



universität
wien

DIPLOMARBEIT / DIPLOMA THESIS

Titel der Diplomarbeit / Title of the Diploma Thesis

„Die Zerstörungsmuster und der Wiederaufbau urbaner Zentren nach Erdbeben – Vergleich zweier ausgewählter sozialräumlich unterschiedlicher Städte.“

verfasst von / submitted by

David Frühwirth

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Magister der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.)

Wien, 2020 / Vienna, 2020

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it appears on
the student record sheet:

A 190 482 456

Studienrichtung lt. Studienblatt /
degree programme as it appears on
the student record sheet:

Lehramtsstudium UF Bewegung und Sport / UF
Geographie und Wirtschaftskunde

Betreut von / Supervisor:

Mag. Dr. Martin Mergili

Danksagung:

An dieser Stelle möchte ich mich bei meinem Betreuer Dr. Martin Mergili bedanken. Vor allem für die raschen Antworten bei Fragen und den guten Inputs, welche mir beim Verfassen meiner Diplomarbeit sehr geholfen haben.

Ebenso will ich einen großen Dank an meine Eltern Susanne und Hannes aussprechen, die mich für die doch recht lange Zeit meines Studiums finanziell, aber auch seelisch unterstützt haben. Ohne ihre Hilfe, wäre ein Abschluss an der Universität Wien denkbar schwieriger gewesen. Auf die Unterstützung meiner Freundin Tatia konnte ich insbesondere bei den letzten Prüfungen zählen. Sie stand mir mit Rat und Tat zur Seite und half mir auch in schwierigen Situationen vor allem in der stressigen Zeit zum Studiumsende.

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich,

- dass ich die vorliegende Diplomarbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubter Hilfe bedient habe,
- dass ich dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im In- noch im Ausland in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe
- und dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit vollständig übereinstimmt.

Wien, am 13.03.2020

Inhaltsverzeichnis

I. Zusammenfassung	5
II. Abbildungs- und Diagrammverzeichnis	6
1. Einleitung	9
1.1. Problemstellung	11
1.2. Zielsetzung	12
1.3. Forschungsfragen und Hypothesen	13
1.4. Methode	14
2. Entstehung tektonischer Erdbeben	15
2.1. Die Scherbruch-Hypothese	17
2.2. Seismische Wellen	18
2.3. Seismographen	20
3. Intensitäten und Intensitätsskalen von Erdbeben	22
3.1. Magnitude	22
3.2. Intensität	24
4. Revitalisierung von Erdbeben zerstörter Gebiete	27
5. Zerstörungsmuster in der Provinz L'Aquila	30
5.1. Tektonische Gegebenheiten im zentralen Mittelmeerraum	30
5.2. Erdbeben in L'Aquila am 6. April 2009	30
5.3. Gebäudestruktur und Zerstörungsmuster in der Provinz L'Aquila	32
5.3.1. Gebäudestruktur und Zerstörungsmuster in Poggio Picenze	33
5.3.2. Gebäudestruktur und Zerstörungsmuster in Castelvechio Subequo	34
5.3.3. Gebäudestruktur und Zerstörungsmuster im Stadtzentrum	37
6. Wiederaufbau der Stadt nach dem Erdbeben in L'Aquila	42
6.1. Probleme beim Wiederaufbau nach dem Erdbeben in L'Aquila	45
6.2. Wohnprojekte nach der Zerstörung in L'Aquila	49
7. Zerstörungsmuster in der Stadt Christchurch	53
7.1. Tektonische Gegebenheiten in Neuseeland	53
7.2. Erdbeben in Christchurch am 22. Februar 2011	55
7.3. Bodenverflüssigung als zusätzlicher Zerstörungsfaktor in Christchurch	56
7.4. Gebäudestrukturen und Zerstörungsmuster in Christchurch	58
8. Koordination der Behörden und Organisationen in Christchurch	66
9. Wiederaufbau nach dem Erdbeben in Christchurch	68
10. Vergleichende Betrachtung	76

11. Diskussion	81
12. Schlussfolgerung	84
13. Literaturverzeichnis	87

I. Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit werden zwei ausgewählte sozialräumlich unterschiedliche Städte analysiert und miteinander verglichen. Dabei handelt es sich um die italienische Stadt L'Aquila und die neuseeländische Stadt Christchurch. Beide Städte wurden von zwei starken Erdbeben heimgesucht, welche für massive Zerstörungen verantwortlich waren. Zusätzlich forderten beiden Beben etliche Todesopfer. Nun gilt es zu klären, wie sich beide Städte anhand ihrer Zerstörungsmuster voneinander unterscheiden bzw. ob Gemeinsamkeiten gefunden werden können. Außerdem wird in dieser Diplomarbeit der Aspekt des Wiederaufbaus beider Städte erläutert und wiederum versucht daraus Unterschiede bzw. Gemeinsamkeiten abzuleiten. Bevor mit der genauen Analyse zur Beantwortung der beiden Forschungsfragen begonnen werden kann, gilt es einige Aspekte, welche im Zusammenhang mit Erdbeben stehen, zu klären. Darunter fällt beispielsweise die Funktion eines Seismographen aber auch die Definition von Seismischen Wellen oder der Scherbruch-Hypothese. Unabdingbar ist ebenso die Erläuterung der Intensitäten und Intensitätsskalen.

II. Abbildungs- und Diagrammverzeichnis

Abb. 1. Scherbruch Hypothese zur Entstehung eines Erdbebens (Quelle: GOTZINGER J. und

JORDAN T. 2017: o.A.)

<https://t1p.de/4n2i> (15.11.2019)

Abb. 2. Elastic rebound hypothesis nach Reid (1910) (Quelle: ZOBACK 2006: 7)

Abb. 3. Raumwellen (Quelle: SEISMIK-AG 2007: 2)

http://seismic.mgm-monschau.de/german/artikel/artikel_2b.php (15.11.2019)

Abb. 4. Modell Seismograph (Quelle: SMS TSUNAMI WARNING 2018: o.A.)

[https://www.sms-tsunami-warning.com/pages/seismology-](https://www.sms-tsunami-warning.com/pages/seismology-measurement#.XdMRtCOlxQJ)

[measurement#.XdMRtCOlxQJ](https://www.sms-tsunami-warning.com/pages/seismology-measurement#.XdMRtCOlxQJ) (18.11.2019)

Abb. 5. Europäische Makroseismische Skala -1992 (Quelle: GRÜNTAL 1998: 765)

Abb. 6. Temporäres Einkaufszentrum Re-START

(Quelle: <https://www.mergili.at/worldimages/picture.php?/7982/category/62>)

Abb. 7. Epizentren des Erdbebens seit 1. Dezember 2009 in L'Aquila (Quelle: CIMELLARO et al.

2010: 6)

Abb. 8. Castelvecchio Subequo (Quelle: FLICKR HOMEPAGE)

<https://www.flickr.com/photos/borghiaautenticiditalia/8076851814> (19.12.2019)

Abb. 9. Zerstörungsmuster des Erdbebens in L'Aquila (Quelle: FORMISANO et al. 2010: 5)

Abb. 10. Lokale Schwachstellen sowie Querrisse in den Gewölben (Quelle: FORMISANO et al.

2010: 5)

Abb. 11. Typische Hohlziegel aus Ton, die in Füllwänden verwendet werden (Quelle: vgl.

KAPLAN et al. 2010: 504)

Abb. 12a. Zuschlagstoff für Beton ohne Korngrößenverteilung

Abb. 12b. Scherbruch an Balken-Säulen Verbindungen

Abb. 12c. Scherbruch der Stützsäule (Quelle: vgl. KAPLAN et al. 2010: 504)

Abb. 13a. Richtige Anordnung des Mauerwerks

Abb. 13b. Falsche Anordnung des Mauerwerks (Quelle: KAPLAN et al. 2010: 505)

Abb. 14. Schlecht verbundene Querwände – Zerstörung außerhalb der Ebene (Quelle: KAPLAN et al. 2010: 506)

Abb. 15. Schäden durch die Verbindung von sich kreuzenden Wänden (Quelle: KAPLAN et al. 2010: 506)

Abb. 16. Schäden an sich kreuzenden Wänden (Quelle: KAPLAN et al. 2010: 506)

Abb. 17. Ergebnisse des Bewertungsprozesses von Experten (Quelle: CONTRERAS et al. 2018: 457)

Abb. 18a. Piazza del Duomo mit Zaun und gestützten Gebäuden

Abb. 18b. Piazza del Duomo ohne Zaun und gestützten Säulen (Quelle: CONTRERAS et al. 2014: 131)

Abb. 19a. Keine Pflanzen vor der Baustelle in der Straße Vittorio Emanuele

Abb. 19b. Pflanzen vor der Baustelle in der Straße Vittorio Emanuele (Quelle: CONTRERAS et al. 2014: 131)

Abb. 20a. Bar-Caffetteria-Gelateria Fratelli Nurzia (2010)

Abb. 20b. Bar-Caffetteria-Gelateria Fratelli Nurzia (2012) (Quelle: Quelle: CONTRERAS et al. 2014: 131)

Abb. 21. Santa Maria de Collemaggio im Jahr 2010 im Vergleich zum Jahr 2012 (Quelle: CONTRERAS et al. 2014: 132)

Abb. 22. Studierendenwohnheim im Vergleich zwischen 2010 und 2012 (Quelle: CONTRERAS et al. 2014: 132)

Abb. 23. Porta Napoli im Vergleich zwischen 2010 und 2012 (Quelle: CONTRERAS et al. 2014: 132)

Abb. 24. CASE-Projekt (Quelle: SYPRI HOMEPAGE)

<http://www.sypri.com/works/c-a-s-e-project--l-aquila-559.html> (18.12.2019)

Abb. 25. Blattverschiebung rechts- und linkssinnig (Quelle: BURG 2010: 160)

Abb. 26. Das M_w 6.2 Erdbeben in Christchurch (roter Stern) im Kontext zum Darfield Hauptbeben (grüner Stern) und dem Nachbeben bis zum 4. September 2011.
(Quelle: Kaiser et al. 2012: 68)

Abb. 27. Bodenverflüssigung in der Stadt Christchurch (Quelle: KAISER et al. 2012: 82)

Abb. 28. Seitliche Ausbreitung entlang des Avon Flusses (Quelle: KAISER et al. 2012: 83)

Abb. 29. Differenzialbewegung eines mehrstöckigen Gebäudes auf flachen Fundamenten im CBD auf verflüssigtem Untergrund (Quelle: KAISER et al. 2012: 84)

Abb. 30. Einsturz eines Parkhauses (Quelle: KAISER et al. 2012: 87)

Abb. 31. Zerstörung durch zu nahestehende Gebäude (Quelle: KAISER et al. 2012: 87)

Abb. 32. Ältere Stahlbetonrahmenstütze mit deutlichen Anzeichen eines bevorstehenden Querkraftversagens (Quelle: Zahn 2011: 840)

Abb. 33. Entwurf einer Wiederherstellungsstrategie für den Großraum Christchurch, CERA September 2011 (Quelle: Platt 2012: 22)

Abb. 34. „Share an Idea“ (Quelle: Christchurch City Council 2011)

<https://bestawards.co.nz/graphic/large-brand-identity/strategy-creative-1/Entry:1a2fd49f-4e5d-4c01-93d3-0089760474cf/> (12.02.2020)

Abb. 35. Katholische Kathedrale des Heiligen Sakramentes (Quelle: Platt 2012: 30)

Abb. 36. Vergleich zwischen der Christchurch Kathedrale am 08. März 2011 und eines historischen Gebäudes in L'Aquila am 18. März 2012. (Quelle: Platt 2012: 33)

Diagramm 1. Zustände der Gebäude in L'Aquila 2010-2016

1. Einleitung

Diese Diplomarbeit beschäftigt sich mit den Zerstörungsmustern von Erdbeben und dem Wiederaufbau urbaner Orte.

Wie allgemein bekannt ist, können Erdbeben verheerende Schäden anrichten und stellen daher eine sehr große Bedrohung für das Leben und die Besitztümer von Menschen dar. (vgl. PRESS et al. 2008: 331) *„Wir leben in Wohnhäusern, arbeiten in Bürogebäuden oder Fabriken und benutzen Transportsysteme, die auf einer aktiven Erdkruste ruhe, ein Umfeld, das gegenüber seismischen Bodenbewegungen und den dadurch verursachten Bodenverschiebungen, Erdbeben und Tsunamis extrem empfindlich ist“* (PRESS et al. 2008: 331). Es kann festgehalten werden, dass solche Zerstörungen von Erschütterungen im Erdinneren ausgelöst werden. (vgl. Rothe 2015: 9) Die Tiefe eines Erdbebens ist variabel, sie können wenige Kilometer unter der Erdoberfläche vorkommen aber auch in 50 km Tiefe ausgelöst werden. Ab ungefähr dieser Tiefe wird das Gestein aufgrund der wärmeren Temperatur zu weich, es sei denn die Beben treten in der sogenannten Subduktionszone, also in jener Zone an der eine Lithosphärenplatte unter eine andere geschoben wird, auf. Hier können Erdbeben bis zu einer Tiefe von 700 km auftreten. (vgl. ZAMG 2009: 10) Wird der Begriff des Erdbebens als Erschütterung im Erdinneren zusammengefasst, lässt sich dieser in drei Kategorien unterteilen, davon gehören 90% zu den Tektonischen Beben, 7% werden mit Vulkanismus in Zusammenhang gebracht und die restlichen 3% bilden unterirdische Hohlraumeinstürze, welche durch den Bergbau verursacht sein könnten. Erdbeben müssen nicht immer existenzbedrohende Folgen haben, manche verlaufen auch komplett unauffällig. Schätzungen zufolge ereignen sich jährlich etwa 100 000 Beben (hier ist leider kein Grenzwert der Magnitude angegeben), größtenteils in den Ozeanen und hier vorwiegend an Plattengrenzen und Kontinentalrändern. (vgl. ROTHE 2015: 9) Ein sehr wichtiger Aspekt ist, dass Erdbeben nicht leicht bzw. nur bedingt vorausgesagt werden können. In vielen erdbebengefährdeten Gebieten der Erde, wie z.B. Kalifornien und Japan sind die Strukturen, an denen Erdbeben stattfinden, deutlich komplizierter, als die Modelle, welche in der Theorie zur Plattentektonik Verwendung finden. Genau dieser Aspekt macht es auch noch in der Gegenwart schwierig Erdbeben zeitlich korrekt vorherzusagen. (vgl. PRESS et al. 2008: 331f) In der Geschichte der Menschheit gab es schon vielfach katastrophale Konsequenzen dieser Art von Naturereignis. Vor allem Städte haben mit den langfristigen Folgen zu kämpfen. Mit der Zerstörung von Städten geht natürlich der Wiederaufbau dieser einher. Dabei werde ich auf

zwei unterschiedliche sozialräumliche Gebiete, nämlich L’Aquila und Christchurch eingehen und den Wiederaufbau, sowie dessen Probleme und Chancen, erörtern.

„Der beste Schutz in Erdbebengebieten ist bislang die bauliche Anpassung“ (PRESS et al. 2008: 332). Um die Schäden durch Erdbeben klein zu halten, müssen geologische Kenntnisse genutzt werden, wo mit großer Wahrscheinlichkeit Erdbeben vorkommen. Dazu müssen Gebäude, Staudämme, Brücken und diverse andere Bauwerke so geplant und gebaut werden, dass den Erschütterungen bei starken Erdbeben standgehalten werden kann. (vgl. PRESS et al. 2008: 332)

Wie bereits erwähnt wird in dieser Diplomarbeit der Bezug zu zwei ausgewählten Gebieten hergestellt. Beginnend mit der Stadt L’Aquila in der Region Abruzzen. Am 6. April 2009 ereignete sich dort ein starkes Erdbeben, welches massive Schäden in der Stadt aber auch in den umliegenden Gebieten anrichtet. (vgl. CHIARABBA et al. 2009: 1) Ein Beispiel eines teuren beschädigten Gebäudes ist das San Salvatore Spital. Dieses wurde von 1972 – 2000 unter dem Aspekt spezieller seismischer Architektur erbaut. Trotz alledem musste das Spital einige Stunden nach dem Erdbeben geschlossen werden, da es zu Beschädigungen an verschiedenen Stockwerken und Betonsäulen kam. (vgl. CIMELLARO et al. 2010: 164f) Für die am Wiederaufbau Beteiligten war es wichtig, die Stadt so wiederaufzubauen, dass sie zu einem sichereren Ort als zuvor wird. Vor einem Wiederaufbau ist es wichtig, sich verfügbare Daten einzuholen und auch auf neue Technik zu vertrauen. Strukturelle Veränderungen sollten mit der dort lebenden Bevölkerung besprochen werden. Weiteres müssen Vorteile eines Wiederaufbaus, als auch mögliche physische Veränderungen geklärt werden. (vgl. ebd.: 229)

Als zweites Fallbeispiel dient das Erdbeben im Februar 2011 in Neuseeland als Beispiel, genauer gesagt in der Stadt Christchurch. Hier treffen einige Interessensgruppen aufeinander. Der Prozess der Wiederherstellung und des Wiederaufbaus ist immens komplex. Eine Reihe von Behörden und Organisationen sind an verschiedenen Aspekten der Wiederherstellung beteiligt. Die am Wiederaufbau beteiligten Organisationen lassen sich in zwei Gruppen einteilen, einerseits in „Regular Organizations“ (Christchurch City Council, Environment Canterbury, Land Information New Zealand, etc.) und andererseits in „Earthquake Related Organization“ (Ministry of Earthquake Recovery, Earthquake Commission, Local Authority Planning Group, etc.). (vgl. PLATT 2012: 21) Beim Wiederaufbau nach dem Erdbeben in Christchurch lag der Fokus auf dem Wiederaufbau des Central Business District. Dabei sollte dieses nicht gleich wie zuvor aufgebaut werden, sondern durch Ideen aus einem

Konsultationsprozess in Projekte zerlegt werden, um die Innenstadt zu verbessern. (vgl. ebd.: 26)

1.1. Problemstellung

Erdbeben kommen in verschiedenen Teilen der Erde vor, an manchen fallen diese leichter und an manchen stärker aus. Diese Tatsache machen Erdbeben so gefährlich und zwar, dass sie weltweit vorkommen können und die damit entstehende Kraft auf die Gebäude einwirkt und diese teilweise komplett zerstören. Neben diesem räumlichen Aspekt hat auch der zeitliche eine große Bedeutung.

Wie Press et al. (2008: 332) festhalten ist eine zuverlässige Voraussage von Erdbeben nicht möglich. Genau hier besteht das Problem des Sachverhalts. Es muss versucht werden genauere Systeme zu entwickeln, um auf die bevorstehende Gefahr hinweisen zu können.

Zurzeit bestehen nur Notfallmaßnahmen, welche gegenwärtig stattfindende Erdbeben vernehmen können. Ereignet sich ein Erdbeben, werden Informationen von einem großen Netzwerk von Seismographen automatisch an zentrale Stellen gesendet. Es werden nur einige Sekunden benötigt, um den Erdbebenherd aufzuspüren, die Magnitude zu bestimmen und den Herdvorgang zu rekonstruieren. (vgl. ebd.: 357) *„Wenn Erdbebenstationen mit so genannten Strong-Motion Sensoren ausgerüstet sind, das heißt mit besonderen Seismographen, die auch stärkste Bodenbewegungen exakt registrieren, können diese automatisch arbeitenden Systeme fast in Echtzeit genaue Karten liefern, wo die Bodenerschütterungen ausreichend stark waren, um erhebliche Schäden zu verursachen“* (PRESS et al. 2008: 357). Solche Informationen wären für Hilfskräfte von wertvoller Bedeutung, um so schnell wie möglich am Katastrophenort zu sein, damit gefährdete Menschen aus der Gefahrenzone rasch evakuiert bzw. versorgt werden können. Ein zusätzlicher positiver Effekt einer schnellen Ermittlung des Epizentrums ist, dass Massenmedien mögliche aufkommenden Panikreaktionen in der Bevölkerung vermeiden und Ängste vor eventuellen Nachbeben abbauen können. Nun wäre es bei Naturereignissen wie dem Erdbeben, welches massive Schäden anrichten kann, sehr hilfreich, wenn vor dem Eintreten der Erschütterungen auf eine bevorstehende Katastrophe hingewiesen werden könnte. Mithilfe der bereits erwähnten Technik wäre es möglich, innerhalb einiger zehntel Sekunden Warnungen vor Ankunft seismischer Aktivität zu vermerken. Ein solches Echtzeit-Warnsystem wäre theoretisch

möglich, da eine Ausbreitung von Radiowellen schneller erfolgt, als die Ausbreitung von seismischen Wellen. Die Vorwarnzeit ist zwar sehr kurz, jedoch reicht dies aus, um beispielsweise Schulkinder vor dem einstürzenden Schulgebäude zu retten, Versorgungsunternehmen, Elektrizität und Gas abzustellen, Krankenhäuser auf Notversorgung umzuschalten oder Atomreaktoren abzuschalten. (vgl. PRESS et al. 2008: 357) Ebenso vermerken dies auch Bahlburg und Breitzkreuz (2017: 389), dass es für eine sichere kurzfristige Vorhersage, im Zeitraum von Wochen, Tagen und Stunden noch keine Lösung vorhanden ist. Rothe (2015: 13) schreibt ebenfalls, dass trotz eindringlicher Forschung eine Vorhersage praktisch unmöglich ist, da zu viele Faktoren beteiligt sind. Nach dem Erdbeben in L'Aquila kam es zur Verurteilung von sieben italienischen Katastrophenexperten, da diese die Bevölkerung nicht ausreichend gewarnt hätten. Schlussendlich wurden alle zu mehreren Jahren Haft und zu Geldzahlungen in Millionenhöhe verurteilt, was unter dem Aspekt einer unmöglichen Vorhersage als absolut absurd zu bewerten gewesen wäre. Im November 2014 wurden jedoch alle Wissenschaftler vom Obersten Gericht in Rom freigesprochen. (APA 2015: o.A.)

Diese kurze nähere Erklärung eines Frühwarnsystems trägt dazu bei, auf die Problematik der frühzeitigen Erkennung von Erdbeben aufmerksam zu machen, um das Ausmaß einer Katastrophe geringer zu halten. Der eben angesprochene Aspekt bezieht sich auf Maßnahmen vor einem Erdbeben, nun gilt es die Zerstörungsmuster zu analysieren und danach auf den Wiederaufbau eines Zentrums einzugehen. An dieser Stelle wird meine Diplomarbeit ansetzen und versuchen die Unterschiede im Wiederaufbau urbaner Gebiete herauszuarbeiten und zu erörtern.

1.2. Zielsetzung

Das Ziel dieser Arbeit ist es, einen Einblick in die Thematik des Erdbebens zu geben, sowie detailliert die Unterschiede bzw. Gemeinsamkeiten der Zerstörungsmuster und des Wiederaufbaus der zwei urbanen Zentren L'Aquila und Christchurch herauszuarbeiten, dabei sollen unterschiedliche sozialräumliche Umstände berücksichtigt werden. Nicht jedes Land bzw. jede Stadt hat gleich viel monetäre Mittel zur Verfügung aber auch die vorherrschende Politik spielt eine wesentliche Rolle. Wie schon in der Einleitung erwähnt, sind Interessensgruppen ebenso von grundlegender Bedeutung. Entspricht einer Person bzw. einer

Gruppe von Personen eine gewisse Art und Weise eines Wiederaufbaus deren Vorstellungen, muss das nicht zwingend auf die Allgemeinheit bezogen sein. An dieser Stelle muss festgehalten werden, dass dieser Aspekt leider oftmals von Geld abhängig gemacht wird, da viele Firmen an einem Wiederaufbau beteiligt sind. (vgl. HOOPER 2014: 1016)

Diese Diplomarbeit soll ebenfalls dazu dienen einen Überblick zu geben, welche unterschiedlichen Möglichkeiten eines Wiederaufbaus nach einem Erdbeben gegeben sind und wie präventiv die erneut errichteten Gebäude konstruiert wurden. Dazu muss geklärt werden, ob diese nun stärkeren Beben standhalten oder wieder einstürzen würden.

1.3. Forschungsfragen und Hypothesen

Da diese Diplomarbeit größtenteils aus dem Vergleich des Wiederaufbaus sozialräumlich unterschiedlicher urbanen Zentren nach Erdbeben besteht, setzen sich die beiden Forschungsfrage wie folgt zusammen:

1. Worin liegen die Unterschiede und Gemeinsamkeiten der Zerstörungsmuster in den einzelnen Städten, und wie können jene erklärt werden?
2. Was sind die grundlegenden Unterschiede und Gemeinsamkeiten des Wiederaufbaus nach den Erdbeben in L'Aquila und Christchurch?

Anhand der Beantwortung dieser Forschungsfragen soll versucht werden, Klarheit für die Allgemeinheit zu schaffen und einen Überblick der wesentlichen Punkte herzustellen. Einen weiteren wesentlichen Bestandteil einer wissenschaftlichen Arbeit bilden Hypothesen. Diese werden aufgestellt, um sie dann am Ende der Arbeit entweder zu verifizieren oder zu falsifizieren.

Eine Hypothese versteht sich als eine Annahme, mit der es möglich wäre, die Wirklichkeit zu erklären oder anders ausgedrückt wie die Antwort auf die Forschungsfrage heißen könnte. Diese Annahme wiederum gründet auf den aktuellen Stand der Forschung. (vgl. BACKHAUS und TUOR 2010: 15)

Für die vorliegende Diplomarbeit werden zwei Hypothesen aufgestellt:

1. Es besteht ein Zusammenhang der Zerstörungsmuster nach dem Erdbeben in den beiden Städten L'Aquila und Christchurch.
2. Beim Wiederaufbau nach dem Erdbeben in der beiden Städte L'Aquila und Christchurch lassen sich Unterschiede feststellen.

