



Masterarbeit

**Analyse nicht duktiler Hochbauten bei Erdbebenbeanspruchung unter dem Einsatz elastischer Lagerung -
Marktpotenzialanalyse in seismisch gefährdeten
Ländern**

unter der Leitung von

Dipl.-Ing. Dr. techn. Univ.-Doz. tit. Ao. Univ.-Prof. Rainer Flesch

Institut für Betonbau

Fakultät für Bauingenieurwissenschaften – Konstruktiver Ingenieurbau

eingereicht an der Technischen Universität Graz

von

BSc. Elissavet Klava

Graz, März 2013

Eidesstattliche Erklärung

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

Graz, am 17.04.2013

.....

(Unterschrift)

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich besonders bei Herrn Dipl.-Ing. Dr. techn. Univ.-Doz. tit. Ao. Univ.-Prof. Rainer Flesch für seine Unterstützung, Betreuung und die abschließende kritische Begutachtung meiner Arbeit bedanken.

Ein besonderer Dank gilt Herrn Dipl.-Ing. Herbert Friedl und Mag. Ing. Maciej Kwapisz für die fachliche Unterstützung und Beratung im Rahmen dieser Arbeit.

Des Weiteren bedanke ich mich bei Herrn Dipl.-Ing. Peter Burtscher für sein Engagement. Bei Ing. Christian Loretz und Dipl.-Ing. (FH) Martin Dietrich für fachliche Inputs.

Außerdem bin ich Frau Mag. Karoline Alten für ihre tatkräftige Unterstützung sowie etliche Verbesserungsvorschläge sehr dankbar.

Ein liebevolles Dankeschön geht an MMag. Sandra Inzko für die Geduld bei der Korrektur der Masterarbeit und die Ratschläge, die Einiges zur Finalisierung der Arbeit beigetragen haben.

Der größte Dank gilt meinen Eltern Maria und Giannis, die mir das Studium ermöglicht, immer an mich geglaubt und mir oft Mut zugesprochen haben. In gleichem Maß gilt mein Dank meiner Tante Georgia und meinem Onkel Richard dafür, dass sie mich immer wie ihre eigene Tochter behandelt haben und ohne die ich nicht da hingekommen wäre, wo ich jetzt bin.

Zu guter Letzt gebührt meinem Freund Manuel Thalhammer großer Dank, der in den entscheidenden Momenten der Schaffensphase immer als erster für mich da war. Ebenso möchte ich mich bei Familie Thalhammer für die liebevolle Unterstützung über die letzten Jahre bedanken.

Kurzfassung

Die vorliegende Masterarbeit befasst sich mit der Auswirkung einer elastischen Lagerung im Hochbau, speziell bei Mauerwerksbauten. Im Auftrag der Firma Getzner GmbH wurden zwei Bereiche behandelt, zum einen der technische und zum anderen der wirtschaftliche Teil.

Der erste Teil dieser Arbeit hat als Ziel, ein passendes Konzept zu finden, mit dem die Tragfähigkeit und die Verformbarkeit von Gebäuden aus Mauerwerk unter Einsatz einer elastischen Lagerung im Falle eines Erdbebens verbessert werden kann. Es wird ein Überblick über die schon existierenden Erdbebenisolierungen im Hochbau gegeben. In weiterer Folge wird der Werkstoff Sylomer® präsentiert und es werden konstruktive Möglichkeiten vorgeschlagen, die eine Kombination von Sylomer® und Mauerwerkstein ermöglichen sollten. Hauptaugenmerk des konstruktiven Teils ist die Durchführung einer Sensitivitätsanalyse. Das Ziel ist, die Bewertung der Wirkung der elastischen Lagerung im Mauerwerksbau bei Erdbebeneinwirkung. Es wurden statische und dynamische Berechnungen unter Verwendung von Wandscheibenmodellen durchgeführt. Hierbei wurden die Wandgeometrie und Materialparameter variiert. Ebenso wurden unterschiedliche Erdbebenzeitverläufe verwendet. Um das nichtlineare Verhalten von Mauerwerk zu berücksichtigen und die Versagensmechanismen infolge Erdbebenbelastung realistisch darstellen zu können, wurden für die Modellierung der Wandscheiben das Materialmodell nach Ganz verwendet.

Der zweite Teil der Masterarbeit befasst sich mit der sogenannten Marktpotenzialanalyse. Es wurde die prinzipielle Vorgehensweise vorgestellt. Die wesentlichen Aussagen zur Potenzialanalyse waren soweit zu konkretisieren, dass die Firma Getzner künftig in der Lage ist, eine wirtschaftliche Bewertung mit ihren Gewichtungen und Kostenvorstellungen durchführen zu können. Durch die beschriebene Methodik ist es möglich, für ein beliebiges Land schrittweise den relevanten Markt zu ermitteln.

Abstract

This master thesis deals with the impact of an elastic bearing in building construction, especially for masonry structures. On behalf of Getzner GmbH two areas were examined, the technical aspect on the one hand and the economic aspect on the other.

The objective of the first part of this thesis is to find a suitable concept to improve the capacity and the ductility of masonry in the event of an earthquake by using an elastic bearing. Additionally, it provides an overview of the pre-existing seismic insulation in building construction. Subsequently, the material Sylomer® is presented and designs that would allow for a combination of Sylomer® and masonry stone are suggested. Main focus of the constructive part is to conduct a sensitivity analysis. The objective is to evaluate the effect of the elastic mounting for masonry during seismic action. Static and dynamic calculations were carried out using wall disk models. Here, different geometry and material parameters were examined. Likewise, different earthquake time histories were used. To take account of the nonlinear behavior of masonry and the failure mechanisms due to earthquake loading, the material model in accord with Ganz was used for the modeling of shear walls.

The second part of the thesis deals with the so-called market potential analysis. Its general procedure was introduced. The main goal was to allow for Getzner GmbH to carry out an economic assessment with regard to respective emphases and budget. The described methodology supports a relevant-market-identification in any country.

Inhaltsverzeichnis

Eidesstattliche Erklärung	I
Danksagung	II
Kurzfassung	III
Abstract.....	IV
1 Einleitung	1
1.1 Auftrag und Ziel	3
1.2 Abgrenzung	3
2 Erdbeben	4
2.1 Entstehung von Erdbeben	4
2.2 Erdbebenwellen.....	6
2.3 Stärke von Erdbeben	6
2.3.1 Magnitudenskala (Richterskala)	6
2.3.2 Intensitätsskala	7
2.4 Erdbebennormung	10
2.4.1 Regeln für Mauerwerksbauten	10
3 Tragwerkseigenschaften	11
3.1 Masse	12
3.2 Steifigkeit.....	12
3.3 Dämpfungsverhalten.....	12
3.3.1 Rayleigh-Dämpfung	13
3.4 Duktilität.....	15
3.5 Tragwiderstand	18

4	Maßnahmen zur Herabsetzung der Schwingungsbeanspruchung ..	20
4.1	Allgemeine Schwingungsisolierung	21
4.2	Base isolation	22
4.2.1	Bewehrte Elastomerlager.....	24
4.2.2	Reibpendellager	28
4.2.3	Gleitpendellager	29
4.3	Lagerung mittels Stahlfeder	30
4.4	Schwingungsdämpfer	31
4.5	Schwingungstilger	33
5	Mauerwerksbauten und Erdbeben	36
5.1	Baustoffe	36
5.1.1	Mauersteine.....	36
5.1.2	Mauermörtel	37
5.1.3	Mauerwerk	37
5.2	Beanspruchung und Tragwerkverhalten	37
5.2.1	Druckbeanspruchung	39
5.2.2	Zugbeanspruchung	40
5.2.3	Schubbeanspruchung.....	40
5.2.4	Modelle zur Schub- und Scherbeanspruchung	42
5.2.5	Bruchkriterien.....	44
5.3	Versagensmechanismen	46
6	Elastische Lagerung im Hochbau	47
6.1	Elastomer.....	47
6.2	Sylomer®-Werkstoffe	50
6.2.1	Werkstoffübersicht	51

6.3	Arten der Lagerung und Auslegung	53
6.4	Allgemeine Überlegungen	54
6.5	Konstruktive Möglichkeiten	55
6.5.1	Bewehrung und Ringanker in der Lagerfuge	55
6.5.2	Elastomerlager und Epoxidharzklebstoff.....	57
7	Sensitivitätsanalyse	58
7.1	Anpassung von Mauerwerksdaten aufgrund von Testversuchen ..	60
7.1.1	Wandversuch Nr.1	60
7.1.2	Wandversuch Nr.2.....	62
7.1.3	Wandversuch Nr.3.....	64
7.1.4	Materialien	66
7.1.5	Geometrie.....	68
7.1.6	Elastomerlager.....	71
7.2	Bemessungsverfahren für Erdbeben	71
7.3	Verifikation.....	71
7.3.1	Statische Berechnungen einer horizontal belasteten Wand mit und ohne Elastomerlager.....	71
7.3.2	Zeitverlaufsanalyse von mehreren 2D Wänden	77
7.3.2.1	Vergleich von Materialien.....	77
7.3.2.2	Vergleich Wandscheibe mit und ohne Elastomerlager	81
7.3.2.3	Zusammenfassung der Zeitverlaufsberechnung.....	88
8	Marktpotenzialanalyse.....	90
8.1	Definition relevanter Begriffe.....	90
8.2	Hochbau in Europa	92
8.3	Seismizität in Europa	94

8.4	Vulnerabilität, Erdbebengefährdung, Erdbebenrisiko	97
8.4.1	Vulnerabilität	97
8.4.2	Erdbebengefährdung.....	101
8.4.3	Wert.....	102
8.4.4	Erdbebenrisiko	102
8.5	Methodik und Vorgehensweise.....	104
8.6	Griechenland	110
8.6.1	Allgemeines.....	110
8.6.2	A – Risikoanalyse	110
8.6.2.1	A1 - Erdbebengefährdung in Griechenland.....	110
8.6.2.2	A2 – Risikobetrachtung.....	112
8.6.2.3	A3 - Anteil der Fläche.....	113
8.6.3	B - Marktanalyse	115
8.6.3.1	B1 - Bauwirtschaft	115
8.6.3.2	B2 - Bauvolumen-Marktdynamik	117
8.6.3.3	B3 - Hochbau als Teil des Gesamtbauvolumens ermitteln ..	122
8.6.3.4	B4 - Ziegelbau	123
8.6.3.5	B5 - Normativer Hintergrund	126
8.6.4	SWOT-Analyse und anschließende Abschätzung des Marktpotenzials	127
8.7	Weitere Kurzbeispiele einer Potenzialanalyse	130
8.7.1	Italien.....	130
8.7.2	Zypern.....	136
8.7.3	Wachstumsrate des BIP in den untersuchten Ländern	138
9	Zusammenfassung und Ausblick	140

9.1 Zusammenfassung	140
9.2 Ausblick und Anregung.....	142
Anhang A - Begriffsklärung.....	143
Anhang B - Klimatische Zonen	147
Anhang C - Gebäudetypologie Italien	150
Literaturverzeichnis	154
Abbildungsverzeichnis.....	167
Tabellenverzeichnis	174

1 Einleitung

Erdbeben gehören zu den natürlichen Ereignissen, die ohne Auftreten von Vorwarnungen geschehen und innerhalb weniger Minuten katastrophale Auswirkungen auf ihre Umgebung haben können. Abbildung 1-1 zeigt die Anzahl von Erdbebenopfern im Zusammenhang mit der Anzahl von Erdbeben, die über die Jahrzehnte seit 1900 weltweit aufgezeichnet worden sind. Auch wenn erdbebensicheres Bauen heute wesentlich fortschrittlicher ist als einst, so werden im Jahrzehnt ab 2000 doch die meisten Erdbebenopfern gezählt. Ähnlich hohe Zahlen gibt es laut dieser Grafik nur in den 1920er Jahren sowie in den späten 1970er Jahren. Dies wird durch zwei Ursachen bedingt: Einerseits variiert die Erdbebenaktivität über die letzten 100 Jahre. Andererseits traten erhöhte Aktivitäten in den stark bevölkerten Gebieten auf. Die stark angestiegene Zahl von aufgezeichneten Erdbeben mit Todesopfern seit den 1970er Jahren ist vor allem auf genauere Aufzeichnungen zurückzuführen [78].

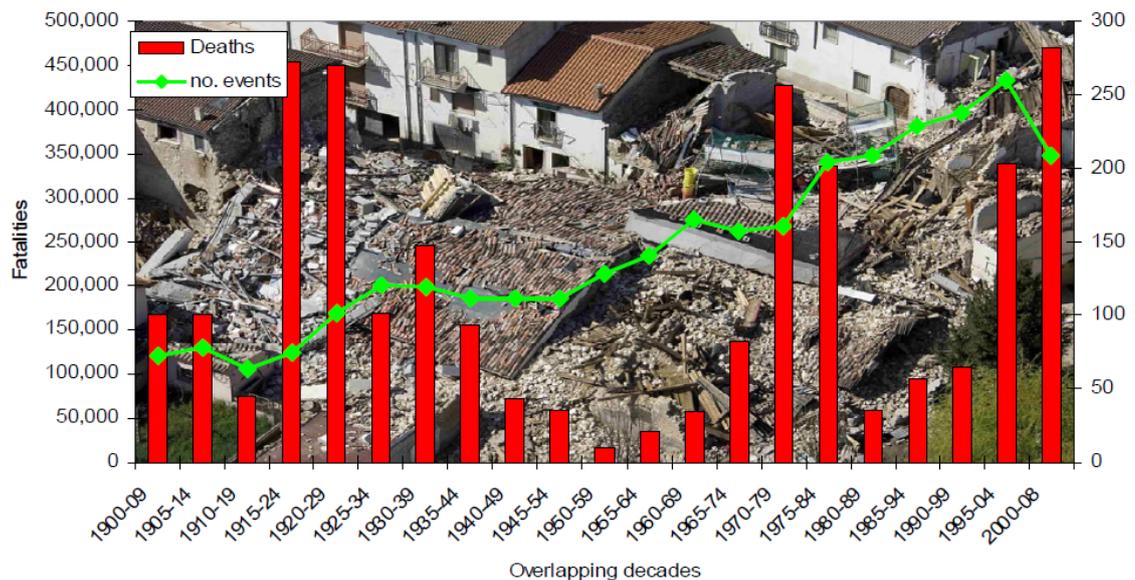


Abbildung 1-1: Erdbebenaktivität und Opferzahlen von 1900 bis 2008 [78]

Auch Erdbeben wie jene in Haiti (Januar 2010) mit einer Stärke von 7,2 der Richterskala oder in Chile (Februar 2010) mit einer Stärke von 8,8 beweisen, wie groß das Schadenausmaß auf den Menschen und seine Umgebung sein kann. In Haiti gab es 250.000 Todesopfer und finanzielle Schäden von 8 Mrd. US Dollar und in Chile 342 Todesopfer und 30 Mrd. US Dollar [40]. Daraus lässt sich erkennen, dass ein erdbebensicheres Bauen große Aufmerksamkeit verdient.

Im Falle eines Erdbebens sollten durch das richtige Entwerfen, Bemessen und Konstruieren eines Gebäudes bestimmte Ziele erreicht werden. Diese Schutzziele sind laut ÖNORM EN 1998-1 [1] beschrieben:

- Das menschliche Leben soll geschützt werden,
- Schäden sollen begrenzt werden und
- wichtige Bauwerke zum Schutz der Bevölkerung sollen funktionstüchtig bleiben.

In der vorliegenden Arbeit werden speziell Bauwerke aus Mauerwerk unter Erdbebeneinwirkung betrachtet.

Ziegel wurden bereits in den uns bekannten frühen Kulturen hergestellt und verwendet. Bei den Ägyptern wurden Ziegel aus Schlamm und Mist geformt und an der Sonne getrocknet. In Mesopotamien wurden vor rund 6000 Jahren Ziegel bereits gebrannt. Blickt man über unseren Kulturkreis hinaus, so ist die ornamentale Verwendung von Ziegeln in der islamischen Kultur besonders hervorzuheben, deren Meisterschaft bis heute unerreicht bleibt. Im Abendland wurde die Kunst der Ziegelfertigung von den alten Römern verbreitet. Von ihnen wurde beispielsweise der Gewölbebau entwickelt. Mit dem beginnenden Mittelalter geriet der Ziegel in Vergessenheit, weil vor allem Holzhäuser gebaut worden sind. Ab dem 8. Jhdt. n. Chr. fand der Ziegel wieder Verbreitung. Bis zum 19. Jahrhundert wurden Ziegel in erster Linie in Handwerksbetrieben hergestellt, danach begann die maschinelle Ziegelproduktion [37].

Mauerwerk und speziell unbewehrtes Mauerwerk besitzt eine geringe Tragfähigkeit aufgrund seines spröden Verhaltens. Dieses hat mit den unterschiedlichen Eigenschaften seiner Einzelkomponenten Stein und Mörtel zu tun. Wegen seiner geringen Tragreserven stellt eine derartige Bauweise in erdbebengefährdeten Gebieten ein hohes Risiko dar, da ein Versagen oft ohne Vorankündigung auftritt. Dennoch ist Mauerwerk eine beliebte Bauweise, da es z. B. im Vergleich zu duktilen Stahlkonstruktionen kostengünstiger, umweltfreundlicher und einfacher zu bauen ist. Bei Erdbebeneinwirkung ist Mauerwerk wegen seines anisotropen Verhaltens besonders anfällig gegenüber horizontalen Kräften (Schubbeanspruchung). Das lässt sich dadurch erklären, dass eine Belastung infolge von Erdbeben zwar in beiden Richtungen (vertikal und horizontal) eine Konstruktion anregt, aber die horizontalen Beschleunigungen viel größer als die vertikalen sind.

Es gibt zwei Möglichkeiten ein Bauwerk vor der Krafteinwirkung zu schützen. Zum einen, indem die Quelle der Anregung isoliert wird und zum anderen, indem der Empfänger isoliert wird. Im Fall des Erdbebens kommt nur die zweite Möglichkeit in Frage. Im Eurocode 8 [1] ist beschrieben, wie durch konstruktive Maßnahmen die Erdbebensicherheit bei Bauwerken verbessert wird. In der vorliegenden Arbeit wird allerdings ein anderer Weg eingeschlagen, indem betrachtet wird, wie die Tragsicherheit des Mauerwerks durch den Einsatz elastischer Lagerung gesteigert werden kann.

1.1 Auftrag und Ziel

Aufbauend auf den Arbeiten [6], [103], [107], [108], [109] wird hier der Einfluss der elastischen Lagerung Sylomer® untersucht und diskutiert. Das Ziel ist es, zivile Bauten im klassischen Wohnbau mit nicht duktilen Eigenschaften so zu verstärken, dass ein Versagen bei Erstrissbildung ohne Vorankündigung nicht stattfindet. Im Auftrag der Firma Getzner werden hier zwei Bereiche untersucht, der konstruktive und der wirtschaftliche Aspekt. Im ersten Teil wird mithilfe des Simulationsprogramms Ansys und anhand einer Sensitivitätsanalyse gezeigt, wie der Einsatz von Sylomer® auf die Tragwerkkonstruktion wirkt und welche Parameter eine entscheidende Rolle dabei spielen. Im zweiten Teil wird mittels einer Marktpotenzialanalyse gezeigt, welche Herangehensweise angewendet werden kann, um eine effiziente Potenzialermittlung der Getzner-Produkte für Erdbebenwirkung in seismisch gefährdeten Ländern zu schaffen.

1.2 Abgrenzung

Die im konstruktiven Teil diskutierten Erläuterungen zielen auf die Untersuchung von unbewehrtem Mauerwerk. Die Ergebnisse werden anhand schon vorhandener numerischer Simulationen aus [103] und nicht experimenteller Untersuchungen verifiziert. Die Arbeit begrenzt sich auf die Wirkung der Elastomerlager bei Erdbebeneinwirkung. Andere Belastungen (z. B. Wind) werden nicht untersucht.

Im Rahmen der Marktpotenzialanalyse wurde explizit der europäische Raum ausgesucht. Dies geschah insbesondere aufgrund der besseren Verfügbarkeit der Daten. In weiterer Folge soll die Getzner-Lösung eher in Entwicklungsländern als in technologisch hoch-entwickelten Ländern, wie Amerika, Japan und Neuseeland, eingesetzt werden.

2 Erdbeben

Wenn man die verschiedenen Naturkatastrophen in der Welt betrachtet, wird es ersichtlich, dass Erdbeben an der ersten Stelle stehen. Die Abbildung 2-1 stellt die Naturkatastrophen im 20. Jahrhundert, die das Leben von 4,06 Mio. Menschen gekostet haben, dar. Erdbeben „führen“ mit knapp 51%, gefolgt von Überschwemmungen mit ca. 30% und Stürmen mit ca. 17% [48]. Bei dieser Katastrophenbilanz machen Vulkanausbrüche, Erdrutsche und Tsunamis lediglich einen kleinen Teil aus.

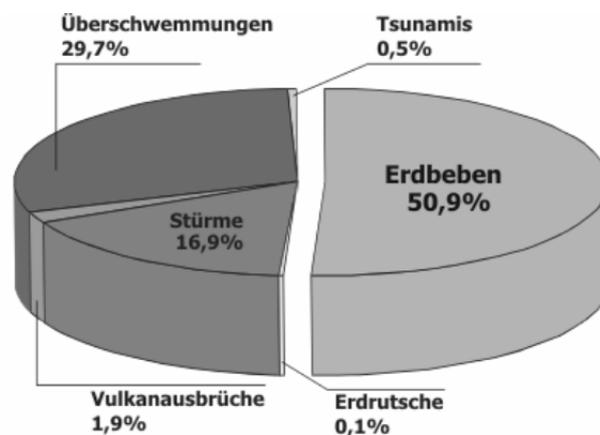


Abbildung 2-1: Naturkatastrophen im 20. Jahrhundert [48]

Als kurze Einführung in die Thematik werden in diesem Kapitel einige Grundbegriffe der Seismologie beschrieben, die ein besseres Verständnis ermöglichen sollen.

2.1 Entstehung von Erdbeben

Die Ausbreitung der seismischen Energie im Erdinneren kann von verschiedenen Ursachen ausgelöst werden. Diese unterteilen die Erdbeben in verschiedenen Arten [21]:

- Tektonische Beben,
- vulkanische Beben,
- Einsturzbeben (z. B. durch Einsturz von Hohlräumen in Gestein),
- stauseeinduzierte Beben (beim Auffüllen eines Stausees) und
- künstliche Beben (z. B. durch Sprengungen).

Am öftesten treten tektonischen Erdbeben auf. Sie entstehen durch schlagartige Bruchvorgänge in der Erdkruste. Diese schwimmt auf dem weichen Erdinneren

und infolge von vielen Ursachen (z.B. geothermische Strömungen) bleibt sie in Bewegung. Sie besteht aus mehreren tektonischen Platten. Die entsprechenden Verschiebungen sind kontinuierlich und langsam, wodurch eine Veränderung der Spannungen in der Erdkruste erfolgt. Wenn diese Spannungen die Bruchfestigkeit im Gestein erreichen, kommt es zu einem Bruch mit plötzlichen Verschiebungen, die entlang einer alten Bruchfläche (Verwerfung) entstehen. Das Ergebnis dieses Prozesses ist ein Erdbeben [21].

Der Bruchvorgang beginnt an einem Punkt, dem „Hypozenrum“ bzw. „Herd“ (Abbildung 2-2). Man kann das auch als „seismische Quelle“ bezeichnen. Das „Epizentrum“ liegt dann genau über dem Hypozentrum an der Erdoberfläche [51].

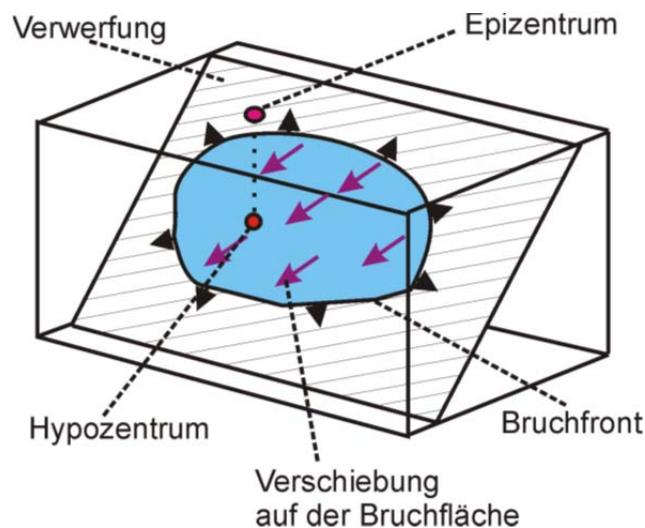


Abbildung 2-2: Darstellung der wichtigsten Begriffe bei einem tektonischen Erdbeben [51]

Ein typisches Modell des Herdes eines tektonischen Erdbebens ist die Scherver-schiebung. Die Trennfläche zweier bereits vorhandener, benachbarter oder durch das Erdbeben entstehender Blöcke verschiebt sich schlagartig gegeneinander. Abhängig von der Raumlage der Trennfläche und der Bewegungsrichtung der Gesteinsblöcke unterscheidet man drei Typen [32]:

- Abschiebung (normal fault),
- Auf- oder Überschiebung (thrust fault),
- Horizontalverschiebung (strike slip).

2.2 Erdbebenwellen

Die Energie, die beim Bruchvorgang entsteht, wird in Form von Wellen freigesetzt. Sie enthalten Informationen über die Quelle (Erdbebenherd) und das Übertragungsmedium [21]. Es wird zwischen zwei Haupttypen unterschieden:

- Raumwellen und
- Oberflächenwellen.

Die Raumwellen lassen sich in die Primärwellen bzw. Kompressionswellen (P-Wellen) und die Scherwellen (S-Wellen) unterscheiden. Bei den P-Wellen bewegen sich die Teilchen in Fortpflanzungsrichtung und besitzen die größte Ausbreitungsgeschwindigkeit [8]. Die S-Wellen schwingen quer zur Fortpflanzungsrichtung und ihre Ausbreitungsgeschwindigkeit ist kleiner als die der Kompressionswellen. Die Oberflächenwellen unterscheiden sich in Lovewellen (L-Wellen) und Rayleighwellen (R-Wellen) und beide schwingen quer zur Fortpflanzungsrichtung mit einer Geschwindigkeit, die um 10% kleiner als die der Scherwellen ist. Mehr dazu in [8] und [21].

2.3 Stärke von Erdbeben

Es gibt einige Erdbebenparameter, die für die Bemessung von Baukonstruktionen maßgeblich sind, wie z. B. Herdtiefe, Magnitude, Intensität, jährliche Auftretenswahrscheinlichkeit, Dauer des Bebens etc. [8]. Die Stärke eines Erdbebens kann mittels der Magnitudenskala und der Intensitätsskala charakterisiert werden, die im Folgenden beschrieben werden.

