



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN

DIPLOMARBEIT

BUILD BACK BETTER (?)

Eine Evaluierung der Wiederaufbautypen
fünf Jahre nach dem Erdbeben auf Lombok

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades

eines Diplom-Ingenieurs / Diplom-Ingenieurin

unter der Leitung von

Senior Scientist Dipl.-Ing.in Dr.in Herbig Ulrike

E251-01 - Forschungsbereich Baugeschichte und Bauforschung

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Architektur und Raumplanung

von

Julia Weißenböck, BSc

1126322

Wien, November 2023

Kurzfassung

Erdbeben sind eines der verheerenden natürlichen Phänomene, die sowohl Menschenleben als auch materielle Schäden verursachen können. Indonesien gehört zu einer der am stärksten von Erdbeben betroffenen Ländern der Welt. Daher ist es von großer Wichtigkeit erdbebensicher in Indonesien zu bauen.

Die kleine Sundainsel Lombok war 2018 von katastrophalen Erdbeben betroffen, deren Zerstörungskraft verheerende Spuren hinterließ. Im Zuge einer Forschungsreise wird die jetzige Situation, fünf Jahre nach dem Erdbeben evaluiert und die Lebenssituation der Bevölkerung in den betroffenen Regionen ergründet. Um für Indonesien eine erdbebensichere Bebauung zu gewährleisten wurden standardisierte Lösungen für Wiederaufbautypen entwickelt. In den meisten Fällen steht ein wichtiges Thema im Vordergrund: die rasche Implementierung modularer Aufbauprojekte, die ebenso erdbebensicher wie zügig vorstattengehen sollen. Doch ob im Zuge dieser Bemühungen die singuläre Individualität eines jeden Betroffenen gänzlich hintangestellt werden kann, stellt sich als berechtigte Frage dar.

Es ist von unermesslicher Tragweite die Behausungen auf Indonesien erdbebensicher zu gestalten und der Bevölkerung Sicherheit und Geborgenheit in ihrem eigenen zu Hause zu verleihen. Allerdings sollte auch die Wichtigkeit des Komforts und des Wohlbefindens der Menschen nicht unbeachtet werden. Hieraus erwächst die wegweisende Forschungsfrage:

„Build Back Better?“ – In welchem Maß vermögen die Wiederaufbauten der erdbebensicheren Prämisse zu genügen, während sie zugleich den Bedürfnissen der ortsansässigen Bevölkerung entsprechen?

Abstract

Earthquakes are one of the devastating natural phenomena that can cause both loss of human lives and significant material damage. Indonesia is among the countries most severely affected by earthquakes globally. Consequently, it is crucial to develop and implement earthquake-resistant construction practices in Indonesia.

The small Indonesian island of Lombok experienced catastrophic earthquakes in 2018, leaving a trail of immense destruction. In the course of a research expedition, the current situation, five years after the earthquake, is being evaluated, and the living conditions of the affected population in the region are being examined. To ensure earthquake-resistant construction in Indonesia, standardized solutions for reconstruction types have been developed. In most cases, a crucial theme takes precedence: the rapid implementation of modular construction projects that should be earthquake-resistant and swift. However, the legitimate question arises as to whether, in the course of these efforts, the unique individuality of each affected individual can be entirely disregarded.

Ensuring earthquake-resistant dwellings in Indonesia and providing the population with safety and security in their own homes are of immeasurable importance. Nevertheless, the significance of people's comfort and well-being should not be overlooked. From this arises the pivotal research question:

“Build Back Better?” – To what extent can the reconstructions adhere to the earthquake-resistant premise while simultaneously meeting the needs of the local population?

Inhaltsverzeichnis

I. Einleitung	10
A. Topographie Indonesien	10
1. Indonesien allgemein	10
2. Spezifisches Forschungsgebiet Java	22
3. Spezifisches Forschungsgebiet Lombok	26
B. Klima Indonesien	29
1. Allgemein	29
2. Spezifisches Forschungsgebiet Java	32
3. Spezifisches Forschungsgebiet Lombok	34
C. Kurze Geschichte Indonesiens	36
1. Vorkolonialzeit	36
2. Kolonialzeit	41
3. Unabhängigkeit	42
II. Generelles Verständnis Erdbebensicheres Bauen	44
A. Allgemeines Verständnis Erdbeben	44
1. Geologie und Tektonik	44
2. Erdbebenaufzeichnung und -messung	48
B. Seismische Region „Ring of Fire“, Indonesien	52
1. Geologie und Tektonik	52
2. Gefahrenzonen und aktive Verwerfungen Indonesiens	53
C. Konstruktionsprinzipien	54
1. Auswirkung der Erdbeben auf den Untergrund	54
2. Auswirkung der Erdbeben auf Bauwerke	56
2.1 Gebäudeform und Fugen	56
2.2 Tragwiderstand und Duktilität	58
2.3 Tragwerk: Aussteifungen und Anschlüsse	59
2.4 Gründung	60

III. Die Frage der Individualität einer standardisierten erdbebensicheren Bebauung	62
A. Bauliche Anforderung einer standardisierten erdbebensicheren Bebauung versus Bedürfnisse nach Individualität	63
1. Vorstellung einer standardisierten erdbebensicheren Bebauung – Fallbeispiel Rumah Instant RISBA	63
2. Ausländische Planer – Fallbeispiel Rumah Domes auf Java	70
3. Indonesische Experten – Fallbeispiel „core house“ auf Java	78
4. Traditionelle Prinzipien – Fallbeispiel „Bale Tani“ Sasak Haus auf Lombok	84
B. Resultierende Erkenntnisse der Fallbeispiele	90
IV. „BUILD BACK BETTER?“ Lombok fünf Jahre nach der Katastrophe	92
A. Überblick Ereignis 2018	92
1. Geologie und Tektonik	92
B. Antwort Wohnbau	96
1. Vorstellung <i>Rumah Instan</i>	96
1.1 RISBA – Instant Steel Frame House	96
1.2 RISHA – Simple Health Instant House	97
1.3 RIKO – <i>Rumah</i> Instant conventional	100
1.4. RIKA – <i>Rumah</i> wooden instant house	102
2. Ablauf Wiederaufbau	104
3. Ausführung und Baufehler	107
4. Wunsch nach Individualität	110
4.1. Gebiet Pemenang	112
4.2. Gebiet Rempok	122
4.3. Gebiet Lepeloang	126
5. Ortsbild	128
C. Antwort Schulen	146
1. Lösungsvorschläge indonesische Experten (Prinzip Risba)	147
2. Lösungsvorschläge Regierung (Stahlbetonschulen)	150
3. Lösungsvorschläge ausländischer Planer (Block school, bamboo school)	154
V. Kritik und Ausblick	164
A. „BUILD BACK BETTER?“	164
1. Gegenüberstellung der Maßnahmen auf ihre Wirksamkeit & Wohnsituation der Bevölkerung	164
2. Lombok Maßnahmen der Verbesserung	166
3. Verbesserungsvorschläge und Résumé	168
VI. Bibliographie	170

Einleitung

Indonesien liegt am pazifischen Feuerring, einem aktiven tektonischen Bereich, und wird daher regelmäßig von Erdbeben heimgesucht. Diese seismischen Aktivitäten beeinflussen sowohl die Infrastruktur als auch die Lebensbedingungen der Bevölkerung, was Indonesien zu einem zentralen Fokus in der Erdbebenforschung macht.

Die Katastrophe auf Lombok im Jahr 2018 fungiert als ein markantes Beispiel für die verheerenden Auswirkungen solcher Phänomene. Während der unmittelbare Schaden messbar und greifbar ist, bergen die Langzeitfolgen und deren Bewältigung eine weitreichende Komplexität. In Reaktion auf solche Katastrophen werden von indonesischen Experten standardisierte Lösungen und Ansätze für den Wiederaufbau entwickelt, die vorrangig das Ziel haben, in kürzester Zeit maximale Sicherheit zu gewährleisten. Diese Bemühungen stellen unzweifelhaft einen zentralen Pfeiler der Katastrophenreaktion dar. Dennoch darf dabei nicht außer Acht gelassen werden, dass die Menschen, die von diesen Katastrophen betroffen sind, nicht nur physische Sicherheit, sondern auch eine Berücksichtigung ihrer kulturellen, sozialen und individuellen Bedürfnisse benötigen.

Vor diesem Hintergrund wird in der vorliegenden Arbeit der Fokus auf die Beurteilung der Wiederaufbautypen nach dem Erdbeben von Lombok gelegt. Es soll hinterfragt werden, inwieweit der Grundsatz „Build Back Better“ tatsächlich umgesetzt wird. Es gilt, zu ergründen, ob es gelingt, die Balance zwischen erdbebensicherem Bau und den individuellen Bedürfnissen der Bevölkerung herzustellen. Die zentrale Forschungsfrage, die diese Arbeit leitet, ist daher: „Build Back Better?“ - Können die Wiederaufbauten wirklich den Anforderungen einer erdbebensicheren Architektur gerecht werden, während sie gleichzeitig den spezifischen Bedürfnissen der lokalen Gemeinschaft entsprechen?

Forschungsfragen

- a. Welche architektonischen und konstruktiven Merkmale wurden in den standardisierten Wiederaufbautypen auf Lombok implementiert, um erdbebensicheres Bauen zu gewährleisten?
- b. Welche Auswirkungen hatten die standardisierten Wiederaufbauten auf die Lebensqualität und das Wohlbefinden der lokalen Bevölkerung?
- c. Inwieweit konnten die standardisierten Wiederaufbautypen den Bedürfnissen und kulturellen Präferenzen der Menschen auf Lombok gerecht werden?
- d. Welche Lehren können aus dem Wiederaufbauprojekt auf Lombok für zukünftige erdbebensichere Bauprojekte in Indonesien und anderen erdbebengefährdeten Regionen gezogen werden?

Darlegung des Forschungsstandes

Der Stand der Forschung im Bereich der standardisierten Wiederaufbautypen nach verheerenden Erdbeben in Indonesien hat sich in den letzten Jahren erheblich weiterentwickelt, insbesondere in Reaktion auf Ereignisse wie das Erdbeben in Yogyakarta im Jahr 2006, und das Erdbeben auf Lombok im Jahr 2018. Diese Katastrophen haben die Dringlichkeit und Bedeutung erdbebensicherer Wiederaufbaumaßnahmen verdeutlicht.

Verschiedene indonesische Experten und Organisationen, wie die Gadjah Mada Universität (UGM) in Yogyakarta, Java mit den Experten, Professor Ikaputra mit seiner Mitentwicklung des „Core House“ sowie der standardisierte Wiederaufbautyp „*Rumah Instan RISBA*“ unter der Leitung von Professor Saputra, haben innovative Wiederaufbaukonzepte entwickelt.

Diverse Literatur zu den Wiederaufbaumaßnahmen nach dem Erdbeben auf Lombok wie von Pribadi (2020), Sunarti (2021), Lines (2022) und Rumbabi (2023) oder über Konzepte und Entwicklungen des Schulbaus von Asmirza (2020), Barkhausen (2021)⁰ beschäftigen sich über die Wohnsituation nach dem Erdbeben auf Lombok 2018.

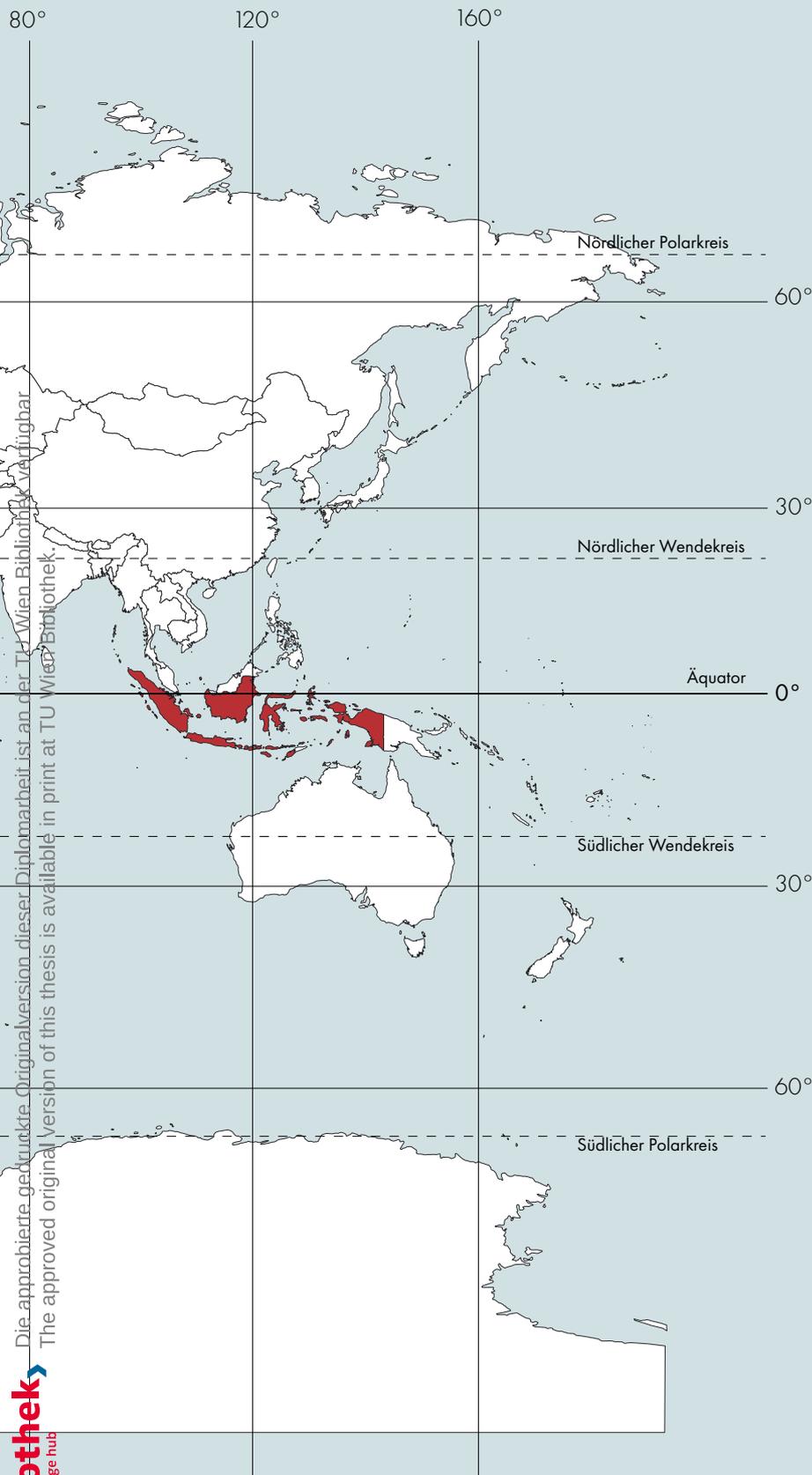
Die Erkenntnisse, die von den Experten der UGM gewonnen wurden, sowie bereits vorhandene Forschungsergebnisse, dienen als wesentliche Grundlage für die Evaluierung und Weiterentwicklung des erdbebensicheren Bauwesens in Indonesien im Rahmen dieser Studie.

⁰ weitere Literatur ist in der Bibliographie vermerkt

Methodik

Im Zuge einer dreimonatigen Forschungsreise, zusammen mit meinem Kollegen Philipp Petschenig, nach Indonesien wurden die Gebiete Yogyakarta, Bandung, Cianjur und Lombok analysiert. Es wurde eine gründliche Feldarbeit mittels Interviews mit indonesischen Experten an der Gadjah Mada Universität in Yogyakarta, Java und mit der lokalen Bevölkerung vor Ort durchgeführt. Philipp Petschenig konzentriert sich in seiner Arbeit auf den Disaster-Management-Cycle, der aus verschiedenen Phasen besteht. Die erste Phase umfasst die Vorsorge und Gefahrenidentifikation von einem Erdbeben und wurde in Bandung, Java, untersucht. In der zweiten Phase konzentrierte er sich auf den frühen Wiederaufbau unmittelbar nach einem Erdbeben, wofür Cianjur, Java erforscht wurde. Die letzte Phase zeigt den Wiederaufbauprozess, fünf Jahre nach dem Erdbeben, auf Lombok. Darüber widmet sich meine Arbeit einer eingehenden Untersuchung der Situation fünf Jahre nach dem Erdbeben auf Lombok, wobei der Schwerpunkt auf der Analyse der Wiederaufbaumaßnahmen und den daraus resultierenden Ereignissen liegt. Während unserer Forschungsreise und der Evaluierung dieser Gebiete konnten wir den einführenden Teil (Einleitung und generelles Verständnis erdbebensicheres Bauen) unserer Arbeit gemeinsam erfassen und somit die Grundlage für unsere Diplomarbeit legen.





I. Einleitung

A. Topographie Indonesien

1. Indonesien allgemein

Indonesien ist ein Inselstaat Südostasiens. Er liegt geografisch zwischen Australien und dem asiatischen Kontinent und teilt den Indischen Ozean mit dem Pazifik am Äquator. Mit einer Fläche von rund 1,9 Millionen Quadratkilometern und seinen über 17.000 Inseln ist Indonesien das größte Inselreich der Welt. Die West-Ost Ausdehnung Indonesiens beträgt 5.110 km, deren Länge auf Europa übertragen, von Ost Spanien bis zum Ural reichen würde. Von Nord nach Süd erstreckt sich Indonesien auf etwa 1.900 km. Aufgrund der großen Anzahl an Inseln weist Indonesien eine beeindruckende topographische Vielfalt auf. Die Inseln können grob in sechs Hauptgruppen unterteilt werden: Sumatra, Java, Kalimantan, Sulawesi, die kleinen Sundainseln und Westpapua. (<https://de.statista.com/themen/1329/indonesien/>)

Abbildung 1:
Indonesien im weltlichen Kontext
„Indonesien ist der größte
Inselstaat der Welt“

Jede dieser Inseln hat ihre eigenen geografischen Merkmale. Zum Beispiel besteht Kalimantan hauptsächlich aus dichtem Regenwald und Flusssystemen, während Sumatra von einer bergigen Landschaft geprägt ist, einschließlich des höchsten Vulkans Indonesiens des Mount Kerinci. Java, die bevölkerungsreichste Insel Indonesiens weist sowohl vulkanische Gebirgszüge als auch fruchtbare Ebenen auf. Sie beherbergt bedeutende Städte wie die Hauptstadt Jakarta, das Kulturzentrum Yogyakarta, Surabaya und Bandung. Die kleinen Sundainseln darunter, Bali, Lombok, Sumbawa, Flores und Timor, variieren von vulkanischen Bergen bis hin zu flachen Küstenebenen. Bali ist bekannt für malerische Reisterrassen und Strände während Lombok den zweithöchsten Vulkan Indonesiens, den Mount Rinjani, beherbergt. (vgl. Schulze 2002)

„Von Nord nach Süd, zwischen Bali und Lombok sowie Borneo und Sulawesi, führt durch Indonesien eine Faunengrenze. Westlich dieser sogenannten Wallace-Linie lebt eine asiatische Fauna, östlich davon, nach einer Wallacea genannten Übergangszone, die australische Fauna.“ (Schulze, 2002, S.9)

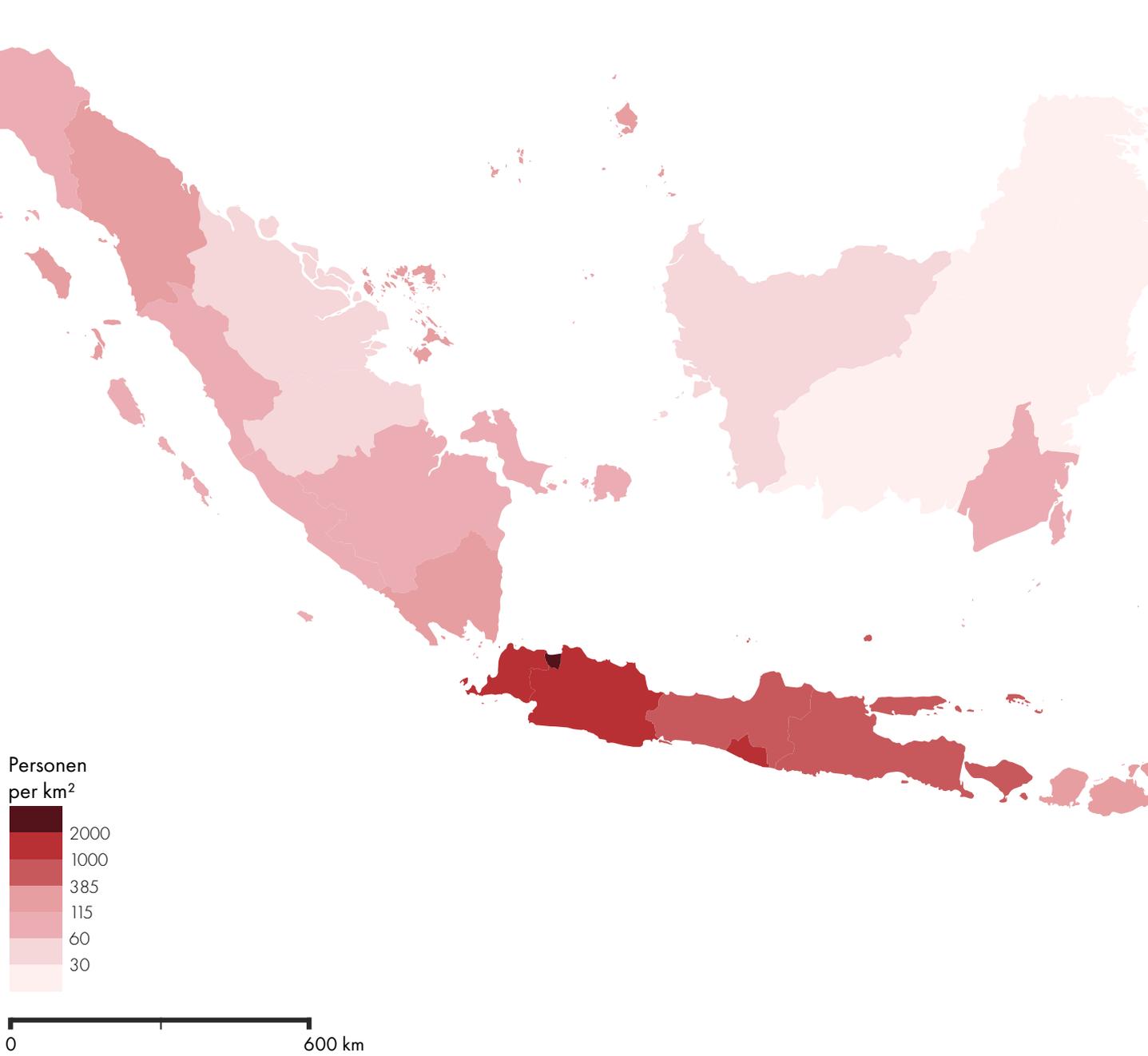
Indonesien ist mit seinen 276 Millionen Einwohnern das viert bevölkerungsreichste Land der Welt. Java die bevölkerungsreichste Insel Indonesiens ist auch die am dichtesten besiedelte Region des Landes. Etwa sechzig Prozent der indonesischen Bevölkerung leben auf Java. Obwohl die Insel nur sieben Prozent der Landfläche Indonesiens ausmacht. Die Provinzen Westjava, Zentraljava und Ostjava sind die bevölkerungsreichsten und urbanisiersten Gebiete des Landes.

(<https://www.auswaertiges-amt.de/de/service/laender/indonesien-node/innenpolitik/212438/>)

Im Gegensatz dazu gibt es auch Gebiete in Indonesien welche sehr dünn besiedelt sind, insbesondere in entlegenen Bergregionen, Inseln und ländlichen Gebieten. Etwa Ostindonesien wie die Molukken oder Westpapua sind durch ihre schwere Zugänglichkeit wesentlich geringer besiedelt sowie weniger wirtschaftlich entwickelt



Abbildung 2:
Hauptinseln Indonesien
„Jede dieser Inseln hat ihre eigene
geografischen Merkmale“



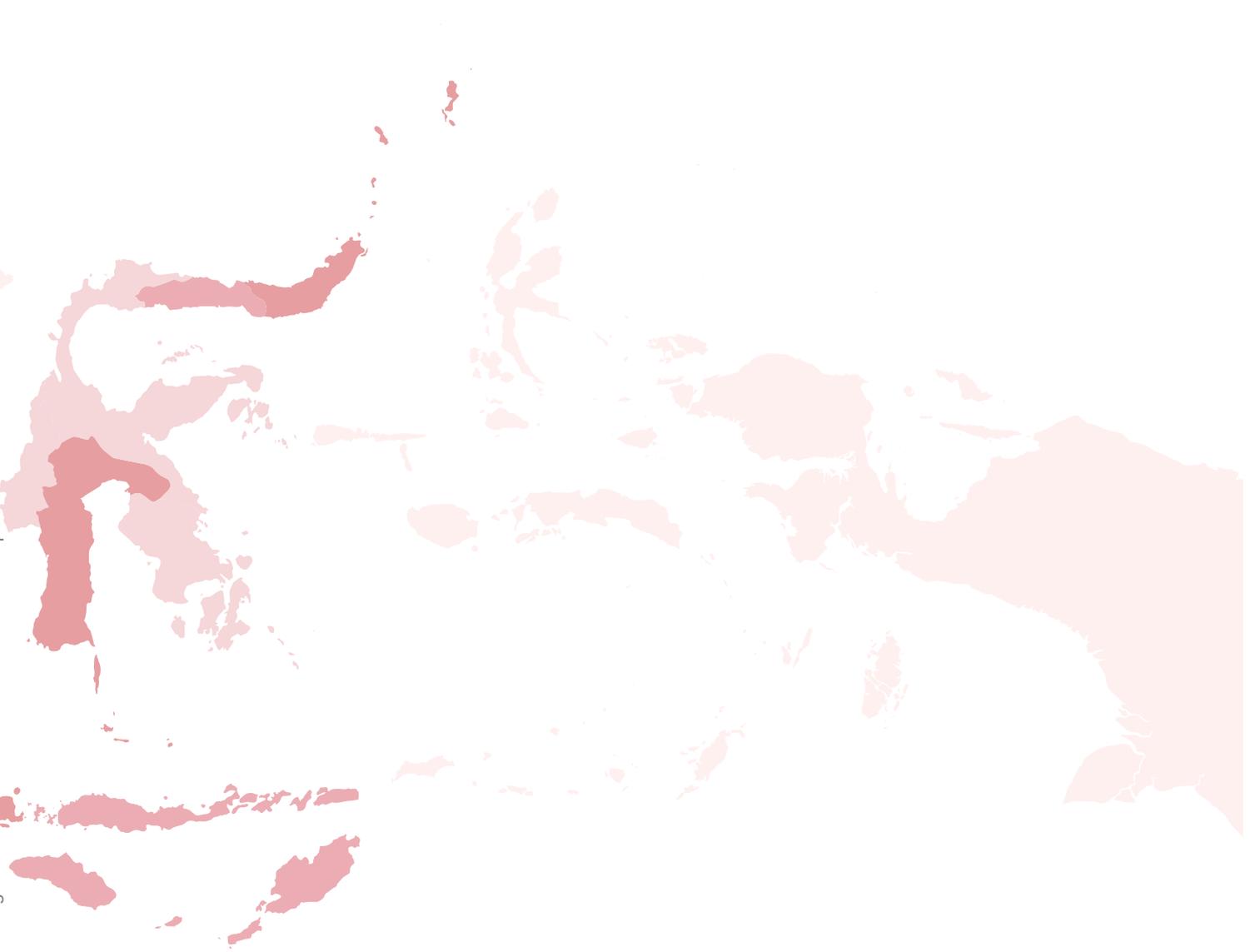


Abbildung 3:
Bevölkerungsdichte Indonesien
„Enorme Unterschiede der
Bevölkerungsdichte Indonesiens“



Ethnisch betrachtet besteht Indonesien aus einer enormen Vielzahl an Gruppen. Die größte ethnische Gruppe bilden die Javaner*innen¹, gefolgt von den Sundanes*innen², den Batak*innen³, den Maduresen*innen⁴, Malaien*innen⁵ und den Minangkabau*innen.⁶

Viele dieser über dreihundert verschiedenen ethnischen Gruppen haben ihre eigenen Sprachen sowie kulturelle Traditionen. Die landesweite Sprache, Bahasa Indonesia verbindet jedoch das gesamte Archipel. Indonesien ist das größte muslimische Land der Welt. Der Großteil der Bevölkerung ist muslimisch, es gibt jedoch auch bedeutende hinduistische, buddhistische, christliche und traditionelle religiöse Gemeinschaften.



¹Javaner*innen sind eine ethnische Gruppe auf Java

²Sundanes*innen sind eine ethnische Gruppe im westlichen Teil der Insel Java

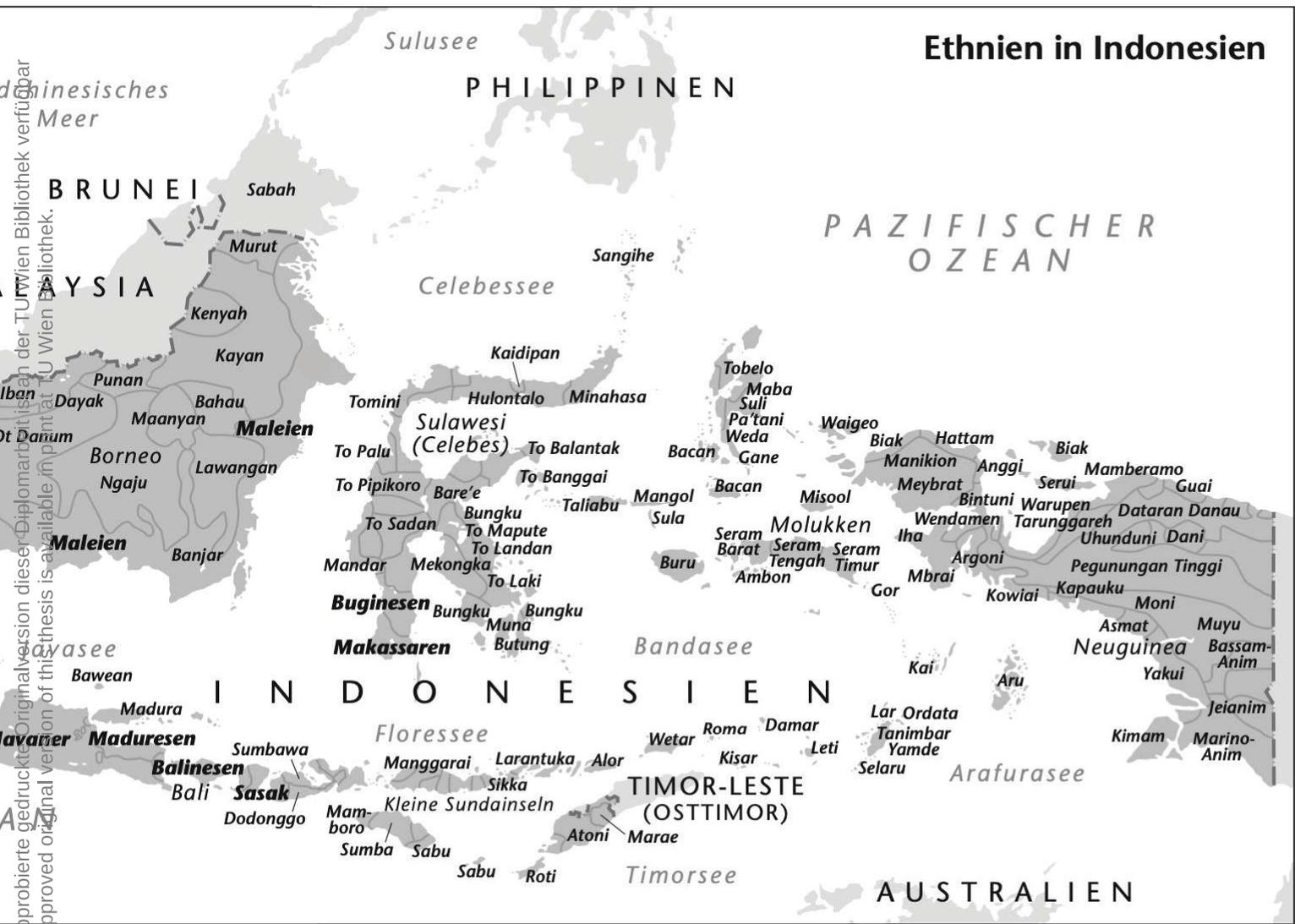
³Batak*innen sind eine ethnische Gruppe auf der Insel Sumatra

⁴Madures*innen sind eine ethnische Gruppe auf Madura, nordöstlich von Java und auf Ostjava

⁵Malaien*innen sind eine ethnische Gruppe auf Ostsumatra und Kalimantan

⁶Minangkabau*innen sind eine ethnische Gruppe auf Südwestsumatra

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.



Ethnien in Indonesien

Abbildung 4:
Ethnien in Indonesien
„Über 300 verschiedene
ethnische Gruppen“



Vorherrschende Religionen

-  Muslime Mehrheit
-  Christliche Mehrheit
-  Hindusitische Mehrheit

0 600 km



Abbildung 5:
Religionen in Indonesien
„Indonesien ist das größte
muslimische Land der Welt“





Aufgrund seiner geografischen Lage im pazifischen Feuerring, welcher durch die Bewegung von tektonischen Platten die die Erdoberfläche bilden entsteht, ist Indonesien von verschiedenen natürlichen Gefahren betroffen, wie besonders hohe seismische Aktivitäten, Vulkanausbrüche, Tsunamis, Überschwemmungen und Erdbeben. Indonesien ist bekannt für seine beeindruckende Anzahl aktiver Vulkane. Tatsächlich beherbergt Indonesien die meisten Vulkane weltweit. Es wird geschätzt, dass es über 130 aktive Vulkane in Indonesien gibt, circa zehn Prozent aller aktiver Vulkane auf der Erde. Die hohe Anzahl an Vulkanen birgt sowohl Herausforderungen als auch Chancen. Ausbrüche und die damit verbundenen Gefahren bedeuten ein hohes Risiko für die Bevölkerung gleichzeitig begünstigen sie jedoch auch fruchtbare Böden für die Landwirtschaft und sind ein touristisches Highlight.

(<https://www.eskp.de/naturgefahren/forschungsthema-naturgefahren-in-indonesien-935728/>)

Abbildung 6:
Vulkane in Indonesien
„Über 130 aktive Vulkane im gesamten Archipel“

2. Spezifisches Forschungsgebiet Java

Java ist mit über 152 Millionen Einwohner, die bevölkerungsreichste und am dichtesten besiedelte Insel der Welt. Die Mehrheit der indonesischen Bevölkerung lebt auf Java, auf nur sieben Prozent der gesamten Landfläche und der Großteil der Bevölkerung Javas lebt noch immer auf dem Land, doch die Städte sind rasant gewachsen. Die größten Städte sind Jakarta, Bandung, Semarang, Surabaya, Surakarta und Yogyakarta. In den südlichen Zentralebenen und der nördlichen Ebene ist die ländliche Bevölkerungsdichte am höchsten.

Die indonesische Insel Java befindet sich südöstlich von Malaysia und Sumatra sowie südlich von Kalimantan und westlich von Bali. Java wird in drei Provinzen unterteilt: West Java (Jawa Barat), Zentral Java (Jawa Tengah) und Ost Java (Jawa Timur).

Java erstreckt sich von Ost nach West ungefähr auf einer Länge von 1064 km und einer Breite von 100 km in der Mitte bis zu mehr als 160 km an den beiden Enden.

Das zentrale Merkmal der Topographie von Java sind die vulkanischen Gebirge die sich im javanischen Becken ⁷ befinden. Es erstreckt sich von Westen nach Osten und bildet die Wirbelsäule der Insel. Mehrere der höchsten Vulkane Indonesiens sind hier zu finden. Darunter der höchste Vulkan der Insel Mount Semeru mit einer Höhe von 3.676 Metern. Unter den 18 aktiven Vulkanen der Insel befinden sich unter anderem der Mount Bromo und Mount Merapi, welcher zu den gefährlichsten Vulkane Indonesiens zählt.

(<https://www.britannica.com/place/Java-island-Indonesia>)



⁷Javanischen Becken auch als Sunda Becken oder Sunda Depression bekannt befindet sich in der Mitte der Insel Java, Indonesien.



Abbildung 7:
Forschungsgebiet Java
Karte Südostasien



Im Norden und Süden Javas erstrecken sich Küstenebenen, welche sehr dicht besiedelt sind und der Anbau von Reis, welcher das Hauptnahrungsmittel Indonesiens ist, überall angebaut wird. Umso mehr man Richtung Westen fährt, dominieren Hügellandschaften und Flüsse. Der Boden ist sehr fruchtbar und der Anbau von Kaffee, Tee und Gewürzen spielt eine sehr wichtige landwirtschaftliche Rolle. (vgl. Schulze 2015)

Zu Java gehören drei große ethnische Gruppen, die vorherrschenden Javaner*innen, die Sundanes*innen und die Madures*innen, sowie zwei kleinere Gruppen, die Tenggeres*innen und die Badui*innen. Etwa siebzig Prozent der Bevölkerung Javas sind Javaner*innen, welche hauptsächlich in den zentralen und östlichen Teilen der Insel leben. Die Sundanes*innen befinden sich hauptsächlich im Westen, während die Madures*innen im Osten und auf der Insel Madura leben. Alle drei Gruppen sprechen eigene Sprachen und die meisten sind Muslime.

(<https://www.britannica.com/place/Java-island-Indonesia>)

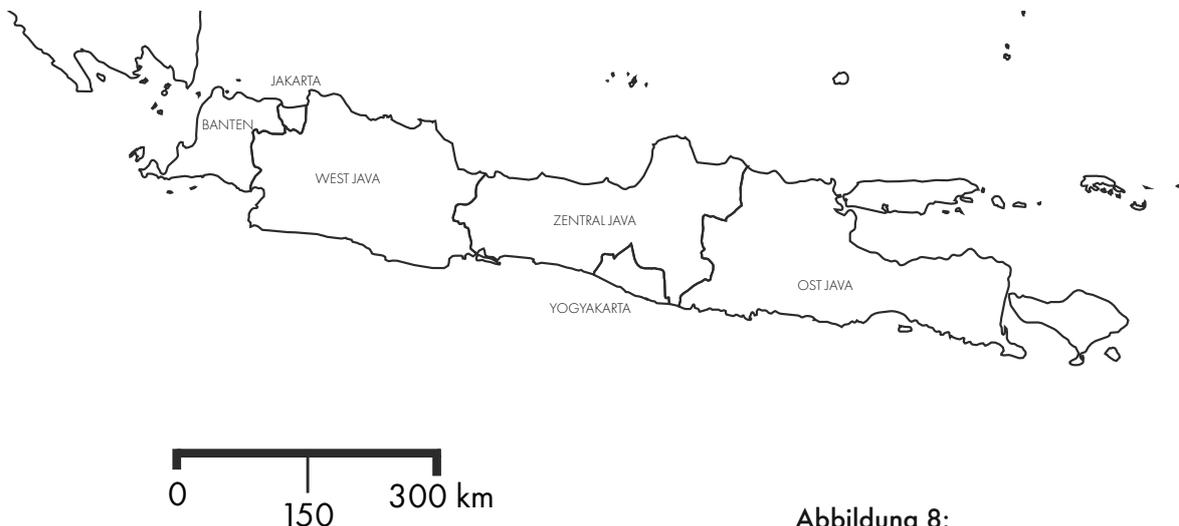


Abbildung 8:
Großstädte auf Java



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Abbildung 9:
Hügellandschaften mit fruchbaren Böden für Reisanbau etc.; im Westen von Java

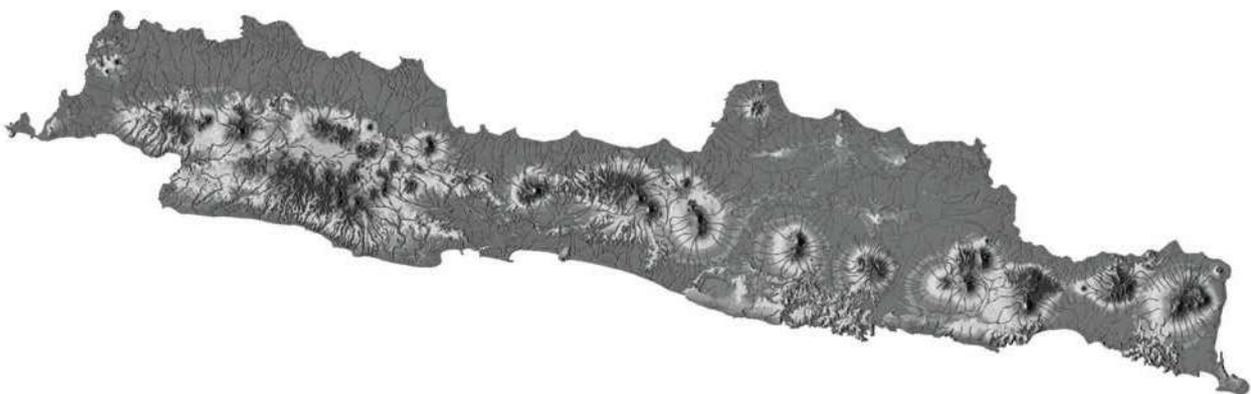


Abbildung 10:
Java Gebirge



3. Spezifisches Forschungsgebiet Lombok

Die Insel Lombok gehört zu den kleinen Sundainseln⁸ und liegt in der Provinz *Nusa Tenggara Barat*⁹, östlich von der touristischen Insel Bali und westlich von Sumbawa. Im Norden von Lombok erstreckt sich die Javasee und im Süden der Indische Ozean.

Die Insel weist eine Fläche von 5.435 Quadratkilometer auf und wird auf ihre gesamte Länge von zwei Gebirgsketten geteilt. Auf der einen Seite erstreckt sich die südliche Kette, eine Reihe von Kalksteinhügeln mit einer Höhe von 716 Metern und auf der anderen Seite ragt im Norden von Lombok der zweit größte Vulkan, Mount Rinjani, mit einer Höhe von 3.726 Metern. Die Insel ist aus vulkanischem Ursprung und ist von kleinen weiteren Inseln umgeben, sowie deren bekanntesten im Nordwesten, die Gili Inseln (Gili Trawangan, Gili Air und Gili Meno).

Zwischen Bali und Lombok liegt die „*Selat Lombok*“, die Lombokstraße, welche die Bali-See im Norden und den indischen Ozean im Süden verbindet. Er gilt als ein wichtiger Hauptverbindungsweg des maritimen Verkehrs zwischen den Inseln. Neben ihrer Funktion als Verkehrsknotenpunkt bietet sie auch eine atemberaubende Aussicht auf die umliegende Natur, da in diesem Bereich die Wallace Line verläuft.