1.4. Methode

Diese Diplomarbeit wird auf hermeneutisch – theoretischer Arbeitsweise erörtert, da einerseits eine Vielzahl hochwertiger Literatur vorhanden ist und andererseits ein Vergleich der schon angeführten Thematik, wie es die Forschungsfragen verlangen, am besten umzusetzen ist. Es wird auf verschiedene Arten von Literatur zurückgegriffen, diese umfassen beispielsweise Fachbücher, Artikel aber auch Studien. Nun gilt es zu klären was unter dem Begriff Hermeneutik verstanden wird und warum dieser in der Wissenschaft so häufig vorkommt.

Verstehen ist ein Prozess, der nicht auf eine Erfindung von Wissenschaftler*innen beruht, sondern dieser ist für den Menschen alltäglich. Nun manifestiert sich ein Problem für die verstehenden Wissenschaftler*innen, nämlich zu plausibilisieren, was ihr Handeln eigentlich zu einer Wissenschaft macht, obwohl es ein Teil des Alltags ist. Folglich muss die Frage geklärt werden, was das Besondere am Problem des wissenschaftlichen Verstehens ist. Ganz generell ausgedrückt versuchen wissenschaftliche Interpret*innen, sofern sie hermeneutisch reflektiert arbeiten, sich über die Voraussetzungen und die Methoden ihres Verstehens Klarheit zu verschaffen. Denn dadurch, und nur dadurch, wird Verstehen zu einer wissenschaftlichen Methode. Dadurch auch erste wird Verstehen systematisch lehr- und lernbar (HITZLER und HONER 1997: 7)

Die Literaturrecherche für diese Diplomarbeit wird größtenteils im Internet stattfinden, da die Bandbreite an Literatur hier am größten ist. Die Internetseite „Google Scholar“ ist dazu sehr hilfreich, da wissenschaftliche Texte häufig frei zugänglich sind. Ist ein Text nur käuflich erhältlich, haben Studierende die Möglichkeit diesen über einen Universitätszugang kostenfrei zu erwerben, was ungemein an Kosten spart. Diese Option stellt für Studierende eine große Erleichterung zum erfolgreichen Abschluss einer schriftlichen Arbeit dar.

Bei der Literatursuche an sich, habe ich mich zu Beginn auf allgemeine Schriften, wie beispielsweise Einführungen in bestimmte Thematiken, gestützt. Dazu hilfreich sind einerseits Texte, die im Internet vorhanden sind, aber andererseits bilden auch Bücher hier einen festen Bestandteil meiner Diplomarbeit. Nachdem der Gegenstand mit all den relevanten Informationen über das Erdbeben analysiert wurde, haben ich die Suche vor allem auf Artikel in Fachzeitschriften konzentriert. Da meine Diplomarbeit zum Großteil aus Fallbeispielen dreier ausgewählter Regionen besteht, ist hier mit der Literatursuche im Netz anzusetzen. Wurde nun ausreichend Fachinformation gefunden und diese miteinander verglichen, wird ein abschließendes Resümee verfasst, welches versucht, die erarbeiteten Unterschiede und Gemeinsamkeiten zu interpretieren und zu analysieren. Die Schlussfolgerung ist für diese Diplomarbeit entscheidend, da sie mit der Beantwortung der beiden Forschungsfragen einhergeht.

2. Entstehung tektonischer Erdbeben

Bevor mit der eigentlichen Thematik dieses Kapitels gestartet wird, soll geklärt werden, ob die Häufigkeit von Erdbeben seit 1900 zugenommen haben oder nicht. Eine Flut an großen Erdbeben hat in den letzten Jahren die Welt erschüttert. Fünf davon erreichten eine Stärke von 8.5 seit dem Jahr 2004. Dies hat zu der Frage geführt, ob Erdbeben in Clustern auftreten und ob derzeit das Risiko großer Beben über der Norm liegt. (vgl. MICHAEL 2011: 1-4) Andrew Michael (vgl. ebd.) vom U.S. Geological Survey im kalifornischen Menlo Park zeigt jedoch, dass eine offensichtliche Häufung großer Beben nicht von zufälliger Variabilität zu unterscheiden ist. Er wendete drei statistische Test für Erdbeben an, die eine größere Magnitude als 7 aufwiesen und seit 1900 stattgefunden haben, jedoch ließ er die lokalisierten Nachbeben aus, die mit dem eigentlichen Hauptbeben verbunden sind. Michael demonstrierte, dass die gleichen Cluster gefunden werden würden, wenn die Beben unabhängig voneinander wären. Er kommt zu dem Schluss, dass das Risiko einer Erhöhung zukünftig stattfindenden Erdbeben nicht gegeben ist. Nun stellt sich die Frage, wie solche Erdbeben entstehen. Dazu ist es wichtig, vorerst die Geologie ein wenig näher zu betrachten.

Zunächst einmal unterscheidet die Literatur die Erdbeben nach der Herdtiefe, Flachbeben (0-70 km), mitteltiefen Beben (70-300 km) und Tiefbeben (ab 300km). Unterhalb einer Tiefe von 700 km entstehen keine Erdbeben mehr, da die Gesteine hier bereits wieder plastisch

reagieren. Der Ausgleich findet durch Fließvorgänge statt, sodass keine entsprechenden Spannungen mehr aufgebaut werden können. (vgl. ROTHE 2015: 10).

Plastische Gesteine sind ein Produkt der duktilen Verformung und ändern sich, ohne zu zerbrechen. Dieser Vorgang wird auch als Fließen im festen Zustand genannt. Diese Art der Gesteinsverformung wirkt in der warmen, unteren Erdkruste. (vgl. NAGRA 2015: o.A.)

Erdbeben entstehen durch die freigesetzten Kräfte bei Plattenbewegungen in schmalen Zonen entlang der Plattengrenzen. Diese Kräfte wirken auf die Gesteine der kontinentalen Kruste ein und werden unter die Begriffe Spannung, Deformation und Festigkeit zusammengefasst. Unter Spannung wird die lokal wirkende Kraft pro Flächeneinheit verstanden, welche eine Verformung, also eine Deformation der Gesteine verursacht. Der Begriff Deformation meint den Relativbetrag der Verformung, dies ist der prozentuale Anteil der Deformation. Eine wichtige Rolle spielt hier die sogenannte Scherspannung. Werden Gesteine über einen bestimmten Wert, welcher als Festigkeit bezeichnet oder Bruchgrenze genannt wird, brechen diese. Das Gestein verliert also seine Kohäsion und zerbricht entweder in zwei oder aber auch in mehrere Teile. Ein Erdbeben entsteht nun, wenn die genannten Gesteine, welche kontinuierlichen Deformationsprozessen ausgesetzt sind, auf einmal an einer bereits existierenden oder auch einer neu aufkommenden Störung zerbrechen. Es kommt zur ruckartigen Verschiebung der Krustenblöcke auf beide Seiten, dadurch werden starke Schwingungen erzeugt, welche seismische Wellen genannt werden. Diese seismischen Wellen breiten sich radial vom Erdbebenherd weg aus und verursachen die uns bekannten Schäden und Katastrophen. Kommt es an der Störung zu Bewegungen, entlädt sich der Druck und der Wert reduziert sich, sodass dieser unter der Gesteinsfestigkeit liegt. Ist das Erdbeben vorbei, baut sich der Druck nach und nach wieder auf und der Ablauf beginnt von vorn. Erdbeben sind deshalb besonders häufig an Plattengrenzen vorzufinden, da sich an dieser Stelle die Spannungen konzentrieren und der größte Teil der Deformationsvorgänge dort stattfindet. (vgl. PRESS et al. 2008: 332f)

Um das eben erklärte leicht verständlich und knapp auszuführen, werden die einzelnen Phasen des Ablaufes eines Erdbebens noch einmal zusammengefasst in Punkte erwähnt.

- 1) Spannungen bauen sich über einen längeren Zeitraum auf, dies wiederum führt zu Erdbeben.
- 2) Weisen Gesteine beidseitig einer blockierten Störung durch tektonische Kräfte Deformationen auf, ist ein kontinuierlicher Spannungsaufbau die Folge.

- 3) Passiert es nun, dass durch die Scherspannung der Reibungswiderstand an der Störung überwunden wird...
- 4) ...entsteht ein Bruch. Die Spannungen werden auf diese Art und Weise freigegeben und lösen somit das Erdbeben aus.
- 5) Dieser Ablauf wiederholt sich immer wieder. (vgl. ebd.: 332)

2.1. Die Scherbruch-Hypothese

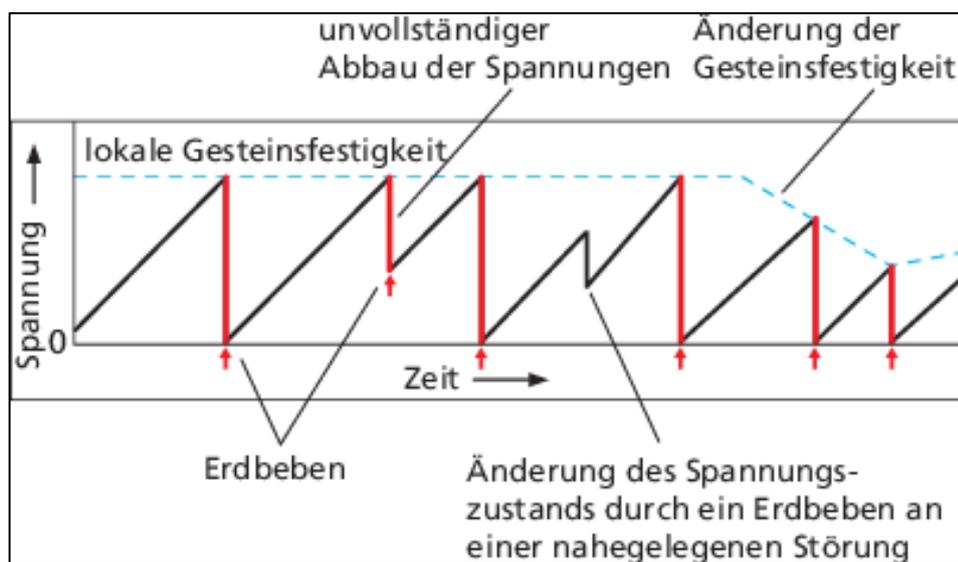


Abb. 1. Scherbruch Hypothese zur Entstehung eines Erdbebens (Quelle: GOTZINGER J. und JORDAN T. 2017: o.A.)

Wie sowohl aus der Abbildung als auch aus der Beschreibung von Abb. 1 zu erkennen ist, existiert in der Literatur die sogenannte Scherbruch-Hypothese. Dazu kam es, da der Wissenschaftler Henry Fielding Reid von der Johns Hopkins University diese im Jahr 1910 aufgestellt hat. Das Erdbeben an der San-Andreas-Störung, welches 1906 San Francisco zerstörte und das bis in die Gegenwart das am meisten untersuchte historische Erdbeben ist, war hier der auslösende Moment. Der genannte Wissenschaftler war zur Untersuchung beauftragt worden und kam daher zur sogenannten Scherbruch-Hypothese, diese Theorie ist bis heute noch allgemein anerkannt und wird zur Entstehung von Erdbeben herangezogen.

Reid befasste sich mit der Bedeutung geodätischer Daten zur seismischen Verschiebung sowie den Nachweis für entfernte Verschiebungen vor einem Erdbeben. (vgl. ZOBACK 2006: 6)

“He inferred that the nearly instantaneous fault slip during the quake represented release, or “elastic rebound,” of distant applied external elastic forces” (ZOBACK 2006: 6).

Reid wollte nun seine Theorie mit Experimenten stützen, in welchen er im Scherschnitt eine Schicht steifes Gelee mit einem Fehlschnitt durchtrennte. Damit zeigte er, dass Scherverschiebungen am Rand des Geleeblocks die Störung einleiten und als der Fehler im System begann abzurutschen, wurde die Spannung freigesetzt. Als Ergebnis konnte eine Blockverschiebung festgestellt werden. (vgl. ZOBACK 2006: 6)

In Abb. 2 ist die eben erklärte Theorie gut dargestellt und trägt somit zum besseren Verständnis des Sachverhaltes dar.

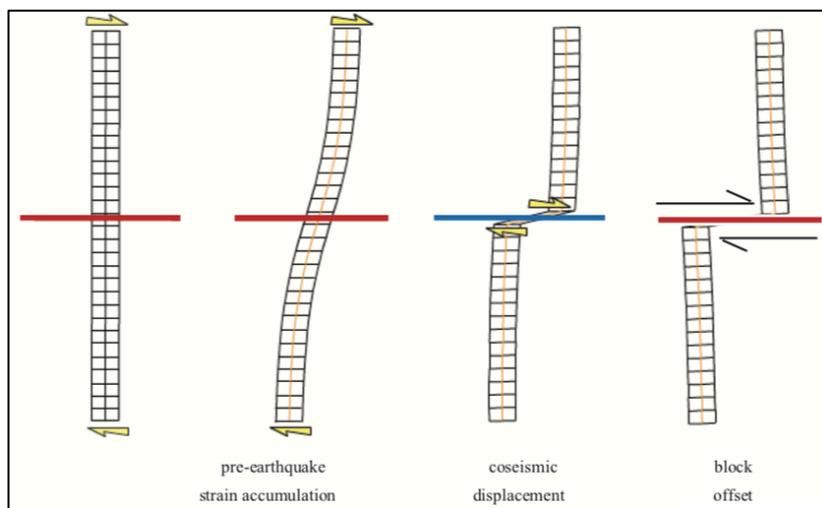


Abb. 2. Elastic rebound hypothesis nach Reid (1910) (Quelle: ZOBACK 2006: 7)

2.2. Seismische Wellen

Von großer Bedeutung für die Erklärung von Erdbeben sind die sogenannten seismischen Wellen. Diese Wellen breiten sich vom Bebenherd über die gesamte Erde aus, welche dann vom Seismographen in drei getrennten Gruppen gemessen werden. Wie ein Seismograph funktioniert, wird im nächsten Kapitel erläutert. Die Wellen, die zuerst ankommen, werden als Primärwellen oder P-Wellen bezeichnet, darauf folgen die Sekundärwellen oder kurz S-Wellen. Beide Wellenarten durchströmen den gesamten Innenbereich der Erde. Schlussendlich treffen die unterschiedlichen Formen der Oberflächenwellen ein, die sich lediglich entlang der Erdoberfläche ausbreiten. Die P-Wellen verhalten sich in den Gesteinen ident zu Schallwellen, welche sich in der Luft ausbreiten. Die Geschwindigkeit, mit der die P-Welle die Gesteine

durchdringen, liegt ungefähr bei 6 km/h, somit sind diese um den Faktor 20 schneller als Schallwellen in der Luft. Eine weitere Gemeinsamkeit ist, dass beide Kompressions- oder Longitudinalwellen sind, die sich in Festkörpern, Flüssigkeiten oder Gasen als eine periodische Kompression (Druck) und Dilatation (Zug) des Mediums ausbreiten. Die Vorstellung der Bewegung von P-Wellen kann erleichtert werden, wenn sich ein wechselweises Komprimieren und Dehnen des Materials bei ihrer Ausbreitung, vorgestellt wird. Damit ist gemeint, dass die Teilchen in Fortpflanzungsrichtung der Wellen schwingen. Im Gegensatz dazu durchlaufen die S-Wellen das Festgestein mit etwa der halben Geschwindigkeit der P-Wellen. Weitere Bezeichnungen solcher S-Wellen lauten Scher- oder Transversalwellen, weil die Bodenteilchen in einer Ebene senkrecht, also transversal, zur Ausbreitungsrichtung schwingen. Eine Ausbreitung in Flüssigkeiten oder Gasen ist für die Scherwellen nicht möglich. (vgl. PRESS et al. 2008: 337)

Eine weitere Wellenart sind die sogenannten Oberflächenwellen. Im Gegensatz zu den P-Wellen und S-Wellen breiten sich diese nicht im Erdinneren aus, sondern auf der Erdoberfläche, vergleichbar mit einer Ausbreitung von Meereswellen, diese benötigen ebenfalls eine freie Oberfläche. Die Geschwindigkeit dieser Oberflächenwellen, kann als ein wenig langsamer als die der S-Wellen beschrieben werden. Innerhalb der gerade genannten Wellengruppe, können zwei Arten unterschieden werden und zwar Rayleigh- und Love-Wellen. (vgl. ebd.)

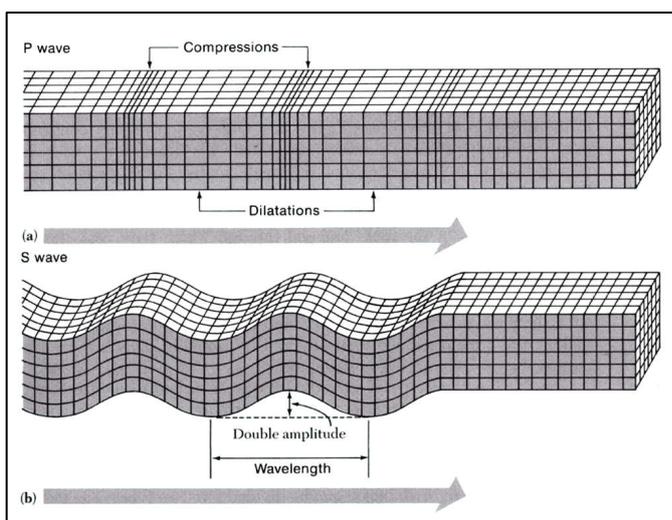


Abb. 3. Raumwellen (Quelle: SEISMIK-AG 2007: 2)

Bei Rayleigh-Wellen kommt es zu einer elliptischen Bewegung ohne Quer- oder Senkrechtbewegungen. (vgl. USGS o.J.: o.A.) Die Love-Wellen hingegen breiten sich rein horizontal aus und verschieben den Untergrund in seitlicher Richtung. Seitdem sich der Menschen mit seismischen Wellen und den damit verbundenen zerstörenden Wirkungen beschäftigt, wird versucht diese zu verstehen. Erst Ende des 19. Jahrhunderts konnten Seismologen Instrument für die genau Aufzeichnung der eben beschriebenen Wellen entwickeln, um diese exakt untersuchen zu können. Bestehende Daten seismischer Wellen können die Lage der Erdbebenherde lokalisieren und die Art der tektonischen Aktivität bestimmen. Ebenso beinhalten seismische Wellen zentrale Informationen, was im Erdinneren geschieht. (vgl. PRESS et al. 2008: 337)

Die Informationen der seismischen Wellen werden von sogenannten Seismographen aufgenommen und ausgewertet. Wie genau das funktioniert wird im folgenden Kapitel geklärt.

2.3. Seismographen

Seismographen haben seit ihrer Erfindung den Ruf, extrem sensible Messgeräte zu sein und nicht nur eine physikalische Größe zu messen, sondern sie messen etwas sehr Elementares und Fühlbares, nämlich die Erschütterung des Bodens. An ruhigen Plätzen, beispielsweise in einer Höhle oder einem Bergwerk, fernab von großen Verkehrsadern, registriert ein Seismograph nicht nur Beben aus nächster Nähe, sondern er kann auch welche von der ganzen Erde vernehmen, die genug kräftig sind, um fatale Schäden anzurichten. Ein Seismograph zeichnet nebenbei noch die kontinuierlich stattfindende Bodenbewegung der Wellen der Weltmeere, Gezeitenkräfte, die im Halbjahresrhythmus die feste Erde deformieren oder menschenbedingte Signale, wie beispielsweise große Maschinen in einigen 100km Umkreis oder Sprengungen von Steinbrüchen. Die Seismologie, also die Wissenschaft über Erdbeben, interessiert sich vor allem für Bodenbewegungen mit Frequenzen unter für dem für Menschen Hörbarem. Dieser Bereich liegt in etwa bei 10 Hertz bis zu 0.3 Millihertz, was eine Schwingung pro Stunde bedeutet. In der heutigen Zeit ist eine obere Grenzfrequenz einer seismographischen Registrierung zwischen 30 bis 50 Hertz üblich. Da die Erde nie völlig ruhig ist, werden permanent Signale ausgesetzt, jedoch sind diese Geräusche so schwach, dass kein Seismograph in der Lage ist diese zu messen.

Zur Konstruktion eines Seismographen lässt sich folgendes festhalten. Es gibt drei Konstruktionsmerkmale, die über die Empfindlichkeit eines Seismographen entscheiden:

1. Es muss kleine Verschiebungen der seismischen Masse messen können.
2. Er muss akzeptieren, dass sich nach Eintritt eines seismischen Signals die Masse offensichtlich verschiebt.
3. Die Masse muss vor Störeinflüssen geschützt werden.

(vgl. WIELANDT 1998: o.A.)

Wie der letzte Punkt schon darauf hinweist, müsste ein idealer Seismograph völlig erschütterungsfrei bewahrt werden, damit kein direkter Kontakt mit dem Untergrund besteht. Sobald sich der Boden in Bewegung setzt, könnte der Seismograph die variierenden Abstände zwischen dem ruhig liegenden Seismographen und dem bewegten Boden messen. Bis heute ist es nicht möglich einen Seismographen unabhängig vom Erdboden zu lagern, obwohl es in der modernen Raumfahrttechnik mittlerweile immer weniger zu dieser Einschränkung kommt. (vgl. PRESS et al. 2008: 337) *„Bei einem Seismographen ist eine mehr oder weniger schwere Masse weitgehend entkoppelt vom Erdboden aufgehängt, sodass der Untergrund auf und ab oder seitlich hin und her schwingen kann, ohne die Masse dadurch in nennenswerte Schwingungsbewegungen zu versetzen“* (PRESS et al. 2008: 337). Wie solch eine entkoppelte Aufhängung aussehen kann zeigt die Abbildung (Abb. 4.) darunter. Die Masse ist hier aufgehängt und schwebt sozusagen in der Luft, fernab von Erdboden. Hebt bzw. senkt sich nun der Boden aufgrund seismischer Wellen, bleibt die Masse (erkennbar in Abb. 4.) aufgrund ihrer Massenträgheit überwiegend in einer ruhigen Position, da ein Objekt, welches sich in Ruhe befindet, dazu neigt, diese Ruhe beizubehalten. Werden die beiden Faktoren Masse und Untergrund betrachtet, lässt sich erkennen, dass sich diese relativ zueinander bewegen, da sich die Aufhängung bzw. die Feder dehnen oder zusammendrücken lässt. Aufgrund dieser Tatsache können vertikale Verschiebungen der Erde, welche durch die seismischen Wellen ausgelöst wurden, über eine mit dem Boden verbundene Schreibspitze entweder auf einem Registrierpapier oder wie es heute üblich ist, auf einem Rechner dokumentiert werden. Als weitere Möglichkeit einer entkoppelten Aufhängung, besteht die Option, die träge Masse des Seismographen, auf einem Scharnier zu befestigt werden, was wiederum wie eine Schwingtür funktioniert. Auf diese Art und Weise kann das Gewicht in der waagrechte frei schwingen und dadurch die horizontale Bodenbewegung messen. Bei einem in der heutigen Zeit eingesetzten

wird dann die Magnitude berechnet. (vgl. GRÜNTAL et al. 1998: 765) Das bis heute stärkste erfasste Erdbeben wies eine Magnitude von ca. 9,5 auf und ereignete sich 1960 Chile. (vgl. LOVETT 2010: o.A.) Schäden an Gebäuden treten etwa ab einem Wert von 5 ein. Die Magnituden-Skala ist logarithmischer Natur. Eine Magnitudenstufe bezeichnet ungefähr einen Faktor 30 Differenz in der frei gewordenen Energie. In der Seismologie werden verschiedenen Magnitudenarten für die Amplituden unterschiedlicher seismischer Wellen anhand der Dauer der Registrierung oder anhand des physikalisch begründeten seismischen Moments, zur Berechnung, eingesetzt. (vgl. GRÜNTAL et al. 1998: 765)

Um es anders formuliert auszudrücken, wird die Magnitude aus dem Logarithmus des maximalen Ausschlags eines Seismographen in Abhängigkeit der Entfernung zum Erdbebenherd bestimmt. Als Beispiel kann sich vorgestellt werden, dass eine Erschütterung der Magnitude 4 einem Beben entspricht, welches in 100 km Entfernung mit einem maximal 2800-fach vergrößernden Wood-Anderson-Seismographen aufgezeichnet wurde, einen maximalen Ausschlag auf dem Seismographen von 1 cm ergibt. An dieser Stelle ist wichtig zu vermerken, dass die Magnitude keine obere und untere Grenze aufweist. (vgl. GRÜNTAL 2004: 17)

„Die kleinsten Bebenmagnituden werden durch die Empfindlichkeit der Seismographen in Verbindung mit dem natürlichen Bodenunruhepegel bestimmt und erreichen M_L -Werte von etwa -2“ (GRÜNTAL 2004: 17). Die obere Magnitudengrenze wird durch die Geometrie von Bruchstörungen und den Brucheigenschaften der Gesteine bestimmt. Als Momentmagnitude M_w wird ein physikalisch begründetes, an die restlichen Magnitudenarten kalibriertes Stärkemaß, verstanden, welche auf der Grundlage eines mechanischen Modells einer schlagartig aktivierten Störungsfläche als Reaktion auf eine Spannungsbeanspruchung beruht. Aufgrund der Tatsache, dass diverse Seismographen unterschiedliche Frequenzcharakteristika aufweisen und die Beben in verschiedenen Entfernungen vom Registrierort des Seismographen stattfinden, sind unterschiedliche Magnitudenskalen in Gebrauch. Die Kalibrierung wird dabei von einer nicht unerheblichen Streuung begleitet. (vgl. GRÜNTAL 2004: 17f)

Die Magnitudenbestimmung an den unterschiedlichen Registrierpunkten unterscheidet sich aufgrund des flacheren und tieferen Untergrunds, daher kommt es zur Streuung bei diesen Magnitudenbestimmungen von etwa $\pm 0,3$ Magnitudeneinheiten. Aufgrund dieser Tatsache entstehen Fehler in der Berechnung der Magnitude, die gleich groß sind wie die Fehler der Intensitätsbewertung. Um die verschiedenen Größen ineinander zu überführen aber auch historische Beben in Form von Magnituden zu kategorisieren, befinden sich zwischen den

Magnitudenarten und der Intensität empirische Umrechnungsbeziehungen. (vgl. GRÜNTAL 2004: 18).

