and Central Java Natural Disaster. Joint Report from Bappenas, the Provincial and Local Governments of D.I. Yogyakarta, the Provincial and Local Governments of Central Java, and international partners.

Nestmann, F., Oberle, P. (2002). Erschließung und Bewirtschaftung unterirdischer Karstfließgewässer in Mitteljava, Indonesien - Verbundprojektantrag. Institut für Wasser und Gewässerentwicklung, Bereich Wasserwirtschaft und Kulturtechnik. Universität Karlsruhe (TH).

Nestmann, F., Oberle, P. (2006). Integriertes Wasserressourcen-Management in Gunung Kidul, Java, Indonesien - Verbundprojektantrag. Institut für Wasser und Gewässerentwicklung, Bereich Wasserwirtschaft und Kulturtechnik. Universität Karlsruhe (TH).

Meli, R. (1980). Strengthening of Adobe Houses for Seismic Actions. Proceedings, Seventh World Conference on Earthquake Engineering. Istanbul.

Meskouris, K., Hinzen, K.-G. (2003). Bauwerke und Erdbeben. Vieweg Verlag, Wiesbaden (ISBN 3-528-02574-3).

Müller, F.P., Keintzel, E. (1984). Erdbebensicherung von Hochbauten. Zweite, überarbeitete und erweiterte Auflage. Verlag Ernst & Sohn, Berlin (ISBN 3-433-00986-4).

Petersen, Ch. (1996). Dynamik der Baukonstruktionen. Vieweg Verlag Wiesbaden.

Posyanis (2006). Rapid assessment for public building condition in Kabupaten Bantul. Civil Engineering Department. Gadjah Mada University Yogyakarta, Indonesien.

Ramm, E. (1997). Vorlesungsskriptum Baustatik Teil VII. Institut für Baustatik, Universität Stuttgart.

Studer, J.A., Koller, M.G. (2006). Bodendynamik, 3. überarbeitete Auflage. Springer-Verlag (ISBN 3-540-29624-7).

Zeitter, H. (2006). Erdbebenbemessung im Holzbau nach DIN 4149:2005. Tagungsband Ingenieurholzbau Karlsruher Tage - Forschung für die Praxis, Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen, Universität Karlsruhe (TH). Bruderverlag Karlsruhe (Bestell-Nr. 5294).

11 Zitierte Normen

DIN 4149, Ausgabe April 2005. Bauten in deutschen Erdbebengebieten - Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten.

DIN EN 1998-1, Ausgabe April 2006. Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten; Deutsche Fassung EN 1998-1:2004.

EMS-98, Ausgabe 1998. European Macroseismic Scale 1998.

SNI 03-1726, Ausgabe 1989. Guidelines of earthquake-resistant design for house and Building.

SNI 03-1734, Ausgabe 1989. Guidelines of reinforced concrete and reinforced wall design for house and building.

12 Anlagen

Tabelle A1 Kurzfassung der Europäischen Makroseismischen Skala EMS-98

| EMS Intensität | Definition | Beschreibung der maximalen Wirkung |
|----------------|------------------------|---|
| I | nicht fühlbar | Nicht fühlbar |
| II | kaum bemerkbar | Nur sehr vereinzelt von ruhenden Personen wahrgenommen |
| III | schwach | Von wenigen Personen in Gebäuden wahrgenommen. Ruhende Personen fühlen ein leichtes Schwingen oder Erschüttern. |
| IV | deutlich | Im Freien vereinzelt, in Gebäuden von vielen Personen wahrgenommen. Einige Schlafende erwachen. Geschirr und Fenster klirren, Türen klappern. |
| V | stark | Im Freien von wenigen, in Gebäuden von den meisten Personen wahrgenommen. Viele Schlafende erwachen. Wenige werden verängstigt. Gebäude werden insgesamt erschüttert. Hängende Gegenstände pendeln stark, kleine Gegenstände werden verschoben. Türen und Fenster schlagen auf oder zu. |
| VI | leichte Gebäudeschäden | Viele Personen erschrecken und flüchten ins Freie. Einige Gegenstände fallen um. An vielen Häusern, vornehmlich in schlechterem Zustand, entstehen leichte Schäden wie feine Mauerrisse und das Abfallen von z. B. kleinen Verputzteilen. |
| VII | Gebäudeschäden | Die meisten Personen erschrecken und flüchten ins Freie. Möbel werden verschoben. Gegenstände fallen in großen Mengen aus Regalen. An vielen Häusern solider Bauart treten mäßige Schäden auf (kleine Mauerrisse, Abfall von Putz, Herabfallen von Schornsteinteilen). Vornehmlich Gebäude in schlechterem Zustand zeigen größere Mauerrisse und Einsturz von Zwischenwänden. |
| VIII | schwere Gebäudeschäden | Viele Personen verlieren das Gleichgewicht. An vielen Gebäuden einfacher Bausubstanz treten schwere Schäden auf; d.h. Giebelteile und Dachgesimse stürzen ein. Einige Gebäude sehr einfacher Bauart stürzen ein. |
| IX | zerstörend | Allgemeine Panik unter den Betroffenen. Sogar gut gebaute gewöhnliche Bauten zeigen sehr schwere Schäden und teilweisen Einsturz tragender Bauteile. Viele schwächere Bauten stürzen ein. |
| X | sehr zerstörend | Viele gut gebaute Häuser werden zerstört oder erleiden schwere Beschädigungen. |
| XI | verwüstend | Die meisten Bauwerke, selbst einige mit gutem erdbebengerechtem Konstruktionsentwurf und -ausführung, werden zerstört. |
| XII | vollständig verwüstend | Nahezu alle Konstruktionen werden zerstört. |