2.3.1 Magnitudenskala (Richterskala)

Die Magnitudenskala M , von Charles Richter 1935 eingeführt, ist ein Maß für die Herdenergie [48]. Mit anderen Worten stellt sie ein Maß für die Energie dar, die beim Erdbeben vom Herd in Form elastischer Wellen abgestrahlt wird. Die Magnitude wird aus den Maximalausschlägen von Geschwindigkeits-Seismogrammen ermittelt. Generell gibt es drei Definitionen der Magnitude [21]:

- M_l : Nahbeben-Magnitude bzw. Lokalmagnitude,
- M_s : Oberflächenwellen-Magnitude und
- M_b : Raumwellen-Magnitude.

In [8] lässt sich folgendes finden:

„Die Magnitude M eines Erdbebens steht größenordnungsmäßig mit der beim Herdvorgang freigesetzten kinetischen Energie [erg] in einem empirischen Zusammenhang.“ [S. 205, 8]

Diese Energie wird durch die Formel (2.1) ausgedrückt [8]:

$$\lg E = 11,8 + 1,5M \quad (2.1)$$

Wenn die Magnitude in einem Bereich von 1-2 liegt, dann handelt sich um ein *gerade noch spürbares Flachherdbeben*. Bei dem Bereich 5-6 spricht man von starken Erdbeben und letztendlich bei einer Magnitude von 8,7 von sehr starken Beben. Es könnte behauptet werden, dass die Grenze der Magnitude bei ca. 9 liegt. Das lässt sich durch den Ausdruck in (2.2) besser erklären, wo der Zusammenhang zwischen Magnitude und Herdlänge erstellt wird.

$$M = 5,65 + 0,98 \lg l_0 \quad (2.2)$$

Das bedeutet, dass bei einer Magnitude von $M=9$ die Rede von über 1000 km ist und das bedeutet, dass die Wahrscheinlichkeit, der Bildung einer derartigen langen Bruchfläche, im Rahmen des Unmöglichen liegt [8].

2.3.2 Intensitätsskala

Die makroseismische Intensität I stellt ein Maß für die Wahrnehmbarkeit und die lokale Zerstörungskraft eines Erdbebens dar. Die Ermittlung der Intensität I findet durch die Bewertung der Wahrnehmbarkeit und der lokalen Schäden statt. Es gibt verschiedene Intensitätsskalen, wie MSK-Skala (Medvedev-Sponheuer-Karnik), MS-Skala (Mercalli-Skala) etc. All diese unterscheiden sich nicht viel voneinander [21]. Tabelle 2-1 zeigt eine detaillierte Darstellung der Intensitätsdefinitionen anhand der neuesten Entwicklung in Form der Europäischen Makroseismischen Skala EMS-98. Sie ist in Europa verbindlich eingeführt und darüber hinaus auf allen Kontinenten in Gebrauch [48]. Die EMS beinhaltet eine genaue Klassifizierung von Mauerwerksbauten, Stahlbetonbauten, Stahlbauwerken und Holzbauten. Mauerwerks- und Stahlbetonbauten werden in Unterklassen eingeteilt und wie man in Abbildung 2-3 sieht, wird die Anfälligkeit jeder Bauwerksklasse von „hoch“ bis „gering“ in die Stufen A bis F klassifiziert und abhängig von allen Beobachtungen in erdbebengefährdeten Gebieten gibt es fünf Schadensgrade der EMS mit typischen Schadensbildern in Tabelle 2-2 zu finden [32].

Tabelle 2-1: Kurzform der makroseismischen Intensitätsskala EMS-98 [48]

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

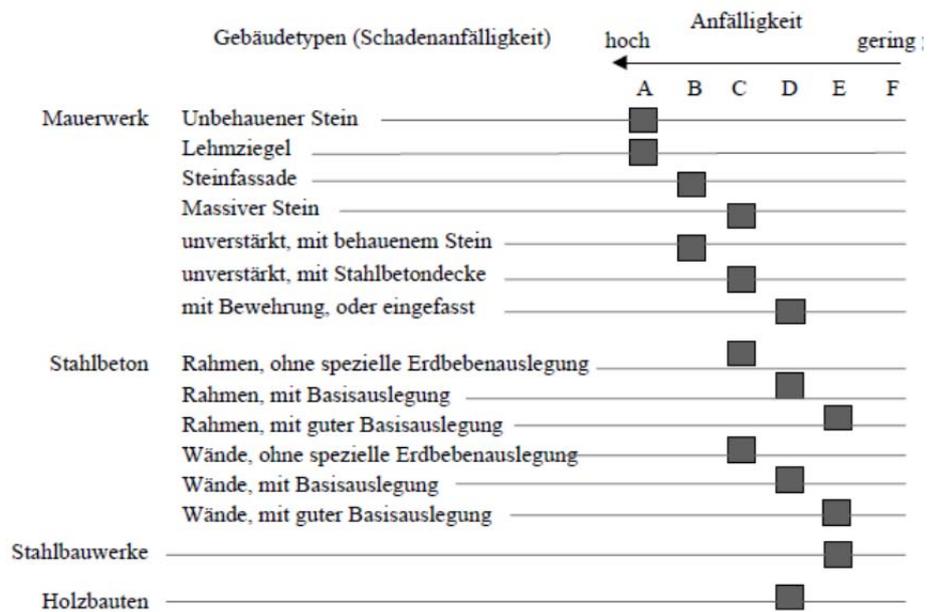


Abbildung 2-3: Klassifizierung der Schadensanfälligkeit von Bauwerken nach der EMS [32]

Tabelle 2-2: Schadensgrade der EMS und typische Schadensbilder bei Ziegel- und Stahlbetonbauten [32]

Schadengrad	Schadensbild Ziegelbauten	Beschreibung	Schadensbild Stahlbetonbauten
1		Vernachlässigbarer bis leichter Schaden (kein struktureller, leichter nicht-struktureller Schaden)	
2		Mäßiger Schaden (leichter struktureller, mittlerer nicht-struktureller Schaden)	
3		Erheblicher bis schwerer Schaden (mittlerer struktureller, erheblicher nicht-struktureller Schaden)	
4		Schwerer Schaden (erheblicher struktureller, schwerer nicht-struktureller Schaden)	
5		Zerstörung (sehr schwere strukturelle Schäden)	

Zwischen der Magnitude M , der Epizentralintensität I_0 (Intensität im Epizentrum) und der Herdtiefe h wurde eine Aufstellung von empirischen Beziehungen hergestellt. Als Beispiel gilt, für die Schweiz mit I_0 (MSK) und $h \leq 50$ km folgende Gleichung [21]:

$$M = 0,67I_0 + 2,31\lg h[\text{km}] - 2,0 \quad (2.3)$$

2.4 Erdbebennormung

Im Jahr 1975 beschloss die Kommission der Europäischen Gemeinschaft für das Gebiet „Bauwesen“ ein Programm mit dem Ziel, technische Handelshemmnisse zu beseitigen und technische Normen zu harmonisieren. Im Zuge dieses Programms steuerte die Kommission die Bearbeitung von harmonisierten technischen Regelwerken für die Tragwerksplanung von Bauwerken an, die im ersten Schritt als Alternative zu den in den Mitgliedsländern geltenden Regeln dienen und diese schließlich ersetzen sollte. 1989 wurde die Entwicklung und Veröffentlichung des Eurocodes an CEN (Europäisches Komitee für Normung) übergeben, damit diese den Status von Europäischen Normen (EN) bekommen [1].

Das Eurocode Programm umfasst einige Normen, die aus mehreren Teilen bestehen. Die Norm EN 1998, Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben, ist die, die uns hier beschäftigt. Speziell in ihren Abschnitten 5 bis 9 sind besondere Vorschriften für verschiedene Baustoffe und Bauteile im Hochbau behandelt. Der Teil 9 setzt sich mit der Thematik „Besondere Regeln für Mauerwerksbauten“ auseinander [1].

2.4.1 Regeln für Mauerwerksbauten

Dieser Abschnitt dient der Bemessung von Hochbauten aus unbewehrtem, eingefasstem und bewehrtem Mauerwerk in Erdbebengebieten. Es beinhaltet:

- die Baustoffe und ihre Ausführung,
- die Bauwerkstypen und die dazu passenden Verhaltensbeiwerte,
- die Tragwerksberechnung,
- Auslegungskriterien und Konstruktionsregeln,
- Sicherheitsnachweise und
- Regeln für „einfache Mauerwerksbauten“.

Eine ausführliche Erläuterung der einzelnen oben genannten Unterkapitel ist hier nicht vorgesehen und daher wird auf [1] verwiesen.

3 Tragwerkseigenschaften

Für die *erdbebengerechte Planung* einer Konstruktion sind einige Überlegungen von Bedeutung. Hierbei spielt die Zusammenarbeit von Architekt und Bauingenieur eine entscheidende Rolle, da es Entscheidungen getroffen werden müssen, die sich auf die Wahl von Form und Geometrie einer Baukonstruktion, des Tragwerkes (z. B. Stützen, Wänden etc.), der nichttragenden Bauteile, die das Verhalten des Bauwerkes unter Erdbebeneinwirkung massiv mit beeinflussen können, beziehen [8].

In Eurocode 8 [1] sind die *grundlegenden Prinzipien des Entwurfskonzepts* für Hochbau in Gebieten, die erdbebengefährdet sind, dargestellt:

- „konstruktive Einfachheit,
- Regelmäßigkeit, Symmetrie und Redundanz,
- bidirektionale Beanspruchbarkeit (Widerstand) und Steifigkeit,
- Torsionsbeanspruchbarkeit und Torsionssteifigkeit,
- Scheibenwirkung der Decken auf Geschossebene und
- Ausreichende Gründung“.

Diese Leitprinzipien werden hier nicht weiter vertieft, sondern es sei auf [1] verwiesen.

Folgende Eigenschaften sind grundlegend für das Schwingungsverhalten eines Tragwerks bei Erdbebeneinwirkungen [21], [8]:

- Masse,
- Steifigkeit,
- Dämpfungsverhalten,
- Tragwiderstand und
- Duktilität.

Es ist wichtig, diese Eigenschaften zu definieren und sie voneinander zu trennen. In den folgenden Abschnitten (3.1-3.5) dieses Kapitels werden sie näher erläutert. Diese Größen gelten als Grundsätze bei der Modellierung einer Struktur. Es gibt zwei unterschiedliche Weisen, Modelle zu bilden: die diskrete und die homogene Modellierung. Die Modellierung wird mittels Finite Elemente Methoden durchgeführt.

3.1 Masse

Bei vielen dynamischen Berechnungen kann die Bauwerksmasse als in den Verschiebungsfreiheitsgraden konzentriert angenommen werden. Dies führt zu einer diagonalen Matrix, wodurch hinsichtlich der Trägheitskraft keine Koppelung zwischen den Freiheitsgraden auftritt.

Bei den meisten Rechenprogrammen steht als Alternative auch die sogenannte „konsistente Massenmatrix“ (mit zusätzlichen Elementen außerhalb der Diagonalen) zur Verfügung.

In der Regel ist eine realitätsnahe Modellierung der Bauwerkmassen gut möglich.

3.2 Steifigkeit

Die horizontalen Auslenkungen und Stockwerkverschiebungen hängen von der Steifigkeit ab. Je größer die Steifigkeit des Tragwerks für horizontale Kräfte wird, desto kleiner werden die Auslenkungen. In diesem Fall muss das Erdbeben sehr stark sein, um Schäden an den nichttragenden Elementen (z. B. Fassadenbauteile) zu verursachen. Aber auch bei häufigen schwachen Erdbeben ist die vorhandene Steifigkeit von Bedeutung, um Schäden zu vermeiden [21].

3.3 Dämpfungsverhalten

Dämpfung beschreibt einen dissipativen Vorgang. Das bedeutet, dass eine Umwandlung der Schwingungsenergie in eine andere Energieform stattfindet.

Generell sind in der Baudynamik folgende Dämpfungsarten zu finden [8]:

- *Materialdämpfung: Die Energiedissipation erfolgt im Inneren eines fugenlosen Elements.*
- *Systemdämpfung: Die Energiedissipation erfolgt durch Reibung: Bewegung bei Lagern, Relativbewegungen in Fugen bzw. von Kontaktflächen*
- *und Abstrahlungsdämpfung: Hierbei wird Energie an angrenzende Medien abgegeben, z. B. Bewegung von Fundamenten, Energieeintragung in den Untergrund oder Energieabstrahlung in den Wasserkörper bei Talsperren.*

Die positive Wirkung der Dämpfung im Bauwerk kann wie folgt erklärt werden [8]:

- ein monoton abklingendes Verhalten der freien Schwingungen gegen Null und
- ein stationärer Schwingungszustand wird erreicht.

3.3.1 Rayleigh-Dämpfung

In den meisten Simulationsmodellen wird das Dämpfungsverhalten der Elastomerlager mit der Rayleigh-Dämpfung beschrieben.

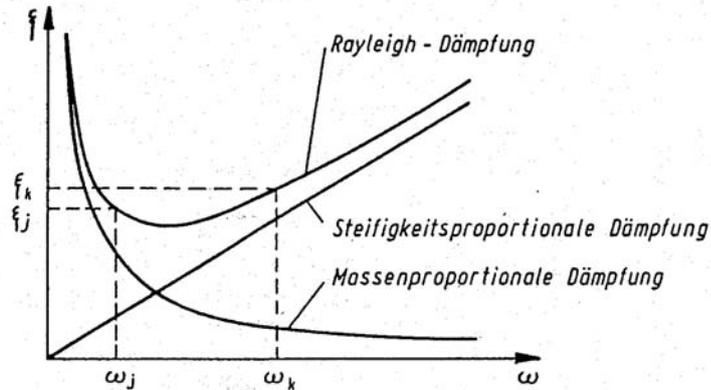


Abbildung 3-1: Rayleigh-Dämpfung [8]

Die Dämpfungsmatrix wird als eine lineare Kombination der Massen- und Steifigkeitsmatrix dargestellt.

$$[C] = \alpha [M] + \beta [K] \quad (3.1)$$

Der erste Term der Gleichung (3.1), der von α abhängt, stellt die verteilte äußere Dämpfung dar. Er wirkt wie eine äußere Reibung. Der zweite Term beschreibt die innere Reibung bzw. Materialdämpfung [20]. Wenn α gleich Null ist, dann ist die Rede von einer steifigkeitsproportionalen Dämpfung. Für den Fall, dass β Null ist, wird die Dämpfung als massenproportionale Dämpfung bezeichnet [21].

Für den Fall der Rayleigh Dämpfung gilt folgender Ausdruck zwischen Dämpfungszahl, Eigenkreisfrequenz und den Koeffizienten α und β :

$$\xi_i = \frac{1}{2} \left(\frac{\alpha}{\omega_i} + \beta \cdot \omega_i \right) \quad (3.2)$$

Die beiden Konstanten sind in (3.3) und (3.4) angegeben:

$$\alpha = \frac{2\omega_j\omega_k(\bar{\xi}_j\omega_k - \bar{\xi}_k\omega_j)}{\omega_k^2 - \omega_j^2} \quad (3.3)$$

$$\beta = \frac{2(\bar{\xi}_k\omega_k - \bar{\xi}_j\omega_j)}{\omega_k^2 - \omega_j^2} \quad (3.4)$$

Die Dämpfung kann durch zwei Effekte verursacht werden, und zwar makroskopische und mikroskopische. Makroskopische Effekte sind z. B. äußere Reibung in Kontaktflächen und Verbindungspunkten, Verschraubungen und Wälzlager, Berührung bzw. Kontakt zweier Kontaktflächen, zähe Strömung in Hydrolagern (Systemdämpfung). Andererseits treten mikroskopische Effekte im Werkstoff selbst auf, wie z. B. die innere Reibung in Polymeren oder die Plastizität von Metallen (Materialdämpfung) [19].

Bei Sylomer®-Werkstoffen wird die Dämpfung durch den mechanischen Verlustfaktor η beschrieben. Ein anderer Begriff, der in der Schwingungslehre vorkommt, ist das LEHR'sche Dämpfungsmaß D . Es stellt ein Maß dar, durch das *die Dämpfung eines freien Schwingers mit einer geschwindigkeitsproportionalen Dämpfung* charakterisiert wird und hat keine Dimension [27]. Zwischen dem Verlustfaktor η und dem LEHR'schen Dämpfungsmaß D steht folgender Zusammenhang:

$$\eta = 2 D \quad (3.5)$$

Die Dämpfung bei Sylomer®-Werkstoffen liegt zwischen 11% und 25%, bei Sylomer HD-Werkstoffen bis 55% und bei Sylomer-Sonderwerkstoffen bis 90% [14].

An dieser Stelle soll darauf hingewiesen werden, dass in der Literatur unterschiedliche Parameter für die Beschreibung der Dämpfung verwendet werden. Das LEHR'sche Dämpfungsmaß D ist gleich der Dämpfungszahl ξ (Prozentsatz der kritischen Dämpfung)

In der Literatur [8] lässt sich folgender Zusammenhang zwischen den einzelnen Parametern finden:

$$\psi = 4\pi\xi = 2\pi\zeta = 2\delta = 2\pi\eta \quad (3.6)$$

mit ψ = Absorptionskoeffizient
 ξ = Dämpfungszahl
 ζ = hysteretische Dämpfungszahl
 δ = logarithmisches Dekrement

Die Dämpfungsmechanismen, die diesen Parametern zugrunde liegen, werden hier nicht näher ausgeführt (siehe [8]).

3.4 Duktilität

In [8] lässt sich folgende Definition finden:

„Unter Duktilität versteht man die Fähigkeit eines Bauwerkes oder Bauteils zur hohen Energiedissipation durch nichtlineares Verhalten unter zyklischer Verformung mit großer Amplitude ohne wesentlichem Abfall der Beanspruchbarkeit.“
[S. 131]

Duktilität bedeutet plastisches Verformungsvermögen und je größer sie ist, desto stärker muss die Erdbebeneinwirkung sein, um das Tragwerk zum Einsturz zu bringen [21].

Folgende Arten können bei der Duktilität unterschieden werden:

- Dehnungsduktilität,
- Krümmungsduktilität,
- Rotationsduktilität und
- Verschiebeduktilität.

In Abbildung 3-2 sind diese abgebildet. Die Duktilität, die bei der maximalen Verformung auftritt, das bedeutet kurz vor dem Bruch, wird Grenzduktilität genannt. Wie sich aus dem Namen schließen lässt, stellt dies den Grenzwert für die Duktilität dar, durch die das Tragwerk beansprucht wird [21].

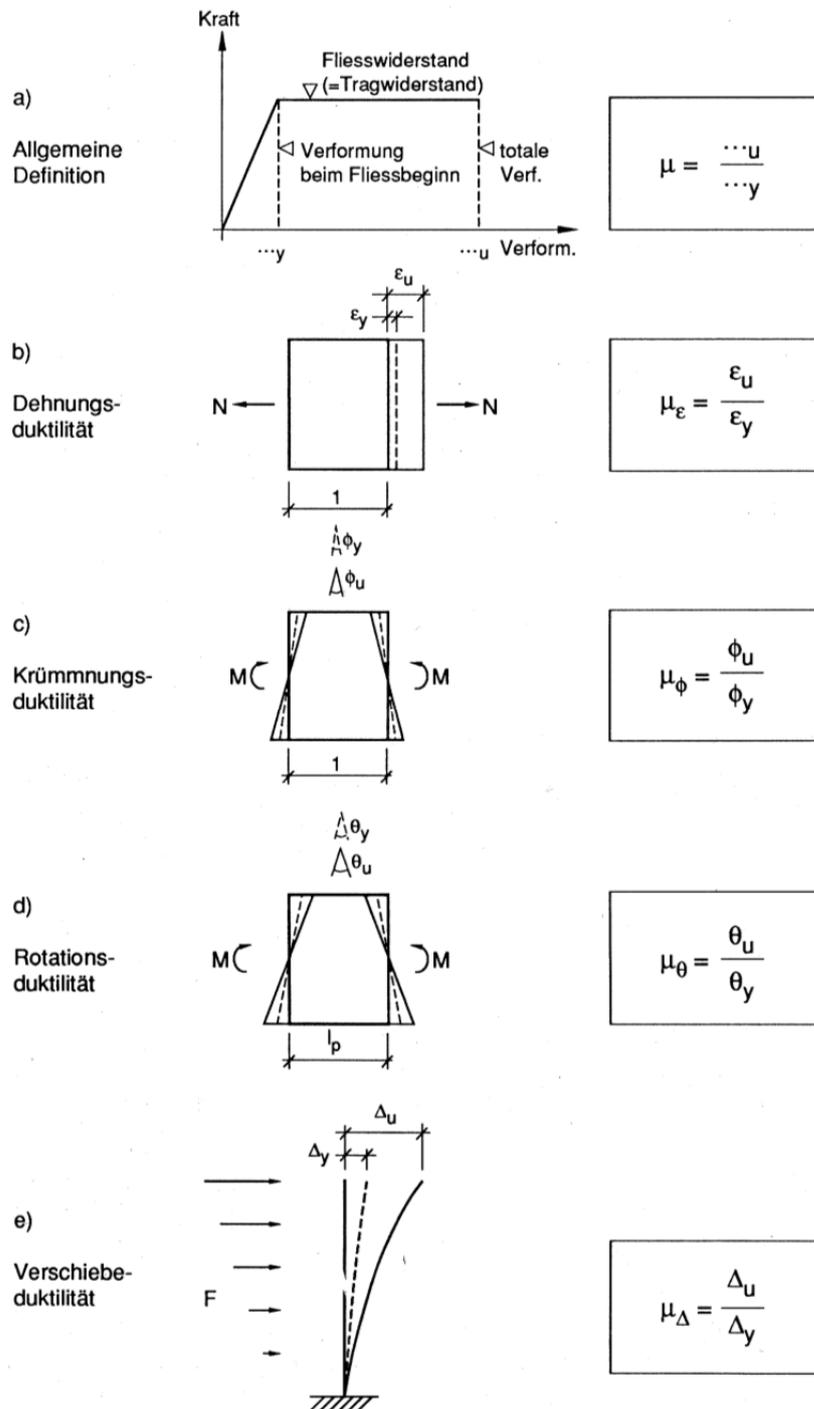


Abbildung 3-2: Arten der Duktilität [21]

Es gibt zwei Faktoren, mit deren Hilfe die Duktilität beschrieben werden kann: Der Querschnittsduktilitätsfaktor und der Systemduktilitätsfaktor.

Die Definition des Querschnittsduktilitätsfaktors ist folgende:

$$\mu_Q = \frac{\chi_{\max}}{\chi_e} \quad (3.7)$$

Mit χ_{max} = Maximum der auftretenden Krümmung
 χ_e = Krümmung bei Fließbeginn.

Im Weiteren gilt für den Systemduktilitätsfaktor der Ausdruck:

$$\eta_s = q = \frac{u_{max}}{u_e} \quad (3.8)$$

Dabei entspricht u_{max} der maximalen Auslenkung und u_e dem linearen Anteil der Verformung (Abbildung 3-3). Als Anmerkung dazu: Der Systemduktilitätsfaktor ist mit dem Verhaltensbeiwert q aus dem Eurocode 8 gleich zu setzen.

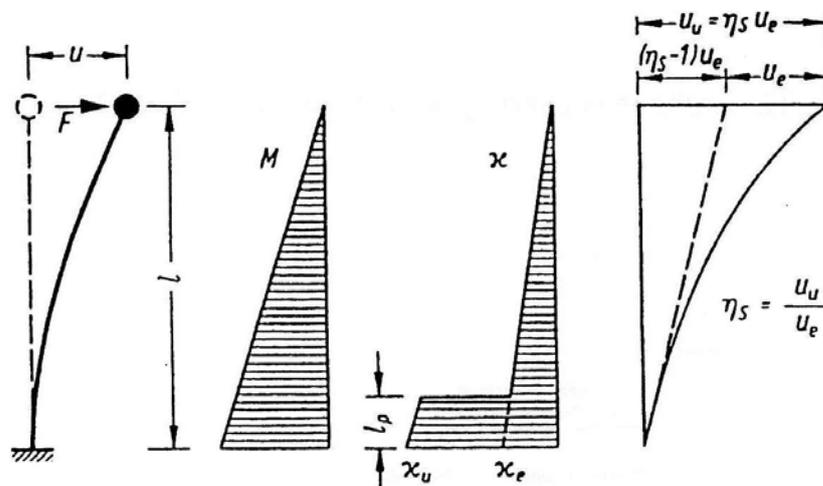


Abbildung 3-3: Systemduktilitätsfaktor bei einem Kragträger mit konzentrierter Masse [8]

In der Literatur [21] lassen sie sich auch die Begriffe lokale Duktilität (für Querschnittsduktilitätsfaktor) und globale Duktilität (für Systemduktilitätsfaktor) finden. Diese zwei Faktoren können als Überbegriffe verstanden werden, denen folgende Arten zugeordnet können:

- Systemduktilitätsfaktor: Verschiebungsduktilität
- Querschnittsduktilitätsfaktor: Rotationsduktilität, Krümmungsduktilität.

Bei Tragwerken sind die Duktilitäten oft miteinander verbunden. Ein Beispiel hierfür ist ein Rahmentragwerk. Hier ist die Krümmungsduktilität in den plastischen Gelenken nötig, um die der Verschiebungsduktilität zugehörige elastisch-plastische Verschiebung der Konstruktion zu ermöglichen [21].

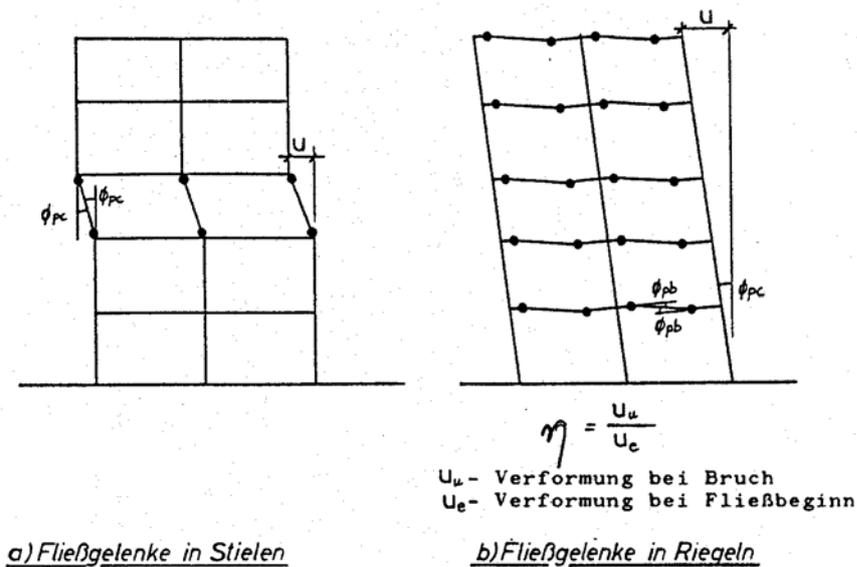


Abbildung 3-4: Unterschiedliche Mechanismen der Bildung von Fließgelenken bei Rahmenbauwerken [8]

3.5 Tragwiderstand

Ein weiterer Begriff bei der Erdbebenbemessung eines Bauwerkes ist der Tragwiderstand. Der Tragwiderstand einer Konstruktion ist stark mit der schon beschriebenen Duktilität verbunden. Nach [21] lässt sich die Einsturzgefahr durch die folgende approximative Beziehung erklären:

$$\text{„Güte“ des Erdbebenverhaltens} \approx \text{Tragwiderstand} \cdot \text{Duktilität}$$

Damit ein Bauwerk ein starkes Erdbeben ohne große Schäden überstehen kann, gilt folgendes:

- „je kleiner der Tragwiderstand, desto grösser ist die erforderliche Duktilität
- bzw. je kleiner die Duktilität, desto grösser ist der erforderliche Widerstand“.