3.2. Intensität

Die Intensitätsskala fußt auf der Beobachtung der Bebenwirkung auf Menschen, Gebäude oder Natur, im Gebiet, wo das Beben auftritt. Somit ist diese Skala keine exakt messbare, aber eine relativ stabile deskriptive Größe. Makroseismische Intensitätsskalen, das sind Skalen, welche als Grundlage für die Abschätzung der seismischen Intensität von Erdbeben dienen, werden seit Anfang des Jahrhunderts eingesetzt und wurden seither stetig aktualisiert. Bis auf Japan werden in allen Ländern der Erde 12-stufige Skalen benutzt, deren Intensitätswerte überwiegend kompatibel sind. Die zurzeit neueste Weiterentwicklung ist die Europäische Makroseismische Skala (EMS-92), die auch Gebäude berücksichtigt, welche erdbebengerecht gebaut wurden. (vgl. GRÜNTAL et al. 1998: 765f) In Abb. 5. ist die Intensitätsskala EMS-92 zu sehen. Diese beginnt bei einem EMS Wert von 1 und endet wie bereits erwähnt bei 12.

Stark vereinfachte Kurzform der makroseismischen Intensitätsskala EMS-92

Europäische Makroseismische Skala – 1992 (Grünthal 1993)

EMS Intensität	Definition	Beschreibung der maximalen Wirkung (stark verkürzt)
1	nicht fühlbar	Nicht fühlbar.
2	kaum bemerkbar	Nur sehr vereinzelt von ruhenden Personen wahrgenommen.
3	schwach	Von wenigen Personen in Gebäuden wahrgenommen. Ruhende Personen fühlen ein leichtes Schwingen oder Erschüttern. Lampen schwingen leicht
4	deutlich	Im Freien vereinzelt, in Gebäuden von vielen Personen wahrgenommen. Einige Schlafende erwachen. Geschirr und Fenster klirren. Türen klappern.
5	stark	Im Freien von wenigen, in Gebäuden von den meisten Personen wahrgenommen. Viele Schlafende erwachen. Wenige werden verängstigt. Gebäude werden insgesamt erschüttert. Hängende Gegenstände pendeln stark, kleine Gegenstände werden verschoben. Gelegentlich treten Haarrisse im Verputz auf und in wenigen Fällen Abfall kleiner Putzstücke.
6	leichte Gebäudeschäden	Viele Personen erschrecken und flüchten ins Freie. Einige Gegenstände fallen um. An einigen Häusern entstehen leichte Schäden (Risse im Verputz), vornehmlich an Häusern in schlechterem Zustand
7	Gebäudeschäden	Die meisten Personen erschrecken und flüchten ins Freie. Möbel werden verschoben. Gegenstände fallen in großen Mengen aus Regalen. An vielen Häusern solider Bauart treten mäßige Schäden auf (Mauerrisse). Vornehmlich Gebäude in schlechteren Zustand zeigen größere Mauerrisse, vereinzelt Einsturz von Zwischenwänden.

8	schwere Gebäudeschäden	Viele Personen verlieren das Gleichgewicht. Selbst schwere Möbel werden verschoben und zum Teil umgeworfen. An vielen Gebäuden einfacher Bausubstanz treten schwere Schäden auf; d.h. Giebelteile und Dachgesimse stürzen ein. Einige Gebäude sehr einfacher Bausubstanz stürzen ein.
9	zerstörend	Allgemeine Panik unter den Betroffenen. Sogar gut gebaute gewöhnliche Bauten zeigen schwere Schäden und teilweise Einsturz tragender Bauteile. Viele schwächere Bauten stürzen ein.
10	sehr zerstörend	Viele gut gebaute Häuser werden zerstört oder erleiden schwere Beschädigungen
11	verwüstend	Die meisten Bauwerke, selbst mit guter erdbebengerechter Konstruktion, werden zerstört.
12	vollständig verwüstend	Nahezu alle Konstruktionen werden zerstört; verwüstend

Abb. 5. Europäische Makroseismische Skala -1992 (Quelle: GRÜNTAL 1998: 765)

Wie Grünthal (2004: 17) schreibt, stellt die makroseismische Intensität eine Klassifizierung der Stärke der Bodenerschütterungen auf der Grundlage beobachteter Effekte in einem begrenzten Gebiet dar. Als Einschätzungsgrundlage dienen Effekte der Bodenerschütterungen auf Menschen, Objekte in Häusern sowie das Ausmaß an Gebäudeschäden.

Nachdem sich die Wissenschaft mit der Erdbebenanalysen auseinander zu setzen begonnen hatte, gewann die makroseismische Methodik immer mehr an Bedeutung. Wichtig hierfür ist es, historische und vorinstrumentelle Beben in Gebieten mit geringer Seismizität miteinzubeziehen. Nur mit der Makroseismik ist es möglich, historische Beben stärkemäßig zu klassifizieren. Ein weiteres Beispiel für die enorme Wichtigkeit der Intensitätsklassifizierung ist im Bezug zur Parametrisierung von Erdbebengefährdungskarten zu erkennen. Zusätzlich ist die Wichtigkeit des Anwendungsfeldes der Makroseismik in der Analyse und Darstellung einer flächenmäßigen Verteilung der Stärke der Erschütterungsintensitäten hervorzuheben. (vgl. GRÜNTAL 2004: 17)

Nach Klärung dieser beiden wohl wichtigsten Parameter zur Skalierung der Bebenstärke kann nun mit dem Kern der Diplomarbeit begonnen werden.

4. Revitalisierung von Erdbeben zerstörter Gebiete

Ein zentrales Thema, welches bei der Neubelebung des Gebiets berücksichtigt werden muss, was zwangsläufig einige Änderungen erforderte. Eine seismische und geologische Karte des Gebiets sowie der vor dem Erdbeben vorhandenen Infrastruktur und beim Bau verwendeter Materialien helfen dabei Entscheidungen darüber zu treffen, wo etwas verändert bzw. verbessert werden muss. Vor Beginn der Rekonstruktion einer Stadt ist es wichtig, solche Merkmale anhand der verfügbaren Daten und erforderlichenfalls neuer Techniken abzubilden. Rekonstruktionseingriffe sollten jedoch auch den immateriellen Aspekt der Revitalisierung berücksichtigen: den Wert der Erinnerungen an Orte, an denen sich Menschen gebunden haben. Strukturelle Veränderungen sollten mit der Bevölkerung besprochen werden, um sowohl die Vorteile des Wiederaufbaus als auch mögliche Veränderungen des Stadtbildes deutlich zu machen. Einige Strategien werden nun vorgeschlagen, um den Wiederaufbau in der betroffenen Region zu steuern:

- Es sollte ein umfassendes öffentliches Informationsprogramm eingeleitet werden, um die Öffentlichkeit über die Wiederaufbaumaßnahmen so gut wie möglich zu informieren. Dabei sollte versucht werden die Interessen von privaten Bauunternehmer*innen sowie illegale Aktivitäten zu unterbinden.
- Besitzer*innen von zerstörten Immobilien, welche so schnell wie möglich ihre Gebäude ohne die notwendigen seismischen Standards wiederaufbauen wollen, sollten durch regelmäßige Workshops und Seminare dazu ausgebildet werden, das Design von Gebäuden sowie die Konstruktionstechniken für Baupraktiken erdbebensicherer zu machen.
- Die gesamte vom Erdbeben betroffene Region sollte in Zonen unterteilt werden und es sollten gemeinnützige Organisationen eingerichtet werden, die den Wiederaufbau verwalten. Diese Strategie zielt darauf ab, die Bedenken der Öffentlichkeit auszuräumen, dass die für die Sanierung bereitgestellten Finanzmittel angemessen ausgegeben und überwacht werden. Diese Organisationen setzen sich aus Vertreter*innen von Regierung, Wirtschaft, Industrie, akademischen Institutionen,

Berufsverbänden und Eigentümer*innen von Immobilien zusammen. (vgl. CIMELLARO et al. 2010: 229f)

Für die Relevanz eines Wiederaufbaues gilt es festzuhalten, dass es dabei nicht nur um den Wiederaufbau zerstörter Gebäude oder Infrastruktur geht, sondern um den Wiederaufbau des Lebens und des Lebensunterhalts der Menschen. Dabei handelt es sich nicht um eine genau festgelegte Phase, sondern vielmehr um eine kontext- und ortsspezifische Phase, die durch die Aktionen der betroffenen Gemeinschaft definiert wird. (vgl. CONTRERAS et al. 2018: 451) Curtis et al. (2012) betrachten die Wiederherstellung als einen räumlich und zeitlich dynamischen Prozess. Nach den Autoren Blakely und Fisher (2017) ist der Wiederaufbau Teil der Genesung, doch diese erfordert eindeutig eine soziale und kulturelle Rehabilitation.

In der internationalen Strategie zur Verringerung des Katastrophenrisikos wird die Wiederherstellung als „Wiederherstellung und gegebenenfalls Verbesserung von Wohneinrichtungen, Lebensgrundlagen und Lebensbedingungen von Katastrophen betroffener Gemeinden, einschließlich der Bemühungen zur Reduzierung von Katastrophenrisikofaktoren,“ definiert. Der Prozess der Wiederherstellung kann auch als komplexer, mehrdimensionaler und langfristiger Prozess der Planung, Finanzierung und Entscheidungsfindung nach einer Katastrophe beschrieben werden. Das Hauptziel dieses Prozesses ist die Wiederherstellung nachhaltiger Lebensbedingungen einer Gemeinde oder eines Gebiets, welches stark von vor dem Ereignis bestehenden physischen, sozialen, wirtschaftlichen, institutionellen, kulturellen und ökologischen Bedingungen beeinflusst wurde. Der Wiederherstellungsprozess muss die Interaktion zwischen einer Vielzahl von Einzelpersonen, Gruppen und Institutionen zum Ziel haben. Des Weiteren sollen Kulturgüter und ökologische Grundlagen wiederhergestellt werden. Der Wiederaufbau spiegelt die Eigenart des betroffenen Gebiets wider. Finanziell schwächere Gebiete haben längere Wiederherstellungsphasen. In Neuseeland, in der Stadt Christchurch, welche als zweites Fallbeispiel in den folgenden Kapiteln für diese Diplomarbeit herangezogen wird, musste nach dem Erdbeben im Jahr 2011 die Innenstadt für zwei Jahre geschlossen werden. Bis heute sind noch vereinzelt Arbeiten an Gebäuden und leere Bauplätze zu beobachten. Trotzdem hat es die Stadt geschafft den Wiederaufbauprozess voranzutreiben. Die für den Wiederaufbau zuständige Institution errichtete in leeren Parzellen symbolische Gebäude wie beispielsweise die Cardboard Cathedral, auch genannt Übergangskathedrale, weiters wurde das Quake City Museum gebaut. Rund um das betroffene Gebiet wurde eine

Touristenroute angelegt und aus Schiffscontainern ein temporäres Einkaufszentrum, namens Re-START, errichtet. Einige Künstler malten Wandbilder an ausgewählten Gebäuden der Stadt, um an die Katastrophe zu erinnern. (vgl. CONTRERAS et al. 2018: 451f)



Abb. 6. Temporäres Einkaufszentrum Re-START

(Quelle: <https://www.mergili.at/worldimages/picture.php?/7982/category/62>)

Ein interessantes Modell wurde nach dem Erdbeben in Kobe (Japan) entwickelt. Die dort ansässige Organisation zum Wiederherstellungsprozess liefert ein Modell zur Messung des Wiederherstellungsfortschritts auf der Grundlage von drei Zielen:

1. Wiederaufbau aller beschädigten Häuser in drei Jahren.
2. Alle Notunterkünfte innerhalb von fünf Jahren entfernen.
3. Die körperliche Genesung in zehn Jahren abschließen.

Ganz allgemein kann festgehalten werden, dass die Zeitspanne, die eine Gesellschaft benötigt, um sich von einer Katastrophe zu erholen, vom Ausmaß des Ereignisses abhängt, dem Niveau der Vorbereitung vor einem Ereignis und dem wirtschaftlichen Wohlstand. (ebd.)

5. Zerstörungsmuster in der Provinz L'Aquila

In diesem Kapitel geht es um die Zerstörung und das Ausmaß des Erdbebens in der Provinz L'Aquila und ihren Stadtteilen. Aufgrund der Tatsache, dass die untersuchten Erdbeben in zwei sozialräumlich unterschiedlichen urbanen Zentren stattgefunden haben, muss geklärt werden, ob Unterschiede bzw. Gemeinsamkeiten in ihrem Zerstörungsmuster erkennbar sind. Zu Beginn wird die Situation in L'Aquila genau analysiert und versucht ein Muster der Erdbebenschäden an Gebäuden zu erkennen.

5.1. Tektonische Gegebenheiten im zentralen Mittelmeerraum

Das zentrale Mittelmeer zeichnet sich durch ein komplexes tektonisches und geomorphologisches Umfeld aus, das auf die geodynamischen Entwicklungsprozesse zurückzuführen ist, die durch die Konvergenz der eurasischen Platte im Norden und der afrikanischen Platte im Süden hervorgerufen wurden. (vgl. CIMELLARO et al. 2010: 11)

Der größte Teil der zentralen Zone der Apenninkette besteht aus steifen kalkhaltigen Abfolgen von Karbonplattformen und Turbiditen, die in den vorgelagerten Becken abgelagert und schrittweise in die von Westen nach Osten wandernde Kette eingebracht wurden. Im Becken von L'Aquila besteht das Felsbett aus Kalksteinformationen aus dem Meso- und Känozoikum, die größtenteils entlang der Talflanken und auf den im Aterno-Tal gelegenen Kämmen zu finden sind. Die Innenstadt von L'Aquila befindet sich auf einer Fluss-Terrasse, die das linke Ufer des Flusses Aterno bildet. Die Terrasse im Nordosten der Stadt liegt 900 m über dem Meeresspiegel. Im Südwesten fällt die Höhe auf 675 m ab. Die Terrasse endet am Fluss Aterno, der 50 m tiefer fließt. (ebd. 14)

5.2. Erdbeben in L'Aquila am 6. April 2009

Dem Hauptbeben vom 6. April 2009 ging eine lange Folge von Vorbeben voraus, die einige Monate zuvor einsetzten und am 30. März mit einem M_L Wert von 4.1 gipfelten. Diese Ansammlung an kleineren Beben mit geringerer Stärke ereigneten sich eine Woche vor dem Hauptbeben in der Nähe des Epizentrums. Vier Stunden vor dem Hauptereignis trat ein M_L 3.9 Vorbeben auf. Einige Anwohner verließen daraufhin glücklicherweise schon vorzeitig ihre

Häuser und entschieden sich, die Nacht außerhalb zu verbringen. Das Hauptbeben aktivierte einen NW-SO verlaufende Störung mit einer Länge von 15 bis 18 km. In den ersten drei Tagen nach dem Hauptereignis wurde festgestellt, dass eine Wanderung der Seismizität von der Hauptstruktur nach Norden stattfand, die am 9. April mit einem Nachbeben der Stärke 5.4 gipfelte. In L'Aquila ereigneten sich eine Reihe von Nachbeben. Eine große Anzahl von Nachbeben trat in den ersten Tagen nach dem Hauptbeben auf. Es wurden mehr als 300 Beben innerhalb von vier Tagen registriert. Insgesamt wurden bis zum 23. April 2009 sieben seismische Ereignisse mit einem M_w von größer oder gleich 5.0 aufgezeichnet. Die Abfolge der Nachbeben zeigt, dass es zwei Hauptbereiche von Krustenbrüchen gab. Als erste Region traf dies L'Aquila und den südöstlichen Teil des Aterno-Tals, wo der Hauptschock auftrat. Die zweite Region befand sich nördlich der Stadt L'Aquila in der Nähe von Barete, Pizzoli und Campotosto. Es wurde aufgezeichnet, dass die Versagensmechanismen der stärksten Nachbeben ähnliche Eigenschaften aufwiesen wie der Hauptschock, der entlang des Apennin-Gebirges auftrat und nach Südwesten abfiel. In Abb. 6 sind die Epizentren der seismischen Ereignisse veranschaulicht, die seit 1. Dezember 2009 in der vom Erdbeben betroffenen Region aufgetreten sind. In den folgenden Wochen setzte sich die Wanderung der Seismizität fort und breitete sich von der Hauptstörungsebene zu einer benachbarten, seitlich versetzten normalen Störung im Norden und zum südlichen Ende der Hauptstörung aus. Im folgenden Monat breitete sich die Seismizität entlang eines 40km langen Störungssystems aus und zeigte einen Omori-ähnlichen zeitlichen Zerfall. (vgl. CHIARABBA et al. 2009: 3ff) Die Nachbeben eines größeren Erdbebens folgen in der Regel dem Omori-Gesetz, dieses fußt auf einer empirischen Relation für das zeitliche Abklingen der Bebenrate. (vgl. UTSU et al. 1995: 2)

Das Hauptbeben erreichte um 03:32 lokaler Zeit schlussendlich eine Magnitude M_w 6.3. Das Epizentrum befand sich 6 km südwestlich von L'Aquila und 85 km nordöstlich der italienischen Hauptstadt Rom. Das Erdbeben war für die Stadt L'Aquila und die umliegenden Gebiete südöstlich des Stadtzentrums verheerend und forderte 304 Todesopfer. Seit dem Jahr 1980 in Irpinia mit 1500 Verletzten war dies das folgenschwerste Beben in Italien. Der Einsturz von Wohngebäuden, hauptsächlich von flachem, unverstärktem Mauerwerk, war der Hauptgrund für die Lebensgefahr, da die meisten Menschen beim Erdbeben schliefen. Die im Wohnungsbau beobachteten erheblichen baulichen Schäden führten zur vorübergehenden Evakuierung von 80.000 Einwohner*innen und machten 29.000 Menschen obdachlos. Des Weiteren erreichte die Erschütterung auch noch das 4 km nordöstlich vom Stadtzentrum gelegene Paganica und

Tempera, wo Spannungsrisse und ein Ausfall der Wasserleitung beobachtet wurden. (vgl. CIMELLARO et al. 2010: 1f)

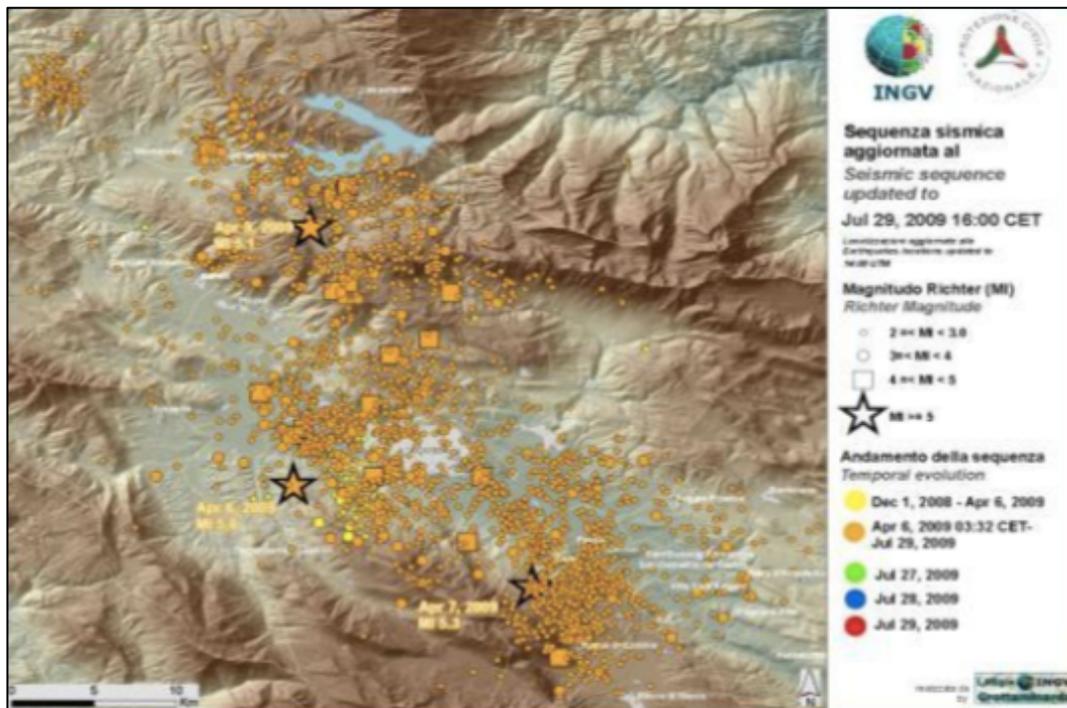


Abb. 6. Epizentren des Erdbebens seit 1. Dezember 2009 in L'Aquila (Quelle: CIMELLARO et al. 2010: 6)

5.3. Gebäudestrukturen und Zerstörungsmuster in der Provinz L'Aquila

Historische und monumentale Mauerwerkspaläste lassen sich sowohl aufgrund ihrer technologischen und konstruktiven Komplexität als auch aufgrund des nichtlinearen Verhaltens des Mauerwerksmaterials nur schwer analytisch abbilden. Daher ist die diagnostische Beobachtung von Gebäudeschäden nach einem Erdbeben ein wichtiges Instrument, um das komplexe seismische Verhalten von Mauerwerksgebäuden zu verstehen. (ebd. 39)

Das Erdbeben 2009 in L'Aquila hat gezeigt, dass die Erdbebenanfälligkeit historischer Gebäude aus Mauerwerk trotz – bzw. paradoxerweise sogar aufgrund - der verstärkten Nachrüstungsarbeiten in den letzten 50 Jahren zugenommen hat. Der italienische Erdbebenstandard empfahl die Verwendung traditioneller Techniken, wie beispielsweise das Ersetzen der ursprünglichen Holzdachkonstruktion durch neue Stahlbeton oder Stahlelemente, das Einsetzen von Stahlbetonringträgern in das Mauerwerk und neue Stahlbetonböden sowie

die Verwendung von Stahlbetonummantelungen an den Scherwänden. Das Erdbeben in L'Aquila hat zahlreiche Einschränkungen dieser Nachrüstungsmaßnahmen gezeigt, da sie zu erhöhten Erdbebenkräften (aufgrund des höheren Gewichts) und zu Deformationen führten, die mit den Mauerwerkswänden nicht vereinbar waren. Später wird darauf Bezug genommen, dass eine seismische Nachrüstung nicht immer bzw. nur zu einer leichten Verbesserung der seismischen Leistung der Gebäude geführt hat. (ebd.)

5.3.1. Gebäudestruktur und Zerstörungsmuster in Poggio Picenze

Poggio Picenze ist eine kleine Stadt auf einem Hügel in 760 m Höhe und liegt etwa 10 km südöstlich vom Zentrum L'Aquilas. Die Gemeinde hat ca. 1000 Einwohner und war eine der am stärksten betroffenen. Der größte Teil von Poggio Picenze wurde durch das Erdbeben teilweise zerstört, was sowohl erhebliche Schäden an den Gebäuden des historischen Zentrums als auch den Tod von fünf Menschen zur Folge hatte. (vgl. KRSTVSKA et al. 2010: o.A.) Es lässt sich festhalten, dass ca. 10.000-15.000 Gebäude zerstört oder beschädigt wurden. Vor allem viele kulturelle Stätten der Region, darunter romanische Kirchen, Paläste und andere Denkmäler aus dem Mittelalter und der Renaissance wurden zerstört. Der Gesamtschaden des Bebens wurde auf über 25 Mrd. € geschätzt. (vgl. FORMISANO et al. 2010: 2) Schon im Jahr 1672 ereignete sich hier ein schweres Beben. Die gesamte Stadt erlitt schwere Schäden, die umfangreiche Umbauarbeiten erforderten. Es musste damals das Schloss von Poggio Picenze abgerissen werden, da es stark vom Einsturz bedroht war. Ruinen dieses damaligen Schlosses sind im älteren Teil der Stadt noch immer sichtbar. Heutzutage besteht das historische Zentrum der Stadt aus Gebäudekomplexen, welche in der Regel aus zwei bis drei Stockwerken bestehen. Die Mauerwerke der Gebäude weisen eine chaotische Struktur im Inneren auf und auch der Beton ist von schlechter Qualität. In einigen Fällen wurden die Gebäude durch Metallverbindungen verstärkt. Im Allgemeinen stellt die horizontale Struktur der ersten Ebenen Gewölbeböden dar, während die anderen Ebenen aus Holz- oder Stahlböden bestehen. Die gebräuchlichste Dachart weist eine geneigte Form auf. Aus architektonischer Sicht sind die Türen, Balkone, Terrassen und Veranden in der Regel mit einheimischem Kalkstein verziert, dem sogenannten weißen Stein von Poggio Picenze, welcher leicht zu verarbeiten ist. (vgl. KRSTVSKA et al. 2010: o.A.)

5.3.2. Gebäudestruktur und Zerstörungsmuster in Castelvechio Subequo

Eine andere schwer zerstörte und alte Stadt ist Castelvechio Subequo. Die heutige Einwohnerzahl beläuft sich auf 1150. Das antike Zentrum der Stadt hat noch viele Elemente von historischem, künstlerischem und kulturellem Wert, obwohl sie durch vergangene und jüngste Erdbeben erheblichen Schaden erlitten hat. Ebenso befinden sich hier viele Denkmäler aus dem Mittelalter, dem Barock und der Renaissance, dies ist auch der Grund, warum die Gebäude der Stadt immer wieder restauriert werden.