Lombok hat eine Einwohnerzahl von 3,35 Millionen Menschen mit ihrer Hauptstadt, Mataram mit etwa 450.000 Einwohnern, im Westosten von Lombok. Mataram ist ein wichtiges Handelszentrum für landwirtschaftliche Güter über den nahe gelegenen Hafen Ampenan. (<https://www.britannica.com/place/Mataram-Indonesia>)

⁸ Zu den kleinen Sundainseln im malaiischen Archipel gehören Bali, Lombok, Sumbawa, Sumba, Flores und Timor sowie noch weitere kleine angrenzende Inseln

⁹ Nusa Tenggara Barat beziehungsweise West Nusa Tenggara, Nusa Tenggara bedeutet auf Deutsch „südöstliche Inseln“



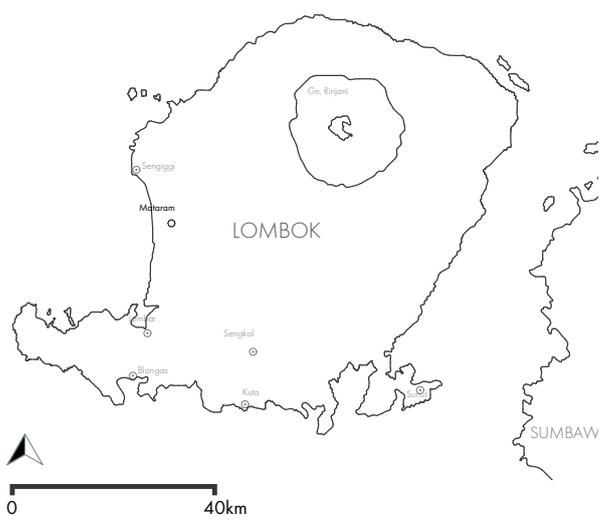


Abbildung 11:
Karte Lombok



Abbildung 12:
Karte Südostasien



Tropical (1980-2016)

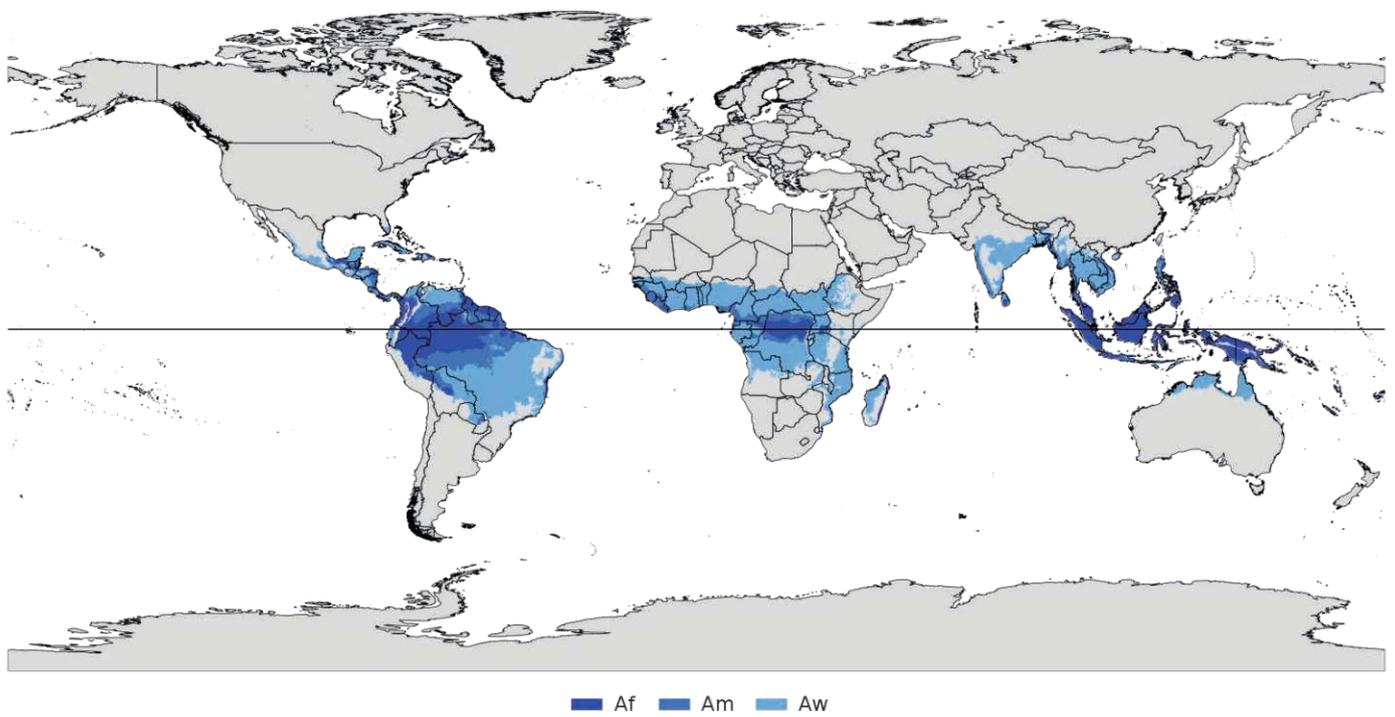


Abbildung 13:
Tropische Zone laut Köppen-Geiger

B. Klima Indonesien

1. Allgemein

„Das Klima beeinflusst sowohl die Gestaltung eines Gebäudes als auch die lokalen Materialien, die beim Bau zum Einsatz kommen. Seit Beginn der Menschheitsgeschichte werden Unterkünfte errichtet, die Schutz bieten vor lebensfeindlicher Witterung. Gebäudeformen, Siedlungsmuster, Baumaterialien und Bauweisen wurden als Antwort auf Witterungs- und Klimaverhältnisse entwickelt und angepasst, um Isolierung oder Verschattung zu gewährleisten, möglichst viel Sonnenenergie zu reflektieren oder zu speichern, Belüftung zu optimieren oder vor starkem Wind, Regen, Schneefall oder Überflutung zu schützen.“ (Souch 2017: 28)

Wladimir Köppen entwickelte (1884) nach späterer persönlicher Überarbeitung (1918 und 1936) und Weiterentwicklung von Rudolf Geiger (1961) das sogenannte Köppen-Geiger-System. Dieses System der Klimazonen dient hier als Grundlage der Recherche.

Die fünf Hauptklimazonen laut Köppen-Geiger-System sind: tropisch (A); trocken (B); gemäßigt, d.h. feuchte Mittelbreiten mit milden Wintern (C); kontinental, d.h. feuchte Mittelbreiten mit kalten Wintern (D) und polar (E). Diese Hauptklimazonen teilen sich in diverse Unterregionen je nach saisonalen Temperaturänderungen und Niederschlagsmengen.

(<https://education.nationalgeographic.org/resource/koppen-climate-classification-system/>)

Die tropische Zone in der sich auch Indonesien befindet wird als Klimatyp A nach der Köppen-Geiger- Klimaklassifikation bezeichnet. Die tropische Klimazone erstreckt sich entlang des Äquators zwischen den Breitengraden 23,5 Grad nach Norden und 23,5 Grad nach Süden. Die tropische Zone ist geprägt von ganzjährig warmen Temperaturen, bei monatlichen Durchschnittstemperaturen von 18 Grad oder mehr und starken Regenfällen. Die Tagesdauer ist relativ konstant es gibt jedoch große Temperaturunterschiede zwischen Tag (durchschnittlicher Höchstwert 32 Grad) und Nacht (durchschnittlich 22 Grad). Dies hat einen erheblichen Einfluss auf Gebäude da durch die nächtliche Abkühlung die Luft sehr feucht wird und diverse Teile eines Gebäudes angreift. Die tropische Zone wird auf Grundlage der jahreszeitlichen Niederschlagsmengen unterteilt: tropisch feucht (Af); tropisch monsunisch (Am); tropisch feucht und trocken (Aw). (vgl. Piesik 2017:53)

Durch die Lage am Äquator herrschen in Indonesien das ganze Jahr über hohe und gleichmäßige Temperaturen. Aufgrund der umgebenden Landmassen Asiens und Australiens ist Indonesien den Jahreszeitlichen Niederschlagsmustern ausgesetzt die aus den Monsunwinden entstehen. Die regionalen Temperaturunterschiede hängen jedoch mehr von der Höhe als von der Breitengradlage ab. Somit erreichen die Temperaturen entlang den Küsten durchschnittliche Jahreswerte von Mitte zwanzig bis niedrige dreißig Grad. Höhergelegene Regionen wie zum Beispiel Puncak, West Java, sind deutlich kühler. Schneefall ist nur im Maoke Gebirge auf Papua zu finden. Das Klima in Indonesien kann grob in zwei Zonen aufgeteilt werden, tropisch feucht (Af) nahe des Asiatischen Kontinents und tropisch feucht und trocken (Aw) Richtung Australien. Die jahreszeitlichen Unterschiede werden durch das Monsunmuster bestimmt. Dadurch ergibt sich eine Trockenzeit und Regenzeit, die jedoch regional abweicht. Über die meiste Zeit des Jahres ist der Großteil Indonesiens starken Niederschlägen ausgesetzt, wobei die größten Mengen von Dezember bis März auftreten. Ab Zentral Java Richtung Osten, wie auf den kleinen Sundainseln bildet sich durch den Ostmonsun eine stark ausgeprägte Trockenzeit von Juni bis Oktober. Diese klare Trennung von Trocken- und Regenzeit ist in den restlichen Regionen Indonesiens wie Sumatra, West Java, Sulawesi, Kalimantan und West Papua deutlich geringer. Hier treten über das ganze Jahr hinweg starke Niederschläge auf. Höchstwerte werden in den bergigen Regionen von West Java, Sumatra, Kalimantan, Celebes und West Neuguinea mit bis zu 4300 mm pro Jahr erreicht, während die Höchstwerte auf den kleinen Sundainseln aufgrund der Nähe zu Australien nur 1000 bis 1500 mm sind. (<https://www.britannica.com/place/Indonesia>)

Diese Temperatur sowie Niederschlagsunterschiede sind in den jeweiligen traditionellen Bauweisen deutlich spürbar. Zum Beispiel ist der Schutz vor Regen und Überflutungen in der aufgeständerten Bauweise auf Sumatra klar erkennbar wobei die traditionelle Sasak¹⁰ Bauweise Lomboks mit ihrer Sockelzone aus Lehm Schutz vor Hitze bietet. Das tropische Klima birgt jedoch in ganz Indonesien Gefahren. Plötzliche Starkregen mit einhergehenden Überschwemmungen und Erdbeben sowie starke Winde und brütende Hitze stellen große Herausforderungen sowohl für die Bevölkerung als auch das gebaute Umfeld dar.

¹⁰ Sasak ist eine ethnische Gruppe auf Lombok



- Tropical, rainforest (Af)
- Tropical, monsoon (Am)
- Tropical, savannah (Aw)
- Arid, steppe, hot (BSh)
- Temperate, dry summer, warm summer (Csb)
- Temperate, dry winter, warm summer (Cwb)
- Temperate, no dry season, warm summer (Cfb)
- Temperate, no dry season, cold summer (Cfc)
- Polar, tundra (ET)

Abbildung 14:
Klimatische Zonengliederung
Südostasien



Abbildung 15:
Küstenregion Pacitan

2. Spezifisches Forschungsgebiet Java

Auf Java herrscht wie in ganz Indonesien ein tropisches Klima. Von West Java bis Zentral Java überwiegt das tropisch feuchte (Af) Klima, welches durch ganzjährliche starke Niederschläge geprägt ist. Ab Zentral Java Richtung Osten herrscht ein tropisch feucht und trockenes (Aw) Klima, hier ist eine klare Trockenzeit von Juni bis Oktober und eine Regenzeit von Dezember bis März erkennbar. Jedoch gilt auch hier die Höhe der Gebiete als ein weiterer ausschlaggebender Faktor. Zum Beispiel fällt im küstengelegenen Jakarta eine jährliche Niederschlags Durchschnittsmenge von 1750 mm während im 50 Kilometer südlich entfernten Bogor auf einer Höhe von 240 Metern, bei deutlich kühleren Temperaturen, fast 4300 mm aufweist. (<https://www.britannica.com/place/Indonesia>)

Die Großstädte Javas sind extremen Bedingungen ausgesetzt. Teils enorme Temperaturunterschiede innerhalb eines Tages, Überflutungen durch Starkregen, starke Winde und extreme Hitze. Diese natürlichen Gefahren gehören zum täglichen Leben Javas, die Heimat der zweitgrößten Metropolregion¹¹ der Welt. Diese Umstände bergen jedoch nicht nur Herausforderungen, sondern begünstigen in Kombination mit vulkanischen Böden eine florierende Natur und ergebige Landwirtschaft.

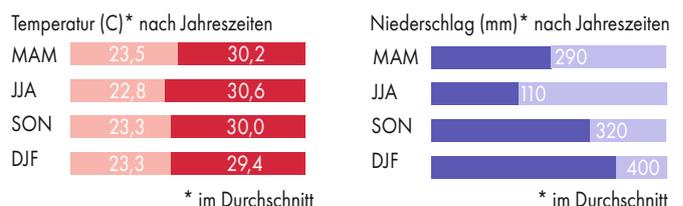


Abbildung 16/17:
Temperatur und Niederschlag nach Jahreszeiten auf Java

¹¹ Metropolregion Jabodetabek (Jabodetabekpunjur) bildet sich aus Jakarta, Bogor, Depok, Tangerang, Bekasi (Puncak und Cianjur)

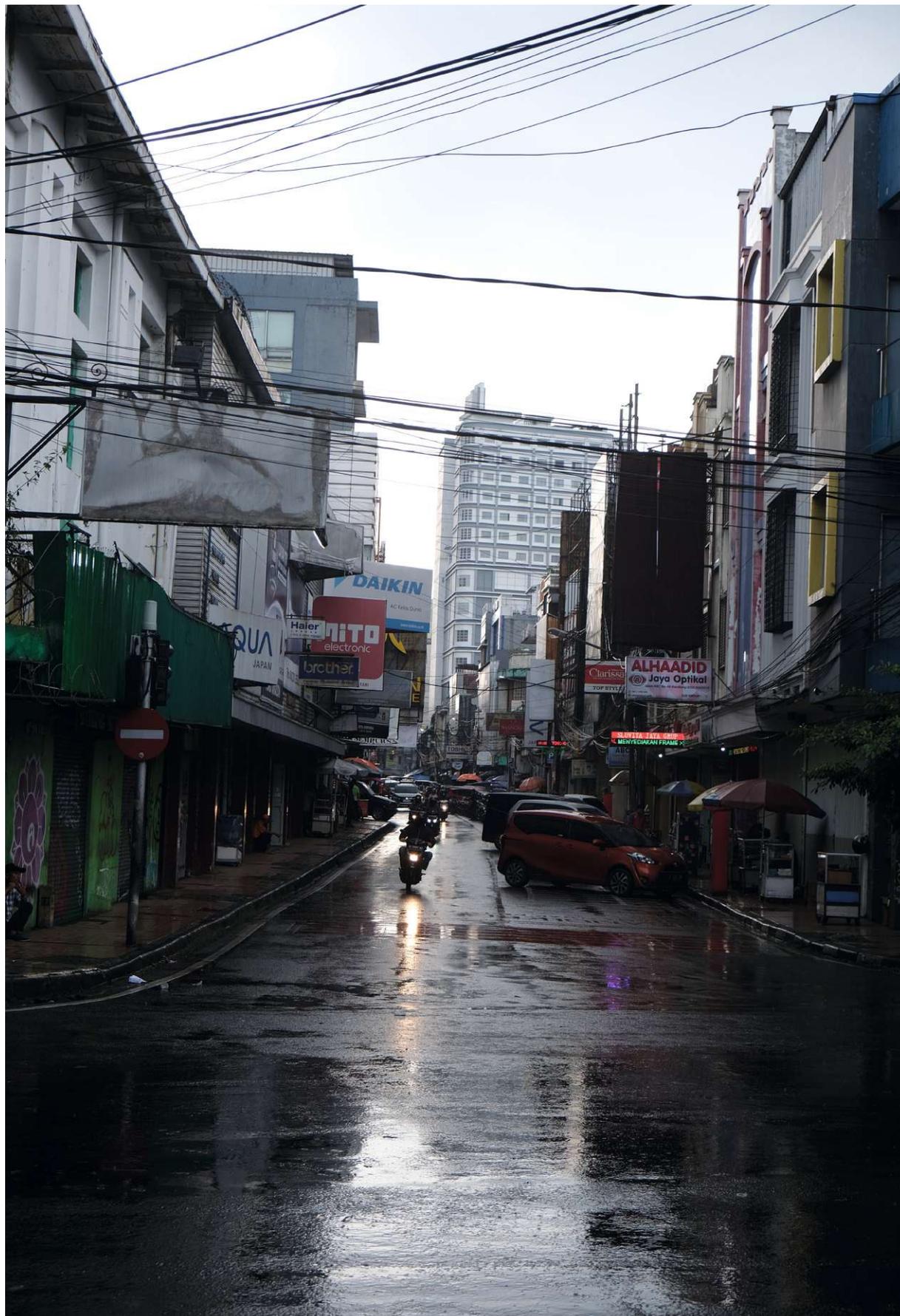


Abbildung 18:
Regenzeit im März 2023: Straße in
Bandung, Java



Abbildung 19:
höher gelegene Gebiete rund um den Vulkan Rinjani

3. Spezifisches Forschungsgebiet Lombok

Auf Lombok herrscht wie in ganz Indonesien ein tropisches Klima. Als Teil der kleinen Sundainseln ist auf Lombok im Gegensatz zum Großteil Indonesiens eine klare Trennung der Trockenzeit von Juni bis Oktober und der Regenzeit von Dezember bis März spürbar. (<https://www.britannica.com/place/Indonesia>)

Die durchschnittliche Jahrestemperatur beträgt 30 Grad tagsüber und 23 Grad nachts. (<https://www.ncei.noaa.gov/>)

Die Küstennahen Gebiete unterliegen ganz klar der saisonalen Niederschlagsmustern (Aw – tropisch feucht und trocken). Die höher gelegenen Gebiete rund um den Vulkan Rinjani weisen bei spürbar kühleren Temperaturen eine deutlich höhere Regenmenge das ganze Jahr über auf (Af – tropisch feucht).

Hier finden sich dichte tropische Regenwälder als auch besonders fruchtbare landwirtschaftliche Flächen. Im Gegensatz zu den immer grünen Wäldern des Norden Lomboks verändert sich die Vegetation der Küstenregionen in der Trockenzeit. Außerdem nehmen Winde während dieser Monate zu. Die ganzjährig warmen Temperaturen der malerischen Küstenlandschaften machen Lombok neben Bali zu einem der touristischen Hotspots Indonesiens.

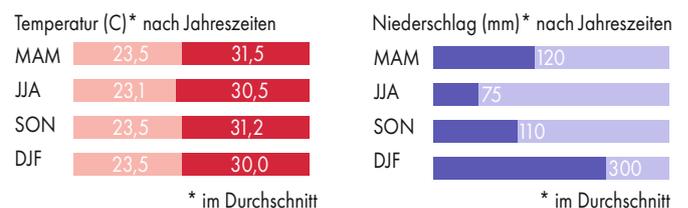


Abbildung 20/21:
Temperatur und Niederschlag nach Jahreszeiten auf Lombok



Abbildung 22:
Küstenlandschaft im Süden von Lombok,
nähe Kuta

C. Kurze Geschichte Indonesiens

1. Vorkolonialzeit

Die vorkoloniale Geschichte Indonesiens ist geprägt von einer Vielfalt an Kulturen, Ethnien und Königreichen, die über Jahrhunderte hinweg auf dem Archipel existierten. Erste Funde Frühmenschlicher Kulturen sind über 40.000 Jahre alt.



Das Archipel wurde von Menschen aus den verschiedensten Regionen Südostasiens besiedelt. Die starke Abhängigkeit von der Natur der damaligen Gemeinschaften verlangte ein tiefes Verständnis für die umgebende Umwelt. Dies spiegelt sich in der bis heute bestehenden traditionellen Baukultur wieder. Diese naturverbundenen Gemeinschaften entwickelten sich schließlich zu lokalen Stammesstrukturen.

Die geographische Lage Indonesiens in Südostasiens sowie der Reichtum an Bodenschätzen und seltenen Gewürzen begünstigte schon sehr früh einen regen Austausch mit dem indischen Subkontinent und China. Das erste bekannte Königreich Indonesiens in Ost - Kalimantan, Kutai, datiert aus dem vierten Jahrhundert. Dieses entstand wahrscheinlich aus den lokalen Stammesstrukturen und Einflüssen aus dem Ausland. (vgl. Schulze 2015)

Abbildung 23 /24:

19. 45500 Jahre alte Höhlenmalerei „Höhlenschwein“ © Maxime Aubert

20: Kupferstich aus Bertuchs Bilderbuch für Kinder, 1821

Die Integration des Hinduismus und Buddhismus erfolgte einerseits durch Händler die neben ihren Waren auch religiöse Überzeugungen und Kulturpraktiken in die Region brachten. Andererseits durch Missionare die vor allem in lokalen Eliten Zuspruch fanden. Das Königreich entwickelte sich dadurch zu einem Zentrum des Handels und der Kulturen. Im fünften Jahrhundert erreichte das Kutai Königreich seinen Höhepunkt. Zeitnah entwickelte sich auf Java das Königreich Tarumanagara. Es folgten kleinere Königreiche die auf dem Archipel entstanden. Das erste bekannte Großreich Indonesiens ist das *Srivijaya* Reich auf Sumatra. Durch ihre Lage an einer der wichtigsten Seehandelsrouten, der Malakka Straße¹², kontrollierten sie vom siebten bis ins dreizehnte Jahrhundert den Handel mit China und Indien. Die bedeutende Seemacht galt jedoch auch als ein Zentrum für den Buddhismus.

Während auf Java Hinduismus und Buddhismus gleichermaßen existierten. Unter den diversen javanischen Dynastien, wie der Shailendra Dynastie, des Mataram Reiches wurden wichtige Bauwerke errichtet. Wie etwa das größte buddhistische Bauwerk der Welt, der Borobudur Tempel um 800 n. Chr. und der hinduistische Tempelkomplex Prambanan um 850 n. Chr. Auf Java wechselten sich die diversen Königreiche ab. (vgl. Schulze 2015)

¹²Malakka Straße: Meerenge zwischen Sumatra und dem heutigen Malaysia

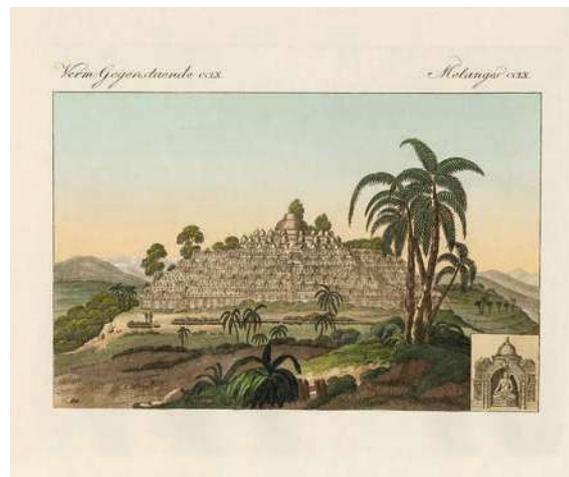




Abbildung 25:

Prambanan: die größte hinduistische Tempelanlage Indonesiens und einer der größten hinduistischen Tempel in Südostasien

Ende des 13. Jahrhunderts entstand das mächtige Majapahit Reich, welches zweifelsohne als das größte Königreich der Geschichte Indonesiens gilt. Unter der Herrschaft von Hayam Wuruk (1334–1389) und bekannten Persönlichkeiten, wie dem Premierminister Gadjah Mada († 1364), erstreckte sich der Einflussbereich des Reiches über einen Großteil des Archipels und galt auch später als Vorbild der nationalistischen Bewegung. Ebenfalls ab dem 13. Jahrhundert fand in Indonesien in den diversen Königreichen und Sultanaten der Hafenstädte zunehmend eine Islamisierung statt. Zunächst im Norden Sumatras bis hin zu einflussreichen Sultanaten wie Malakka (ca. 1400) und Aceh (ca. 1500). (vgl. Schulze 2015)



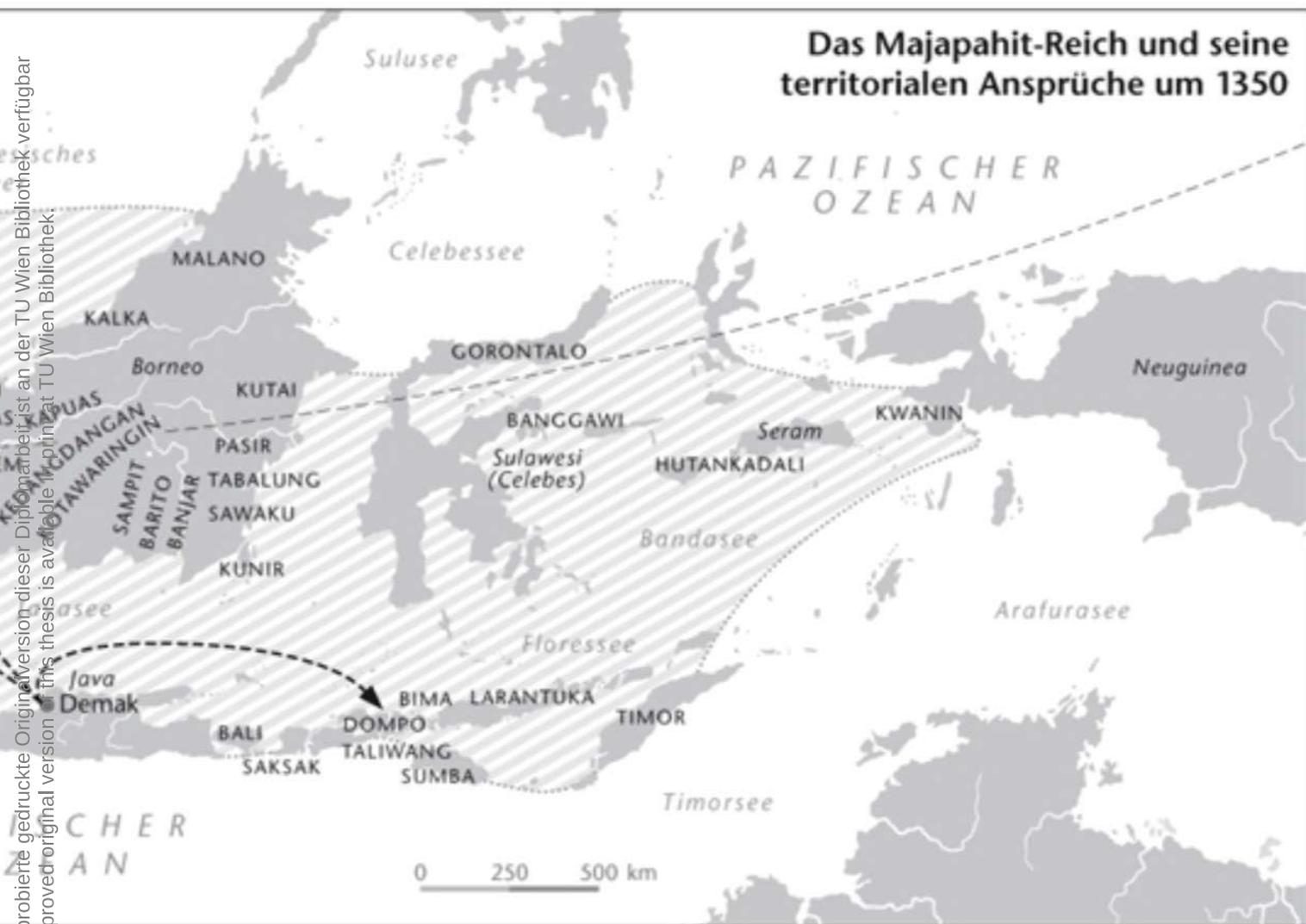


Abbildung 26:
das Majapahit-Reich und seine territorialen Ansprüche um 1350



Abbildung 27: Gedung Sate



*Vue de l'Isle et de la ville de Batavia appartenant aux Hollandois, pour la Compagnie des Indes;
à Paris chez Jacques Huquier, sous le Palais National, au Salon de cette dite Compagnie le 17. Mars 1730.*

2. Kolonialzeit

Die ersten europäischen Eroberer die das indonesische Archipel erreichten waren die Portugiesen Anfang des 16. Jahrhunderts. Sie eroberten das bedeutende Sultanat Malakka sowie den begehrten Molukken, auch bekannt unter dem Namen Gewürzinseln, und Timor. Die Portugiesen erzielten nur mäßige Erfolge und wurden von den Niederländern, als dominierende Kolonialmacht, abgelöst.

Die niederländische Ostindien-Kompanie (VOC)¹³ erlangte Stück für Stück die Kontrolle über den Großteil des Archipels. Sie errichteten eine Reihe von Handelsposten und Verwaltungszentren. Die heutige Hauptstadt Jakarta wurde 1619 als Batavia unter der damaligen Hauptstadt der VOC im Archipel gegründet. (vgl. Schulze 2015)

Der Einfluss der VOC ging schließlich direkt an die holländische Krone und Indonesien wurde als niederländisch Ostindien („Eastindies“) bekannt.

Abbildung 28:

Batavia Perspektive, Künstler und Graveure Herausgegeben von Jacques-Gabriel Huquier (1730-1805), Paris

Die holländische Kolonialzeit ist geprägt durch die Unterdrückung der Bevölkerung und wirtschaftlichen sowie einer landwirtschaftlichen Ausbeute des Landes und der Kultur. Erst im späten 19. Jahrhundert wird durch die Ethnie Policy versucht bessere Bedingungen für einen Teil der Bevölkerung zu schaffen. Gegen Ende des 19. Jahrhunderts und Anfang des 20. Jahrhunderts keimte der nationalistische Gedanke eines unabhängigen indonesischen Vielvölkerstaates frei nach dem alten Motto „unity in diversity“ des Majapahit Reichs immer weiter auf. Während des zweiten Weltkrieges und der Eroberung der Niederlande des Deutschen Reiches geriet Indonesien unter die Kontrolle des Axmachtpartners Japan. (vgl. Schulze 2015)

¹³ VOC = niederländische Ostindien-Kompanie

3. Unabhängigkeit

Nach der japanischen Besetzung im Zweiten Weltkrieg und dem Ende des Krieges kehrten die Niederländer nach Indonesien zurück. Dies führte schließlich zur Unabhängigkeitserklärung des Landes und dem Abzug der niederländischen Kolonialmacht. Die Vereinigten Staaten waren unter den ersten Ländern, die die Unabhängigkeit Indonesiens anerkannten. Sukarno wurde der erste Präsident des Landes, gefolgt von einer Phase autoritärer Herrschaft. (vgl. Schulze 2015)

Erst 1998 fanden die ersten freien Wahlen statt, die den Weg für eine demokratische Regierung ebneten. Der heutige Präsident Joko Widodo trat sein Amt im Jahr 2014 an und wurde 2019 für eine zweite Amtszeit wiedergewählt, die bis 2024 dauert. (vgl. Schulze 2015)



Abbildung 29:
Präsident Sukarno



Abbildung 30:
Präsident Joko Widodo

II. Generelles Verständnis Erdbebensicheres Bauen

A. Allgemeines Verständnis Erdbeben

1. Geologie und Tektonik

Die Erde ist in mehreren Schichten, der sogenannte Schalenbau, aufgebaut. Sie ist in ständiger Bewegung und setzt sich ausfolgenden festen bis flüssigen Teilen vom Erdinnern bis zur Erdoberfläche zusammen. Der innere Kern besteht hauptsächlich aus Eisen und Nickel, welches unter immensen Druck und Temperaturen in einem festen Zustand bleibt. Der innere Kern hat einen Durchmesser von etwa 1200 km. Darüber liegt der äußere Kern (2300 km Dicke), welcher ebenfalls hauptsächlich aus Eisen und Nickel besteht, jedoch aufgrund der geringeren Druckverhältnisse flüssig ist. (vgl. Bachmann 2002)

Der Mantel liegt direkt über dem äußeren Kern und bildet mit einer Dicke von etwa 2900 km die dickste Schicht der Erde. Er besteht aus zähflüssigem Gestein, welches als Mantelgestein¹⁴ bekannt ist. Dieser unterteilt sich in einen unteren und oberen Mantel. Der untere Mantel macht den größten Teil des Mantelvolumens aus. Hier findet die Mantelkonvektion statt. (vgl. Bangash 2011)

Das zähplastische Gesteinsmaterial steigt durch die Kombination von extrem hohen Temperaturen und enormen Druck auf, kühlt anschließend ab und bewegt sich horizontal um schließlich wieder abzusinken. Diese Strömung des Materials ist der treibende Faktor für die Bewegung der tektonischen Platten an der Erdoberfläche. Der obere Mantel reicht von der Basis der Erdkruste bis zu einer Tiefe von etwa 660 km. Er besteht hauptsächlich aus festem Gestein kann aber unter bestimmten Bedingungen in einen zähflüssigen Zustand schmelzen und sich zu Magma bilden. Die Kruste, welche die äußerste Schicht der Erde bildet, hat eine durchschnittliche Dicke von 5-10 km (ozeanisch) bis 70 km (kontinental). Auf dieser Schicht befinden sich Ozeane sowie Kontinente. (vgl. Bangash 2011)

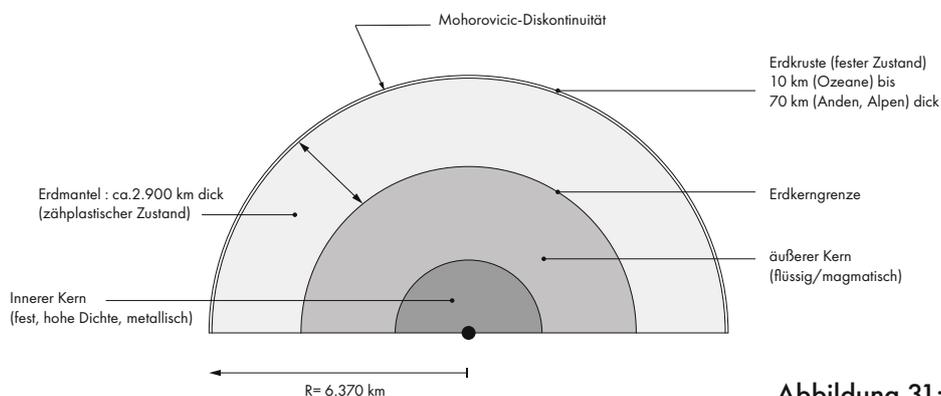


Abbildung 31:
Erdschichtmodell

¹⁴ Mantelgestein besteht hauptsächlich aus Silikaten, Eisen-, Magnesium-, Aluminium-, und Calciumsilikaten

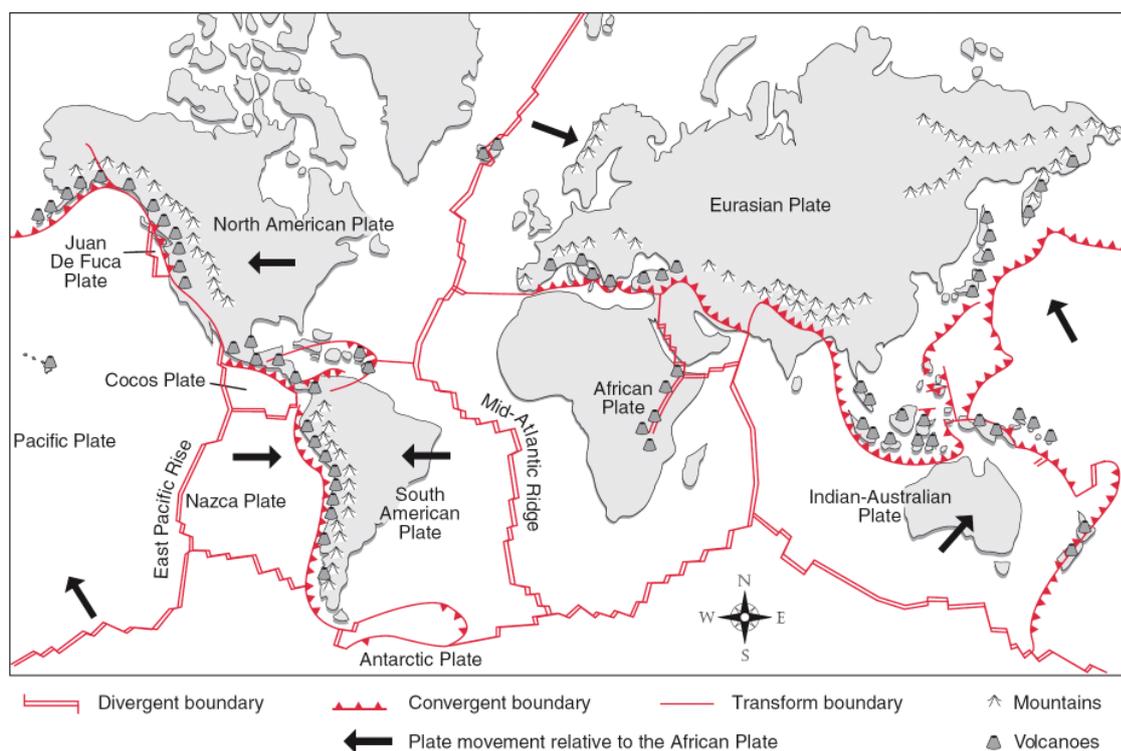


Abbildung 32:
 Position der tektonischen Platten

Unter diesen Schichten befinden sich zwei weitere Zonen die Lithosphäre und Asthenosphäre welche eine entscheidende Rolle bei der Plattentektonik spielen. Die Lithosphäre ist die äußere starre Schicht der Erde. Sie ist in tektonische Platten aufgeteilt und „schwimmt“ auf der plastischen Asthenosphäre. Die plastische Eigenschaft der Asthenosphäre wirkt als Schmiermittel für die Bewegung der tektonischen Platten. Insgesamt gibt es sechs große tektonische Platten: die eurasische, amerikanische, afrikanische, australische, antarktische und pazifische Platte. (vgl. Bangash 2011)

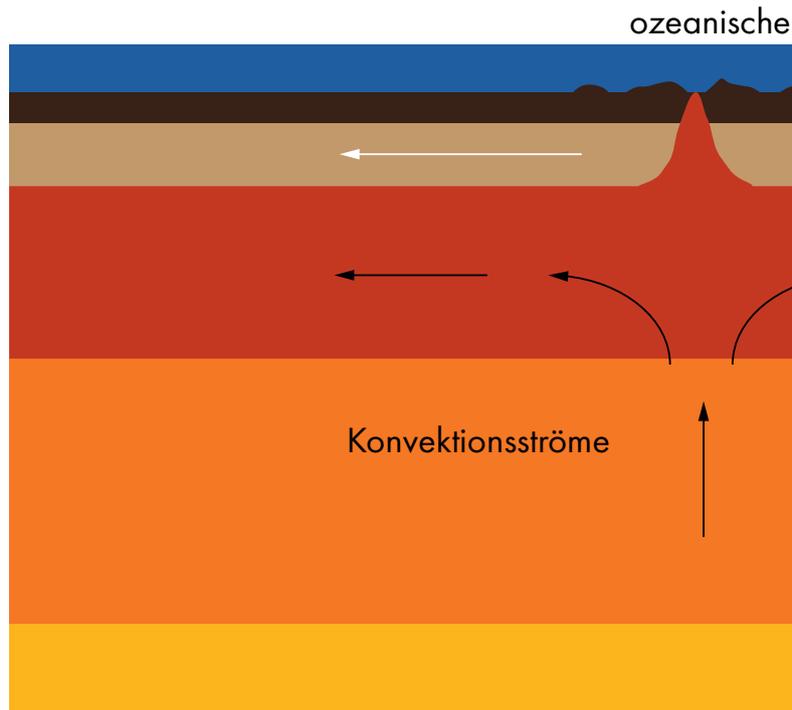
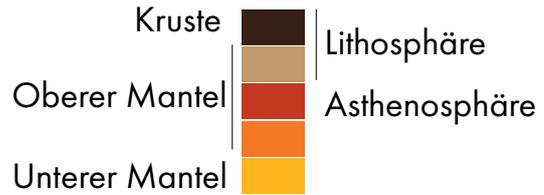
Weiters gibt es noch zahlreiche kleinere Platten. Man unterscheidet zwischen Kontinentalplatten und ozeanischen Platten. Die ozeanischen Platten bestehen hauptsächlich aus Basalt, im Gegensatz zu den Kontinentalplatten welche aus Granit und anderen Gesteinen bestehen. Aufgrund der höheren Dichte des Basalts sowie der Masse der Ozeane sind die ozeanischen Platten schwerer als die dickeren Kontinentalplatten. Die tektonischen Platten sind in ständiger Bewegung und formen unseren Planeten über mehrere Millionen Jahre stetig neu. Sie können sich voneinander entfernen, Divergieren, aufeinander zubewegen, Konvergieren und aneinander vorbei driften, Transformieren. An diesen Plattengrenzen entstehen diverse Phänomene wie Vulkanismus, Erdbeben, Gebirgsketten, Tiefseegräben etc.



Im Fall Indonesiens konvergiert die eurasische Platte mit der australischen Platte. Hier findet eine Subduktion statt. „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).“ (Blaß/Fellmoser 2007: 4)

An der Plattengrenze entstand ein, für die Subduktion typischer, Tiefseegraben (Sundagraben) und eine große Anzahl von Vulkanen.(vgl.Ossing 2012)

„Die Verschiebungen erfolgen vorerst kontinuierlich und langsam als elastische Verformungen sowie Kriech- und Fließverformungen, wodurch sich der Spannungszustand in der Erdkruste ständig verändert. In der späteren Bruchzone vergrößern sich die Spannungen. Erreichen diese die Bruchfestigkeit im Gestein (Scher-, Zug- oder Druckfestigkeit), so ereignet sich ein Bruch mit plötzlichen Verschiebungen. Dadurch wird ein Erdbeben ausgelöst. Die plötzlichen Verschiebungen geschehen oft in einer alten Bruchfläche (Verwerfung, Plattenrand, Ausläuferzone).“ (Bachmann 2002: 9)



r Rücken

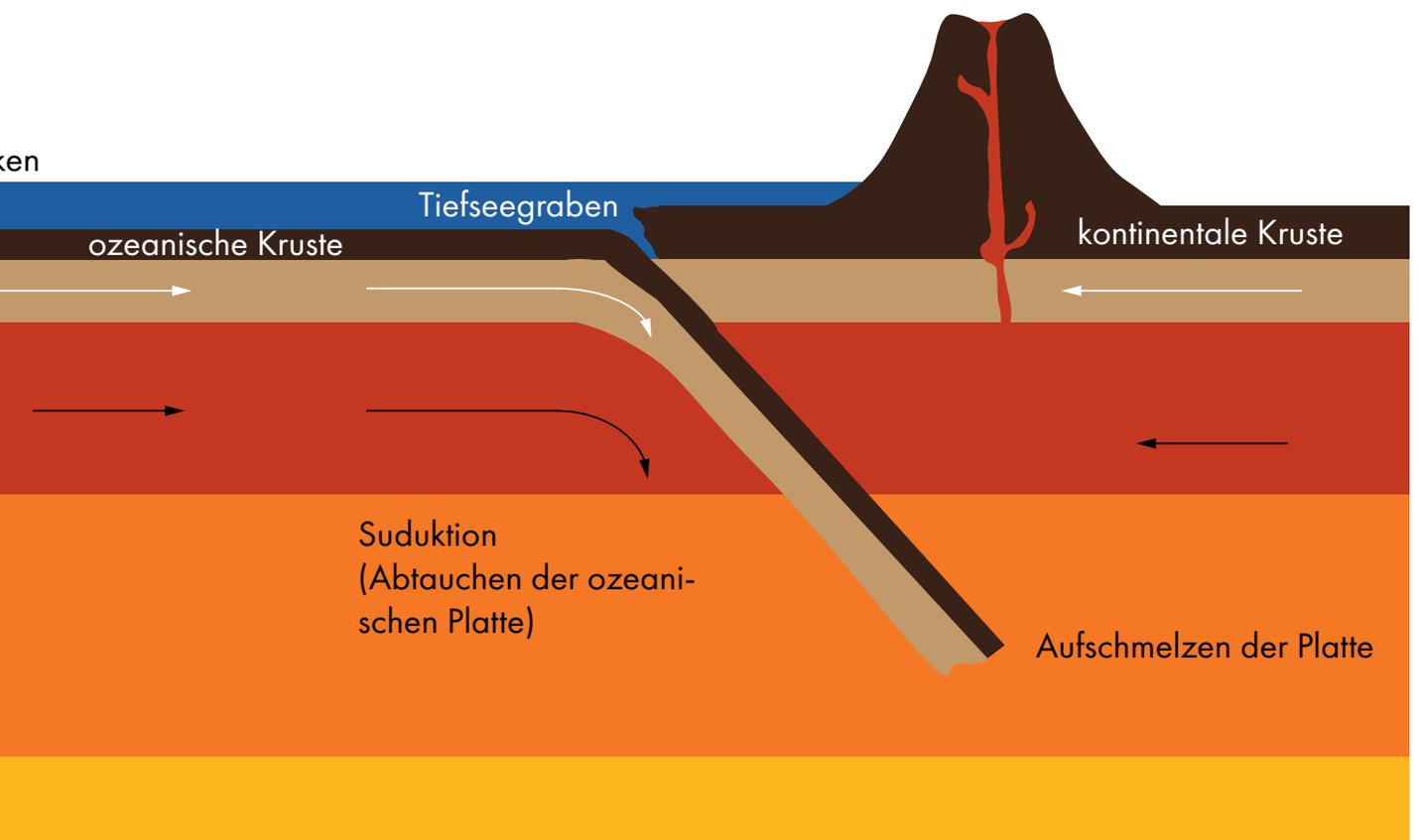


Abbildung 33
Vorgang einer Subduktion

2. Erdbebenaufzeichnung und -messung

Neben den tektonischen Erdbeben gibt es unter anderem vulkanische Beben, Einsturzbeben, stauseeinduzierte Beben und künstliche Beben. Im Falle dieser Arbeit liegt der Fokus auf tektonischen Beben.

„Bei einem Erdbeben werden ausgehend von einem Erdbebenherd im Erdinneren durch dynamische Prozesse radial seismische Wellen ausgelöst. Diese Raumwellen werden in P-Wellen (Primärwellen) und S-Wellen (Sekundärwellen) unterteilt, wobei sich die P-Wellen schneller ausbreiten.“ (Blaß / Fellmoser 2007: 9)

Die P-Wellen (Primärwellen), auch Longitudinalwellen genannt, bewegen sich vorwärts und rückwärts parallel zur Ausbreitungsrichtung. Sie können durch festes sowie flüssiges Erdmaterial strömen, die Geschwindigkeit der Welle ist vom Material abhängig. Da die P-Welle als erstes bei der Erdkruste ankommt, ist sie auch die erste vom Seismographen registrierbare Erdbebenwelle und dient als Frühwarnsystem.