[S.60, 21]

Wie in Abbildung 3-5 ersichtlich ist, gibt es verschiedene Möglichkeiten, ein Tragwerk in Bezug auf seine Duktilität zu gestalten. Eine Möglichkeit ist, die Konstruktion mit einem sehr hohen Tragwiderstand zu gestalten, was bedeutet, dass sie ein Erdbeben nur mit elastischen Verformungen überstehen kann. Diese Lösung wird selten gewählt, da sie unwirtschaftlich ist. Eine weitere extreme Möglichkeit wäre, das Gebäude mit einem sehr tiefen Tragwiderstand zu bemessen. In diesem Fall müsste die Duktilität sehr hoch sein. Das würde bedeuten, dass die Konstruktion unter Erdbebeneinwirkung große plastische Verformungen, die verbunden mit großen Schäden aber ohne Einsturz wären, erfahren würde.

In den meisten Fällen, wird ein Mittelweg gewählt. Das Tragwerk wird mit einem mittleren Tragwiderstand bemessen und damit wird „das Bemessungsbeben nur mäßige plastische Verformungen erzeugen“ [21].

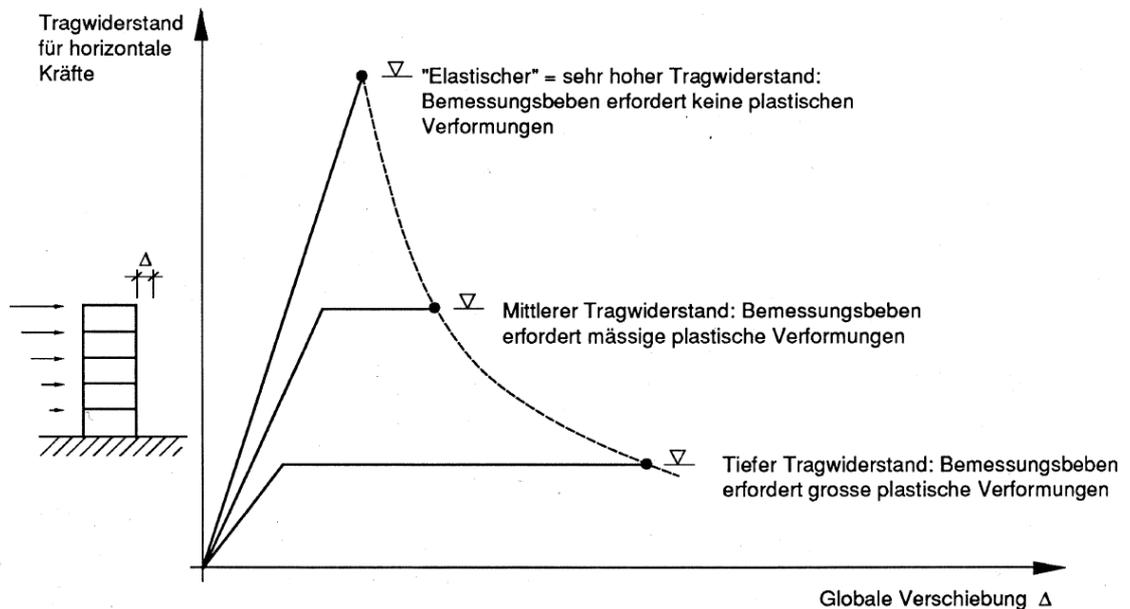


Abbildung 3-5: Unterschiedliche Möglichkeiten zur Ausbildung eines Bauwerks [21]

Plastische Verformungen und Schäden am Tragwerk treten dann auf, wenn der Tragwiderstand des Tragwerks nicht groß genug ist. Ein bestimmter Tragwiderstand ist bei starken und bei häufigen schwachen Erdbeben wichtig, damit das Tragwerk ein elastisches Verhalten beibehält und frei von Schäden bleibt [21].

4 Maßnahmen zur Herabsetzung der Schwingungsbeanspruchung

Gebäude werden oft auf Grundstücken errichtet, die schwingungsbelastet sind, beispielsweise im Nahbereich von Bahnstrecken oder Industrieanlagen. Für den Planer gilt es dann, das Gebäude so zu planen, dass die zulässigen Richtwerte für den Erschütterungs- und Sekundärschallschutz bzw. die speziellen Anforderungen des Bauherrn eingehalten werden [14].

Schwingungen kann man nach ihren Amplituden und ihrem Frequenzinhalt klassifizieren. Bei Schwingungen mit kleinen bzw. mittleren Amplituden, kommt es zu spürbaren Einwirkungen auf den Menschen oder zur Materialermüdung bei hohen Lastwechselzahlen. Quellen, die zu solchen Schwingungen führen sind, z. B. Maschinen. Es gibt Maschinen mit rotierenden Teilen (z. B. Turbinen, Generatoren), Maschinen mit stoßenden Teilen (z. B. Schmiedehämmer) etc. [8].

Eine weitere Quelle sind Bauarbeiten, z. B. Sprengungen oder das Rammen von Spundwänden. Schienen- und Straßenverkehr ist ebenfalls eine maßgebliche Schwingungsquelle, z. B. bei Unebenheiten der Fahrbahn oder bei den hohen Achslasten von Güterzügen. Schwingungen mit großen Amplituden beeinträchtigen die Gebrauchstauglichkeit und Tragfähigkeit der Bauwerke. Zu solchen Schwingungen kommt es z. B. bei Erdbeben [8].

Die folgende Tabelle vermittelt einen Überblick, in welchem Frequenz- bzw. Amplitudenbereich dynamische Beanspruchungen liegen können.

Tabelle 4-1: Frequenz- bzw. Amplitudenbereich der dynamischen Lasten [8]

Dynamischer Lastfall	Frequenzbereich [Hz]	Amplitudenbereich [μm]
Verkehrsanregung	1 – 80	1 – 200
Spregenanregung	1 – 300	100 – 2.500
Rammen von Bohrpfählen	1 – 100	10 – 50
Maschinen außerhalb Bauwerk	1 – 300	10 – 1.000
Druckstoß (Explosion)	1 – 40	?
Maschinen innerhalb Bauwerk	1 – 1.000	100 – 500
Stöße zufolge Bauwerksbenutzung	0,1 – 100	100 – 5.000
Sport, Tanzen, etc.	0,1 – 12	10 – 100.000
Wind	0,1 – 10	10 – 100.000

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, durch die die Beanspruchung durch Schwingungen herabgesetzt werden kann [8]. Diese sind:

- Schwingungsisolierung,
- Verwendung von Dämpfern,
- Verwendung von Schwingungstilgern,
- Behinderung der Schwingungsausbreitung auf dem Übertragungsweg und
- aktive Gegensteuerung.

4.1 Allgemeine Schwingungsisolierung

Es gibt allgemein zwei Arten von Schwingungsisolierung, die aktive und die passive. Die *aktive* Schwingungsisolierung beschreibt jene Isolation, bei der ein schwingungsfähiges System elastisch gelagert wird, sodass keine störenden Schwingungen an die Umgebung abgegeben werden. Die dynamische Anregung findet hierbei oberhalb der elastischen Lagerung statt. Beispiele für eine derartige Quellenisolation z. B. frequenzabgestimmte Maschinenfundamente, schwingungsdämmende Eisenbahnoberbauten (Unterschottermatte, Masse-Feder-Systeme etc.). Isolation, bei der ein System, also ein Empfänger, gegen störende Schwingungen aus der Umgebung geschützt wird, wird als *passive* Schwingungsisolierung bezeichnet (z. B. Federfundamente für Elektronenmikroskope, Präzisionswerkzeugmaschinen etc.), ferner die base-isolation im Erdbebeningenieurwesen oder zum Schutz von Bauten oder Bauteilen gegen technische Schwingungen [27].

Das Grundprinzip der Schwingungsisolierung (Frequenzabstimmung) besteht darin, dass eine Struktur mittels Feder-Dämpferelementen gelagert wird. Durch entsprechende Wahl der Federsteifigkeit erzielt man hierbei eine bestimmte niedrigste Eigenfrequenz des Systems. Die Schwingung-Dämmwirkung wird weiters noch durch die Optimierung der Dämpfungskonstante verbessert.

Das Verhältnis zwischen der Anregungsfrequenz (z. B. Arbeitsfrequenz einer Maschine) und dieser Eigenfrequenz soll möglichst groß sein.

Bei der *tiefen Abstimmung* ist die niedrigste Eigenfrequenz des Systems kleiner als die Anregungsfrequenz. Dies erzielt man durch den Einbau einer weichen Feder und/ oder der Erhöhung der Masse. Bei großen Werten von werden kaum mehr dynamische Kräfte auf die Umgebung übertragen.

Bei der *hohen Abstimmung* ist die niedrigste Eigenfrequenz des Systems höher als die Anregungsfrequenz. Diese Art der Abstimmung ist weniger wirksam und häufig schwieriger erzielbar [8].

4.2 Base isolation

Die sogenannte „base-isolation“ bzw. „schwimmende Lagerung“ beruht auf dem Prinzip der Entkoppelung des Bauwerkes vom Baugrund. Durch diese passive Schwingungsisolierung wird erreicht, dass im Vergleich zu einer herkömmlichen Ausführung bei Erdbebeneinwirkung kaum Verformungen über die Gebäudehöhe auftreten. Hiermit ergibt sich keine Momenten- und Querkraftbeanspruchung im Bauwerk. Das Gebäude verhält sich wie ein Einmassenschwinger, dessen Masse die gesamte Bauwerksmasse darstellt. Die Feder- und Dämpfungswirkung geht von der Lagerung aus. Da Beben häufig maßgebliche niedrige Frequenzkomponenten besitzen, muss durch die „base-isolation“ eine noch tieferliegende niedrigste Eigenfrequenz des Bauwerkes (etwa 0,5 Hz) erzielt werden, was eine sehr weiche Lagerung bedingt [8].

Das Bauwerk bewegt sich dann unverformt in horizontaler Richtung, wobei Lagerverschiebungen von 10-20 cm keine Seltenheit sind. Dies ist bei der Detailausbildung im Fundierungsbereich (Gestaltung der Anschlüsse der Ver- und Entsorgungsleitungen) zu beachten.

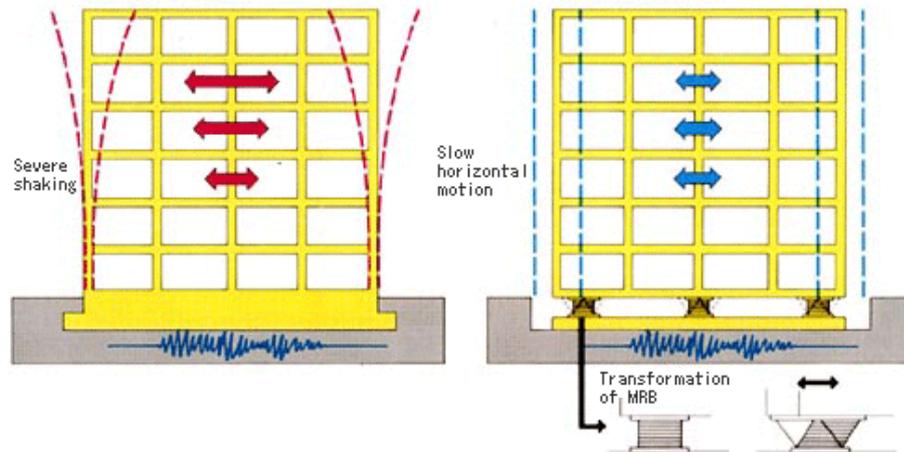


Abbildung 4-1: Seismische Isolation; Gebäude ohne (links) und mit (rechts) Erdbebenisolation [2]

Die Anwendung der „base-isolation“ bringt auch Nachteile mit sich. Die großen Horizontalbewegungen, wie in Abbildung 4-1 dargestellt, verursachen Probleme bei der Ausbildung von Details im Fundamentbereich und bei den Anschlüssen der Leitungen für die Ver- und Entsorgung. Die Begrenzung der Höhe von Gebäuden ist auch ein Problem. Durch die Kippmomente, die dabei entstehen, können zu große vertikale Lagerkräfte in den äußersten Lagern entstehen. Zum Schluss ist noch zu erwähnen, dass langfristig ein gewisser Verschleiß der Lager beobachtet wurde. Damit die positive Dämmwirkung der Lager im Laufe der Zeit nicht verloren geht, sollte beim Einbau der Lager die Möglichkeit für einen Lagertausch vorgesehen werden.

Die Ermittlung des Antwortspektrums und seine Bedeutung für das Erdbebeningenieurwesen werden in der Literatur ausführlich (hierzu findet sich näheres in [1], [8], [32]) beschrieben und erklärt, so dass in diesem Abschnitt nur auf die Auswirkung der Elastomerlager auf das Antwortspektrum eingegangen wird.

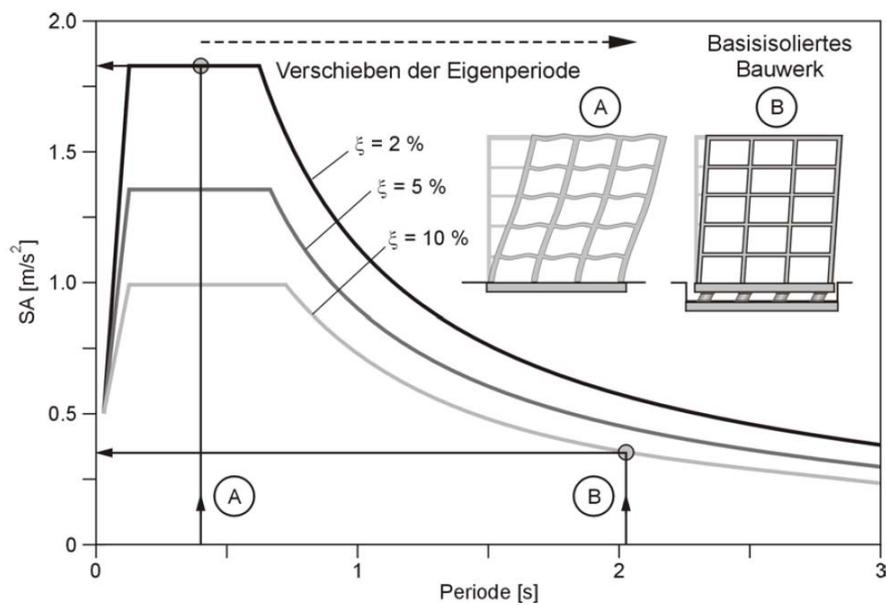


Abbildung 4-2: Das Prinzip der Basisisolierung [11]

In Abbildung 4-2 ist das Grundprinzip der base isolation (siehe 4.2) dargestellt. Die Steifigkeit des Elastomerlagers ist im Vergleich zu der Steifigkeit der Konstruktion sehr gering und deswegen kommt es zu einer Verschiebung der Eigenperiode des basisisolierten Systems, wo die spektrale Beschleunigung gering wird. Hinzu kommt es, dass die visko-elastischen Materialeigenschaften der elastischen Lagerung eine gute Energiedissipation bewirken. Die geringe Steifigkeit des Elastomers bei Erdbebeneinwirkung bewirkt höhere horizontale Verschiebungen und das soll bei der konstruktiven Ausbildung berücksichtigt werden, damit z. B. kein Rutschen in der Lagerfuge auftritt [11].

Auf dem Gebiet der Erdbebenisolation sind in den letzten Jahrzehnten große Fortschritte gemacht worden. Im folgenden Abschnitt werden einige der innovativen Systeme, die derzeit im Bereich Erdbebenisolation aktuell sind, vorgestellt.

4.2.1 Bewehrte Elastomerlager

Bewehrte Elastomerlager mittels Stahlplatten werden sehr oft als Erdbebenisolationssysteme für Hochbauten und Brücken verwendet. Die Idee dahinter ist, dass die Stahlplatten, die quer zur Belastungsrichtung positioniert werden, eine Erhöhung der Steifigkeit und Tragfähigkeit des Lagers bewirken sollen. Diese Erhöhung der Steifigkeit wird erreicht, indem die Stahlplatten die Rolle einer Zugarmierung übernehmen [10]. Die in Kapitel 6 beschriebene Querdehnung wird dadurch auch minimiert, d. h. dass das seitliche Ausweichen der Elastomerlager

und ihre vertikale Verformung vermieden werden. Eine weitere Variante dieser Art von Elastomerlagern ist ein Elastomerlager mit Bleikern. Damit werden die Dämpfungseigenschaften verbessert [8]. Auf eine genaue Beschreibung ihrer Funktion wird an dieser Stelle verzichtet. In Abbildung 4-3 ist ein solches Lager dargestellt.

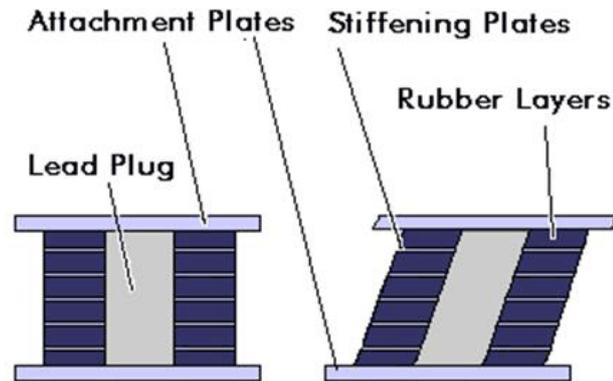


Abbildung 4-3: Elastomerlager mit Bleikern [15]

In der Arbeit von Baur [11] werden bewehrte Elastomerlager vorgestellt, die schichtweise mit Stahlblechen aufgebaut sind. Derartige bewehrte Elastomerlager gibt es als verankerte und nicht verankerte Lagerkonstruktionen (siehe Abbildung 4-4). Da die horizontale Verschiebung der Lager begrenzt werden soll, ist die verankerte Variante sehr sinnvoll. Es ist eine konstruktive Lösungsart, die ein besseres Verformungsverhalten gewährleistet. Die Deckbleche werden an den Belastungsflächen fixiert und ein Abheben des Elastomers wird dadurch vermieden. Dieser Vorgang, also vom Abheben bis zum Stabilitätsversagen bei großen Scherverformungen, wird als „Roll-Out“ bezeichnet [11].

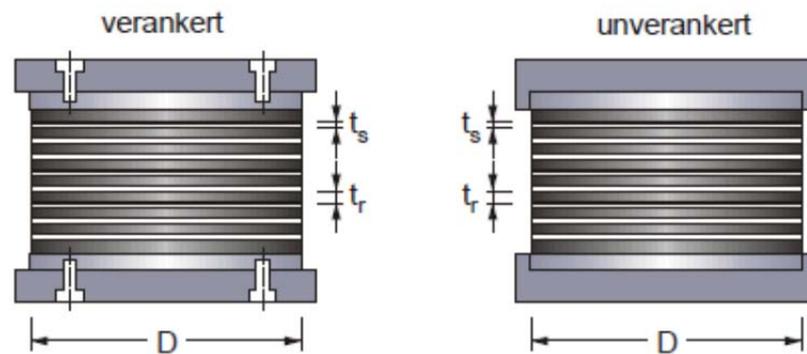


Abbildung 4-4: Verankerte und unverankerte Elastomerlager [11]

Bei den experimentellen Untersuchungen in [11] wurde beobachtet, dass nach dem Beginn des „Roll-Out“ die Steifigkeit kurzfristig reduziert wurde. Der Grund dafür war die fehlende Fähigkeit des Lagers Zugspannungen aufzunehmen. Bei steigender Horizontalkraft kommt es zu einem „Durchrollen“ und anschließend zu einem schlagartigen Versagen. Die verankerte Variante hat andererseits den Nachteil, dass durch die Verhinderung des Abhebens bei großen Verformungen, das Ablösen des Elastomers von der Verankerungsplatte schlagartig auftritt. Dieses Verhalten wird als „Delamination“ beschrieben. Verankerte Lager haben gegenüber unverankerten Lagern den konstruktiven Vorteil, Zugspannungen senkrecht zur Verankerungsplatte aufzunehmen, wodurch ein stabileres Verformungsverhalten gewährleistet ist [11].

In der Tabelle 4-2 sind die Vor- und Nachteile dieser Isolierung zusammengefasst. Sie weisen eine hohe Tragfähigkeit in vertikaler Richtung auf und haben ein gutes Dämpfungsverhalten. Ein weiterer positiver Effekt der bewehrten Elastomerlager ist, dass sie sich unter Vertikallast wenig verformen und eine gleichmäßige Bewegung in horizontaler dynamischer Belastung ermöglichen [36]. Die bewehrten Lager mit Bleikern haben den Vorteil, dass im Fall eines Erdbebens der verformbare Bleikern in der Lagermitte mehr Energie als bei den „klassischen“ bewehrten Elastomerlagern dissipieren kann. Allerdings ist das Rückstellpotential dieser Vorrichtung sehr gering.

Tabelle 4-2: Vor- und Nachteile der bewehrten Elastomerlager

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> • Verschiedene Möglichkeiten der Verankerung zur Rutschsicherung 	<ul style="list-style-type: none"> • Unterliegen der Eigen- und Fremdüberwachung
<ul style="list-style-type: none"> • Man kann sie nachträglich in das Gebäude einbauen 	<ul style="list-style-type: none"> • Temperaturabhängige Materialeigenschaften
<ul style="list-style-type: none"> • Aufnahme von statischen und dynamischen Lasten 	<ul style="list-style-type: none"> • Hohe Kosten bei der Herstellung
<ul style="list-style-type: none"> • Minimale kontrollierte Einfederung 	<ul style="list-style-type: none"> • Hoher Aufwand bei der Herstellung
	<ul style="list-style-type: none"> • Relativ hoher Aufwand bei der Montage

In der Studie von Andrea Mordini und Alfred Strauss [3] wird ein neues System für Elastomerlager vorgestellt. Bislang wurden Elastomerlager mittels einvulkanisierten Stahlmatten verstärkt. In dieser Studie wurde mit einer numerischen Analyse mit dem Programm ABAQUS an verschiedenen Muster-Proben die Verstärkung mit Glasfasergewebe und Kohlenstofffasergewebe untersucht (siehe Abbildung 4-5). Der Grund für diese Entwicklung der bewehrten Lager ist die Reduzierung der Kosten und des Gewichts der Lagerung [23]. Der Kostenfaktor bezieht sich generell auf die Produktionskosten und Beschaffungskosten. Es wurde festgestellt, dass die elastische Steifigkeit der Stofffasern der des Metalls ähnelt [28]. Der genaue wissenschaftliche Ansatz der Versuche wurde schon in zahlreichen Publikationen [9] veröffentlicht, so dass dieser hier nicht weiter vertieft wird.

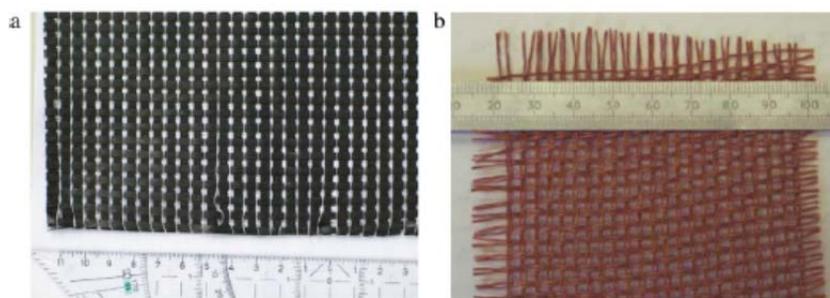


Abbildung 4-5: a) Kohlenstofffasergewebe und b) Glasfasergewebe [3]

Generell hat sich bei den faserbewehrten Lagern gezeigt, dass die Steifigkeit der Bewehrungslagen kaum einen Einfluss auf die horizontale Steifigkeit hat [41]. Die Arbeit, die durch die Bewehrung verrichtet wird, verstärkt die Dämpfung der

Lager. Allerdings ist im Gegensatz zur Stahlbewehrung die Arbeit, die bei zyklischer Beanspruchung geleistet wird, bei Gewebewehrung nicht unwesentlich. Nach einer Reihe von Versuchen wurde gezeigt, dass es bei der Gewebewehrung zu keinem Versagen in der Verbundfuge kommt. Die Haftung zwischen Elastomer und Gewebe funktioniert sehr gut und deswegen können die Gewebe bis an ihre maximale Zugfestigkeit beansprucht werden, ohne dass ein vorheriges Lagerversagen auftritt. Noch ein Vorteil der faserbewehrten Elastomerlager ist die einfache Verarbeitung (z. B. im Gegensatz zu der Stahlplattenbewehrung) und die Möglichkeit, mit begrenztem Mehraufwand geringe Schichtdicken zu realisieren. Ein negativer Effekt der Faserbewehrung dieser Lager ist, dass bei erhöhter vertikaler Pressung die vertikale Dämpfung der Lagerung abnimmt [41].

Die Effektivität von faserbewehrten Elastomerlagern als wirksame Erdbebenisolation für Hochbauten wurde in [12] untersucht. In dieser Studie wurden elastische Geschossfugen unter aussteifenden Wänden eingebaut. Das Ergebnis war generell eine Reduktion der Schnittgrößen aus Erdbeben, wie in der folgenden Abbildung zu sehen, und eine Reduzierung der Zugbewehrung bei den aussteifenden Wänden. Die faserbewehrten Elastomerlager haben sich als eine wirtschaftliche und einfache Möglichkeit für die Erdbebensicherung erwiesen. Ihre Vorteile liegen darin, dass sie einfach herzustellen sind und eine gute Verarbeitbarkeit besitzen. Hinzu kommt ihr geringes Gewicht, weshalb sie leicht eingebaut werden können.

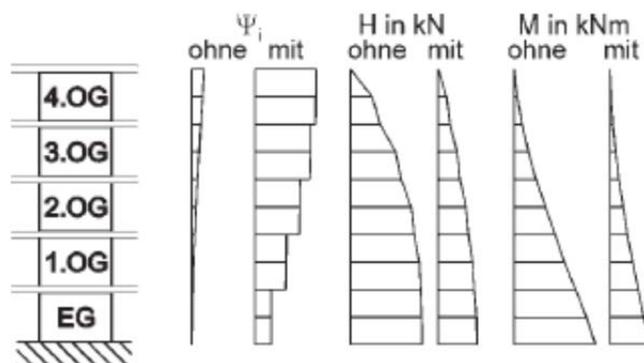


Abbildung 4-6: Horizontalverschiebungen ψ der ersten Eigenform, Horizontalkräfte H und Momente M aus Erdbeben, mit und ohne Lager in allen Fugen [12]

4.2.2 Reibpendellager

Das Reibpendellager (Friction Pendulum Bearing, FPB) ist eines der Schutzsysteme, die im Hochbau zur Entkopplung des Tragwerks von den horizontalen

Komponenten der Bodenbewegung eingesetzt werden [40]. Abbildung 4-7 zeigt das mechanische Modell des Reibpendellagers.