Abb. 7. Castelvechio Subequo nach dem Erdbeben (Quelle: FLICKR Homepage)

Die Gebäude des historischen Zentrums, die von Wohnhäusern bis zu monumentalen Palästen reichen, sind in der Regel zwei bis vier Stockwerke hoch und sind oftmals in Felsvorsprüngen eingebettet. Alle Gebäude bestehen entweder aus unverstärktem Mauerwerk oder aus einfachen Steinkonstruktionen. Solche Arten von Mauerstrukturen haben im Allgemeinen schwache mechanische Eigenschaften aufgrund der Verwendung von schlechten Materialien. Die meisten Fußböden bestehen aus Stahlträgern und gewölbten oder flachen Fliesen. Die Dächer hingegen setzen sich aus Holzbalken mit Doppelrahmen zusammen, welche mit einem Belag aus Tonziegeln ummantelt sind. (ebd.: 2f)

In der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts wurden nach den Erdbebenereignissen in den Jahren 1958 und 1984 die Gebäude der Region L'Aquila mit traditionellen Techniken verstärkt. Folgende Maßnahmen wurden dabei angewandt:

- Installation metallische Verbindungen in den Böden entlang der Hauptrichtungen des Bauwerks, die mit Hilfe von Lagerplatten verankert wurden, um eine Verbindung zwischen den Wänden herzustellen und so zu einem kastenförmigen Verhalten des Gebäudes führen.
- Boden-Wand-Verbindungen, um sowohl die Strukturintegrität als auch die Membranwirkung sicherzustellen.
- Neue Ringbalken auf Ebene des Daches, um eine Verbindung zwischen den Wänden zu gewährleisten.
- Substitution beschädigter Dachkonstruktionen bei Holzneubauten. (ebd.: 3)

Spezifische Schäden nach den Erdbeben in Castelvecchio Subequo waren beispielsweise:

- Diagonale Scherrisse in den Mauerpfeilern
- Lokale Bruch des Mauerwerks mit oder ohne Materialausstoß
- Umkippen der gesamten Wand oder Biegen der Wände, dies wurde ausgelöst durch vertikale Risse an den Wandecken, diagonale Risse in den Querwänden oder durch Drehung der Wand, da diese durch das Erdbeben aus dem Lot gebracht wurde (siehe Abb. 8)
- Weiters lösten sich Boden- und Dachträger, da z.B. Verankerungen aus dem Boden gezogen wurden oder durch die Entstehung vertikaler Risse entlang der Grenzfläche zwischen zwei benachbarten Gebäuden.
- Umkippen von Gewölben oder Bögen, verursacht durch diagonale und vertikale Risse in den Mauerzwickeln, Querrisse in den Tunnelgewölben und durch Risse durch das Ablösen der Gewölbe aus den Wänden (siehe Abb. 9). (ebd.: 5)



Abb. 8. Umkippen der gesamten Wand und Risse in den Wandecken (Quelle: FORMISANO et al. 2010: 5)



Abb. 9. Lokale Schwachstellen sowie Querrisse in den Gewölben (Quelle: FORMISANO et al. 2010: 5)

Zusammengefasst kann festgehalten werden, dass die meisten Gebäude der kleinen Stadt Castelvechio Subequo aus minderwertigem Mauerwerk bestehen. Die Böden dieser Gebäude sind insgesamt leicht verformbar und dadurch leicht zu beschädigen, auch für nicht so starke Beben wie jenes in L’Aquila. Nach einigen Erdbeben in der Vergangenheit wurde eine Reihe von Stahlträgern als seismische Schutzmaßnahme eingesetzt. In einigen Fällen waren diese jedoch aufgrund der schlechten Konsistenz der Mauerwerkswände ineffektiv, weshalb viele Bruchstellen und Zerstörungen außerhalb der Bruchebene, festgestellt wurden. (vgl. FORMISANO et al. 2010: 5). Bei einer Belastung senkrecht zur Wandfläche treten im Mauerwerk je nach Lastabtrag Biegezugspannungen auf, die zu Bruchebenen senkrecht oder parallel zu den Lagefugen führen können (vgl. PCAE 2014: o.A.)

Bei korrekter Installation haben sich jedoch die durch das jüngste Erdbeben verursachten Schäden erheblich gemindert, was zu Versagen in der Ebene und nicht zu Versagen außerhalb der Ebene geführt hat. (vgl. FORMISANO et al. 2010: 5)

5.3.3. Gebäudestruktur und Zerstörungsmuster im Stadtzentrum

Im Folgenden wird nun die Mauerwerksstruktur der Gebäude im Zentrum L'Aquilas näher erläutert. Die ersten Einwohner verzeichnete L'Aquila um das 13. Jahrhundert, daher weist die Stadt viele historische Strukturen auf. Wie bereits erwähnt ist der Hauptbaustoff der Gebäude unverstärktes Mauerwerk, welches aus Schotter, Ziegeln und Hohlziegeln besteht. Mehrere zusammenhängende Gebäude dieses Materials erlitten den schlimmsten Schaden. Zusätzlich befinden sich in diesen Gebäuden schwache Holzbodensysteme und Wellblechdächer. Weiteres besteht zumeist keine Verbindung zwischen den tragenden Wänden der Häuser, was wiederum zu einem der größten Nachteile bei möglichen Erdbeben zählt. Beim Erdbeben 2009 entsprach die Qualität der Materialien vieler, schon älterer, Gebäude nicht der Norm. Andererseits stürzten auch mehrere modernere Gebäude, aus nicht duktilen Betonrahmen ein. Eine schlechte Betonqualität und unzureichende Bewehrungsdetails verursachten Schäden an Stahlbetonkonstruktionen. Darüber hinaus wurden häufig strukturelle Mängel, wie nicht duktile Details, starke Balken aber schwache Säulen beobachtet. (vgl. KAPLAN et al. 2010: 499)

Bauschäden an Stahlbetonbauten:

Beschädigungen an verstärkten Bauteilen können in zwei Gruppen eingeteilt werden. Einerseits spielt der Zusammenbruch nichttragender Wände und andererseits das Versagen verstärkter, jedoch spröder Rahmenbauteile eine Rolle. Viele der Einstürze von Stahlbetonkonstruktionen während des Erdbebens könnten auf die schlechte Bauqualität und die Verwendung nicht-duktiler Details, welche beispielsweise von Baufirmen übersehen wurde, zurückzuführen sein. Bei der Inspektion eingestürzter und beschädigter Gebäude wurde festgestellt, dass sehr wenig bzw. kein seismisches Design beim Entwurf und Bau der Gebäude implementiert wurde. In RC-Gebäuden (reinforced concrete) sollten Schwerwände verwendet werden, um Erschütterungen eines Erdbebens zu widerstehen. In L'Aquila wurden jedoch in mehrstöckigen RC-Gebäuden keine Scherwände verwendet. Viele dieser Gebäude waren mit zwei Trennwänden an den Seiten des Gebäudes errichtet worden, wobei die innere dabei als Füllwand dient. Die äußeren

Wände wurden so konstruiert, dass sie für Balken und Säulen zur Isolation zur Verfügung stehen. Obwohl dies eine gute Lösung zur Verhinderung von Wärmebrücken darstellte, wiesen sie eine sehr geringe Widerstandskraft außerhalb der Ebene auf. Viele dieser Mauern stürzten ein, was zu großen Schäden führte. (ebd.: 502f)

Isolierte Seitenwände wurden nicht mit Mauerwerksankern am Tragwerk verankert. Füllwände wurden in Kontakt mit dem Tragwerksrahmen gebaut und erhöhten die Tragfähigkeit des Rahmensystems. Schäden an den Mauerwerkswänden konzentrierten sich aufgrund höherer Scherkräfte in diesem Bereich auf die unteren Geschosse der Gebäude. Abb. 6 veranschaulicht typische Schäden an Füllwänden an zwei Gebäuden im Zentrum von L'Aquila. (ebd.: 503)



Abb. 10. Typische Hohlziegel aus Ton, die in Füllwänden verwendet werden (Quelle: KAPLAN et al. 2010: 504)

Bei vielen der sogenannten RC-Bauten wurde eine schlechte Betonqualität nachgewiesen, wie in Abb. 11a gut zu erkennen ist. Eine schlechte Detailierung von RC-Abschnitten und Fugen haben dazu geführt, dass Strukturelemente spröde werden und Scherversagen auftritt. (ebd.) In Abb. 11b und Abb. 11c ist ein Scherbruch der Verbindungen zwischen Balken und Säulen sowie an den Stützsäulen zu erkennen. (ebd.)



Abb. 11a. Zuschlagstoff für Beton ohne Korngrößenverteilung



Abb. 11b. Scherbruch an Balken-Säulen Verbindungen

(Quelle: KAPLAN et al. 2010: 504)



Abb. 11c. Scherbruch der Stützsäule

Bauschäden an Gebäuden aus Mauerwerk

Mauerwerksbauten, die ältesten baulichen Strukturen, sind vor allem bei niedrigen Geschoßen nach wie vor beliebt. Trotz ihres komplexen Verhaltens während eines Erdbebens sind erdbebensichere Mauerwerke ein bekanntes Thema für Bauingenieur*innen. Diese haben sich mittlerweile ein breites Wissen zugelegt und aus den vergangenen Untersuchungen beschädigter Gebäude nach Erdbeben gelernt. Einige dieser Gebäude waren von historischem Wert. Vieler dieser beschädigten historischen Monumentalbauten bestanden aus Stein- und Bruchsteinmauerwerk mit geringer Bauqualität. In ähnlicher Weise wurden auch andere Mauerwerksgebäude in ländlichen Siedlungsgebieten von L’Aquila in der Regel aus Schutt und schweren Blöcken errichtet, welche auch nicht erdbebensicher gebaut wurden. Ist das Material

innerhalb und außerhalb des Mauerwerks nicht oder nur schwach verbunden, führt dies zu Instabilität und damit zum Versagen der ganzen Mauer. Diese Art von Bauwerk ist gefährdet leicht außerhalb der Ebene einzustürzen, wenn das innere und äußere Material wie in Abb. 12b angeordnet wurde. (vgl. KAPLAN et al. 2010: 503)

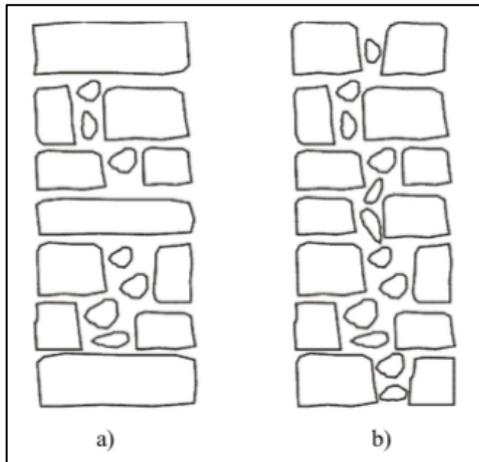


Abb. 12a. Richtige Anordnung des Mauerwerks

Abb. 12b. Falsche Anordnung des Mauerwerks (Quelle: KAPLAN et al. 2010: 505)

Ein weiterer Grund für Ausfälle außerhalb der Eben sind schlecht verbundene Querwände. In vielen Fällen überlappen Mauersteine an den Eckpunkten der Gebäude nicht richtig, um eine erdbebensichere Verbindung zu gewährleisten. Dies ist die Ursache, dass die Wände in den Anfangsstadien des Bebens getrennt werden. Danach kam es aufgrund schlechter Rückhaltebedingungen zu Ausfällen außerhalb der Ebene. Dieses Problem ist in Abb. 13 gut erkennbar. (ebd.: 504)



Abb. 13. Schlecht verbundene Querwände – Zerstörung außerhalb der Ebene (Quelle: KAPLAN et al. 2010: 506)

Bei Abb. 14 kann ein weiteres Problem beobachtet werden, nämlich Schäden, die beim Verbinden von sich kreuzenden Wänden beobachtet wurden. (ebd.)



Abb. 14. Schäden durch die Verbindung von sich kreuzenden Wänden (Quelle: KAPLAN et al. 2010: 506)

Wie schon des Öfteren erwähnt ist L'Aquila geprägt von vielen historischen Gebäuden. Einige dieser geschichtlichen Bauwerke sind auch Kirchen. Die Kirche Santa Maria del Suffragio in L'Aquila wurde schwer beschädigt, jedoch wurden die darin aufbewahrten Überreste von Papst Celestina V kurz nach dem Erdbeben aus der Basilika geborgen. (ebd.)

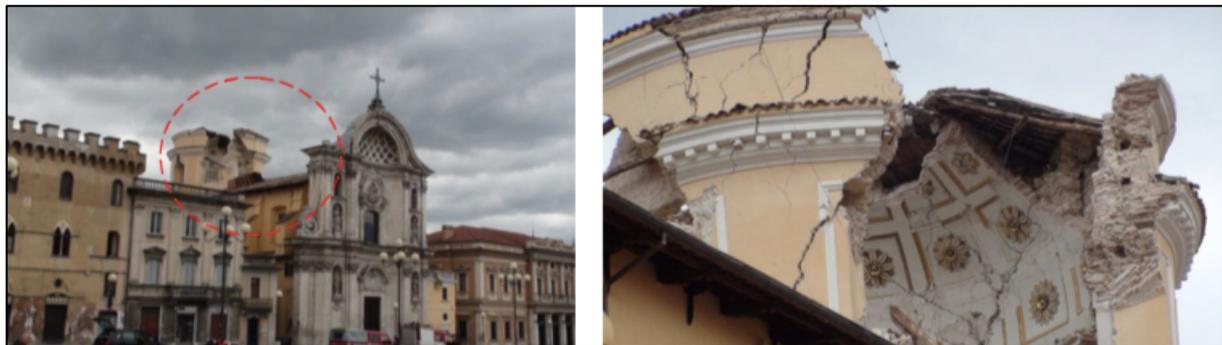


Abb. 15. Schäden an sich kreuzenden Wänden (Quelle: KAPLAN et al. 2010: 506)

Obwohl das Beben mit einem M_w von 6,3 nicht extrem stark war, verursachte es doch erhebliche Schäden an vielen Stahlbeton- und Mauerwerksgebäuden. Die Erfahrungen mit dem Erdbeben in L'Aquila zeigen, dass eine erhebliche Lücke zwischen den Anforderungen der modernen Erdbebencodes (engl. = modern seismic codes) und der Baupraxis, neben Städten wie L'Aquila auch insbesondere in ländlichen Gebieten, besteht. Neben der schlechten Konstruktion und der Verwendung von nicht duktilen seismischen Details waren hohe spektrale

Beschleunigungen die Hauptgründe für die meisten Ausfälle von Stahlbetongebäuden. Weiter Gründe waren beispielsweise folgende:

- Schlechte Betonqualität bei vielen RC-Gebäuden.
- In den beschädigten RC-Gebäuden wurden keine Schwerwände gefunden, welche die Wände unterstützen sollten. Stützsäulen waren ebenfalls zu dünn und von schlechter Betonqualität.
- Nichttragende Wände von RC-Gebäuden wurden nicht richtig am Rahmen festgemacht, daher kam es zu vielen Problemen außerhalb der Ebene dieser Wände.
- Im Allgemeinen hatten die Außenwände zwei Schichten, in denen sich Isolationsmaterial befand. Die nicht verankerten Außenwände wurden bei diesem Erdbeben schwer beschädigt und versagten außerhalb der Ebene. (vgl. KAPLAN et. al 2010: 504f)

6. Wiederaufbau der Stadt nach dem Erdbeben in L'Aquila

Die Innenstadt von L'Aquila musste wiederhergestellt werden, um einen sichereren Ort zu schaffen an dem die neu gebaute Umgebung für zukünftige Naturereignisse jeglicher Art gewappnet ist. (vgl. Cimellaro et al. 2010: 229f) Das untersuchte Gebiet des historischen Zentrums von L'Aquila umfasste 753 Gebäude. Es wurde festgestellt, dass der Anteil der Gebäude, die als teilaktiv eingestuft wurden, zwischen 2010 und 2016 um mehr als 4% auf 1% abgenommen hat. Der Anteil der rekonstruierten Gebäude stieg von 5% im Jahr 2010 auf über 20% im Jahr 2016. Der Anteil der zur Rekonstruktion geplanten Gebäude stieg von 2% im Jahr 2012 auf 4% im Jahr 2014, ging jedoch 2016 auf 3% zurück. Der prozentuale Anteil gestützter Gebäude, welche noch immer eine strukturelle Unterstützung benötigen stieg signifikant von nur 4% im Jahr 2010 auf über 29% im Jahr 2012. Der Anteil dieser Gebäude ging jedoch auf 16% im Jahr 2016 zurück. Der Anteil der bewohnten Gebäude erreichte 2012 einen Rekordwert von 15%, gegenüber 13% im Jahr 2010. Danach ging der Anteil der bewohnten Gebäude von 9% im Jahr 2014 auf 8% im Jahr 2016 weiter zurück. Der prozentuale Wert der Gebäude mit Nutzungsbeschränkungen (unbewohnt) sank von 82% im Jahr 2010 kontinuierlich auf 44% im Jahr 2012, auf 9% im Jahr 2014 und auf 7% im Jahr 2016, was ein weiteres Zeichen für Fortschritte im Erholungsprozess von L'Aquila ist. Der Anteil der abgerissenen Gebäude belief

sich 2014 auf 3%, 2012 sank dieser auf 1%, stieg jedoch 2018 stieg dieser wieder auf 2% an. Der Anteil der beschädigten Gebäude im Untersuchungsgebiet in der Innenstadt von L'Aquila blieb bei 23% im Jahr 2014 und ging im Jahr 2018 auf 20% zurück. Die eben schriftlich festgehaltenen Ergebnisse sind in Abb. 16 und in Tab. 1 dargestellt. (vgl. CONTRERAS et al. 2018: 456)

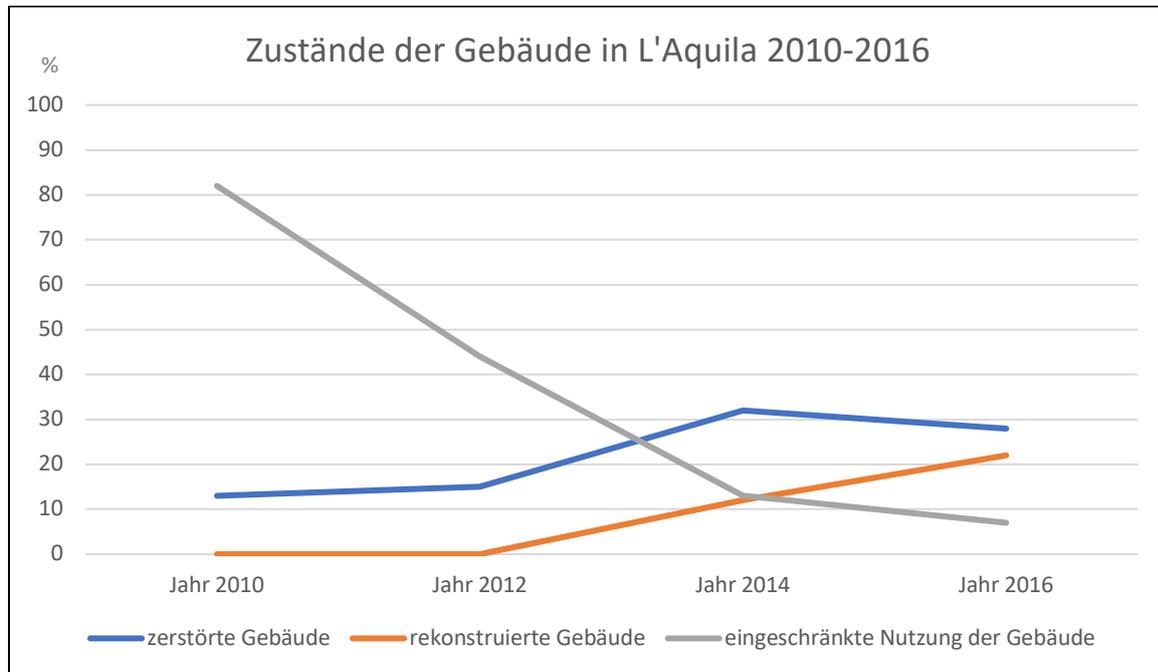


Diagramm 1. Zustände der Gebäude in L'Aquila 2010-2016

Unter Verwendung des gleichen Untersuchungsgebiets und der gleichen Probengröße (743 Gebäude) zur Überwachung des Gebäudezustandes von 2010 und 2016 wurde festgestellt, dass der Anteil unbewohnter Gebäude in der ehemaligen Sperrzone seit 2010 leicht zurückgegangen ist. Im Jahr 2010, also ein Jahr nach dem Erdbeben, waren noch 86% der Gebäude unbewohnt. Bis 2012 sank der Anteil unbewohnter Gebäude auf 81% und auf 75% im Jahr 2014, während er hingegen 2016 bei ebenfalls 75% blieb. (ebd.) Es kann also festgehalten werden, dass eine sukzessive Verbesserung, sowohl bei der Wohnsituation der Bürger*innen, als auch beim Aufbau zerstörter Gebäude zu verzeichnen ist, wobei der Verbleib der 75% zwischen 2014 und 2016 bedenklich ist. In der vorliegenden Arbeit von Contreras et al. (2018: 458) wurde nicht nur der Fortschritt des Wiederherstellungsprozesses in der physikalischen Dimension gemessen, sondern es wurde untersucht auf welche Art und Weise die Gebäude verwendet werden, um die sozioökonomische Situation auf lokaler Ebene zu verstehen. Dies ist der Hauptgrund für die Überwachung der Änderung in der Gebäudenutzung, wie z.B. Gewerbe, Verkehr, Büro,

Industrie, Ausstattung und Hotels. Diese Einrichtungen sind wichtig, da sie sowohl Dienstleistungs- als auch Beschäftigungsquellen sind, die zur Funktionalität der Stadt beitragen. (ebd.)

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass sich einige beschädigte und gestützte Gebäude in L'Aquila seit sieben Jahren im gleichen Zustand befinden, da noch keine Eigentümer*in oder Behörden eine Entscheidung über ihre Zukunft getroffen haben. Der Grund könnte mit Eigentumsrechten zusammenhängen. Dieser Umstand hat den Wiederaufbau des Stadtzentrums erheblich verzögert, da finanzielle Zuschüsse für die Reparatur oder den Wiederaufbau nur dem/der offiziellen Eigentümer*in zugeteilt werden dürfen. Einige gestützte bzw. sanierte Gebäude wurden teilweise in Betrieb genommen, ebenso wurden einige Geschäfte im Erdgeschoß eröffnet, während die oberen Etagen zwischen 2010 und 2014 leer blieben. Im Jahr 2016 wurde beobachtet, dass Gebäude nicht repariert, sondern rekonstruiert wurden. Dieser Schritt kann bei einem Wiederherstellungsprozess zweideutig interpretiert werden, da es sich um eine Verbesserung des Gebäudezustands, jedoch um einen Rückschritt in Bezug auf die Gebäudenutzung handelt. Es wurde festgestellt, dass die Anzahl der rekonstruierten Gebäude, welche sich im laufenden Bau befinden und die Anzahl der bewohnten Gebäude seit dem Jahr 2014 erheblich zugenommen haben. Hingegen stieg die Zahl der abgerissenen Gebäude, sowie die Gebäude mit Nutzungsbeschränkungen. Die Anzahl der Gebäude mit Wohn- und Geschäftsnutzung ist entlang der Hauptstraßen bis 2016 gestiegen. (ebd.: 460f)

Wie schon des Öfteren in dieser Diplomarbeit erwähnt, ist L'Aquila bekannt für historische Gebäude und Denkmäler. Hier liegt das Problem des Wiederaufbaus dieser geschichtsträchtigen Bauten. Da diese Gebäude Teil des kulturellen Erbes sind und entsprechend den besonderen Erhaltungserfordernissen wiederaufgebaut werden müssen, nimmt dies einige Zeit in Anspruch, welche dann beim Wiederaufbau von Wohngebäuden etc. fehlt. Somit wird auch die Möglichkeit einer raschen Wiederansiedlung der Bewohner*innen verhindert. Darüber hinaus gibt es viele Einrichtungen wie Schulen und Büros, die bis heute umgebaut werden müssen, um zu einem funktionierenden Lebensumfeld in L'Aquila beizutragen. (ebd.: 461)

6.1. Probleme beim Wiederaufbau nach dem Erdbeben in L'Aquila

Im Jahr 2012 wurden an einigen Orten in der Provinz L'Aquila Maschinen und Lastwägen beobachtet, welche noch immer damit beschäftigt waren, Trümmer des Erdbebens vom Jahr 2009 zu beseitigen. Dies kann auf ein schlechtes Abfallmanagement in der Region hinweisen, wodurch der Wiederaufbau der Stadt und die Rückkehr normaler wirtschaftlicher Aktivität verzögert wird. Dies sind die Hauptgründe für die Enttäuschung der Bewohner*innen von L'Aquila. (vgl. CONTRERAS et al. 2014: 130) In Abb. 16a und 16b können die Unterschiede vor dem Ereignis und vier Jahre nach dem Beben beobachtet werden. Das historische Zentrum von L'Aquila hat heute noch den Charakter einer Geisterstadt, obwohl einige Cafés sowie Hotels wieder geöffnet haben. Die meisten der Gebäude wurden vorübergehend verstärkt, um sie einsturz sicher zu machen. (vgl. MERGILI.at 2012: o.A.)