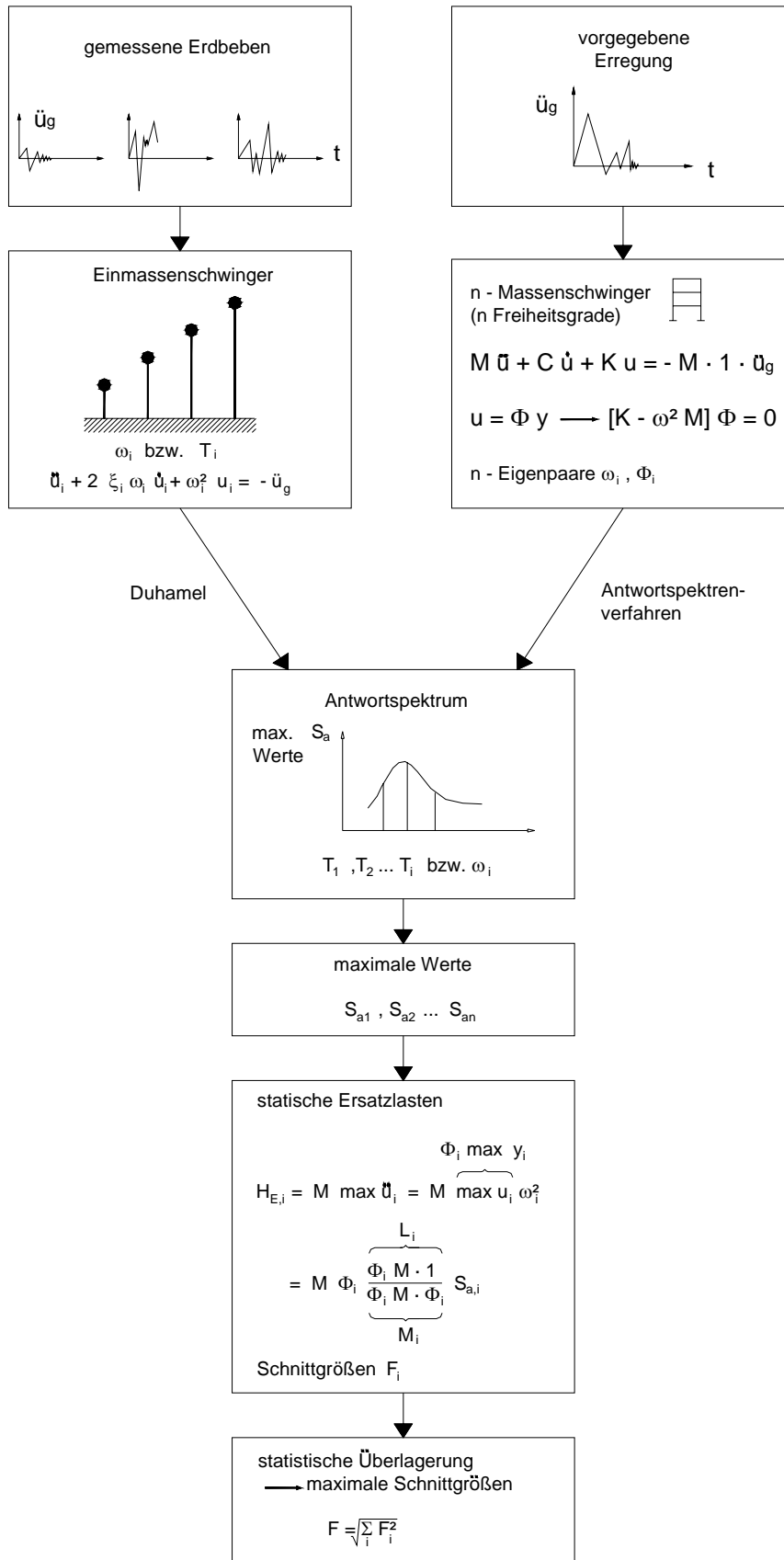


Bild A1 Vorgehensweise für das Antwortspektrenverfahren

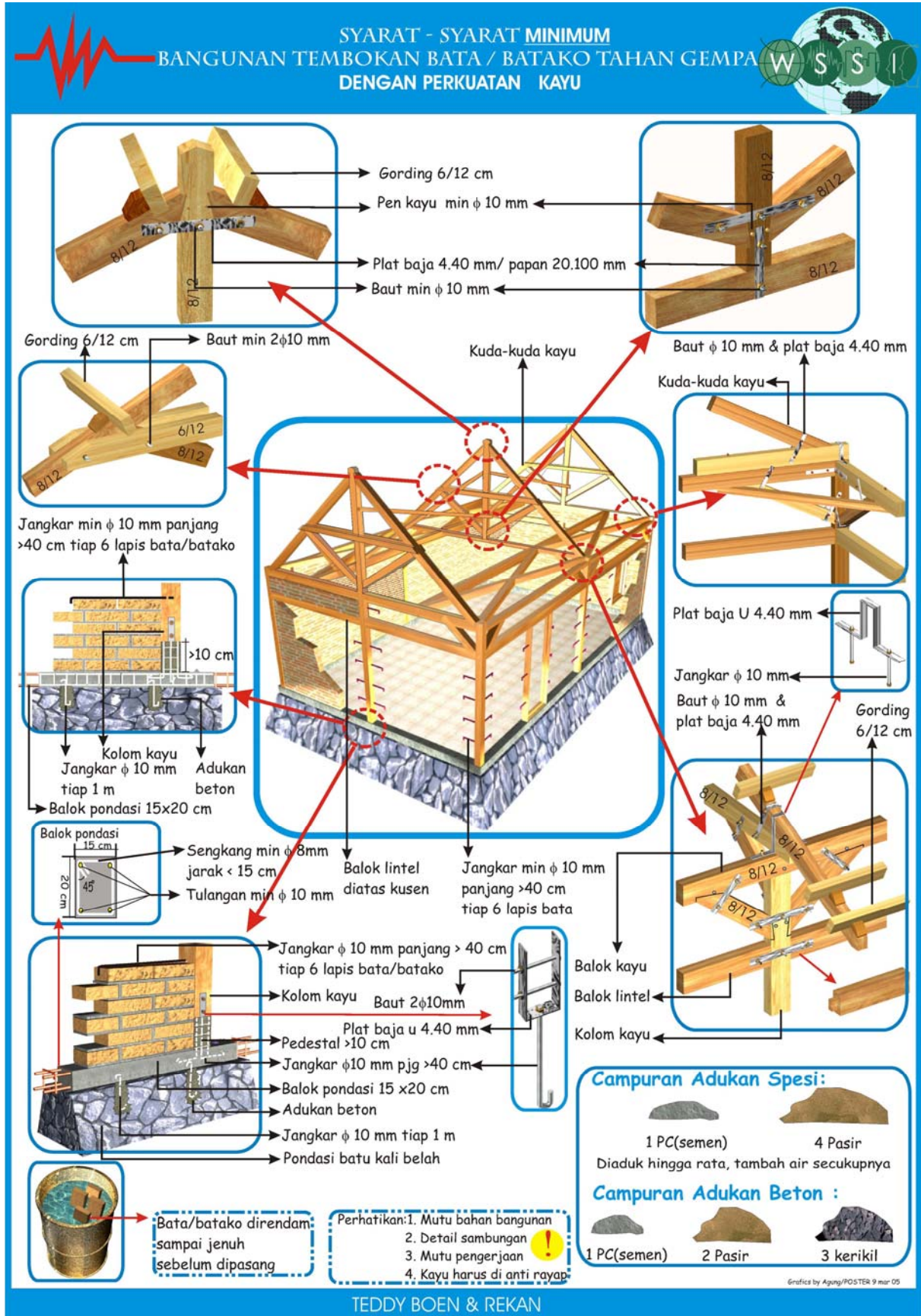

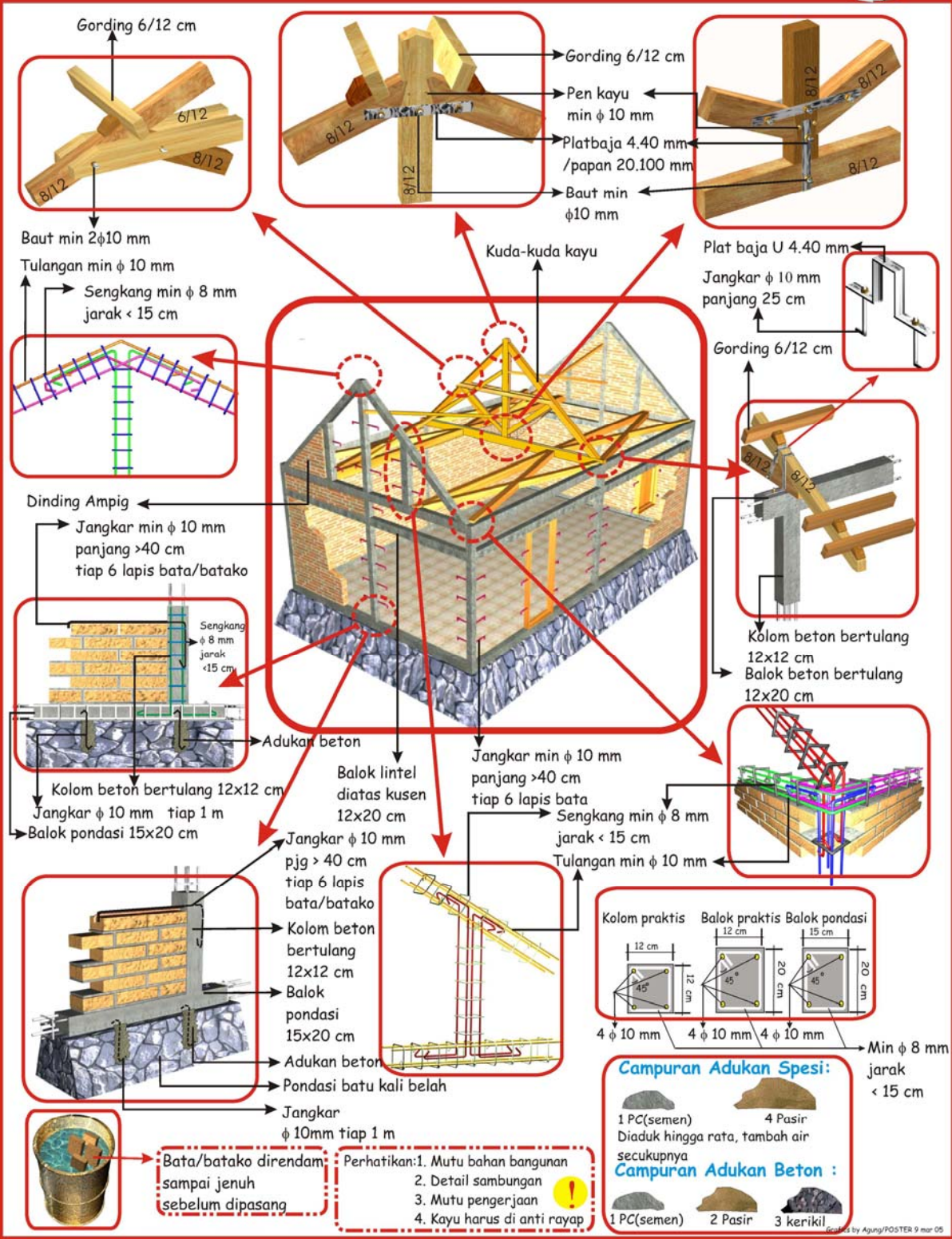


Bild A2 Schulungsunterlagen von Posyanis (Gadjah Mada University)

SYARAT - SYARAT MINIMUM BANGUNAN TEMBOKAN BATA / BATAKO TAHAN GEMPA DENGAN PERKUATAN BETON BERTULANG





Perhatikan!

- Mutu bahan bangunan
- Detail sambungan
- Mutu pengerjaan
- Kayu harus di anti rayap

TEDDY BOEN & REKAN

Bild A3

Schulungsunterlagen von Posyanis (Gadjah Mada University)

SYARAT - SYARAT MINIMUM BANGUNAN PAPAN KAYU TAHAN GEMPA DENGAN PERKUATAN KAYU

Labels and Specifications:

- Roof Structure:**
 - Gording 6/12 cm
 - Pen kayu min ϕ 10 mm
 - Plat baja 4.40 mm/papan 20.100 mm
 - Baut min ϕ 10 mm
 - Kuda-kuda kayu
 - Baut ϕ 10 mm & plat baja 4.40 mm
- Wall Structure:**
 - Rangka dinding memanjang 5x7 cm
 - Papan kayu 3x28 cm
 - Rangka dinding tegak 5x7 cm
 - Pasangan bata 30 cm
 - Balok pondasi 15x20cm
 - Pondasi batu kali belah
 - Rangka dinding 5x7 cm
 - Pasangan bata 30 cm
 - Balok lintel diatas kusen
 - Rangka dinding 5x7 cm
- Foundation and Base:**
 - Balok pondasi 15 cm
 - Senggang min ϕ 8mm jarak < 15 cm
 - Tulangan min ϕ 10 mm
 - Pasangan bata 30 cm
 - Balok beton bertulang 15 x20 cm
 - Adukan beton
 - Jangkar ϕ 10 mm tiap 1 m
 - Pondasi batu kali belah
- Other Components:**
 - Balok kayu
 - Balok lintel
 - Kolom kayu
 - Plat baja U 4.40 mm
 - Jangkar ϕ 10 mm
 - Baut ϕ 10 mm & plat baja 4.40 mm
 - Gording 6/12 cm

Campuran Adukan Spesi:
 1 PC(semen) 4 Pasir
 Diaduk hingga rata, tambah air secukupnya

Campuran Adukan Beton :
 1 PC(semen) 2 Pasir 3 kerikil

Perhatikan!

1. Mutu bahan bangunan
2. Detail sambungan
3. Mutu pengerjaan
4. Kayu harus di anti rayap

Bata/batako direndam sampai jenuh sebelum dipasang

TEDDY BOEN & REKAN

Graphics by Agung/POSTER 9 mar 05

Bild A4

Schulungsunterlagen von Posyanis (Gadjah Mada University)