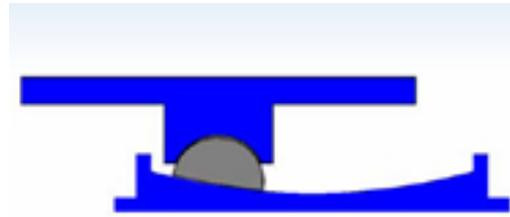


Abbildung 4-7: Friction Pendulum Bearing-FPB [40]

Die Rückstellkraft, die beim Pendellager entsteht, verlängert die Eigenschwingungsdauer der entkoppelten Struktur. Dabei beeinflusst der Krümmungsradius die Größe dieser Kraft. Bei FPB funktioniert die Energiedissipation durch die Reibung, die in der Gleitphase entsteht. In Tabelle 4-3 sind die Vor- und Nachteile der FPB zusammengefasst.

Tabelle 4-3: Vor- und Nachteile von FPB

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none">• Geringe Bauhöhe	<ul style="list-style-type: none">• Nach Erdbeben evtl. kleine Nachjustierung nötig - aufgrund der Reibung in der Lagerfuge
<ul style="list-style-type: none">• Gute Rückstellwirkung	
<ul style="list-style-type: none">• bei der Nachrüstung von Bauwerken verwendet	

4.2.3 Gleitpendellager

Diese Art von Gleitlager, im englischen „Sliding Isolation Pendulum Bearings“, kurz SIP, erfüllt die wichtigsten Anforderungen, die für die Erdbebenisolierung relevant sind [13]:

- Vertikale Lastabtragung,
- Horizontale Verschiebbarkeit,
- Energiedissipation und
- Rückstellwirkung.

Diese innovativen Gleitpendellager wurden schon in das neue Akropolis Museum in Athen eingebaut, nachdem sie sich in Versuchsreihen in einer Spezialanlage der University of California in San Diego bewährt hatten.

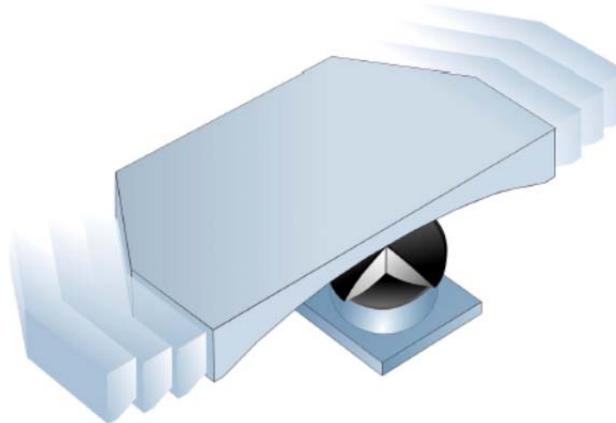


Abbildung 4-8: SIP-Lager [13]

Die Besonderheit dieser Lager liegt darin, dass die obere Gleitfläche der Konstruktion gekrümmt ist. Damit wird erreicht, dass nach einem horizontalen Erdbebenstoß das Gebäude von selbst in seine ursprüngliche Lage zurückkehrt. Die genaue Wirkungsweise der Lager wird wie folgt beschrieben [13]:

- „Sliding“ steht für Gleiten. Die horizontalen Bewegungen, die durch die Erdbebeneinwirkung verursacht werden, werden von den Lagern abgefangen und das führt zu einer Energiedissipation. Das bedeutet, dass die eingeleitete Energie in Wärme- und potenzielle Energie umgewandelt wird.
- „Isolation“. Dieser Begriff steht für die isolierende Wirkung, die die Lager auf die Baukonstruktion haben. Das geschieht, indem die Lager das Gebäude bei Erdbebeneinwirkung entkoppeln und es keine Schäden bekommt.
- „Pendulum“ beschreibt die Rückstellwirkung, die schon oben erwähnt wurde. Das Gebäude wirkt, wie ein Pendel, das durch sein Eigengewicht in seine Anfangsposition zurückkehrt.
- und „Bearing“ steht für die Abtragung der Lasten.

4.3 Lagerung mittels Stahlfeder

Erdbebenschutz für Gebäude wird in verschiedenen Variationen angeboten. Eine davon wird mittels Schraubendruckfedern mit großen zulässigen Federwegen realisiert. Diese elastische Gebäudelagerung gehört zum sogenannten „Base Control System“. Dieses schützt die Bauwerke nicht nur in horizontaler, sondern auch in vertikaler Richtung [81]. Die Vorteile dieser Lagerung sind [82]:

- Hohe Elastizität
- Lineares Last-Weg-Diagramm
- Kein Unterschied zwischen statischer und dynamischer Federsteifigkeit

- Definierte Steifigkeiten in vertikaler und horizontaler Richtung
- Hohe Tragfähigkeit
- Lange Lebenserwartung

Die Federelemente werden ohne Schrauben mit selbstklebenden, mitgelieferten Gewebebauplatten befestigt. Befestigungsanker werden für gewöhnlich nicht benötigt. Alle Teile werden mit Korrosionsschutz versehen [84].



Abbildung 4-9: Stahlfederelemente unter einer Stahlstütze [83]

4.4 Schwingungsdämpfer

Die Anordnung derartiger Schwingungsisolierung erfolgt bei aussteifenden Diagonalverbindungen. Während eines Erdbebens treten Längenänderungen der Diagonalen durch die gegenseitigen Stockwerkverschiebungen auf. Diese Längenänderungen werden genutzt, um die zugeführte Energie zu dissipieren [34]. Hierbei werden die Dämpfungseigenschaften verschiedener Werkstoffe und auch Flüssigkeiten genutzt.

Es gibt verschiedene Arten von Schwingungsdämpfern:

- Hysteretische Dämpfer
- Hydraulische Dämpfer
- Flüssigkeitsdämpfer
- Friction damper
- Buckling restrained braces

Weitere Einzelheiten hierzu finden sich in [34].

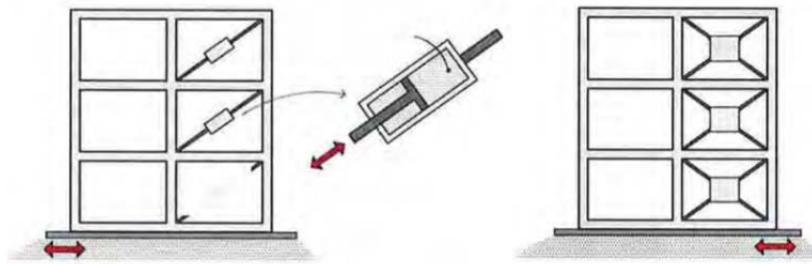


Abbildung 4-10: (links) viskoser Dämpfer; (rechts) Friction Dämpfer [34]

Ein Beispiel für die Anwendung dieser Dämpfungsmaßnahmen ist das Gebäude Eaton in Montreal (Abbildung 4-11). Es handelt sich um ein zehnstöckiges Gebäude, das von 1925 bis 1959 in mehreren Etappen erbaut wurde. Als effektive Lösung wurden Reibungsdämpfer (friction damper) gewählt. Die genauen Überlegungen und Ergebnisse findet man in [85].

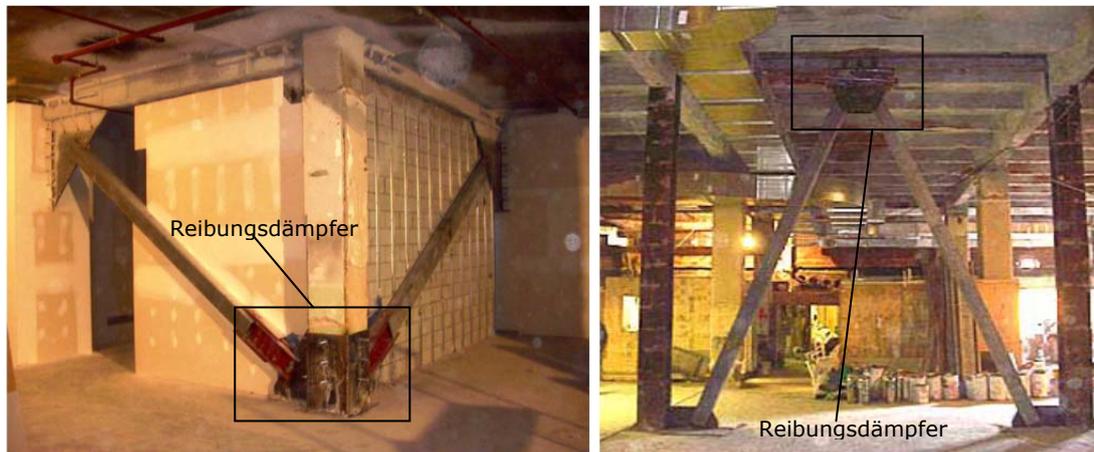


Abbildung 4-11: Reibungsdämpfer im Eaton Gebäude [85]

Hierbei ist zu beachten, dass Schwingungsdämpfer - abgesehen von den hydraulischen Dämpfern - keine oder nur geringe Rückstellwirkung haben und somit das Tragwerk nach einer Erdbebenbelastung nicht automatisch in seine Ausgangslage zurückversetzt wird. Bei der Herstellung dieser Vorrichtungen muss vorsichtig vorgegangen werden. Die Auswahl der einzelnen Komponenten, die Gestaltung der einzelnen Bauteile und die Beachtung bestimmter Vorsichtsregeln sind Faktoren, die den Aufwand der Wartung beeinflussen.

Tabelle 4-4: Vor- und Nachteile von Schwingungsdämpfern

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> • Reagieren gut bei hohen Temperaturen 	<ul style="list-style-type: none"> • Ohne die Aufbringung von extra Mitteln besteht Korrosionsgefahr
<ul style="list-style-type: none"> • Lange Lebensdauer 	<ul style="list-style-type: none"> • Nicht kostengünstig bei der Herstellung
<ul style="list-style-type: none"> • Abtragung horizontaler Lasten 	<ul style="list-style-type: none"> • Bei den Dichtungen besteht Verschleißgefahr
	<ul style="list-style-type: none"> • Wartung
	<ul style="list-style-type: none"> • Keine oder geringe Rückstellwirkung
	<ul style="list-style-type: none"> • Zusätzliche Vorrichtungen sind nötig, um die vertikalen Lasten aufzunehmen

4.5 Schwingungstilger

Schon seit Jahren werden Tilger im Bauwesen zur Reduktion unerwünschter Schwingungen von Brücken oder turmartiger Bauwerke infolge Verkehrs- oder Windanregung eingesetzt.

Der Schwingungstilger ist ein speziell abgestimmter Einmassenschwinger, der eine hohe schwingungsmindernde Wirkung auf das Bauwerk hat, falls die Störschwingung eine dominante Frequenzkomponente besitzt. Falls mehrere maßgebliche Frequenzkomponenten vorliegen, kann ev. für jede Störschwingungsfrequenz ein eigener Tilger verwendet werden.

Wenn ein Tilger richtig bemessen ist, übernimmt er fast die gesamte Schwingungsenergie aus der Anregung. Der Tilger schwingt mit großer Amplitude, während das Tragwerk praktisch in Ruhe verbleibt.

Ein Tilger wird an einer Stelle positioniert, an der große Schwingungsamplituden auftreten, möglichst am Ort der größten Schwingungsamplitude [8].

In der folgenden Abbildung 4-12 ist das dynamische Modell für ein Tragwerk mit einem linearen Schwingungstilgers dargestellt.

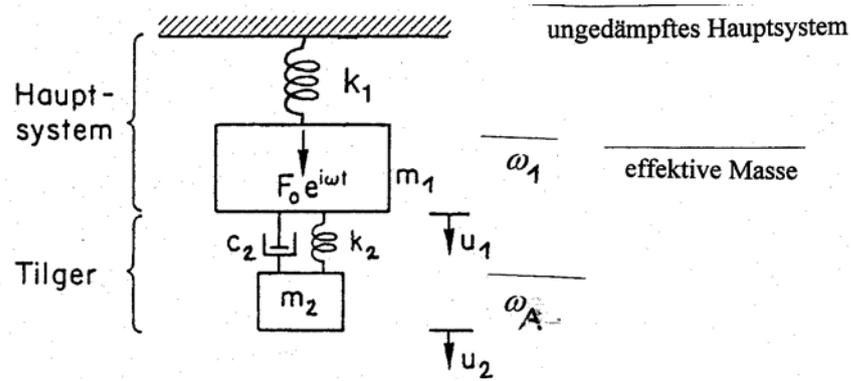


Abbildung 4-12: Das Prinzip eines linearen Schwingungstilgers [8]

Um einen Schwingungstilger physikalisch zu realisieren, wird der folgende Weg gewählt:

1. Wahl der Tilgermasse m_2 ,
2. Bestimmung des Massenverhältnis μ ($\mu = m_2/m_1$),
3. Bestimmung von α ($\alpha = \frac{1}{1+\mu}$),
4. und über α lässt sich die Eigenkreisfrequenz ($\alpha = \omega_A/\omega_1$) des Tilgers berechnen. Aus ω_A kann man dann die Federkonstante für den Tilger bestimmen.
5. Ferner wird die optimale Dämpfungskonstante festgelegt.

In der Fachliteratur wird der Einsatz des Schwingungstilgers zur Minderung der Erdbebeneinwirkung kontrovers diskutiert und sogar in der europäischen Norm für Erdbebenschutz (Eurocode 8) nicht erwähnt. Ein Beispiel für die Anwendung eines Tilgers ist der rumänische Palast in Bukarest. Der Palatul Victoria ist Sitz der rumänischen Regierung. Dieses Gebäude wurde nachträglich gegen die Auswirkungen von Erdbeben geschützt [86].



Abbildung 4-13: Installation eines Tilgers auf dem Dach des Palatul Viktoria in Bukarest [87]

5 Mauerwerksbauten und Erdbeben

Unbewehrte Mauerwerkstrukturen besitzen im Vergleich zu Stahl- oder Stahlbetonbauwerken bei zyklischen Belastungen eine sehr geringe Duktilität und darüber hinaus ist die Qualität bei der Ausführung und den Baumaterialien sehr gering. Dennoch sind Mauerwerksbauten, da sie sich durch ihre einfache Bauweise und Wirtschaftlichkeit auszeichnen, in vielen erdbebengefährdeten Gebieten sehr verbreitet [42].

In Abhängigkeit von der Wechselwirkung zwischen den planmäßig wirkenden Vertikalkräften, den aus Erdbeben entstehenden Horizontallasten und der Höhe und Länge der Scheiben im Mauerwerksbau, gibt es verschiedene Versagensmechanismen, die hauptsächlich in Druck-, Schub- und Zugversagen eingeteilt sind.

5.1 Baustoffe

5.1.1 Mauersteine

Die Einteilung der Mauersteine erfolgt in zwei Gruppen [37]:

- die künstlich hergestellten Mauersteine und
- die natürlichen Mauersteine (Natursteine).

Zu den künstlich hergestellten Mauersteinen gehören:

- Mauerziegel,
- Kalksandsteine,
- Mauersteine aus Beton,
- Porenbetonsteine und
- Betonwerksteine.

Im Rahmen dieser Arbeit ist der Mauerziegel relevant.

Es gibt zwei Arten von Mauerziegel [37]:

- LD-Ziegel: LD steht für „low density“ und wird in geschützten Mauerwerken verwendet. Diese Art von Mauerziegel hat eine Brutto-Trockenrohddichte (=Ziegelrohddichte) $\leq 1000 \text{ [kg/m}^3\text{]}$,
- HD-Ziegel: HD steht für „high density“. Diese Mauerziegel haben eine Brutto-Trockenrohddichte $>1000 \text{ [kg/m}^3\text{]}$.

Die normierte Druckfestigkeit f_b der Mauersteine ist laut ÖNORM EN 1996-1-1 [38] entweder durch den Hersteller oder nach ÖNORM EN 772-1 nach einer genauen Formel zu berechnen. Die Erläuterung dieser Formel wird hier nicht vertieft. Mehr dazu findet man in [37] und [38].

5.1.2 Mauermörtel

Mauermörtel ist ein Gemisch aus einem oder mehreren anorganischen Bindemitteln, Zuschlägen, Wasser und eventuell Zusatzstoffen. Je nachdem, wie die Zusammensetzung von Mauermörtel ist, wird Normalmörtel, Dünnbettmörtel oder Leichtmörtel unterschieden [37].

Auf eine genauere Beschreibung des Mauermörtels und seiner Funktion wird an dieser Stelle verzichtet und auf [37] und [38] verwiesen.

5.1.3 Mauerwerk

Das Mauerwerk besteht aus einzelnen Komponenten (Mauerziegel, Mauermörtel). Sie weisen sehr unterschiedliche Eigenschaften auf und das bedeutet wiederum, dass das Tragverhalten des Mauerwerks von dem Tragverhalten der einzelnen Komponenten abhängt. Aus Gründen wie z. B. Form und Abmessung, Herstellungsart, Hohlraumgeometrie der Mauersteine kommt es zu einem anisotropen Verhalten des Mauerwerks. Faktoren, die die Festigkeit des Mauerwerks beeinflussen, sind in der Tabelle 5-1 zusammengefasst [37].

Tabelle 5-1: Einflussfaktoren der Festigkeit von Mauerwerk [37]

Mauersteine	Mauermörtel	Mauerwerk	Einwirkung (Belastung)
Materialfestigkeit	Festigkeit	Verband	Art
Hohlraumanteil/-geometrie	Fugendicke	Ausführungsgüte	Geschwindigkeit
Abmessungen	Art der Fugemörtelung	Abbindebedingungen	Dauer
Feuchtigkeit u. Saugfähigkeit	Konsistenz		

5.2 Beanspruchung und Tragwerkverhalten

Folgende Schnittgrößen sind wegen äußerer Einwirkungen für Mauerwerkstrukturen relevant [29]:

- Normalkräfte (Druck bzw. Zug),
- Querkräfte (Schubbeanspruchung) und
- Biegemomente.

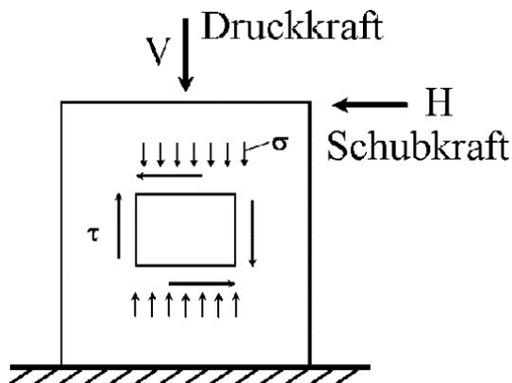


Abbildung 5-1: Kombinierte Beanspruchung einer Wand [29]

Die tragenden Wände leiten die Lasten in die Gründung weiter. Die Art und Weise, wie die Lasten in der Ebene der Wand wirken, erlaubt eine Einteilung der Beanspruchung in zwei Arten: die Scheibenbeanspruchung (In-Plane) und die Plattenbeanspruchung (Out of Plane). Im ersten Fall wirkt die Last in der Ebene und im zweiten Fall wirkt sie senkrecht zur Ebene (Abbildung 5-2) [44].

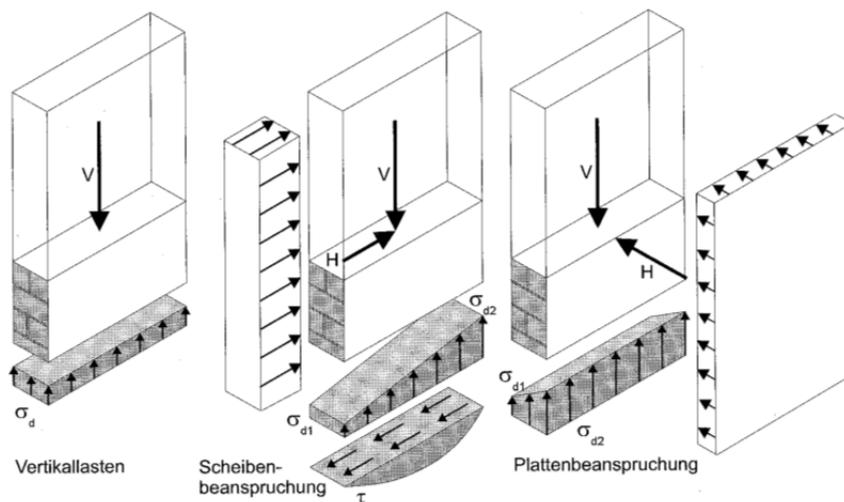


Abbildung 5-2: Beanspruchung von tragenden Wänden [31]

Mauerwerkswände tragen dabei durch die Scheibenwirkung, die vertikalen Lasten ab und nehmen die horizontalen Verformungen auf. Da sie für diese Eigenschaften meistens verwendet werden, wird an dieser Stelle besonderes Augenmerk auf das Tragverhalten von Mauerwerk als Scheibe gelegt. Die Plattenbeanspruchung wird in der Regel vernachlässigt [42]. Im nächsten Abschnitt werden Druck-, Zug- und Schubbeanspruchung für den Fall der Scheibenwirkung untersucht.

5.2.1 Druckbeanspruchung

Druckkräfte, die senkrecht zur Lagerfuge wirken, stellen kein Problem für das Mauerwerk dar. Anders gesagt, ist die Druckfestigkeit von Mauerwerk viel größer als seine Zug- bzw. Biegezugfestigkeit. Deswegen werden auch Mauerwerksbauteile hauptsächlich für Druckbeanspruchung verwendet [37].

Wenn das Mauerwerk senkrecht zu den Lagerfugen durch Druckspannungen beansprucht wird, „will“ der Mörtel sich aufgrund seiner größeren Querverformbarkeit (geringeres E-Modul und höhere Querdehnzahl) im Vergleich zum Mauerwerk querverformen [31]. Der Stein behindert diese Verformung. Das Ergebnis dieser Behinderung ist die Entstehung von Querdruckspannungen im Mörtel. Diese Druckspannungen wiederum erzeugen Querspannungen im Stein. Die einaxiale Druckbeanspruchung beim Mauerwerk führt zu einem dreiaxialen Druckspannungszustand im Mörtel und einem zweiachial-Druck-Zugspannungszustand im Stein (siehe Abbildung 5-3). Diese Wechselwirkung zwischen Stein und Mörtel führt letztendlich zu einem Versagen des Mauerwerks. Der Grund dafür ist das Aufspalten der Steine infolge von Querspannungen (Steinzugversagen) [31], [25].

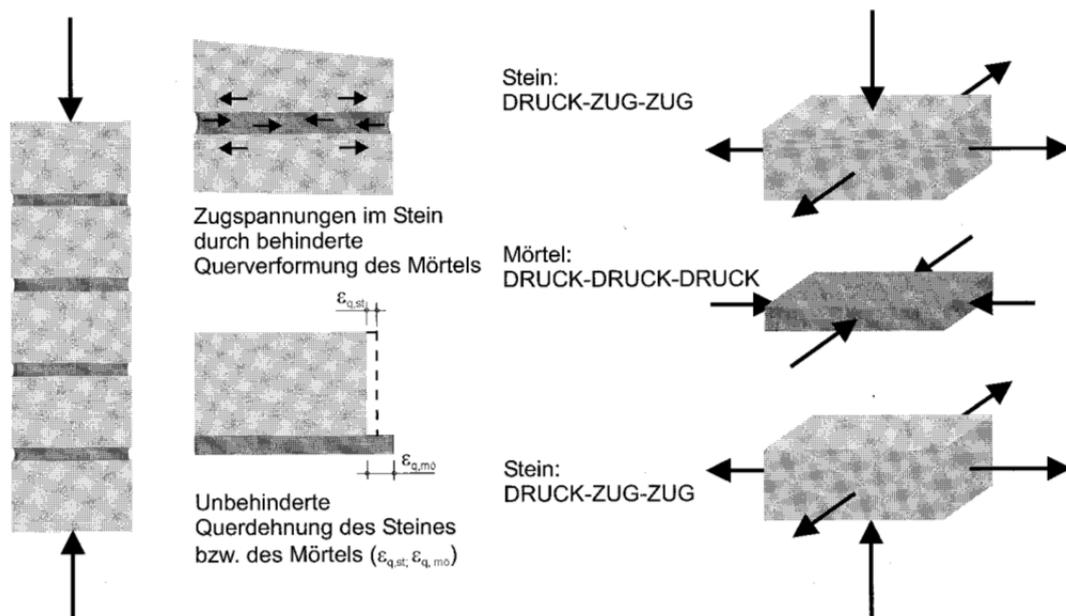


Abbildung 5-3: Versagensmechanismus von Mauerwerksbau unter Druckbeanspruchung [31]

Im Fall der einaxialen Druckbeanspruchung parallel zur Lagerfuge ist die Druckfestigkeit des Mauerwerks von der Steinlängsdruckfestigkeit und der Stoßfugenausbildung abhängig [42]. Wenn die Stoßfugen nicht vermörtelt sind, dann

ergibt sich eine deutlich geringere Längsdruckfestigkeit und ein flacher Verlauf der Spannungs-Dehnungslinie wegen des veränderten Kraftflusses im Verband [43].

5.2.2 Zugbeanspruchung

In diesem Fall geht man davon aus, dass keine Zugspannungen über die Stoßfugen übertragen werden können. Die Gründe dafür sind [37]:

- Die Ausführungsqualität (Stoßfugen sind sehr wenig oder gar nicht vermörtelt),
- Fugenmörtel reißt durch Schwinden (kommt in den Lagerfugen auch vor, aber sie werden überdrückt) und
- die Stirnfläche ist in der Regel glatt und das führt zu einer geringeren Haftung zwischen Mauermörtel und Mauerstein.

Bei der Zugbeanspruchung ist die Übertragung der Zugkräfte senkrecht und parallel zu der Lagerfuge von Bedeutung. Bei der Übertragung senkrecht zu der Lagerfuge versagt das Mauerwerk unter der Überschreitung der Haftzugfestigkeit zwischen Mörtel und Stein, während bei der Übertragung parallel zu der Lagerfuge das Überschreiten der Steinzugfestigkeit zu einem Versagen der Steine unter Zug führt (Steinversagen) [31]. In dem Fall versagt der Verbund, wenn die Scherfestigkeit in den Lagerfugen überschritten wird. Bei der Zugbeanspruchung parallel zur Lagerfuge kommt es auch zu einem Fugenversagen. Das Verhalten des Mauerwerks hier ähnelt der Schubbeanspruchung, die im nächsten Punkt behandelt wird. Im Allgemeinen ist es so, dass die Normaldruckspannung zu einer Steigerung der horizontalen Zugbeanspruchung und diese wiederum zu einem relativ spröden Steinzugversagen führt [42]. Das Steinzugversagen hängt von der Steinzugfestigkeit ab.