Abb. 16a. Palazzo Margherita einige Monate (6. April 2009) vor dem Erdbeben (Quelle: MERGILI.AT Homepage)



Abb. 16b. Palazzo Margherita vier Jahre nach dem Erdbeben (Quelle: MERGLI.AT Homepage)

Zur Verbesserung des Stadtbildes und um die Verärgerung der Bewohner*innen gering zu halten, wurden beispielsweise entlang der Straße Vittorio Emanuele Pflanzen vor den Säulen des Gebäudes, zu sehen in Abb. 18, positioniert. Diese Maßnahmen der Stadt sind ein Anzeichen für die Erholung und die Wiederbelebung des gewerblichen Treibens. (ebd.)

a)



b)



Abb. 17a. Keine Pflanzen vor der Baustelle in der Straße Vittorio Emanuele

Abb. 17b. Pflanzen vor der Baustelle in der Straße Vittorio Emanuele (Quelle: CONTRERAS et al. 2014: 131)

Ein weiteres Beispiel der Stadtverschönerung ist vor diesem Geschäft zu finden. Die beiden Bilder sind im Abstand von zwei Jahre gemacht worden. Das erste Bild ein Jahr nach dem Erdbeben, also im Jahr 2010 und das zweite im Jahr 2012. (ebd.)

a)



b)



Abb. 18a. Bar-Caffetteria-Gelateria Fratelli Nurzia (2010)

Abb. 18b. Bar-Caffetteria-Gelateria Fratelli Nurzia (2012) (Quelle: Quelle: CONTRERAS et al. 2014: 131)

Einige Gebäude weisen seit 2010 Fortschritte beim Wiederaufbau auf (Abb. 20.), andere befinden sich zwei Jahre später noch im selben Zustand (Abb. 21.). Das erste Bild zeigt jeweils den Zustand des Gebäudes im Jahr 2010, das zweite zeigt die Beschaffenheit im Jahr 2012. (ebd.)



Abb. 19. Santa Maria de Collemaggio im Jahr 2010 im Vergleich zum Jahr 2012 (Quelle: CONTRERAS et al. 2014: 132)



Abb. 20. Studierendenwohnheim im Vergleich zwischen 2010 und 2012 (Quelle: CONTRERAS et al. 2014: 132)

Jedoch befinden sich in der Region L'Aquila auch Gebäude, welche eine Verschlechterung innerhalb dieser beiden Jahre aufweisen. (ebd.)



Abb. 21. Porta Napoli im Vergleich zwischen 2010 und 2012 (Quelle: CONTRERAS et al. 2014: 132)

In Bereichen des Stadtzentrums von L'Aquila wie der in Abb. 22 ersichtlichen Porta Napoli war es für Forscher*innen aufgrund der hohen Heterogenität schwierig, den Zustand der Gebäude abzubilden. In nur einem Wohnblock befinden sich bewohnte Gebäude, Gebäude im Umbau oder scheinbar verlassenen Gebäude. An manchen Stellen taten sich die Forscher*innen schwer, zwischen mangelnder Wartung und Schäden durch das Erdbeben zu unterscheiden. Dies kann auch zu Schwierigkeiten bei der Feststellung führen, ob das Haus bewohnt oder

verlassen wurden. Wird ein Blick auf die neuen Siedlungen im Osten von L'Aquila geworfen, konnten Gebäude in allen verschiedenen Zuständen festgestellt werden. (ebd.: 131)

Als Ergebnis für dieses Kapitel lässt sich festhalten, dass der Wiederaufbauprozess in L'Aquila nicht als schnell oder langsam beurteilt werden kann, da eine große Vielfalt des Zustands der einzelnen Gebäude besteht. Die Verwaltung der Stadt bemüht sich, die Region wieder lebenswerter und freundlicher zu gestalten, einerseits mit sukzessiver Verbesserung der Gebäude und andererseits beispielsweise durch Verschönerungen des Stadtbildes durch Pflanzen und anderen visuellen Gegenständen.

Das folgende Kapitel handelt von Wohnprojekten, welche von der Stadt initiiert wurden, um die Bewohner*innen der Stadt möglichst schnell wieder anzusiedeln bzw. ihnen wieder eine Eingliederung in ein normales Leben zu ermöglichen.

6.2. Wohnprojekte nach der Zerstörung in L'Aquila

Aufgrund des urplötzlichen Auftretens eines Erdbebens sind die Bewohner einer Stadt oder eines Dorfes nicht darauf vorbereitet. Im Fall von L'Aquila waren ungefähr 67.000 Personen von der plötzlichen Obdachlosigkeit betroffen. In den meisten Fällen kommt es zu einem Übergang von improvisierten Unterkünften, wie beispielsweise Autos, Bussen oder unbeschädigten öffentlichen Gebäuden usw. zur Übergangssiedlung und dann zum Wiederaufbau von dauerhaften Wohngebäuden. (vgl. ALEXANDER 2013: 62) Die Entscheidung, Überlebende des Erdbebens in L'Aquila sechs bis neun Monate lang in Zelten und Hotels unterzubringen, war im weltweiten Vergleich ungewöhnlich. Klimatisch war die längere Nutzung von Zelten möglich, da der Zeitraum der Tragödie Frühling und Sommer umfasste, obwohl es im Hochsommer Probleme mit sehr hohen Temperaturen und starken Regenfällen mit örtlich begrenzten Überschwemmungen gab. Bei den 171 Zeltlagern handelte es sich um kleine, in sich geschlossene Einheiten, die an einem beliebigen Ort innerhalb oder in der Nähe der beschädigten Siedlung errichtet wurden. In bestimmten Fällen führten hartnäckige Sicherheitsmaßnahmen dazu, dass sich einige Anwohner*innen beschwerten wie in einem Konzentrationslager aufbewahrt zu werden. Im Wesentlichen funktionierte die Lösung jedoch. (ebd.) Ein Drittel der Überlebenden fand eine eigene Unterkunft, ein Drittel wurde in Zelten untergebracht und der Rest konnte sich einen Platz in einem Hotel sichern. Das Problem der Unterbringung in Hotels war jedoch, dass sich die meisten Hotelunterkünfte in der Nähe der

Adriaküste und in beträchtlicher Entfernung von L'Aquila befanden. Zusätzlich führt die Route an einer natürlichen Barriere vorbei, nämlich dem Gran Sasso d'Italia, dem höchsten Berg in Apennin Italien. In den meisten Fällen betrug die Reisezeit zwischen den Hotels und der Stadt L'Aquila mehr als eine Stunde. In der frühen Phase nach der Katastrophe traten mehrere Probleme auf, die später chronisch werden sollten. Zu erwähnen sind hier die Verschlechterung der Infrastruktur sowie der Dienstleistungen im betroffenen Gebiet, aber auch der Verlust produktiver Arbeitsplätze. Das Problem ist jedoch, dass gerade Gegenden nach einem Unglück vermehrt Arbeits- und Einkommensquellen benötigen. Vor allem die Bauindustrie ist hier gefragt. Dies führt vorübergehend zu einem Boom in der Bauindustrie aufgrund des Wiederaufbaus. Andere Wirtschaftszweige erfahren jedoch einen Rückgang ihrer Produktivität. Da sich andere Wirtschaftszweige in dieser Zeit nicht erholen konnten, wurden einige Gebäude nicht fertiggestellt. Es wird berichtet, dass im Jahr 2009 25.000 Arbeitsplätze verloren gingen, 16.000 davon in der Provinz L'Aquila. Ganz klar ist in diesem Fall der Verlust der Arbeitsplätze durch das Erdbebenereignis. Angesichts des Verlusts von Unterkünften verließen viele Fachleute das Gebiet. Der Hauptarbeitgeber in L'Aquila ist die Universität, bei der es zu massiven Beschädigungen und sogar Zerstörungen der Gebäude kam. Seit dem Erdbeben stagniert die Wirtschaft und ist sogar rückläufig. (ebd.: 62f) Die Entscheidung, den italienischen G8-Gipfel von La Maddalena auf Sardinien nach L'Aquila zu verlegen, wurde zu dieser Zeit (Juli 2009) als ein Zeichen der Solidarität mit den Opfern des Erdbebens gesehen. Leider hatte dieses Zeichen der Politik wenig Einfluss auf die Notlage der Bevölkerung. Die Infrastruktur beispielsweise wurde nur zu einem sehr kleinen Teil verbessert. Von den ausländischen Mächten wurden Gelder auf dem G8-Gipfel zugesagt, welche jedoch nie zustanden kamen. Trotz alledem konnten im Herbst 2009 24.000 Obdachlosen Unterkünfte zur Verfügung gestellt werden. Zusätzlich wurde das CASE-Projekt (Complessi Antisismici Sostenibili ed Ecocompatibili) ins Leben gerufen, dabei wurden 184 Wohneinheiten an 19 Standorten für 15.500 Einwohner gebaut. (ebd.: 63)



Abb. 22. CASE-Projekt (Quelle: SYPRI HOMEPAGE)

Diese zwei- oder dreistöckigen Gebäude sind gegen Erdbeben isoliert. Sie bestehen aus Holz mit Betongrundplatten und Stahlrahmen. Eine kostengünstigere Variante bieten die MAPs (Moduli Abitativi Provvisori), die an mehr als 50 Standorten errichtet wurden, darunter befinden sich rund die Hälfte direkt in L'Aquila und sichern 8.500 Überlebenden eine neue Unterkunft. Während der Preis für eine vorgefertigte Basiswohnung dieser MAPs von 40 m² zwischen 12.000 und 15.000 € liegt, kosten die CASE-Wohneinheiten mehr als das 20-fache bzw. durchschnittlich 280.607 €. Aufgrund dieser Projekte fanden in nur sechs bis neun Monaten mehr als 15.000 Menschen in Neubauten am grünen Stadtrand von L'Aquila ihr neues Zuhause. In der Literatur wird leider nicht erwähnt, ob es auch die Möglichkeit einer Einmietung anstatt eines Kaufes einer Wohnung gibt, da diese für viele Bewohner*innen nur eine Übergangslösung darstellte. Die beiden Projekte repräsentieren die neueste Entwicklung und extravaganteste Form der vorgefertigten Übergangsunterkünfte nach einer Katastrophe. Natürlich gehen mit dieser Lösung auch einige Probleme einher. (ebd.)

- Haltbarkeit und Wartung - Gebäude, die einen hohen Holzanteil enthalten, erfordern einen kontinuierlichen Wartungszyklus, jedoch hat die Stadt L'Aquila damit wenig Erfahrung. Bereits nach wenigen Monaten konnten erste Anzeichen eines Verfalls erkannt werden. Hinzukommt, dass das Klima in diesem Gebiet zu den extremsten in Italien zählt.

- Langlebigkeit und zukünftige Verwendung – In den Plänen für die CASE und MAP-Einheiten gibt es keine Hinweise auf die Lebensdauer oder die zukünftige Nutzung der Gebäude bzw. ihrer Standorte. Es wurde diskutiert, diese eventuell als Studierendenwohnheim zu benutzen. Solche enormen Investitionen implizieren, dass die Übergangunterkünfte Jahrzehnte und nicht Jahre umfassen werden. Auch in anderen italienischen Städten, wie beispielsweise beim Erdbeben in Messina 1908, sind noch Überreste von Beherbergungsstätten zu finden.
- Mangel an Dienstleistungen und öffentlichen Verkehrsmitteln – CASE und MAP bieten an jedem Standort Platz für bis zu 2.500 Personen. Jedoch liegt hier das Problem bei der Grundversorgung und dem schlechten Netz an öffentlichen Verkehrsmitteln. Somit werden der soziale Aspekt und die Teilhabe am funktionalen Leben leider nicht durch die bloße Bereitstellung von Wohnräumen unterstützt. (ebd.: 63ff)

Um einige Probleme solcher Übergangunterkünfte aufzuzeigen, reichen die genannten Beispiele aus. In der Praxis stellen diese eine größere Vielfalt dar (ebd.)

Nach Erläuterung der Situation in L'Aquila wird nun eine zweite Stadt zum Vergleich herangezogen, um möglicherweise Zusammenhänge bzw. Unterschiede der Zerstörung und des Wiederaufbaus der beiden sozioökonomisch unterschiedlichen Räume zu erkennen. Die Stadt, welche an dieser Stelle als Vergleich hinzugezogen wird ist Christchurch. Im Folgenden wird die Stadt auf die gleiche Art und Weise analysiert, um Ergebnisse der Zerstörungsmuster sowie des Wiederaufbaus daraus abzuleiten.

7. Zerstörungsmuster in der Stadt Christchurch

In diesem Kapitel werden die Zerstörungsmuster und die Dimension der Katastrophe in der Stadt Christchurch (Neuseeland) erörtert. Aus den zuvor bearbeiteten Kapiteln zu den Zerstörungen in L'Aquila kann bereits ein Resümee gegeben werden, welches jedoch erst am Ende dieser Diplomarbeit präsentiert wird, um beide Städte gegenüberzustellen und Gemeinsamkeiten bzw. Unterschiede erkennbar zu machen.

7.1. Tektonische Gegebenheiten in Neuseeland

In Neuseeland sind vor allem zwei große Erdplatten für die tektonische Lage des Landes verantwortlich. Einerseits die Australische Kontinentalplatte und andererseits die Pazifische Platte. Die Grenze dieser Platte verläuft quer durch die neuseeländische Südinsel, weiter nordöstlich an der Nordinsel entlang. Neben den beiden großen Platten kommt eine „Mikroplatte“, im Norden der Insel, hinzu, nämlich die Kermadec-Erdplatte. (vgl. erdbeben.de o.J.)



Abb. 23. Tektonik Neuseelands (Quelle: BRADLEY und CUBRINOVSKI 2011: 181)

Sowohl im Norden als auch im Süden besteht die Gefahr teils heftiger Erdbeben. Auf der Nordinsel befinden sich zahlreiche Vulkane, welche ein Indiz für die ständige Aktivität im

Untergrund darstellen. Auch die Neuseeländischen Alpen auf der Südseite sind ein Resultat der Plattenbewegungen. Entlang der Alpine Fault treffen die Erdplatten aneinander vorbei und verhaken sich, was zu einer sogenannten Blattverschiebung führt. (vgl. das-erdbeben.de o.J.) Eine Blattverschiebung beschreibt eine Deformation in kontinentaler und ozeanischer Kruste, diese kann in unterschiedlichen Maßstäben auftreten. (vgl. Burg 2010: 159) „Blattverschiebungssysteme sind verhältnismäßig enge und sub-vertikale Zonen, entlang denen die dominierende Bewegung der angrenzenden Blöcke horizontal und parallel zum Streichen der Zone (wrench zone) verläuft“ (BURG 2010: 159). Diese können beispielsweise an Transformplattengrenzen, an denen sich die Platten horizontal gegeneinander verschieben, entstehen. (vgl. BURG 2010: 159) „Die Richtung der streichenden horizontalen Verschiebung auf einer Blattverschiebung wird mit den Ausdrücken linkssinnig (im Uhrzeigersinn; sinistral) und rechtssinnig (gegen den Uhrzeigersinn; dextral) gekennzeichnet“ (BURG 2010: 160).

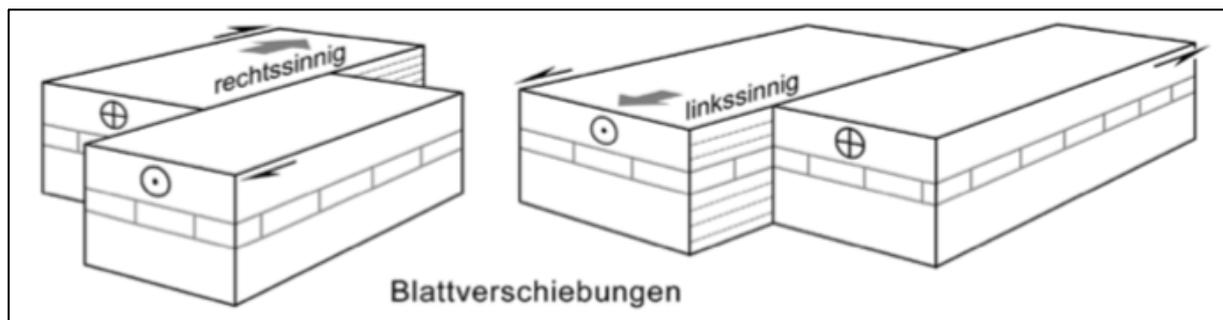


Abb. 24. Blattverschiebung rechts- und linkssinnig (Quelle: BURG 2010: 160)

In den Südalpen und im östlichen Voralpenland wurden zahlreiche Störungen festgestellt, zudem traten in den letzten 150 Jahren in dieser Region vermehrt bedeutende Erdbeben auf, insbesondere das bereits erwähnte Erdbeben M_w 7.1 in Darfield am 4. September 2010. Christchurch liegt in der Ebene von Caterbury, einer Fächerlagerstätte, die sich aus den zahlreichen Flüssen ergibt, die von den Ausläufen der Südalpen nach Osten fließen. Die in der Nähe von Canterbury liegenden Ebenen bestehen aus einer komplexen Mischung von Kies, welche in Schlick, Lehm, Torf und Muschelsand eingebettet ist. Die postglaziale „Christchurch – Formation“, die durch Mündungs-, Lagunen-, Dünen- und Küstensumpfablagerungen entstanden ist, ist die vorherrschende oberflächengeologische Schicht im Gebiet von Christchurch, die bis zu 11 km westlich der Küste zu finden ist und weist eine Tiefe von etwa 40 km entlang der Küste auf. (vgl. BRADLEY und CUBRINOVSKI 2011: 182)

7.2. Erdbeben in Christchurch am 22. Februar 2011

Am 22. Februar 2011 um 12:51 Uhr wurde die neuseeländische Stadt Christchurch von einem unerwartet starken M_w 6,3 Erdbeben heimgesucht. Die Folge waren ca. 180 Todesopfer und sozioökonomische Verluste in bisher unbekannter Höhe. Mehr als 50% der Gebäude im CBD (Central Business District) wurden schwer beschädigt, davon sind 25-30% irreparabel. Wissenschaftler*innen waren sehr interessiert, die Schäden an Gebäude und Brücken nach der Katastrophe zu untersuchen, da Neuseeland einen hohen Standard erdbebensicherer Konstruktionen aufweist und seit den frühen 1980er Jahren weltweit eine Vorreiterrolle innehat. Dieser Fakt war für die Wissenschaftler*innen der Grund das Verhalten der modernen, nach Kapazitätsbemessungsprinzipien ausgelegten, Gebäude zu untersuchen, um zu sehen, warum die Gebäude trotz erdbebensicherer Bauweise einstürzten. (vgl. ZAHN 2011: 836)

Bevor näher auf die Zerstörungsmuster der Gebäude eingegangen wird, müssen noch einige Parameter zum Ereignis geklärt werden.

Ein großes Problem bei diesem Erdbeben waren die Überschwemmungen, welche durch das Erdbeben ausgelöst wurde, aber auch Steinschläge und abgestürzte Hänge forderten weitere Todesopfer und machten hunderte Wohnhäuser unsicher. Es wurde geschätzt, dass ca. 10.000 Wohnhäuser und ca. 900 andere Gebäude, die meisten davon im CBD abgerissen werden mussten. Dies war das zerstörerischste Erdbeben in Neuseeland seit dem Beben von 1931 in Hawkes Bay. Die Gesamtkosten für Reparaturen wurden auf 15 bis 20 Milliarden NZ \$ geschätzt. Somit ist das Erdbeben in Christchurch das teuerste in der neuseeländischen Geschichte. Interessant ist, dass das genannte Erdbeben eigentlich nur ein Nachbeben des M_w 7.1 Erdbebens in Darfield war, welches sich am 4. September 2010 ereignete hatte. Das Darfield-Erdbeben war ein Ereignis mit einer geringen Anzahl von Nachbeben, jedoch verursachte es einen ca. 30 km langen Oberflächenriss. Nach dem Darfield Erdbeben konzentrierte sich die Nachbebenaktivität besonders auf das östliche Ende des Greendale-Fehlers. Die Nachbeben Sequenzen waren jedoch weniger ausgeprägt als verschiedene Modelle zuerst vermuten ließen. Fünfeinhalb Monate nach dem Hauptschock trat das Beben am östlichen Rand der Nachbebenzone auf, ca. 6 km vom Christchurch Stadtzentrum entfernt. Abb. 25 zeigt wie beiden Beben, bzw. das Hauptbeben in Darfield mit dem Nachbeben in Christchurch, zusammenhängen. (vgl. KAISER et al. 2012: 67)

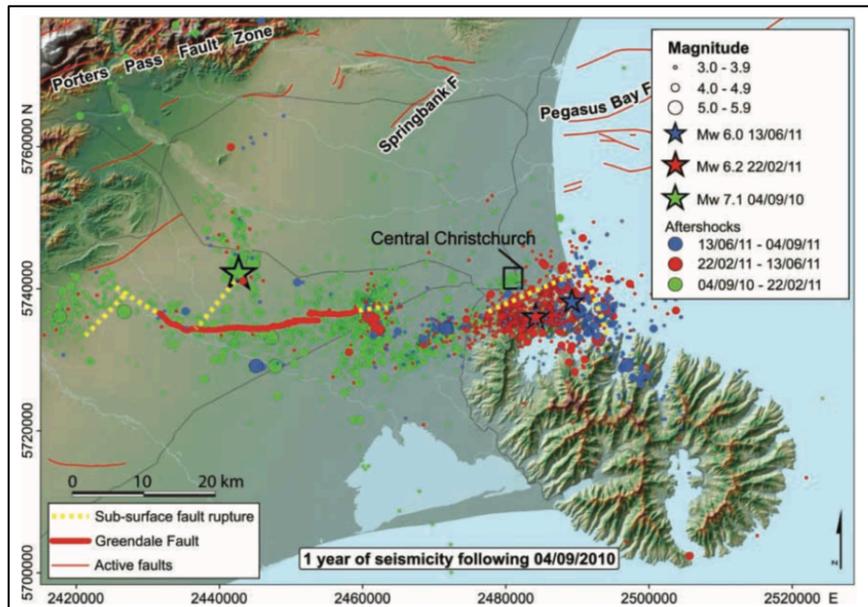


Abb. 25. Das M_w 6.2 Erdbeben in Christchurch (roter Stern) im Kontext zum Darfield Hauptbeben (grüner Stern) und den Nachbeben. (Quelle: KAISER et al. 2012: 68)

Das Erdbeben ereignete sich auf einer zuvor nicht kartierten nordöstlich-südwestlich auffälligen Störung. Auch auf das Erdbeben in Christchurch folgten mehrere starke Nachbeben der Stärke 5, darunter ein M_w 6.0 Ereignis am 13. Juni 2011, welches am südöstlichen Stadtrand stattfand. Beispiele für andere große verheerende Erdbeben, die sich in der Nähe von Ballungszentren ereignet haben, sind die Beben im Jahr 2010 in Port-au-Prince (Haiti; M_w 7.6), 1995 in Kobe (Japan; M_w 6.8), 1976 in Tangshan (China; M_w 7.6) und das Beben im Jahr 2003 in Bam (Iran; M_w 6.6). Speziell am Erdbeben in Christchurch war die vertikale Beschleunigung, diese war besonders stark und reich an hochfrequenter Energie. Als Beispiel für ein analoges Ereignis kann das M_w 7.2 Beben von Iwate-Miyagi (Japan) genannt werden. (ebd.: 68)

7.3. Bodenverflüssigung als zusätzlicher Zerstörungsfaktor in Christchurch

In Christchurch kam es aufgrund des heftigen Erdbebens zu weitreichenden Schäden an Wohnhäusern, Wasser- und Abwassernetzen, Hochhäusern und Brücken. Die Bodenverflüssigung äußerte sich in massiven Vorkommen von Sandsiedern und großen

Mengen an Sand- und Schlickauswurf sowie Straßen und Wohngebäuden, welche durch das mit Erde vermengte Wasser verschmutzt wurden. (vgl. ebd.: 82)



Abb. 26a. und 26b. Schäden durch Bodenverflüssigung in Kaiapoi (Quelle: PLATT 2012: 10)

Bodenverflüssigung entsteht bei Erdbeben dann, wenn hohe Grundwasserstände vorhanden sind, dadurch kommt es zum Versagen des Untergrundes. Dies wird weltweit auch als „Liquefaktion-Effekt“ bezeichnet. (vgl. GÖDECKE und GÖDECKE 2010: 604) *„Unter Liquefaktion versteht man die kurzzeitige Kornverschiebung eines im Grundwasser stehenden Korngerüstes infolge einer Erschütterungseinwirkung, z.B. durch Erdbeben, indem die Bodenkörner während der Erschütterungseinwirkung seitwärts verschoben und dabei kurzzeitig vom Porenwasser getragen werden.“* (GÖDECKE und GÖDECKE 2010: 604) Aufgrund der Tatsachen, dass sich dadurch die Korn-zu-Korn Reibung verringert verliert der Grund, auf welchem die Gebäude stehen, kurzzeitig seine natürliche Scherfestigkeit und Tragfähigkeit. Selbst Gebäude mit massiven Baukörpern erleiden dadurch Setzungsschäden oder eventuell auch einen Grundbruch wodurch sie zerstört werden. (vgl. GÖDECKE und GÖDECKE 2010: 604) Nahezu 15.000 Wohnhäuser und Grundstücke wurden durch die Bodenverflüssigung und die seitliche Ausbreitung in Christchurch beschädigt. Daraufhin konnten mehr als die Hälfte der Bauten nicht mehr wiederhergestellt werden. Das Ausmaß der Bodenverflüssigung während dem Erdbeben vom 22. Februar 2011 ist in Abb. 26 dargestellt. (vgl. KAISER et al. 2012: 82f)

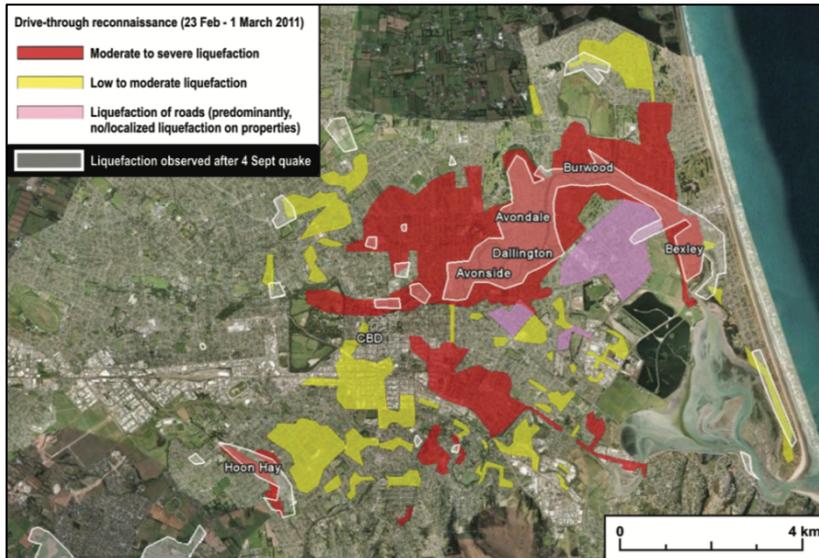


Abb. 27. Bodenverflüssigung in der Stadt Christchurch (Quelle: KAISER et al. 2012: 82)

Die am stärksten betroffenen Vororte sind die am Avon Fluss östlich und nordöstlich des CBD gelegenen Orte Avonside, Dallington, Avondale, Burwood und Bexley. (ebd.: 83)

7.4. Gebäudestrukturen und Zerstörungsmuster in Christchurch

Die Problematik der Bodenverflüssigung führte zu großen Bodenbewegungen und Rissen im Boden sowie erheblichen Schäden an Straßen und Brücken. (vgl. KAISER et al. 2012: 83)



Abb. 28. Seitliche Ausbreitung entlang des Avon Flusses (Quelle: KAISER et al. 2012: 83)

Besonders stark betroffen waren die Abwasser- und Trinkwasserleitungsnetze sowie die Elektrizitätsnetze. Knapp einem Monat nach dem Erdbeben konnte 40% der Wassernetze in Christchurch noch keine Versorgung mit Trinkwasser sicherstellen bzw. war diese stark eingeschränkt. Neben den massiven Schäden durch die Bodenverflüssigung entlang des Avon Flusses wurden auch starke Schäden in der Nähe von Feuchtgebieten verursacht. Durch die große seitliche Ausbreitung mit einer Länge von über einem Kilometer kam es auch zu Zerstörungen entlang des Kaiapoi Flusses und des Courtenay Baches. Die seitliche Ausbreitungsverlagerung entlang des Flussufers reichte von einigen Zentimetern bis zu einer Länge von zwei bis drei Metern und breiteten sich bis zu 300 m in das Landesinnere aus, wodurch die Infrastruktur und die Wohnhäuser in der betroffenen Zone schwer beschädigt wurden. Die starken Bodenbewegungen, welche durch das Erdbeben vom 22. Februar 2011 hervorgerufen wurden, verursachten eine Bodenverflüssigung innerhalb des CBD die entlang des Avon Flusses besonders groß war. Dadurch war eine große Anzahl von Hochhäusern von der Bodenverflüssigung betroffen. Wie bereits kurz erwähnt bestehen die Böden in Christchurchs CBD aus unterschiedlichen Materialien. Die Oberflächenschichten setzen sich aus verflüssigbaren Sanden und Schlick zusammen, die darunter liegenden Schichten bestehen aus mittelschweren Sandkieseln sowie mittelschweren und dichten Sanden. Hochhäuser ruhen daher auf komplexen Gründungssystemen. Solche schwierigen Fundamentbedingungen führten in Kombination mit den extrem starken Bodenbewegungen und der induzierten Bodenverflüssigung zu großen Differentialbewegungen. (ebd.)