Eine weitere Raumwelle ist die S-Welle (Sekundärwelle), Scherwelle oder Transversalwelle. Sie bewegt sich quer zur Ausbreitungsrichtung hin und her, entweder in Vertikalebene (SV-Wellen), in Horizontalebene (SH-Wellen) oder kombiniert. Die Wellen können sich nur im festen Gestein und nicht im flüssigen Magma fortbewegen. Bei den seismischen Wellen werden zwischen Raumwellen und Oberflächenwellen unterschieden. Die Raumwellen bewegen sich im Erdinneren und die Oberflächenwellen nur an der Oberfläche. Hier wird unterschieden zwischen den Lovewellen (L-Wellen) und den Rayleighwellen (R-Wellen). Die Bodenbewegung der L-Wellen ist in horizontaler Richtung senkrecht beziehungsweise quer zur Ausbreitungsrichtung. Im Gegensatz zu den R-Wellen, welche sich elliptisch, in Kombination horizontal vorwärts und zurück sowie auch vertikal auf und ab bewegen. (vgl. Bachmann 2002)

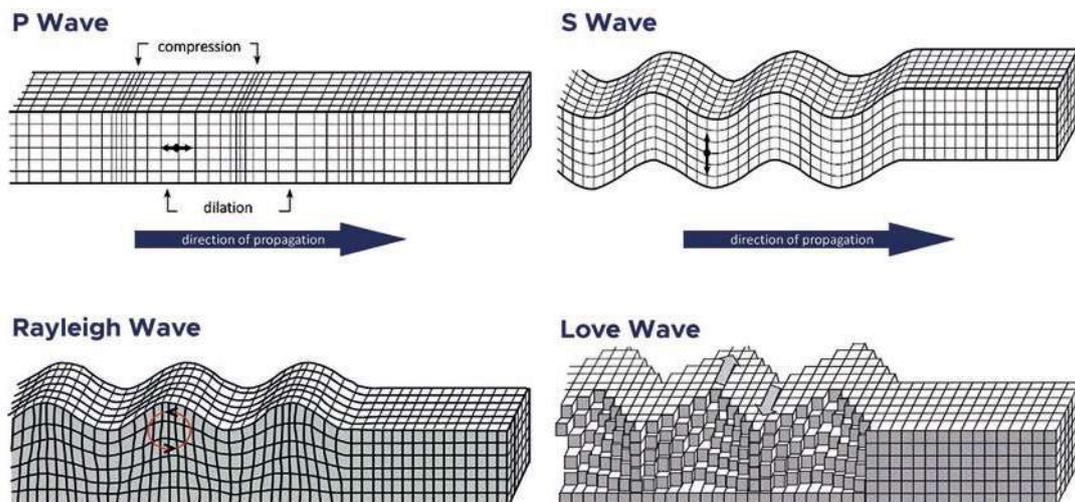


Abbildung 34:
Die verschiedenen Arten von Erdbebenwellen

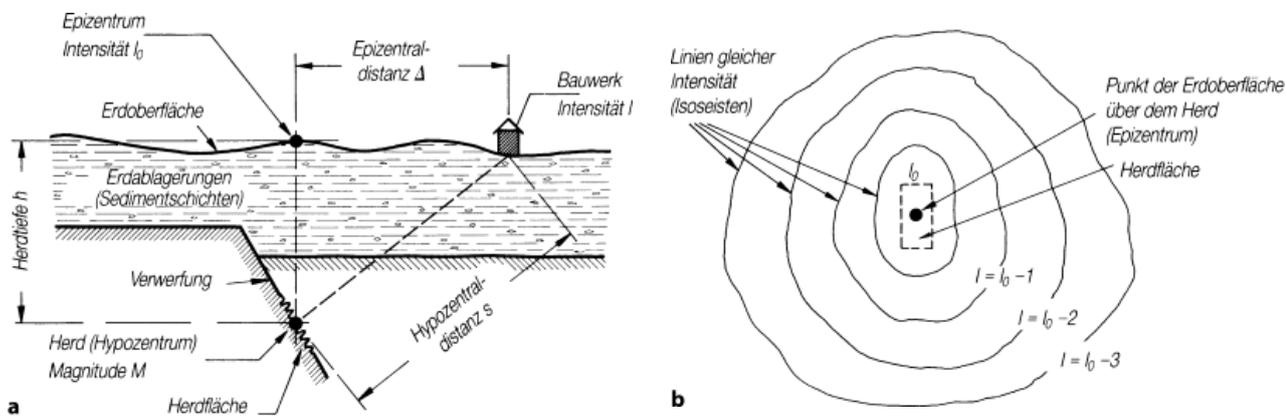


Abbildung 35:

wichtige Merkmale von Erdbeben in a) Schnitt durch Herdgebiet, b) Isoseistenkarte

Die Erdbebenwellen können zwei verschiedene Reaktionen des oberflächennahen Untergrundes auslösen: Bodenbewegungen und Bodenveränderungen. Durch das Auslösen eines Erdbebens können weitere schwere Folgen, wie Bodenverflüssigungen, Hangrutsche und Rissbildungen entstehen. (vgl. Blaß et al. 2007)

Die Auswertung der Informationen durch die Ausbreitung der Wellen gibt entscheidende Schlüsse zu Bodenverhältnissen, Herdtiefen und wiederkehrenden seismischen Aktivitäten. Dies ist neben den Frühwarnsystemen, sowohl für die Gefahrenzonierung von Gebieten wie auch für angepasste Maßnahmen bei der Gründung von Gebäuden essenziell.

Durch einen Seismografen können die Bodenbewegungen, welche durch seismische Wellen verursacht werden, gemessen und aufgezeichnet werden. Bei der Auswertung der Erdbebenaufzeichnungen beziehungsweise der laufzeitlichen Gegenüberstellungen der jeweiligen P-Wellen und S-Wellen können Schlüsse über die Distanz zu Hypozentrum (Herd)¹⁵, Epizentrum¹⁶ und Herdtiefe getroffen werden. Das Hypozentrum ist der Ort im Inneren der Erde, an dem sich der aufgestaute Druck entlädt und von dem das Erdbeben seinen Ursprung nimmt. Direkt über diesem Punkt, auf der Oberfläche der Erde, befindet sich das Epizentrum. Während eines Erdbebens breitet sich die freigesetzte Energie in Form von seismischen Wellen aus, die am stärksten im Epizentrum wahrgenommen werden. Mit zunehmender Entfernung vom Epizentrum nehmen diese Wellen an Intensität ab. (vgl. Souch 2017)

¹⁵ Der Herd, auch Hypozentrum genannt, ist der Ort wo er Bruch in der Erdkruste beginnt. Er wird auch als „seismische Quelle“ bezeichnet

¹⁶ Das Epizentrum ist der Punkt an der Erdoberfläche über dem Herd

Zur Bestimmung der Stärke eines Erdbebens werden typischerweise zwischen zwei unterschiedlichen Methoden herangezogen, die Magnitudenskala (Richterskala) und die Intensitätsskala. Bei der Magnitudenskala wird durch Auswertung der verschiedenen Wellenlängen das Maß für die freigesetzte Energie im Herd ermittelt. Die nach ihrem Erfinder C.F.Richter (1935) benannte Skala ist logarithmisch und somit nach oben offen. Die Erhöhung der Magnitude um eine Einheit, zum Beispiel von 5 auf 6, entspricht einer Erhöhung der Herdenergie um einen Faktor $101.5 \approx 30$. (vgl. Bachmann 2002)

Das stärkste jemals gemessene Erdbeben war in Valdivia, Chile (1960) mit einer Magnitude von 9.5 dicht gefolgt vom verheerenden Erdbeben auf Sumatra (2004) mit einer Stärke von 9.1 welches einen Tsunami mit fatalen kontinental übergreifenden Folgen verursachte. 283 106 Menschen verloren bei dieser Katastrophe ihr Leben. (vgl. Bangash 2011)

Richter - Magnituden	Einteilung der Erdbebenstärke	Erdbebenauswirkungen	Häufigkeit der Ereignisse weltweit
<2,0	Mikro	Mikro - Erdbeben, nicht spürbar	≈ 8000-mal pro Jahr (> Magnitude 1,0)
2,0 - < 3,0	extrem leicht	generell nicht spürbar, jedoch gemessen	≈ 1000-mal pro Jahr
3,0 - < 4,0	sehr leicht	oft spürbar, Schäden jedoch sehr selten	≈ 49.000-mal pro Jahr (geschätzt)
4,0 - < 5,0	leicht	sichtbares Bewegen von Zimmergegenständen, Erschütterungsgeräusche, meist keine Schäden	≈ 6200-mal pro Jahr (geschätzt)
5,0 - < 6,0	mittelstark	bei anfälligen Gebäuden ernste Schäden, bei robusten Gebäuden leichte oder keine Schäden	≈ 800-mal pro Jahr
6,0 - < 7,0	stark	Zerstörung im Umkreis bis zu 70 km	≈ 120-mal pro Jahr
7,0 - < 8,0	groß	Zerstörung über weite Gebiete	≈ 18-mal pro Jahr
8,0 - < 9,0	sehr groß	Zerstörung in Bereichen von einigen hundert Kilometern	≈ einmal pro Jahr
9,0 - < 10,0	extrem groß	Zerstörung in Bereichen von tausend Kilometern	≈ alle 1 bis 20 Jahre
≥ 10,0	globale Katastrophe	noch nie registriert	unbekannt

Abbildung 36:
Richterskala

Die Intensitätsskala (zum Beispiel MSK-Skala¹⁷) ist eine reine qualitative Skala, sie beschreibt das Ausmaß der Schäden.

(vgl. Bureaux / Franzetti / KBM 2000)

„Es werden verschiedene Intensitätsskalen benützt, wobei zwischen den verschiedenen 12-teiligen Skalen keine großen Unterschiede bestehen.“ (Bachmann 2002:15)

Zum Beispiel entspricht die Stärke IX, Verwüstend, der MSK-Skala: Panik bei Personen; starke Schäden an schwachen Gebäuden sowie Schäden auch an gut gebauten Häusern und Zerschlagen von unterirdischen Rohrleitungen; Bodenrisse, Bergstürze und viele Erdbeben. (vgl. Bachmann 2002)

Durch die Bewertung der Wahrnehmbarkeit und der lokalen Schäden eignet sich die Intensitätsskala gut für die Einordnung geschichtlicher Aufzeichnungen von Erdbeben. (vgl. Bureaux et al. 2000)

	Stärke	Personen	Gebäude	Natur
I	unmerklich	nicht verspürt		
II	sehr leicht	vereinzelt verspürt		
III	leicht	vor allem von ruhenden Personen deutlich verspürt		
IV	mässig stark	in Häusern allgemein verspürt, aufweckend	Fenster klirren	
V	ziemlich stark	im Freien allgemein verspürt	Verputz an Häusern bröckelt ab, hängende Gegenstände pendeln Verschieben von Bildern	
VI	stark	erschreckend	Kamine und Verputz beschädigt	vereinzelt Risse im feuchten Boden
VII	sehr stark	viele flüchten ins Freie	mässige Schäden, vor allen an schlechten Gebäuden, Kamine fallen herunter	vereinzelt Erdbeben an steilen Abhängen
VIII	zerstörend	allgemeiner Schrecken	viele alte Häuser erleiden Schäden, Rohrleitungsbrüche	Veränderungen in Quellen, Erdbeben an Strassendämmen
IX	verwüstend	Panik	starke Schäden an schwachen Gebäuden, Schäden auch an gut gebauten Häusern, Zerschlagen von unterirdischen Rohrleitungen	Bodenrisse, Bergstürze, viele Erdbeben
X	vernichtend	allgemeine Panik	Backsteinbauten werden zerstört	Verbiegen von Eisenbahnschienen, Abgleiten von Lockerboden an Hängen, Aufstau neuer Seen
XI	Katastrophe		nur wenige Gebäude halten stand, Rohrleitungen brechen	umfangreiche Veränderung des Erdbodens, Flutwelle
XII	große Katastrophe		Hoch- und Tiefbauten werden total zerstört	tiefgreifende Umgestaltung der Erdoberfläche, Flutwelle

Abbildung 37:
MSK-Intensitätsskala

¹⁷ MSK-Skala (1964), benannt nach Medvedev-Sponheuer-Karnik

B. Seismische Region „Ring of fire“, Indonesien

1. Geologie und Tektonik

Der „Ring of Fire“ (auch als Pazifischer Feuerring bekannt) ist eine geologische Region im Pazifischen Ozean, die für ihre hohe seismische Aktivität, vulkanische Eruptionen und tektonische Bewegungen bekannt ist. Diese Region erstreckt sich entlang der Küstenlinien des Pazifischen Ozeans und bildet eine nahezu geschlossene Schleife. Sie umfasst mehrere tektonische Platten, darunter die Pazifische Platte, die Nordamerikanische Platte, die Südamerikanische Platte, die Eurasische Platte, die Philippinische Platte und die Australische Platte. Indonesien liegt innerhalb des „Ring of Fire“ und ist daher stark von seismischer Aktivität betroffen. Diese Aktivität ist das Ergebnis der Subduktion von ozeanischer Kruste unter kontinentale Kruste entlang von Subduktionszonen. In Indonesien trifft die Australische Platte auf die Eurasische Platte, was zu intensiver tektonischer Aktivität führt, einschließlich Erdbeben und Vulkanismus. (vgl. Pamudi 2018)

Die Subduktion führt dazu, dass ozeanische Kruste in die Tiefe gezogen wird und in den Erdmantel absinkt. Dieser Prozess erzeugt tektonische Spannungen, die sich periodisch in Form von Erdbeben entladen. Die seismische Aktivität in der Region kann verheerend sein und hat in der Vergangenheit zu schweren Erdbeben und Tsunamis geführt. Die hohe seismische Aktivität im „Ring of Fire“ und insbesondere in Indonesien stellt eine große Herausforderung für Bauwesen, Infrastruktur und Gesellschaft dar. Erdbebensicheres Bauen und die Implementierung geeigneter Schutzmaßnahmen sind daher von entscheidender Bedeutung, um die Auswirkungen dieser natürlichen Phänomene zu minimieren und die Sicherheit der Bevölkerung zu gewährleisten.



Abbildung 38:
„Ring of Fire“

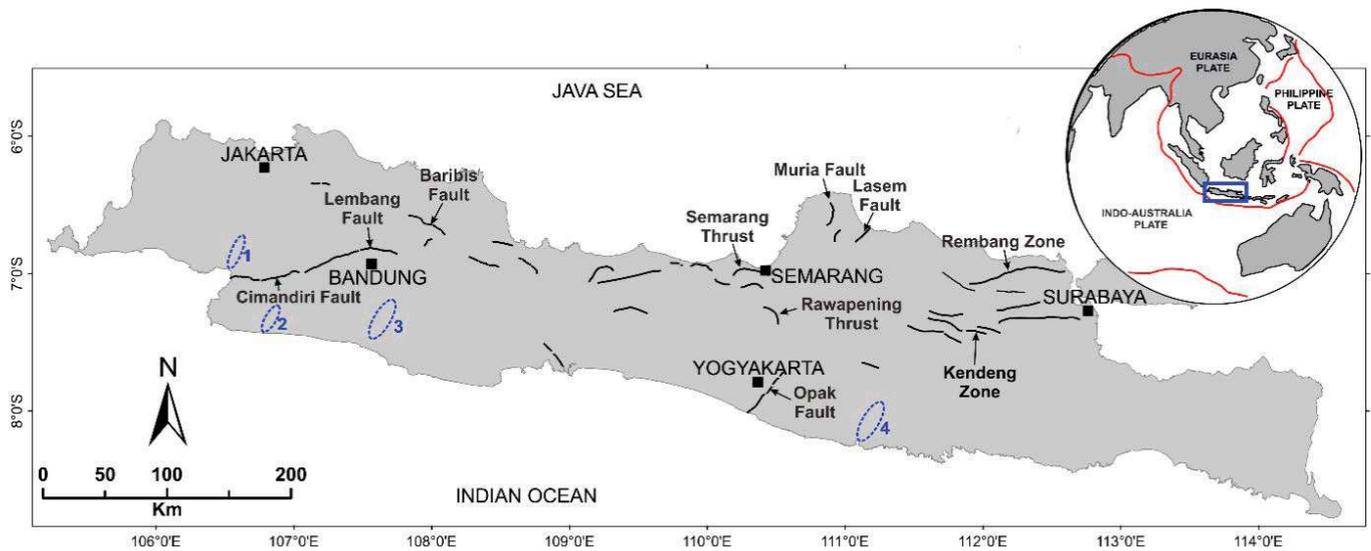


Abbildung 39:

aktive Verwerfungszonen auf Java: blaue Ellipse zeigt in NE-SW Richtung die Verwerfungen; 1. Halimun-Salak; 2. Cipamingiks; 3. southern Garut zone; 4. Pacitan

2. Gefahrenzonen und aktive Verwerfungen Indonesiens

Indonesien liegt im Herzen des pazifischen Feuerrings und ist daher auch eine der seismisch aktivsten Regionen weltweit. Wie aus vorangegangenen Kapiteln ersichtlich ist die Gefahr von Erdbeben an Verwerfungen, d.h. Verschiebungen von Gesteinsschichten entlang einer Bruchlinie, besonders hoch. Indonesiens Topographie ist geprägt durch eine Vielzahl solcher Gefahrenzonen.

Die Subduktionszone, Sunda-Megathrust-Zone, ist besonders gefährlich und erstreckt sich entlang der Kontaktfläche der eurasischen und australischen Platte. Das verheerende Erdbeben auf Sumatra 2004 ist auf eine Aktivität in dieser Zone zurückzuführen. Eine weitere hochriskante Zone ist die Palu-Koro Verwerfung die durch die Insel Sulawesi verläuft. Sie ist für das Erdbeben 2018 verantwortlich bei welchem vor allem die Bodenverflüssigung katastrophale Folgen hatte. Weitere Verwerfungen wie z.B. die Flores Verwerfung oder die Halmahera Verwerfung führen stetig zu erheblichen seismischen Aktivitäten. (vgl. Ilham et al. 2021)

Auf der Insel Java, auf welcher der Großteil der Indonesischen Bevölkerung lebt sind einige weitere Gefahrenzonen und Verwerfungen zu finden. Viele Großstädte liegen in diesen Gefahrenzonen. Beispielsweise die Opak Verwerfung, sie ist auch als Yogyakarta Verwerfung bekannt. 2006 hat hier ein Erdbeben der Stärke 6,3. Große Schäden verursacht. Die Lembang Verwerfung verläuft neben Bandung, einer weiteren Großstadt im Westen der Insel, und hat ebenfalls in der Vergangenheit zu Erdbeben geführt. Weiters ist die Cimandiri Verwerfung welche durch die Provinz Banten verläuft besonders gefährlich und führt stetig zu Erdbeben wie auch in Cianjur 2022. Neben den großen bekannten Verwerfungen sind jedoch auch kleinere, wie die Grindulu Verwerfung nahe Pacitan, mit großer Aufmerksamkeit zu beobachten. In all diesen Regionen sollten Bauwerke mit einem besonderen Augenmerk auf seismische Aktivitäten und die dafür erforderlichen Maßnahmen errichtet werden. (vgl. Ilham et al. 2021)

C.Konstruktionsprinzipien

1. Auswirkung der Erdbeben auf den Untergrund

Die lokale Intensität eines Erdbebens wird durch mehrere Faktoren beeinflusst. Dazu gehören die Bebenstärke, der Abstand des betroffenen Ortes zum Epizentrum sowie die geologischen Eigenschaften der Region, die die Ausbreitung der seismischen Wellen verstärken oder abschwächen können. Erdbeben, die sich näher an der Erdoberfläche ereignen, neigen dazu, größere Schäden anzurichten. Besonders die Beschaffenheit des Bodens spielt eine entscheidende Rolle. Wassergesättigte Bodenstrukturen wie beispielsweise Sand können aufgrund der Erschütterungen eines Erdbebens vorübergehend ihre Festigkeit verlieren und sich in eine flüssige Masse verwandeln – ein Phänomen, das als Verflüssigung bekannt ist. In solchen Fällen können Bauwerke und Brücken auf den verflüssigten Bodenschichten einstürzen oder einsinken, was die Schäden noch verstärkt. (vgl. Souch 2017)

Die Bodenverflüssigung tritt an Küstengebieten sowie in gesättigten, locker gelagerten Sand und im Silt auf.

„Bei der Bodenverflüssigung sinkt die Kohäsion lockerer Sedimente unter Umständen plötzlich auf Null. In Extremfällen kann diese zum Einsturz von Bauwerken führen.“ (Blaß / Fellmoser 2007:8)

Solch ein verheerendes Phänomen hat zum Beispiel im September 2018 die Stadt Palu auf der Insel Sulawesi erschüttert. Nach dem Erdbeben und dem Tsunami sind mehrere Dörfer wegen der Bodenverflüssigung regelrecht weggespült worden. Darüber hinaus haben Erdbeben die Fähigkeit, Bodenrisse zu verursachen, insbesondere in Gebieten mit tonigem oder lehmigem Boden. Diese Risse können nicht nur das Grundwasser beeinflussen, sondern auch Erdbeben auslösen. In hügeligen oder bergigen Regionen können Hangrutsche eine Folge von Erdbeben sein, bei denen Erd- und Gesteinsmassen den Hang hinabgleiten.



Abbildung 40:
Bodenverhältnisse nach dem Erdbeben 2018
in Palu, Sulawesi. Situation bevor und nach der
Bodenverflüssigung

2. Auswirkung der Erdbeben auf Bauwerke

Bei einem Erdbeben erfahren Bauwerke vor allem horizontale Kräfte. Dazu gehören Erdbebenkräfte durch Bewegungen des Bodens, Trägheitskräfte durch Beschleunigung und Verzögerung, Schubkräfte durch seitliche Verschiebungen, Torsionskräfte durch Verdrehungen, sowie Biegekräfte, Druckkräfte und Zugkräfte aufgrund von Verformungen. Diese Kräfte sollten bei einem Entwurf einer erdbebensicheren Bebauung berücksichtigt werden. (vgl. Bureaux et al. 2000)

Es zeigt sich, dass regelmäßig geformte Bauwerke mit einem kompakten und symmetrischen Grundriss vorteilhafter sind. Die Massen- und Steifigkeitsverteilung entlang der Höhe sollte ebenfalls gleichmäßig sein. Eine effektive Bauwerksgeometrie sollte klare und direkte Wege für die Übertragung von Erdbebenkräften bieten. Idealerweise sollte der Grundriss kompakt sein und keine komplexen Formen (wie beispielsweise ein H-förmiger Grundriss) aufweisen.

2.1 Gebäudeform und Fugen

Die Art und Weise, wie Bauwerke auf Erdbeben reagieren, wird stark von ihrer Struktur beeinflusst.

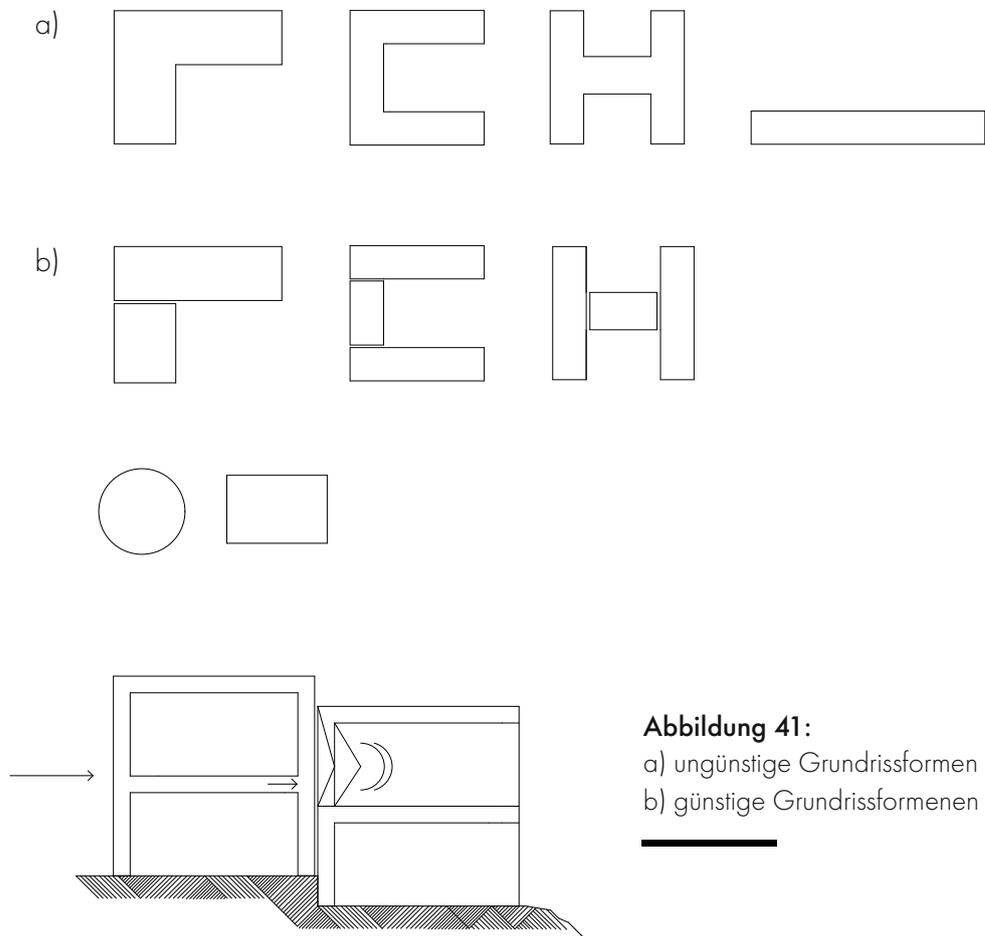


Abbildung 41:

- a) ungünstige Grundrissformen
b) günstige Grundrissformen
-

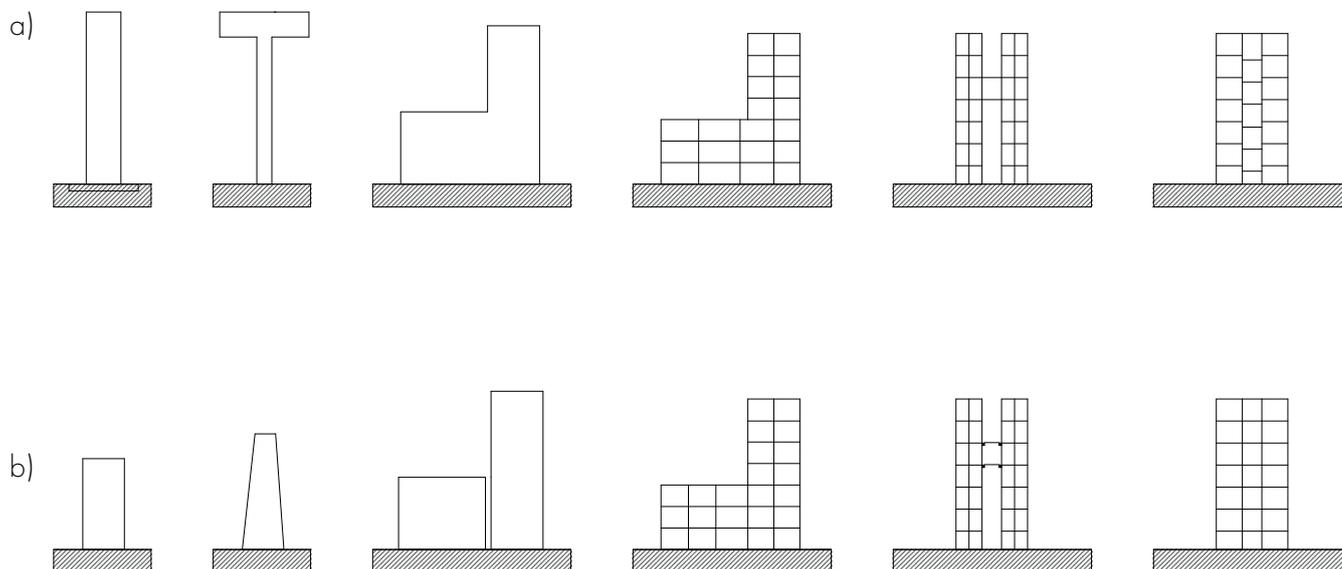


Abbildung 42:

a) ungünstige und b) günstige Gestaltung der Gebäude im Aufriss

Die günstigste Grundrissform ist in der Regel ein kompakter Quader oder kreisförmig. Falls jedoch aufgrund von bestimmten Vorgaben eine gegliederte Grundrissform notwendig ist, sollte der Grundriss in einzelne Rechtecke aufgeteilt werden.

Um die Beanspruchung durch Torsion bei Erdbeben zu minimieren, sollte die Gebäudeform möglichst symmetrisch gewählt werden, um Massen Exzentrizitäten zu vermeiden. Bei größeren Bauwerken kann es erforderlich sein, das Tragwerk mit Fugen in dynamisch unabhängige Abschnitte aufzuteilen. (vgl. Bläß et al. 2007)

Ein weiterer wichtiger Punkt ist auch die Höhe eines Gebäudes. Bei nicht-ingenieurmäßig errichteten Bauwerken sollte eine Gebäudehöhe von zwei Geschoßen nicht überschritten sowie Vorsprünge vermieden werden. Der Fugenabstand zwischen zwei benachbarten Gebäuden muss groß genug sein, sodass sich die Bauwerke während eines Erdbebens nicht gegenseitig zerstören können. (vgl. Bläß et al. 2007)

2.2 Tragwiderstand und Duktilität

Das Erdbebenverhalten eines Tragwerks hängt von dem Tragwiderstand gegen horizontale Kräfte und der Duktilität (Verformungsvermögen) ab.

Erdbebensicherheit =
Tragwiderstand x Duktilität

„Ein Tragwerk muss also beispielsweise entweder einen hohen Tragwiderstand und eine kleine Duktilität oder einen tiefen Tragwiderstand und eine große Duktilität aufweisen. Oder es kann sowohl einen mittleren Tragwiderstand also auch eine mittlere Duktilität besitzen, usw.“(Bachmann 2002: 61)

„Alle diese Lösungen haben ähnliche Chancen, ein starkes Erdbeben ohne Einsturz zu überstehen.

Somit kann vorerst festgehalten werden:

- Je kleiner der Tragwiderstand desto größer ist die erforderliche Duktilität, bzw.
- je kleiner die Duktilität, desto größer ist der erforderliche Tragwiderstand.“

(Bachmann 2002: 61)

Die elastische Verformungsfähigkeit, die Resonanzvermeidung, die Dämpfung und die Fähigkeit zur Energiedissipation sind für das Tragwerk eines Bauwerkes zu berücksichtigen. Eine gleichmäßige Verteilung der Kräfte im gesamten Gebäude ist ausschlaggebend.

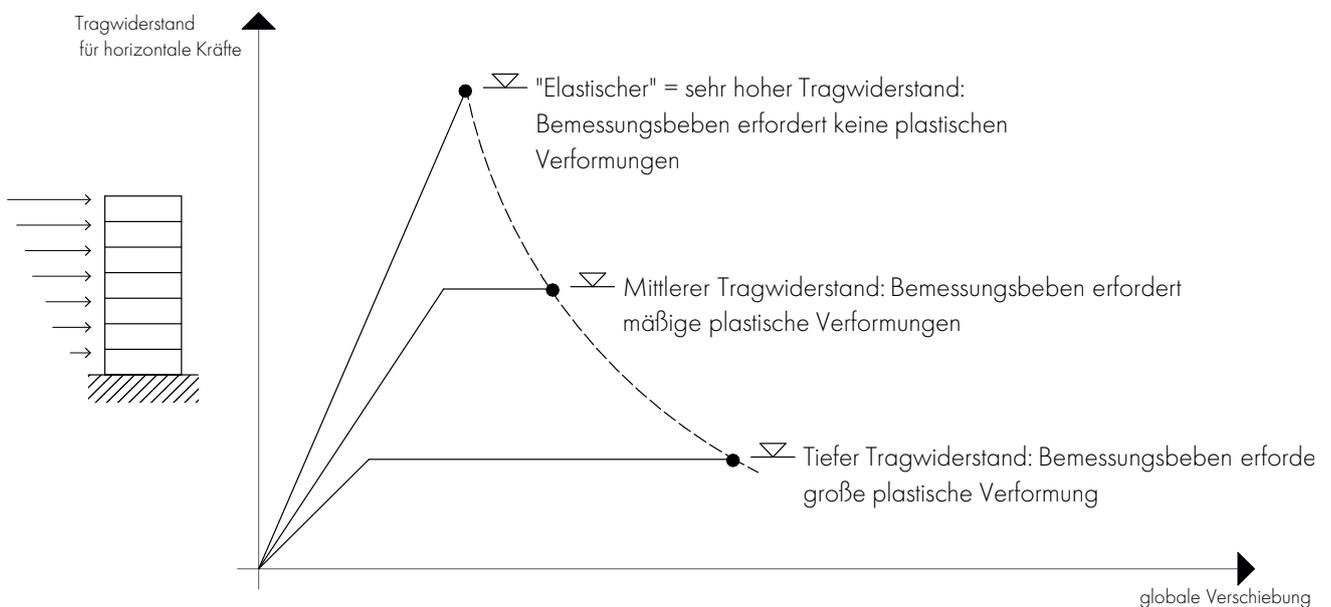


Abbildung 43:
verschiedene Möglichkeiten zur Ausbildung eines Tragwerks für ein bestimmtes Bemessungsbeben

2.3 Tragwerk: Aussteifungen und Anschlüsse

Um die Stabilität und Widerstandsfähigkeit von horizontalen Lasten in Folge eines Erdbebens zu erhöhen sind aussteifende Elemente für ein Bauwerk essentiell. Durch die effektive Aufnahme und Übertragung der Kräfte verringern sie strukturelle Schäden oder gar ein Einstürzen des Gebäudes. In jeder Hauptrichtung sollten aussteifende Tragwerksteile mit ähnlicher Steifigkeit und Tragfähigkeit angeordnet werden. Das System sollte so gewählt werden, dass der Steifigkeitsmittelpunkt und der Massenschwerpunkt nahe beieinander liegen um Torsion zu vermeiden. Im Fall von Mischkonstruktionen können durch die Kombination von Bauteilen unterschiedlicher Steifigkeit Probleme entstehen. Zum Beispiel bei Verbindungen zwischen Mauerwerk und Stahlbetonstützen oder Anschlüsse von Holzkonstruktionen (Unterkonstruktion Dach) an Mauerwerk beziehungsweise Stahlbetonbauteile. Die Wände von Holzkonstruktionen sollten mit Diagonalen oder Rahmenecken ausgesteift werden um die horizontalen Bewegungen zu begrenzen. Bei Mischkonstruktionen aus Stahlbetonstützen und ausfüllendem Mauerwerk (Großteil der Gebäude Indonesiens) sollte eine Stahlbetonrahmenkonstruktion gewählt werden sowie einem Ringbalken um die Gesamtsteifigkeit des Gebäudes zu erhöhen. Giebelwände sollten ebenfalls umlaufend mit einem Ringbalken versehen werden um die teils hohen Lasten der Dächer zu tragen. Die Dachkonstruktion sollte mit Diagonalen ausgesteift werden. (vgl. Blaß et al. 2007)

Anschlüsse zwischen Trägern und Stützen sollten so gestaltet sein, dass sie plastische Verformungen aufnehmen können, ohne zu versagen. Duktile Verbindungen erlauben es den Bauelementen, sich während eines Erdbebens zu bewegen, ohne die Integrität der Struktur zu gefährden. Im Fall Indonesiens sind mangelhafte Anschlüsse bei den vorherrschenden Mischkonstruktionen ausschlaggebend für deren Zerstörung oder Beschädigung. Das Mauerwerk sollte mittels horizontaler Bewehrung mit den Stahlbetonstützen verbunden werden. Diese horizontalen Bewehrungen können beispielweise in Lagerfugen oder geeigneten Nuten der Mauersteine verankert werden. Ein weiterer kritischer Punkt einer Konstruktion ist die Anschlusszone des Daches. Auflager sollten kraftschlüssig verbunden werden, um ein Abrutschen von Bauteilen zu vermeiden. Durch die Änderung der Belastungsrichtung während eines Erdbebens sollten Anschlüsse und Verbindungen in der Lage sein, seine Energien abzubauen und plastische Verformungen aufzunehmen.

2.4 Gründung

Die Gründung von Gebäuden in Erdbebenregionen erfordert besondere Aufmerksamkeit und sorgfältige Planung, um die Sicherheit der Gebäude und ihrer Nutzer zu gewährleisten. Eine umfassende Bewertung der seismischen Gefährdung der Region ist der erste Schritt. Es werden historische Erdbebendaten, geologische Bedingungen des Bauplatzes sowie tektonische Daten untersucht um die zu erwartende Gefahr von einem Erdbeben einschätzen zu können. Eine gründliche Untersuchung des Baugrundes ist essenziell um die Bodenverhältnisse zu verstehen. Je nach Beschaffenheit des Bodens können Erdbeben unterschiedliche Auswirkungen haben. Weiche Böden verstärken beispielsweise die Erschütterungen, während harte Böden die Erschütterungen besser ableiten können. Die speziellen erdbebensicheren Anforderungen an ein Gebäude erfordert demnach auch eine auf die Situation angepasste Gründungslösung. Die Gründung eines Gebäudes sollte ein einheitliches System darstellen. Zusammenhängende Gebäudeteile sollten nicht auf unterschiedlichen Böden fundiert werden. Falls es jedoch durch Fugen in einzelne Abschnitte unterteilt ist kann sich die Gründungsart in diesen ändern. (vgl. Bureaux et al. 2000)

Bei einer erdbebensicheren Bebauung erscheinen folgenden Arten und Maßnahmen der Gründung als vorteilhaft:

- Einzel und Streifenfundamente sollten durch ein zweidimensionales Netz an Querriegeln so miteinander verbunden sein, dass im Falle eines Erdbebens keine oder nur geringe differentielle Verschiebungen möglich sind. (vgl. Bachmann 2002)
- Tiefengründungen durch Pfähle oder Bohrpfähle erweisen sich in Regionen mit lockeren oder schwachen Böden besonders wirksam. Die Tiefengründungen übertragen die Lasten von der Oberfläche in den festeren, stabileren Untergrund um eine bessere Stabilität gegenüber Erdbebenkräften zu gewährleisten. (vgl. Bureaux et al. 2000)
- Basis Isolierung, bzw. schwimmende Lagerung. Dies beruht auf dem Prinzip der Entkopplung des Gebäudes vom Untergrund. Das Bauwerk kann sich somit unverformt in Horizontaler Richtung bewegen. Heute wird dies oft durch Lagerung der Gebäude auf Gummis oder Kugellagern erreicht. (Bei traditionellen Bauten in Indonesien häufig der Fall durch die Gründung auf oberirdischen Fundierungssteinen auf denen sich die Gebäude bewegen können.)
- Erdbebedämpfer wie viskose Flüssigkeiten, reibungsaktive Materialien oder ähnliches welche darauf abzielen die Energieübertragung zu reduzieren. Die Bewegungen und Schwingungen der Gebäudestruktur werden kontrolliert und absorbiert. Zum Beispiel durch Schwingungspendel oder Bleieinlagen im Fundament die die Erdbeben Schwingungen aufnehmen. (<https://www.baustoffwissen.de/baustoffe/baustoffknowhow/bauphysik/erdbebensicheres-bauen-definition-grundriss-baustoffe-steifigkeit-seismische-isolierung>)
- Bodenverbesserung durch Verdichtung, Injektion etc. um die Stabilität des Bodens zu erhöhen.

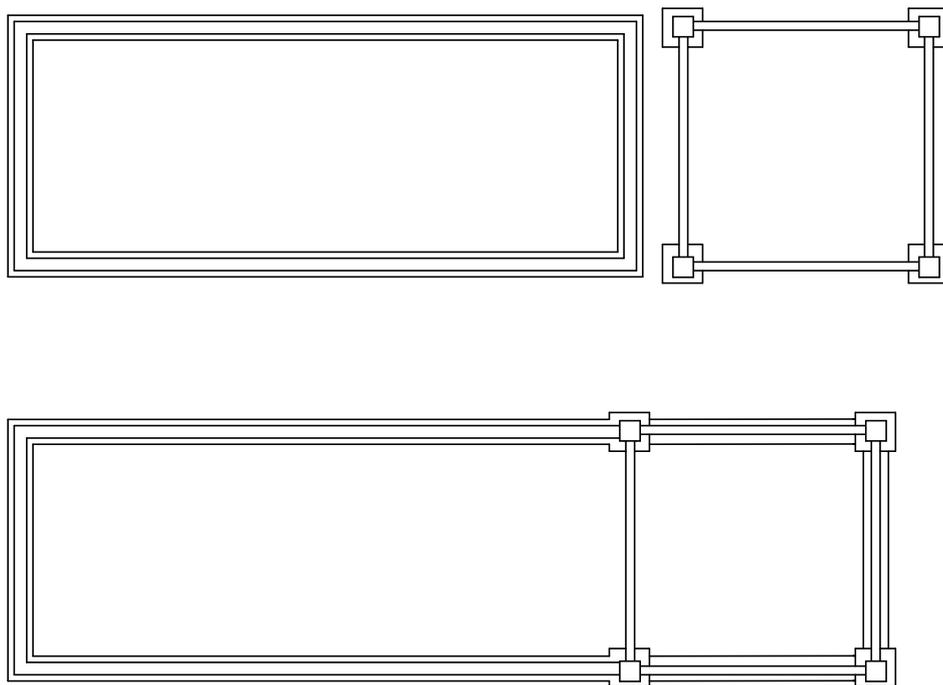


Abbildung 44:

Einheitlichkeit des Gründungssystems (Grundriss)
a) uneinheitliches System, b) zwei durch eine Fuge
getrennte einheitliche System

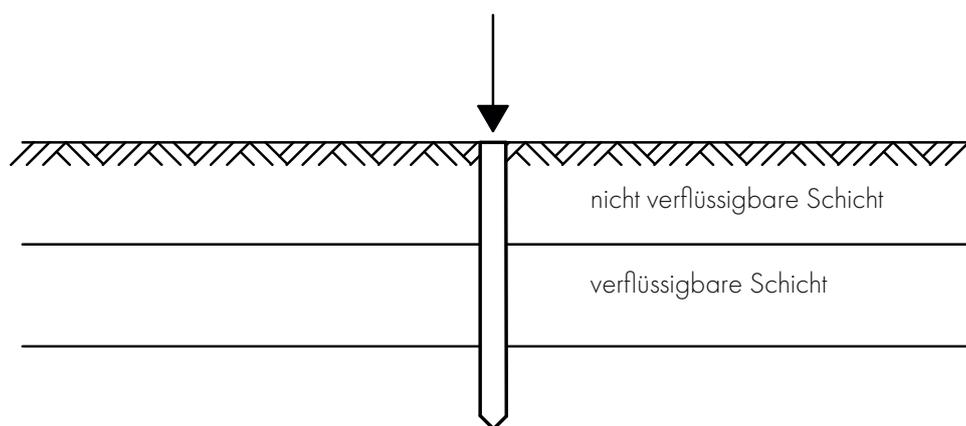


Abbildung 45:

Verhalten von Spitzendruck-Pfählen
bei Erdbeben

III. Die Frage der Individualität einer standardisierten erdbebensicheren Bebauung

Nach einem Erdbeben erfordert die Strategie Indonesiens für den Umgang mit erdbebensicherem Bauen eine systematische Vorgehensweise im sogenannten „Disaster Management Cycle“. In diesem Zyklus steht das Konzept „Build Back Better“ im Mittelpunkt, was bedeutet, dass die Wiederaufbaumaßnahmen darauf abzielen, Gebäude erdbebensicherer zu gestalten und sie besser als zuvor zu gestalten. Dieser Ansatz berücksichtigt die Notwendigkeit, nicht nur wieder aufzubauen, sondern auch die Widerstandsfähigkeit gegenüber zukünftigen Naturkatastrophen zu erhöhen. Die derzeitige Vorgehensweise konzentriert sich auf standardisierte Lösungen, um schnell auf den akuten Bedarf an Wohnraum zu reagieren. Die Frage, die sich hierbei stellt, betrifft die Anpassungsfähigkeit dieser Lösungen an die individuellen Gegebenheiten vor Ort. Es ist wichtig, aus vergangenen Ereignissen zu lernen und den „Disaster Management Cycle“ kontinuierlich zu verbessern, um besser auf zukünftige Katastrophen vorbereitet zu sein. (vgl. Petschenig 2023)

Um für Indonesien eine erdbebensicherere Bebauung zu gewährleisten wurde bereits in der Vergangenheit geforscht und standardisierte Lösungen für Wiederaufbautypen entwickelt. In den meisten Fällen steht ein wichtiges Thema im Vordergrund: die Abwicklung der modularen Wiederaufbauten muss schnell erfolgen und erdbebensicher sein. Es stellt sich jedoch die Frage ob die Individualität jedes einzelnen dadurch komplett außer Acht gelassen werden kann.

Es ist von großer Bedeutung die Behausungen in Indonesien erdbebensicher zu bauen und der Bevölkerung eine Sicherheit in ihrem eigenen Haus bieten zu können. Allerdings sollte auch die Wichtigkeit des Komforts und des Wohlbefindens der Menschen nicht unbeachtet bleiben.

„Es scheint ein zeitloses, an jedem Ort gültiges, ureigenes Bedürfnis des Menschen zu sein, sich in seine Umwelt eingebettet zu fühlen. Es ist ein Bedürfnis nach einer Verankerung im Raum, die Sicherheit und Halt gibt. Diese Verankerung ist Basis jeden gesellschaftlichen Zusammenhalts und wurde seit jeher durch die Setzung von Zeichen und Symbolen bewusst unterstützt und bedient.“

(Rieger-Jandl 2008: 41)

Während der Forschungsreise in Indonesien wurde sowohl auf Java als auch auf Bali und Lombok sehr schnell ersichtlich wie wichtig für die Indonesier ihre Kultur ist.

In den weiteren Kapiteln werden Beispiele aus der Tradition, von ausländischen Akteuren sowie Konzepte von Indonesischen Experten aufgezeigt, um ein Verständnis der unterschiedlichen Herangehensweisen von erdbebensicherer Bebauung zu erlangen. Vorrangig wird der Aspekt der Erdbebensicherheit gestellt, allerdings geht dadurch bei den meisten Versuchen die Individualität beziehungsweise der Charakter der Architektur verloren.