5.2.3 Schubbeanspruchung

Wenn das Mauerwerk unter Schub belastet wird, dann können zwei unterschiedliche Versagensarten auftreten [31]:

- das Fugenversagen und
- das Steinversagen.

Das Fugenversagen tritt bei kleiner Auflast auf (Abbildung 5-4, oben links). Dabei hängt die Schubfestigkeit von dem Reibungswinkel und der Kohäsion bzw. Haftscherfestigkeit ab. Bei steigender Kraft normal zu der Lagerfuge kommt es zu einem Steinversagen (Abbildung 5-4, unten links). Dies lässt sich aus den

unter Schub entstehenden Steinrotationen der darüber- und darunterliegenden Reihe erklären. Das Ergebnis dieses Abschermechanismus sind große Hauptzugspannungen im Stein, daher auch der Name dieser Versagensart [32].

Die qualitative Gegenüberstellung der Hysteresenkurven (=Last-Verformungskurven) der schon bereits erwähnten Versagensarten verdeutlicht die unterschiedliche Wirkungsweise bei zyklischer Beanspruchung. Wenn Gleiten in der Fuge auftritt, dann wird durch die Reibung Energie dissipiert. In der Abbildung 5-4 rechts kann man sehen, dass die Hysteresekurven füllig sind. Dieses Verhalten nach Überschreiten und Abbau der Haftscherfestigkeit wird als duktil definiert werden und tritt bei einem rein elastoplastischen Materialverhalten auf. Anders ist es bei Steinzugversagen, da das Verhalten als spröde bezeichnet werden kann. In der Realität tritt eine Kombination beider Versagensarten (Fugen- und Steinzugversagen) auf [32].

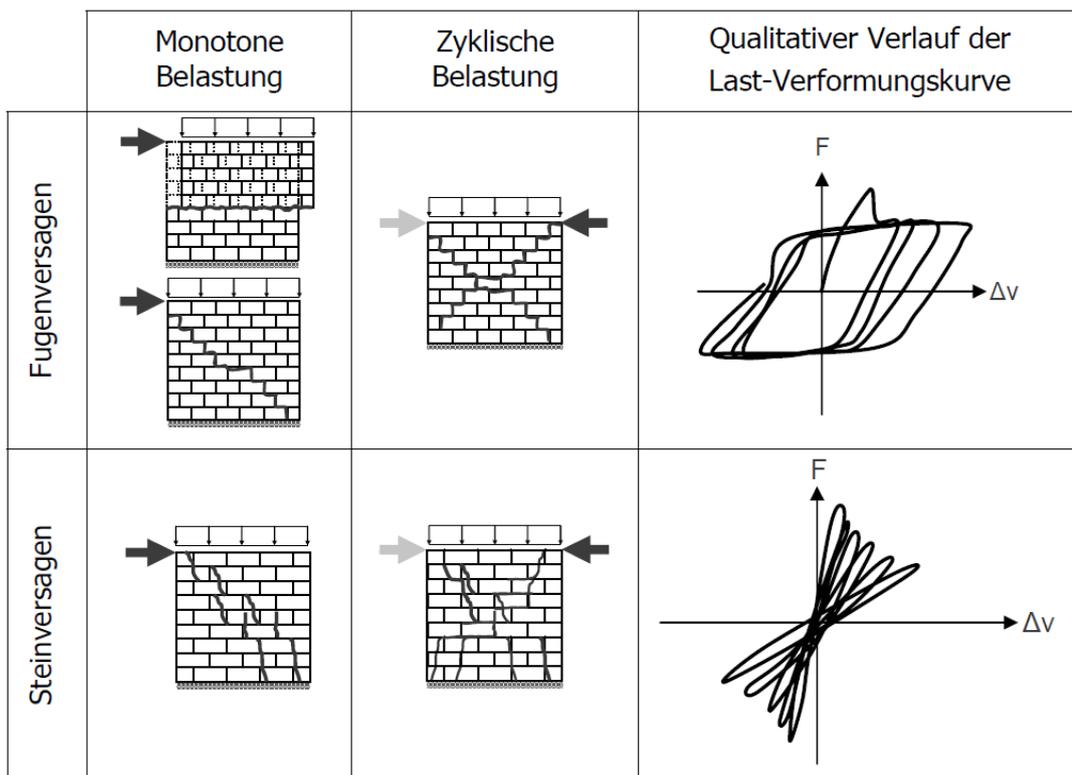


Abbildung 5-4: Schubversagen [32]

Schlanke Mauerwerksscheiben werden in der Regel auf Biegung beansprucht. Die üblichen Versagensarten hier sind Zug- und Druckversagen in den Eckbereichen. Bei zyklischer Belastung erfährt die Wand eine Kippbewegung. Die Hysteresekurve hier zeigt einen S-Verlauf (siehe Abbildung 5-5), bei dem man er-

kennt, dass nach dem anfänglichen Fugenaufreißen wenig Energie dissipiert wird.

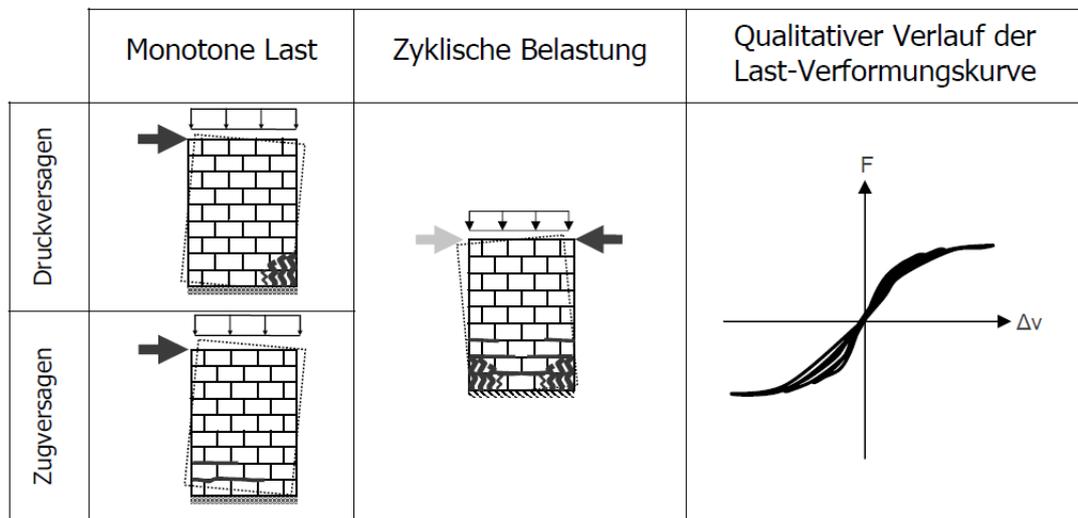


Abbildung 5-5: Kombiniertes Druck- und Zugversagen infolge Biegebeanspruchung bei schlanken Wänden [32]

5.2.4 Modelle zur Schub- und Scherbeanspruchung

Weltweit wurde eine Vielzahl von Bruchkriterien für Mauerwerk formuliert. Im deutschen Sprachraum sind hauptsächlich folgende Modelle zu finden [37]:

- Bruchkriterium nach Mann/Müller und
- Bruchkriterium nach Ganz.

Das Tragverhalten eines unbewehrten Mauerwerks unter Schub- und Normalkraft wird durch das Schubmodell von Mann und Müller (Abbildung 5-6) beschrieben. Diese Bruchtheorie dient als Basis für die Schubbemessung von Mauerwerk nach dem Europäischen Normwerk [37]. Es wird davon ausgegangen, dass keine Spannungen in den Stoßfugen übertragen werden können. Die Schubspannungen bewirken ein Drehmoment am Einzelstein (Abbildung 5-6a). Die Herstellung des Gleichgewichts gegen Verdrehen kann nur über ein vertikal wirkendes Kräftepaar aus den sich einstellenden vertikalen Spannungen stattfinden. In Abbildung 5-6b sieht man die blockförmige Normalspannungsverteilung mit den verschiedenen Vorzeichen in den beiden Steinhälften [42].

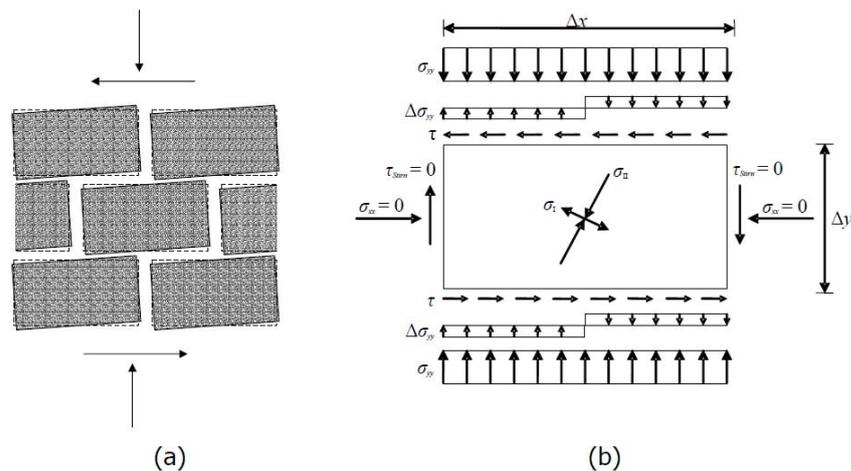


Abbildung 5-6: Angreifende Spannungen am Einzelstein [42]

Aus dieser Verteilung ergeben sich folgende Versagenskriterien [32], [31]:

- Reibungsversagen in der Lagerfuge in der Steinhälfte mit der geringeren Normaldruckspannung
- Steinversagen beim Überschreiten der Steinzugfestigkeit
- Druckversagen mit höherer Normaldruckspannung
- Klaffen in der Lagerfuge bei geringer Normaldruckspannung.

Damit das Verhalten des Mauerwerks bei der Schubbeanspruchung beschrieben werden kann, müssen folgende Einflussparameter auf seine Schubfestigkeit berücksichtigt werden [31]:

- aufnehmbare Reibungskräfte in der Lagerfuge
- Zugfestigkeit der Mauersteine
- Druckfestigkeit des Mauerwerks
- Verbundfestigkeit zwischen Mauerstein und Mörtel und
- die Höhe der Auflast.

Ein anderes Materialmodell für die Schubbeanspruchung ist das von Ganz. Ganz trifft folgende Annahmen [37]:

- Es wird dabei angenommen, dass die Plastizitätstheorie zulässig ist. Für alle Materialien gilt die Annahme, dass ein starr-idealplastisches Verhalten vorhanden ist.
- Das Mauerwerk entspricht einem ebenen Spannungszustand. Seine Zugfestigkeit wird nicht berücksichtigt.
- Das Steinmaterial verwendet eine modifizierte Bruchbedingung nach Mohr-Coulomb mit geringer Zugfestigkeit.

- Für den Schubwiderstand der Lagerfugen gilt die modifizierte Bruchbedingung von Mohr-Coulomb (Abbildung 5-7).
- Bei den Stoßfugen und den angrenzenden Steine werden Scherbrüche ausgeschlossen.

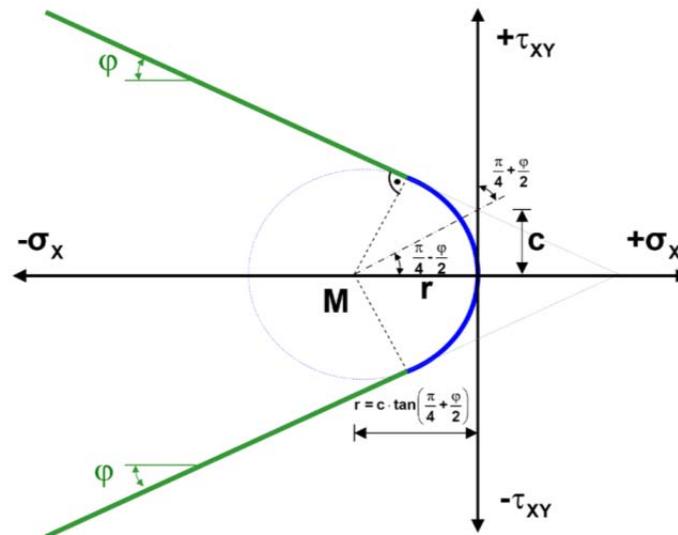


Abbildung 5-7: Modifizierte Bedingung nach Mohr-Coulomb für Lagerfugen [37]

Eine Vertiefung der oben genannten Annahmen wird hier nicht stattfinden und es wird auf [30] und [37] verwiesen. Wichtig ist, dass es sich hier um ein Bruchkriterium für unbewehrtes Mauerwerk ohne Zugfestigkeit handelt.

5.2.5 Bruchkriterien

Die Bruchbedingungen, die hier vorgestellt werden, basieren auf der Hypothese eines ebenen Spannungszustands. Das bedeutet, dass beim Bauteil angenommen wird, dass $\sigma_z = \tau_{xz} = \tau_{yz} = 0$ gilt und die Belastungsebene xy ist.

Das anisotrope Verhalten des Mauerwerks wurde im Modell nach Ganz berücksichtigt. Die Lochung in den Steinen ist durch eine Unterteilung in einachsige und zweiachsige beanspruchte Teile festgehalten. Es gibt zwölf Bruchbedingungen, die in Abbildung 5-8 links dargestellt sind. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Fläche hier die Schubspannung τ_{xy} , die aufgenommen wird und von der wirkenden horizontalen und vertikalen Normalspannungen (σ_x und σ_y) abhängig ist, in einer Art Isolinien darstellt. Ähnliche Beziehungen werden auch für bewehrtes Mauerwerk aufgestellt [102].

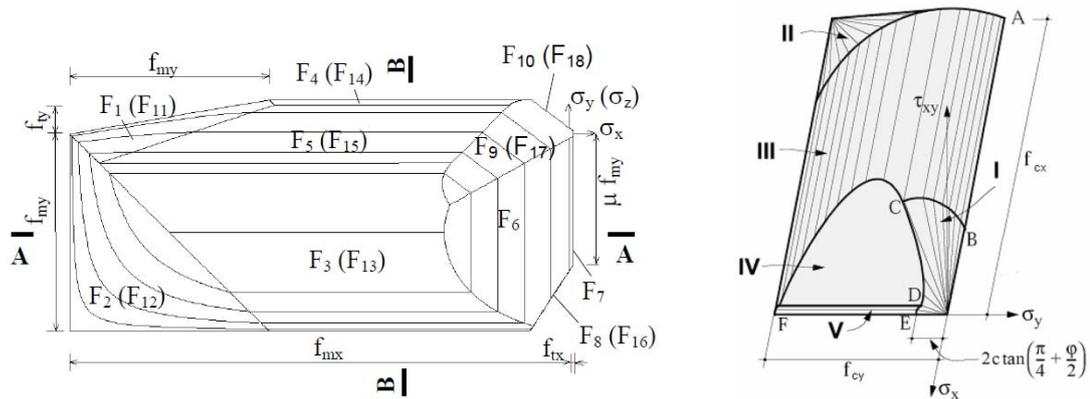


Abbildung 5-8: Fließflächen nach Ganz (links) [43] und Lu (rechts) [30]

In der Untersuchung von Lu [30] wird ein neues Modell basierend auf dem von Ganz vorgestellt. Hierbei handelt es sich praktisch um eine vereinfachte Erweiterung. Es geht um ein druckbeanspruchtes, unbewehrtes Mauerwerk, wo das Auftreten von Zugkräften erlaubt ist. Durch diese Modifikationen entsteht ein neues Modell, das sowohl die Zugspannungen parallel als auch orthogonal zu den Lagerfugen beinhaltet. Diese Erweiterung dient der verbesserten Abbildung des Modells, um auch vorhandene Tragreserven, welche für den Fall der Erdbebenbelastung bedeutend ist, auszuschöpfen, ohne dabei den Aspekt der Sicherheit zu vernachlässigen. Die neu zusammengesetzte Fließfläche besteht aus fünf Einzelflächen (Abbildung 5-8 rechts). Laut [30] sind die neuen Fließgesetze den folgenden fünf Versagensarten zugeteilt:

- f_1 : Zugversagen im Mauerziegel,
- f_2 : Druckversagen im Mauerziegel,
- f_3 : Schubversagen im Mauerziegel,
- f_4 : Gleiten entlang der Lagerfuge und
- f_5 : Zugversagen (Trennbruch) der Lagerfugen.

Die Modifikationen zu dem neuen Modell findet man detailliert in [30]. Das Modell ist nicht komplexer geworden, ermöglicht aber dennoch eine Vielzahl von Phänomenen für Scheibenbeanspruchung zu beschreiben.

5.3 Versagensmechanismen

In den nächsten Abbildungen sind die Versagensarten, die bei Mauerwerk unter Erdbebeneinwirkung auftreten, dargestellt [25].

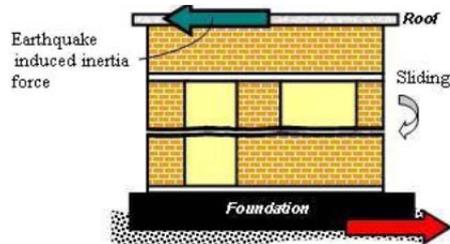


Abbildung 5-9: Versagen bei horizontalem Gleiten [25]

In Abbildung 5-9 ist der Versagensmechanismus „Gleiten“ zu sehen. Die dicke schwarze Linie unter dem Fensterrand kennzeichnet die Gleitebene. Im nachfolgenden Fall (Abbildung 5-10), ebenfalls bei horizontaler Bewegung, versuchen die Wände sich zu verdrehen und das kann ein Druckversagen der Wanddecken zur Folge haben. Beim Kippen tritt das Problem des „Starrkörperversagens“ auf. Dieser Fall tritt bei dünnen Wänden auf.

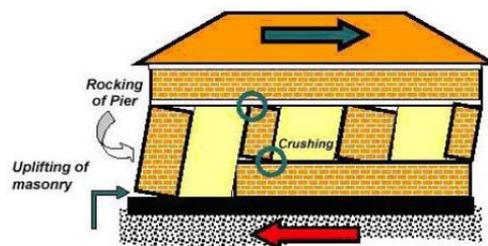


Abbildung 5-10: Kippen der Wand [25]

Einer der häufigsten Risse, die im Mauerwerksbau bei alternierender, zyklischer Belastung entstehen, sind die „X-Risse“ bzw. diagonale Schubrisse, wie sie in Abbildung 5-11 zu sehen sind. Sie entstehen durch die Kombination des Stein- und Fugenversagens [31] [32].

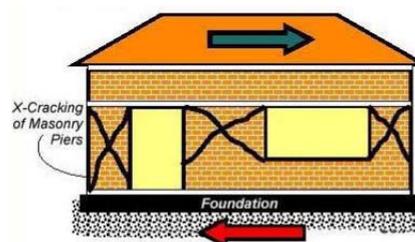


Abbildung 5-11: Schubversagen [25]

6 Elastische Lagerung im Hochbau

6.1 Elastomer

Kunststoffe sind Werkstoffe, die wegen ihren konstruktions- und funktionstechnischen Eigenschaften speziell im Bauwesen geschätzt werden. Elastomere gehören hauptsächlich zu den Funktionswerkstoffen [17]. Sie bestehen aus langen Kettenmolekülen (Polymere), die als wirr verschlaufte Schnüre [18] dargestellt werden. Diese weitmaschigen vernetzten Polymerwerkstoffe [11] entstehen durch Vulkanisation von natürlichem und synthetischem Naturkautschuk. Der Kautschuk ist ein unvernetztes Ausgangsmaterial in der Verarbeitung des Elastomers. Damit die mechanischen und thermischen Eigenschaften des Materials verbessert werden, werden den Elastomerwerkstoffen spezielle Füllstoffe wie Ruß, Kieselsäure beigelegt. Es gibt eine Wechselwirkung zwischen den Materialien, die als Verstärkung bezeichnet wird [18]. Durch die richtige Beimengung der Füllstoffe kann zusätzlich noch die Widerstandsfähigkeit gegen Umwelteinflüsse verbessert werden.

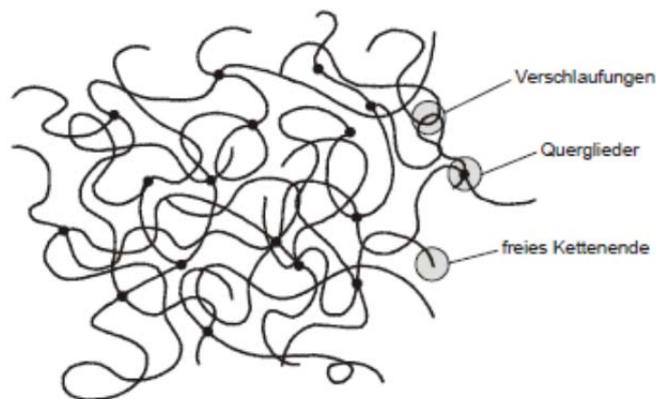


Abbildung 6-1: Schematische Darstellung der netzartigen Struktur eines Elastomers [11]

Elastomere sind wie Flüssigkeiten inkompressibel, d. h. ihre Verformungen erfolgen unter nahezu konstantem Volumen und deswegen ist ihr Materialverhalten hauptsächlich durch die Schubfestigkeit charakterisiert [11]. Der Grund dafür ist, dass das Schubmodul oft bei großen Deformationen einen konstanten Wert behält. Anhand der Spannungs-/Dehnungs-Kurven wird bei der Be- und Entlastung des Werkstoffes beobachtet, dass bei dem ersten und zweiten Lastzyklus eine bleibende Deformation auftritt. Dieser Effekt wird in der Literatur als Mullins-Effekt bezeichnet. Diese Anfangsdeformation ist aber nach längerer Zeit reversibel [18].

Generell sind Kunststoffe von der Temperatur abhängig. Bei tiefer Temperatur verhalten sie sich spröde und bei hoher Temperatur weich. Wie schon in der Abbildung 6-2 dargestellt wird, ist im entropieelastischen Bereich eine starke Abnahme des E-Moduls zu erkennen. Im energieelastischen Bereich ist das Verhalten der Kunststoffe eher steif. Der Wendepunkt dieser Kurve wird als Glasübergangsbereich bezeichnet und variiert je nach Einsatzbereich [17]. Bei den Elastomerwerkstoffen, die im Bauwesen verwendet werden, wird die Glasübergangstemperatur erst bei sehr tiefen Temperaturen von $T_G < -60\text{ °C}$ erreicht, damit im Gebrauchszustand das Material fast ausschließlich durch ein viskoelastisches Verhalten charakterisiert ist [11].

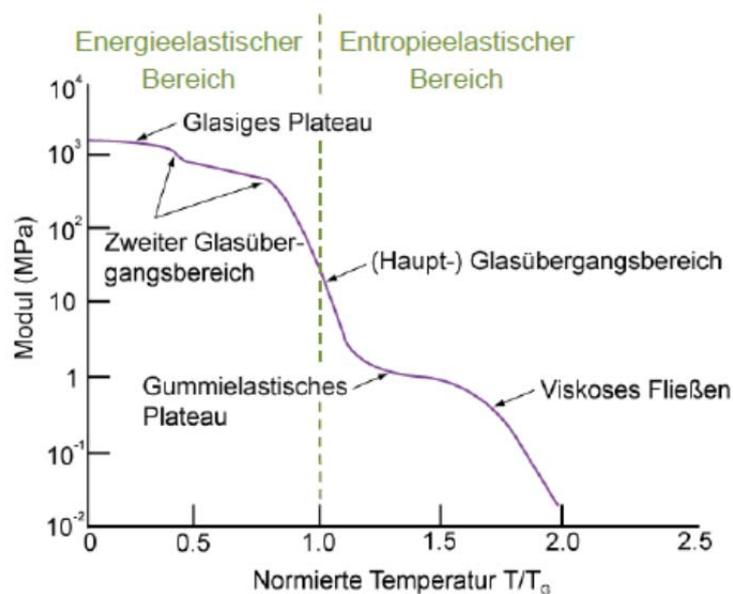


Abbildung 6-2: Temperaturverhalten [17]

Im Gegensatz zu thermoplastischen Kunststoffen handelt es sich bei Elastomeren um mehr oder minder weitmaschig vernetzte Polymerwerkstoffe. Die Vernetzungsdichte, also die Anzahl der Vernetzungen der Makromoleküle untereinander, ist für die Härte der Produkte entscheidend. Bei Werkstoffen auf Kautschukbasis (Natur- oder Synthetikautschuk) erfolgt die Vernetzung der einzelnen Makromoleküle im einfachsten Fall durch Schwefel oder Schwefelverbindungen oder auch durch Peroxide. Dabei werden die in Kautschuken vorhandenen Doppelbindungen aufgebrochen und räumliche Vernetzungen geschaffen. Die Härte des so erhaltenen Gummiwerkstoffes wird daher in erster Linie durch die Anzahl der Vernetzungen bestimmt. Durch Zugabe von bestimmten Füll- und Verstärkungsstoffen wie Kieselsäure und Ruß werden die mechanischen Eigenschaften zusätzlich verbessert.

Bei Polyurethanelastomeren wird die Menge der Vernetzungsstellen durch die Zusammensetzung der Rohstoffe bestimmt. Die Funktionalität und das Molekulargewicht der Ausgangsstoffe ist frei wählbar und erlaubt somit eine genaue Einstellung der Härte und Vernetzungsdichte.

Im Gegensatz zu den Kautschukelastomeren, bei denen nicht alle Doppelbindungen des Kautschuks umgesetzt werden und daher chemisch instabile Stellen im Makromolekül verbleiben, erfolgt bei Polyurethanen ein 100%-iger Umsatz und man erhält ein chemisch stabiles Polymer.

Speziell im Fall der Sylomer®-Werkstoffe liegt die Glasübergangstemperatur bei ungefähr -50°C und ihr Schmelzpunkt liegt zwischen $+150^{\circ}\text{C}$ und $+180^{\circ}\text{C}$, je nachdem, wo und wie sie angewendet werden [7]. In den Datenblättern von Getzner Werkstoffe sind genaue Informationen dazu zu finden.

Elastomerlager müssen Druckkräfte, Winkelverdrehungen und vor allem Horizontalkräfte aushalten können [4]. Sie sind inkompressibel, das bedeutet, dass sie unter Belastung ihr Volumen konstant halten. Diese Inkompressibilität kann als eine konstruktive Eigenschaft des Elastomers betrachtet werden. Durch eine gezielte Dehnungsbehinderung in einer Richtung kann seine Steifigkeit in den dazu senkrechten Richtungen erhöht werden [11]. Allgemein hat die Querpressung einen relativ starken Einfluss auf die Materialsteifigkeit und die Materialdämpfung [5].

Ein Problem, das bei Elastomerlagern auftaucht, ist die Querdehnung. Wie in Abbildung 6-3 zu sehen ist, dehnt sich unter Druckbelastung das Material zu den Seiten aus. Wenn diese Dehnung von den benachbarten Bauteilen behindert wird, entwickeln sich die Schubspannungen einerseits in Zugspannungen im angrenzenden Material und andererseits in Druckspannungen im Elastomer. Der Effekt der Querdehnung ist bis jetzt durch bewehrte Elastomerlager (siehe Kapitel 4) gelöst. Allerdings ist zu erwähnen, dass bei dem zelligen Aufbau von Sylomer®-Werkstoffen die Dehnung quer zu der Belastungsrichtung im Vergleich zu kompakten Elastomerlagern sehr gering ist.