Abb. 29. Differentialbewegung eines mehrstöckigen Gebäudes auf flachen Fundamenten im CBD auf verflüssigtem Untergrund (Quelle: KAISER et al. 2012: 84)

In Abb. 28 ist eine Differenzialbewegung von ungefähr 0,4 m zwischen dem Fundament an den Endsäulen eines sechsstöckigen Gebäudes auf flachen Fundamenten zu erkennen. Bei anfänglichen Inspektionen von ungefähr 20 Hochhäusern im CBD wurden typische Neigungen von 0,3-0,4 Grad an Gebäuden beobachtet, die entweder auf einem Floßfundament, einem flachen oder einem tiefen Fundament mit unterschiedlichen Pfahllängen erbaut wurden. Das Ausmaß der Zerstörung des Erdbebens in Christchurch war sehr stark vom Standort abhängig. Nicht nur bei der Erschütterung und der Bodenverflüssigung sind hier Unterschiede zu erkennen, sondern auch bei differenzierten Gebäudeeigenschaften. Die Gebäude in dieser Stadt bestehen aus unverstärktem Mauerwerk aber auch Holz. Zusätzlich sind ebenso Gebäude aus Stahlbetonrahmen und Beton-Kippbauten zu finden. (ebd.: 84) Beton-Kippbauten werden üblicherweise auch als Big-Box-Bauten bezeichnet und werden hauptsächlich in einstöckigen Leichtindustrieanlage eingesetzt. Diese in den USA weit verbreiteten Gebäude sind mit Betonaußenwänden, Innensäulen und horizontalen Dachmembranen ausgestattet. Die hochklappbaren Außenbetonwände sind schlanke Wände, die horizontal in den Boden neben der Struktur gegossen und dann in eine vertikale Position gekippt und auf das Fundament gesetzt werden. Die horizontale Dachmembran kann dabei aus Holz, Stahl oder Hybridsystemen (mehrere Materialien) bestehen. In den letzten Jahren hat sich jedoch gezeigt, dass Big-Box Bauten während vergangener Erdbeben der letzten 50 Jahren sehr anfällig waren. Der Hauptschaden entstand vor allem bei den Verankerungen von Dach zu Wand, welche außerhalb der Ebene erfolgten. Das seismische Verhalten der Gebäude war stark vom Verhalten der Dachmembran in der Ebene abhängig. Dies ist vor allem auf die deutlich größeren Verschiebungen des Daches in der Ebene im Vergleich zu den ebenen Wandpaneelen zurückzuführen. (vgl. KOLIYOU et al. 2017: 1f)

Werden die einzelnen Gebäude näher betrachtet, fällt auf, dass enorme Schäden an Mauerwerksgebäuden, einschließlich Kirchen, stadtweit zu finden waren. Diese Gebäude sind in der Regel starr und schaffen es nur kurz starken Erschütterungen Stand zu halten. Besonders stark beschädigt wurden unverstärkte Mauerbauten, die vor dem Canterbury-Erdbeben als erdbebengefährdet eingestuft worden waren. Solche Gebäude waren unzureichende stabil gebaut und hatten eine unzureichende Verdrängungskapazität, um sich dem Erdbeben zu widersetzen. Das Erdbeben traf auch Wohn- und Geschäftshäuser mit unverstärkten Ziegelmauern, welche in der Regel zusammenbrachen, was auf das Fehlen einer angemessenen Verbindung zwischen den Wänden und den Fassaden zurückzuführen ist. Eine

kleine Anzahl von Todesfällen wurde durch dieses Problem verursacht. Zusätzlich lässt sich festhalten, dass der Großteil der Wohnimmobilien in Christchurch Holzhäuser sind, welche leicht einsturzgefährdet sind. Einige Häuser in der Nähe des Epizentrums erlitten Erschütterungsschäden an den Wänden und Dächern. Gebäude, welche sich weiter weg vom Epizentrum befanden, erlitten schwere Schäden aufgrund der seitlichen Ausbreitung. Der Großteil der Gebäude im CBD von Christchurch bestand beim Ereignis aus Stahlbeton mit unterschiedlich hohen Stockwerken. Das Alter der Häuser ist verschiedenen Jahrgängen zuzuordnen. Vom Einsturz zweier solcher Bürogebäude aus Stahlbeton im CBD resultierte eine große Anzahl von Opfern. Ältere (vor 1976) verstärkte Gebäude zeigten typischerweise einen Spröbruch aufgrund des Fehlens duktiler Eigenschaften, wie beispielsweise bei dem Parkhaus, welches in Abb. 29 zu sehen ist. (vgl. KAISER et al. 2017: 85f)



Abb. 30. Einsturz eines Parkhauses (Quelle: KAISER et al. 2012: 87)

Zusätzlich wurden aber auch Schäden an wichtigen Strukturelementen beobachtet. Diese Bauten wurden zwischen 1976 und 1992 errichtet und wiesen keine modernen duktilen Eigenschaften auf. Moderne Stahlbetongebäude (nach 1992) schnitten im Allgemeinen in Bezug auf die Lebenssicherheit vergleichsweise besser ab und erlitten in der Regel mäßige Schäden. In einigen modernen Gebäuden waren schwerwiegende Zerstörungen an Treppenhäusern zu beobachten. Eine weitere Schadensmöglichkeit bestand bei Stößen benachbarter Gebäude, bei denen zwischen den Gebäuden keine ausreichende „Erdbebenlücke“ bestand, wie aus Abb. 30 ersichtlich wird. (ebd.: 86)



Abb. 31. Zerstörung durch zu nahestehende Gebäude (Quelle: KAISER et al. 2012: 87)

Neben Bauschäden kam es ebenso zu Schäden an der Innenarchitektur sowie an verschiedenen Servicekomponenten wie z.B. dem Stromnetz eines Gebäudes. Das Versagen von Fassaden, hinunterhängenden Decken und anderen Komponenten eines Gebäudes führte zu Problemen in der Sicherheit der Menschen und trug erheblich zum wirtschaftlichen Verlust durch Betriebsunterbrechungen bei. Industriebauten mit hochklappbaren Paneelen-Konstruktionen schnitten im Allgemeinen recht gut ab, obwohl in einigen Fällen Schäden der strukturellen Verbindungen zwischen den Paneelen nachgewiesen wurden. Darüber hinaus wurden sogenannte „pallet-reck storage systems“ (z. Dt. Palettenregallagersysteme) in Industriegebäuden in der Nähe des Epizentrums häufig bis zur völligen Zerstörung beschädigt. (ebd.)

Zahn (2011: 838f) schrieb, dass er beim Durchqueren des abgesperrten Teils der Innenstadt, auch genannt „rote Zone“, unterschiedliche Eindrücke aufnehmen konnte. Auf der einen Seite lagen auf den Straßen Trümmer herabgestürzter Gesimse, Dächer und Außenwände schon ältere Gebäude, welche noch aus unbewehrtem Mauerwerk erbaut wurde bzw. Bauten aus Naturstein, die größtenteils völlig zerstört wurden. Auf der anderen Seite fanden bei modernen, mehrgeschossigen Geschäftsgebäuden augenscheinlich keine Zerstörungen statt. Wie noch später erläutert wird, ist dies ein täuschender Eindruck, da es zumeist im Inneren zu teilweise großen Schäden an der Tragstruktur kam. Damit entstandene Schäden besser beurteilt werden können, war es notwendig Verkleidungen bzw. Verputze zu entfernen, was

jedoch bereits durch die Stufe 2 der Grobbeurteilung geschehen war. Es konnte festgestellt werden, dass nahezu alle der mehr als fünfgeschossigen Gebäude Schäden erfahren hatten, die jedoch auf höhere Schwingungsformen zurückzuführen waren. Als Ergebnis des Ausmaßes der Zerstörung lässt sich festhalten, dass von insgesamt 4348 beurteilten Gebäuden in der Innenstadt 52% die Klassifizierung „grün“ (sicher, weitgehend unbeschädigt), 23% die Klassifizierung „gelb“ und 25% die Klassifizierung „rot“ (unsicher, stark beschädigt und evtl. einsturzgefährdet) erhielten. Werden für diese Einteilung nur die Gebäude aus unverstärktem Mauerwerk sowie denkmalgeschütztem Naturstein herangezogen, waren nur gerade mal 12% „grün“, 26% „gelb“ und 62% hingegen „rot“ klassifiziert. Das gesamte Ausmaß der Schäden an solch älteren Gebäude wird jedoch noch höher eingeschätzt, da die vielen total eingestürzten Gebäude bei der Grobbeurteilung, in der es nur um die Sicherheit geht, gar nicht verzeichnet wurden. Von den bis Mitte März 2011 beurteilten Gebäuden waren hingegen 50% „grün“, 31% „gelb“ und nur 19% „rot“ klassifiziert. Die eben genannt Zahlen beziehen sich auf die Gebäude im CBD der Innenstadt.

Seit den frühen 1980-er Jahren hat sich Neuseeland zum Ziel gesetzt, Gebäude vom Totaleinsturz durch unerwartet starke Beben zu bewahren, um die Anzahl der Toten und Verletzten so klein wie möglich zu halten. Dies kann durch kontrollierte plastische Verformungen in dafür entsprechend konstruktiv ausgelegten Zonen, in denen sich Gelenke bilden, geschehen. Diese Technik hat einen ähnlichen Dämpfeffekt wie die Knautschzone bei Fahrzeugen, wodurch Energie dissipiert wird. Das Problem bei plastischen Verformungen ist jedoch, dass große bleibende Schäden entstehen können, die sich im Fall von Stahlbetonkonstruktionen durch Zerstörungen an der Betonüberdecke, breite Risse und bleibende Stahldehnungen, Rotationen und Verschiebungen äußern. Die Schäden können so groß ausfallen, dass eine Reparatur unwirtschaftlich ist und das Gebäude infolgedessen abgerissen wird. Bis in die frühen 1980er-Jahre gab es keine Normen zur Duktilität bzw. keine Kapazitätsbemessungen, trotzdem hat es unter den relativ vielen Stahlbetongebäuden der 60-er und 70-er Jahre nur einen Totaleinsturz gegeben. Die übrigen Gebäude dieses Alters wiesen zwar auch erhebliche Schäden an der Tragstruktur auf, blieben jedoch zunächst stehen. (ebd.: 840)



Abb. 32. Ältere Stahlbetonrahmenstütze mit deutlichen Anzeichen eines bevorstehenden Querkraftversagens (Quelle: ZAHN 2011: 840)

Bei jenen Gebäuden, welche nach 1982 erbaut wurden, gab es nur zwei Ausnahmen bei denen Schäden festgestellt wurden. Die übrigen Bauten haben sich entsprechend der Bemessungsphilosophie verhalten. Diese Gebäude wurden zwar zum Teil sehr schwer beschädigt bzw. mussten abgerissen werden, jedoch bestand keine Gefahr eines Einsturzes und somit gab es dadurch auch keine Toten. Bei den beiden Ausnahmen handelt es sich einerseits um das CTV Building (Bj. 1986), das komplett in sich zusammenstürzte und für mehr als die Hälfte der insgesamt 181 Toten verantwortlich war und andererseits das bereits erwähnte Parkhaus (1980-er Jahre), dessen Flachdecken aufgrund von Durchstanzversagen an den Stützen abstürzte. Die nach 1982 errichteten Gebäude erfüllten zwar die Erwartungen der Bauingenieur*innen, trotzdem entstanden viele nicht zu erwartende Schäden mit schweren Folgen. Diese Schäden können nach ihren Ursachen in zwei Kategorien eingeteilt werden:

- Probleme mit der Verträglichkeit von Verformung
- Planungs- oder Ausführungsfehler

Die entstandenen Schäden an diesen Gebäuden dürfen nicht nur auf das Erdbeben 2011 rückgeschlossen werden, da die Vorschädigung durch das Erdbeben vom September 2010

sowie die ungewöhnlich große Bodenbeschleunigung und vor allem die vertikalen Komponenten nicht außer Acht gelassen werden dürfen. (ebd. 841)

Nun gilt es zu klären wie sich Gebäude nach neuester Technologie beim Erdbeben geschlagen haben. Dabei gab es in der Innenstadt von Christchurch zwei Gebäude, die so erbaut wurden, dass sie selbst unerwartet starken Beben standhalten können und nur minimale Schäden entstehen. Das erste Beispiel, welches an dieser Stelle genannt wird, ist das Christchurch Women's Hospital. Dieses wurde nach dem Prinzip der „Base Isolation“ erbaut. Zwischen Fundamenten und aufgehender Konstruktion wurden Bleikern-Gummilager gegen den Baugrund isoliert, um die horizontalen Bodenbewegungen so gut wie möglich nicht an das Gebäude zu übertragen. Somit blieb dieses Gebäude völlig unbeschädigt und konnte nach Überprüfungsmaßnahmen wieder voll eingesetzt werden. Beim zweiten Beispiel handelt es sich wieder um ein Krankenhaus, welches als „PRESSS“ (Precast Seismic Structural System) konstruiert wurde. Bei diesem Konzept werden schlanke, zentral ohne Verbund vorgespannte Stahlbetonschubwände ohne Anschlussbewehrung am Wandfuß angebracht, um bei Erdbebenbeanspruchung kontrolliert wippen zu können, dadurch wird Energie dissipiert. Mehrere solcher Wände liegen bei diesem System durch vertikale Bewegungsfugen voneinander getrennt nebeneinander. Dabei sind Energiedissipatoren aus Stahl in den Fugen angeordnet, dies dient dazu, Schwingungen durch plastische Biegeverformungen zu dämpfen. Beide Gebäude haben sowohl dem Erdbeben M_w 7.1 vom September 2010, dem M_w 6,3 vom 22. Februar 2011 sowie zahlreichen Nachbeben mit Magnituden über 5.5 sehr gut standgehalten und sind in dieser Hinsicht zukunftsweisend. Es kann zusammengefasst werden, dass das Erdbeben in Christchurch aufgrund der Nähe des Epizentrums und der geringen Herdtiefe sowie spezieller topographischer und geologischer Besonderheiten der Innenstadt extreme Bodenbeschleunigungen bewirkt hat, welche in Neuseeland nie zuvor gemessen worden waren. Diese Tatsache und vor allem auch die sehr großen vertikalen Beschleunigungen richteten Schäden in riesigem Ausmaß an, die zu über 180 Todesfällen führten und riesige ökonomische Verluste nach sich zog, welche auf ungefähr 15-20 Mrd. € geschätzt wurden. Am schlimmsten traf es die historischen Gebäude aus ältere Bausubstanz bzw. unbewehrtem Mauerwerk, diese wurden nahezu völlig zerstört. Die Gebäude, welche jedoch nach 1982 errichtet wurde, entsprachen weitgehend den Erwartungen der Bauingenieur*innen. Die übrigen neueren Gebäude wiesen trotz moderner Bautechnik Schäden auf, die im Falle eines starken Erdbebens das Tragwerk unter Umständen zwar durch

große plastische Verformungen beschädigt aber nicht völlig zum Einsturz bringt, um darin befindende Menschen nicht zu gefährden. Hier muss jedoch noch einmal erwähnt werden, dass es zwei Ausnahmen in Christchurch gab, nämlich das CTV Building und eines der Parkhäuser. Abschließend muss festgehalten werden, dass die „PRESSS“ Technologie, welche sich als sehr gut herausgestellt hatte, viele Todesopfer vermeiden konnte. Die in Neuseeland zu erwartenden Änderungen der Bemessungspraxis werden in absehbarer Zeit auch in Europa Anklang finden, da Neuseeland seit Jahren weltweit eine Vorreiterrolle innehat. (ebd.: 845f)

8. Koordination der Behörden und Organisationen in Christchurch

Der Wiederaufbau einer Stadt ist äußerst komplex. Eine Reihe von Behörden und Organisationen sind an verschiedenen Aspekten der Wiederherstellung beteiligt. Weiters gibt es eine große Anzahl an bestehenden Plänen und Programmen, welche im Zusammenhang mit Erdbeben stehen. In Abb. 33 sind einige wichtige Organisationen, Programme sowie Pläne und ihre Aufgaben für die Wiederherstellungsstrategie nach dem Erdbeben zusammengefasst.

Pläne / Programme / Organisationen	Ziele
<ul style="list-style-type: none"> • Economic Recovery Plan 	Wiederbelebung des Großraums Christchurch als Herz einer prosperierenden Region für Arbeit und Bildung; verstärkte Investitionen in neue Aktivitäten; florierende und produktive ländliche Stadt;
<ul style="list-style-type: none"> • Built Heritage Recovery Plan • Education Renewal Recovery Plan • Worst Affected Suburbs Programme • Building Community Resilience Programme 	Stärkung der Widerstandsfähigkeit der Gemeinde; Erneuerung des einzigartigen Identitätsgefühl von Christchurch und Verbesserung der Lebensqualität für die Bewohner*innen
<ul style="list-style-type: none"> • Environmental Management Programmes 	Wiederherstellung der natürlichen Umwelt, um die Biodiversität und den wirtschaftlichen Wohlstand zu fördern
<ul style="list-style-type: none"> • Land, Building and Infrastructure Recovery Plan 	Entwicklung belastbarer, nachhaltiger und integrierter strategischer und kommunaler

<ul style="list-style-type: none"> • Central City Plan (CBD Recovery Plan) • Local Neighbourhood Plans and Initiatives 	Vermögenswerte, Wohnungs- und Infrastrukturnetzwerke
--	--

Abb. 33. Entwurf einer Wiederherstellungsstrategie für den Großraum Christchurch, CERA September 2011 (Quelle: Platt 2012: 22)

Diese Fülle an Institutionen lässt auf unterschiedliche Interessensgruppen schließen, wobei es natürlich zu unterschiedlichen Meinungen und Zielen kommen kann.

Das Gesetz, Canterbury Earthquake Recovery Act 2011, mit dem die Canterbury Authority als Regierungsabteilung unter der Leitung von Roger Sutton eingerichtet wurde, wurde am 18. April 2011 verabschiedet. CERA wurde die Leitung und Koordination der Wiederherstellung nach dem Erdbeben im Februar übertragen. Der Name des Leiters der Organisation lautet Roger Sutton. Laut Gesetz muss die CERA mit den vier Gemeinderäten zusammenarbeiten: Christchurch City Council, Waimakariri- und Selwyn District Councils und Environment Canterbury, dem Regional Council sowie Nagai Tahu, dem Maori-Stamm der Südinsel. Die koordinierende Beratergruppe tritt alle sechs Wochen zusammen. Das Gesetz gab der CERA weitreichende Befugnisse zur Lockerung, Aussetzung oder Ausweitung von Gesetzen und Vorschriften zum Wiederaufbau der Stadt. Zu dieser Zeit wurden Bedenken geäußert und es wurde kritisiert, dass die Kommunalverwaltung außer Kraft gesetzt werden würde. Diese Spannungen haben sich bis heute fortgesetzt. Zwischen dem Bürgermeister Bob Parker und dem Minister Gerry Brownlee gab es andauernde Reibereien. Der Minister hat seine Frustration über die anhaltenden Turbulenzen innerhalb des von ihm als dysfunktional bezeichneten Stadtrats öffentlich gemacht. Der Bürgermeister sagte in einem Interview im Februar 2012, dass es beängstigend sei, wenn der Staat die Kontrolle über den Wiederaufbau hat. Diane Turner, damalige Deputy Chief Executive of Recovery Strategy, Planning and Policy der CERA, äußerte sich, dass der Minister für die Genehmigung des CBD-Plans verantwortlich ist, die Verantwortung für dessen Umsetzung jedoch noch nicht endgültig festlegen kann. Am 18. April 2012 kündigte der Minister an, dass die Christchurch Central Development Unit (CCDU), die zuvor CERA gehörte, für den Wiederaufbau verantwortlich sei und eine positive Partnerschaft mit dem Christchurch City Council eingehen werde, die weiterhin die zustimmende Behörde ist. (vgl. PLATT 2012: 21f) Sie müssen die Landverfügbarkeit, das

Wiederaufbauprogramm und die Leistungserbringung koordinieren. CERA hat die Gesamtverantwortung für fünf Jahre, jedoch gibt es auch eine Office Planning Group und ein Urban Development Strategy Implementation Committee für Stadträte. Diese beiden Gruppen befassen sich mit der Verfügbarkeit von Land – was, wo und wann sie glauben, dass Land erschlossen werden kann, geotechnische Richtlinien, Zoneneinteilung von Land und Unterteilungsabschnitten, Informationen von Entwicklern zum Erstellen von Programmen, vorübergehende Verfügbarkeit von Unterkünften, strategische Planungserklärungen und die sich ständig ändernden Erholungsstrategien. (ebd.: 23)

9. Wiederaufbau nach dem Erdbeben in Christchurch

Das überarbeitete DBH-Leitliniendokument (Department of Building and Housing) enthält Informationen, die aus jedem bedeutenden Nachbeben und umfangreichen geotechnischen Untersuchungen zu den Auswirkungen der Canterbury-Erdbebensequenzen gewonnen wurden. Insbesondere in Anbetracht des Ausmaßes der Verflüssigung und ihrer Auswirkungen auf Wohngebäude wird hervorgehoben, wie wichtig es ist, dass auf Grundstücken geeignete Fundamente vorhanden sind, damit diese bei großen Erdbeben nicht verflüssigt werden. Die überarbeitete Anleitung wurde in Zusammenarbeit mit Tonkin & Taylor erstellt und konzentrierte sich hauptsächlich auf die durch die Verflüssigung beschädigten ebenen Gebiete und in geringem Maße auf die von Erdbeben, Steinschlag und Erschütterungsschäden betroffenen Gebiete in Port Hills. (ebd.: 41) Der vom DBH befürwortete Bewertungsprozess für die Gebäudesicherheit nach einer Katastrophe umfasst drei Bewertungsebenen. Die ersten beiden haben einen klar definierten Prozess, der dritte nicht. Die Notwendigkeit eines klar definierten DEE-Verfahrens (Detailed Engineering Evaluation) für Gebäude wurde nach dem 22. Februar deutlicher.

1. Erste Beurteilung – ein kurzer Rundgang um das Gebäude, um Anzeichen einer drohenden Gefahr zu erkennen.
2. Schnelle Beurteilung – ein Rundgang durch das Gebäude (wenn dies sicher ist) auf sichtbare Anzeichen von erheblichen strukturellen Schäden.
3. Detaillierte technische Bewertung – eine Überprüfung des Gebäudedesigns, der Konstruktion und Leistung der Gebäude bei den letzten Erdbeben, um festzustellen, welche

Reparatur oder Verstärkung erforderlich ist, um ein zufriedenstellendes Maß an Konformität zu erreichen oder einfach die zukünftige Leistung zu verbessern. (ebd.)