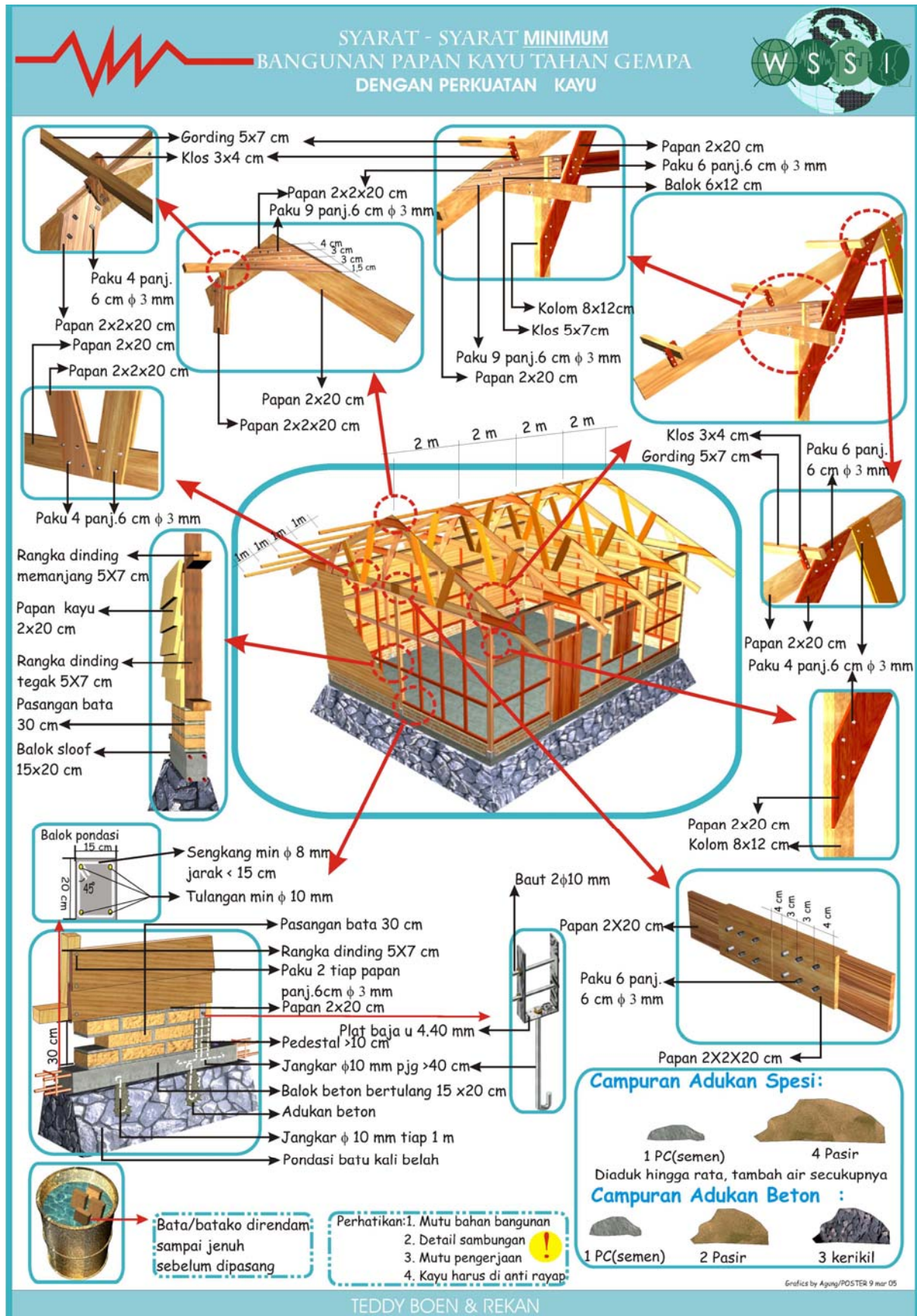

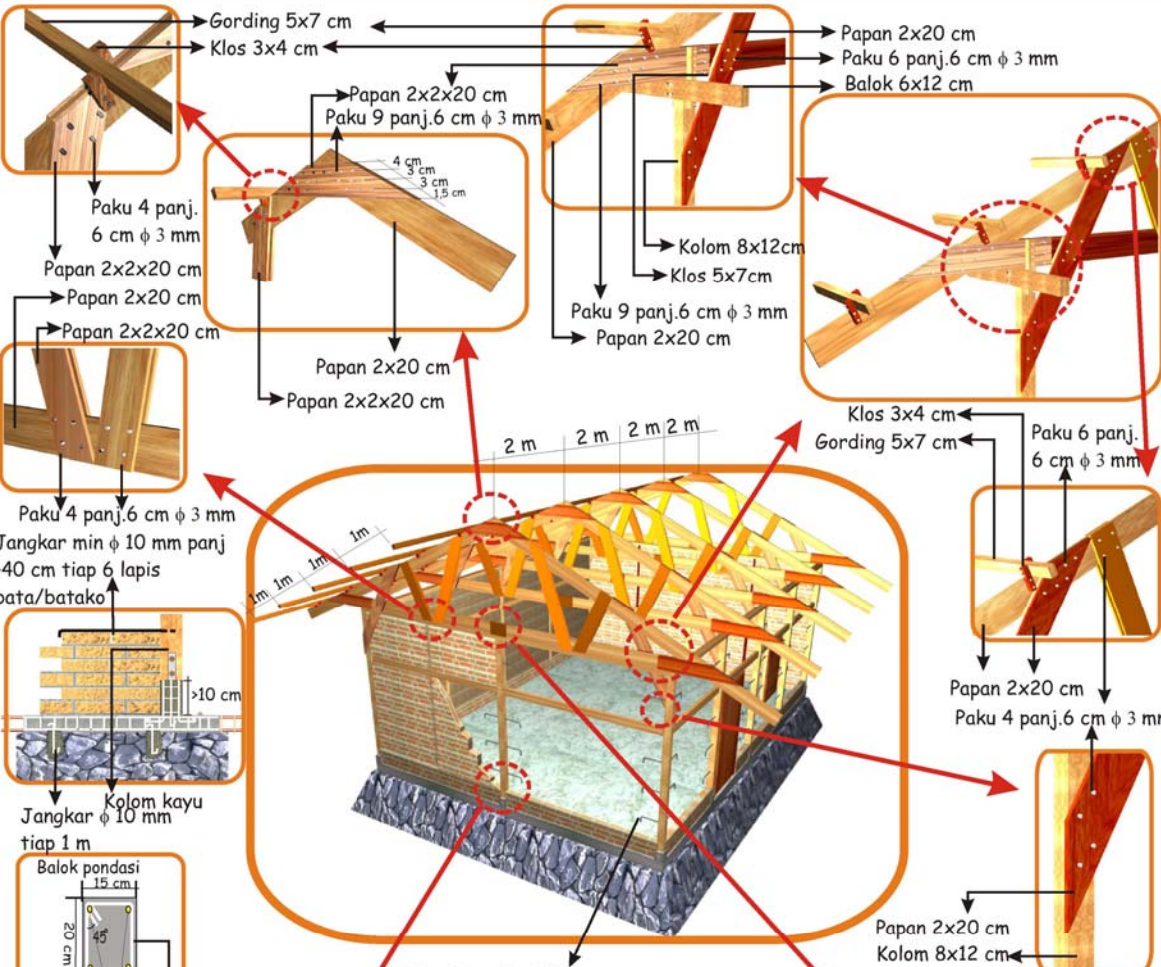


Bild A5 Schulungsunterlagen von Posyanis (Gadjah Mada University)

SYARAT - SYARAT MINIMUM BANGUNAN TEMBOKAN BATA/BATAKO TAHAN GEMPA DENGAN PERKUATAN KAYU





Gording 5x7 cm
Klos 3x4 cm

Paku 4 panj. 6 cm φ 3 mm
Papan 2x2x20 cm
Papan 2x20 cm
Papan 2x2x20 cm

Paku 2x20 cm
Paku 9 panj.6 cm φ 3 mm

Paku 2x20 cm
Paku 9 panj.6 cm φ 3 mm
Papan 2x20 cm

Paku 4 panj. 6 cm φ 3 mm
Jangkar min φ 10 mm panj >40 cm tiap 6 lapis bata/batako