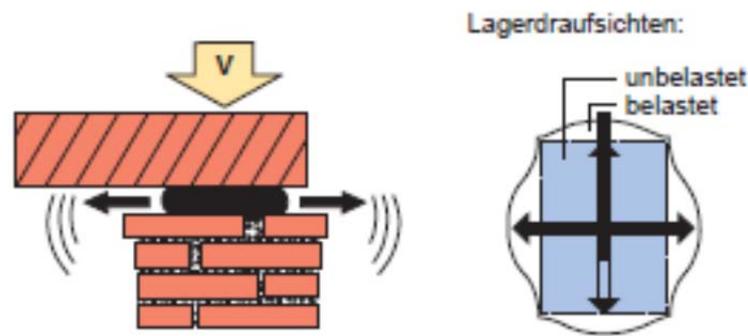


Abbildung 6-3: Querdehnung von Elastomerlagern [4]

6.2 Sylomer®-Werkstoffe

Sylomer®-Werkstoffe sind spezielle PUR (Polyurethan)-Elastomere, die von der Firma Getzner GmbH hergestellt werden und in vielen Bereichen im Bauwesen und im Maschinenbau einsetzbar sind. Meist werden sie als Feder mit einer hohen Druckbelastung verwendet. Durch die Auswahl des passenden Sylomer®-Typs, Aufstandsfläche und Bauhöhe können die Eigenschaften der Feder an die jeweilige Konstruktion, Bauweise und Beanspruchung angepasst werden. Die feinzellige Struktur des Produktes ermöglicht eine elastische Lagerung mit einer vollflächigen Kraftübertragung [7].

Der große Vorteil von Sylomer® ist, dass es unempfindlich gegen hohe Belastungen ist. Der Zustand des Werkstoffes wird generell auch bei kurzzeitigen Lastspitzen nicht beschädigt.

Anhand einer Federkennlinie ist die Verformung des Werkstoffes bei erhöhter Druckbelastung zu erkennen. Wie sich der Werkstoff bei erhöhter Belastung genau verhält, ist detailliert in den Produktdatenblättern der Firma Getzner zu finden. Es ist erwähnenswert, dass im degressiven Bereich die Dämmung der Schwingung sehr wirksam ist und bei weiterer Erhöhung der vertikalen Belastung im progressiven Bereich die Schwingungsisolierung reduziert wird (Tabelle 6-1) [7].

Tabelle 6-1: Federkennlinie

Federkennlinie	Belastung	Verhalten des Materials
linear	statische Belastung	linearer Zusammenhang zwischen Dehnung und Verformung
degressiv	dynamische und statische Belastung	der Werkstoff reagiert besonders weich
progressiv	dynamische und statische Belastung	der Werkstoff wird steifer

Sylomer® reagiert steifer auf dynamische Belastungen als auf statische Belastungen. Wie steif er sich verhält, hängt vom Sylomer®-Typ, der Belastung und der Frequenz ab.

Chemische Eigenschaften:

Sie sind beständig gegen Chemikalien, die am Bau auftreten, wie verdünnte Laugen, Schmutzpartikel und gebräuchliche Öle [14]. Durch ihre gemischtzellige Struktur können sie einen kleinen Anteil an Wasser aufnehmen, der allerdings keinen Einfluss auf die dynamische und statische Steifigkeit des Materials hat und auch keine Schäden verursacht.

Dynamische Steifigkeit:

Die Sylomer®-Werkstoffe haben eine dynamische Steifigkeit, die unabhängig von der Anregungsamplitude ist. Das bedeutet, dass bei kleinen Amplituden keine Versteifung der Lager zu erwarten ist [14]. Diese Eigenschaft führt dazu, dass die Lager für alle relevanten Anregungsamplituden wirksam sind. Hinzu kommt, dass die dynamische Steifigkeit in sehr geringem Maße von der Anregungsfrequenz abhängig ist.

6.2.1 Werkstoffübersicht

In den Unterlagen der Firma Getzner sind drei Standardtypenreihen verfügbar [24]:

- Sylomer® - Hohe Elastizität und Standzeit; dabei handelt es sich um einen „universell einsetzbare[n] elastische[n] PUR-Werkstoff, Feder/Dämpfer Kombination“

- Sylodyn® - Hohe dynamische Belastbarkeit; dies ist eine „technische Feder mit ausgeprägt dynamischem, hoch elastischen Verhalten“ und
- Sylomer®HD - Hohe Dämpfung; „Dämpfer mit speziell energieabsorbierenden Eigenschaften“.

Sylomer® und Sylodyn® haben sich als sehr belastbar erwiesen. Sie haben große Isolierwerte und können Einflüssen in den verschiedenen Einsatzbereichen standhalten. Ihre Werkstoffcharakteristik, die Anwendungsbereiche und die Sonderwerkstoffe, die nach Kundenwunsch produziert werden, sind ebenfalls in den Broschüren von Getzner ersichtlich [24].

Der Werkstoff, der für diese Arbeit und generell für den Fall der Erdbebenisolierung in Frage kommt, ist Sylomer®. Es gibt verschiedene Typen von Sylomer®-Werkstoffen, die für den Planer zur Verfügung stehen. Die richtige Auswahl ist von der statischen Belastung des Bauwerks abhängig. In der Abbildung 6-4 ist eine Übersicht der Produkte zu sehen.

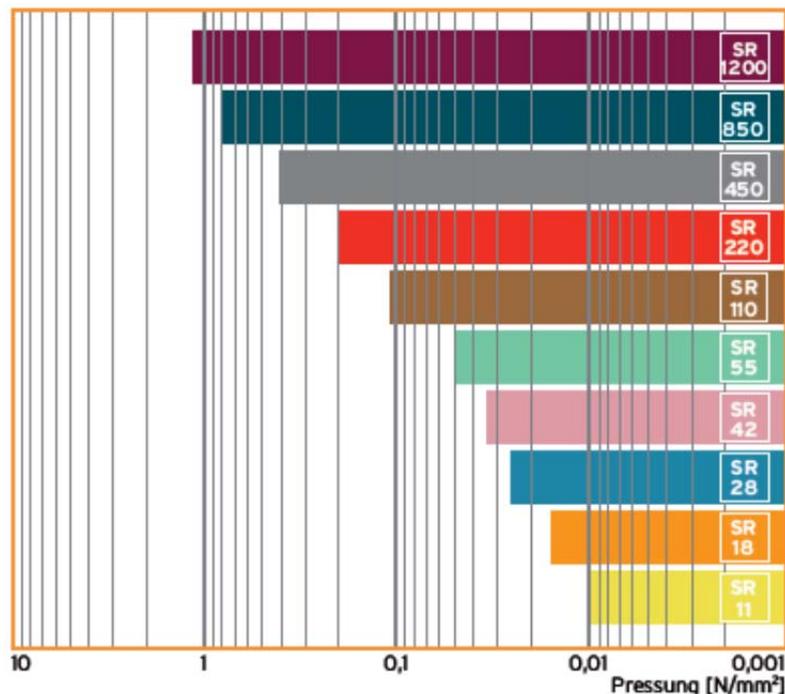


Abbildung 6-4: Sylomer®-Typen [7]

Bei einer vollflächigen Lagerung wird die Pressung, die durch die tatsächlich wirksame Belastung verursacht wird, durch eine Kombination von verschiedenen Sylomer®-Typen geregelt.

Eine wichtige Kenngröße für die Isolierwirkung stellt die Abstimmfrequenz dar. Sie hängt von den geometrischen Gegebenheiten der elastischen Lagerung und von der dynamisch wirksamen Gebäudemasse ab. Je größer beispielsweise die Dicke der Lagerung, desto kleiner ist die Abstimmfrequenz; je höher der Anteil der Gebäudemasse, die unter Erdbebeneinwirkung schwingt, desto tiefer ist die Abstimmfrequenz [14].

6.3 Arten der Lagerung und Auslegung

Wie schon oben erwähnt, ist die Abstimmfrequenz ein sehr wichtiger Faktor, der auch für die Auswahl der Lagerung eine Rolle spielt. Die elastische Lagerung mit Sylomer®-Werkstoffen kann in drei verschiedenen Varianten ausgeführt werden [14]:

- vollflächige Lagerung
- streifenförmige Lagerung und
- punktförmige Lagerung.

Der Einbau von Sylomer®-Lagern ist relativ einfach und unkompliziert. Die Lager werden in Form von Matten bzw. Einzellagern auf die Baustelle gebracht und laut Verlegeplan eingebaut. Wichtig ist, dass nach dem Ausrollen der Matten auf der Tragschicht mit einer gewissen Wartezeit zu rechnen ist, da der Werkstoff sich entspannen und an die Umgebungsbedingungen anpassen muss. Danach kann er weiter verarbeitet werden, z. B. Anpassung durch Abschneiden, Positionierung von Passstücken etc. Relevant für die richtige konstruktive Ausbildung ist die Vermeidung von stumpfen Stößen. Damit die Matten bei einer mehrschichtigen Verlegung nicht verrutschen, ist eine punktuelle Verklebung empfehlenswert [14].

Die Verlegefläche ist auch ein Faktor, der einen Einfluss auf das Endergebnis hat. Sie soll keine scharfkantigen Stellen haben. Allgemein richtet sich der Grad der Rauigkeit nach der Lagerdicke der Matte. Je „dünner“ die Lager sind, desto weniger Freiraum für Rauigkeiten gibt es. Der Grenzwert liegt bei 5 mm [14].

Bei vollflächiger Anwendung können die Matten als „verlorene Schalung“ verwendet werden. Bei teilflächiger Anwendung können die freibleibenden Flächen z. B. mit geeigneten Faserdämmstoffen gefüllt werden. In diesem Fall wird das Abdecken der Mattenoberfläche mit einer Folie zur Vermeidung der Ausbildung von Schallbrücken empfohlen [14].

6.4 Allgemeine Überlegungen

In [25] wurde nach analytischen und numerischen Untersuchungen bewiesen, dass sich das Verformungsvermögen der Mauerwerkswände bei der Verwendung von Elastomerlagern vergrößern lässt.

Elastomerlager wirken wie eine Basisisolierung. Das Tragwerk soll dadurch vom Untergrund entkoppelt werden, damit es bei einem Erdbeben seinen elastischen Zustand beibehält [11]. Schwingungen, die durch das Erdbeben verursacht werden, werden durch Arbeit, die die Elastomerlager verrichten, gedämpft. In anderen Worten wird dem schwingenden System durch die Elastomerlager Energie entzogen, was die Dämpfung der Schwingung nach sich zieht.

Wichtige Überlegungen für die Konstruktion der Elastomerlager sind:

- Bei nicht fixierten faserbewehrten Lagern ist ein Abrollen der Ober- und Unterseite von den Belastungsflächen möglich.
- Die Lagersicherung von Einbauten erfolgt häufig planmäßig durch Reibung auf der Aufstandsfläche. Bei einem zu kleinen Reibungskoeffizienten kann dies im Erdbebenfall zum Verrutschen der Komponente führen. Es ist daher grundsätzlich eine konstruktive Verankerung zur Lagesicherung empfohlen [36].
- Das horizontale Verhalten der Lager hat den überwiegenden Einfluss auf das Systemverhalten bzw. die Schubsteifigkeit ist der zentrale Materialparameter bei der Bemessung von Elastomerlagern [41].
- Die vertikale Steifigkeit ist zweitrangig.
- Die Gesamtdämpfung des Gebäudes muss erhöht werden [27].

Um die Schäden bei Hochbauten unter Erdbebeneinwirkung, insbesondere an nicht tragenden Bauteilen, zu minimieren, solltet man die Stockwerkverschiebungen eines Gebäudes beachten. Die Stockwerkverschiebungen für Hochbauten sind nach Eurocode 8 unter „Beschränkung der gegenseitigen Stockwerkverschiebung“ [1] festgelegt. Es sind für Hochbauten folgende Grenzen einzuhalten:

- $d_r \cdot n \leq 0,005 h$: wenn die nichttragenden Bauteile aus spröden Werkstoffen an der Konstruktion befestigt sind
- $d_r \cdot n \leq 0,0075 h$: wenn die nichttragenden Bauteile duktil sind
- $d_r \cdot n \leq 0,010 h$: wenn die Verformungen der tragenden Teile durch die Befestigung der nichttragenden Teile nicht gestört werden.

Dabei gilt:

d_r ...als Bemessungswert der Stockwerkverschiebung

h...als die Höhe der jeweiligen Stockwerke

n...als Abminderungsbeiwert; dadurch wird eine kleinere Wiederkehrperiode (in Österreich standardmäßig 475 Jahre) der Erdbebeneinwirkung berücksichtigt. Für verschiedene Erdbebenzonen eines Landes gibt es auch unterschiedliche n-Werte. Sie sind von der Erdbebengefährdung und dem Ziel des Schutzes von Eigentum abhängig.

6.5 Konstruktive Möglichkeiten

Die Getzner-Lösung für Erdbebenisolierung mittels Sylomer® ist noch in der Entwicklungsphase. Ein Aspekt, dem nach der numerischen Analyse Aufmerksamkeit gewidmet wird, ist die konstruktive Ausbildung zwischen Fuge und Sylomer®. Die Problematik bei der Anwendung von Elastomer in der Lagerfuge ist, dass sie unter Druckbelastung eine Querdehnung erfährt. Ein anderes Problem ist ein mögliches Gleiten in der Lagerfuge unter Erdbebeneinwirkung. All das soll durch geeignete konstruktive Maßnahmen gelöst werden. In diesem Abschnitt werden einige Möglichkeiten dargestellt, die für eine Versuchsreihe in Frage kommen können.

6.5.1 Bewehrung und Ringanker in der Lagerfuge

Der Baustoff Mauerwerk hat eindeutig Ähnlichkeiten mit dem Beton. Damit Beton mehr Zugfestigkeit aufnehmen kann, wurde der Stahlbeton entwickelt. Diese Idee kann man auch an dem Mauerwerk anwenden, indem Bewehrung in den Lagerfugen eingelegt wird [37]. Generell sind die Vorteile der Bewehrung im Mauerwerksbau:

- Aufnahme der Zugkraft,
- die Erhöhung der Widerstandsfähigkeit (z. B. gegen horizontale Kräfte wie Erdbeben),
- die Duktilität etc.

Diese Methode hat aber auch Nachteile. Zum einen sind die komplizierte Bewehrungsführung und zum anderen der Korrosionsschutz der Bewehrung problematisch. Der Korrosionsschutz hängt von der Überdeckung durch Mörtel bzw. Beton und von den Umweltbedingungen ab. Bei der üblichen Fugenbewehrung, sind die Bewehrungen im Fugenmörtel eingebettet und nicht wie im Stahlbeton allseitig mit Beton umhüllt. Das Problem, das dabei entsteht, ist, dass die Karbonatisierung des Mörtels durch das Eindringen von CO₂ über die Mörtelfuge und die

Mauersteine erfolgt [37]. Aus diesem Grund gibt es folgende Maßnahmen zum Korrosionsschutz:

- Verzinkung und
- PVC- und Epoxidharzbeschichtungen.

Es gibt aber nicht nur Anforderungen an die Bewehrung, sondern auch an den Mörtel. Diese sind:

- ausreichende Mörtelfestigkeit,
- ausreichender Verbund mit Bewehrung und
- Korrosionsschutz für die Bewehrung.

Dabei ist nicht zu übersehen, dass der Abstand zwischen dem Stahl und der Mauerwerksoberfläche, also die Mindestmörtelüberdeckung, von Bedeutung ist. Sie soll laut ÖNORM EN 1996-1-1 [38] mindestens 15 mm betragen. Die Mörtelüberdeckung in den Lagerfugen oberhalb und unterhalb der Bewehrung soll so groß sein, dass die Dicke der Fugen mindestens 5 mm größer als der Bewehrungsdurchmesser ist [37].

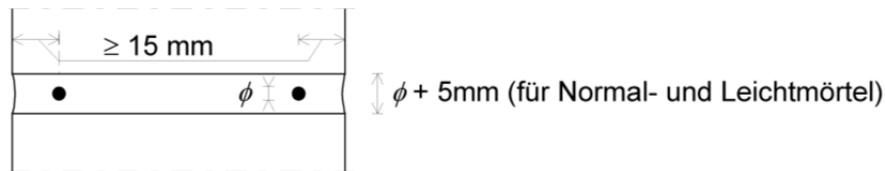


Abbildung 6-5: Überdeckung für die Bewehrung [37]

In der Tabelle 6-2 findet man laut [38] die Verbundfestigkeit der Bewehrung in Mörtel.

Tabelle 6-2: Charakteristische Verbundfestigkeit der Bewehrung in Mörtel oder Füllbeton, nicht von Mauersteinen umschlossen [38]

Druckfestigkeits- klasse von	Mörtel	M2 – M5	M5 – M9	M10 – M14	M15 – M19	M20
	Beton	nicht verwendet	C12/15	C16/20	C20/25	C25/30 oder höher
f_{bok} für glatte Baustähle (N/mm ²)		0,5	0,7	1,2	1,4	1,4
f_{bok} für gerippte Baustähle und nichtrostende Stähle (N/mm ²)		0,5	1,0	1,5	2,0	3,4

Eine weitere Möglichkeit stellt der Ringanker dar. Ringanker sind Bauteile, die in der Ebene horizontal liegen und der Aufnahme von Zugkräften [38] dienen. Sie sind also Zugglieder und in den nächsten Fällen vorgeschrieben [39]:

- „bei Bauten mit mehr als zwei Vollgeschossen oder einer Länge > 18,00 m
- bei Wänden mit vielen und/oder großen Öffnungen, insbesondere wenn die Summe der Öffnungsbreiten 60 % der Wandlänge oder bei Fensterbreiten von mehr als 2/3 der Geschosshöhe 40 % der Wandlänge übersteigt
- wenn der Baugrund es erfordert
- bei Decken ohne Scheibenwirkung
- unter Gleitfugen.“

Diese Einführung über die Verbesserung der Zugtragfähigkeit des Mauerwerks durch die Bewehrung bzw. Ringanker in der Lagerfuge sollte als Anreiz dazu dienen, einen besseren Verbund zwischen Sylomer® und Mauerwerk zu gewährleisten.

6.5.2 Elastomerlager und Epoxidharzklebstoff

Das Mauerwerk ist ein Verbund aus verschiedenen Komponenten, die unterschiedliche Eigenschaften besitzen. Um das Tragverhalten und die Gebrauchstauglichkeit einer Mauerwerkskonstruktion unter Erdbebeneinwirkung zu verbessern, muss man das Zusammenwirken dieser Komponenten betrachten. In [25] wurde eine interessante Ausführung untersucht. Es wurden verschiedene Arten von Elastomer in Verbindung mit Epoxidharzklebstoff getestet. Die Wahl dieses Klebstoffs statt des üblichen Mörtels hängt mit der Tatsache zusammen, dass er eine höhere Festigkeit besitzt. Dies ist im Fall der Druckbeanspruchung von großer Bedeutung, da diese, infolge von Querdehnungen, Querspannungen, die dabei entstehen, vom Klebemörtel aufgenommen werden und im Zusammenhang mit der gleichmäßigen Druckspannungsverteilung auf die Kontaktflächen in den Fugen, die die Elastomerlager erschaffen, die Mauerdruckfestigkeit erhöhen. Nach numerischen und experimentellen Untersuchungen wurde bewiesen, dass die Verformungskapazität von Mauerwerkskonstruktionen durch den Einsatz der Elastomerlager deutlich gesteigert wurde. Es wird an dieser Stelle auf eine ausführliche Dokumentation der Ergebnisse verzichtet und auf [25] verwiesen.

7 Sensitivitätsanalyse

In der Sensitivitätsanalyse wird der Einfluss der dämpfenden Elastomerlager Sylomer® bei seismischer Einwirkung diskutiert. Aufbauend auf den durchgeführten numerischen Simulationen aus [103], wird im Rahmen dieser Arbeit anhand der Ergebnisse die Wirksamkeit der Erdbebenisolierung mittels Sylomer® diskutiert. Die Untersuchungen werden an drei verschiedenen Wandscheiben in Ziegelbauweise mit verschiedenen Materialeigenschaften durchgeführt. Die elastische Lagerung wird im Fundamentbereich der Wandscheibe angebracht. Alle Modelle werden mit dem gleichen Typ Elastomerlager (HRB3000) der Firma Getzner bestückt. Das Trag- und Bruchverhalten von Mauerwerkscheiben wird mittels statischer und dynamischer Berechnungen, die aus [103] entnommen wurden, gezeigt.

Um die Spannungszustände in Mauerwerk unter Erdbebenbelastung bei Berücksichtigung der Nichtlinearitäten des Mauerwerks zu überprüfen wurde das Modell Ganz benutzt [105]. Es ist im Ansys Zusatz Paket „Multiplas“ integriert und ermöglicht die Simulation der Schadensausbreitung im Mauerwerk. In Abbildung 7-1 sind die typischen Rissbilder nach den modifizierten und erweiterten Fließbedingungen nach Ganz zugeordnet. Anmerkung: Dieses Ansys Zusatz Paket entspricht dem neuesten Stand, was bedeutet, dass die Erweiterung von Lu [30], die eine Berücksichtigung der Zugspannungen im Mauerwerk vorsieht, inkludiert ist.

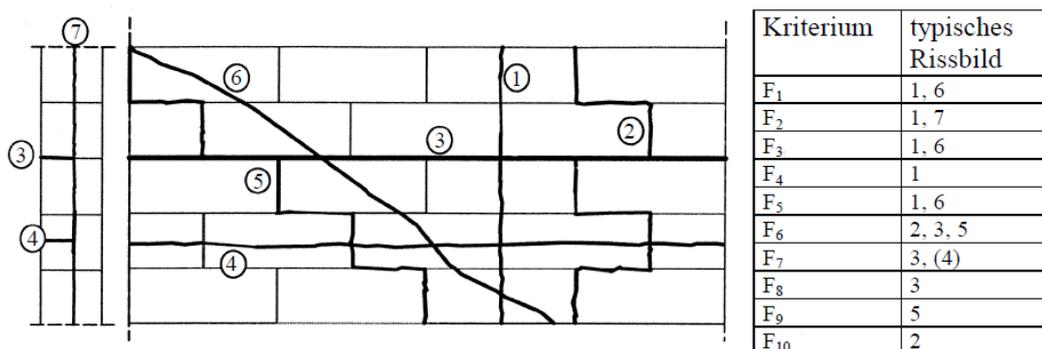


Abbildung 7-1: Typische Rissbilder [43]

Damit die nachstehenden Ausführungen übersichtlicher werden, sind in Tabelle 7-1 die typischen Rissbilder mit dem dazu gehörigen Versagensmechanismus und Skalierungsfaktor dargestellt. Die angeschriebene Skalierung (1-1.000.000.000) ist ein Parameter des Ansys Zusatz Pakets „Multiplas“, der das

vorliegende Bruchszenario erkennen lässt. Auf die Erläuterung und die Darstellung der Gleichungen der Versagensmechanismen wird hier verzichtet und auf [43] verwiesen.

Tabelle 7-1: Skalierung und Zuordnung der Rissbilder

Skalierung	Versagensmechanismus	Typisches Rissbild
1	Steinzugversagen	1, 6
10	Druckversagen des Mauerwerks	1, 7
100	Schubversagen des Mauerwerks, Steinversagen	1, 6
1000	Zugversagen des Mauerwerks parallel zur Lagerfuge, Steinversagen	1
10 000	Übergangsbereich zw. F_1 , F_3 und F_4	1, 6
100 000	Schubversagen der Lagerfugen	2, 3, 5
1 000 000	Zugversagen der Lagerfugen	3, 4
10 000 000	Zugversagen der Lagerfugen bei hohen horizontalen Druckspannungen	3
100 000 000	Treppenförmiges Schubversagen der Lager- und Stoßfugen	5
1 000 000 000	Zugversagen des Mauerwerks parallel zur Lagerfuge, Fugenversagen	2

Das Verhalten des Mauerwerks ist vom Zusammenwirken seiner Materialien (Ziegel und Mörtel) geprägt. Um das Versagen von Mauerwerkswänden bei Erdbeneinwirkung im Detail untersuchen zu können, wird Mauerwerk mit Hilfe der Methode der Finiten Elemente (FEM) modelliert. Man unterscheidet zwischen einer diskreten und einer homogenen Modellierung. Bei der ersten werden Mauersteine und Mörtel getrennt betrachtet und je nach Genauigkeitsstufe lässt sich die diskrete Modellierung in Mikro- und Mesoebene unterscheiden. Diese Methode ist mit einem erheblichen Aufwand verbunden. Hingegen werden bei der Makroebene (homogene Modellierung) die Materialeigenschaften des Mauerwerks als „verschmiert“ betrachtet, also spricht man von einem homogenen Kontinuum. Das bedeutet, dass die Zahl der einzelnen Elemente kleiner wird, was zu einer Reduktion des Rechenaufwands führt [42].

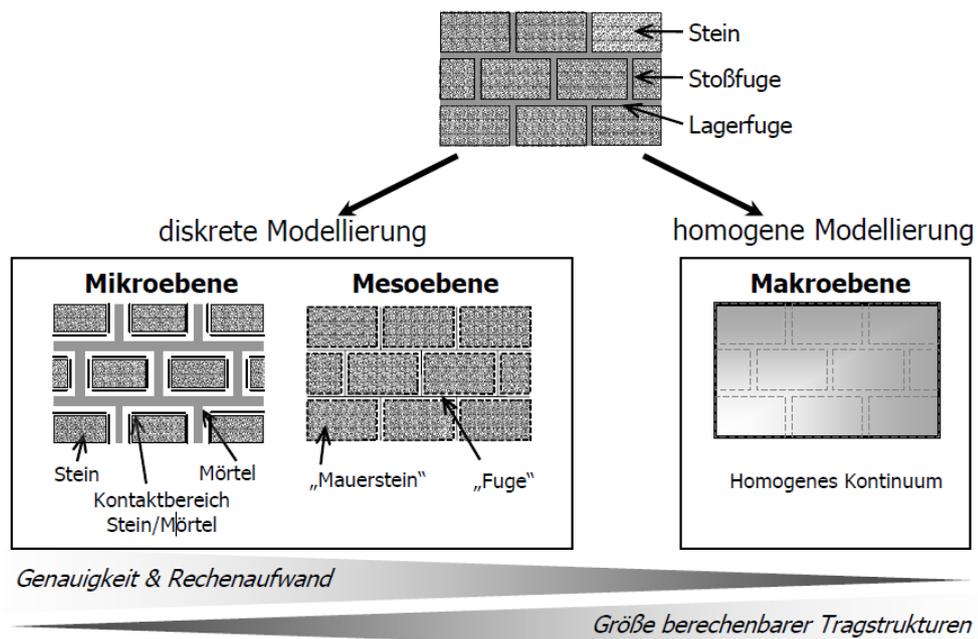


Abbildung 7-2: Modellierung des Mauerwerks [42]

In den folgenden Abschnitten wird ein für Mauerwerk entwickeltes Makromodell für Scheibenbeanspruchung verwendet. Die Plattenwirkung (out-of-plane Verhalten) wird hierbei nicht berücksichtigt.