Tonkin & Taylor haben einen fortlaufenden Vertrag über die Bereitstellung von Landschadensbeurteilungen für einzelne Grundstücke und dürfen auch Ratschläge geben, um die Erdbebenkommission (EQC) bei der Beurteilung von Wohnversicherungsansprüchen gemäß dem Earthquake Commission Act 1993 zu unterstützen. Sie informieren und beraten auch die Canterbury Earthquake Recovery Authority (CERA) und den Minister für die Erdbebenwiederherstellung über flächendeckende Schäden an Wohngebieten, um bei der Entscheidungsfindung über die Wiederherstellung und den Wiederaufbau von Canterbury behilflich zu sein. (ebd.)

Nun zur eigentlichen Thematik, der Rekonstruktion der Stadt. Da das CBD das Herzstück der Stadt in Christchurch ausmacht, wird der Wiederaufbau in dieser Zone zuerst analysiert.

Das Hauptaugenmerk des Stadtrats lag seit dem Erdbeben im Februar auf dem CBD. Der Stadtrat muss laut Gesetz einen Planentwurf für das CBD ausarbeiten, der dem Erdbeben-Wiederherstellungsminister von Canterbury vorgelegt wird. Dieser muss sich mit den betroffenen Gemeinden beraten und mit CERA, Environment Canterbury und Ngai Tahu zusammenarbeiten. Der CBD-Plan versucht, Ideen aus einem Konsultationsprozess in Aktionen und Projekte zu zerlegen, um die Innenstadt zu verbessern. Der erste Band enthält eine Vision wie der Wiederaufbau realisiert werden könnte und 72 zu behandelnde Projekte, der zweite enthält Einzelheiten zu Änderungen des rechtlichen Rahmens und der globalen Regenwasserbestimmungen. Weiters gibt es drei Bände mit Anhängen, die unterstützende Informationen enthalten, einschließlich eines 15-bändigen geotechnischen Berichts von Tonkin & Taylor. Ein formal verfasster Konsultationsprozess entsteht als Resultat. Es gab im Fall Christchurch einige Streitpunkte mit Stadträten und weiteren Treffen mit Personen aus dem Wirtschaftssektor. Um Unternehmen sowie Mitarbeiter*innen zu ermutigen nach der Katastrophe wieder zum CBD zurückzukehren, wurden folgende Punkte beschlossen (ebd. 26):

- *„extending existing use rights for 5 years*
- *removing parking minimum and maximum restrictions.*
- *height restriction maxima in the CBD from 31m in the centre to 17m at the edge.*
- *dispensation on height for hotels once the location of convention centre is known.*

- *plot ratio requirement removed.*
- *comprehensive development of > 5.000 ft² will be assessed more leniently.*
- *no development contribution for next 5 years*
- *Incentives including a grant per employee for businesses returning to the CBD”*

(Platt 2012: 26)

Der Plan wurde vom Rat angenommen und dem Minister vom Canterbury Earthquake Recovery zur Genehmigung vorgelegt. Die CERA wurde damit beauftragt, weitere Einreichungen zusammen mit der Regierung auszuarbeiten. Ein kleineres Team setzte den Plan um und begann mit kleinen temporären Projekten. Wenig überraschend ist, dass der zentrale Stadtplan des Stadtrats vor allem ein kompaktes Flachbauzentrum vorsieht, in dem die Gebäudehöhen streng kontrolliert werden. Dies ist zumindest teilweise auf die Konsultation der Öffentlichkeit und der Interessensgruppen zurückzuführen. (ebd.: 26f)

Öffentliches Engagement

Nach dem Erdbeben im Februar erkannte der Stadtrat die Notwendigkeit einer öffentlichen Konsultation bei der Erstellung eines Plans für das CBD und leitet die Kampagne „Share an Idea“ ein. Diese beinhaltete die Erstellung einer Webseite und die Organisation einer Ausstellung, an der über 10.000 Menschen teilnahmen. Dieses Maß an öffentlichem Engagement war in Neuseeland beispiellos. Die Ausstellung enthielt Aufnahmen eines Gedenkgottesdienstes in der Kathedrale, lokale und nationale Sprecher für Katastrophenschutz, ein Lego-Modell der Stadt, Informationsstände und Google Earth-Aufnahmen des Zentrums vor und nach dem Erdbeben. Die Leute von Christchurch wurden ermutigt, ihre Ideen auf Post-its zu schreiben, darüber hinaus konnten sie ihre Ideen im Internet posten und auf die Ideen anderer auf der Homepage reagieren. Zusätzlich gab es die Möglichkeit dem Rat Fragen zu stellen, umgekehrt konnte der Rat jede Woche Fragen an die Gemeinde richten. Nach sechswöchiger Konsultation hatte der Rat 106.000 Ideen, wie das CBD den Bürger*innen nach saniert werden sollte. (ebd.: 27)



Abb. 34. „Share an Idea“ (Quelle: Christchurch City Council 2011)

Es folgten wöchentliche Feedbackgespräche mit Politiker*innen. Einige Themen waren so komplex, dass es für die Politiker*innen anfangs sehr schwer war, die anstehende Diskussion zu lenken. Ebenso mussten die Themen mehrmals bearbeitet werden, um zu einer Lösung zu gelangen. Der Stadtrat organisierte auch über 100 Stakeholder-Treffen mit dem Unternehmenssektor, Menschen mit Behinderung, Verkehrsunternehmen und anderen Sektoren. Es bestand Einigkeit darüber, dass die Menschen eine niedriger bebaute und grüne Stadt wollten. Ein Grund dafür war die Angst vor einer erneuten Katastrophe durch das Einstürzen hoher Gebäude und ein anderer Grund lag in der Attraktivität des Stadtbildes. Eine zweite formellere Konsultationsrunde führte zu über 14.000 schriftlichen Kommentaren und zu acht Tage langen öffentlichen Anhörungen. Um einen Konsens über den endgültigen Plan zu erzielen, waren mehrere Tage an Überlegung erforderlich. Wie bereits erwähnt war die wichtigste Schlussfolgerung des Planungsprozesses eine Strategie für eine flache und grüne Stadt zu schaffen. Trotz des hohen Engagements war der CBD-Rat der Ansicht, dass es besser gewesen wäre, die Pläne und Änderungen des Rechtsrahmens klarer zu erläutern. Problem dabei war der Zeitdruck, um den CBD-Plan fertigzustellen damit mit der Realisierung begonnen werden konnte. Im Nachhinein meinte der Rat, dass er den Bürger*innen gerne

mehr Zeit gegeben hätte, um die Pläne bzw. die Realisierung den Menschen mitteilen zu können und mit ihnen die Vorschläge zu kommunizieren. (ebd.: 27f)

Zusammenarbeit mit den Architekt*innen

Neben den Einwohner*innen von Christchurch war auch die Zusammenarbeit mit Architekt*innen unabdingbar. Jasper van der Lingen, zur Zeit des Erdbebens Partner bei den Architekt*innen Sheppard & Rout und Vorsitzender der Zweigstelle Christchurch des NZ Institute of Architects, meinte, dass lokale Architekt*innen die CERA-Strategien, insbesondere die Pläne für das CBD und den Ausschuss von Architekt*innen aus dem Planungsprozess kritisierten. Die Öffentlichkeit werde überrascht sein, sagte er, wenn sie das Ausmaß der Abrisse sehen würden. Er fügte noch hinzu, dass die Menschen in Christchurch vor der Frage stehen würden, wie solch ein entstandenes Ödland wiederaufgebaut werden soll. Das Zentrum braucht Katalysatorprojekte, sonst hat die Stadt ein totes Herz, meinte er. Er beschrieb, wie die lokale Architekturgemeinschaft nach dem Erdbeben im September Gespräche, Treffen und eine Website namens „Christchurch Before and After“ organisierte, um die öffentliche Meinung zu mobilisieren. Nach dem Erdbeben im Februar, als sich der Rat mit den Problemen konfrontiert sah und eine eigene Kampagne startete, empfanden es die lokalen Architekt*innen als frustrierend mit dem Rat zusammenzuarbeiten. Sie hatten das Gefühl, dass dieser nicht an ihren Ideen interessiert war und die Dinge für sich behalten wollten. Sie fühlten sich als die Entwerfer*innen der Stadt in den 1980er-Jahren und waren nun äußerst frustriert nicht an der Planung des Wiederaufbaus beteiligt zu sein. Architekt*innen, so Jasper van der Lingen, seien die einzigen, die dreidimensionale Vorschläge machen könnten. Dies sei von unschätzbarem Wert, um der Öffentlichkeit zu helfen über Alternativen nachzudenken und eine Debatte über die Zukunft zu führen. Das NZIA (New Zealand Institute of Architects) stellte seine Ideen in einer Reihe von Gesprächen vor und hielt diese in einer A3-Bröschüre fest, die sie dem Stadtrat und der CERA übermittelten. Der Rat sah sich mit einem unmöglichen Zeitrahmen konfrontiert. Die leitenden Angestellten beschrieben, wie sie ein großes Team leiten mussten, von denen viele neu waren und selbst ihre Häuser verloren hatten, aber dennoch zu Arbeit gingen. Angesichts der enormen Aufgaben hatten die Planer*innen des Rates möglicherweise keine Zeit lokale Architekt*innen miteinzubeziehen oder sich mit ihnen zu beraten. Dieses Problem wurde schlussendlich im Mai 2012 behoben. Ein Konsortium unter der Leitung des in Christchurch ansässigen

Beratungsunternehmens Boffa Miskell erhielt den Auftrag, die Innenstadt neu zu gestalten und zu ermitteln, wo Ankerprojekte, wie das neue Kongresszentrum und der öffentliche Verkehrsknotenpunkt platziert werden und wie einzelne Stadtteile aussehen sollten. Die Zeit wird zeigen, ob die Einwohner ihre Meinung über Hochhäuser ändern werden. Das Ziel beim Wiederaufbau war mehr zweistöckige Häuser zu bauen und die Auswahl an Wohnungen zu erhöhen, jedoch führt dies zwangsläufig zu einer höheren Dichte an Häusern. Jasper van der Lingen meint, dass der Markt für die diese Faktoren nicht bereit sei. (ebd.: 28f)

Historische Gebäude

Der Stadtrat musste sich ebenso mit der Debatte rund um die Rettung historischer Gebäude auseinandersetzen. Eines davon war die anglikanische Kathedrale. Der Dekan Peter Beck war entschlossen die Kathedrale zu restaurieren, trat jedoch zurück und wurde unabhängiger Stadtrat, nachdem der Bischofs- und Diözesenrat beschlossen hatte, die für die Restaurierung gesammelten Mittel für alle Kirchen auszugeben. Am 16. April 2012 wurde beschlossen eine temporäre Kathedrale aus Karton zu errichten, welche der japanische Architekt Shigeru Ban für geschätzte 5 Mio. \$ entworfen hatte. Es bestand danach die Möglichkeit die Kathedrale für einen Preis von 100 Mio. \$ restaurieren zu lassen oder für 40 Mio. \$ neu zu bauen. (ebd.: 30)



Abb. 35. Katholische Kathedrale des Heiligen Sakramentes (Quelle: Platt 2012: 30)

Die Kathedrale war schon zuvor bei einigen Beben beschädigt worden. Der Turm wurde schon einmal 1888 bei einem Erdbeben zerstört, der Hauptteil der Kathedrale fiel 1901, 1922 und 1929 den Erdbeben zum Opfer. Es stellte sich heraus, dass verstärkte historische Mauerwerksgebäude wie das Museum von Christchurch beim Erdbeben relativ gut abschnitten. Obwohl dieses zwar aus Sicherheitsgründen nach dem Beben geschlossen werden musste, wurde es zum Wiederaufbau freigegeben, da es als reparabel eingestuft wurde. Das Problem jedoch ist, dass historische Gebäude aufgrund des instabilen Mauerwerks nicht den aktuellen Bauvorschriften entsprechen, daher wäre es teuer sie auf die vorgegebenen 67% der aktuellen Vorschriften zu bringen, wie dies im „Christchurch City Council Earthquake-Prone, Dangerous and Insanitary Building Policy“ vorgeschrieben wird. Der Kulturerbe-Ingenieur Andrew Marriot meinte zu dieser Thematik, dass die Kathedrale hätte gerettet werden können, wenn nach dem Erdbeben vorübergehend Stützen eingebaut worden wären. Für viele historische Gebäude in Christchurch ist es eindeutig zu spät, eine vorbeugende Erdbebenverstärkung vorzunehmen. (ebd.: 31f)

Geschäfts- und Lebensunterhalt

Die Mehrheit der Unternehmen in der Innenstadt musste nach dem Erdbeben im Februar umziehen. In der Woche nach dem Beben beschrieben die Mitarbeiter*innen von CERA, dass alle versuchten einen Platz zum Leben zu finden und Mietverträge aushandelten. Die Mitarbeiter*innen verschiedener Firmen haben sich beispielsweise auf 300 verschiedene Büros verteilt. Einige Firmen sind in Wohn- oder halbindustrielle Gebiete gezogen, andere hingegen in andere Städte. Vor dem Erdbeben arbeiteten im Februar 2011 noch 51.000 Menschen im Zentrum. Eine Umfrage des Stadtrats ergab, dass über 60% der ausgezogenen Unternehmen zurückkehren möchten. Diane Turner, General Managerin von CERA meint, dass das CBD bereit unter Druck von peripheren Einkaufszentren stehe und dass die Erdbeben diesen Prozess lediglich beschleunigt hätten. Der damalige Premierminister John Key kündigte sechs Tage nach dem Erdbeben ein Finanzhilfspaket an, um Unternehmen und Mitarbeiter*innen in der Region Christchurch zu helfen. Die Zahlung erfolgte über das Ministerium für Arbeit und Einkommen und zahlte ein Grundgehalt für einen Zeitraum von sechs Wochen. Die Hauptakteur*innen, welche für die Hilfe der Unternehmen zur Verfügung standen, sind die Handelskammern, die Canterbury Development Corporation, der Christchurch City Council und andere lokale Behörden, sowie die Zentralregierung und CERA. Der Stadtrat hat zwar die Vorschriften gelockert, die es Unternehmen ermöglichen, in Wohngebiete im Westen und in neue Einzelhandelszentren umzuziehen, jedoch bestand dann das Problem, Unternehmen wieder in das Zentrum zu locken bzw. wieder anzusiedeln. Zum Tourismus lässt sich abschließend festhalten, dass dieser in der Zeit nach dem Erdbeben im CBD zurückgegangen ist. (ebd.: 33f)

Beim Wiederaufbau einer Stadt nach einem Erdbeben ist eine rechtzeitige Verfügbarkeit zuverlässiger Informationen entscheidend für fundierte Entscheidungen und eine effektive, sofortige und langfristige Planung. Christchurch war beispielhaft für hervorragende Informationen, darunter: Grenzdaten, Gebäudegrundrisse, Katasterdaten, Schadensbewertungsdaten, sozioökonomische Daten, Informationen zur Risikobewertung, Verkehr, Schulbesuch und viele weitere Arten von Informationen. Kurz nach dem Erdbeben im Februar erklärte der Entwickler Richard MacGeorge von Ridgeway Capital Projects, dass es nicht an Informationen mangelt, um Christchurch wieder so gut wie möglich aufzubauen, sondern dass erfahrene Personen fehlen, die diese Informationen in einem neuseeländischen Kontext ohne politische Befangenheit interpretieren können. (ebd. 57)

Es lässt sich schließlich festhalten, dass eine große Herausforderung des Wiederaufbaus in der Koordination und der Zusammenarbeit der einzelnen Organisationen besteht. Eine Fülle dieser ist zwar gut, um möglichst alle Problemfelder abzudecken, jedoch ist es sehr schwer einen Konsens zu finden, damit es zu Ergebnissen kommt bzw. mit dem Wiederaufbau einer Stadt begonnen werden kann.

10. Vergleichende Betrachtung

Es kann vorweggenommen werden, dass grundlegende Unterschiede zwischen den beiden Städten bestehen. Sowohl die Zerstörungsmuster als auch einzelne Komponenten des Wiederaufbaus, wie beispielsweise die verschiedenen involvierten Organisationen aber auch die Politik spielen hier eine wesentliche Rolle.

Der erste Unterschied kann in der Erdbebenstärke gemacht werden. In L'Aquila war die Intensität des Bebens mit einem M_w von 5.4 ein wenig schwächer als in Christchurch. Dort konnte ein Wert von 6.3 erreicht werden, was jedoch nicht bedeutet, dass das Ausmaß der Zerstörung geringer ausfiel. Wie bereits angeführt, hängt das Ausmaß der Gebäudezerstörung nach einem Erdbeben vor allem mit der Bauweise aber auch mit den Bausubstanzen und den Verstärkungen zusammen. Mit der Recherche zu meiner Diplomarbeit kam ich zu dem eindeutigen Ergebnis, dass die Gebäude in Christchurch wesentlich stabiler und erdbebensichere gebaut sind, als in L'Aquila. Dies liegt einerseits daran, dass L'Aquila eine Stadt mit sehr vielen historischen Gebäuden ist, welche aus unverstärktem Mauerwerk bestehen und andererseits vor allem das CBD in Christchurch dafür bekannt ist, eine weltweite Vorreiterrolle in der erdbebenpräventiven Bauweise innezuhaben. Die Fülle an Zerstörungen in L'Aquila ist auch an der höheren Anzahl an Todesopfern zu erkennen. Wohingegen in Christchurch 180 Menschen ihr Leben verloren haben, fielen dem Erdbeben in L'Aquila 304 Menschen zum Opfer. Interessant ist jedoch die Gemeinsamkeit beider Beben, wird die hohe Zahl an Nachbeben analysiert. Beide Städte wiesen viele Nachbeben auf, in L'Aquila wurde sogar 300 in nur vier Tagen registriert. Die Stärke der Nachbeben war in beiden Städten mit einem ungefähren Wert von M_w 5 gleich, die Ausbreitung jedoch unterschiedlich. Das Erdbeben in L'Aquila schloss eine größere Fläche Land ein. Ein weiteres Problem in L'Aquila war, dass das Nachrücken in den letzten 50 Jahren nicht so verlief, wie es ursprünglich erwünscht war. Der italienische Erdbebenstandard empfahl zwar die Verwendung traditioneller Techniken, wie das Ersetzen der ursprünglichen Holzdachkonstruktionen durch

neue Stahlbeton oder Stahlelemente, das Einsetzen von Stahlbetonringträgern in das Mauerwerk und neue Stahlbetonböden sowie die Verwendung von Stahlbetonummantelungen an den Scherwänden, jedoch zeigte sich, dass es dadurch zu erhöhten Erdbebenkräften aufgrund des höheren Gewichts kam bzw. dies auch zu Deformationen führte. In Christchurch wurden ebenso enormen Schäden an unverstärkten Mauerwerksgebäuden festgestellt, da sich diese starr gegenüber Erdbeben verhielten. Der Großteil der Gebäude im CBD bestand jedoch aus Stahlbeton, welche mit einer plastischen Bauweise angefertigt wurden, sodass sich diese bei einem Erdbeben gewollt verformen. Unter allen Stahlbetongebäuden der 60-er und 70-er Jahre gab es in ganz Christchurch nur einen Totaleinsturz. Die Stadt Christchurch hat in den 80er Jahren sehr viel für erdbebensicheres Bauen unternommen. In Christchurch gab es nur zwei Ausnahmen bei denen Gebäude beschädigt wurden, welche nach 1982 erbaut wurden. Es kann also festgehalten werden, dass die Schäden an Gebäuden in L'Aquila größtenteils auf das unverstärkte Material zurückgeführt werden können, obwohl in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts viele der Gebäude in der Region L'Aquila mit traditionellen Techniken verstärkt wurden. Die Zerstörungen in Christchurch sind vor allem auf Probleme mit der Verträglichkeit von Verformung sowie Planungs- oder Ausführungsfehler zurückzuführen. Ein weiterer Unterschied lässt sich vom Ereignis selbst ableiten. In L'Aquila führte die Stärke des Bebens selbst zum Großteil der Zerstörungen, in Christchurch hingegen lag ein großes Problem in der Bodenverflüssigung. Diese führte zu enorme Bodenbewegungen und Rissen in Böden sowie erheblichen Schäden an Straßen und Brücken. Dadurch kam es vor allem an Abwasser- und Trinkwasserleitungen aber auch Elektrizitätsnetzwerken zu Schäden. Die Bodenverflüssigung war aufgrund des Untergrundes des Bodens in Christchurch so typisch, da sich die Oberflächenschichten aus verflüssigbaren Sanden und Schlick zusammensetzen, wobei die darunter liegenden Schichten aus mittelschweren Sandkieseln sowie mittelschweren und dichten Sanden bestehen. Aufgrund dieser Tatsache zusammen mit der Bodenverflüssigung und der Kombination mit extrem starken Bodenbewegungen kam es zu schweren Schäden an einigen Gebäuden. In L'Aquila trat solch eine Bodenverflüssigung nicht auf, jedoch war das Erdbeben mit einer Magnitude von M_w 6.3 stärker und viele der Gebäude schlechter konstruiert bzw. aus historischem Mauerwerk und kulturellem sowie künstlerischem Wert, was auch der Grund für die wiederholten Restaurationen nach Erdbeben ist. Für L'Aquila kann festgehalten werden,

dass eine erhebliche Lücke zwischen den Anforderungen der modernen Erdbebencodes und der Baupraxis besteht.

Zum Wiederaufbau der beiden Städte lässt sich sagen, dass eine Entscheidungsfindung über die Einleitung des Wiederaufbausverfahrens eine große Herausforderung darstellte. Sowohl in Christchurch als auch in L'Aquila benötigten die Behörden Zeit, um Entscheidungen zu treffen, um alle Beteiligten zufrieden zu stimmen. Die Entscheidung, was mit einem zerstörten Gebäude geschah, unterschied sich bei beiden Städten. In L'Aquila war eine kleinere Zahl an Organisationen und Behörden in die Entscheidung involviert, jedoch kam hier das Problem der Eigentumsrechte ins Spiel. Dieser Umstand hat den Wiederaufbau des Stadtzentrums grundlegend verzögert, da Zuschüsse für eine Reparatur nur dem Eigentümer/ der Eigentümerin zustehen. Ein weiteres Problem lag in den bereits angesprochenen historischen Gebäuden. Da diese Teil des kulturellen Erbes der Stadt sind müssen sie demensprechend nach besonderen Erhaltungserfordernissen wiederaufgebaut werden. Da dies eine Menge Zeit erfordert, kommt es zu dadurch zu Verzögerungen, beispielsweise beim Wiederaufbau von Wohngebäuden. Bis heute müssen einige Gebäude noch vollständig wiederaufgebaut werden, um die Lebensqualität in L'Aquila vollständig herzustellen. Weiters ist die Zahl der für Erdbeben zuständigen Organisationen und Behörden in Christchurch höher. Ebenso gibt es in Christchurch eine Menge an Plänen und Programme, welche im Zusammenhang mit Erdbeben stehen. Hier spielen vor allem die Regular Organisation, die Regular Plans and Programmes, die Earthquake Related Organisations und die Earthquake Plans and Programms eine wesentliche Rolle, welche sich in mehrere Unterkategorien gliedern. Eine derart große Anzahl an Institutionen lässt auf viele unterschiedliche Interessensgruppen schließen, wodurch gleiche Ziele der Beteiligten sowohl vor als auch nach einem Erdbeben schwer zu finden sind. Nicht nur Organisationen, sondern auch Gemeinderäte, die Christchurch Center Development Unit, das Urban Development Strategy Implementation Committee das Gesetz CERA und viele weitere erschweren eine Koordination unterschiedlicher Interessen.

Die Untersuchungen im Zuge der vorliegenden Arbeit haben ergeben, dass die Bevölkerung in L'Aquila unzufrieden mit dem Tempo des Wiederaufbaus der Stadt war. Zur Verbesserung des Stadtbildes und um den Ärger der Bewohner*innen gering zu halten, wurden Pflanzen vor noch zerstörten Gebäuden bzw. vor Gebäuden platziert, welche seit Jahren beschädigt sind und bei denen die Wiederherstellung nicht vorangeht. In manchen Teilen L'Aquilas verlief der Wiederaufbau relativ gut, in anderen Stadtteilen wiederum sind bis heute die Auswirkungen

des Bebens noch deutlich erkennbar. Die Verwaltung der Stadt ist an dieser Stelle zuständig den Bewohner*innen eine lebenswerte Umgebung zu bieten, damit die Bevölkerung eine sukzessive Verbesserung der Gebäude und eine Verschönerung des Stadtbildes erkennen kann. Ich konnte jedoch keine Hinweise in der Literatur finden, welche auf eine Mitarbeit der Bewohner*innen, wie es in Christchurch der Fall war, hindeutete. In Christchurch wirken Räte, Kommissionen und andere Verbände, trotz ihrer Vielzahl, auf mich sehr gut organisiert. Hauptinitiator ist dabei die CERA, welche als Regierungsabteilung die Leitung und Koordination der Wiederherstellung nach dem Erdbeben innehatte. Wie bereits erwähnt fehlte in L'Aquila der Wille der Bewohner*innen sich selbst in den Wiederaufbau einzubringen. Dies lag vielleicht daran, dass die Bewohner*innen selbst nicht wussten wie sie sich beteiligen konnte. In Christchurch hatte der Stadtrat eine Kampagne mit dem Namen, „Share an Idea“, ins Leben gerufen. Es wurde eine Website erstellt sowie eine Ausstellung organisiert, an der 10.000 Menschen teilnahmen. Solch großes öffentliches Engagement war in Neuseeland beispiellos. Auf der besagten Website konnten die Bürger*innen ihre Ideen einbringen und auf andere Ideen reagieren bzw. diese kommentieren. Zusätzlich konnte der Rat Antworten auf Fragen der Bürger*innen über diese Homepage geben aber auch der Rat selbst konnte den Bewohner*innen Fragen stellen. Nach nur sechs Wochen wurden 106.000 Ideen gesammelt, wie der Wiederaufbau des CBDs der Stadt Christchurch aussehen sollte. An diesem Beispiel ist erkennbar, mit welchem Willen die Bewohner*innen einer zerstörten Stadt agieren, wenn von der Regierung Ideen kommen ihre Meinungen zu äußern, um diese für den Wiederaufbau heranzuziehen. Diese Aktion zeigt, wie Politik nach solch einem Ereignis aussehen kann. Schlussfolgend lässt sich sagen, dass L'Aquila von Christchurch lernen kann, die Wohngemeinschaft einer Stadt in Entscheidungen miteinzubeziehen.