A. Bauliche Anforderung einer standardisierten erdbebensicheren Bebauung versus Bedürfnisse nach Individualität

1. Vorstellung einer standardisierten erdbebensicheren Bebauung – Fallbeispiel *Rumah Instan* RISBA



Abbildung 46:

Ansicht eines Wiederaufbautyps RISBA, Prototyp auf der Gadjah Mada Universität in Yogyakarta, Java

Nach dem verheerenden Erdbeben 2018 auf Lombok wurden einige Wiederaufbautypen von Experten aus Indonesien entwickelt, um dem Motto „Built Back Better“ gerecht zu werden. Einer der neu eingeführten Haustypen ist das „Instant Steel Frame House“, das mit dem indonesischen Akronym RISBA, „*Rumah instan struktur baya*“, bezeichnet wird und innerhalb weniger Tage (2-3 Tage) gebaut werden kann. Das RISBA ist das Ergebnis der Fakultät für Ingenieurwissenschaften der UGM¹⁸, in Yogyakarta, mitentwickelt von Professor Ashar Saputra. Der Hauptzweck ist ein alternatives Gebäude für den Wiederaufbau nach Katastrophen bereitzustellen und den Bedarf an schnellen, aber langlebige, sicheren und erdbebensicheren Strukturen zu decken. (Interview mit Professor Saputra: 29.03.2023)

Bei dem RISBA handelt es sich um ein 6x6 Modul mit einer Hauptstruktur aus CNP-Stahl. Die C-Profile werden doppelt angewendet und zu Balken und Stützen zusammenschweißt. Um das Tragwerk vor Korrosion zu schützen werden sie mit zwei Schichten Korrosionsschutz versehen. Die Tragstruktur wird ausschließlich über die Stahlprofile hergestellt. Die Außenwände werden bis zu 60 Zentimeter mit massiven Baumaterialien, wie Ziegelsteinen oder Porenbetonsteinen ausgefacht. Darüber schließen Calciumplatten oder ähnliche Plattenwerkstoffe das Gebäude ab. Der Fokus liegt auf der Leichtigkeit und Duktilität des Materials. Der Aufbau des Daches besteht aus einer Unterkonstruktion aus Leichtmetall und einer Wellenblech Deckung darüber. Der Dachstuhl hat eine höhere Neigung, um einen größeren Luftraum unter dem Dach zu schaffen. Dadurch entsteht eine größere Pufferzone wodurch die Hitze des Metaldaches reduziert werden soll.

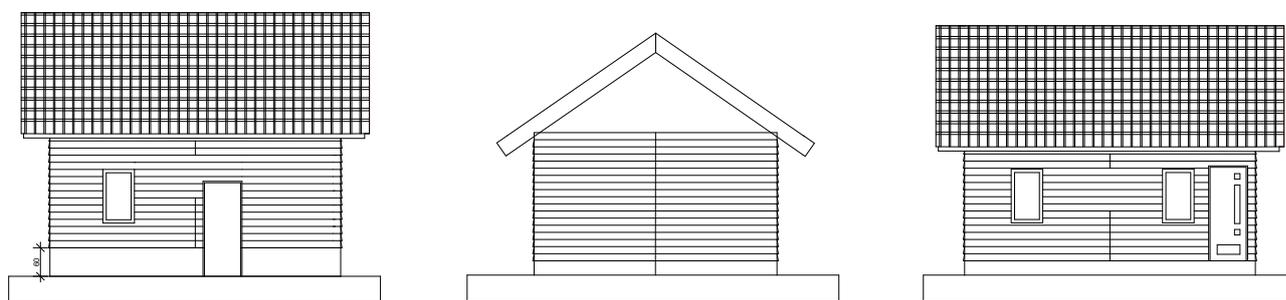


Abbildung 47:
Ansichten Wiederaufbautyp RISBA

¹⁸ Gadjah Mada Universität in Yogyakarta, Java

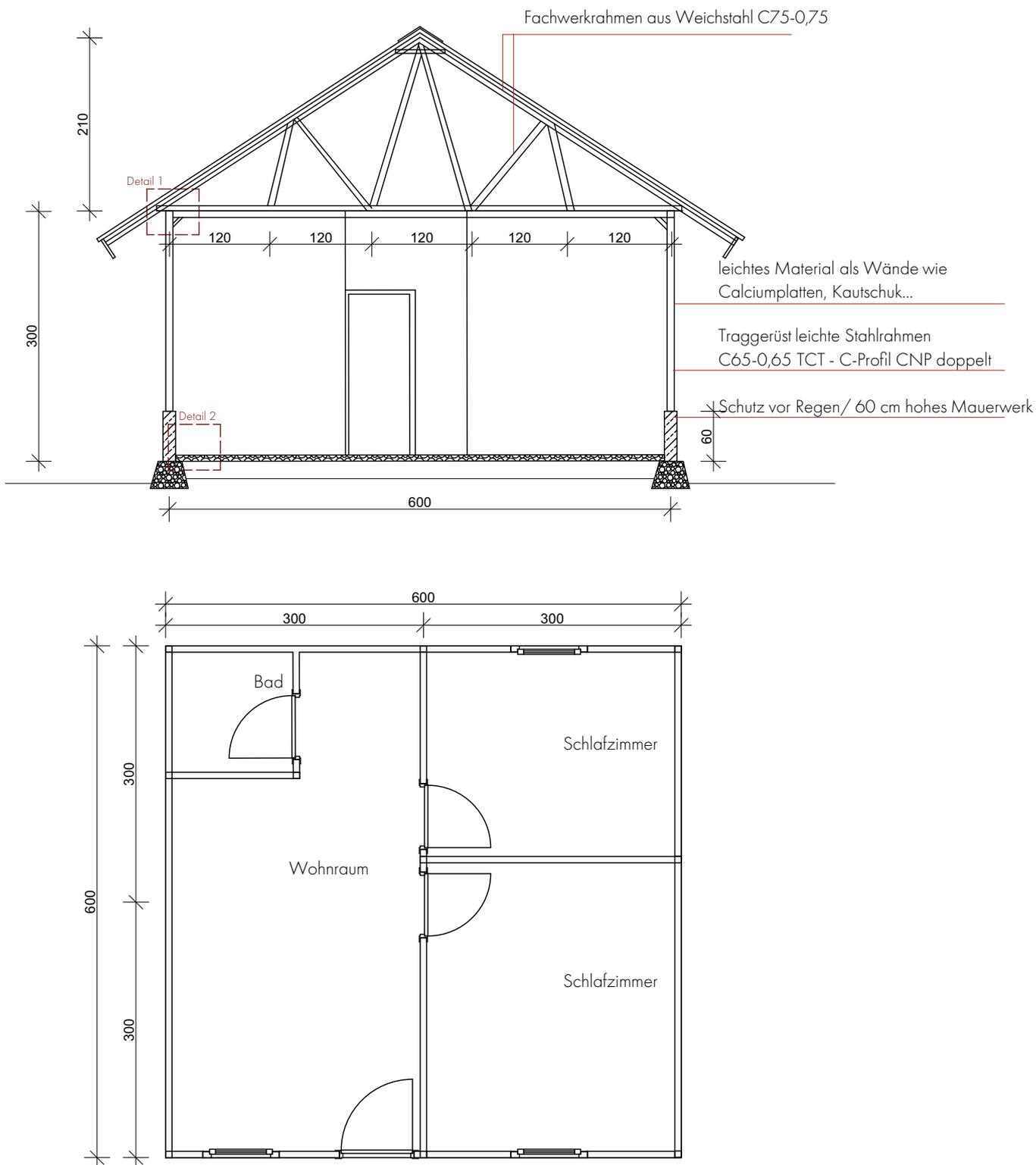


Abbildung 48:
Schnitt und Grundriss Wiederaufbautyp RISBA

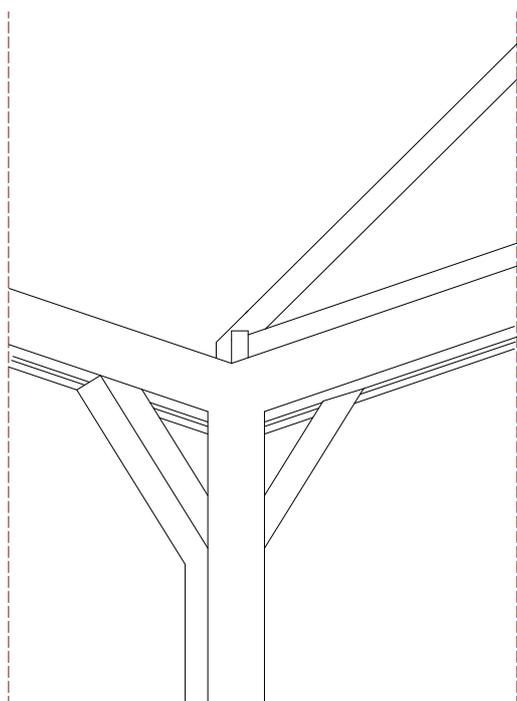


Abbildung 49:

Detail 1: Verbindung CNP-Profile Balken und Stützen oben

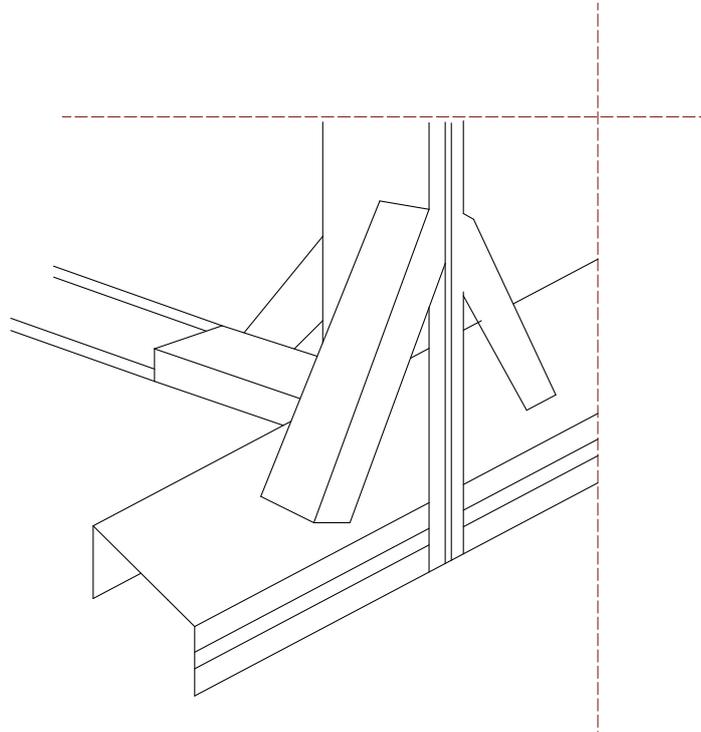


Abbildung 50:

Detail 2: Verbindung CNP-Profile Stütze und Balken unten

Ein großer Vorteil des Haustyps ist die schnelle Abwicklung des Aufbaus und der Montage, sowie die Verfügbarkeit des Materials und deren Auflistung im indonesischen Industriestandard. Es werden für den Bau keine spezifischen Fachleute sowie spezielle Werkzeuge benötigt. Für einen Wiederaufbau spielt in erster Linie der Erdbbensicherheitsfaktor eine große Rolle. Das RISBA wurde mehreren Simulationen und Tests unterzogen, welche zu einem positiven Ergebnis führten. (Interview mit Professor Saputra: 29.03.2023)

Der Hauptgrund ist die Wahl der duktilen aber stabilen Materialien (Stahlverbindungen) in Kombination mit den leichten Wänden und Dächern, sowie deren Ausführungen der Verbindungen. Das Konzept des RISBA ist wegen seines symmetrischen Grundrisses und der leichten Materialien auf jeden Fall sicherer als die zuvor gebauten Behausungen. Falls es dennoch zu einem Einsturz kommen sollte, kann die Zahl der Todesopfer durch die leichten Materialien der Wände und Dächer bei einem Erdbeben minimiert werden.

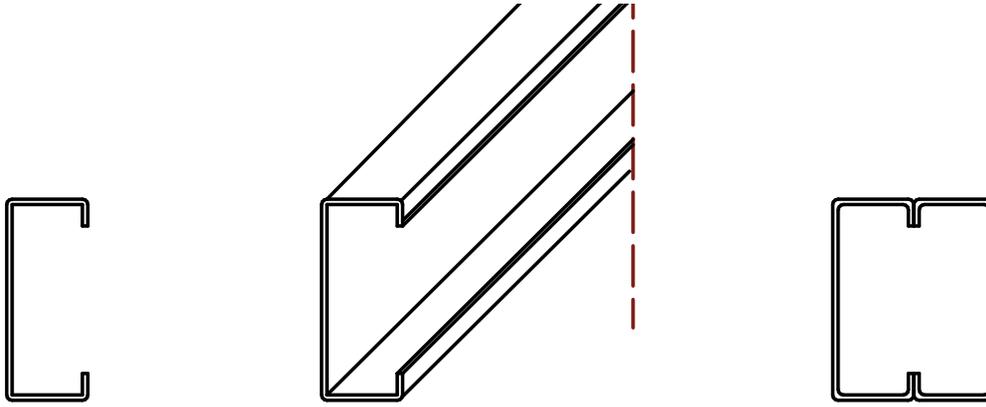


Abbildung 51:
CNP-Profil einzeln und doppelt zusammengeschweißt



Abbildung 52:
doppelte CNP-Profile als Traggerüst, Fassade Calcium/Faserplatten

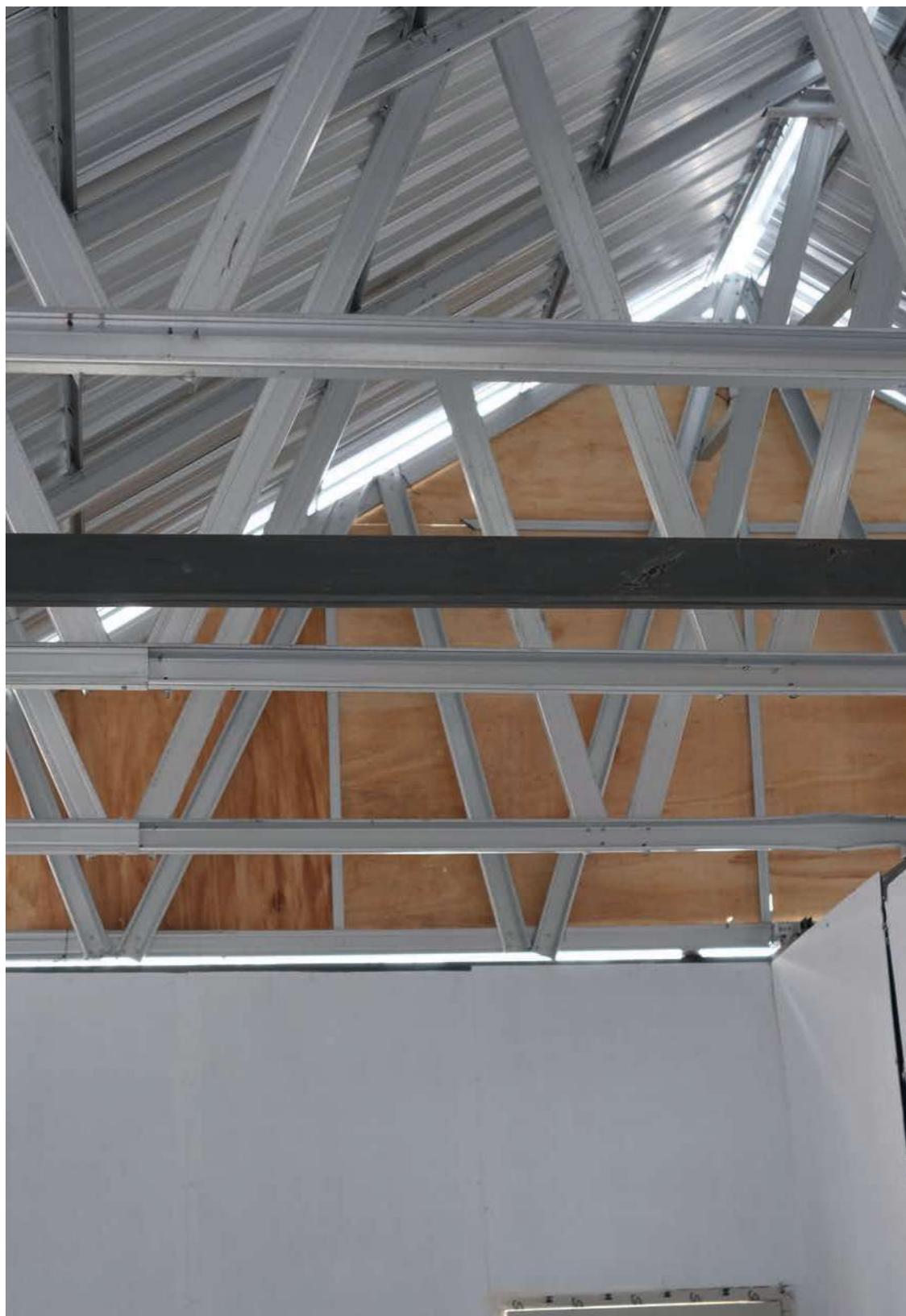


Abbildung 53:
Ansicht innen Aufbau der leichten Stahlunterkonstruktion für das Dach



Abbildung 54:
Wiederaubautyp RISBA, Prototyp an der UGM in Yogyakarta, 60 cm Mauerwerk,
Fassadengestaltung und CNP-profil sichtbar



Abbildung 55: Wohnkomplex Domes nach dem Erdbeben 2006 Yogyakarta ohne Adaptierungen, alle ident mit weißen Anstrich

2. Ausländische Planer – Fallbeispiel Rumah Domes auf Java

Nach dem katastrophalen Erdbeben 2006 auf Java mit einer Magnitude von 6,2 und ihrem Epizentrum in der Provinz Yogyakarta wurden Lösungen für den Wiederaufbau nach dem Erdbeben geforscht und Bebauungen entworfen.

(<https://www.bgr.bund.de/>)

Ein Fallbeispiel für eine erdbebensichere Bebauung ist das „Rumah Domes“ in der Nähe von Yogyakarta, welches nach dem Erdbeben 2006 errichtet wurde. Dieses Konzept wurde von der World „Association of Non-Governmental Organization“ (WANGO) und der „Domes for the World Foundation“ (DFTW) initiiert und von der in Dubai ansässigen Firma Emaar Properties¹⁹ erbaut.

(<https://www.dftw.org/indonesia>)

In dem Dorf stehen achtzig Domes von denen zweiundsiebzig heutzutage bewohnt sind. Wie der Name es schon verrät handelt es sich um einen runden Grundriss mit einem kuppelförmigen Dach.

Der Durchmesser beträgt sechs Meter mit einer Höhe von 4,5 Metern. Es gibt zwei Stockwerke mit einer Fläche von circa 28 Quadratmetern, zwei Türen und vier Fenster. Auf der Kuppel befindet sich ein Loch für die Zirkulation der Luft. Jeweils zwölf Domes teilen sich ein Gemeinschaftsbad beziehungsweise WC welches auch als ein Dome ausgeführt wurde. (vgl. Saraswati 2007: 136-142)

¹⁹ Emaar Properties PJSC ist ein Immobilienunternehmen, das die Projektentwicklung und deren Projektvermarktung in Dubai, Vereinigte Arabische Emirate betreibt.

Alle Behausungen haben exakt den gleichen Grundriss sowie auch einen weißen Anstrich. Dadurch sieht der Wohnkomplex mit den weißen Dome-Häusern komplett ident aus.

Aus der Sicht der Erdbebensicherheit ist der Dome, mit seinem runden Grundriss und festen Materialien sehr stabil und gut gegen Erdbeben und starke Winde. Die Konstruktion eines Domes besteht aus Bewehrungsseisen und Beton. Im Vergleich zu herkömmlichen rechteckigen oder quadratischen Grundrissen wird für den Bau eines Domes fünfzig Prozent weniger Beton und Bewehrungsstahl benötigt. Der Aufbau kann ohne besondere Fähigkeiten und Maschinen erfolgen und ist relativ kostengünstig sowie auch schnell aufgebaut.

(<https://www.dftw.org/indonesia>)

Es ist außer Acht zu lassen, dass diese Behausungen auf jeden Fall einem Erdbeben standhalten können und eine Sicherheit bieten. Es stellt sich jedoch die Frage inwiefern es für die lokale Bevölkerung geeignet ist? Ein Haus wird von den Javaner*innen²⁰ als ein Ort angesehen, der eng mit der Identität seines Besitzers verbunden ist. Die Art und Weise, wie ein Haus errichtet wird, berücksichtigt nicht nur die physischen Aspekte, sondern auch die psychologischen und spirituellen Werte. Sie haben das Sprichwort: „*sandang, pangan, papan*“, was bedeutet „*Kleidung, Nahrung, Unterkunft*“.

(vgl. Saraswati 2007: 137)

Es ist den Menschen in Indonesien sehr wichtig wie ihr eigenes Heim aussieht und was es über sie aussagt.

²⁰ sind eine Ethnie auf der indonesischen Insel Java

Dieses Gefühl bestärkt sich bei einem Besuch bei Bewohnern im „Dome Dorf“, „Desa Wisata Rumah Domes“. Suritman (ca.60 Jahre alt) lebt mit seiner Frau und seinen zwei Kindern in einem Dome und sie sind sichtlich sehr glücklich über ihre Situation ein Haus nach dem katastrophalen Erdbeben von der Regierung bekommen zu haben. Allerdings ist nicht nur von den Erzählungen, sondern auch architektonisch erkennbar, dass einiges an den Domes von der lokalen Bevölkerung selbst nachträglich adaptiert wurde. Der ursprüngliche Grundriss bietet keine Möglichkeit sich geschützt im Freien aufzuhalten. Daher wurde sowohl im vorderen Bereich eine kleine und im hinteren Teil des Domes eine größere Veranda gebaut. Der überdachte Eingangsbereich wirkt sehr repräsentativ mit Schindeln bedeckt. Der hintere Teil besteht aus einem Materialmix von Wellblech, Stahl, Holz und Kunstfaserplatten.

Wegen des Platzmangels im Inneren, wurde durch die Terrasse ein Ort zum Verweilen, sowie ein Waschplatz mit einer Küche und Platz zum Trocknen von z.B. Reiskuchen geschaffen. Suritman und seine Frau berichten, dass in der Gegend die meisten Menschen in der Landwirtschaft tätig sind. Neben den Domes findet man weitere Hütten aus Holz sowie aus Ziegeln, welche als Schuppen und Lagerräume von Werkzeugen und Anbaugeräten genutzt werden. All dies musste auch nachträglich errichtet werden, da nur die Behausung des Domes aus Platzgründen nicht ausreichend sind beziehungsweise nicht auf die Tätigkeiten der Bewohner abgestimmt wurden.

Der Stolz der Familie, in einem „American design“ mit „strong construction“ zu wohnen ist sofort rauszuhören. (Interview mit Bewohner Suritnam: 27.03.2023) Sie fühlen sich sehr sicher und haben ihre eigene Individualität mit Adaptierungen und Veränderungen freien Lauf gelassen. Um das Haus gibt es ein dekoratives Wasserbecken und hinter dem Gebäude einen eigenen Fischteich. Zu erkennen ist, dass die Materialien vor dem Haus mit einer Ziegelüberdachung sehr repräsentativ sind und im hinteren Bereich, aus Geldmangel, gefundenes Material als Mix verwendet wurde. Im Dome selbst halten sie sich nur zum Schlafen auf, die meiste Zeit verbringen sie auf der Terrasse und in ihrem Garten, in dem sie auch viele Pflanzen und Gemüse anbauen. Die Gärten wirken sehr gepflegt und der Wunsch von Verschönerung ist nicht zu übersehen.



Abbildung 56:
Suritman vor seinem Haus

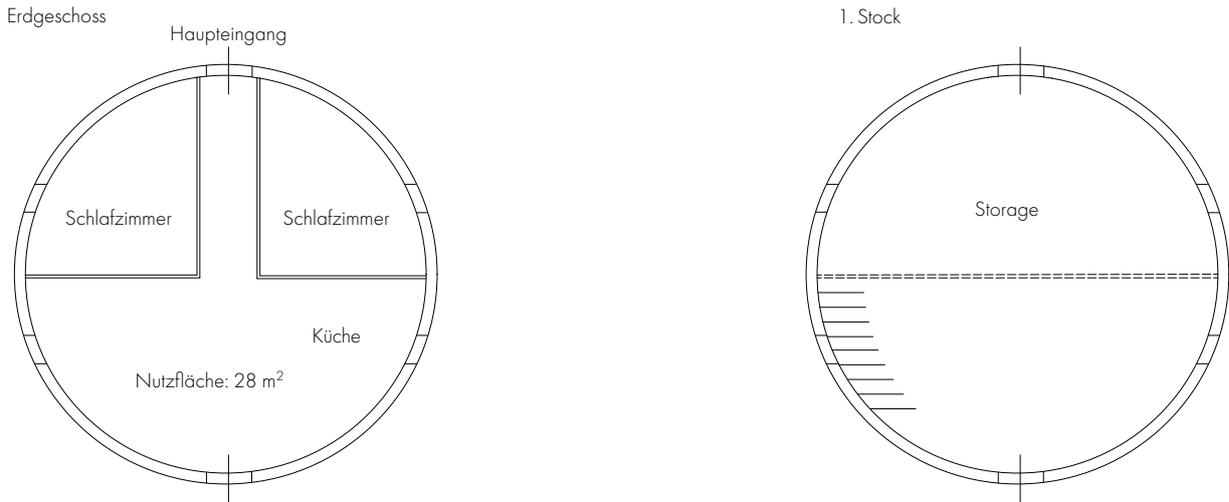


Abbildung 57:
Suritmans Haus: Grundriss

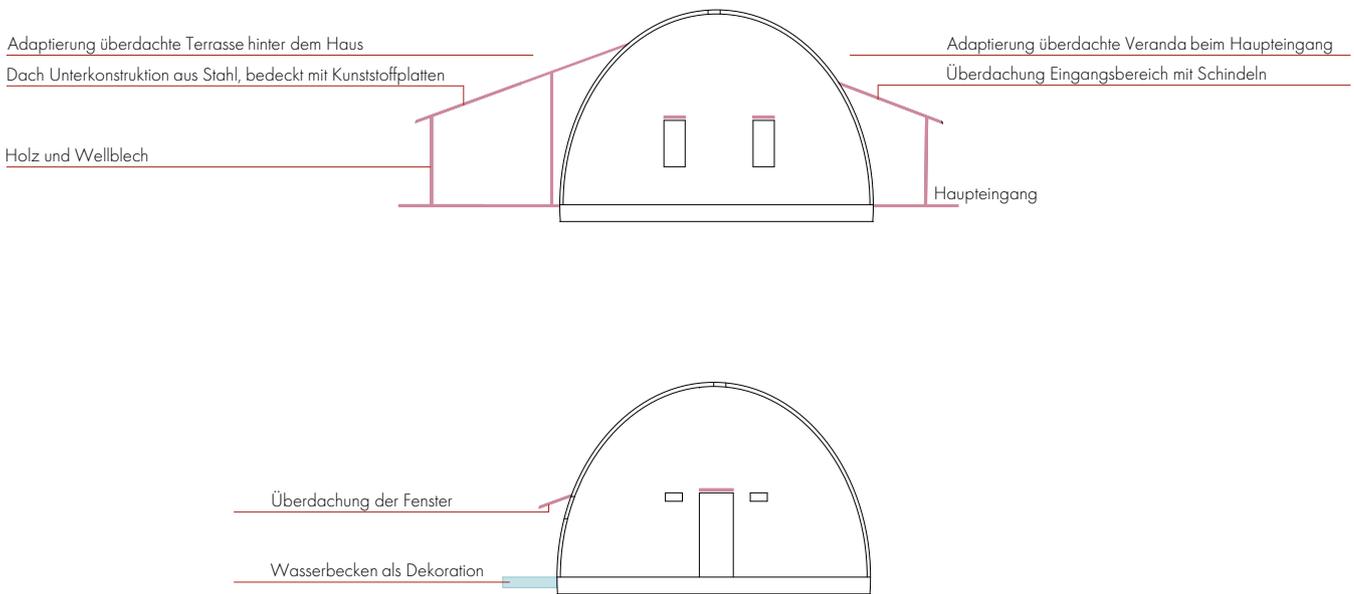


Abbildung 58:
Suritmans Haus: Ansicht mit Adaptierungen

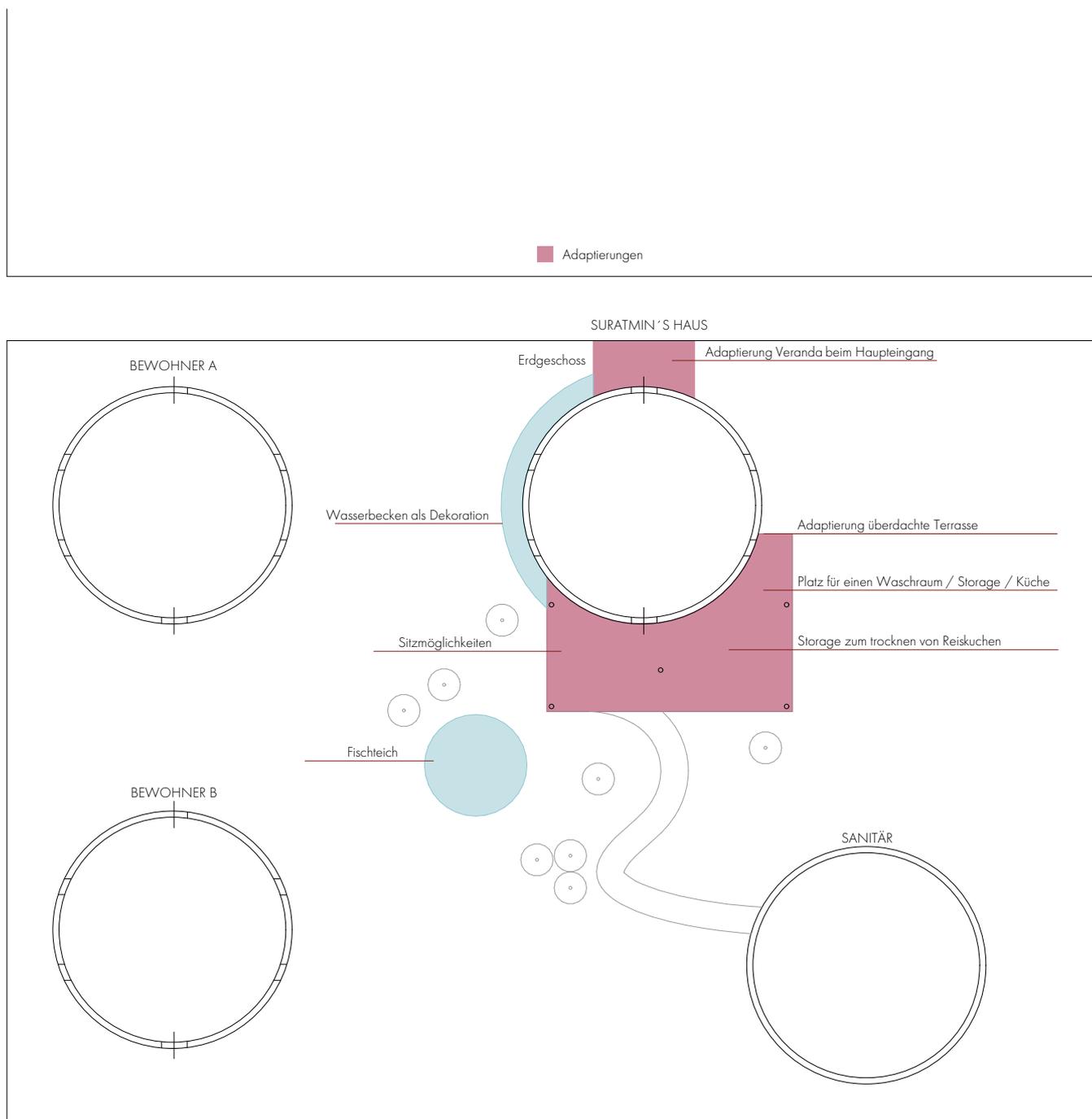


Abbildung 59:
Lageplan Suritmans Haus mit eigenen Adaptierungen

Ein großes Problem bei den Domes ist die Missachtung der tropischen Architektur. Bei dem Luftloch in der Spitze des Domes dringt Regenwasser ein, sowie auch bei den Oberlichtern der Türen und Fenstern. Dadurch wurde als Schutz Konsolen, Überstände oder Überdachungen von der lokalen Bevölkerung an ihren Häusern angebracht. Durch die kuppelförmigen Dächer wird kein Schutz vor Regen oder eine natürliche Beschattung geboten wie bei herkömmlichen Satteldächern. Dies zeigt erneut, dass die Gebäude nicht mit dem örtlichen Klima harmonieren. Im Nordpolgebiet benötigen Iglu-Häuser keine Belüftung um warme Luft zu isolieren und kalte Luft fernzuhalten. In Indonesien, ein tropisches Land, ist es natürlich von großer Wichtigkeit und ein Faktor des Komforts die Hitze in einer Behausung so gut wie möglich zu minimieren und eine natürliche Belüftung zu gewährleisten.

Die Domes haben sich optisch in den letzten Jahren sehr verändert. Die Bewohner haben alle ihre Häuser adaptiert und verändert. Sei es die weiße Farbe bunt überstrichen, Vordächer und Terrassen gebaut. Überall hängen Pflanzen von den Konstruktionen. Der Dome wurde als „Konstruktionskern“ von individuellen Zubauten verwendet. All dies bedeutet zusätzliche Kosten für die lokale Bevölkerung. Spürbar erkennbar in der Umsetzung und Konstruktion der verschiedenen Zubauten, wie viel Geld eine Familie selbst dafür zur Verfügung hatte.

Der Wohnkomplex wurde schlussendlich zu einer touristischen Attraktion durch ihre bunten runden Häuser, wurde eine Parallele zu der Kinderserie „Teletubbies“ gezogen. Auf den Domes sind teilweise solche abgebildet um Touristen anzulocken. Es entstand eine Art „Teletubbies – World“ mit Figuren und Kostümen. Dadurch hat die lokale Bevölkerung die Möglichkeit durch den Besuch von Touristen sich etwas dazu zu verdienen.

Das *Rumah Dome* ist ein sehr gutes Beispiel dafür, dass der einzige Faktor die Erdbebensicherheit war und nicht der Komfort und die Erkenntnis dafür, dass es für ein tropisches Klima nicht optimal geeignet ist. Durch die Adaptierungen und Zubauten an den Domes ist nun zu hinterfragen ob die Struktur erdbebentechnisch dadurch geschwächt wird. Die meisten Zubauten sind direkt an der Konstruktion des Domes angebracht und verwenden diese als ein Traggerüst. Die Zubauten sind wiederum aus einem Materialmix ohne ein richtiges Tragwerk ausgeführt.



Abbildung 60:

Domes als „Teletubbies World“ - Abbildung der Teletubbies und bunte Bemalung



Abbildung 61:
Eigenregie der Adaptierungen direkt an den Domes

3. Indonesische Experten – Fallbeispiel „core house“ auf Java

Während der Forschungsreise hatte ich mehrere Gespräche mit Experten auf der Gadjah Mada University in Yogyakarta, wie mit dem Professor Ikaputra von der Abteilung „Architecture & Planning, Faculty of Engineering“. Er hat nach dem Erdbeben 2006 intensiv beim Wiederaufbau mitgewirkt und das „core house“ entwickelt. „Core house“ kann man übersetzen in „Kernhaus“. Das Konzept hinter dem Wiederaufbau zielt nicht darauf ab, den Raum zu minimieren, sondern die Nutzung des Raums für das Familienleben zu maximieren, indem es ihre Bedürfnisse im Haus unterbringt.

Nach dem Erdbeben wurde von der Regierung in den stark betroffenen Regionen, wie in Kasihan, Bantul südlich von Yogyakarta das Modell des „core houses“ als Wiederaufbautyp angewendet. Anfangs hat jede Familie das gleiche Haus, mit einem gleichen Grundriss und Maßen, aufgestellt bekommen. Es war eine relativ rasche Lösung und ein neues Dach über dem Kopf. Im Interview mit Professor Ikaputra wurde deutlich, dass das Prinzip dieser Behausung ist, dass die lokale Bevölkerung danach selbst das Haus adaptieren und vergrößern können. Laut ihm wurden sie vor Ort eingeschult und in den Bau involviert, um zu lernen wie man richtig mit den Materialien und dem Tragkonzept umgeht. (Interview Professor Ikaputra: 26.03.2023)

In Kasongan, Kasihan südlich von Yogyakarta habe ich mir einen eigenen Eindruck von den Wiederaufbauten gemacht. Zu Beginn war es nicht einfach solch eine Behausung zu finden, doch nach längerem Herumfragen hatte ich Glück bei einer Töpferwerkstatt. Hier traf ich den Besitzer Herrn Tejo (ca. 65 Jahre alt) und er begleitete mich zu mehreren „core“ Häusern.

Ein Standard „core“ haus besteht aus zwei Modulen mit jeweils 3 x 3 Metern mit der Möglichkeit einer Adaptierung am hinteren Teil des Hauses.

(Interview Professor Ikaputra: 26.03.2023)

Die Häuser haben im vorderen Teil eine überdachte Veranda. Wie auch viele andere Behausungen sind die Wände mit Ziegelsteinen ausgefüllt, allerdings fällt schnell auf, dass ein Stahlbetonrahmen als Tragkonstruktion verwendet wurde. Die gezeigten Beispiele stehen auf alten Fundierungen, welche das Erdbeben 2006 standgehalten haben. Darauf befindet sich ein Stahlbetonringanker, die Stahlbetonstützen sowie die Ringanker sind mit Ziegelsteinen ausgefacht. Mr. Tejo weist mehrmals auf den Stahlbetonrahmen und die Ringanker im unteren wie auch im oberen Bereich hin. Viele andere Häuser in der Gegend besitzen lediglich zwei Stützen, welche mit Ziegeln ausgefacht werden. Meist ist die Ziegelanordnung nicht ordnungsgemäß sowie auch die Mörtelfugen zu breit ausgeführt. Bei den gezeigten „core“ Häusern scheinen die Fugen und Ziegelanordnungen auf jeden Fall besser, dennoch noch nicht optimal. Auf dem oberen Stahlbetonrahmen liegt ein Holzbalken auf dem die Dachkonstruktion (Holzkonstruktion Lattung + Konterlattung und darauf die Dachschindeln) ruht.

Wegendendurchgezogenen Stahlbetonrahmen und des ausgeführten Ringankers wirken die „core“ Häuser sehr stabil und auf jeden Fall erdbebensicherer.



Abbildung 62:
Wiederaufbautyp „Core Haus“ plus Adaptierungen in Kasongan, Java



Abbildung 63:

Adaptierung links ausgefacht mit Porenbetonstein, fehlender Stahlbetonringanker im unteren Bereich

Die Erweiterungen der „core Häuser“, welche von der lokalen Bevölkerung selbst ausgeführt wurden, sehen teilweise schon etwas anders aus. Die Hauptkonstruktion ist die gleiche und ersichtlich erdbebensicherer als die Gebäude zuvor, allerdings fehlte bei den gezeigten Beispielen im unteren Bereich der Stahlbetonringanker. Die seitlichen Stützen sowie der obere Ringanker wurden wie bei dem Konzept des Kerns übernommen. Man kann erkennen, dass durch die freiliegenden Bewehrungsseisen, welche durch das feuchte und tropische Klima zu einer Schwachstelle werden können, nicht der gleiche Standard erreicht wurde. Ausgefacht wurde nicht mehr mit Ziegeln, sondern mit Porenbetonsteinen, die größer, neuer und weniger Zementmörtel benötigen. Für die Dachkonstruktion wurde statt Holz nun Bambus verwendet, was auch eine günstigere Variante sein könnte.



Abbildung 64:

freiliegende Bewehrungsseisen im oberen Bereich der Mauer

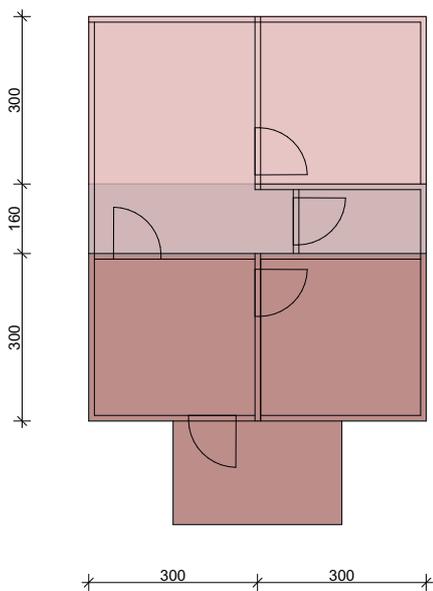


Abbildung 65:
Grundriss „core House“ mit Adaptierungen

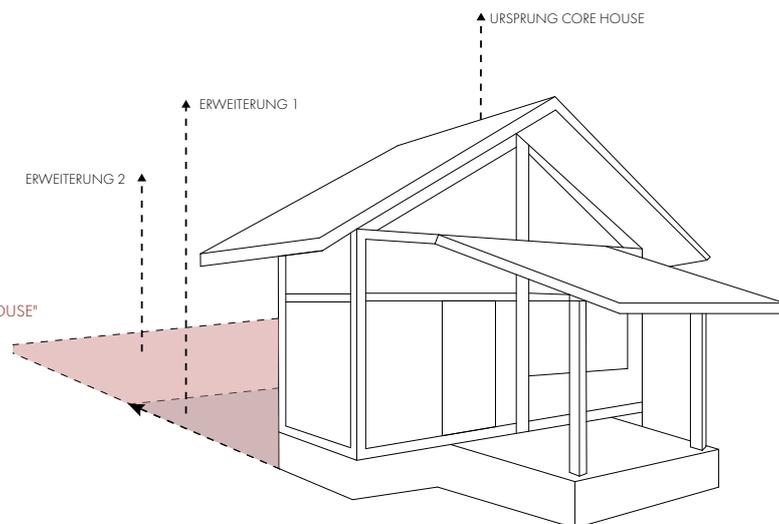


Abbildung 66:
„core House“ mit möglichen Adaptierungen

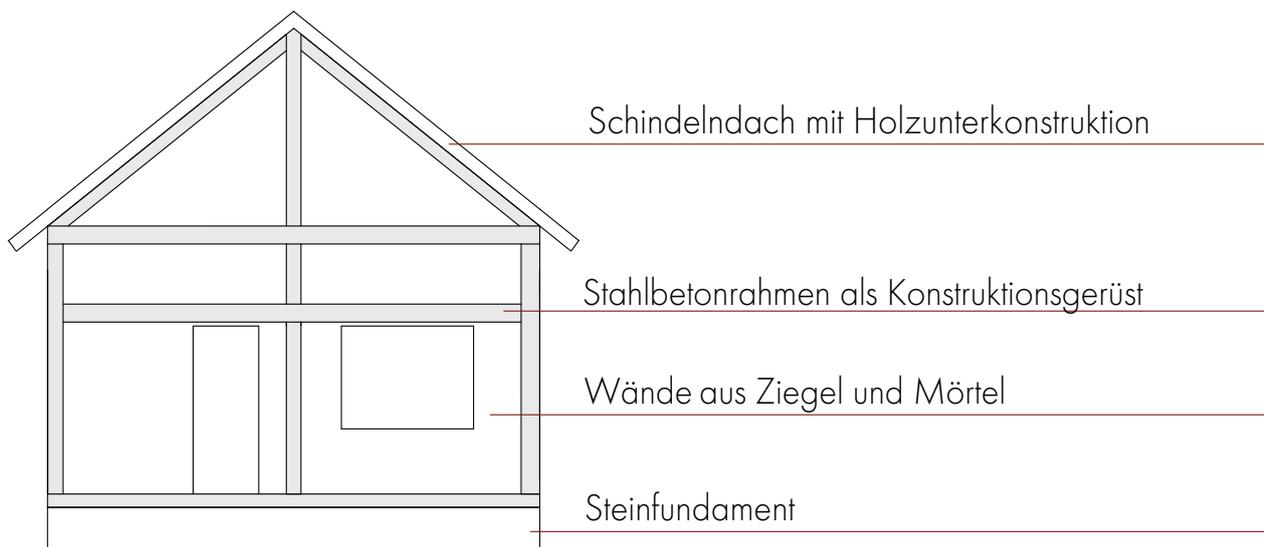


Abbildung 67:
Ansicht „Core House“

Trotz der teilweise mangelhaften Umsetzung der Adaptierungen wirken die Häuser durch ihre Rahmen und Konstruktion stabil, auch wenn das Gewicht der Konstruktion die Frage in den Raum stellt, ob nicht leichtere Materialien für ein weiteres Erdbeben die bessere Wahl gewesen wären.

Dennoch ist das Konzept des „Core House“ meiner Meinung nach eine richtige Herangehensweise, da das Wohlbefinden und die Möglichkeit einer Erweiterung seines eigenen Heimes im Fokus dieses Wiederaufbautyps stehen. Die lokale Bevölkerung hat die Chance mit zu entscheiden und ihre Individualität freien Raum zu lassen. Die Häuser sehen sich auf jeden Fall ähnlich, aber keines ist gleich wie das andere.