7.1 Anpassung von Mauerwerksdaten aufgrund von Testversuchen

Die Materialkennwerte, die für die Ansys Modellierung aus [103] nötig waren, wurden aus den dargestellten Wandversuchen entnommen und angepasst. Als nächstes werden die Versuche aus der jeweiligen Literatur dokumentiert und dargestellt. Als Anmerkung dazu: Die zur Befestigung und Lastabtragung verwendeten Betonplatten wurden hier für alle Versuche mit einem linear elastischen Materialverhalten und einer Betongüte von B25 angenommen.

7.1.1 Wandversuch Nr.1

Dieser Versuch basiert auf der Arbeit von Schlegel [43], in der der Versagensmechanismus von verschiedenen Mauerwerksarten (Ziegelmauerwerk, Betonsteinmauerwerk, Kalksandsteinmauerwerk) unter verschiedenen Beanspruchungssituationen beobachtet wurde. Der Versuchsaufbau und die Wandgeometrie sind in Abbildung 7-3 zu sehen. Am unteren und oberen Ende der Mauerwerksscheibe ist eine Betonplatte aufgemauert. Die letzte dient der Lasteintragung. Damit seitlich Stabilität herrscht, wird eine Verstärkung von 60 cm auf

beiden Seiten angebracht. Lagerfugen besitzen eine vollflächige Vermörtelung von 10 mm und die Stoßfugen wurden nur in den Steinnuten vermörtelt.

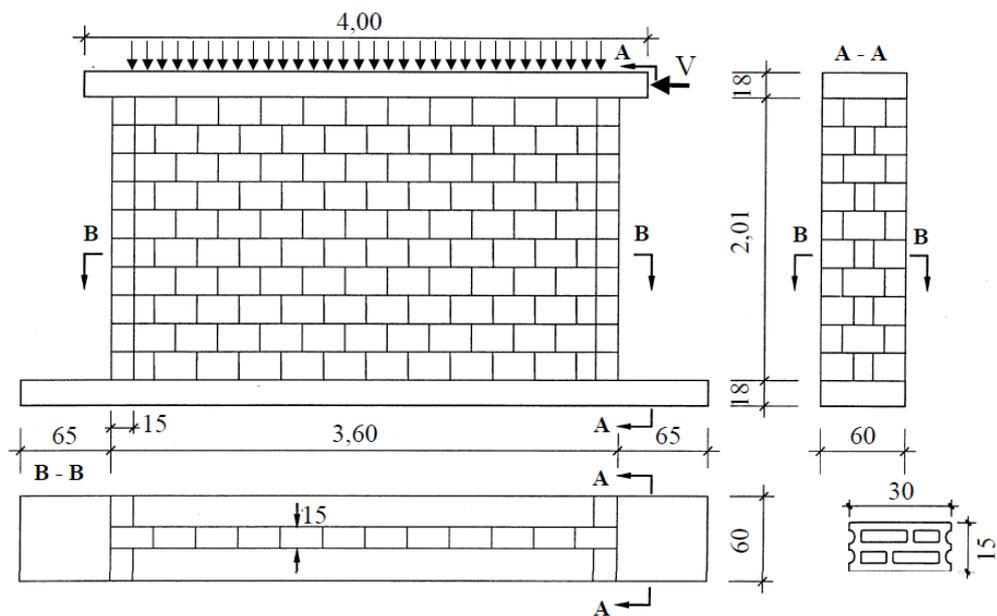


Abbildung 7-3: Versuchsmodell, Belastung und Geometrie [43]

Die obige Darstellung des Versuchs entspricht dem Aufbau der Wandscheiben ZW1 und ZW2. Versuch ZW3 unterscheidet sich wegen der fehlenden seitlichen Flansche von den anderen zwei. Die vertikale Belastung, die hier angewendet wurde, ist: ZW1: 419 kN, ZW2: 833 kN und ZW3: 417 kN. Bei ZW1 und ZW3 entspricht die Belastung einer Wandscheibe dem untersten Geschoß eines vierstöckigen Gebäudes und bei ZW2 der des untersten Geschoßes eines achtstöckigen Gebäudes. Die horizontale Kraft V wurde durch die Betonplatte an die Wand geleitet und betrug 353 kN bei ZW1, 634 kN bei ZW2 und 300 kN bei ZW3 [43].

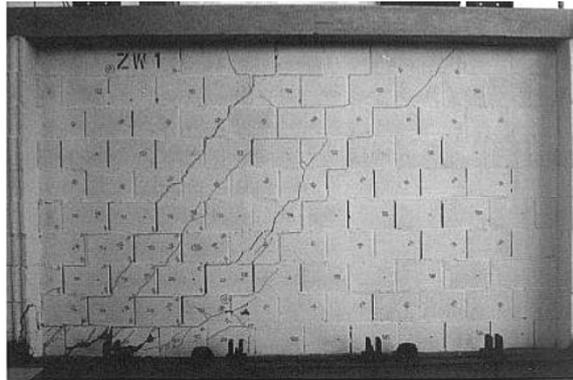


Abbildung 7-4: Rissbild des Wandversuches [43]

Die Versagensart waren treppenförmige Risse entlang der Stoß- und Lagerfugen. Nach weiterer Steigerung der horizontalen Kraft ist in der untersten Lagerfuge ein Biegeriss entstanden (siehe Abbildung 7-4). Abbildung 7-5 zeigt das Modell, das mit ähnlichen Parametern in Ansys modelliert wurde. Die Farbskalierung deutet auf die unterschiedlichen Versagensmechanismen im Mauerwerk, die der Tabelle 7-1 zu entnehmen sind. Die Schubrisse verlaufen auch hier treppenförmig in den Lagerfugen (100 000 000). Ein Zugversagen tritt auch rechts unten in der Wand in der Lagerfuge auf (1 000 000).

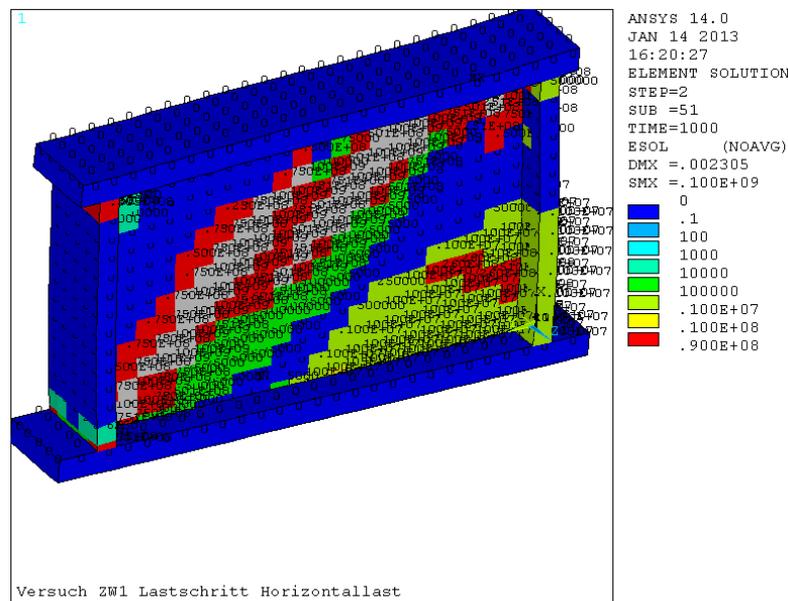


Abbildung 7-5: Wandversuch Nr. 1 in Ansys aus [103]

7.1.2 Wandversuch Nr.2

Für diese Wandscheibe wurde der Versuch aus der Arbeit von Aldogham [25] als Vorlage benutzt. In der erwähnten Arbeit wurden die experimentellen Untersu-

chungen der Wandversuche unter der Verwendung von verschiedenen Elastomertypen durchgeführt. Die hier als Vorlage verwendete „Wandscheibe Nr. 4“ wurde als Referenzmodell benutzt und war somit ohne Elastomer. Die Art der Beanspruchung ist in Abbildung 7-6 zu sehen. Die Wand hat die Abmessungen 2,5 m x 2,5 m x 0,175 m. Die Stoßfugen blieben unvermörtelt. Wandfuß und -kopf waren eingespannt.

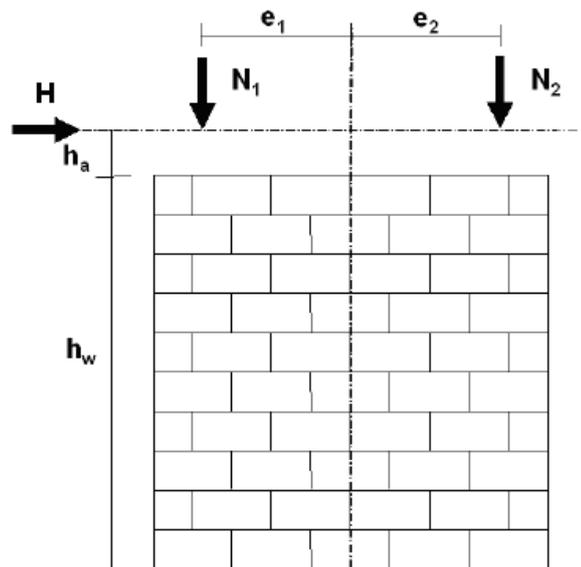


Abbildung 7-6: Schematische Darstellung der Beanspruchung [25]

Es wurden horizontale Kräfte von 68 kN bis 90 kN angesetzt. Der erste Schaden entstand in Form eines Risses im Stein bei 68 kN, entspricht also einem Steinzugversagen. In Folge wurde die Last bis 90 kN erhöht und das Ergebnis waren große durchgehende Risse in den Steinfugen (Steynzugversagen). In Abbildung 7-7 sieht man die entstandenen Risse aus dem Versuch. Es sei hier erwähnt, dass es sich dabei um eine statisch-zyklische Belastung handelt. Es wurde eine konstante Normalkraft, eine horizontale Kraft mit wechselndem Vorzeichen und eine Amplitude, die etappenweise erhöht wurde, eingesetzt [25].

Die Kopfverformungen zwischen Erstrisskraft (68 kN) und Versagenskraft (90 kN) sind d_{u1} : 7,60 mm und d_{u2} : 7,50 mm (Anmerkung: die Zahlen 1 und 2 entsprechen den verschiedenen Richtungen, und zwar entspricht 1 der horizontalen Druckkraft und der 2 horizontalen Zugkraft).



Abbildung 7-7: Schadensbild [25]

In Abbildung 7-8 ist das angepasste Ansys Modell dargestellt. Das Modell wurde statisch aber nicht zyklisch belastet, was den einseitigen schrägen Riss erklärt. Das Endergebnis ist ähnlich wie in [25]. Die Risse verlaufen diagonal und treppenartig. Nach der Skalierung erfährt die Scheibe ein Schubversagen und Zugversagen parallel zur Lagerfuge.

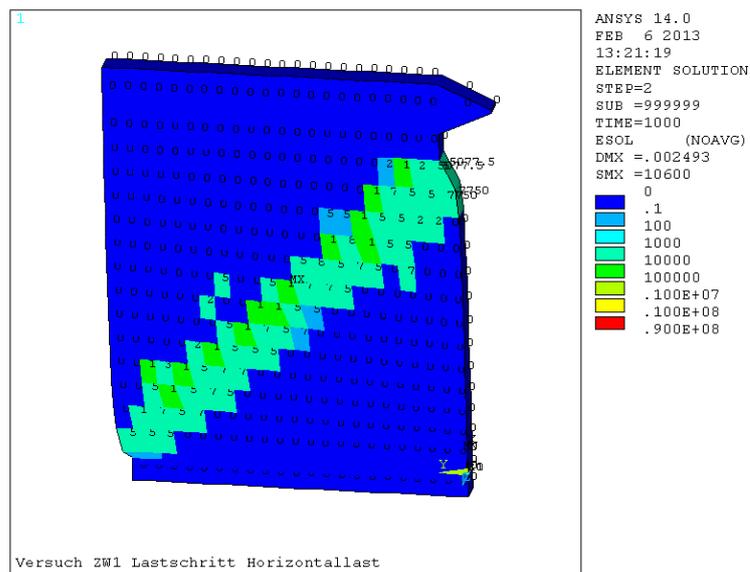


Abbildung 7-8: Rissbild aus Ansys aus [103]

7.1.3 Wandversuch Nr.3

Im dritten Teil des Berichtes von den Versuchen in Ljubljana im Jahr 2006 [104] sind die Ergebnisse von einigen Versuchen dargestellt. Die Wandversuche, an denen die Materialkennwerte angepasst worden sind, sind die Versuche vom Typ BNW. Der Typ Ziegel, der hier verwendet wurde, hat die Abmessungen: L: 244

[mm] und B: 296,9 [mm]. Auch hier wurden Wandfuß und -kopf durch eine Betonplatte befestigt.

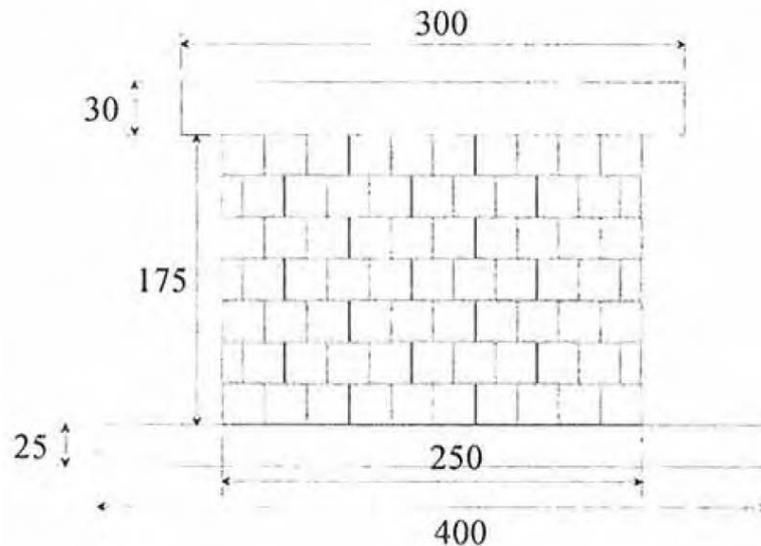


Abbildung 7-9: Abmessungen Wand Typ-BNW [104]

Bei den Wandversuchen sind Risse in den Fugen aufgetreten. In der folgenden Abbildung 7-10 ist das Schadensbild des Versuches dargestellt.

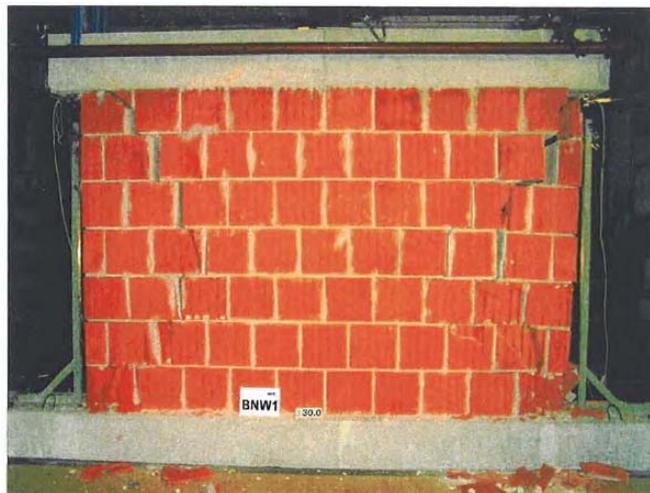


Abbildung 7-10: Rissbild aus [104]

Abbildung 7-11 zeigt das Rissbild des angepassten Modells. Die Rissbildung ist ähnlich wie in Abbildung 7-10. Zusätzlich tritt ein Zugversagen (1 000 000) im Fundamentbereich auf.

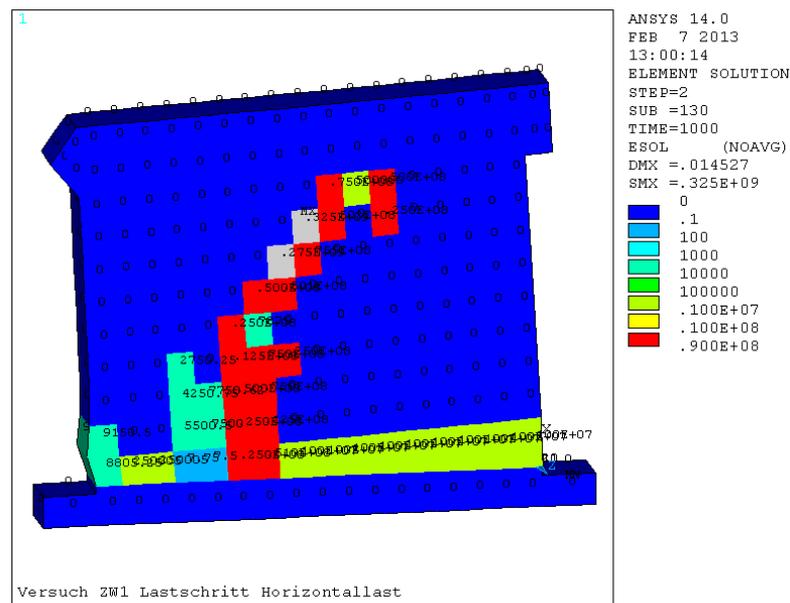


Abbildung 7-11: Rissbild aus Ansys aus [103]

7.1.4 Materialien

In den folgenden Tabellen sind alle Materialien, die in den numerischen Simulationen [103] verwendet wurden, dokumentiert.

In den Tabellen 7-2 bis 7-6 kommt der Begriff Bruchenergie vor. Die Bruchenergie steht als Maß für die Duktilität des Materials. Sie entspricht der Menge an Energie pro Einheitsfläche, die für die Bildung eines Risses erforderlich ist. G_f sind Materialkonstanten, die das duktile Verhalten des Verbunds berücksichtigen und ein kleiner Wert für G_f bedeutet auch sprödes Versagen [42]. Die Bruchenergie von Mode I (G_{fI}^I : Bruchenergie Lagerfuge) hat mit der Haftzugfestigkeit und Mode II (G_{fI}^{II} : Bruchenergie Lagerfuge und G_{fB}^I : Bruchenergie Ziegel) mit der Haftscherfestigkeit im Verbund zwischen Ziegel und Mörtel zu tun [25].

Tabelle 7-2: Material 1 aus [103]

Steifigkeitswerte	Festigkeitswerte	Bruchenergien
$E_x = 11600 \text{ N/mm}^2$	$f_{mx} = 9,4 \text{ N/mm}^2$	$G_{fI}^I = 0,005 \text{ Nmm/mm}^2$
$E_y = E_z = 7750 \text{ N/mm}^2$	$f_{my} = f_{mz} = 6,1 \text{ N/mm}^2$	$G_{fI}^{II} = 0,21 \text{ Nmm/mm}^2$
$\nu = 0,32$	$f_{tx} = 0,05 \text{ N/mm}^2$	$G_{fB}^I = 0,03 \text{ Nmm/mm}^2$
$G = 3000 \text{ N/mm}^2$	$f_{ty} = f_{tz} = 0,3 \text{ N/mm}^2$	
	$\varphi_0/\varphi_r/\psi = 39^\circ/31^\circ/39^\circ$	
	$c = 0,4 \text{ N/mm}^2$	

Tabelle 7-3: Material 2 aus [103]

Steifigkeitswerte	Festigkeitswerte	Bruchenergien
$E_x = 6500 \text{ N/mm}^2$	$f_{mx} = 5,44 \text{ N/mm}^2$	$G_{fI}^I = 0,005 \text{ Nmm/mm}^2$
$E_y = E_z = 6300 \text{ N/mm}^2$	$f_{my} = f_{mz} = 4,05 \text{ N/mm}^2$	$G_{fI}^{II} = 0,21 \text{ Nmm/mm}^2$
$\nu = 0,32$	$f_{tx} = 0,065 \text{ N/mm}^2$	$G_{fB}^I = 0,03 \text{ Nmm/mm}^2$
$G = 2000 \text{ N/mm}^2$	$f_{ty} = f_{tz} = 0,408 \text{ N/mm}^2$	
	$\varphi_0/\varphi_r/\psi = 26^\circ/22^\circ/22^\circ$	
	$c = 0,9 \text{ N/mm}^2$	

Tabelle 7-4: Material 3 aus [103]

Steifigkeitswerte	Festigkeitswerte	Bruchenergien
$E_x = 6900 \text{ N/mm}^2$	$f_{mx} = 4,0 \text{ N/mm}^2$	$G_{fI}^I = 0,005 \text{ Nmm/mm}^2$
$E_y = E_z = 4000 \text{ N/mm}^2$	$f_{my} = f_{mz} = 3,0 \text{ N/mm}^2$	$G_{fI}^{II} = 0,25 \text{ Nmm/mm}^2$
$\nu = 0,32$	$f_{tx} = 0,06 \text{ N/mm}^2$	$G_{fB}^I = 0,03 \text{ Nmm/mm}^2$
$G = 2000 \text{ N/mm}^2$	$f_{ty} = f_{tz} = 0,06 \text{ N/mm}^2$	
	$\varphi_0/\varphi_r/\psi = 35^\circ/25^\circ/28^\circ$	
	$c = 1,2 \text{ N/mm}^2$	

Tabelle 7-5: Material 4 aus [102]

Steifigkeitswerte	Festigkeitswerte	Bruchenergien
$E_x = 2000 \text{ N/mm}^2$	$f_{mx} = 4,4 \text{ N/mm}^2$	$G_{fI}^I = 0,05 \text{ Nmm/mm}^2$
$E_y = E_z = 4000 \text{ N/mm}^2$	$f_{my} = f_{mz} = 2,3 \text{ N/mm}^2$	$G_{fI}^{II} = 0,1 \text{ Nmm/mm}^2$
$\nu = 0,3$	$f_{tx} = 0,06 \text{ N/mm}^2$	$G_{fB}^I = 0,05 \text{ Nmm/mm}^2$
$G = 1500 \text{ N/mm}^2$	$f_{ty} = f_{tz} = 0,02 \text{ N/mm}^2$	
	$\varphi_0/\varphi_r/\psi = 30^\circ/30^\circ/30^\circ$	
	$c = 0,1 \text{ N/mm}^2$	

Tabelle 7-6: Material 5 aus [102]

Steifigkeitswerte	Festigkeitswerte	Bruchenergien
$E_x = 3400 \text{ N/mm}^2$	$f_{mx} = 2,05 \text{ N/mm}^2$	$G_{fI}^I = 0,002 \text{ Nmm/mm}^2$
$E_y = E_z = 1064 \text{ N/mm}^2$	$f_{my} = f_{mz} = 2,2 \text{ N/mm}^2$	$G_{fI}^{II} = 0,015 \text{ Nmm/mm}^2$
$\nu = 0,026$	$f_{tx} = 0,25 \text{ N/mm}^2$	$G_{fB}^I = 0,015 \text{ Nmm/mm}^2$
$G = 420 \text{ N/mm}^2$	$f_{ty} = f_{tz} = 0,01 \text{ N/mm}^2$	
	$\varphi_0/\varphi_r/\psi = 20^\circ/17^\circ/20^\circ$	
	$c = 0,17 \text{ N/mm}^2$	

7.1.5 Geometrie

Um die Einwirkung der elastischen Lagerung zu demonstrieren, wurden in Ansys drei Wandscheiben modelliert. Sie besitzen verschiedene Geometrien und sie werden in den folgenden Abschnitten als Wand 4, Wand 5 und Wand 6 bezeichnet. Alle drei Modelle besitzen eine Dicke von 30 cm. Die genauen Abmessungen der Wandmodelle wurden aus [103] entnommen und sind in 7-12, 7-13 und 7-14 dargestellt.

Bei den durchgeführten Simulationen aus [103] wurde im Fundamentbereich eine konstruktive Lösung eingeführt. In Eurocode 8 lässt sich folgendes finden:

„Unterhalb und oberhalb der Isolierungsschnittstelle wird ein starres Schubfeld angeordnet, das aus einer Stahlbetonplatte oder einem Zerrbalken-Rost besteht und das unter Berücksichtigung aller möglichen lokalen und globalen Stabilitäts-

versagenszustände bemessen wurde. Es ist nicht erforderlich, solche Schubfelder anzuordnen, wenn die Tragwerke als starre Kasten ausgeführt werden.“ [S. 184, 1]

Die Wandscheiben können als starrer Kasten angesehen werden, da sie sich als globale Objekte sich verschieben. Dennoch wurde ein Betonbalken über die elastische Lagerung modelliert, um eine mögliche Instabilität des Sylomers® auszugleichen.

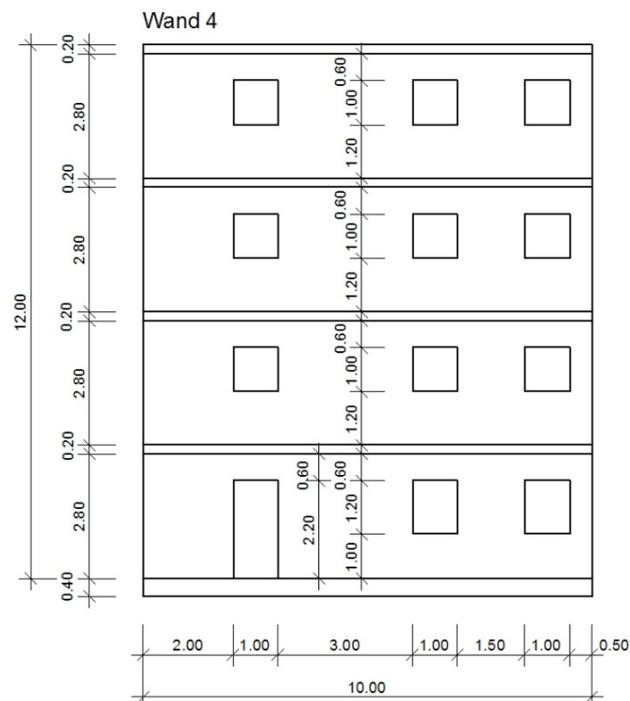


Abbildung 7-12: Abmessungen von Wand 4

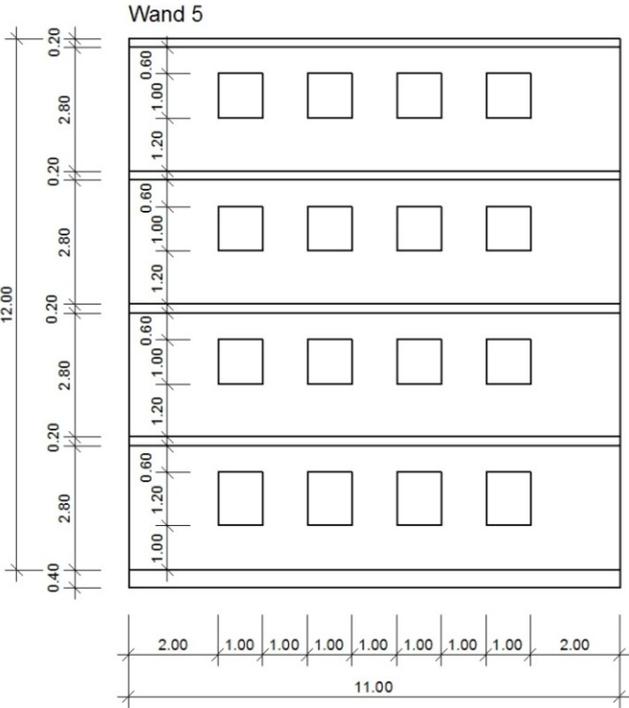


Abbildung 7-13: Abmessungen von Wand 5

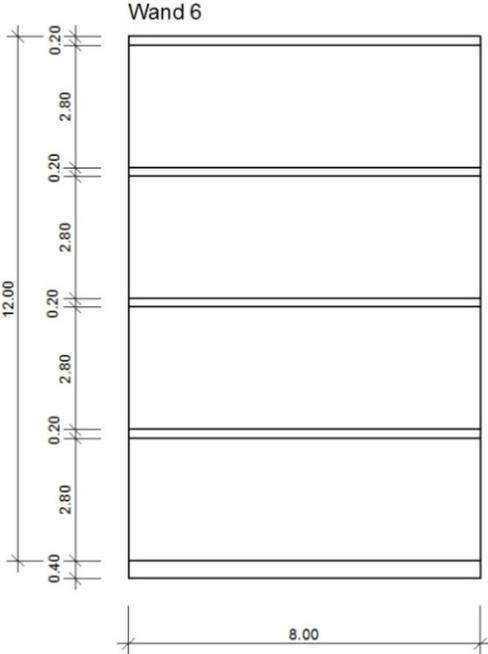


Abbildung 7-14: Abmessungen von Wand 6

7.1.6 Elastomerlager

Bei alle Wandmodellen wurde die Wirkung der elastischen Lagerung mit dem gleichen Typ von Sylomer® untersucht (Sylomer® HRB3000 mit einem E-Modul von $2,5 \text{ N/mm}^2$), bei einer Dicke von 5 cm. Das Dämpfungsverhalten wird bei Elastomer durch den Verlustfaktor beschrieben und er beträgt 50%.