Für beide Städte lassen sich vor allem Unterschiede erkennen, einerseits beim Ereignis selbst und andererseits auch bei den Zerstörungsmustern sowie beim Wiederaufbau bzw. der Organisation dieses Wiederaufbaus.

Platt (2012: 33) schrieb in seiner Publikation, dass der Kontrast zwischen L'Aquila und Christchurch enorm ist. Die Erholung in L'Aquila verlief nur sehr langsam. Der größte Teil des Zentrums ist noch drei Jahre nach dem Erdbeben abgesperrt. Die Bewohner*innen konnten in dieser Zeit nicht zurückkehren und das Geschäfts- und Wirtschaftsleben wurde ebenfalls stark beeinträchtigt. Aber über 3.000 mittelalterliche Gebäude, die durch das Erdbeben so stark wie in Christchurch beschädigt wurden, waren mit Gerüsten versehen worden. Fassaden

wurden mit einem Aluminium-Ektoskelett-Rahmen ausgestattet und Bögen, welche vom Zusammenbruch bedroht waren, wurden von unzähligen Acrow-Requisiten getragen. Dadurch konnte ihr Erbe wiederaufgebaut und gerettet werden. Christchurch hätte Expert*innen aus Italien einladen können, um ähnliche Erfolge beispielsweise beim Stützen der Gebäude zu erzielen. Christchurch muss nun aus den gemachten Fehlern, historische Gebäude unzureichend zu stützen, lernen, um bei einem möglichen nächsten Erdbeben besser vorbereitet zu sein.



Abb. 36. Vergleich zwischen der Christchurch Kathedrale am 08. März 2011 und eines historischen Gebäudes in L'Aquila am 18. März 2012. (Quelle: Platt 2012: 33)

11. Diskussion

Beide Städte weisen nicht nur einen sozialräumlichen Unterschied auf, sondern ebenso differenzierte physiogeographische Gegebenheiten, Zerstörungsmuster an Gebäuden, Herangehensweisen des Wiederaufbaus nach den Zerstörungen und auch die Organisation verschiedenster Institutionen und der zuständigen Stabstellen. Vor einer kritischen Analyse lässt sich jedoch nicht erkennen, ob sich die eben genannten Faktoren unterscheiden oder on mehr Gemeinsamkeiten bestehen. Zu den analysierten Städten L'Aquila und Christchurch kann gesagt werden, dass mehr Unterschiede als Gemeinsamkeiten als Ergebnis vernommen werden können. Diese wurden zum Großteil in den Ergebnissen von Kapitel „10. Vergleichenden Betrachtung“ aufgezeigt und werden nun noch einmal kurz angeführt und diskutiert.

Die Zerstörungsmuster der Gebäude lassen sich in den beiden Städten auf die unterschiedlichen Böden aber auch auf den Anteil an gestützten Gebäuden zurückführen. In Christchurch lag die Hauptproblematik in der Bodenverflüssigung, wohingegen das Problem in L'Aquila auf den alten historischen Gebäuden lag, die teilweise komplett einstürzten, da sie aus brüchigem Mauerwerk ohne Verstärkung bestanden. Wird die Bodenverflüssigung genauer betrachtet, lässt sich daraus ableiten, dass diese nicht vom Menschen beeinflusst werden kann, jedoch kann darauf geachtet werden, Gebäude nicht unmittelbar in die Nähe eines Feuchtgebietes zu bauen. In Christchurch wurden viele Gebäude, Straßen und Brücken zerstört, welche sich in der Nähe beispielsweise des Kaiapoi Flusses, des Courtenay Baches oder des Avon Flusses, entlang des CBDs, befanden. Besteht jedoch der Boden eines feuchten Gebiets aus unterschiedlichen verflüssigbaren Sanden und Schlick, muss das Fundament eines Gebäudes dafür sorgen, dass dieses nicht einstürzt. Aus diesem Grund stehen viele Gebäude in Christchurch auf komplexen Gründungssystemen. Viele Schäden des Erdbebens in Christchurch waren darauf zurückzuführen, dass eine Kombination aus schwierigen Fundamentbedingungen und den extremen Bodenbewegungen sowie der Bodenverflüssigung dazu führten, dass große Differentialbewegungen ausgelöst wurden. In L'Aquila kam es fast ausschließlich zu Rissen und Brüchen in den Wänden der Gebäude, jedoch auch zum Kippen ganzer Wände und dem Lösen von Boden- und Dachträgern, da z.B. Verankerungen aus dem Boden gezogen wurden. Das Problem beim Wiederaufbau in L'Aquila ist, dass ein Spagat zwischen dem Erhalt historischer Gebäude und der Verstärkung wiederaufgebaute Gebäude gemacht werden muss. Jene Gebäude, welche aus Stahlbeton

wiedererrichtet wurden, wiesen schlechte Betonqualität auf. Hier wäre es wichtig, vor allem die Betonqualität hoch zu halten, wenn schon darauf geachtet wird, dass Stahlbetongebäude errichtet werden, welche den Erschütterungen besser standhalten sollten, als die alten Gebäude aus unverstärktem Mauerwerk. Nun stehen sich einerseits der Erhalt historischer Gebäude und andererseits der Schutz der Bürger*innen gegenüber. Regierungen, nicht nur in L'Aquila, sondern weltweit, müssen hier Entscheidungen treffen. Meiner Meinung nach gilt es, das Leben der Menschen zu schützen, daher sollte die Regierung in L'Aquila mit allen Mitteln versuchen geschichtsträchtige Bauten nachträglich zu stärken, um diese erdbebensicherer zu machen. An dieser Stelle wäre es gut, zuerst die historischen Wohngebäude wiederaufzubauen, um den Bewohner*innen ein Dach über dem Kopf zu bieten und erst im Anschluss mit der Restauration der übrigen historischen Gebäude zu beginnen. Christchurch weist modernere Gebäude auf als L'Aquila. In Christchurch wird seit den 1980-er Jahren verstärkt von der Regierung darauf geachtet, dass Totaleinstürze durch Erdbeben vermieden werden. Dies soll vor allem durch kontrollierte plastische Verformungen der Gebäude durch spezielle Bauweise geschehen. In Christchurch waren nur zwei Gebäude, die nach 1982 erbaut wurden, von größerer Zerstörung betroffen. Vor allem die Technik der „Base Isolation“ und „PRESS“ müssen hier erwähnt werden. Bei der „Base Isolation“ werden zwischen dem Fundament und der Konstruktion Bleikern-Gummilager gegen den Baugrund isoliert, um dadurch eine Übertragung der horizontalen Bodenbewegungen zu verhindern. Die „PRESS“-Technik vertraut auf schlanke Stahlbetonschubwände, welche ohne Anschlussbewehrung am Wandfuß angebracht werden, dadurch sollen die Wände kontrolliert wippen können und Energie wird dissipiert. Bei der Literatursuche konnte ich für L'Aquila keine Beispiele derartig moderner erdbebensicherer Gebäude finden. Dieses Beispiel zeugt von der Überlegenheit Neuseelands in diesem Bereich, wenn es um erdbebensicheres Bauen geht. Für die Stadt L'Aquila wäre es gut, Vorschläge und Ideen einzuholen, um eine solche Bauweise an ihren Gebäuden zu realisieren, was im Interesse aller Beteiligten liegen sollte, da somit das Wohlergehen der Bevölkerung geschützt wird. Es darf nicht außer Acht gelassen werden, dass die Konstruktionen der beiden Spitäler in Christchurch als „best practice“ Beispiele herangezogen wurden und die neuseeländische Stadt selbst viel Aufholbedarf bei anderen, älteren Gebäuden hat.

Wie bereits in Kapitel 8 angeführt spielen zuständige Organisationen aber auch die Bevölkerung nach einem Erdbeben eine wesentliche Rolle. Bei meiner Ausarbeitung konnte

ich feststellen, dass die Organisationen, einschließlich der Beteiligung der Bürger*innen der jeweiligen Stadt in Christchurch vorbildhaft verlief. Trotz der Fülle an unterschiedlichsten Institutionen schaffte es die Stadt auch noch die Vorlieben der Bewohner*innen zu berücksichtigen. Es bestand zwischen allen Stellen sowohl Organisationen, Kommissionen, Räten, Bürger*innen und mit einer Ausnahme auch mit den Architekt*innen eine gute Zusammenarbeit. Jene Kooperation konnte ich bei meiner Recherche zum Wiederaufbau für die Stadt L'Aquila nicht erkennen. Eventuell besteht hier eine Forschungslücke, um auf eine gute oder schlechte Zusammenarbeit der verschiedenen Parteien schließen zu können. In der Literatur zu Christchurch wurden die Kooperationen des Öftern angeführt und als Thema behandelt.

Soweit ich aus meiner Recherche beurteilen kann, gibt es keine Bauweise, die zu 100% eine Zerstörung eines Gebäudes nach einem Erdbeben verhindern kann. Im Fall der beiden Krankenhäuser kann man erkennen wieviel Einfluss eine gute und moderne Bauweise hat und dass damit eine große Zahl an Todesopfer verhindert werden kann. Es ist zu erwarten, dass technische sowie bauliche Möglichkeiten weiterhin verbessert werden und kontinuierlich am Fortschritt gearbeitet wird. Interessant wäre zu wissen, ob beide Städte aus den vergangenen Beben gelernt haben und auf ein mögliches neues Erdbeben gut vorbereitet wären, um möglichst viele Menschenleben zu retten. Das Problem ist jedoch, dass vor allem ältere, historische Gebäude zwar mit den in dieser Diplomarbeit gezeigten Methoden verstärkt werden können, jedoch können diese nie so gut nachgerüstet werden, wie Gebäude, welche von Beginn an mittels „PRESS“ oder „Base Isolation“ errichtet wurden. Verfügt eine Stadt über genug finanzielle Mittel sollte diese hoch moderne Konstruktionen beim Wiederaufbau verwenden, um massive Schäden zu vermeiden und auch um nach der Katastrophe an Wiederaufbaukosten zu sparen. An dieser Stelle wäre es interessant weitere Forschung in die Richtung zu betreiben, ob es teurer ist eingestürzte Gebäude hochmodern wiederaufzubauen, damit diese ein erneutes Erdbeben überstehen oder diese doch nur mittels Stahlbeton und herkömmlichen Verstärkungen zu errichten, obwohl diese Methode ein erneutes Beben eventuell nicht überstehen würde. Das Problem dabei ist jedoch, dass mit jedem erneuten Einsturz etliche Menschenleben in Gefahr sind.

12. Schlussfolgerung

In der Schlussfolgerung werden die Forschungsfragen und die Hypothesen noch einmal aufgegriffen und zusammenfassend beantwortet.

1. Forschungsfrage: Worin liegen die Unterschiede und Gemeinsamkeiten der Zerstörungsmuster in den einzelnen Städten, und wie können jene erklärt werden?

1. Hypothese: Es besteht ein Zusammenhang der Zerstörungsmuster nach dem Erdbeben in den beiden Städten L'Aquila und Christchurch.

Hier lassen sich sowohl Unterschiede als auch Gemeinsamkeiten feststellen. In L'Aquila haben in den letzten 50 Jahren die Zerstörungen historischer Gebäude aus Mauerwerk trotz Verstärkung zugenommen. Durch das bloße Ersetzen der ursprünglichen Holzdachkonstruktionen durch beispielsweise neue Stahlbeton- oder Stahlelemente nahmen die Zerstörungen der Gebäude sogar teilweise zu, da das Gewicht der Gebäude nun zu groß war und in Kombination mit dem Erdbeben leichter auf Erschütterungen reagierte. Christchurch hatte dieses Problem nicht, jedoch lag das größte Problem in der Bodenverflüssigung.

Für die untersuchten Gemeinden Poggio Picenze, Castelvecchio Subequo und der Provinz L'Aquila selbst lässt sich als Ergebnis festhalten, dass die größten Schäden an meist älteren, historischen Gebäuden aus minderwertigem Mauerwerk entstanden sind. Nicht nur die Wände, sondern auch die Böden waren insgesamt leicht verformbar und aufgrund dessen leicht zu beschädigen. Ebenso das Einsetzen von Stahlträgern vor dem Erdbeben half wenig, da diese wegen der schlechten Konsistenz der Mauerwerkswände ineffektiv waren und dadurch viele Bruchstellen und Zerstörungen außerhalb der Bruchebene auftraten. In Christchurch hingegen waren die Voraussetzungen größtenteils besser, jedoch kam es hier aufgrund der Bodenverflüssigung zu Differenzialbewegungen und die Gebäude sanken teils mit unterschiedlicher Tiefe in den Boden. Jene Bodenverflüssigung fand jedoch nur in Abschnitten der Stadt statt, wo auch die Voraussetzungen dieser gegeben sind. Somit war das Ausmaß der Zerstörung in Christchurch sehr stark vom Standort abhängig. Ebenso gab es Unterschiede der Baumaterialien der in Christchurch stehenden Gebäude. Eine beliebte

Gebäudeart sind die sogenannte Big-Box-Bauten, die jedoch sehr anfällig bei Erdbeben sind. Hier kam es vor allem zu Schäden an den Verankerungen zwischen Dach und Wand.

Die Gemeinsamkeit beider Städte liegt darin, dass die am stärksten betroffenen Gebäude jene aus unverstärktem Mauerwerk sind. Ebenso sind in beiden Regionen etliche Holzbauten zu finden, welche stark einsturzgefährdet sind. In beiden Städten schnitten Gebäude aus Stahlbeton in Bezug auf die Lebenssicherheit besser ab und erlitten in der Regel weniger starke Schäden. In Christchurch kam es häufiger zu Schäden durch den Zusammenstoß zweier benachbarter Gebäude, da keine ausreichende „Erdbebenlücke“ bestand. Typisch für das Erdbeben in Christchurch war die Zerstörung der Trinkwasserleitungen, was zu einer massiven Einschränkung an der Wasserversorgung der Stadt geführt hat. Ähnliche Problematiken konnte in der Literatur zum Erdbeben von L’Aquila nicht gefunden werden.

2. Forschungsfrage: Was sind die grundlegenden Unterschiede und Gemeinsamkeiten des Wiederaufbaus nach den Erdbeben in L’Aquila und Christchurch?

2. Hypothese: Beim Wiederaufbau nach dem Erdbeben in der beiden Städte L’Aquila und Christchurch lassen sich Unterschiede beim Wiederaufbau feststellen.

Nun gilt es zu klären, welche Unterschiede und Gemeinsamkeiten aus dem Wiederaufbau abgeleitet werden können. In L’Aquila konnten sechs Jahre nach dem Beben 20% der zerstörten Gebäude rekonstruiert werden. Dies ist keine besonders hohe Zahl, welche zwar auf eine sukzessive Verbesserung der Situation hindeutet, jedoch der Erholungsprozess lange Zeit benötigt. Für L’Aquila kann festgehalten werden, dass der Wiederaufbauprozess nicht ideal verlaufen ist bzw. verläuft. Machen Gebäude befinden sich seit sieben Jahren im gleichen Zustand, da oft Probleme mit den Eigentumsrechten bestehen und somit niemand weiß, wer verantwortlich für ein bestimmtes Gebäude ist und somit finanzielle Zuschüsse nicht zugeordnet werden können. Die Zahl der rekonstruierten und bewohnten Gebäude steigt nun seit 2014 stetig an. Ebenso steigt jedoch auch die Zahl der abgerissenen Gebäude, sowie die der Gebäude mit Nutzungsbeschränkungen. Wie schon bei den Ergebnissen analysiert wurde, bestand bzw. besteht das größte Problem beim Wiederaufbau in L’Aquila in der Koordination des Aufbaus der historischen, kulturellen Gebäude und des Wiederaufbaus von Wohnhäusern. Wird beim Erhalt bzw. Wiederaufbau viel Zeit bei der Rekonstruktion

geschichtsträchtiger Bauten benötigt, fehlt diese beim Wiederaufbau von Wohngebäuden. Christchurch war geprägt von den Schäden durch die Bodenverflüssigung. Aufgrund dieser Tatsache ist es überaus wichtig, dass auf Grundstücken geeignete Fundamente vorhanden sind, um Gebäude vor den extremen Auswirkungen dieser Bodenverflüssigung zu bewahren. Auf dem CBD von Christchurch lag der Fokus des Wiederaufbaus, da dieses der Knotenpunkt der Wirtschaft ist. Aus der Literatur kann vernommen werden, dass eine genau geplante Koordination der einzelnen Institutionen vorhanden ist. Es gibt exakte Vorgaben der Politik, wer für welche Aufgabe zuständig ist. Beispielsweise muss der Stadtrat laut Gesetz einen Planentwurf für das CBD ausarbeiten, der dem Wiederherstellungsminister von Canterbury vorgelegt wird. Zusätzlich muss sich dieser mit CERA beraten und mit anderen Institutionen zusammenarbeiten. Eine Menge an bürokratischen Vorgaben müssen also eingehalten werden. In L'Aquila hingegen konnte ich keine derart exakte Vorgabe eines Ablaufs bei einem anstehenden Wiederaufbau erkennen. Sicher kann gesagt werden, dass weitaus mehr Organisationen beim Wiederaufbau in Christchurch involviert waren. Durch die genaue Zusammenarbeit und auch dem Einbringen der Bevölkerung in Ideen ging der Wiederherstellungsprozess schneller voran als in L'Aquila. Ebenso gibt es ein Beispiel in Christchurch, welches die Innovation der Stadt in Bezug auf die Handhabung des Aufbaus historischer Gebäude zeigt. Während die Zuständigen in L'Aquila versuchten, die historischen Gebäude auf konventionelle Art wiederherzustellen, wurde in Christchurch eine zerstörte Kathedrale nicht gleich wiederaufgebaut, sondern es wurde eine temporäre Kathedrale aus Karton errichtet. Die Kosten beliefen sich auf 5 Mio. \$. Jedoch hat die Stadt nun Zeit sich zu überlegen, ob die Kathedrale für einen Preis von 100 Mio. \$ restauriert oder für 40 Mio. \$ neu gebaut werden soll. Beim Stützen der Gebäude selbst war L'Aquila jedoch die erfolgreichere Stadt. Der Wiederaufbau an sich verlief zwar langsamer, dennoch wurden in L'Aquila über 3.000 beschädigte alte Gebäude gestützt. Aufgrund dieser Maßnahme konnte das Erbe der Stadt ein wenig gerettet werden. Hier hätten die Zuständigen in Christchurch Expert*innen aus Italien einladen können, um auch ihre historischen Gebäude besser vor einem kompletten Zusammensturz zu bewahren.

13. Literaturverzeichnis

- Alexander D. (2013): An evaluation of medium-term recovery processes after the 6 April 2009 earthquake in L'Aquila, Central Italy. – In: Environmental Hazard 12, 60-73.
- APA (2015): Erdbeben in L'Aquila: Wissenschaftler freigesprochen. – In: Der Standard, 21.11.2015; auch online unter: <https://www.derstandard.at/story/2000026165258/erdbeben-in-laquila-wissenschaftler-freigesprochen> (21.11.2019)
- Audefroy J. (2011): Haiti: post-earthquake lessons learned from traditional constructions. – In: Environment and Urbanization 23 (2), 447-462.
- Backhaus N. und Tuor R (2010): Leitfaden für wissenschaftliches Arbeiten. – Zürich. (= Schriftenreihe Humangeographie 18).
- Bahlburg H. und Breitreut C. (2017): Grundlagen der Geologie. – Berlin.
- Blakely E. und Fisher P. (2017): We can learn a lot from disaster, and we now know some areas don't recover. <https://theconversation.com/we-can-learn-a-lot-from-disasters-and-we-now-know-some-areas-dont-recover-71008>
- Burg J.-P. (2010): Blattverschiebungssysteme Tektonik – WS 2010; online 2010. <https://doi.org/10.3929/ethz-a-007204571> (20.01.2020)
- Chiarabba C. et al. (2009): The 2009 L'Aquila (central Italy) Mw6.3 earthquake: Main shock and aftershocks. – In: Geophysical Research Letter 36, 1-6.
- Cimellaro G. P. et al. (2010): L'Aquila Earthquake of April 6th, 2009 in Italy: Rebuilding a Resilient City to Multiple Hazard. – Buffalo.

- Contreras D. et al. (2014): Myths and realities about the recovery of L'Aquila after the earthquake. – In: International Journal of Disaster Risk Reduction 8, 125-142.
- Contreras D. et al. (2018): Measuring the progress of a recovery process after an earthquake: The case of L'Aquila, Italy. – In: International Journal of Disaster Risk Reduction 28, 450-464.
- Curtis J.W. et al. (2012): Spatial patterns of post-wildfire neighborhood recovery: a case Study from the Waldo Canyon Fire.
- das-erdbeben (o.J.): Erdbeben in Neuseeland; online o.J.
<http://www.das-erdbeben.de/neuseeland.htm> (20.01.2020)
- Formisano A., Grippa M.R. und Di Feo P. (2010): L'Aquila earthquake: a survey in the historical centre of Castelvechio Subequo. – Naples.
- Freudenthaler C., Lenhardt W. und Mitterbauer U. (2009): Wenn die Erde bebt. – Forschungsheft, ZAMG, Wien; auch online unter:
<http://www.zamg.ac.at/docs/lexikon/Erdbeben-Forschungsheft.pdf> (21.11.2019).
- Gotzinger J. und Jordan T. (2017): Erdbeben. – In: Press F., Siever R. et al. (Hrsg.): Allgemeine Geologie. – Berlin, 335-370.
- Gödecke J.-H. und Gödecke H.-J. (2010): Bodenverflüssigung bei Erdbeben – Rechnerischer Nachweis mit Lasteinwirkung und Bodenwiderständen. – In: Bautechnik 87 (10), 604-613.
- Grünthal G., Mayer-Rosa D. und Lenhardt W. (1998): Abschätzung der Erdbebengefährdung für die D-A-CH-Staaten – Deutschland, Österreich, Schweiz. – In: Bautechnik 75 (10), 753-767.
- Grünthal G. (2004): Erdbeben und Erdbebengefährdung in Deutschland sowie im europäischen Kontext. – In: Geographie und Schule 151, 14-23.

- Hooper M. (2015): Will the City Rise Again? The Contested Geography of Housing Reconstruction in Post-Disaster Haiti. – In: Housing Studies 30 (7), 1016-1035.
- Hitzler R. und Honer A. (1997): Einleitung: Hermeneutik in der deutschsprachigen Soziologie heute. - In: Hitzler R. und Honer A. (Hrsg.): Sozialwissenschaftliche Hermeneutik. – Wiesbaden, 7-27.
- Kaiser A., et al. (2012): The M_w 6.2 Christchurch earthquake of February 2011: preliminary report. – In: New Zealand Journal of Geology and Geophysics 55, 67-90.
- Koliou M., Masoomi H. und van de Lindt J.W. (2017): Performance Assessment of Tilt-Up Big-Box Buildings Subjected to Extreme Hazards: Tornadoes and Earthquakes. – In: Journal of Performance of Constructed Facilities 31 (5), 1-13.
- Krstevska L., Tashkov Lj. und Naumovski N. (2010): In-situ experimental testing of four historical building damaged during the 2009 L'Aquila earthquake.
<https://t1p.de/ydih> (gekürzter Link) (16.12.2019).
- Lovett, R. (2010): Why Chile fared better than Haiti. – In: Nature; online 01.03.2010
<https://www.nature.com/articles/news.2010.100> (14.12.2019)
- Michael A.J. (2011): Random variability explains apparent global clustering of large earthquakes. – In: Geophysical Research Letters 38 (21301), 1-5;
<https://doi.org/10.1029/2011GL049443>
- Nagra (2015): Sind sie spröde oder plastisch?; online 10.11.2015.
<http://www.erdwissen.ch/2015/11/sind-sie-sproede-oder-plastisch/> (11.11.2019).
- PCAE (2014): Theorie zu Mauerwerksnachweisen; online 2014.
https://www.pcae.de/main/progs/details/mauer/mauer_theorie.htm

- Platt S. (2012): Reconstruction in New Zealand post 2010-11 Christchurch earthquake. ReBuillDD field February 2012. – Cambridge.
- Press F., Siever R. et al. (2008): Allgemeine Geologie. – Berlin Heidelberg.
- Rothe P. (2015): Allgemeine Geologie. – Darmstadt.
- USGS (o.J.): Rayleigh waves; online o.J.
<https://earthquake.usgs.gov/learn/glossary/?term=Rayleigh%20wave> (15.11.2019).
- Utsu T., Ogata Y. und Matsu'ura R.S. (1995): The Centenary of the Omori Formula for a Decay Law of Aftershock Activity. – In: J. Phy. Earth 43, 1-33.
- Wenk T. (o.J.): Grundlagen. Erdbebengerechter Entwurf. – Zürich.
- Wielandt E. (1996): Seismographien. – In: Wechselwirkungen, Jahrbuch aus Lehre und Forschung der Universität Stuttgart (1996).
<http://dx.doi.org/10.18419/opus-125>.
- Zahn F. A. (2011): Bauwerksschäden infolge Erdbebens. Das M 6,3-Erdbeben am 22.2.2011 in Christchurch, Neuseeland. – In: Bautechnik 88 (12), 836-847.