Abbildung 68:
„Core House“ Sockelzone mit Ziegelausfachung, Stahlbetonrahmen



Abbildung 69:
Auf dem oberen Stahlbetonrahmen liegt ein Holzbalken auf dem die Dachkonstruktion ruht



Abbildung 70:

„Core House“ Dachaufbau, Bambusunterkonstruktion, Luftzirkulation durch nicht vollkommenes schließen der Wände bis zum Dach



Abbildung 71: Dorf Sasak Ende im Süden von Lombok, traditionelle Architektur, Alang-Alang Dach

4. Traditionelle Prinzipien – Fallbeispiel „Bale Tani“ Sasak Haus auf Lombok

Der Sasak-Stamm ist ein indigener Stamm der Insel Lombok und wurde früher als Sasak Boda bezeichnet, was eine Glaubensrichtung vor der Einführung des Islam war. Die meisten seiner traditionellen Siedlungen befanden sich in den Binnenregionen. Das Leben der Sasak ist eng mit der Natur verbunden, wobei die natürliche Umgebung aus Bergen, Hügeln, Feldern und Flüssen eine natürliche Form des Makrokosmos darstellt. Bis heute bewahren die Sasak ihre kulturelle Schönheit, obwohl sie für Touristen zugänglich sind, die ihre traditionellen Siedlungen besuchen. Die Sasak hegen eine tiefe Überzeugung in die übernatürliche Kraft des Mount Rinjani, der als Wohnort von Dewi Anjani angesehen wird, einer respektierten Figur für die einheimischen Sasak. Die Siedlungen der Sasak weisen Muster auf, zusammen mit kosmischen und symmetrischen Standorten und Ausrichtungen.
(vgl. Wahyudi/Antariksa/Utami 2022)

Das Dorf „Ende“, im Süden von Lombok, besteht aus 35 traditionellen Häusern mit einer Bewohneranzahl von 175 Menschen. (Interview Guide aus dem Village Ende: 26.05.2023)



Abbildung 72: Dorf Sasak Ende: 100 Jahre alte Türen, werden Generation zu Generation weitergegeben

Das traditionelle Haus „Bale Tani“ („Bale“ bedeutet Haus und „Tani“ bedeutet Farmer) ist ein Gebäude, das von den Sasak als Ruheplatz genutzt wird. Das traditionelle Haus „Bale Tani“ hat eine Größe von 5,10 x 6,00 Metern und die Gebäudehöhe vom Boden bis zum Dach erreicht 4,5 Meter. Im Inneren des Hauses befinden sich zwei Räume, in dem die Frau und Kinder schlafen. Vor dem Haus gibt es eine große Veranda, welche teilweise auch mit Wänden geschlossen oder geöffnet werden kann. In diesem Bereich halten sich hauptsächlich die Männer auf. Die Gebäude, sind alle noch traditionell im Sasak Baustil gebaut. Die verwendeten Materialien wie Holz, Bambus, Gras, Kuhdung und Schlamm sind alles natürliche Materialien aus dem eigenen Dorf. Die Fundamente sind aus Lehm und leicht vom Boden erhoben. Diese werden jeden Monat von den lokalen Einwohnern aufgrund von Witterungsgefahr und Schutz vor Insekten mit Wasser und Kuhdung selbst bearbeitet um Brüche im Fundament vorzubeugen. Unter dem Fundament sieht man bei manchen Häusern Steine, um das Lehmfundament noch mehr zu schützen und vom Boden abzuheben. Die Dächer haben eine Bambusunterkonstruktion und darüber sind sie mit einem Alang Alang Gras bedeckt. Die Verbindungen vom Dach werden mit Palmengräsern verbunden. Es werden allgemein für die ganze Konstruktion des Hauses keine Nägel genutzt, sondern nur natürliche Materialien. Ausgefüllt werden die Häuser mit Holzwänden, welche ungefähr alle 25 Jahre ausgetauscht werden müssen. Die Außenwände bestehen aus geflochtenem Bambus. Die Eingangstüre in einem Haus spielt für die Bevölkerung eine wichtige Rolle. Es sind 100 Jahre alte traditionelle, wunderschön verzierte Holzschiebetüren. Die Türen sind sehr niedrig, damit jeder wer eintritt sich bücken muss und Respekt zeigt. Diese werden dem Sohn, wenn er heiratet als Hochzeitsgeschenk weitergegeben für sein eigenes Haus im Dorf. (Interview Guide aus dem Village Ende: 26.05.2023)

Die Küche befindet sich nicht im Haupthaus, sondern ist separat daneben ein kleines eigenes Gebäude. Die traditionelle Sasak Bevölkerung hat keinen Strom und kocht mit einer Feuerstelle mit Brennholz, was als eine Gefahrenzone gesehen wird. (Interview Guide aus dem Village Ende: 26.05.2023)

Diese traditionellen „Bale Tani“ werden schon seit Jahrzehnten von der ethnischen Gruppe Sasak gebaut und haben dementsprechend schon einige Erdbeben überstanden. Die Bauweise aus Holz und leichten Materialien, wie das Alang-Alang²¹ Dach, war schon damals die beste Wahl um Erdbebenschwingungen zu widerstehen. Das leichte Material der Alang-Alang-Blätter und ihre charakteristische Zubereitungstechnik sorgen dafür, dass das Dach des Hauses bei einem Erdbeben nicht leicht einstürzt. Das Gebäude kann sich durch ihre Duktilität bei Schwingungen mitbewegen und erzeugt keine Spannungsfelder wegen schlecht verarbeiteten Verbindungen. Alle Verbindungen des Hauses erfolgen mit natürlichen Materialien, wie Palmgräser, welche eine sehr feste Eigenschaft haben aber trotzdem die Möglichkeit bieten sich mit dem Haus in einem gewissen Grad in x- und y-Richtung zu bewegen. Geometrisch betrachtet handelt es sich bei dem traditionellen Haus um ein symmetrisch-rechteckiges Gebäude. Diese Form erwies sich letztendlich als effektiv, um auf Erdbeben zu reagieren, wie es in der indonesischen Norm für den Bau von erdbebensicheren Gebäuden vorgeschlagen wird. (vgl. Wahyudi et al. 2022)

²¹ Alang-Alang ist eine Grasart



Abbildung 73: Dorf Sasak Ende, traditionelles „Bale Tani“ mit einer Veranda vor dem Haus, teilweise mit Bambuswänden schließbar



Abbildung 74: Dorf Sasak Ende, Lehmfundament wird mit Wasser und Kuhdung behandelt um Risse und Witterungsgefahr zu vermeiden



Abbildung 75: Dorf Sasak Ende, Außenwände aus Bambusgeflecht und luftdurchlässigen Öffnungen



Abbildung 76: Dach besteht aus Palmengräsern (Alang-Alang)



Abbildung 77: Bambusunterkonstruktion des Daches werden mit Palmengräsern verbunden



Abbildung 78: traditionelles „Bale Tani“ auf einem Lehmfundament, überdachte Veranda; mit einer Treppe und einer niedrigen Holztüre gelangt man ins Innere; es werden nur natürliche Materialien wie Holz, Bambus, Gras, Kuhdung und Schlamm verwendet

Auf Lombok findet man teilweise noch mehrere verschiedenen traditionellen Dörfer, wie das Dorf Sembagek im Norden von Lombok. Die Bauweise ähnelt dem oben beschriebenen „Bale Tani“, es unterscheidet sich nur von der Ausführung des Fundaments und den Verbindungen. Hier steht das Haus aufgeständert auf Stützen. Darunter befinden sich große Steine als Fundament auf dem die Stützen ruhen. Für die Verbindungen werden auch keine Nägel verwendet, sie werden lediglich in einem Stecksystem verbunden. Diese Technik macht das Haus flexibel zwischen den Teilen, so dass es in der Lage ist, den Bodenbewegungen bei einem Erdbeben zu folgen. Jeder Teil des Gebäudes stützt den anderen und widersteht dem Schütteln bei einem Erdbeben. (vgl. Susanthi/Meisandy/Nisa 2021)

In beiden Dörfern gibt es einen großen Platz um zu verweilen, welcher auch als ein Amphitheater dient. Der Bevölkerung sind der Zusammenhalt und die Gemeinschaft miteinander sehr wichtig.

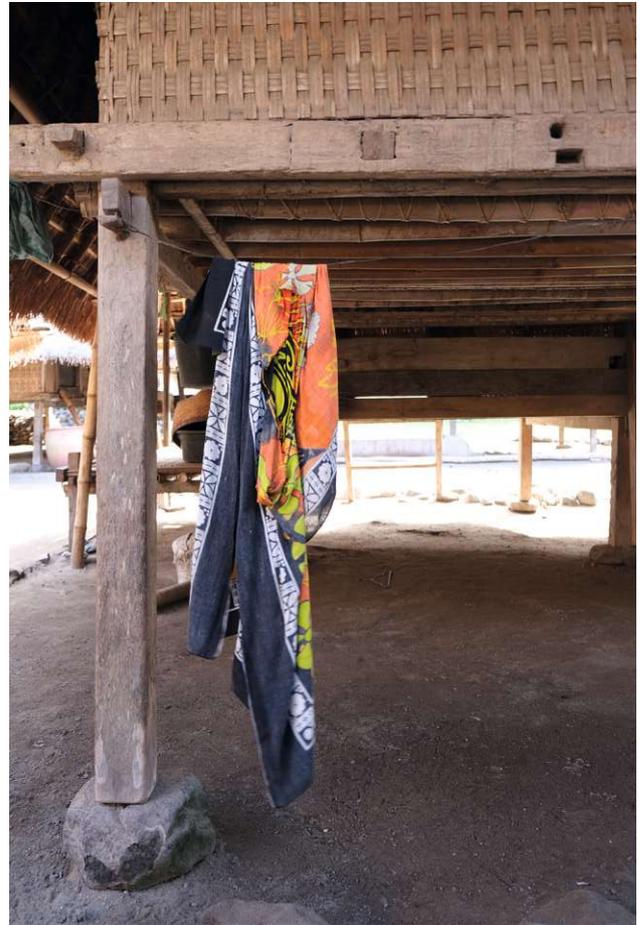


Abbildung 80: Dorf Sembagek: aufgeständert auf Holzstützen darunter große Steine als Fundament



Abbildung 79: Dorf Sembagek: Verbindung der Holzkomponente mittels Stecksystem



Abbildung 81: Dorf Sembage: Hausanordnung nebeneinander; Steinbarrieren als Schutz gegen Regenwasser, Häuser bestehen aus natürlichen Materialien, aufgeständert mit einer Holzkonstruktion, Wände sind aus Bambusgeflecht und Dächer aus einer Bambusunterkonstruktion und Alang-Alang Deckung

B. Resultierende Erkenntnisse der Fallbeispiele

Die Berücksichtigung von Erdbebensicherheit spielt eine wesentliche Rolle im Bauwesen. Bei der Gestaltung und Errichtung von Gebäudestrukturen ist es von entscheidender Bedeutung, dass sie sicher allen Einwirkungen (sowohl vertikalen als auch horizontalen Bewegungen) widerstehen können, denen sie jederzeit ausgesetzt sein könnten. Die Einwirkungen können sowohl das Eigengewicht als auch die Nutzlast des Gebäudes umfassen. Es ist erforderlich, diese Lasten systematisch durch die tragenden Bauelemente des Gebäudes zu verteilen, beginnend von der Gebäudespitze bis hin zu den Fundamenten. (vgl. Bachmann 2002)

All die oben genannten Beispiele, sei es die standardisierte Lösung für die Regierung, das RISBA, der aus dem Ausland kommende „Dome“, das Erweiterbare „core house“ oder die schon seit Jahrhunderte bestehende traditionelle Bauweise, alle diese Typen sind auf einer Weise erdbebensicher. Allerdings zeichnen sich einige Unterschiede in der Umsetzung und in der Wahl der Bedürfnisse der indonesischen Bevölkerung ab.

Das Traggerüst des modularen RISBA ist aus Stahl, welches den Vorteil hat, dass es leicht montiert und überall auf Indonesien verfügbar ist. Der Transport und die Abwicklung der Materialien eines RISBA erfordern keine schwer maschinellen Anforderungen. Auch der symmetrische Grundriss sowie die leichtere Dachkonstruktion ist erdbebentechnisch vorteilhaft. Trotz allem ist bei dem Konzept der Spielraum für individuelle Wünsche, wie Adaptierungen von Terrassen oder Vergrößerungen der Gebäude, begrenzt. Da das Know-how beziehungsweise auch das Geld nicht ausreichend vorhanden ist. Das „core Haus“ wiederum forciert darauf, die Standardhäuser zu erweitern. Hier war der Austausch zwischen Fachleuten und den Bewohnern gegeben, um die Möglichkeit zu bieten deren eigenes zu Hause zu vergrößern. In Indonesien ist der Gebrauch von Ziegeln als Baumaterial weit verbreitet und charakteristisch. Die lokale Bevölkerung ist mit dieser Bauweise vertraut und beherrschen die Techniken. Jedoch handelt es sich bei Ziegel und einem Schindeldach um schwere Materialien. In diesem Zusammenhang kann das Gewicht und die Anfälligkeit solcher Materialien potenzielle Sicherheitsrisiken bei Erdbeben darstellen. Daher ist es notwendig, bei der Wahl der Baumaterialien und Bauweisen besonders vorsichtig vorzugehen, um sowohl ästhetische als auch sicherheitsrelevante Aspekte zu berücksichtigen.

Wie bereits im vorigen Kapitel, Konstruktionsprinzipien, beschrieben, sind kompakte quadratische oder kreisförmige Grundrisse ideal für eine erdbebensichere Bebauung. Der Wohnkomplex mit den „Domes“ erfüllt diesem Ideal eines runden Grundrisses, allerdings wurde hier die tropische Architektur komplett außer Acht gelassen. Es gibt keine Möglichkeit von einer natürlichen Belüftung und Zirkulation. Anhand des Fallbeispiels der „Domes“ lässt sich feststellen, wie die lokale Bevölkerung versucht ihre eigenen Bedürfnisse mit Adaptierungen, Terrassenbauten, Begrünungen oder Streichen der Häuser zu erfüllen. Ihr eigener individueller Ausdruck hat schon immer eine wichtige Rolle gespielt.

Die traditionelle Architektur in Indonesien scheint die Antwort auf erdbebensicheres Bauen bereits vor hunderten von Jahren gemeistert und beantwortet zu haben. Die Art und Weise des Baustils, der Umgang mit dem richtigen Material und den Verbindungen zueinander schafft ein Konzept, welches für das tropischen Klima sowie auch für die Erdbebensicherheit optimal zu sein scheint. In einem traditionellen Dorf sehen die Gebäude alle auch gleich aus, allerdings werden die Werte und deren Tradition nicht außer Acht gelassen. Wie zum Beispiel die 100 Jahre alten verzierten Holzschiebetüren, welche von Generation zu Generation weitergereicht werden. Es hat für sie einen kulturellen Wert und sie sind sehr stolz darauf.

Es sollte ein Gleichgewicht zwischen der Priorität des Erdbebensicherheitsfaktors und der Bedürfnisse der Bewohner geschaffen werden. Nach einem Erdbeben wünschen sich alle in erster Linie Sicherheit. Die Schnelligkeit der Abwicklung ist selbstverständlich auch beiden Seiten, den Akteuren des Wiederaufbaues sowie der lokalen Bevölkerung, von großer Bedeutung. Allerdings stellt sich hier die Frage, ob es teilweise nicht ausreichend durchdacht wurde beziehungsweise die Meinungen der Bevölkerung kaum Wert geschenkt wurde.

IV. Lombok fünf Jahre nach dem Erdbeben

A. Überblick Ereignis 2018

Wie in den bereits oben gezeigten Kapiteln kann man verstehen wie ein Erdbeben entsteht beziehungsweise welche großen Schäden und Katastrophen es anrichten kann. Die Wichtigkeit, den Bewohnern eine Sicherheit mit einer erdbebensicheren Bebauung zu gewährleisten, ist von größter Priorität. Das Erdbeben 2018 auf Lombok hat vor allem im Norden enorme Schäden angerichtet. In der weiteren Arbeit wird die jetzige Situation, fünf Jahre nach dem Erdbeben evaluiert und die Lebenssituation der Bevölkerung in den betroffenen Regionen aufgezeigt.

1) Geologie und Tektonik – Topographie Lombok

Die kleine Sundainsel Lombok liegt im Bereich des „Ring of Fire“. Ihre tektonische Lage führt dazu, dass sie von den Bewegungen der Australischen Platte im Osten und der Sundaplatte im Westen beeinflusst wird. Die Sundaplatte umfasst große Teile von Indonesien, einschließlich der Inseln Java, Sumatra, Bali, Lombok und Teile von Borneo. Die Subduktion der Sundaplatte unter andere Platten ist verantwortlich für die reiche seismische Aktivität, Vulkanausbrüche und das Erdbebenrisiko in dieser Region. Die Sundaplatte ist auch mit der Australischen Platte verbunden, die sich über Australien erstreckt. Ihre Bewegungen, Interaktionen und Subduktion tragen zur geologischen Dynamik und den tektonischen Prozessen bei, die den „Ring of Fire“ charakterisieren. Diese Bewegungen haben in der Vergangenheit zu Erdbeben und vulkanischer Aktivität auf Lombok geführt.

(https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Erdbeben-Gefaehrdungsanalysen/Aktuelles/2018-08-15_erdbeben_lombok.html)



Abbildung 82:

Karte Lombok mit der Position der Sundaplatte und Australischen Platte, Position der Floresstörungszone (Black Flores Arc Thrust)

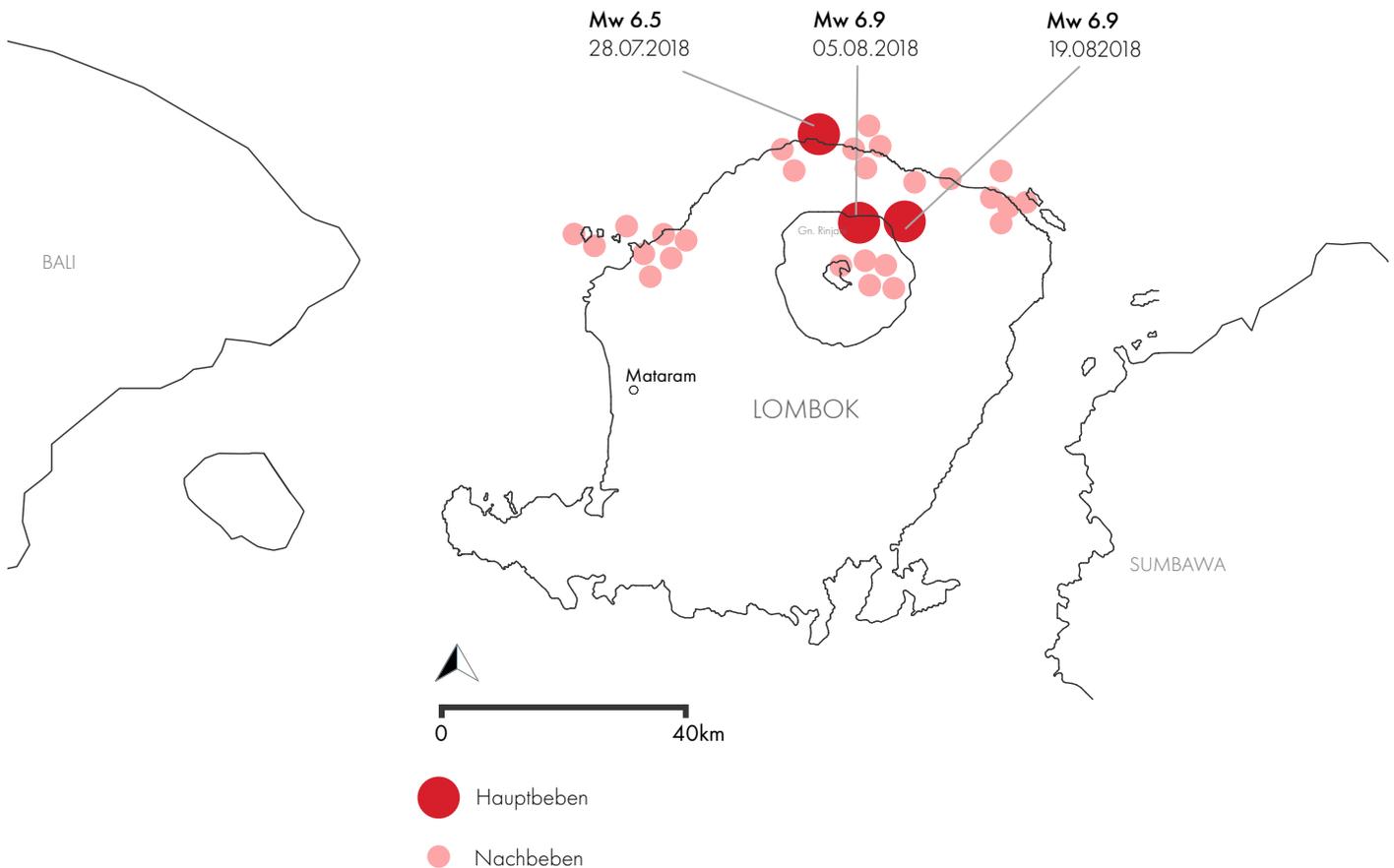


Abbildung 83:

Karte Lombok mit den Stärken und Positionen der Hauptbeben und Nachbeben 2018 auf Lombok

Das Hauptbeben auf Lombok ereignete sich am 28. Juli 2018 mit einer Magnitude von 6,5. Nach einigen Nachbeben gab es am 5. August 2018 ein noch stärkeres zweites Beben mit einer Magnitude von 6,9 und eines am 19. August mit einer Stärke von 6,9 welche über mehrere Tage hinweg anhaltende Aktivitäten auslöste. Die Epizentren der Erdbeben lagen etwa 50 bis 60 km nordöstlich der Hauptstadt Mataram. Aufgrund der relativ geringen Tiefe des Herdmechanismus von maximal 35 Kilometern kann das Erdbeben nicht direkt auf die tiefer gelegene Kontaktzone der Subduktion (Sundaplatte mit Australischen Platte) zurückgeführt werden, welche sich in diesem Gebiet deutlich unterhalb von 100 Kilometern befindet. Stattdessen kann das Erdbeben dem westlichen Segment der Flores-Störungszone²² zugeordnet werden. (<https://www.bgr.bund.de/DE/>)

Diese Verwerfung erstreckt sich in einem Bereich mit Becken- und Grabenstrukturen nördlich der beginnenden Subduktion in Ost-West-Richtung. Die signifikantesten Verformungen an der Oberfläche sind im Küstenbereich im Norden von Lombok sichtbar. Diese Deformationen entstehen durch die Kompression der Erdkruste entlang der Flores-Störungszone, was zu Überschiebungen führt. (vgl. Yang et al. 2020)

Diese Überschiebungen manifestieren sich in Form von Hebung im Norden (ca. 25cm) und Senkung im Süden (ca.11 cm). Dies unterstreicht die komplexe tektonische Beschaffenheit der Region und die Vielfältigkeit der geologischen Prozesse, die zu Erdbebengeschehnissen führen können. (<https://www.bgr.bund.de/DE/>)

²² Die Floresstörungszone auch Flores „back arc thrust fault“ genannt, ist ein in West-Ost Richtung verlaufende Überschiebungsverwerfung

Die Hauptbeben lösten monatelange Nachbeben aus und verursachten eine Tsunamiwarnung, welche glücklicherweise kurz danach wieder zurückgenommen werden konnte. Die Situation auf Lombok, vor allem im Norden und Westen, war verheerend. Über 550 Menschen verloren ihr Leben und mehr als 7.000 wurden verletzt. Achtzig Prozent der gesamten Baustuktur Nordens von Lombok wurde durch die zahlreichen Erdbeben zerstört. (<https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us1000g3ub/impact>)

Ausschlaggebend dafür war die schlechte Bauqualität mit mangelnder Durchsetzung der Bauvorschriften. Die Bevölkerung auf Lombok hat wie auch auf vielen weiteren Inseln aufgehört traditionelle Baumethoden und Materialien, wie Bambus und Holz zu verwenden. Stattdessen wurden immer mehr moderne Ziegel- und Betonhäuser errichtet. Die schlecht verbreitete Baupraxis, mangelnde Verstrebungen und minderwertige oder nicht vorhandene Bewehrungen, trugen dazu bei, dass eine Vielzahl von Häusern bei dem Erdbeben 2018 zerstört wurden. (vgl. Linien/Walker 2022)

Tausend von Menschen wurden nach diesem Erdbeben obdachlos und waren von Hilfeleistungen abhängig.

Die Regierung Indonesiens hat auf Lombok versucht schnell zu reagieren und den Abstand zwischen einer Behausung in einem Zelt und einem Permanenten Zustand zu minimieren.

	schwer zerstörte Gebäude	mittelschwer zerstörte Gebäude	leicht zerstörte Gebäude
Ost Lombok	2,938	0	2,853
Nord Lombok	12,546	0	5,328
West Lombok	11,925	0	11,701
Central Lombok	9	722	4,036
Mataram Hauptstadt	110	25	619
	27 528	747	24 537

* Konsolidiert aus den Veröffentlichungen der BNPB (Provincial Government) und des Lombok-Erdbeben-Kommandopostens

Abbildung 84:

Unterteilung und Anzahl der „schwer zerstörten“, „mittelschwer zerstörten“ und „leicht zerstörten“ Gebäude nach dem Erdbeben auf Lombok 2018, insgesamt: 52 812 beschädigte Häuser

B. Antwort auf Wohnbau

1. Überblick *Rumah*²² Instant

Nach dem Erdbeben auf Lombok 2018 wurden einige vorgefertigte beziehungsweise standardisierte Lösungen von der Regierung für den Wiederaufbau der zerstörten Häuser abgesegnet und zur Verfügung gestellt. Speziell vier Typen sind heutzutage, fünf Jahre nach dem Erdbeben, im Norden von Lombok überall als Behausungen zu sehen. Die Rumah Instant: RISBA, RIKA, RISHA und RIKO. All diese Konzepte haben einen identen Grundriss und unterscheiden sich lediglich durch ihr Tragwerk. Jedes Haus besteht aus zwei 3x3 Meter Modulen mit 18 Quadratmetern oder vier 3x3 Meter Modulen mit 36 Quadratmetern. Die ein – stöckigen Häuser haben alle ein leichtes Wellenblech Dach und liegen auf einem Stahlbetonfundament. Eine Ausfachung von 60 Zentimetern mit Mauerwerk dient als Spitzschutz auf dem die weiteren Wände ruhen.

1.1 RISBA – Instant Steel Frame House

(*rumah instan struktur baya*)

Wie bereits im vorigen Kapitel beschrieben besteht das RISBA aus einem Tragwerk aus Stahl. Bei dieser Lösung werden die CNP-Profile zusammenschweißt und fungieren als primäres Traggerüst. Die Wände sind aus 60 Zentimeter Mauerwerk und darüber werden meistens Calciumplatten verwendet

1.2 RISHA – Simple Health Instant House

(rumah instan sederhana sehat)

Das RISHA mit einem Grundriss von meistens zwei Modulen von 3 mal 3 Metern besteht aus zwei Betonblöcken mit einer Länge von 1,20 Metern und einem würfelförmigen Beton mit einer Größe von 30 Zentimetern. Die Komponenten werden mit Bolzen und Platten aus verzinktem, korrosionsbeständigem Material verbunden. Die Strukturblöcke bestehen aus Stahlbeton. Der Beton hat die Aufgabe der auf die RISHA-Komponente wirkende Druckkraft standzuhalten und der Stahl wiederum hat die Funktion, die auf die RISHA-Struktur wirkende Zugkraft zu tragen. Zusammengebaut bilden diese Betonblockkomponente und Knoten ein Betonwürfelgerüst, wodurch ein Raum von jeweils drei Metern Länge und Breite entstehen. Die Betonfertigteile werden meistens wie bei den anderen Konzepten mit einem 60cm Mauerwerk und darüber mit Calciumplatten als Wände ausgefacht.

(<https://www.rumahrisha.id/>)

Ein großer Vorteil des RISHA Konzeptes ist der rasche Aufbau sowie Abbau, das sogenannte Knock-Down-System. Die Betonfertigteile lassen sich leicht zerlegen und können wiederverwendet werden. Der Aufbau kann in wenigen Tagen erfolgen und dadurch die Kosten senken. Allerdings ist die Anzahl von Stockwerken auf maximal zwei begrenzt und jedes Raummodul kann eine Größe von 3 mal 3 Metern nicht überschreiten. Dadurch ist keine Flexibilität des Grundrisses möglich. Die Installation eines RISHA benötigt nur eine kurze Bauzeit, aber es muss von einem geschulten Personal durchgeführt werden.

(<https://www.rumahrisha.id/>)

Das RISHA-Modell wurde anfänglich von der Regierung als bevorzugter Typ für den Wiederaufbau angesehen. Allerdings wurde diesem Typ von der Bevölkerung und Experten nicht die gleiche Begeisterung entgegengebracht. Zur Herstellung der Betonblöcke ist eine hohe Betonqualität und Bewehrungseisen notwendig. Diese Anforderung ist auf Lombok in der Regel nicht erfüllt, da die Sandqualität im Beton einen schlechteren Zustand aufweist, als wie in anderen Teilen von Indonesien. All dies führt zu erheblichem logistischem Aufwand, der die Notwendigkeit eines umfangreichen Know-Hows für die Herstellung und Montage sowie den Einsatz spezieller Maschinen mit sich bringt. Im Gegensatz dazu besteht das RISBA aus Stahlverbindungen, die in ganz Indonesien verfügbar sind.

(Interview mit Professor Saputra:29.03.2032)

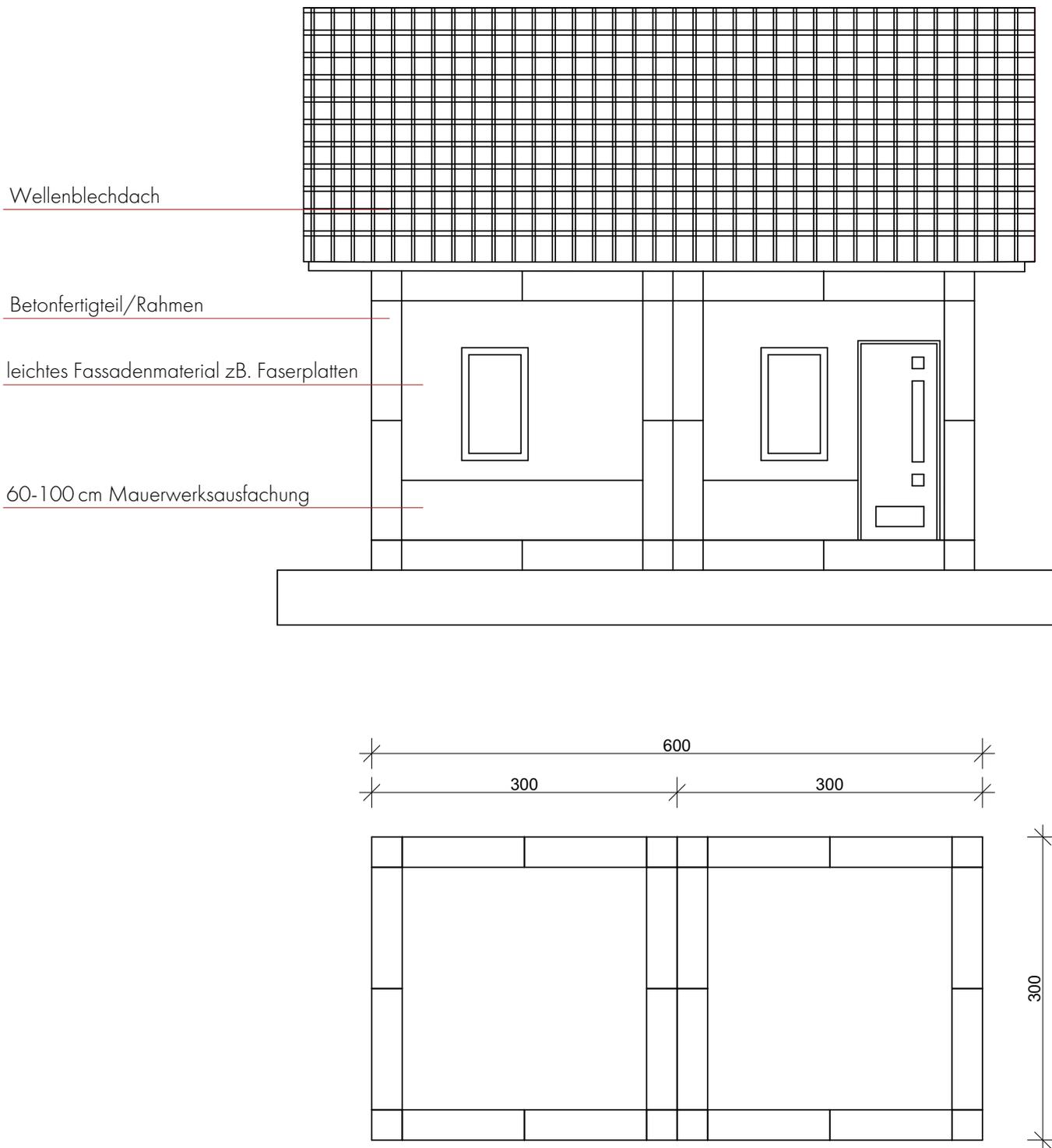


Abbildung 85:

Wiederaufbautyp RISHA: Ansicht und Grundriss

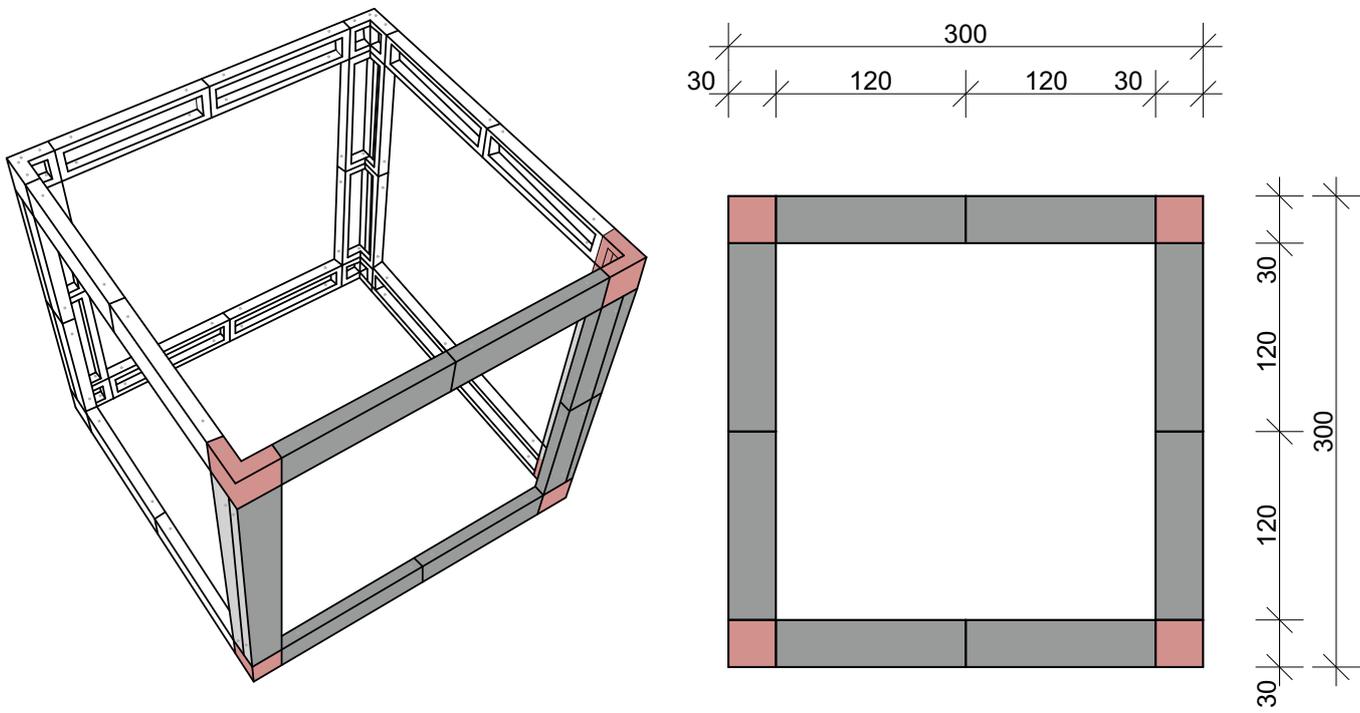


Abbildung 86:

Wiederaufbautyp RISHA: Zusammensetzung der verschiedenen Stahlbetonkomponente

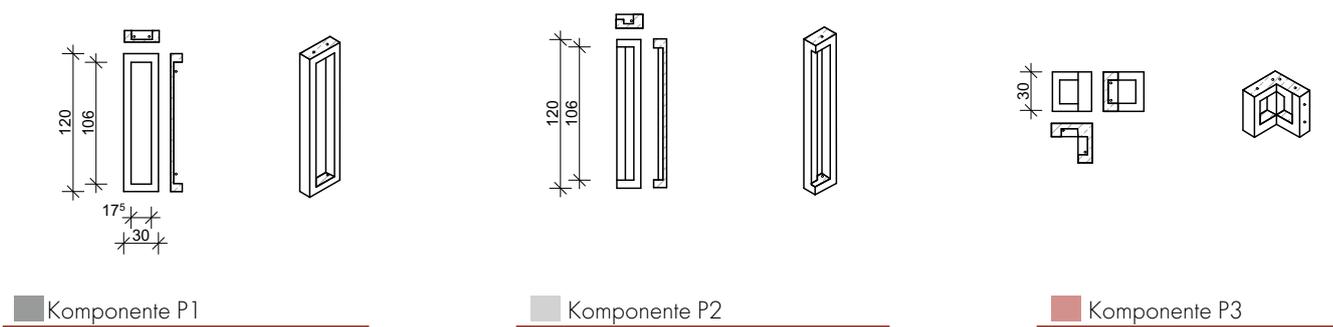


Abbildung 87:

Wiederaufbautyp RISHA: einzelne Komponenten für den Aufbau

1.3 RIKO – Rumah Instant conventional (*rumah instan konvensional*)

Das RIKO wurde von PUPR, „Ministry of Public Works and Housing“ in Indonesien, wie auch das RISHA, empfohlen. Das Tragwerk mit Balken, Säulen und Unterzüge besteht aus einer konventionellen Stahlbetonrahmen Konstruktion. Die Wände sind teilweise aus Calciumplatten und Mauerwerk. Durch die Rahmen wird eine Stabilität und Erdbebensicherheit erzeugt. Der Beton kann massive Stöße absorbieren, das heißt er kann hohe Druckkräfte übernehmen. Für die auftretende Zugkräfte ist die Bewehrung zuständig. Die richtige Ausführung der Rahmen mit den Bewehrungen beziehungsweise Ringankern ist von großer Wichtigkeit um einen entsprechenden Standard zu erreichen. (vgl. Rumambi 2023)

Teilweise waren die besichtigten RIKOs mit einer Mauerwerksausfachung zusehen, allerdings ist bei dieser Ausführung die Gefahr eines Einsturzes bei einem Erdbeben größer, da es oft zu einer falschen Anordnung der Ziegel, minderwertigen Zusammensetzung des Sandes, sowie zu großen Mörtelfugen kommen. Die Schwere des Materials darf man auch nicht außer Acht lassen. Dadurch wurde dann bei den weiteren Wiederaufbauten die Begrenzung der Ziegelwandfüllung auf 60 bis 100 Zentimeter, sowie auf die Verwendung von leichten Fassadenmaterialien wie Bambus oder Faserplatten forciert. (vgl. Rumambi 2023)

Im Gegensatz zu den anderen Wiederaufbautypen, wie das RISHA, ist die Bevölkerung mit der Bauweise des Rikos am meisten vertraut, wie der Name schon erahnen lässt, wird es in der konventionellen Art errichtet. Dem gegenüber steht die Angst der Bevölkerung vor massiven Bauten aus Beton oder Mauerwerk, aufgrund der hohen Verluste während des Bebens die häufig auf unsachgemäßen massiven Konstruktionen zurückzuführen waren.

(Interview mit Bewohner*innen auf Lombok: 01.05.2023 – 20.05.2023)

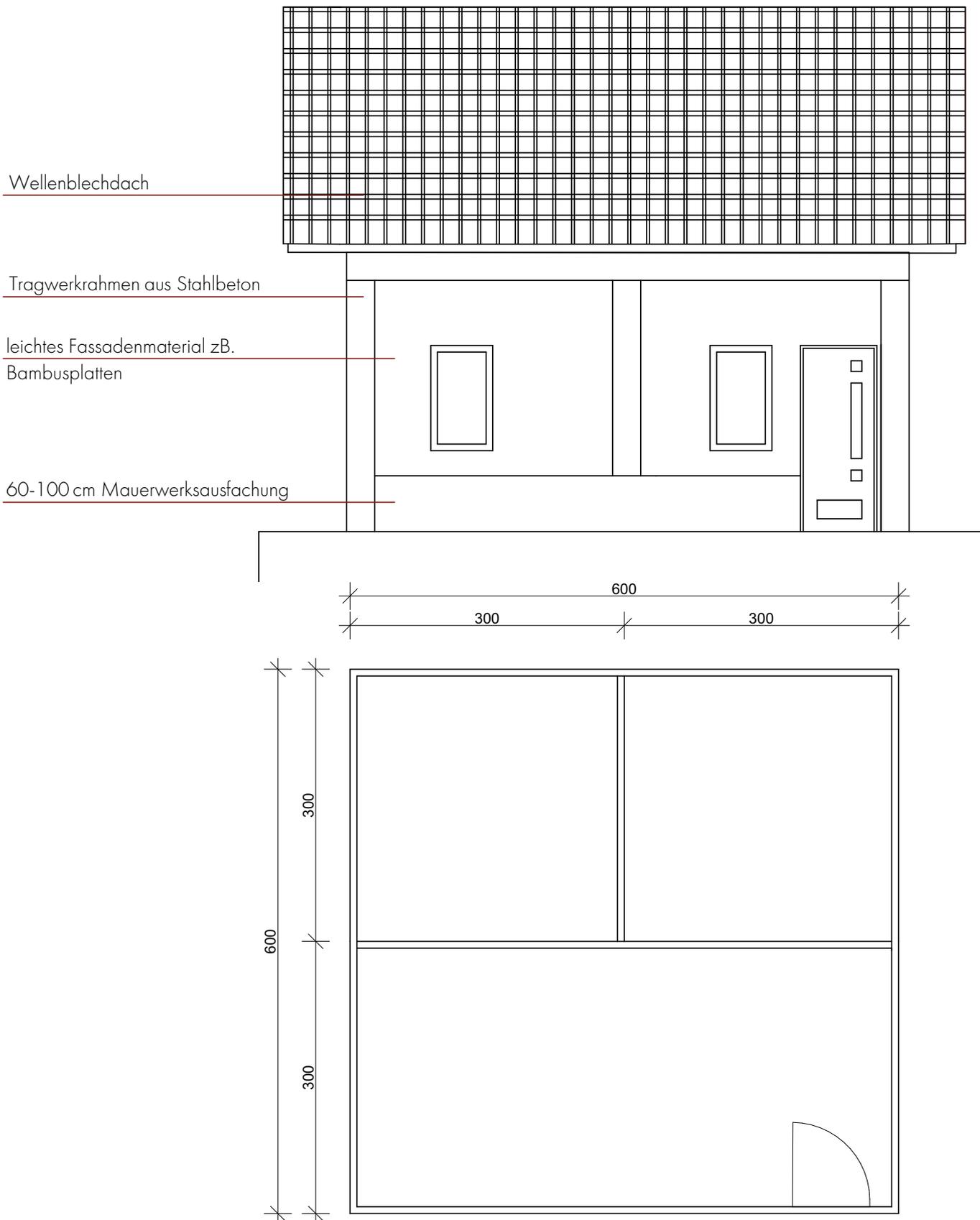


Abbildung 88:
Wiederaufbautyp RIKO: Ansicht und Grundriss

1.4. RIKA – Rumah wooden instant house (rumah instan kayu)

Der Wiederaufbautyp RIKA hat einen Rahmen der Tragwerkstruktur aus Holz und wird mit verschiedenen Verbindungselementen und Techniken verbunden, um die Stabilität und Festigkeit der Konstruktion zu gewährleisten. Eine Methode zur Verbindung der Holzrahmen in RIKA-Häusern auf Lombok ist die Verwendung von Holzkeilen und Zapfen, um die Balken und Pfosten miteinander zu verbinden. Diese traditionelle Verbindungstechnik ist den Bewohnern bekannt und kann somit auch leichter ausgeführt werden. Eine weitere Technik ist die Verbindung mit Holznägeln und Bolzen, welche in vorgebohrte Löcher eingeführt werden. Allerdings werden auch häufig Metallverbindungen, wie Winkel, Halterungen und Platten verwendet, um Holzrahmen sicher miteinander zu verbinden. Diese Metallverbindungen werden oft mit Schrauben oder Bolzen befestigt. (vgl. Rumambi 2023)

Auf der 60 Zentimeter Mauerwerksausfachung schließen Calciumplatten die Wände ab. Das RIKO hat denselben Aufbau wie die anderen drei Typen, es unterscheidet sich nur durch das Holztragwerk. Die Unterkonstruktion des Daches ist auch aus Holz und darüber liegt das Wellenblechdach. Durch die Traumatisierung vieler Bewohner durch den großen Einsturz von Ziegelmauerwerks- und Betonhäusern, bevorzugten sie das Holzmodell RIKA. Diese ähneln in der Materialwahl ihren traditionellen Häusern und sind ihrer Meinung nach erdbebensicherer.