Kolom kayu
Jangkar φ 10 mm tiap 1 m

Balok pondasi 15 cm
20 cm
45°

Tulangan min φ 10 mm
Senggang min φ 8mm jarak < 15 cm

Jangkar φ 10 mm panjang > 40 cm tiap 6 lapis bata/batako
Kolom kayu
Baut 2φ10mm
Plat baja u 4.40 mm
Pedestal >10 cm
Jangkar φ10 mm pjj >40 cm
Balok pondasi 15 x20 cm
Adukan beton
Jangkar φ 10 mm tiap 1 m
Pondasi batu kali belah

Bata/batako direndam sampai jenuh sebelum dipasang

Papan 2x20 cm
Paku 6 panj.6 cm φ 3 mm
Balok 6x12 cm

Kolom 8x12cm
Klos 5x7cm
Paku 9 panj.6 cm φ 3 mm
Papan 2x20 cm

Klos 3x4 cm
Gording 5x7 cm
Paku 6 panj. 6 cm φ 3 mm

Papan 2x20 cm
Paku 4 panj.6 cm φ 3 mm

Papan 2x20 cm
Kolom 8x12 cm

Jangkar min φ 10 mm panjang >40 cm tiap 6 lapis bata
Baut 2φ10 mm

Papan 2X20 cm
Paku 6 panj. 6 cm φ 3 mm
Papan 2X2X20 cm

Campuran Adukan Spesi:
1 PC(semen) 4 Pasir
Diaduk hingga rata, tambah air secukupnya


Campuran Adukan Beton :
1 PC(semen) 2 Pasir 3 kerikil

Perhatikan: 1. Mutu bahan bangunan
2. Detail sambungan
3. Mutu pengerjaan
4. Kayu harus di anti rayap

TEDDY BOEN & REKAN

Grafica by Agung/POSTER 9 mar 05

Bild A6 Schulungsunterlagen von Posyanis (Gadjah Mada University)




YIPD
YAYASAN INOVASI PEMERINTAHAN DAERAH

SYARAT - SYARAT MINIMUM
BANGUNAN TEMBOKAN SATU BATA
(MIN TEBAL 20 CM) TAHAN GEMPA


EDISI JUNI 2006

W S S I


Hubungan T lapisan bata 1



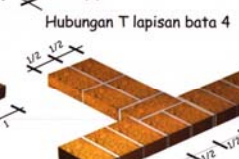
Hubungan T lapisan bata 2

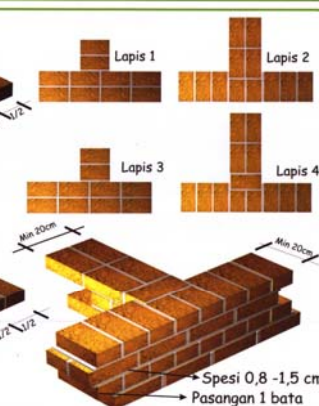


Hubungan T lapisan bata 3



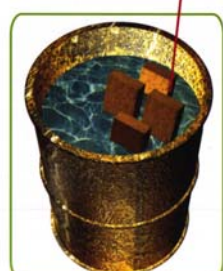
Hubungan T lapisan bata 4



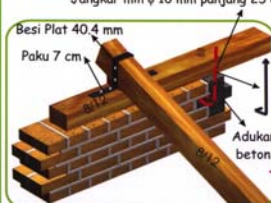


Spesi 0,8 -1,5 cm
Pasangan 1 bata

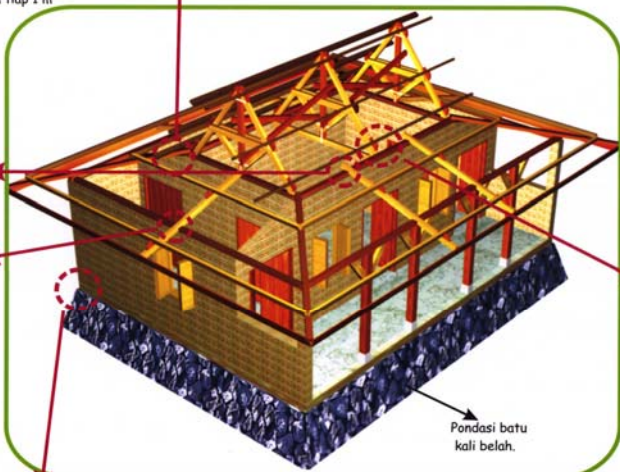
Bata direndam minimum 10 menit sebelum dipasang & harus langsung dipasang.