Das verwendete Holz stammt aus Kalimantan, Sulawesi. Aufgrund der geringen Verfügbarkeit der verwendeten Materialien und der Gefahr eines Anstiegs von illegaler Holzgewinnung musste die Regierung obwohl des großen Andrangs diesen Wiederaufbautyp limitieren. Dies hatte zur Folge, dass die Wartezeiten für das RIKA für einiges länger waren. (vgl. Pribadi et al. 2020)

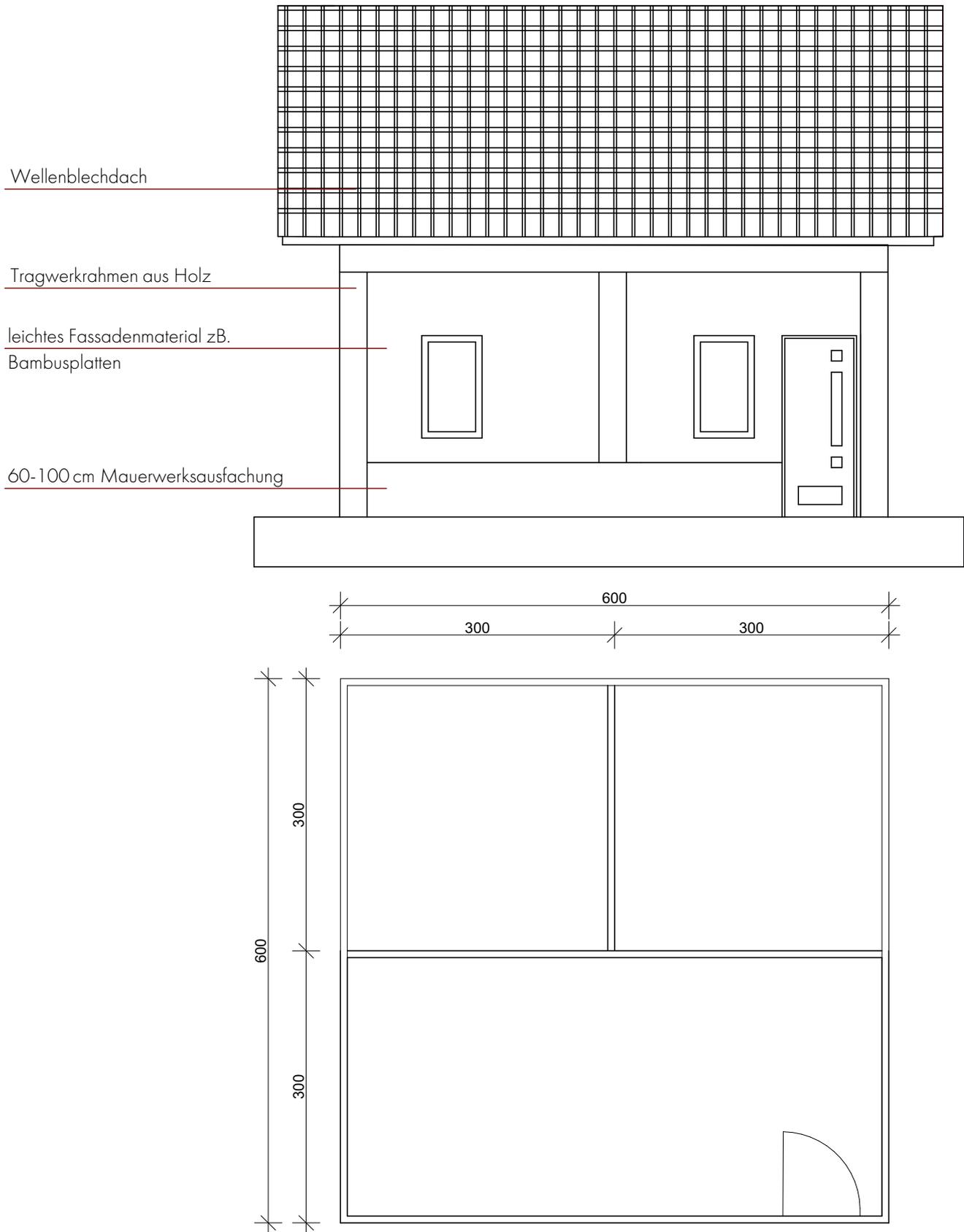


Abbildung 89:
Wiederaufbautyp RIKA: Ansicht und Grundriss

2. Ablauf Wiederaufbau

Das Katastrophenmanagement in Indonesien, „Badan Nasional Penanggulangan Bencana“, nationale Agentur für Katastrophenmanagement, (BNPB) auf nationaler Ebene und „Badan Penanggulangan Bencana Daerah“ (BPBD) auf der Ebene der Provinz und Regentschaft koordinieren und verwalten die Notfallmaßnahmen nach einer Naturkatastrophe. (vgl. Pribadi et al. 2020)

Nach dem Erdbeben 2018 wurde von einer Vielzahl von indonesischen NGO's, dem indonesischen roten Kreuz, der indonesischen Armee und von privaten Unternehmen bei den unmittelbaren Bedürfnissen der betroffenen Bevölkerung geholfen. Es wurden Hilfsgüter, wie Nahrung, medizinische Versorgung, Zelte sowie Bergungsaktionen durchgeführt und übermittelt. Allerdings wurde nach Befragungen von verschiedenen Bewohnern deutlich, dass die Nähe zu einem Regentschaftszentrum, in einer städtischen Gegend und auch Wohlstand ein Vorteil bei vorrangigem Zugang zu Übergangsunterkünften geboten waren. Einige abgeschottete Dörfer mussten sehr lange auf erste Hilfe und Notunterkünfte warten. Der Weg zu diesen war jedoch teilweise durch das Erdbeben und noch nicht vollendeten Räumungsarbeiten erschwert erreichbar. (Interview mit Bewohner aus Lombok: 12.05.2023)

Die Zentralregierung hat ein eigenes Verfahren für den Zuschuss für den Wiederaufbau der Häuser entwickelt. Das dafür verwendete Geld wurde von den Regentschaftsbüros in Lombok verwaltet. Die Provinzregierung von West-Nusa-Tenggara, NTB, war für die Koordination der Wiederaufbauaktivitäten auf Provinzebene verantwortlich. Im Rahmen der Rehabilitation und des Wiederaufbaus hat die Regierung eine Politik zur Errichtung erdbebensicherer Häuser mit einem selbstverwaltenden System durch die Bildung von Gemeinschaftsgruppen (POKMAS), von 10-20 Hausbesitzern, unterstützt von technischen und administrativen Betreuern, festgelegt. (Interview mit Mitarbeiter von BPBD, Agus Purnomo: 10.05.2023)

Eine detaillierte Beurteilung der Schäden wurde durchgeführt, um den Umfang des Wiederaufbaus zu bestimmen. Die beschädigten Häuser wurden in drei Kategorien unterteilt: zerstörte Häuser, mittelschwer zerstörte Häuser und teilweise beschädigte Häuser. Anhand dieser Faktoren wurde jeder Familie beziehungsweise Haus eine bestimmte Summe an Geld für den Wiederaufbau geboten. Komplett zerstörte Häuser bekamen 50 Millionen Rupiah (ca. 3 052 Euro), mittelschwer zerstörte Häuser 25 Millionen Rupiah (ca. 1 526 Euro) und teilweise beschädigte Häuser 10 Millionen Rupiah (ca. 610 Euro). Die mittelschwer und teilweise beschädigten Häuser hatten durch das Geld lediglich die Möglichkeit ihr altes Haus zu reparieren und zu renovieren. Nur die Kategorie „zerstörte Häuser“ bekamen von der Regierung ein standardisierten Wiederaufbautyp als neue Behausung. (Interview mit Mitarbeiter von BPBD, Agus Purnomo: 10.05.2023)

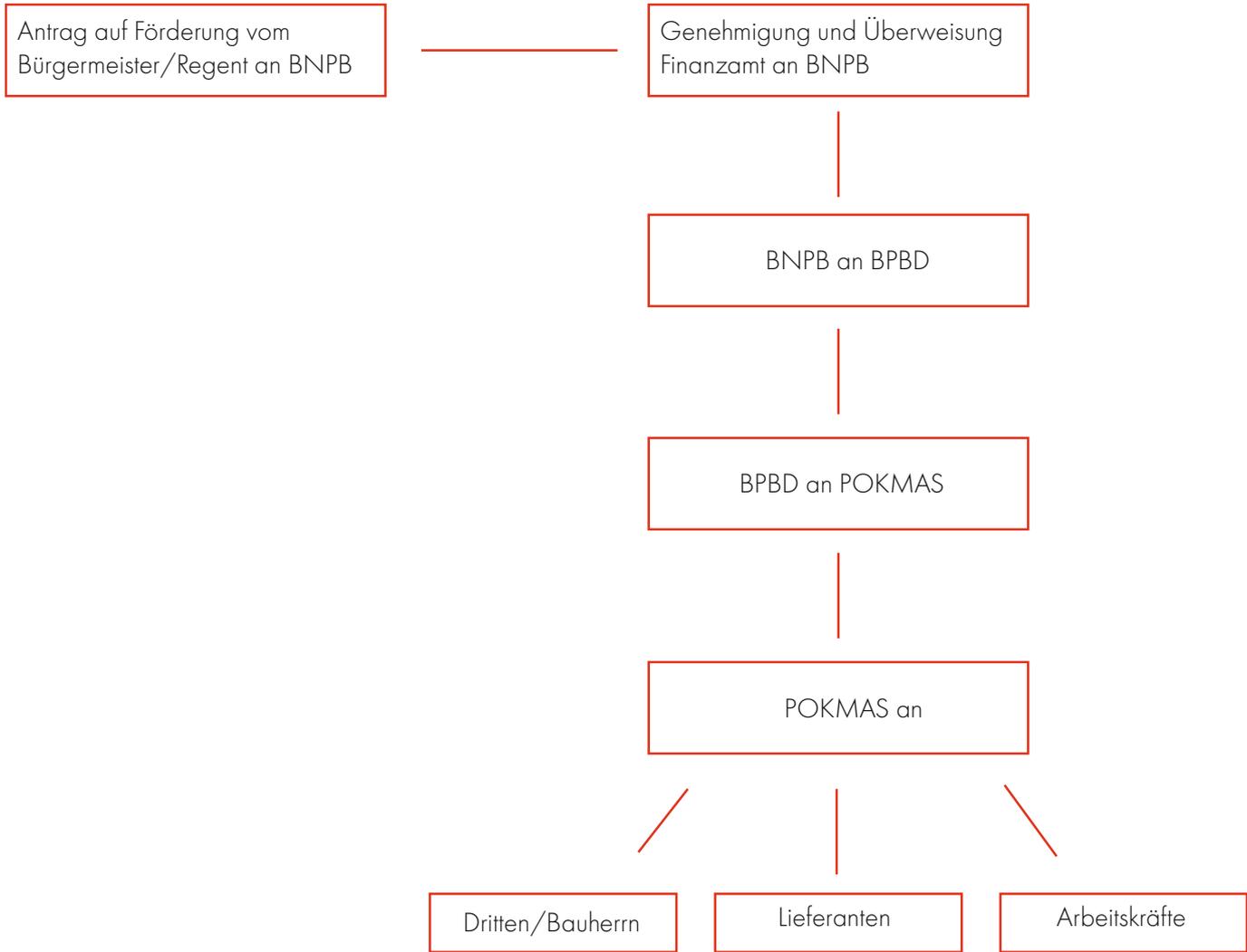
Die Nachfrage und der Wunsch nach einem sichereren Haus waren bei der gesamten Bevölkerung groß. Die Familien, welche in die Kategorie „mittelschwer beziehungsweise teilweise beschädigten Häuser“ fielen, wollten nicht mehr in ihre alten Häuser zurück, weil die Angst vor einem weiteren Erdbeben zu groß war. Einige zerstörten absichtlich ihre Behausungen, um auch einen der vier Wiederaufbautypen von der Regierung zu bekommen. Die Furcht vor Beton- oder Ziegelhäusern war enorm, niemand wollte mehr in solch einem wohnen. Die Kapazität und das Know-How selbst ihre Häuser erdbebentechnisch und nach dem indonesischen Standard zu bauen, war nicht geboten. Während der Forschungsreise waren in vielen Orten Ruinen und daneben alternative, selbstgebaute Häuser zu erkennen. Diese waren teilweise aus Holzspanplatten und weiteren Mix aus Materialien. Nach einer Umfrage stellte ich fest, dass die Ruinen ihre alten Häuser seien, in denen sie aber nicht mehr wohnen wollten und sie deshalb aus eigenen vorhandenen Mitteln ein neues Haus bauten. Sie versuchten mit leichteren Materialien erdbebensicherer zu bauen, allerdings war kein richtiges Tragwerk vorhanden, voraussichtlich aus mangelndem Wissen und Geld.

Spürbar war auch, dass die Gemeinschaft jedes Dorfes eine wichtige Rolle während des Wiederaufbaues spielte. Die verschiedenen Orte unterschieden sich, entsprechend der Umsetzung und der Räumungsarbeiten, teilweise drastisch. Der Zusammenhalt der Gemeinschaft und des Erstrebens des Oberhauptes ist in dieser Situation von großer Bedeutung.

Bevor mit dem Wiederaufbau begonnen werden konnte, mussten erstmals die finanziellen Mittel bis zu einer Privatperson gelangen. Nach Antragstellung des jeweiligen Bürgermeisters der Provinzen von Lombok wurde dieser geprüft und nach positivem Abschluss vom Finanzamt genehmigt und an die staatliche Organisation BNPB überwiesen. Die wiederum übergaben das Geld an die regionale Organisation BPBD. Schlussendlich erfolgte die Überweisung von BPBD an das Gemeinschaftskonto der POKMAS, welche das Geld für den Wiederaufbau an die von der Regierung festgelegten Bauherren, Lieferanten und Arbeiter übermittelten.

(vgl. Pribadi et al. 2020)

Aus dem langen Zyklusweg des Geldes kann man daraus schließen, dass nicht jede Privatperson die tatsächliche Summe, von zum Beispiel 50 Millionen Rupiah, für den Wiederaufbau seines Hauses schlussendlich bekommen hat. Dieser Faktor ist teilweise auch bei der Umsetzung und Ausführung der Bauten ersichtlich.



BNPB: Nationale Agentur für Katastrophenmanagement
BPBD: regionale Agentur für Katastrophenmanagement
POKMAS: örtliche Gemeinschaftsgruppe von 10-20 Haushalten

Abbildung 90:
Geldzyklus vom Antrag bis zu den Bewohnern



Abbildung 91:

Ausführung Wiederaufbautyp RIKO

Verbindung der Stahlbetonstütze fehlerhaft

3. Ausführung und Baufehler

Dieses Kapitel konzentriert sich auf die Analyse der Ausführung und die häufig auftretenden Baufehler bei den verschiedenen Wiederaufbauten, die in den Regionen, im Norden von Lombok, nach dem Erdbeben implementiert wurden. Nach Naturkatastrophen erfordert der Wiederaufbau eine strenge Qualitätskontrolle und Überwachung der Ausführung, um etwaige Baufehler zu minimieren.

Durch teils mangelndes Wissen der Arbeiter und durch Geldersparnis wurden einige Wiederaufbauten fehlerhaft umgesetzt:

Die Festigkeitswerte des Betons sind teilweise niedriger als der erforderliche Standard für erdbebensichere Häuser, was auf die schlechte Sandqualität auf Lombok zurückzuführen ist. Dieser erhält einen hohen Schluff und Tonanteil und kann durch schlechte Mischung zu einem minderwertigeren Zustand des Betons führen. Auch die Qualität des Holzes erreicht oft nicht die vorgeschriebene Klasse III. (vgl. Pribadi et al. 2020)

Bei der Analyse vor Ort war auch auffallend, dass bei manchen Häusern das Rahmentragwerk nicht richtig ausgeführt wurde. Wie zum Beispiel fehlende Mittelposten oder seitliche Stützen. Wenn diese Umsetzung mangelhaft ist, ist somit die Wirkung des erdbebensicheren Tragwerkes eingeschränkt oder gänzlich verloren. Die handwerkliche Qualität der Stahlkonstruktionen ist unzureichend, Schweißnähte von Balken und Säulenverbindungen wurden oft unsachgemäß bearbeitet. Deutlich erkennbar waren auch die schlecht bearbeiteten Mörtelfugen, welche viel zu dick erschienen und nicht richtiggemäß 10-15 Millimeter breit. Wegen den mangelhaften Ausführungen sind bereits heutzutage Risse an Wänden und Abnutzungen bei verschiedenen Wiederaufbauten erkennbar.



Abbildung 92: Der Wiederaufbautyp RIKA zeigt bereits zu diesem Zeitpunkt erhebliche Risse an den Wänden. In der standardisierten Version wird die Wand nach circa 60 Zentimetern mit leichteren Baumaterialien fortgeführt. Bei diesem Beispiel wurde die Wand durchgängig bis zur Decke massiv ausgeführt.



Abbildung 93: RIKA, schlechte Verbindung zwischen Holzrahmen und Fundament

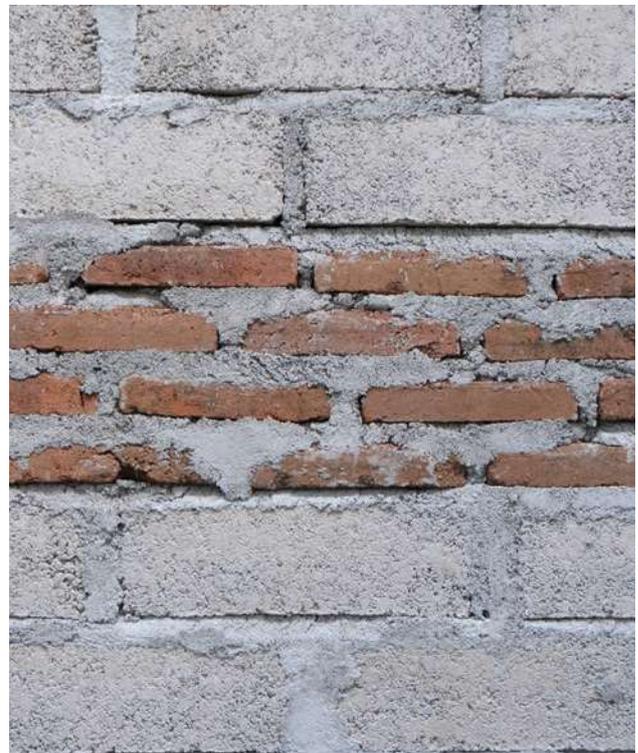


Abbildung 94: Materialmix von Ziegelsteinen und Porenbeton, zu große Mörtelfugen



Abbildung 95: Der Wiederaufbautyp RISHA zeigt eine fehlerhafte Ausführung der Betonblöcke. Dabei wurde in der Mitte des Gebäudes eine herkömmliche Betonstütze verwendet, anstatt die vorgefertigten Komponenten entsprechend einzusetzen.

Trotz Überwachung des Baus und Qualitätskontrolle der PUPR, Ministerium für öffentliche Arbeiten und Wohnungswesen, und der BPBD sind deutliche Baufehler und mangelhaft ausgeführte Wiederaufbauten erkennbar.
(vgl. Pribadi et al. 2020)

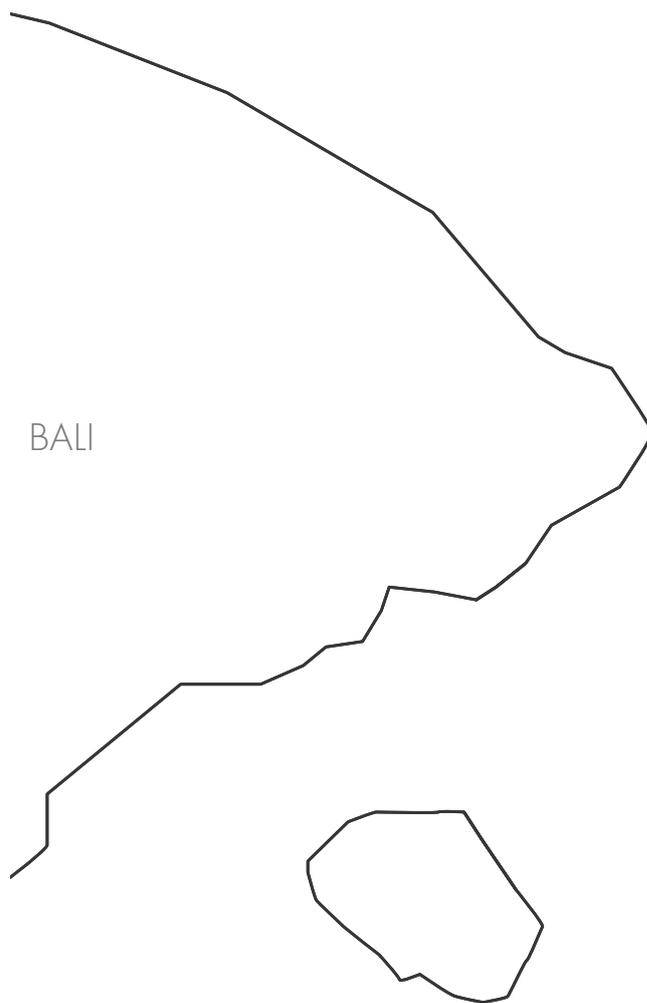
Durch Befragungen wurde auch die bereits angenommene Geldverteilung bestätigt. Viele klagen über Korruption beziehungsweise, dass während des Verlaufs nicht ausreichend Geld für einen korrekten Wiederaufbau der standardisierten Lösungen vorhanden war. Es wurde an bestimmten Stellen, wie Material und an der Qualität der Umsetzung gespart.



Abbildung 96: Wiederaufbautyp RISHA: Verbindung Stahlbetonkomponente mit Ziegelwand. Anordnung der Ziegel und Breiten der Fugen fehlerhaft

4. Wunsch nach Individualität

Für die Analyse wurden diverse Gebiete im Norden und Osten von Lombok sorgfältig evaluiert, um umfassende Einblicke in die Lage der betroffenen Gebiete zu gewinnen. Diese Gegenden wurden allesamt schwer von den verheerenden Auswirkungen des Erdbebens im Jahr 2018 gezeichnet und sind nun integraler Bestandteil des staatlichen Wiederaufbauprozesses. Die standardisierten Wiederaufbautypen sollten den indonesischen Baunormen und Erdbebensicherheit entsprechen. In den folgenden Kapiteln werden verschiedene Fallbeispiele von Dörfern und den ortansässigen Bewohnern diskutiert und deren Lebenssituation in den wiederaufgebauten Häusern, fünf Jahre nach der Katastrophe, detailliert beleuchtet.



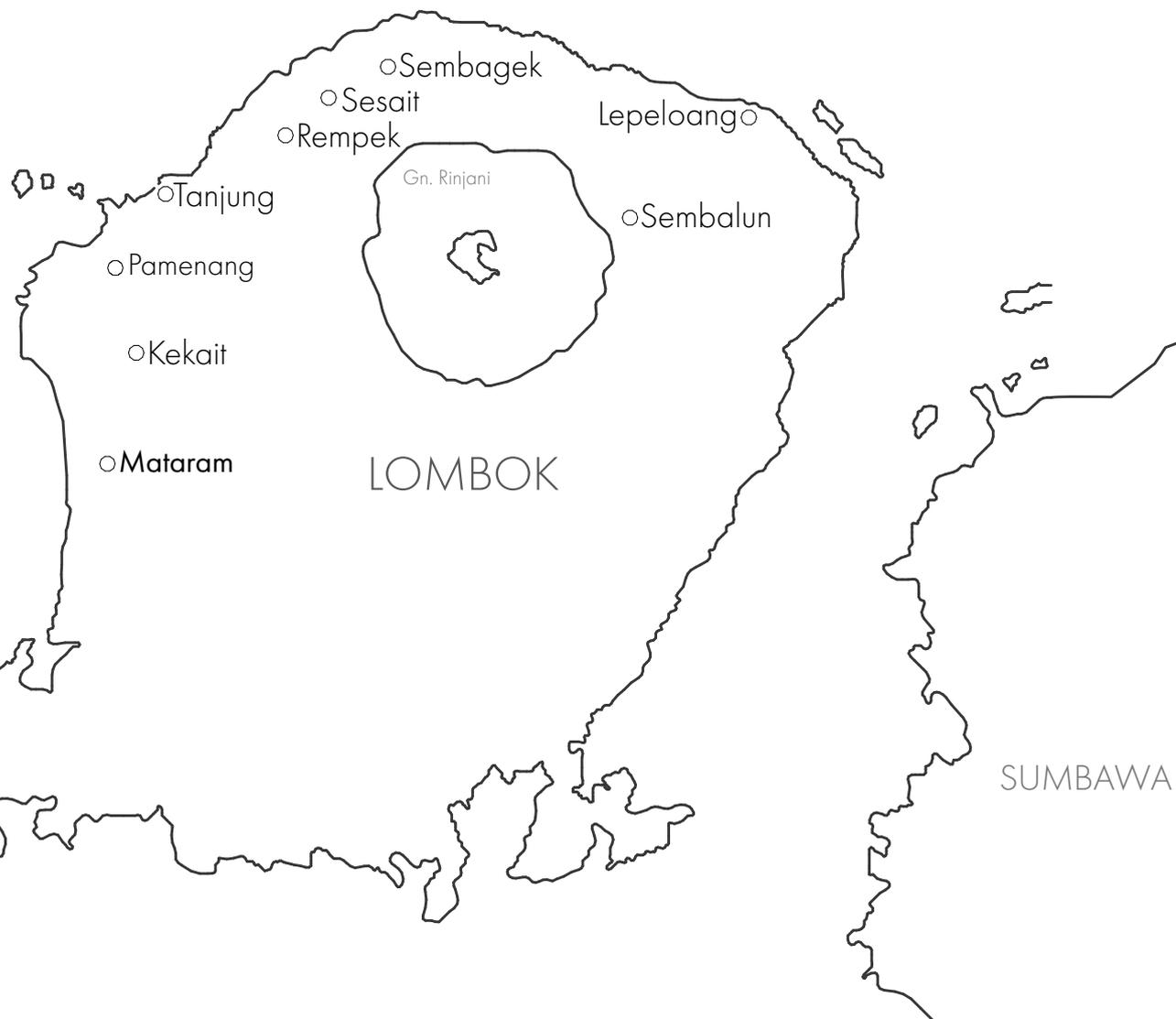


Abbildung 97:

Karte Lombok mit den besichtigten Gebieten im Westen und Norden

4.1. Provinz Pemenang

Die Provinz Pemenang erstreckt sich nördlich der Hauptstadt Mataram und liegt westlich der beliebten Touristenattraktion, den Gili Inseln, die ebenfalls zum Oberbezirk Pemenang gehören. Die Bevölkerung dieser Provinz beläuft sich auf etwa 40.000 Menschen.

(Pemenang (Distrikt, Indonesien) - Einwohnerzahlen, Grafiken, Karte und Lage (citypopulation.de))

Bedauerlicherweise war dieses Gebiet eine der schwer betroffenen Regionen, die von dem verheerenden Erdbeben 2018 heimgesucht wurde. Infolge dieses katastrophalen Ereignisses wurde ungefähr achtzig Prozent der gesamten Baustruktur in Pemenang zerstört, was erhebliche Auswirkungen auf die Lebensverhältnisse der Bewohner hatte.



Abbildung 98: Ausschnitt der Region Pemenang

Finanzierung: 1 Jahr nach dem Erdbeben
 Bauzeit: ca. 5 Monate
 Hauptsächlich verwendeter Wiederaufbautyp: RIKO

Entlang einer Hauptstraße am Anfang von der Provinz Pemenang befindet sich das Haus von Firhan A. (30 Jahre alt) und seiner Familie. Er lebt mit seiner 6-köpfigen Familie in einem Wiederaufbautyp, dem RIKO. Er berichtet, dass sie ein Jahr nach dem Erdbeben die finanzielle Unterstützung der Regierung, für den Wiederaufbau, erhielten. Die anschließende Bauphase dauerte circa drei Monate. Das besichtigte RIKO hat eine Sockelzone von 60-100 Zentimeter aus Ziegel oder Porenbeton, einen Stahlbetonrahmen und ist ausgefüllt mit Holzspanplatten, welche verputzt wurden. Die Dachkonstruktion ist eine galvanisierte Alukonstruktion mit einer Wellaludeckung. Das 36 Quadratmeter Haus ist ersichtlich viel zu klein für sieben Bewohner. Aus diesem Grund war die Familie gezwungen, aus eigenem Kapital, zwei weitere Häuser zu bauen.

Sie befinden sich direkt anschließend hinter und seitlich neben dem Riko und sind aus einer Holzkonstruktion, verputzt und einem Wellenblechdach. Die verzierte Eingangstüre fällt sofort auf, sie übermittelt dem Haus einen repräsentativen Eindruck. Durch die Adaptierung der Häuser wurde ein Zwischenraum, welcher als eine überdachte Terrasse verwendet wird, geschaffen. Die Deckung ist aus einem Wellenblech und jeweils seitlich an den Häusern mit einem Holztragwerk direkt an die Mauern befestigt. Dadurch wurde ein offener Raum zum Verweilen geschaffen. Die zwei adaptierten, selbstgebauten Häuser werden hauptsächlich zum Schlafen verwendet und das Riko dient als Küche, Sanitärraum und Gebetsraum. Auffallend ist, dass eine Wand des standardisierten Wiederaufbautyps, Riko, offengelassen wurde, um die gebaute Terrasse und den Innenraum des Rikos zu verbinden.

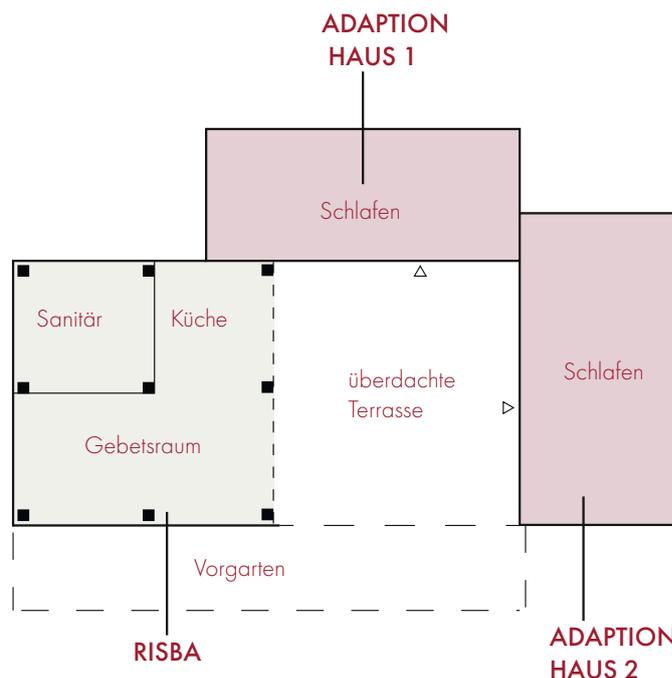


Abbildung 99: Firhans Haus Grundriss: in grau Wiederaufbautyp RISBA und in rot die zwei adaptierten Häuser

Vor den Häusern begrüßt ein Vorgarten mit Pflanzen und Gemüseanbauten. Es ist auffallend, dass die Familie von F.A. höchstwahrscheinlich wohlhabender ist. Auch in ihren Erzählungen über ihren Sohn, welcher in Australien studiert, ist sofort der Stolz rauszuhören. Dementsprechend sind sie auch nicht glücklich über das von der Regierung zur Verfügung gestellte Haus. Es werden alte Fotos von ihrem alten zu Hause gezeigt: ein massives, großes und sehr repräsentatives Gebäude. Allerdings war es eine Ziegelbauweise mit einem Schindeldach und es wurde bei dem Erdbeben komplett zerstört. Weiters wird die enorme Hitze beklagt, durch das niedrige Dach gibt es keine Möglichkeit von einer natürlichen Belüftung. Ihrer Meinung nach wurde der klimatische Aspekt komplett vernachlässigt und sie mussten sich Ventilatoren anschaffen, um die heißen Temperaturen im Innenraum zu ertragen.

Sie sind natürlich äußerst dankbar für die Unterstützung und haben durch ihre eigenen finanziellen Mittel die Möglichkeit genutzt, ihr Haus zu erweitern und ihm eine individuelle Note zu verleihen. Inwiefern die selbstgebauten Häuser tatsächlich genauso erdbebensicher sind wie das Riko ist zu hinterfragen, allerdings konnte man erkennen, dass leichte Materialien sowie ein Traggerüst miteingeplant wurden. Ein weiterer Faktor ist der Platz um das Grundstück. Familie Firhan hat einen großen Grund und ist in keine Dorfstruktur eingebettet. Dadurch hatten sie nicht nur wegen finanziellen Mittel, sondern auch wegen des Platzbedarfs die Möglichkeit einer Vergrößerung.



Abbildung 100: RIKO innen: Rahmen für das Tragwerk erkennbar, wegen der Hitze Ventilator notwendig



Abbildung 101: Firhans Haus von außen: es liegt an einer Hauptstraße, viel Platz davor, Grünbereich



Abbildung 102: eigener Zubau mit einer Holzunterkonstruktion für das Vordach

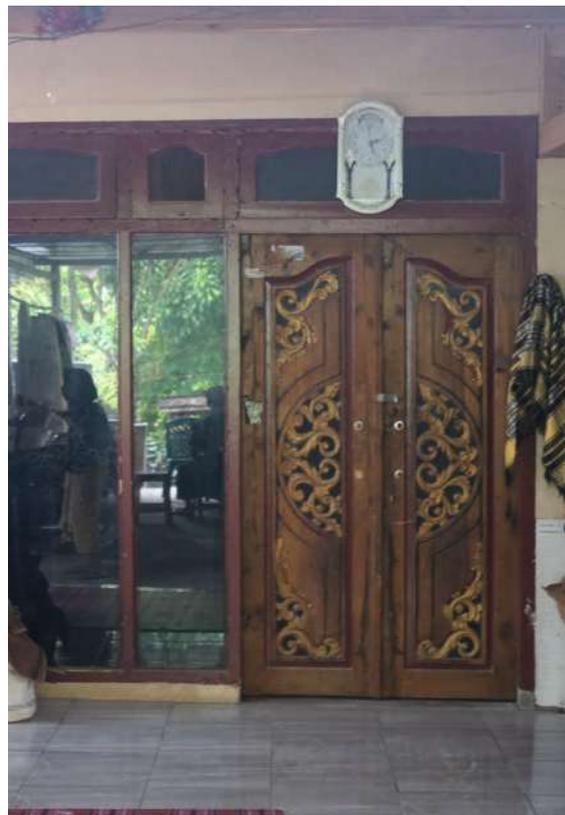


Abbildung 103: eigener Zubau mit verzierter, prunkvoller Eingangstüre



Abbildung 104: Firhan (links) mit seiner Familie, in ihrem neuen Haus: Wiederaufbautyp RIKO und ihren zwei selbst adaptierten Häusern

Finanzierung: 8 Monate nach dem Erdbeben
Bauzeit: ca. 3-5 Monate
Hauptsächlich verwendeter Wiederaufbautyp: RIKO

Weitere Exemplare von RIKO-Häusern wurden weiter nördlich in der Gegend von Pemenang identifiziert. Der Zugang zu diesem kleinen Wohngebiet erfolgte über schmale Gassen von einer Hauptstraße aus. Ein ortsansässiger Bewohner namens Zulfandirake hieß mich herzlich willkommen und öffnete die Tür zu seinem Haus, das dem RIKO-Bautyp entspricht. Er berichtete, dass die Bauzeit für diese Art von Häusern in der Regel zwischen drei und fünf Monaten betrug und dass alle zerstörten Gebäude in unmittelbarer Nachbarschaft gleichzeitig wiederaufgebaut wurden. Interessanterweise unterschieden sich die finalen Schritte der Fertigstellung und Ausgestaltung je nach den finanziellen Möglichkeiten, da gegen Ende des Projekts das Geld knapp wurde und nicht jeder die zuvor zugesagten 50 Millionen Rupiah erhielt. Infolgedessen waren einige Bewohner gezwungen, ihre persönlichen finanziellen Reserven beizusteuern, was sich wiederum auf die Ausführung und Qualität der Baumaterialien auswirkte. (Interview mit Bewohner Zulfandirake: 09.05.2023)

Zulfandirake unternahm einige selbständige Adaptierungen bei seinem Haus. Eine Veranda schmückt nun seinen Eingang wie auch ein Holzgerüstmitteinernetzähnlichen Überdachung, seitlich an das Gebäude befestigt. Somit schuf er mehr Freiraum und einen schattigen Platz zum Verweilen und Gäste zu bewirten. Auch bei ihm ist spürbar, dass sein altes Haus zuvor mehr seinem Geschmack entsprach: es war um einiges größer und kühler, aber auch in diesem Fall war es aus einer massiven Ziegelbauweise mit einem Schindeldach. Er wünschte sich sein altes Haus jedoch mit leichten Materialien zurück.



Abbildung 105:
Zulfandirakes Haus, RIKO, mit einer selbst adaptierten Veranda

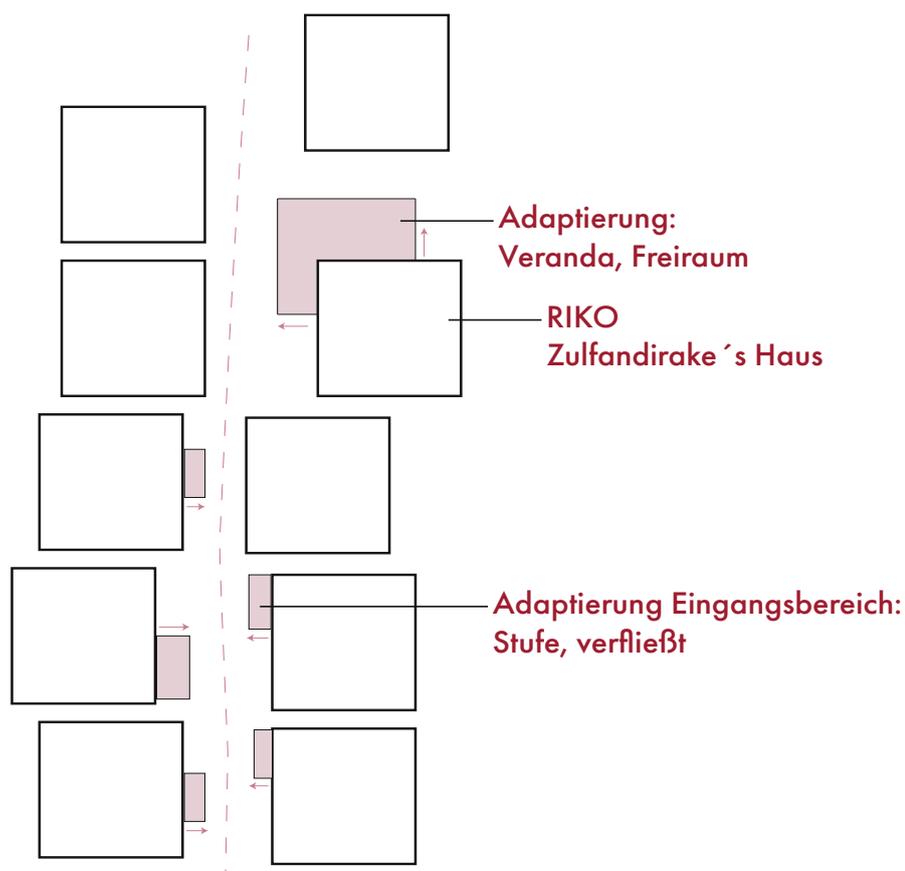


Abbildung 106:

Wohnsituation bei Zulfandirakes Haus: in rot die Adaptierungen, wie eine Veranda und überdachte Eingangsbereiche mit Sitzstufen

Durch die Ergänzungen des Hauses wurde versucht die Gleichheit der anderen Häuser zu minimieren und seinen eigenen Ausdruck zu präsentieren. Aufgrund der engen Bebauung in der umliegenden Nachbarschaft besteht nur begrenzte Möglichkeit für größere Anpassungen. Daher versuchen die Bewohner, ihre Häuser durch kleine Veränderungen aufzuwerten. Dies geschieht beispielsweise durch den Anbau von Eingangsbereichen, die individuell gestaltete Stufen aufweisen.

Des Weiteren wurde bei vielen Wiederaufbauten im vorderen Bereich eine Beschattung und Schutz vor Regen durch das Anbringen von Vordächern aus Wellenblech mit einem Gerüst aus Holz oder Stahl direkt an den Gebäuden geschaffen. Dies trägt nicht nur zur Funktionalität bei, sondern verleiht den Häusern auch ein anderes Erscheinungsbild.



Abbildung 107: Veränderung des Eingangsbereiches durch adaptierte, verflieste Stufen



Abbildung 108: Selbstbau eines Vordaches aus einer Holzunterkonstruktion direkt an das Haus befestigt und einem Wellenblechdach



Abbildung 109: RKO Innenraum



Abbildung 110: neben Zufandirakes Haus sind weitere RIKOS erkennbar, Modifizierung des Eingangsbereiches durch Treppen und einer kleinen Veranda



Abbildung 111: Firhans Haus: überdachter Gemeinschaftsplatz neben seinem Haus, Gerüst aus Holz und Bambus

Finanzierung: zwischen 6 Monaten und 1 Jahr nach dem Erdbeben
Bauzeit: ca. 3-5 Monate
Hauptsächlich verwendeter Wiederaufbautyp: RISBA und RIKA

Weitere Anpassungsbeispiele wurden in Gebieten weiter nördlich, in Richtung des Mount Rinjani, untersucht. Dabei wurde erstmals der Wiederaufbautyp „RIKA“ analysiert, der bei den Bewohnern beliebt ist. Allerdings war dieser Wiederaufbautyp zu Beginn nicht verfügbar, weshalb viele Bewohner, obwohl sie Holzbau bevorzugten, sich für andere Modelle entschieden, um schnellstmöglich eine Unterkunft zu erhalten.

Ein konkretes Beispiel ist die Familie A., die sich für den „RISBA“-Typ entschied. Auf den ersten Blick ist nicht sofort ersichtlich, dass es sich um einen standardisierten Wiederaufbautyp handelt. Die Familie baute eine Veranda aus Calciumplatten und verlieh dem Haus durch das Streichen eine Holzoptik. Sogar die Unterseite des Vordaches wurde verkleidet, um das Haus zu verschönern und ihm das ästhetische Erscheinungsbild eines Holzbaus zu verleihen. Die Veranda wurde zudem mit zahlreichen Pflanzen geschmückt. Diese Gestaltung zeigt deutlich den starken Drang zur Verschönerung und Individualisierung, der in den Anpassungsprozessen zum Ausdruck kommt.



Abbildung 112: Wiederaufbautyp RISBA: Adaptierung einer Veranda in Holzoptik, viele Pflanzen schmücken die Veranda



Abbildung 113: Unterseite des Daches wurde in Holzoptik verkleidet

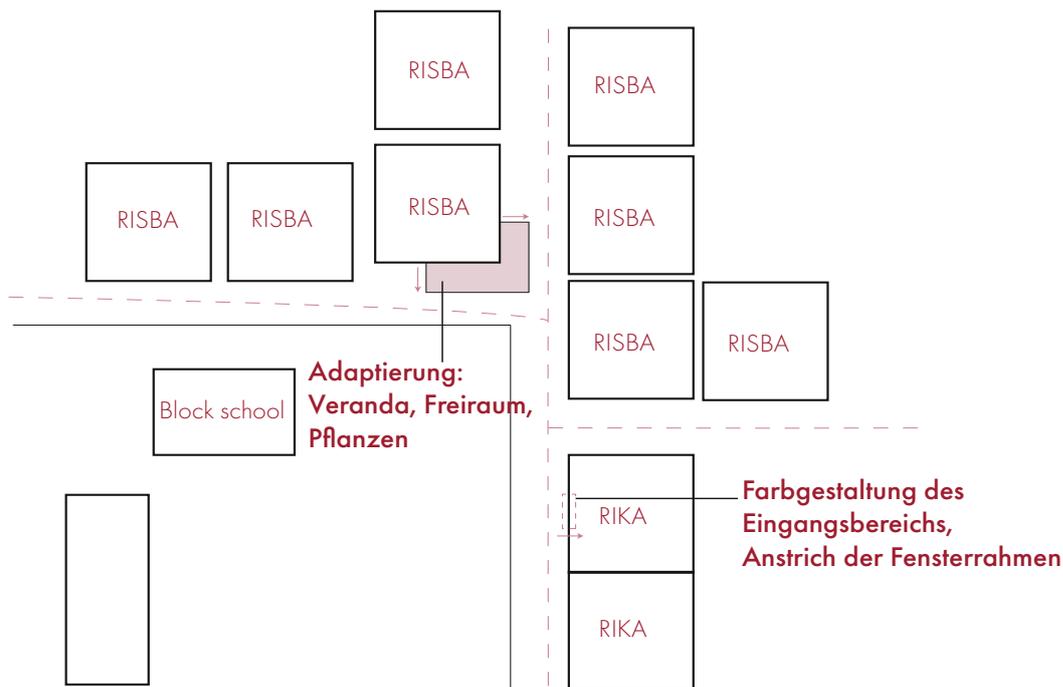


Abbildung 114: Dorf Richtung Mount Rinjani: einige Wiederaufbautypen RISBA und RIKA ersichtlich, teilweise mit eigenen Anpassungen

Weiters wurde versucht durch minimale Veränderungen, wie das farbige Anstreichen von Fensterrahmen, Türen etc. das eigene Haus von den restlichen abzuheben und zu unterscheiden.

Negativ auffallend bei dem Typ RISBA ist die enorme Hitze in den Gebäuden. Das Stahltragwerkgerüst heizt sich in den warmen Temperaturen auf und ist allein durch die Berührung unerträglich heiß.



Abbildung 115: Wiederaufbautyp RIKA, farbiges Anstreichen der Fenster

4.2. Gebiet Rempek

Finanzierung: 6 Monate nach dem Erdbeben

Bauzeit: ca. 5 Monate

Wiederaufbautyp: RIKA und andere Wiederaufbaumodelle

In einer abgelegenen Seitenstraße im nördlichen Bereich von Rempek sind verschiedene Wohnungstypen zu erkennen. Die Umgebung zeichnet sich durch außergewöhnliche Sauberkeit aus, und die Häuser präsentieren sich in akkurater und ästhetisch ansprechender Form. Hierbei handelt es sich um eine Mischung aus verschiedenen Wiederaufbauvarianten, darunter Rikas, Rikos und eine Abwandlung des standardisierten Wiederaufbautyps. In diesem Kontext sind unterschiedliche Anpassungen und Modifikationen festzustellen.

Das RIKA-Modell verfügt ein Holztragwerk mit einer 60 Zentimeter dicken Mauer. Die Wände bestehen aus Bambusgeflecht, was dem Gebäude eine gänzlich andere Ästhetik verleiht, als sie bei den üblicherweise verwendeten Calciumplatten zu finden ist. Der Eingangsbereich wurde erweitert, indem eine Veranda und Treppen hinzugefügt wurden. Um das Haus herum wurde eine Pergola installiert und mit Pflanzen geschmückt. Neben dem Gebäude gibt es ausreichend Platz für einen Garten mit Gemüseanbauten.



Abbildung 116: Wiederaufbautyp RIKA: modifizierter Eingangsbereich mit einer Veranda und Sitzstufen

Abbildung 117/ 118: als Fassade Bambusgeflecht; Eingangstüre mit Verzierungen und Kontrollmarkierung von BNPB an der Tür

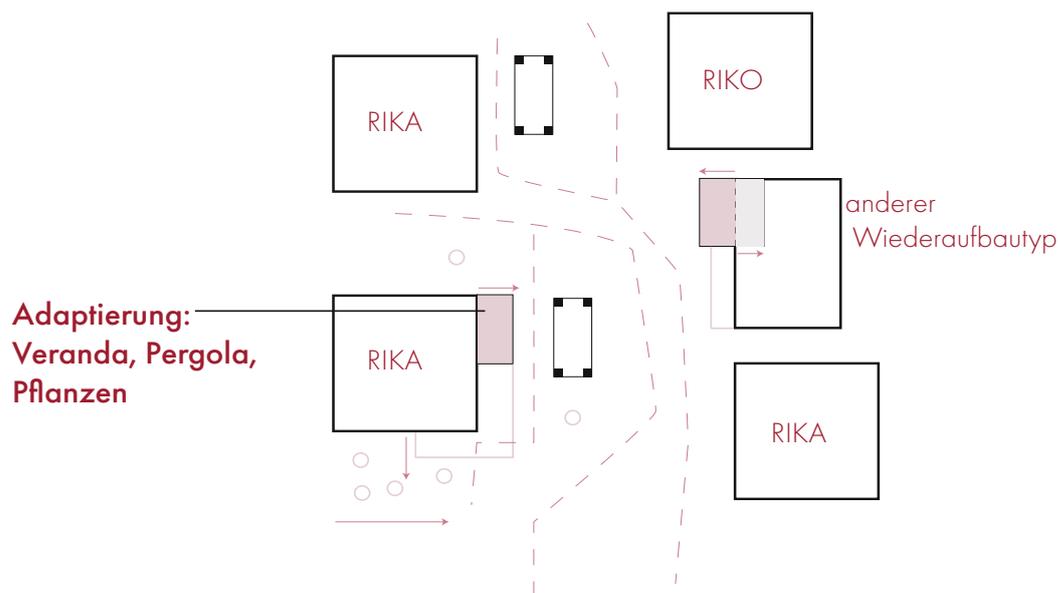


Abbildung 119: Wohnsituation in einem Dorf bei Rempek, norden von Lombok; einige RIKA und weitere Wiederaufbaumodelle erkennbar; es wurden einige Adaptierungen und Verschönerungen gemacht

Auffallend ist auch die Anordnung zwischen und vor den einzelnen Gebäuden. Es wurde ausreichend Platz für ein Bale²³ geschaffen. Ein wichtiger Ort für viele Indonesier, der Raum zum Verweilen bietet und oft für die Bewirtung von Gästen genutzt wird. Dies ist ein Faktor der nicht überall möglich ist, da der Platz begrenzt ist und teilweise sehr viele Menschen im engen Raum beziehungsweise in einer dichten Umgebung leben.



Abbildung 120: Platz für ein traditionelles Bale ´

²³ Ein Bale ´ ist ein traditionelles, pavillonartiges und offenes Gebäude. Ausgeführt mit entweder 4 oder 6 Holzpfosten



Abbildung 121:

Modifizierter Wiederaufbau: steht auf Stahlbetonstützen aufgeständert; eingeplane, überdachte Veranda, weiß gestrichene Gipsfaserplatten als Fassade, bunt gestrichene Fensterläden

Eines der Gebäude hob sich von den vier üblichen Wiederaufbautypen ab. Es ruht auf einer massiven Sockelzone und ist aufgeständert. Verflieste Treppen führen in den Eingangsbereich. Die Außenverkleidung des Hauses besteht aus weissen Gipsfaserplatten. Der Sockelbereich wurde erweitert und fungiert gleichzeitig als Freifläche. Die Veranda scheint von Anfang an in die Planung einbezogen worden zu sein und ist nahtlos in die Gesamtstruktur des Hauses integriert, sie ist überdacht und fügt sich harmonisch ein.

Ein Dorfbewohner berichtete über die Zeit während des Wiederaufbaus. Die Gemeinschaft und der Zusammenhalt der Nachbarschaft spielten eine entscheidende Rolle. Die Aufräumarbeiten nach dem Erdbeben wurden zügig und intensiv durchgeführt, und der Regent des Gebiets setzte sich stark für die Bewohner bei der Wahl der Wiederaufbautypen der Regierung ein. Der Ablauf erfolgte Schritt für Schritt und wurde gleichzeitig bei allen Bewohnern umgesetzt. (Interview mit Bewohner aus dem Dorf Rempek: 10.05.2023)



Abbildung 122:

Dorf bei Rempek, Haus aufgeständert, Holzkonstruktion, eigener individueller Wiederaufbau, nicht von der Regierung

Dieser eigene individuelle Wiederaufbau ist eng an die traditionellen Konstruktionsprinzipien angelehnt. Das Gebäude zeichnet sich durch die Verwendung von Holz als Hauptbaumaterial aus und weist teilweise ein Stecksystem als Verbindungselemente auf. Die Wände werden aus Bambusgeflechten gefertigt, und das Gebäude steht auf einer Sockelzone, wodurch eine effektive Erdbebendämpfung und -entkopplung erreicht wird, was in dieser seismisch aktiven Region von entscheidender Bedeutung ist. Eine überdachte Veranda erstreckt sich vor dem Gebäude und bietet nicht nur zusätzlichen Wohnraum, sondern auch eine Schutzfunktion. Diese Bauweise vereint traditionelle Elemente, wie das Stecksystem von Stützen und Balken, mit modernen Anpassungen. Das Haus entspricht nicht den standardisierten Wiederaufbauprojekten der Regierung, sondern scheint aus Eigenmitteln finanziert und realisiert worden zu sein. Dennoch erweckt sie den Eindruck der Erdbebensicherheit aufgrund der Verwendung von Holzrahmen und leichten Baumaterialien.



Abbildung 123:

Holztragwerk mit einer Stecksystem-Verbindung der Stützen und Balken

4.3. Gebiet Lepeloang

Finanzierung: 4 Monate nach dem Erdbeben

Bauzeit: ca. 3-4 Monate

Wiederaufbautyp: RIKO

Das Gebiet Lepeloang, im Osten von Lombok war ebenfalls von Wiederaufbauten umgeben.

Ein RIKO mit einem erweiterten Grundriss und einigen Anpassungen befand sich in unmittelbarer Nähe einer Materialwerkstatt.

Das Gebäude zeichnete sich durch eine großzügige, grün geflieste, überdachte Veranda und Wände in einem ansprechenden Grünton aus. Die Proportionen dieses Hauses wichen von den üblichen standardisierten Typen ab. Direkt neben dem Gebäude erstreckte sich ein kleiner Pool und davor eine Freifläche mit Bäumen.

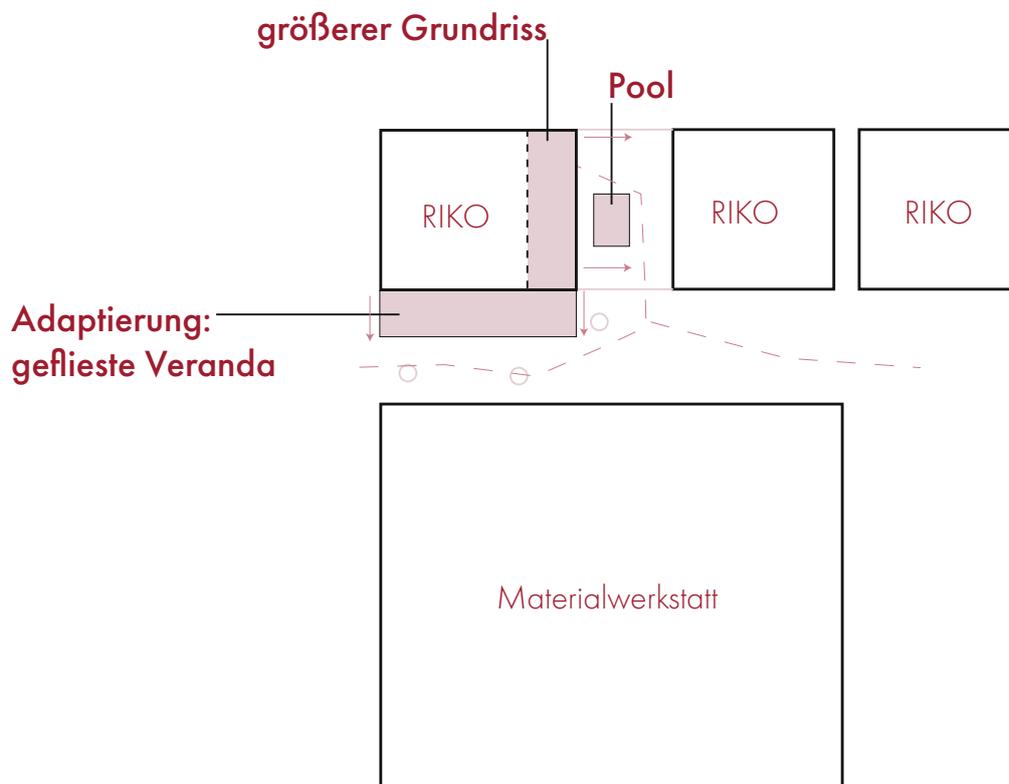


Abbildung 124:

Wiederaufbautyp RIKO: Grundriss erscheint größer als die standardisierten Modelle, hat eine überdachte Veranda und neben dem Haus einen kleinen Pool



Abbildung 125:

Wiederaufbautyp RIKO: steht auf einem Betonsockel, mit einer überdachten Veranda; farbliche Abhebung im Gegensatz zu den herkömmlichen Wiederaufbautypen



Offensichtlich bot die enge Verbindung und Zugang zur Materialwerkstatt einige Vorteile. Dies führte zu einer beschleunigten Finanzierung und Abwicklung im Vergleich zu anderen Dörfern, und es schien, dass die Qualität und Verarbeitung des verwendeten Materials höherwertig waren.

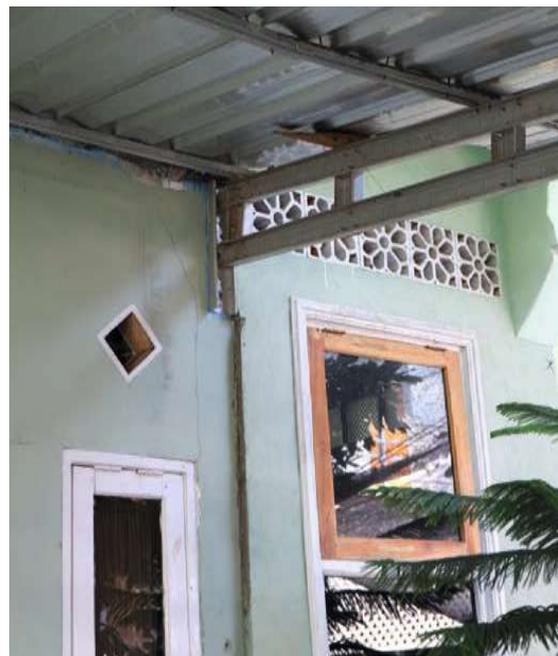


Abbildung 126:

Detail: Befestigung der Stahlunterkonstruktion für das Wellenblechvordach





Abbildung 127:

Wohnungssiedlung nahe Rempek, norden von Lombok: dichte Bebauung; Wiederaufbautypen RIKO und RIKA erkennbar

5. Ortsbild

Durch das verheerende Erdbeben im Jahr 2018 hat sich das Ortsbild im Norden und Osten von Lombok drastisch verändert. Die allgegenwärtigen standardisierten Wiederaufbautypen prägen die Landschaft und sind kaum zu übersehen. Auf den ersten Blick erscheinen sie nahezu identisch, und es erfordert genaues Hinsehen, um festzustellen, um welchen Typ es sich handelt.

Die Grundrisse sind einheitlich, und die Variationen in der Fassadengestaltung sind minimal. Einzig das Tragwerk, sei es RISBA aus Stahl, RIKO aus Stahlbeton, RIKA aus Holz oder RISHA aus Betonblöcken, ermöglicht eine Unterscheidung. In vielen Regionen gleicht die Wohnstruktur einem nahezu uniformen Muster, wodurch bisweilen der Eindruck eines Wohnlagers entsteht. Lediglich die von den Bewohnern selbst vorgenommenen Anpassungen und Modifikationen an ihren Häusern verleihen den Gebäuden eine minimale individuelle Note.



Abbildung 128:
Wiederaufbautyp RIKO



Abbildung 129:
Wiederaufbautyp RIKO



Abbildung 130:
Wiederaufbautyp RIKA



Abbildung 131:
Wiederaufbautyp RIKA



Abbildung 132:
Wiederaufbautyp RISHA



Abbildung 133:
Wiederaufbautyp RISHA



Abbildung 134:
Wiederaufbautyp RISBA



Abbildung 135:
Wiederaufbautyp RISBA

Die städtebauliche Situation auf Lombok nach dem Erdbeben zeigt sich in unterschiedlichen Facetten, die stark von den jeweiligen Regionen abhängig sind. Insbesondere in der Gegend der Provinz Pemenang. Ihre unmittelbare Nähe zu der Hauptstadt Mataram, schafft eine enge Verbindung zu städtischen Ressourcen und Arbeitsmöglichkeiten. Der Tourismussektor ist hier besonders präsent, da die Gili-Inseln ein beliebtes Reiseziel sind und Pemenang aufgrund seiner Nähe als Ausgangspunkt für Touristen dient. Viele der Bewohner arbeiten auch in Hotels, Tauchschulen etc. auf den Gili Inseln. (vgl. Lübben 2000)

Die Topographie um die Region Pemenang auf Lombok weist charakteristische Merkmale auf, die sowohl die Siedlungsstruktur als auch die Lebensweise der Bewohner beeinflussen. An den Küstenbereichen dieser Region befinden sich zahlreiche Hotels, die speziell auf Touristen ausgerichtet sind, während die einheimische Bevölkerung weiter im Landesinneren in Dorfstrukturen lebt. Abseits der Hauptstraßen entwickeln sich über kleine Gassen hinweg immer wieder dichte Dorfstrukturen, die von Grünflächen, wie Anbaufelder, umgeben sind. Das Zentrum von Pemenang zeichnet sich durch eine größere urbane Siedlung aus, während entlang der Straßen eher kleinere Dorfstrukturen vorherrschen.



Abbildung 136:
Bebauungsdichte der Provinz
Pemenang, norden Lombok



Abbildung 137-139:

enge Gassen, dichte Bebauung um Region Pemenang

Bedingt durch die hohe Bevölkerungsdichte in dieser Region ist eine äußerst dichte Bebauung charakteristisch. Die Wohnkomplexe stehen eng nebeneinander, was zu engen Gassen führt, die als Verbindungsweg dienen. Diese räumliche Enge bietet nur begrenzten Raum für eine effektive Evakuierung im Falle eines ernsthaften Notfalls. Teilweise berühren sich die Dächer der Häuser aufgrund der extremen Dichte.

In der Nähe des Vulkan Rinjani auf Lombok zeigt sich eine deutliche Veränderung in der Topographie und Siedlungsstruktur. Je näher man Richtung des Vulkans kommt, desto weniger dicht ist die Bebauung. Dies ist teilweise auf die anspruchsvolle topographische Beschaffenheit zurückzuführen, die eine dichte Besiedlung in diesen Gebieten oft unmöglich macht. In diesen Regionen sind die meisten Bewohner in der Landwirtschaft tätig, und die Wohnstrukturen sind stärker in die umgebende Natur eingebettet.

(Interview Bewohner aus Sesait: 11.05.2023)

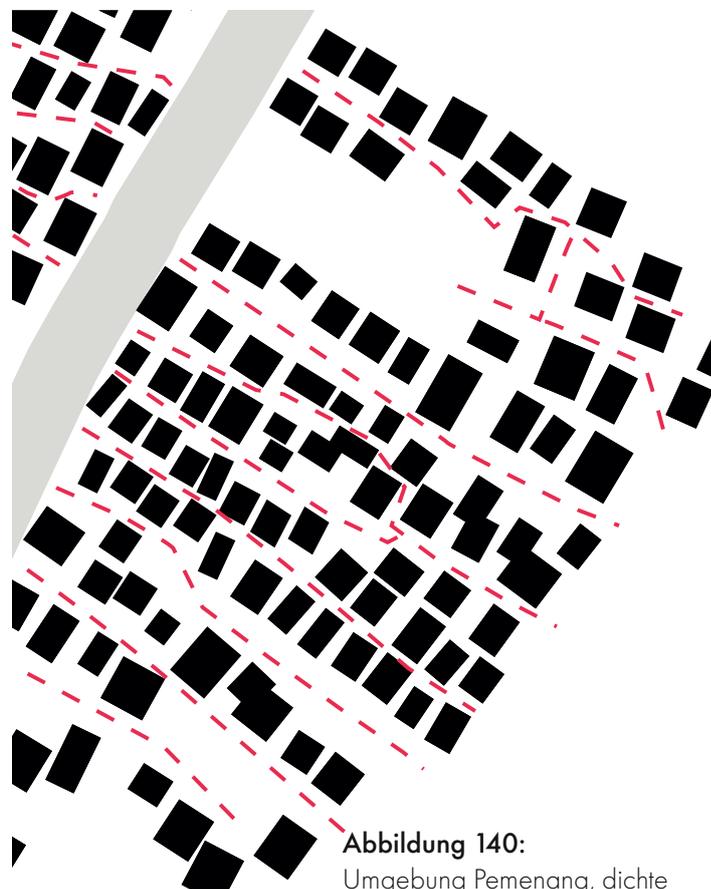


Abbildung 140:

Umgebung Pemenang, dichte Bebauung und enge Gassen von der Hauptstraße aus

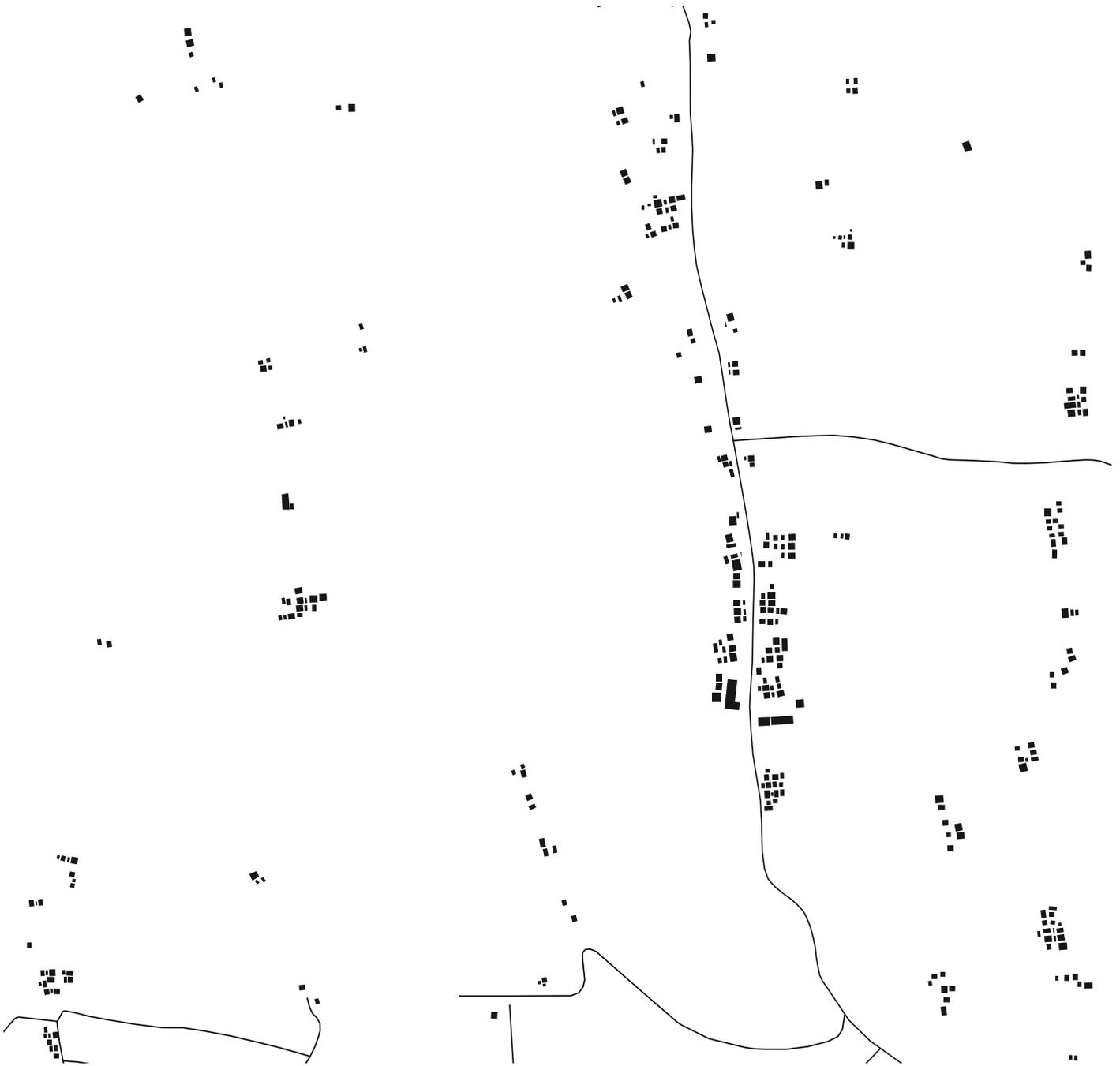


Abbildung 141:
Bebauungsdichte um Provinz
Bayan, Richtung Rinjani





Abbildung 142:

traditionelles Dorf Nähe Sesait, mittiger Platz und seitliche Gruppierungen der Häuser, dahinter Wiederaufbautypen erkennbar

Auffallend ist die offene Freifläche für Bale' und Platz für gemeinschaftliche Aufenthaltsorte, wo die Bewohner verweilen und interagieren können. Städtebaulich betrachtet ähnelt diese Dorfstruktur in gewisser Weise der traditionellen Architektur, in der mehrere Häuser aufgereiht Gruppen bilden, jedoch stets ausreichend Raum für einen zentralen Gemeinschaftsplatz zur Verfügung steht. (vgl. Wahyudi et al. 2022)

Einzelne Häuser sind entlang der Straßenwege in die natürliche Landschaft eingebettet. Diese Erscheinung bildet einen auffälligen Kontrast zur dicht besiedelten Küstenumgebung. Sie bietet zudem großzügigere Freiräume, die Raum für individuelle Anpassungen und Veränderungen bieten könnten.



Abbildung 143:

Platzierung der traditionellen Häuser



Abbildung 144:
Haus in die Umgebung
eingebettet; bietet mehr Platz als
die dichte Bebauung



Abbildung 145:

Mischbauweise vor dem Erdbeben 2018: sichtbare Reparaturarbeiten an den Wänden erkennbar

Im Gegensatz zu den standardisierten Wiederaufbauten auf Lombok finden sich gelegentlich alte Baustrukturen, die sich deutlich von der Bauweise und dem äußeren Erscheinungsbild unterscheiden. Diese alten Gebäude sind in der Regel größer, teilweise 2-Stöckig, und weisen individuelle Gestaltungen an ihren Fassaden auf. Einige dieser Strukturen haben das Erdbeben teilweise überstanden und fallen wahrscheinlich in die Kategorie der „mittelschwer beschädigten“ oder „teilweise beschädigten“ Gebäude. Dies lässt sich an sichtbaren Reparaturarbeiten an den Wänden erkennen.

Dennoch bleibt fraglich, ob diese Gebäude einem weiteren Erdbeben standhalten könnten. Aufgrund der mangelhaften Ausführung der Baukonstruktion weisen die angewendeten Mischkonstruktionen eine geringe Widerstandsfähigkeit gegenüber dynamischen Belastungen auf. Besonders Vorsprünge des oberen Stockwerks können Steifigkeitsunterschiede in der Gesamtkonstruktion hervorrufen, die sich negativ auf die Erdbebensicherheit auswirken können. (vgl. Blaß et al. 2007)



Abbildung 146:

Vorsprünge des oberen Stockwerks wirken negativ auf Erdbebensicherheit aus

In Abbildung 147 ist nicht klar ersichtlich, ob es sich um ein Gebäude vor dem Erdbeben handelt oder um einen eigenen Wiederaufbau. Es wurde ein Holzrahmentragwerk angewendet und die Wände sind mit Bambusgeflecht ausgefüllt. Durch die Verwendung von Holz und Bambus wirkt das Haus ästhetisch und passend in das tropische Klima angepasst.

Anhand dieser Beispiele könnte man sich allerdings vorstellen, wie das Ortsbild vor dem Erdbeben ausgesehen haben könnte. Auch nach den Erzählungen vieler Bewohner wurde klar, dass ihre Gebäude zuvor um einiges größer und repräsentativer ausgesehen haben.



Abbildung 147:

Eventuell eigener Wiederaufbau: Holzrahmentragwerk mit Bambusgeflecht als Fassade

Weiterhin sind in unmittelbarer Nähe der Gebäude immer wieder Ruinen zu finden. Wie bereits im vorherigen Kapitel „Ablauf Wiederaufbau“ erwähnt wurde, empfanden viele Bewohner erhebliche Bedenken, in ihre alten, massiv errichteten Wohnhäuser zurückzukehren. Diese stehen bis heute verlassen da. Durch Befragungen wurde deutlich, dass es sich in einigen Fällen um ihre ursprünglichen Wohnhäuser handelt. Nach dem Erdbeben wurden diese Bewohner in die Kategorie „mittelschwer beschädigte Häuser“ aufgelistet und bekamen von der Regierung für die Renovierungsarbeiten 25 Millionen Rupiah. (Interview Bewohner aus Sesait: 11.05.2023) Wenn man sich die sichtbaren Risse in den Stützen und Wänden ansieht, ist diese Erkenntnis erschreckend. Nur durch optische Verbesserungen können die Häuser erdbebentechnisch nicht verbessert werden. Somit ist es ersichtlich nachvollziehbar, dass einige Bewohner es vorzogen nicht mehr in ihre alten Häuser zurückzukehren. Abgerissen werden diese allerdings auch nicht, da die betroffenen Familien nicht genügend Geld dafür haben.



Abbildung 148:
Risse an den Stahlbetonstützen vom Erdbeben 2018



Abbildung 149:
Leerstehende Ruine; zerstört nach
dem Erdbeben 2018



Abbildung 150:

Ortsbild bei Sembalun: offenere Baustruktur, Platz für ein Bale ' ; Wiederaufbautypen teilweise modifiziert und größer



Ogleich in welcher Region man sich im Norden von Lombok aufhält eine Konstante bleibt immer ident, die standardisierten Wiederaufbautypen ermöglichen keine Differenzierung der Ortsbilder. Alleiniger Unterschied erfolgt durch die dichte Struktur, in Küstennähe und die aufgelockerte Struktur in den bergigeren Regionen. Das Erscheinungsbild der Moscheen war als einziges auffallend unterschiedlich, abhängig von der jeweiligen Gemeinschaft des Dorfes oder Stadtteils.



Abbildung 151:

Dorf in Küstennähe, sehr dichte Bebauung



Abbildung 152:
Dorf in bergigen Region,
aufgelockerte Bebauungsdichte,
mehr Platz für Grünflächen

C. Antwort auf Schulen

Kinder sollten unabhängig von ihrer sozialen Klasse, ihrem Glauben, ihrem Geschlecht oder ihren Fähigkeiten Zugang zu sicheren und kulturell angemessenen Lernumgebungen haben. Die Gestaltung von Klassenzimmern sollte Schülerinnen und Schülern ermöglichen, ihre Kreativität zu entfalten und sich aktiv am Lernprozess zu beteiligen. Gleichzeitig sollten Gemeinschaften einen zentralen Ort haben, an dem sie mit Stolz zusammenkommen können, um die Bildung und Zukunft ihrer Kinder zu unterstützen. (vgl. Towards 2015)

Laut Angaben wurden bei dem Erdbeben 2018 mindestens 606 Schulen in West Nusa Tenggara beschädigt beziehungsweise zerstört. Eine Studie, von der „Engineering Faculty of North Sumatra University, Medan, Indonesia“ über die Schadensanalyse der Schulgebäude auf Lombok, hat eine allgemeine Schlussfolgerung bezüglich der Ursachen für die Schäden gezogen. (vgl. Asmirza/Sofian 2020)

Diese Ursachen umfassen die unzureichende Qualität der Baumaterialien, schwache Verbindungen, Verwendung von schwerem Material und eine nicht besonders gute Bauausführung. Weiters liegt das Problem an der Kommunikation zwischen Experten und der Bevölkerung. Für den weiteren Bau von erdbebensicheren Gebäuden wird vorgeschlagen, dass ein grundlegendes Verständnis für erdbebensicheres Bauen in erdbebengefährdeten Gebieten an die örtliche Regierung, die für die Verwaltung der Schulen zuständig ist, vermittelt werden sollte. (vgl. Asmirza/Sofian 2020)

Die Antwort auf erdbebensichere Wiederaufbauten für Schulen auf Lombok wurde in verschiedenen Ausführungen beantwortet. Es gibt die Lösungsvorschläge von indonesischen Experten, von der Regierung und von ausländischen Partnern.



Abbildung 153:

Wiederaufbau der Schule SDN6 Sesait

1. Lösungsvorschläge indonesischer Experten (Prinzip Risba)

Der indonesische Experte Ashar Saputra und sein Team von der Universität UGM, Yogyakarta entwarfen einen Wiederaufbautyp für eine Schule. Umgesetzt wurde diese am 3. Jänner 2019 mit einer Bauphase von circa 3 Wochen. (vgl. Saputra 2019)

Die Schule SDN6 Sesait befindet sich in einer abgelegenen, bergigen Region in der Nähe von Sesait. Während einer Vor-Ort-Besichtigung zu Mittag an einem Wochentag war die Schule geschlossen, und es waren keine Menschen zu sehen.

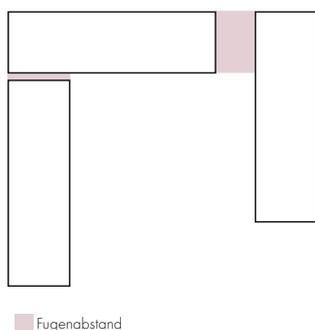


Abbildung 154:

Grundrissanordnung und Fugenabstand

Sie ähnelt von der Konstruktion, dem von Ashar Saputra mitentwickelten Design, des standardisierten Wiederaufbautyps RISBA. Die Tragwerkskonstruktion ist aus CNP-Stahlprofilen zusammengeschweißt und die Wände aus 60 Zentimeter Mauerwerk und darüber Calciumplatten. Die CNP-Profile bilden den Rahmen sowohl am Boden sowie auch für die Wände, was zu einem sehr guten Faktor für die Aussteifung bei einem Erdbeben führt. Bezüglich der Grundrissform, wurde erdbebentechnisch vorteilhaft ein symmetrischer Grundriss gewählt, welcher mittels Fugen in dynamisch unabhängige Einheiten aufgeteilt wird. Dadurch werden Massen Exzentrizitäten und somit erhöhte Torsionsbeanspruchungen bei einem Erdbeben vermieden. (vgl. Blaß et al. 2007)



Abbildung 155:

Aufbau der Schule SDN6 Sesait: Wiederaufbauprinzip RISBA; CNP-Profile als Traggerüst; am 15.01.2019



Abbildung 156:

Innenansicht der Schule: niedrige Decken; über den Fenstern Öffnungen für eine Zirkulation der Luft



Abbildung 157:

Fassade aus leichten Gipsfaserplatten



Abbildung 158:
60-100 cm Sockelzone aus
Mauerwerk; CNP-Profile als
Konstruktion für das Vordach

2. Lösungsvorschläge Regierung (Stahlbetonschulen)

Die Schule SDN1 in Pemenang wurde von dem Erdbeben 2018 komplett zerstört. TV One, ein Fernsehsender mit Sitz in Jakarta, gründet 2011 eine Stiftung, welche die Verteilung öffentlicher Gelder, die für die Nothilfe und während der Wiederaufbauphase verwendet werden, einschließlich der Unterstützung bei der Rehabilitation der Opfer von Naturkatastrophen, erleichtern soll. (tvOne « PT. VISI MEDIA ASIA Tbk (vivagroup.co.id))

Durch deren Einsatz konnte die SDN1 Schule wiederaufgebaut werden. Die Frage, wer diese Schule geplant hat, bleibt leider offen. Allerdings konnte durch Befragungen der Bewohner erläutert werden, dass die Regierung den weiteren Bau beaufsichtigte.

In einigen Teilen von Lombok ist eine bestimmte Bauweise von Schulen erkennbar, die alle von der Regierung stammen. In Indonesien werden Schulen gemäß den vom Ministerium für Nationale Bildung formulierten Standards und Richtlinien für Schulgebäude gestaltet. Diese Richtlinien konzentrieren sich hauptsächlich auf Module wie die Art der zu errichtenden Räume und deren Standardabmessungen. Strukturelle Standards werden darin jedoch nicht ausführlich behandelt. (vgl. JICA 2011)

Ein Standard Klassenzimmer beträgt 8x7 Meter und ist für zwanzig Schüler vorgesehen. Davor erstreckt sich eine bis zu zwei Meter breite, überdachte Veranda.



Abbildung 159:
Wiederaufbau Schule SDN1 Pemenang: massiver Stahlbetonaufbau

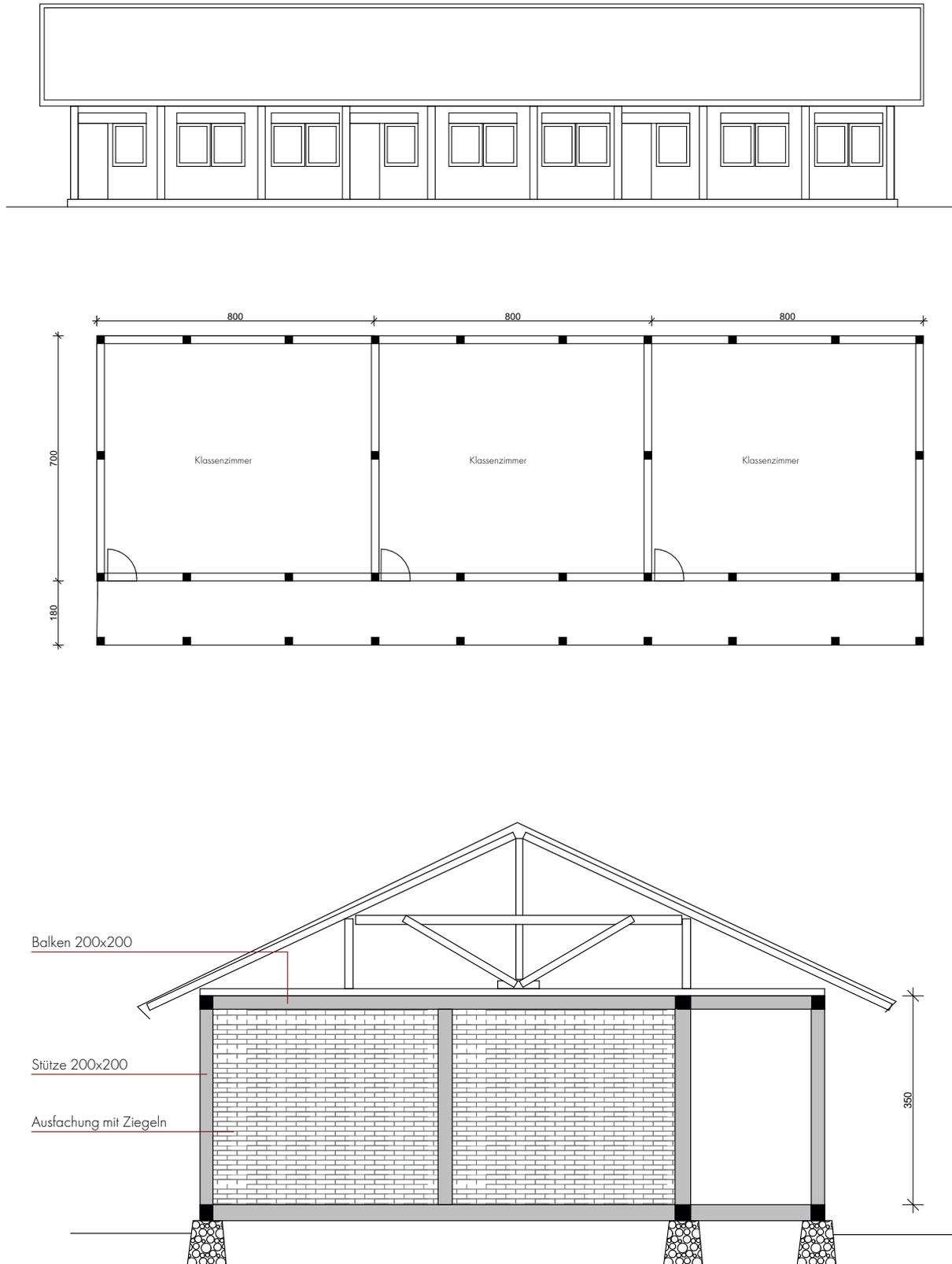


Abbildung 160:

Ansicht, Grundriss und Schnitt einer standardisierten Schule der Regierung Indonesiens: Tragwerk aus Stahlbetonsäulen und Trägern mit einer Standardgröße von 20 x 20 cm. Wandkonstruktion aus verputzten Ziegelwänden



Abbildung 161:

Grundrissanordnung in „L-Form“ ohne Fugenabstand

Gewöhnlich werden für die Fundamente sperrige Gesteinsmaterialien verwendet, die mit einer Mischung aus Sand und Zementmörtel im Verhältnis 4:1 kombiniert werden. Es besteht auch die Möglichkeit, ein Fundament aus bewehrtem Beton oder eine Flachgründung zu verwenden. Das Tragwerk besteht aus Stahlbetonsäulen und Trägern mit einer Standardgröße von 20 mal 20 Zentimetern. Für die Wandkonstruktion werden verputzte Ziegelwände oder Betonblöcke mit einer Dicke von 15 Zentimeter verwendet. (vgl. Jurizat/Pratiwi/Ramadhan 2014)

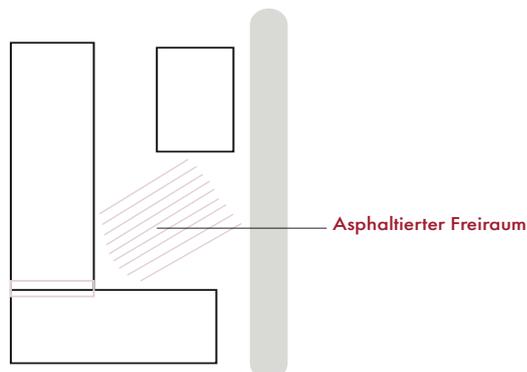


Abbildung 162:

Grundrissanordnung ohne Fugenabstand; asphaltierte Freifläche

Der Bau der SDN1 ähnelt der Konstruktion wie bei Abb. Xy ersichtlich. In diesem Beispiel handelt es sich um eine Stahlbetonkonstruktion, ausgefüllt mit einem verputzten Mauerwerk. Allerdings ist auffallend, dass die L-Grundrissform ohne Fugen ausgeführt wurde, was zu einer zusätzlichen Beanspruchung an das Gebäude während eines Erdbebens führen könnte. Inwiefern „ingenieurmäßig“ die Schule errichtet wurde ist nur durch eine Besichtigung vor Ort nicht genau festzustellen. Allerdings sind bereits jetzt Risse, horizontal sowie auch vertikal, an den Wänden erkennbar, was zu einer schlechten Qualität der Baumaterialien zurückzuführen sein könnte. Ein Vorteil besteht in der Verwendung des Dachs aus leichten Materialien, einer Wellenblechdeckung und einem Stahlunterbau. Im Vergleich zur früheren herkömmlichen Ziegeldeckung erweisen sich leichtere Materialien als vorteilhaft und weniger gefährlich im Falle seismischer Aktivitäten.



Abbildung 163:

Innenraum einer Klasse: pro Klasse vierzig Schüler*innen; niedrige Raumhöhe

Durch Befragungen der örtlichen Lehrkräfte wurde deutlich, dass der Komfort in den Klassenräumen als unzureichend empfunden wird. Sie beklagen sich über die extremen Hitzebedingungen und die niedrigen Decken. Üblicherweise sollte der Unterricht in Klassen mit etwa zwanzig Kindern stattfinden, jedoch sind es hier aufgrund des begrenzten Raumangebots vierzig Schülerinnen und Schüler pro Klasse. Besonders auffällig ist der nicht bepflanzte, asphaltierte Innenhof. Es ist schwer vorstellbar, dass Kinder hier ihre Pausen verbringen und spielen sollen, denn es ist sehr heiß und es gibt keinerlei natürlichen Schatten.



Abbildung 164:

In den Klassenraum sind bereits Risse an den Wänden erkennbar

3. Lösungsvorschläge ausländischer Partner (Bamboo school, Block school)

„Bamboo school“

Die Universität Stuttgart initiierte mit dem Lehrstuhl für Nachhaltigkeit, Baukonstruktion und Entwerfen eine Kooperation mit den indonesischen Universitäten ITS²³ und NTB²⁴ um ein Schulbauprojekt auf der Insel Lombok zu realisieren. Es handelt sich um die, vom Erdbeben 2018, zerstörte Grundschule „SD Terpadu Hirjah“ in der Gemeinde Rempek, am Fuße des Vulkans Rinjani. (uni-stuttgart.de)

Ziel ist es das Bewusstsein für traditionelle Bauweisen mit Bambus, gepaart mit einer zeitgenössischen Architektursprache, zu fördern.