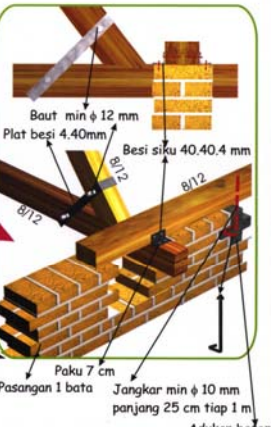
Jangkar min ϕ 10 mm panjang 25 cm tiap 1 m



Besi Plat 40.4 mm
Paku 7 cm
Adukan beton




Pondasi batu kali belah.




Baut min ϕ 12 mm
Plat besi 4.40mm
Besi siku 40.40.4 mm
Paku 7 cm
Jangkar min ϕ 10 mm panjang 25 cm tiap 1 m
Adukan beton


Hubungan L lapisan bata 1




Hubungan L lapisan bata 2

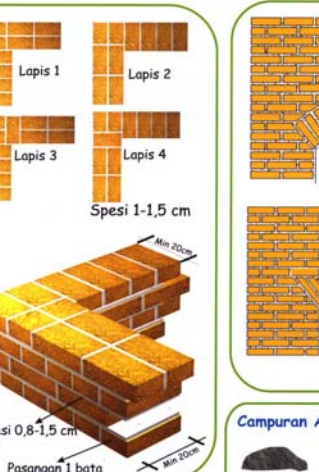


Hubungan L lapisan bata 3

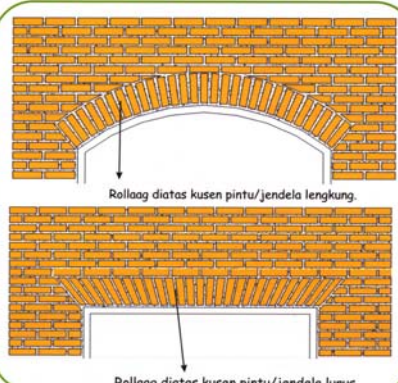


Hubungan L lapisan bata 4





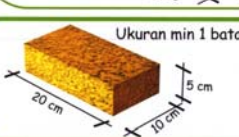
Spesi 1-1,5 cm
Pasangan 1 bata



Rollaag diatas kusen pintu/jendela lengkung.

Rollaag diatas kusen pintu/jendela lurus

Ukuran min 1 bata



20 cm x 10 cm x 5 cm

Perhatikan: 1. Mutu bahan bangunan
2. Mutu pengerjaan
3. Detail sambungan
4. Kayu harus di anti rayap

Campuran Adukan Spesi:


1 PC(semen) 4 Pasir
Diaduk hingga rata, tambah air secukupnya

Campuran Adukan Beton :

1 PC(semen) 2 Pasir 3 kerikil
Kekuatan minimum 150 kg/cm²

Gradasi kerikil harus sesuai untuk beton bermutu.
Jumlah air tidak boleh berlebihan.

Dirancang oleh:
TEDDY BOEN & REKAN



USAID
FROM THE AMERICAN PEOPLE

Disebarluaskan oleh:
YIPD
Jl. Sumatera No.4 Menteng
Jakarta 10350, Indonesia
Telp. +62-21-390 2422, 3918704
Fax. +62-21-31956145
http://www.dipi.or.id

Bild A7 Schulungsunterlagen von Posyanis (Gadjah Mada University)

Im Mai 2006 wurde die Provinz Yogyakarta auf der indonesischen Insel Java von einem schweren Erdbeben erschüttert. Das Beben der Stärke 6,3 auf der Richterskala forderte über 6.000 Todesopfer und zerstörte mehr als 150.000 Gebäude und Einrichtungen.

Das Erdbeben forderte die meisten Todesopfer durch den Einsturz von Gebäuden, die ohne statische Bemessung und ohne Beteiligung von qualifizierten Fachleuten errichtet wurden. Diese Bauwerke sind meist ein- oder zweistöckige Gebäude, die als Mischkonstruktionen ausgeführt wurden.

Im Rahmen des Projektes wurden zunächst die Gebäudeschäden im Katastrophengebiet untersucht. Hierzu wurde eine detaillierte Datenerhebung bezüglich der Schadensarten an Bauwerken vorgenommen. Eine Klassifizierung von Gebäudetypen und Schadensarten ergab Aufschluss über die Widerstandsfähigkeit der Gebäude gegen dynamische Beanspruchungen. Die Ergebnisse der Untersuchungen wurden zu vereinfachten Regeln für eine erdbebensichere Konstruktion von nicht-ingenieurmäßigen Bauwerken zusammengefasst.