In Kooperation mit „SD Terpadu Hirjah“, indonesischen Architekten und Ingenieuren wurde mittels Workshops das Bauen mit Bambus vertieft und eine gemeinsame Strategie der Zusammenarbeit festgelegt. Die Bambushandwerkergemeinschaft „Aurbamboo“ aus Sembalun Lawang in Ost-Lombok erhielt einen Projektauftrag von der Universität Stuttgart, um die Bambusschule zu errichten. Infolgedessen obliegt es ihnen auch, die örtliche Gemeinschaft und die Schüler anzuleiten, um die Vorzüge von Bambus, insbesondere als Baumaterial, zu erkunden und zu vermitteln. Die Studenten in Deutschland haben anschließend einen Entwurf für die Schule erarbeitet und im Februar 2019 in Zusammenarbeit mit den indonesischen Partnern den Bau der Schule begonnen. (uni-stuttgart.de)



Abbildung 165: Wiederaufbau der Schule in Rempek: Hauptmaterial Bambus; Grundriss hat eine sechseckige Form mit drei hohen und drei niedrigen Fachwerken

²³ Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) in Surabaya, Ostjava

²⁴ Universität Mataram, in der Hauptstadt Mataram, Lombok



Abbildung 166-168:

(von links nach rechts): Wände aus Bambusgeflecht; Wände aus Bambusstäbe; Dachdeckung aus Bambusfasern

Aufgrund der Corona Pandemie wurde der Bau unterbrochen und heute ist nur achtzig Prozent fertiggestellt. (Interview mit einer Lehrerin der Schule SD Terpadu Hirjah:07.05.2023)

Die erbaute Schule hat eine sechseckige Form mit drei hohen und drei niedrigen Fachwerken, welche abwechselnd angeordnet sind. Sie besteht aus einem Bambustragwerk und ruht, wie auch in der traditionellen Architektur angewendet, auf Steinsockeln. Die zuvor in einer chemischen Lösung behandelten Bambusstäbe werden durch Dübeln und Nägel miteinander verbunden. Das Dachfachwerk ist aus Bambus und die Dachdeckung aus Bambusfasern. Die Konstruktion wird teilweise mit Bambusmatten ausgefüllt. (uni-stuttgart.de)

Die Konstruktion wirkt sehr aufwendig aber architektonisch ansprechend. Vor Ort wird auch schnell ersichtlich, dass die lokalen Bewohner sehr stolz auf ihre erbaute Schule sind. Sie finden den Bau mit Bambus vorteilhaft und sind auf das Design sehr stolz.

Allerdings wird auch angemerkt, dass mehr als hundert Schüler und Schülerinnen die Schule besuchen und der Platz der Klassenräume zu gering ist. Deshalb wurde ein Teil der nicht vollständig zerstörten Schule beibehalten und selbstständig wiederaufgebaut. Es ähnelt einem Schuppen und besteht aus einem Stahlgerüst mit teilweise ausgefüllten Gipsfaserplatten als Wände und einem Wellenblechdach.

Es wird auch deutlich, dass mittlerweile Abnutzungen am Gebäude, wie Risse im Bambusgeflecht, erkennbar sind.

Dennoch lässt sich aus diesem Projekt schließen, dass die enge Zusammenarbeit mit der lokalen Bevölkerung und die Verwendung natürlicher, lokaler Materialien einen äußerst positiven Ansatz darstellen. Die Eignung des komplexen Designs für eine Schule könnte jedoch in Frage gestellt werden. Die Bewohner von Rempok sind sehr erfreut über die Möglichkeit, eine neue Schule erhalten zu haben. Dennoch handelt es sich hierbei um eine Hilfe für einen begrenzten Bereich und nicht um eine Bauweise, die leicht von der Bevölkerung für den Bau weiterer Schulen angewendet werden kann.



Abbildung 169:

Das Bauwerk steht auf Steinsockeln; leichte Abnutzung / Beschädigung der Bambuswände bereits erkennbar



Abbildung 170:

traditionelle Bearbeitung der Bambusstäbe mit der lokalen Bevölkerung



Abbildung 171:

Klassenraum der Schule: außergewöhnliches Design



Abbildung 172:
Verbindungen der Bambusstäbe
mit Nägeln und Dübeln

„Block school“

Die Hilfsorganisation „Classroom of Hope“ haben eine nachhaltige, erdbebensichere und permanent Lösung gesucht schnell und effizient erdbebenzerstörte Schulen wieder errichten zu können. Aufgrund der Umsetzung eines Finnen mit der Firma Block Solution, welcher aus recyceltem Plastik Ziegelsteine herstellt und diese wie ein Stecksystem – Legoprinzip zu einem Haus errichtet, wurde die „Block Solution Indonesia“ geboren. (<https://classroomofhope.org/>) Block Solution hat umweltfreundliche Blockmodule entwickelt, dessen Fabrik zurzeit noch in Jakarta ist, eine weitere ist bereits auf Lombok in Planung. (Interview mit Programm Managerin von Classroom of Hope: 01.05.2023)

Zwischen dem Zeitraum von Juli 2021 und Juli 2023 wurden durch Spendenaktionen 17 permanente Blockschulen auf Lombok errichtet. (<https://classroomofhope.org/>)

„Es ist eine klassische Kreislaufwirtschaft, bei der Materialien und Produkte so lange wie möglich recycelt werden und der Lebenszyklus so verlängert wird.“ (Barkhausen 2021)



Abbildung 173: „Block school“ in der Region Pemenang: aus Plastikziegelsteinen



Abbildung 174:

„Block school“ nahe Sesait: zwei Klassenräume

Die Plastik-Ziegelsteine bieten einige Vorteile gegenüber herkömmlichen Ziegeln und anderen Baumaterialien. Sie sind leichter, widerstandsfähiger und flexibler, was ihre Verwendung in der Baubranche äußerst attraktiv macht. Die CO₂-Bilanz des Produkts liegt nahezu bei null, abhängig vom Standort kann das verwendete Material bis zu 50 Prozent organischen Fasern und 50 Prozent recycelten Kunststoff erhalten oder alternativ nur recycelten Kunststoff. Die modular gebauten Häuser sind langlebig und können mit nur wenigen Werkzeugen aufgebaut werden. Sie können auch demontiert und wieder aufgebaut werden. Der Bau eines Klassenzimmers dauert in der Regel etwa fünf bis acht Stunden. Dieses relativ kurze Zeitfenster ist auf das anwendbare Lego-Prinzip zurückzuführen, bei dem die Montage unkompliziert ist und daher rasch von örtlichen Fachkräften erlernt werden kann.

Die Blockschulen werden auf einem Fundament aus Beton errichtet und verfügen über ein verzinktes Dach. Zur Verstärkung der Struktur der Wände werden Stahlstäbe und U-Träger angebracht. Die Blöcke gibt es in vier verschiedenen Größen mit einer Länge von 100,200,400 oder 800 Millimeter und einer Breite von 200 Millimeter. Die Dicke eines Blocks beträgt 100 Millimeter. (block-solutions.com)



Abbildung 175:

Innenraum einer „Block school“: die niedrigen Decken führen zu sehr heißen Klassenräumen, Ventilatoren notwendig

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar. The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.



Abbildung 176:

Stecksystem der Plastikziegelsteine



Abbildung 177:

Komponente der Firma „Block Solution“



Abbildung 178:
Leichtmetall Unterkonstruktion für
das Wellenblechdach

Die fertigen Gebäude haben eine gewisse Elastizität und sind vor allem leicht. Der finnische Gründer Markus Stilfverberg vom Start-up Block Solutions erläutert bei einem Interview, dass falls das Gebäude bei einem sehr schweren Erdbeben doch einstürzen sollte, dann würde man wahrscheinlich mit einer leichteren Verletzung davonkommen. (vgl. Barkhausen 2021)

Wenn man die üblichen Schulgebäude aus massivem Mauerwerk in Betracht zieht, könnte man zu dem Schluss kommen, dass Schulen aus leichteren Materialien weniger lebensbedrohlich erscheinen. Es ist auch denkbar, dass Plastikziegel im Falle eines Einsturzes zwar beschädigt werden könnten, aber nicht völlig zerstört sind, was einen Wiederaufbau mit denselben Materialien ermöglichen würde. Während der Besichtigung einiger dieser Schulen auf Lombok fiel negativ auf, dass in den Klassenräumen eingezogene, abgehängte Decken vorhanden waren. Dies führte zu extremen Hitzebedingungen in den Räumen und ließ keine natürliche Belüftung zu, weshalb zusätzlich Ventilatoren installiert wurden.

Anhand dieser Fallbeispiele lassen sich unterschiedliche Ansätze für den Wiederaufbau von Schulen auf Lombok ableiten. Die Frage, ob diese Bauwerke nach einem weiteren Erdbeben die richtige Lösung darstellen, steht jedoch im Raum. Der Entwurf von Schulgebäuden sollte sich an den Bedürfnissen der Gemeinschaft orientieren und sicherstellen, dass die verwendeten Materialien und Bauverfahren dem lokalen Kontext entsprechen. Die Schaffung von Verantwortlichkeit und Transparenz bei Schulbauvorhaben hat höchste Priorität, da dies die Förderung eines gemeinschaftlichen Engagements für die Schulen und deren langfristige Instandhaltung von enormer Bedeutung ist.



Abbildung 179:
Sanitärräume als Nebengebäude
aus einer massiven Sockelzone
und Wellenblech

V. Kritik und Ausblick

A. „BUILD BACK BETTER?“

1. Gegenüberstellung der Maßnahmen auf ihre Wirksamkeit & Wohnsituation der Bevölkerung

Die Frage nach der Wirksamkeit des Wiederaufbaus nach Naturkatastrophen, insbesondere im Kontext des Erdbebens auf Lombok im Jahr 2018, wirft wichtige Überlegungen auf. Die Strategie, die auf die schnelle Umsetzung permanenter Wohnhäuser abzielte, mag auf den ersten Blick eine logische Antwort auf das Ausmaß der Zerstörung und die betroffene Bevölkerung erscheinen. Doch im Laufe der Zeit, insbesondere fünf Jahre nach dem Erdbeben, werden einige Herausforderungen und Fragen aufgeworfen, die eine sorgfältige Analyse erfordern. Hierbei stellt sich die grundlegende Frage, ob die neue Vorgehensweise tatsächlich eine Verbesserung gegenüber der vorherigen Situation darstellt - kurz gesagt, ob das Ziel „Build Back Better“ erreicht wurde.

Unmittelbar nach dem Erdbeben 2018 auf Lombok gab es eine Erklärung des indonesischen Präsidenten, Joko Widodo, dass die Regierung keine temporären Unterkünfte bauen, sondern rasche permanente Häuser errichten wird. Dies unterscheidet sich von der Vorgehensweise bei Erdbeben in anderen Teilen Indonesiens. (vgl. Sunarti/Widiyantoro/Marliyani/Ida 2021)

Diese Strategie steht im Kontrast zu den Richtlinien zur Umsetzung des Katastrophenmanagements. (vgl. Petschenig 2023)

Es dauerte einige Zeit Daten über die beschädigten Häuser zu sammeln, um einen erforderlichen Betrag für die Rehabilitation und den Wiederaufbau zu bestimmen. Auch die Bildung von Pokmas vorzubereiten, sowie der schlussendliche Prozess der Auszahlung von Hilfsgeldern, nahm einige Zeit in Anspruch. Da kaum temporäre Unterkünfte vorhanden waren, musste die überlebende Bevölkerung während dieser Zeitspanne in Zeltlagern leben. (vgl. Sunarti et al. 2021)

Der positive Aspekt bezüglich der standardisierten, modularen Wiederaufbautypen in Kombination mit der Verringerung der temporären Unterkünfte besteht darin, eine schnelle Lösung zu finden und den betroffenen Menschen rasch ein neues Haus zu ermöglichen. Dieser Faktor hat zum Teil auch gut funktioniert. Mit Sicherheit wurde durch das Errichten der Wiederaufbautypen das Verständnis der Bevölkerung sowie auch das Bewusstsein der Notwendigkeit von erdbebensicheren Bauten gestärkt. In der Theorie erscheint diese Vorgehensweise plausibel, vor allem angesichts der großen Anzahl von betroffenen Menschen und zerstörten Häuser.

Obwohl die Wiederaufbautypen zweifellos einen höheren Erdbebensicherheitsfaktor bieten als die zuvor existierenden Bauwerke, ist eine korrekte Ausführung der Gebäude entscheidend. Aufgrund der Vorgaben zur Geldverteilung durch die Regierung, in einem Land, das bereits unter Korruption leidet, wurde die Türe für finanzielle Unregelmäßigkeiten geöffnet. Dies führte zu mangelhaften Ausführungen verschiedener Wiederaufbautypen vor Ort, sei es durch Fachkräfte, Herstellfirmen oder Materialwerkstätten. Durch den langen Geldzyklus erhielten einige Familien, nicht die wie versprochen 50 Millionen Rupiah und somit wurde deren Gebäude auch nicht ordnungsgemäß errichtet und in verschiedene Teilen Geld eingespart. Wie zum Beispiel der Bau eines RISHA auf Lombok zeigt eine fehlerhafte Ausführung der Betonblöcke. In der Mitte des Gebäudes wurde anstatt der vorgefertigten Komponenten eine herkömmliche Betonstütze verwendet. Diese Abweichung von der vorgesehenen Bauweise könnte das Tragwerk und den erdbebentechnischen Faktor schwächen. Durch solche Einsparungen haben einige bestimmte Firmen unter dem Deckmantel der Regierung Geld veruntreut.

Ein weiteres bedeutendes Problem besteht in der Herangehensweise mit dem Umgang der Kategorisierung der „schwer beschädigten“, „mittelschwer beschädigten“ und „leicht beschädigten“ Häuser. Die Bevölkerung deren Häuser als „mittelschwer“ oder „leicht“ beschädigt eingestuft werden, erhielten nicht ausreichende finanzielle Mittel, um ihre Häuser sachgemäß zu reparieren. Es war ihnen lediglich möglich, Reparaturarbeiten wie das Verputzen von Rissen durchzuführen. Jedoch ist fraglich, ob diese Häuser einem erneuten Erdbeben standhalten könnten. Die meisten dieser Bauwerke sind in der typischen Mischbauweise Indonesiens ausgeführt, ohne einer richtigen Tragwerkkonstruktion. Inwiefern es sinnvoll ist diese Gebäude von der Regierung unbeachtet zu lassen, da sie bei einem weiteren Erdbeben auch komplett zerstört werden können, ist zu hinterfragen.

**Adaptierung:
Veranda, Freiraum**

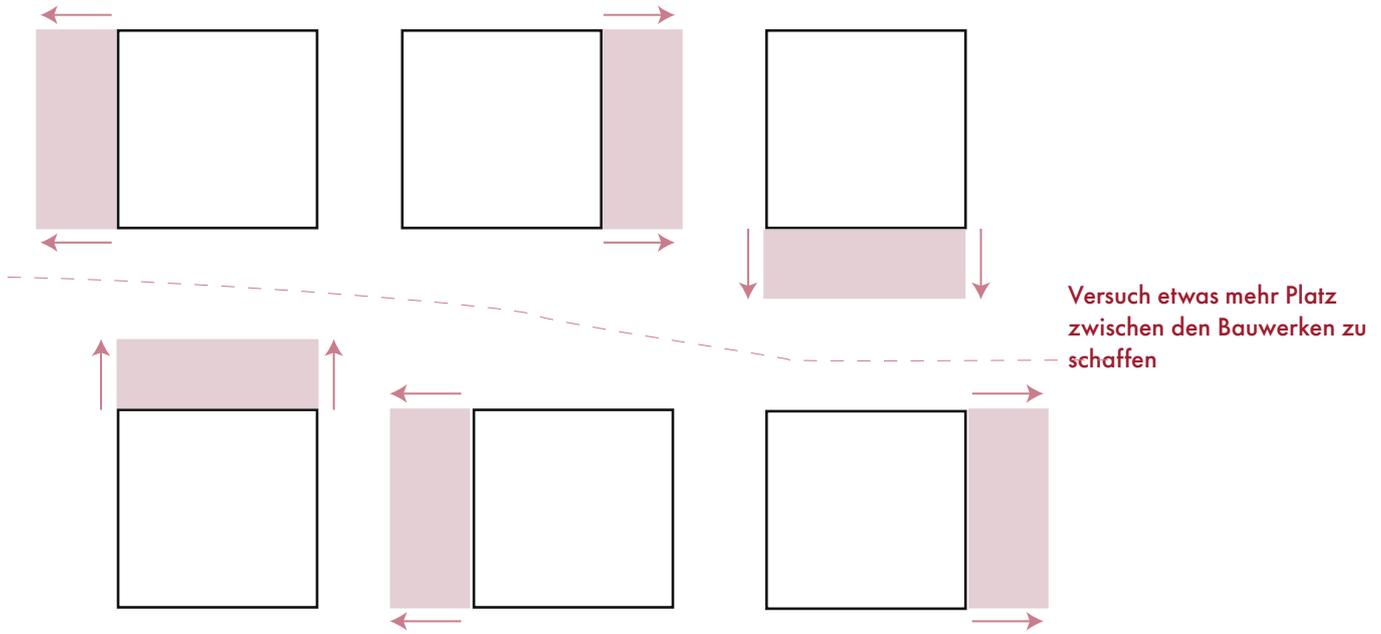


Abbildung 180:

für zukünftige Wiederaufbauprojekte mit eingeplanter Platz zwischen den Bauwerken für etwaige Adaptierungen

2. Lombok Maßnahmen der Verbesserung

Ein immer kehrender Faktor während der Forschungsreise war der Wunsch nach Individualität, welche durch die standardisierten Wiederaufbautypen untergraben wurde. Der individuelle Ausdruck der Bewohner sowie das Ortsbild wurde durch diese Situation ganz klar eingeschränkt. Durch den Flächenteppich, identer Häuser, entsteht die Gefahr von Eigenregie der Bevölkerung von Zubauten und Modifikationen. Wie auch bei dem Beispiel der Domes, nahe Yogyakarta, ersichtlich, können diese Anbauten auch die Integrität und Gesamtkonstruktion des Bauwerkes schwächen. Viele dieser Zubauten wurden nicht von Fachkräften und ordnungsgemäß erbaut.

Im Falle der Lösung der „core Häuser“ in Yogyakarta, sind auch einige Probleme aufgetreten und die Massivbauweise ist teilweise zu hinterfragen, aber bei dieser Lösung wurde ein wichtiger Faktor miteingeplant. Es wurde die Möglichkeit im Vorhinein geboten Erweiterungsmaßnahmen bei dem Haus durchzuführen. Die Bevölkerung wurde während des Baus miteinbezogen und eingeschult, wie eine richtige Adaptierung zu errichten wäre.

Durch die Forschungsreise konnten immer wiederkehrende Adaptierungen der Bevölkerung an den Wiederaufbautypen erkannt werden. Der Bau von Verandas, Vordächer als Beschattung und Regenschutz sowie selbst die kleinsten Verzierungen an den Fassaden zeigte den dringlichen Wunsch an Verschönerung der Bewohner. Ein weiterer Aspekt darf auch nicht in Vergessenheit geraten. Indonesien ist ein tropisches Land und es kann zu sehr hohen Temperaturen kommen. Dementsprechend sollten sowohl die Wiederaufbautypen als auch die neu errichteten Schulen an die klimatischen Aspekte angepasst werden. Wie bei dem Beispiel der Block Schule analysiert erzeugen eingezogene, abgehängte Dächer eine enorme Hitze in einem Raum und lassen keine natürliche Belüftung zu.

Daher wird die Verwendung von Klimaanlage und Ventilatoren immer mehr präsent. Auch der Einsatz von Wellenblechdächer, die bei vielen Wiederaufbautypen eingesetzt werden, weisen einige Nachteile auf. Sie heizen sich unter der Sonne stark auf und reflektieren die Hitze, was zu unangenehm heißen Innenräumen führen kann. Im Gegensatz dazu hatten die ursprünglich häufig verwendeten Ziegeldächer eine bessere Fähigkeit, die Hitze zu absorbieren und die Wärmestrahlung zu begrenzen. Um den klimatischen Bedingungen in Indonesien besser gerecht zu werden, ist es ratsam, die Dachhöhe zu erhöhen. Durch höhere Dächer kann eine zusätzliche Pufferzone geschaffen werden. Diese erhöhte Dachstruktur ermöglicht auch eine natürliche Belüftung, da warme Luft nach oben steigt und durch zum Beispiel Lüftungsöffnungen oder -spalten entweichen kann. Dies trägt dazu bei, dass sich keine Hitze in einem niedrigen Raum ansammelt und sorgt für eine angenehmere Wohn- oder Arbeitsumgebung, die den klimatischen Bedingungen in Indonesien besser gerecht wird.

B. Verbesserungsvorschläge und Résumé

Durch die Analyse im Rahmen der Arbeit kann darauf geschlossen werden, dass die Strategie „Build Back Better“ nur zur Hälfte erfüllt wurde. Einen wichtigen Teil haben die standardisierten Wiederaufbautypen erreicht und das ist bei richtiger Umsetzung die bessere Erdbebensicherheit. Allerdings wurde die damit einhergehende, immer wieder durch verschiedene Seiten angesprochene Korruption verstärkt. Auch der Verzicht auf die Wahrung der singulären Identität und die Homogenität des Ortsbildes wurden unzureichend berücksichtigt. Ein wichtiger Teil der allgemeinen Vorsorge sollte das übermittelte Verständnis der Erdbebensicherheit gegenüber der ortansässigen Bevölkerung sein. Dafür gehört eine richtige Schulung der Fachkräfte und Arbeiter vor Ort. Weiters sind regelmäßige Kontrollen und Überprüfungen, auch nach einem Erdbeben, für weitere Bauwerke von höchster Priorität.

Die standardisierten Wohnungstypen stellen zweifellos einen Schritt in eine Richtung dar, die erdbebensicheres Bauen langfristig gewährleisten könnten, allerdings sind sie noch nicht vollständig durchdacht. Es ist von entscheidender Bedeutung, dass eine klare Richtlinie für den korrekten Bau von erdbebensicheren Strukturen für alle verfügbar ist. Dies schließt die ordnungsgemäße Konstruktion von Tragwerken unter Verwendung verschiedener Materialien und das Wissen über den angemessenen Umgang mit diesen Materialien ein. Darüber hinaus sollten bei diesen schnell aufbaubaren Lösungen Anpassungen und Erweiterungsmöglichkeiten von vornherein berücksichtigt werden. Das beinhaltet neben ästhetischen Veränderungen wie die Mitentscheidung des Verputzes oder einem farblichen Anstrich auch planerische Überlegungen. Zum Beispiel die Berücksichtigung von ausreichendem Platz zwischen den Gebäuden um zukünftige Modifikationen zu ermöglichen.

Es ist von entscheidender Bedeutung beispielhafte genaue Anleitungen bereitzustellen, die den Menschen zeigen, wie sie solche Erweiterungen selbstständig und fachgerecht durchführen können. Jeder sollte Zugang zu diesen Lösungen haben, damit sie von örtlichen Baufirmen umgesetzt werden können. Nicht nur als einen Wiederaufbautyp, sondern bereits für zukünftige neue Bauwerke.

Insgesamt zeigen diese Aspekte, dass der Wiederaufbau nach einer Naturkatastrophe ein komplexer Prozess ist, der sorgfältige Planung, Umsetzung und stetige Überarbeitung erfordert. Die Analyse dieser Faktoren ermöglicht es, Lehren aus vergangenen Ereignissen zu ziehen im Sinne des „Disaster management cycle“ und bessere Strategien für den zukünftigen Umgang mit ähnlichen Situationen zu entwickeln.

VI. BIBLIOGRAPHIE

BÜCHER

Bachmann, H. (2002) *Erdbebensicherung von Bauwerken*. 2. Überarbeitete Auflage, Basel: Birkhäuser

Bangash, M.Y.H. (2011) *Earthquake Resistant Buildings, Dynamic Analyses, Numerical Computations, Codified Methods, Case Studies and Examples*. Berlin: Springer Science & Business Media

Bureaux, B.G., Franzetti, F. and KBM (2000) *Guide de construction parasismique Leitfaden für erdbebensicheres Bauen*. Schweiz: Crealp Sion.

Blaß, H.J. and Fellmoser, P. (2007) *Schadensanalyse von Bauwerken in Indonesien nach einem Erdbeben*. Karlsruhe: Universitätsverlag Karlsruhe. (Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau)., doi.org/10.5445/KSP/1000005412

Rieger-Jandl, A. (2008) *Architektur und Identität. Die neue Suche nach dem Eigenen, Eine kulturvergleichende Analyse: Samoa-Ladakh-Bali*. Wien: IVA -Verlag

Ossing, F. (2012). Fakten, Fakes and Figures, in: Dernbach, B., Kleinert, C., Münder, H. (Hg.) *Handbuch Wissenschaftskommunikation*. VS Verlag für Sozialwissenschaften: Wiesbaden, 319-328.

Schulze, F. (2015) *Kleine Geschichte Indonesiens, von den Inselkönigreichen zum modernen Großstaat*. München: C.H.Beck. <http://www.jstor.org/stable/j.ctv1168r8s>

Souch, C. (2017) „Der Einfluss des Klimas auf Gebäudegestaltung und Baumaterial“, in: Piesik S. (Hg.), *Habitat, traditionelle Bauweise für den globalen Wandel*, München: Detail Business GmbH.

Petschenig, P. (2023) *Build Back Better (?) eine Evaluierung des Disaster Management Cycle in Indonesien*. Diplomarbeit, Wien: Technische Universität Wien

ARTIKEL

Asmirza, M.S. (2020) „Analysis of school damage due to Lombok earthquake on August 2018.“, in: *E3S Web of Conferences*. 156th edn.

Barkhausen (2021) „drei Jahre nach dem tödlichen Beben: eine erdbebensichere Schule aus Plastik für Lombok“, unter: <https://www.rnd.de/panorama/drei-jahre-nach-toedlichem-beben-eine-erdbebensichere-schule-aus-plastik-fuer-lombok-WMURPDAUF5GRHPAZKBWSJM5OKU.html> [abgerufen am 02.05.2023].

Ilham A., Lestiana, Mukti, M., Handayani, L., Grandis, H., Warsa, Sumintadireja, P. (2021) „Garsela Fault and other NE-SW active faults along the southern part of Java Island“, in: *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*

Japan International Cooperation Agency (JICA) (2011), „Key Requirement for Safe School Construction“, in: *National Disaster Management Agency, The Republic of Indonesia; compiled by: Yachiyo Engineering CO., LTD & Oyo International Cooperation*, unter: <https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/12037297.pdf> [abgerufen am 12.08.2023]

Jurizat, A., Pratiwi S. N., Ramadahn T. (2014) „Innovation Earthquake Resistant Construction Design for School Buildings Based On Local Wisdom of Traditional Architecture of West Java“.

Lines, R., Walker, J.F. and Yore, R. (2022) „Progression through emergency and temporary shelter, transitional housing and permanent housing: A longitudinal case study from the 2018 Lombok earthquake, Indonesia“, in: *International Journal of Disaster Risk Reduction*

Lübben, C. (1995). Internationaler Tourismus als Faktor der Regionalentwicklung in Indonesien

Paci-Green, R., Pandey, B., Theberge, J., (2015) „Towards Safer School Construction, a community-based approach“, in: *global Alliance for Disaster Risk Reduction & Resilience in the Education Sector*, unter: <https://resourcecentre.savethechildren.net/document/towards-safer-school-construction-community-based-approach/> [abgerufen am 28.09.2023]

Pambudi, N. A. (2018). „Geothermal power generation in Indonesia, a country within the ring of fire: Current status, future development and policy“, in: *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 2893-2901.

Pribadi, K. S., Pradoto, R. G., Hanafi, E. A., & Rasmawan, I. M. A. B. (2020). Lombok earthquake, one year later: housing sector recovery, in: *E3S Web of Conferences*

Rumambi, F.J. (2023) „governance in emergency infrastructure development after the earthquake and tsunami disaster in north lombok regency“, in: *Journal of Syntax Literate*

Saraswati, T. (2007) Kontroversi Rumah Dome di Nglepen, Prambanan, DI Yogyakarta, in: *DIMENSI (Journal of Architecture and Built Environment)*, 35(2), 136-142.

Saputra, A. (2019) „Best practice; post disaster response “, unter: www.ugm.ac.id [abgerufen am 28.08.2023]

Sunarti, E., Gunawan, E., Widiyantoro, S., Marliyani, G. I., & Ida, R. (2021). Critical point on housing construction, resilience and family subjective welfare after disaster: Notes from the Lombok, Indonesia, earthquake sequence of July-August 2018. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 12(1), 922-938. DOI: 10.1080/19475705.2021.1910576

Susanthi, Y., Meisandy, R. R., & Nisa, A. (2021). Earthquake Mitigation Based on Local Wisdom: The Vernacular Architecture Concept of Dasan Beleg Traditional House in North Lombok-Indonesia, in: *GeoEco*.

Wahyudi, D.S., Antarksa and Utami, S. (2022) „Cosmology of the Sasak House (Bale Tani) Limbungan Hamlet, East Lombok Regency, West Nusa Tenggara“, in: *American Journal of Science and Engineering Research*.

Yang, X., Singh, S.C. and Tripathi, A. (2020) „Did the Flores backarc thrust rupture offshore during the 2018 Lombok earthquake sequence in Indonesia?“, in: *geophysical Journal International*, (221 (2)), pp. 758–768.

INTERNETQUELLEN

www.auswaertiges-amt.de/de/service/laender/indonesien-node/innenpolitik/212438/
[abgerufen am: 03.07.2023]

www.baustoffwissen.de/baustoffe/baustoffknowhow/bauphysik/erdbebensicheres-bauen-definition-grundriss-baustoffe-steifigkeit-seismische-isolierung
[abgerufen am: 08.08.2023]

www.bgr.bund.de/EN/Themen/Seismologie/Seismologie/Erdbebenauswertung_en/Besondere_Ereignisse/Ausgewaehlte_Ereignisse/java/java_inhalt.html
[abgerufen am: 20.08.2023]

www.bgr.bund.de/DE/Themen/Erdbeben-Gefaehrdungsanalysen/Aktuelles/2018-08-15_erdbeben_lombok.html
[abgerufen am: 10.08.2023]

www.block-solutions.com
[abgerufen am: 30.09.2023]

www.citypopulation.de/de/indonesia/nusatenggarabarot/admin/lombok_utara/5208010__pemenang/
[abgerufen am: 23.09.2023]

<https://classroomofhope.org/>
[abgerufen am: 30.09.2023]

www.dftw.org/indonesia
[abgerufen am: 28.08.2023]

www.eskp.de/naturgefahren/forschungsthema-naturgefahren-in-indonesien-935728/
[abgerufen am: 20.07.2023]

www.britannica.com/place/Mataram-Indonesia
[abgerufen am: 20.07.2023]

www.britannica.com/place/Indonesia
[abgerufen am: 20.07.2023]

www.its.ac.id/news/en/2020/06/06/bamboo-school-its-implementation-to-rebuild-lombok/
[abgerufen am: 30.09.2023]

www.ncei.noaa.gov
[abgerufen am: 21.07.2023]

<https://education.nationalgeographic.org/resource/koppen-climate-classification-system>
[abgerufen am: 19.07.2023]

www.rumahrisha.id
[abgerufen am: 08.09.2023]

<https://de.statista.com/themen/1329/indonesien/>
[abgerufen am: 03.07.2023]

www.ibk.uni-stuttgart.de/ibk/projekte/20W_S_BEI/
[abgerufen am: 30.09.2023]

<https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us1000g3ub/impact>
[abgerufen am: 11.08.2023]

www.vivagroup.co.id/about-us/corporate-social-responsibility/tvone/
[abgerufen am: 28.09.2023]

INTERVIEWS

BEWOHNER AUS REMPEK: Hausbesitzer in einem kleinen Dorf, Nähe Rempek, Lombok
Interview: in seinem Haus am 10.05.2023

BEWOHNER*INNEN AUS SESAIT: Hausbesitzer und Hausbesitzerin in einem kleinen Dorf, Nähe Sesait Lombok
Interview: bei ihren Häusern am 11.05.2023

BEWOHNER*INNEN: hier handelt es sich um verschiedene Gespräche von Bewohnern*innen im Norden von Lombok
Interview: Pemenang, Lombok zwischen dem Zeitraum von 01.05.2023 – 20.05.2023

CONROY Rachel: Programm Managerin von der Organisation Classroom of Hope
Interview: E-Mail am 01.05.2023

GUIDE: arbeitet als Guide für die Besichtigung des Village Ende, wohnt auch selbst in dem traditionellen Dorf
Interview: Village Ende, Süden Lombok am 26.05.2023

Ir. IKAPUTRA, M.Eng., Ph.D.: Professor an der Gadjah Mada Universität auf der Faculty of Engineering, Yogyakarta Java
Interview: UGM am 26.03.2023

Ir. Ashar SAPUTRA, S.T., M.T., Ph.D.,IPM.,ASEAN.Eng.: Professor an der Gadjah Mada Universität auf der Faculty of Engineering, Yogyakarta Java
Interview: UGM am 29.03.2023

LEHRERIN der Schule SD Terpadu Hirjah: Sie unterrichtet in der neuen wiederaufgebauten Schule, „Bamboo school“, in Rempek
Interview: vor der Schule am 07.05.2023

PURNOMO Agus H.: Mitarbeiter von BPBD, Analyst für hazard maps
Interview: In einem Cafe in Pemenang Lombok am 10.05.2023

SURITNAM: Bewohner eines Domes bei Yogyakarta, Java
Interview: in seinem Dome am 27.03.2023

ZULFANDIRAKE: Hausbesitzer in einem kleinen Viertel bei Pemenang, Lombok
Interview: in seinem Haus am 09.05.2023

ABKÜRZUNGSLISTE

BNPB	nationale Agentur für Katastrophenmanagement
BPBD	regionale Agentur für Katastrophenmanagement
IST	Insitut Teknologi Sepuluh Nopember, Universität in Surabaya, Ostjava
NTB	Nusa Tenggara Barat (West Nusa Tenggara)
NTB - University	Universität Mataram, in der Hauptstadt Mataram auf Lombok
Pokmas	indonesisch: Gruppe
PUPR	Ministry of Public Works and Housing
Rumah	indonesisch: Haus
RISBA	Instant steel frame house (rumah instan structur baya)
RISHA	symple health instant house (rumah instan sederhana sehat)
RIKA	rumah wooden instant house (rumah instan kayu)
RIKO	rumah instant conventional (rumah instan konvensional)
UGM	Gadjah Mada Universität in Yogyakarta, Java
VOC	niederländische Ostindien-Kompanie, am 20. März 1602 schlossen sich niederländische Kaufmannskompanien zur Gründung der Ostindien-Kompanie zusammen, mit dem Ziel, die Konkurrenz untereinander zu beseitigen.

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Titelblatt	© Philipp Petschenig
Abbildung 1:	Grafik bearbeitet von Philipp Petschenig Datenquelle: https://freevectormaps.com/search?q=Indonesia&ref=search-home
Abbildung 2:	Grafik bearbeitet von Philipp Petschenig Datenquelle: http://www.jstor.org/stable/j.ctv1168r8sSchulze
Abbildung 3:	Grafik bearbeitet von Philipp Petschenig Datenquelle: https://de.wikipedia.org/wiki/Indonesien
Abbildung 4:	Schulze, F. (2015) <i>Kleine Geschichte Indonesiens, von den Inselkönigreichen zum modernen Großstaat</i> . München: C.H.Beck; S.15 Datenquelle: http://www.jstor.org/stable/j.ctv1168r8sSchulze
Abbildung 5:	Grafik bearbeitet von Philipp Petschenig Datenquelle: https://en.wikipedia.org/wiki/Religion_in_Indonesia
Abbildung 6:	Grafik bearbeitet von Julia Weißenbäck Datenquelle: https://www.eskp.de/naturgefahren/forschungsthema-naturgefahren-in-indonesien-935728/
Abbildung 7:	Grafik bearbeitet von Philipp Petschenig Datenquelle: https://freevectormaps.com/search?q=Indonesia&ref=search-home
Abbildung 8:	Grafik bearbeitet von Philipp Petschenig Datenquelle: https://freevectormaps.com/search?q=Indonesia&ref=search-home
Abbildung 9:	© Philipp Petschenig
Abbildung 10:	Grafik bearbeitet von Philipp Petschenig Datenquelle: https://maps-for-free.com/
Abbildung 11:	Grafik bearbeitet von Julia Weißenbäck Datenquelle: https://www.openstreetmap.org/#map=5/-3.270/117.159
Abbildung 12:	Grafik bearbeitet von Julia Weißenbäck Datenquelle: https://freevectormaps.com/search?q=Indonesia&ref=search-home
Abbildung 13:	Datenquelle: https://skybrary.aero/articles/tropical-savanna-climate-aw
Abbildung 14:	Beck, H.E., Zimmermann, N. E., McVicar, T. R., Vergopolan, N., Berg, A., & Wood, Datenquelle: DOI: 10.1038/sdata.2018.214.
Abbildung 15:	© Philipp Petschenig
Abbildung 16:	Grafik von Julia Weißenbäck, Datenquelle: https://de.climate-data.org/asien/indonesien/
Abbildung 17:	Grafik von Julia Weißenbäck, Datenquelle: https://de.climate-data.org/asien/indonesien/
Abbildung 18:	© Philipp Petschenig
Abbildung 19:	© Philipp Petschenig
Abbildung 20:	Grafik von Julia Weißenbäck, Datenquelle: https://de.climate-data.org/asien/indonesien/
Abbildung 21:	Grafik gezeichnet von Julia Weißenbäck, Datenquelle: https://de.climate-data.org/asien/indonesien/
Abbildung 22:	© Philipp Petschenig
Abbildung 23:	Maxime Aubert Datenquelle: https://www.nationalgeographic.de/tiere/2021/01/45500-jahre-altes-schwein-ist-die-aelteste-figurenmalerei-der-welt
Abbildung 24:	Schulze, F. (2015) <i>Kleine Geschichte Indonesiens, von den Inselkönigreichen zum modernen Großstaat</i> . München: C.H.Beck; S.30 Datenquelle: http://www.jstor.org/stable/j.ctv1168r8sSchulze

- Abbildung 25:** Andrea Schieber
Datenquelle: <https://www.worldhistory.org/>
- Abbildung 26:** Schulze, F. (2015) *Kleine Geschichte Indonesiens, von den Inselkönigreichen zum modernen Großstaat*. München: C.H.Beck; S.35
Datenquelle: <http://www.jstor.org/stable/j.ctv1168r8sSchulze>
- Abbildung 27:** © Philipp Petschenig
- Abbildung 28:** Datenquelle: <https://www.invaluable.com/artist/huquier-gabriel-975z7q3n6l/sold-auction-prices/>
- Abbildung 29:** Datenquelle: <http://hdl.handle.net/1887.1/item:782159>
- Abbildung 30:** Datenquelle: <https://www.presidenri.go.id/presiden-joko-widodo/>
- Abbildung 31:** Grafik bearbeitet von Julia Weißenböck
Bachmann, H. (2002) *Erdbebensicherung von Bauwerken*. 2. Überarbeitete Auflage, Basel: Birkhäuser; S.19
- Abbildung 32:** Datenquelle: exm2008PracticeSC10SampleA_Media9_1.gif
- Abbildung 33:** Grafik bearbeitet von Philipp Petschenig
Datenquelle: <https://www.eskp.de/grundlagen/naturgefahren/plattentektonik-und-vulkanismus-935407/>
- Abbildung 34:** Datenquelle: Bachmann, H. (2002) *Erdbebensicherung von Bauwerken*. . 2. Überarbeitete Auflage, Basel: Birkhäuser; S.18
- Abbildung 35:** Datenquelle: Bachmann, H. (2002) *Erdbebensicherung von Bauwerken*. . 2. Überarbeitete Auflage, Basel: Birkhäuser; S.11
- Abbildung 36:** Datenquelle: Bachmann, H. (2002) *Erdbebensicherung von Bauwerken*. 2. Überarbeitete Auflage, Basel: Birkhäuser; S.14
- Abbildung 37:** Datenquelle: Bachmann, H. (2002) *Erdbebensicherung von Bauwerken*. 2. Überarbeitete Auflage, Basel: Birkhäuser; S.15
- Abbildung 38:** Grafik bearbeitet von Julia Weißenböck
Datenquelle: (eosclassroom.com)
- Abbildung 39:** Datenquelle: doi:10.1088/1755-1315/789/1/012065
- Abbildung 40:** Datenquelle: <https://www.google.com/intl/de/earth/about/>
- Abbildung 41:** Blaß, H.J. and Fellmoser, P. (2007) *Schadensanalyse von Bauwerken in Indonesien nach einem Erdbeben*. Karlsruhe: Universitätsverlag Karlsruhe. (Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau), S. 42
Datenquelle: doi.org/10.5445/KSP/1000005412
- Abbildung 42:** Datenquelle: Bachmann, H. (2002) *Erdbebensicherung von Bauwerken*. 2. Überarbeitete Auflage, Basel: Birkhäuser; S.92
- Abbildung 43:** Datenquelle: Bachmann, H. (2002) *Erdbebensicherung von Bauwerken*. 2. Überarbeitete Auflage, Basel: Birkhäuser; S.62
- Abbildung 44:** Bureaux, B.G., Franzetti, F. and KBM (2000); S.37
- Abbildung 45:** Bureaux, B.G., Franzetti, F. and KBM (2000); S.39
- Abbildung 46:** © Philipp Petschenig
- Abbildung 47:** Grafik von Julia Weißenböck
Datenquelle: DOI: 10.1080/19475705.2021.1910576
- Abbildung 48:** Grafik von Julia Weißenböck
Datenquelle: DOI: 10.1080/19475705.2021.1910576
- Abbildung 49:** Grafik von Julia Weißenböck
Datenquelle: Saputra, A. (2019) „Best practice; post disaster response “, unter: www.ugm.ac.id

- Abbildung 50:** Grafik von Julia Weißenböck
Datenquelle: Saputra, A. (2019) „Best practice; post disaster response“, unter: www.ugm.ac.id
- Abbildung 51:** Grafik von Julia Weißenböck
Datenquelle: Saputra, A. (2019) „Best practice; post disaster response“, unter: www.ugm.ac.id
- Abbildung 52-54** © Philipp Petschenig
- Abbildung 55:** Datenquelle: <https://www.propertinews.id/artikel-properti/dome-house-rumah-unik-di-sleman-yogyakarta-yang-tahan-gempa>
- Abbildung 56:** © Philipp Petschenig
- Abbildung 57:** Grafik von Julia Weißenböck
- Abbildung 58:** Grafik von Julia Weißenböck
- Abbildung 59:** Grafik von Julia Weißenböck
- Abbildung 60-62** © Philipp Petschenig
- Abbildung 63-64** © Julia Weißenböck
- Abbildung 65:** Grafik von Julia Weißenböck
Datenquelle: DOI:10.9744/DIMENSI.36.1.PP.
- Abbildung 66:** Grafik t von Julia Weißenböck
Datenquelle: DOI:10.9744/DIMENSI.36.1.PP.
- Abbildung 67:** Grafik von Julia Weißenböck
- Abbildung 68-81** © Philipp Petschenig
- Abbildung 82:** Grafik bearbeitet von Julia Weißenböck
Datenquelle:
<https://geoscienceletters.springeropen.com/articles/10.1186/s40562-022-00258-3>
- Abbildung 83:** Grafik bearbeitet von Julia Weißenböck
Datenquelle:
<https://geoscienceletters.springeropen.com/articles/10.1186/s40562-022-00258-3>
- Abbildung 84:** Grafik von Julia Weißenböck
Datenquelle: <https://doi.org/10.1016/j.pdisas.2019.100046>
- Abbildung 85:** Grafik von Julia Weißenböck
Datenquelle: <https://www.rumahrisha.id/order-rumah-risha/>
- Abbildung 86:** Grafik von Julia Weißenböck
Datenquelle: <https://www.rumahrisha.id/order-rumah-risha/>
- Abbildung 87:** Grafik von Julia Weißenböck
Datenquelle: <https://www.rumahrisha.id/order-rumah-risha/>
- Abbildung 88:** Grafik von Julia Weißenböck
- Abbildung 89:** Grafik von Julia Weißenböck
- Abbildung 90:** Grafik von Julia Weißenböck
Datenquelle: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202015601012>
- Abbildung 91-96** © Philipp Petschenig
- Abbildung 97:** Grafik bearbeitet von Julia Weißenböck
Datenquelle: <https://www.openstreetmap.org/#map=5/-3.270/117.159>
- Abbildung 98:** Grafik bearbeitet von Julia Weißenböck
Datenquelle: <https://www.openstreetmap.org/#map=5/-3.270/117.159>
- Abbildung 99:** Grafik von Julia Weißenböck
- Abbildung 100-105** © Philipp Petschenig

- Abbildung 106:** Grafik von Julia Weißenböck
Abbildung 107-113: © Philipp Petschenig
Abbildung 114: Grafik von Julia Weißenböck
Abbildung 115-118: © Philipp Petschenig
Abbildung 119: Grafik von Julia Weißenböck
Abbildung 121-123: © Philipp Petschenig
Abbildung 124: Grafik von Julia Weißenböck
Abbildung 125-135: © Philipp Petschenig
Abbildung 136: Grafik bearbeitet von Julia Weißenböck
Datenquelle: <https://freevectormaps.com/search?q=Indonesia&ref=search-home>
Abbildung 137-139: © Philipp Petschenig
Abbildung 140: Grafik bearbeitet von Julia Weißenböck
Datenquelle: <https://freevectormaps.com/search?q=Indonesia&ref=search-home>
Abbildung 141: Grafik bearbeitet von Julia Weißenböck
Datenquelle: <https://freevectormaps.com/search?q=Indonesia&ref=search-home>
Abbildung 142-153: © Philipp Petschenig
Abbildung 154: Grafik von Julia Weißenböck
Abbildung 155: Saputra, A. (2019) „Best practice; post disaster response “,
unter: www.ugm.ac.id
Abbildung 156-159: © Philipp Petschenig
Abbildung 160: Grafik von Julia Weißenböck
Datenquelle: <https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/12037297.pdf>
Abbildung 161: © Philipp Petschenig
Abbildung 162: Grafik von Julia Weißenböck
Abbildung 163-169: © Philipp Petschenig
Abbildung 170: https://www.ibk.uni-stuttgart.de/ibk/projekte/20W_S_BEI/
Abbildung 171-179: © Philipp Petschenig
Abbildung 180: Grafik gezeichnet von Julia Weißenböck