7.2 Bemessungsverfahren für Erdbeben

Die Bemessung von Gebäuden infolge von Erdbeben kann über verschiedene Wege durchgeführt werden. Laut Eurocode 8 sind die Berechnungsmethoden wie folgt unterteilt [1]:

- das Vereinfachte Antwortspektrumverfahren für Hochbauten, die gewisse Bedingungen erfüllen sollten (siehe [1]),
- das Multimodale Antwortspektrumverfahren, welches für alle Arten von Hochbauten eingesetzt wird,
- die nichtlineare statische Berechnung (Pushover) und
- die nichtlineare (dynamische) Zeitverlaufsberechnung.

Es werden nichtlineare statische und nichtlineare Zeitverlaufsberechnungen durchgeführt [103].

Die nichtlinear statischen Methoden haben als Ziel die Ermittlung der Maximalwerte der auftretenden Verschiebungen und Schnittgrößen während einer Erdbebeneinwirkung, die für die Bemessung relevant sind. Es werden statische Ersatzlasten auf das Gebäudemodell angesetzt. Das Materialverhalten wird als nichtlinear-elastisch angesetzt [42].

7.3 Verifikation

Im Folgenden werden die Ergebnisse der schon oben vorgestellten Modelle präsentiert und miteinander verglichen.

7.3.1 Statische Berechnungen einer horizontal belasteten Wand mit und ohne Elastomerlager

Die statischen Berechnungen dienen als „Voruntersuchung“ für die Zeitverlaufsberechnungen. Anhand dieser konnte man im Vorfeld bei der numerischen Simulation aus [103] die unterschiedlichen Materialeigenschaften, die in 7.1.4 vorgestellt wurden, untersuchen. Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, dass bei der nichtlinearen statischen Berechnung selbstverständlich keine Dämpfungskräfte

auftreten. Das Dämpfungsvermögen von Sylomer® wird natürlich nur bei einer echten dynamischen Belastung (mit wechselnden Vorzeichen) aktiviert.

Als erstes wird die Wirkung der Elastomerlager betrachtet. Bei der statischen Analyse werden die Wandscheiben beim Wandkopf horizontal mit einer statischen Ersatzlast belastet.

In Abbildung 7-15 ist ein Vergleich der Verschiebung anhand der drei untersuchten Materialien (1, 2, 3) bei der Wand 6 dargestellt.

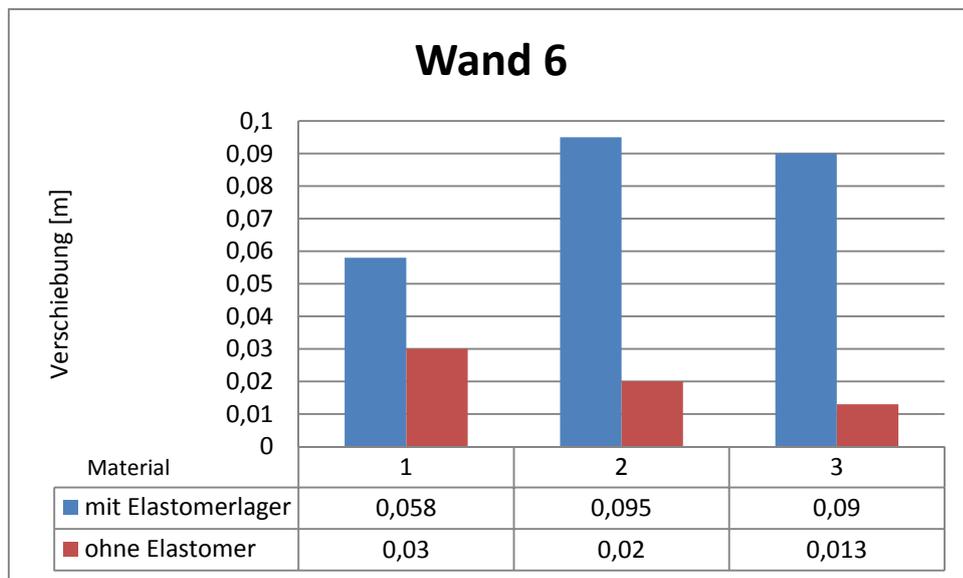


Abbildung 7-15: Vergleich der Verschiebung der Materialien 1, 2 und 3

Für einen besseren Überblick dienen die Abbildungen 7-16 und 7-17. Dort ist die horizontale Verschiebung der Wand 6 mit dem Material 3 zu sehen. In Abbildung 7-16 ist die Wand 6 ohne Sylomer® und in Abbildung 7-17 mit Sylomer® dargestellt.

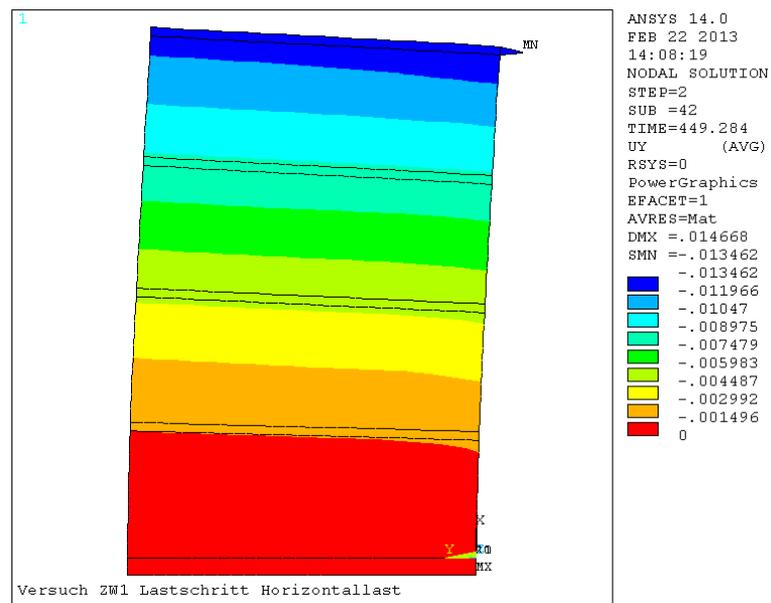


Abbildung 7-16: Horizontale Verschiebung bei der Wand 6 ohne Elastomerlager [103]

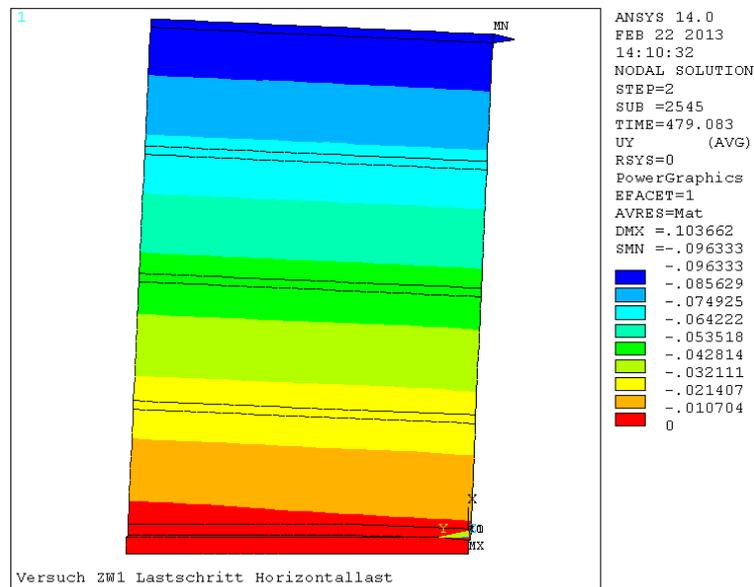


Abbildung 7-17: Horizontale Verschiebung bei der Wand 6 mit Elastomerlager [103]

In Abbildung 7-18 ist die am Wandkopf maximal auftretende Horizontalkraft dargestellt. Durch den Einsatz der Elastomerlager wird die Steifigkeit der Wand geringer. Es gilt generell, dass bei weichen Bauwerken, wegen der niedrigeren Beschleunigungen, geringere Trägheitskräfte als bei steifen Bauwerken auftreten.

Es fällt außerdem auf, dass im Fall des Materials 1 mit Elastomer die kleinste Kraft aufgenommen wird. Das Material 1 ist steifer als Material 2 und 3 und besitzt eine höhere Druckfestigkeit.

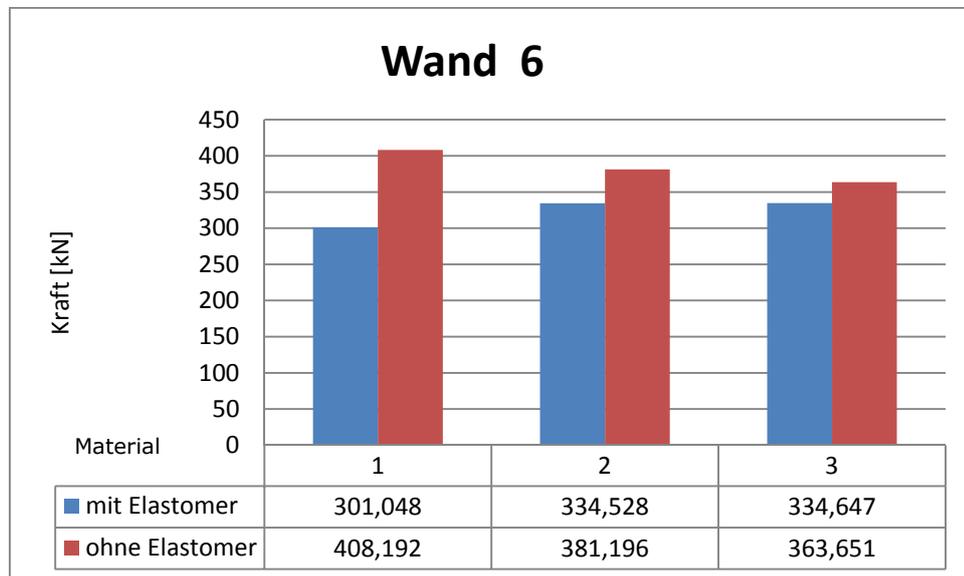


Abbildung 7-18: Vergleich der max. Kraft der Materialien 1, 2 und 3

In der Tabelle 7-7 sind die Kräfte und die zugehörigen Verschiebungen aufgelistet. Um die Geometrie zu vergleichen, sind die drei Wandmodelle aus dem gleichen Material ausgewählt. Im direkten Vergleich erkennt man, dass Wand 4 bei Material 1 ohne den Einsatz des Elastomerlagers die größte Kraft aufnimmt, gefolgt von Wand 5 und Wand 6. Andererseits nimmt Wand 4 mit Elastomerlager fast 42% weniger Kraft auf. Bei Wand 5 sind dies 15% und bei Wand 6 ca. 26%.

Tabelle 7-7: Kraft und Verschiebung für Wand 4

Material 1		Wand 4	Wand 5	Wand 6
Mit Elastomer	Kraft [N]	287960	369286	301048
Ohne Elastomer		500342	436665	408192
Mit Elastomer	Verschiebungen [m]	0,058	0,02	0,019
Ohne Elastomer		0,03	0,03	0,015

In den folgenden Abbildungen (7-19, 7-20, 7-21) sind die vertikalen Spannungen aller Wände dargestellt. Durch den direkten Vergleich ist zu erkennen, dass

die vertikalen Spannungen bei allen Modellen ohne Elastomer größer sind als bei denen mit Elastomer.

Prinzipiell stellt jede Öffnung in einer Wand eine Schwächung dar. Öffnungen beeinträchtigen die aussteifende Wirkung. Es ist von Vorteil, wenn sie möglichst klein gehalten werden. Ebenso ist ein ausreichender Abstand von Gebäudeecken erforderlich, um hohe Spannungskonzentrationen zu vermeiden. Bei Wand 5 (Abbildung 7-20) ist die Anordnung der Fenster symmetrisch über die ganze Wand verteilt. Man erkennt den typischen Verlauf der Risse zwischen den Wänden. Im Fall der Wand 4 (Abbildung 7-19) sieht man ausgehend von den Ecken der Türöffnung kleine Risse. Wand 6 stellt den optimalen Fall dar. Es handelt sich um eine schlanke hohe Wand ohne Öffnungen.

Bei Wand 4 ist der Abstand zwischen Fenster und Wandende rechts kleiner als bei Wand 5. Man erkennt, dass die Spannungskonzentration bei der Wand 4 höher ist als bei der Wand 5.

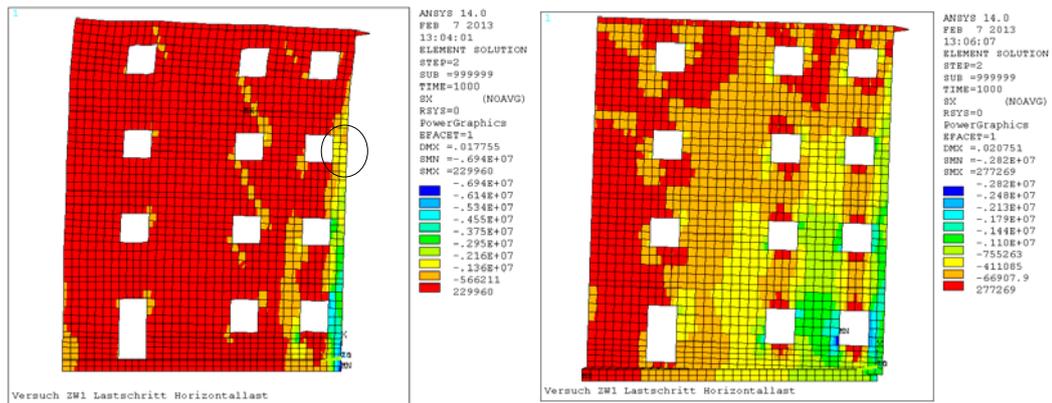


Abbildung 7-19: Vertikale Spannungen bei Wand 4, ohne (links) und mit Elastomerlager (rechts) [103]

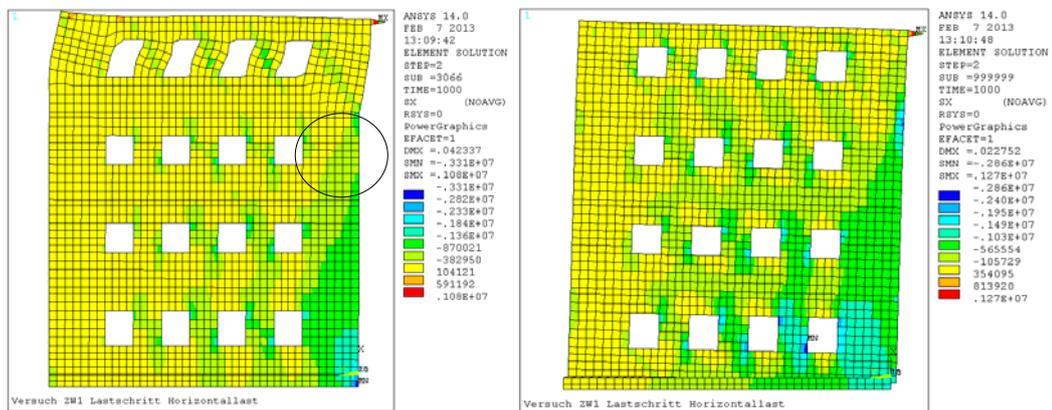


Abbildung 7-20: Vertikale Spannungen bei Wand 5, ohne (links) und mit Elastomerlager (rechts) [103]

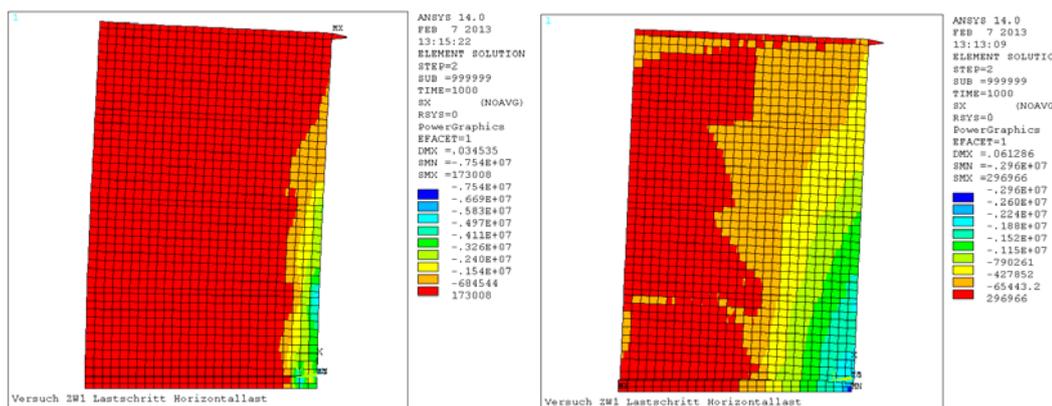


Abbildung 7-21: Vertikale Spannungen bei Wand 6, ohne (links) und mit Elastomerlager (rechts) [103]

7.3.2 Zeitverlaufsanalyse von mehreren 2D Wänden

Für die numerische Simulation der Erdebeneinwirkung wurde die transiente Zeitverlaufsrechnung verwendet. Für die Zeitverlaufsanalyse wurden drei Materialien (1, 3 und 4) verwendet und die jeweiligen Parameter wurden aus 7.1.4 entnommen. Es wurden drei spektrum-konforme Zeitverläufe verwendet und für alle Analysen herangezogen. In Abbildung 7-22 ist das Antwortspektrum der benutzten Signale als Mittelwert aus den drei Signalen (1, 2, 3) zu sehen. Die Wände wurden in x- und y-Richtung, also jeweils vertikal und horizontal belastet. Der Magnitudenbereich der Signale liegt zwischen 5,6-6,0 und ihre Spitzenbeschleunigung beträgt $2,1 \text{ m/s}^2$ [105].

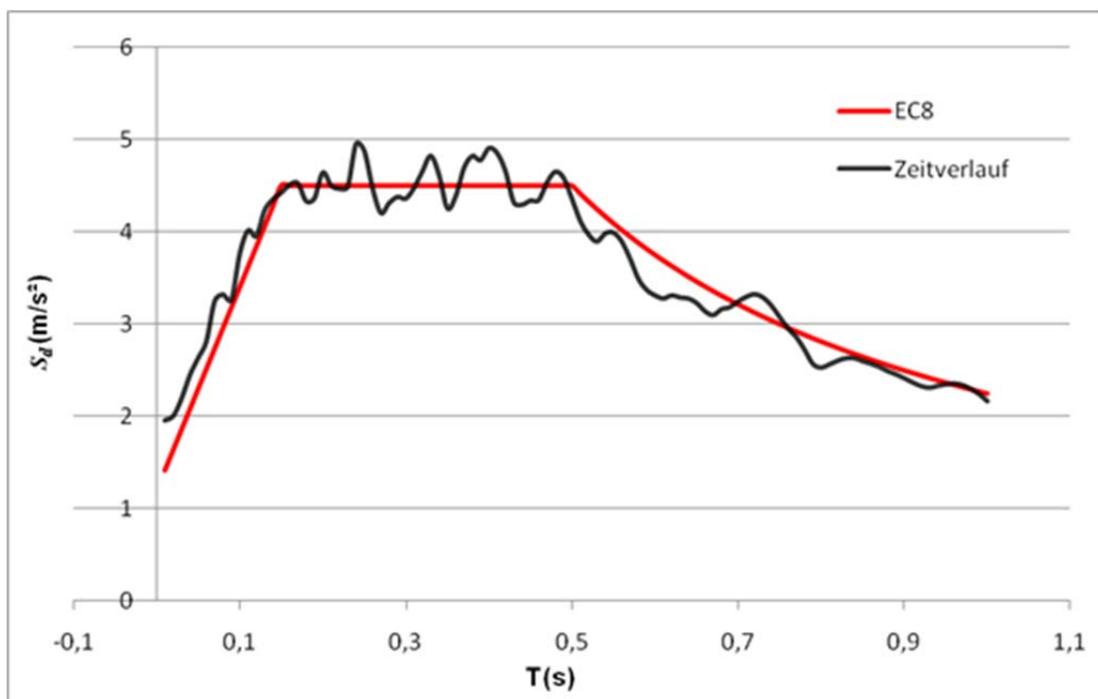


Abbildung 7-22: Künstlich generiertes Signal [105]

7.3.2.1 Vergleich von Materialien

Bei der statischen Analyse wurde im Ansatz gezeigt, dass die unterschiedlichen Materialeigenschaften eine Rolle bei dem Verhalten der Wandscheibe unter horizontaler Einwirkung spielen. Für einen besseren Überblick sind in der Tabelle 7-8 die Wandscheiben, die in diesem Abschnitt diskutiert werden, zusammengefasst.

Tabelle 7-8: Betrachtete Modelle aus [103]

Wand	Ohne(0)/mit(1) El.	Material	Signal
6	0	1	3
6	0	3	3
6	0	4	3
4	0	4	1
4	1	4	1

Damit der Vergleich der verschiedenen Materialien besser gelingt, werden im Folgenden drei Wandscheiben mit gleichen Parametern (abgesehen von ihren Materialeigenschaften) dargestellt. Das bedeutet, Wand (Wand 6), Zeitsignal (Signal 3) und Sylomer® sind bei allen drei Modellen gleich. Dazu sei angemerkt, in den folgenden Abbildungen die Betonplatte aus dem Bild „abgezogen“ wurde, damit die Spannungsverteilung im Mauerwerk besser zu sehen ist.

Material 1 und 3 (siehe Abbildung 7-23 und Abbildung 7-24) verhalten sich relativ ähnlich und das ist bei der vertikalen Spannungsverteilung in N/m^2 zu sehen. Für den besseren Vergleich sind die Abbildungen 7-23 und 7-24 aus dem gleichen Zeitpunkt (5s) entnommen. Generell ist es bei beiden Materialien zu keinen Schäden gekommen. Anders schaut es bei Material 4 aus. Es ist von allen hier betrachteten Materialien das mit der geringsten Steifigkeit. In Abbildung 7-25 erkennt man im Fundamentbereich, aufgrund der hohen Spannungskonzentration in der Ecke links, dass Risse auftreten.

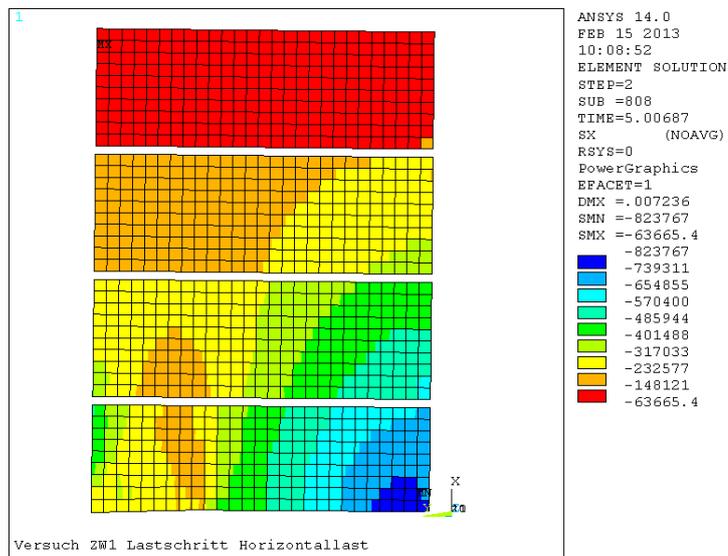


Abbildung 7-23: Vertikale Spannungen bei Wand 6 ohne Elastomer, Material 1, Signal 3 [103]

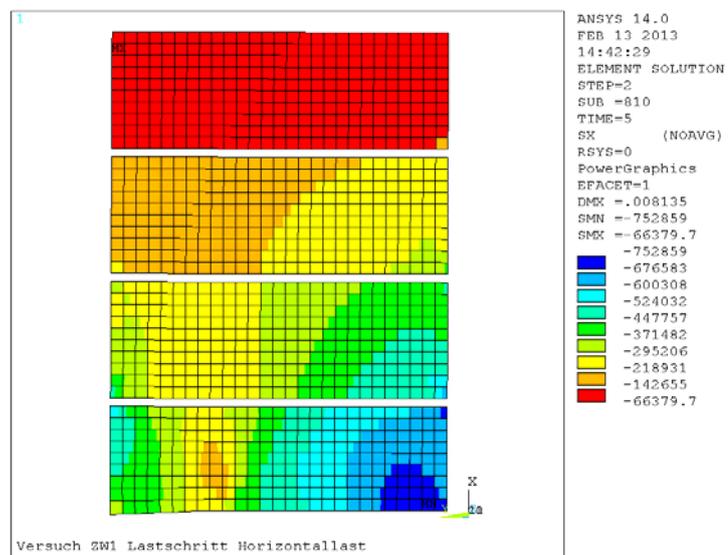


Abbildung 7-24: Vertikale Spannungen bei Wand 6 ohne Elastomer, Material 3, Signal 3 [103]

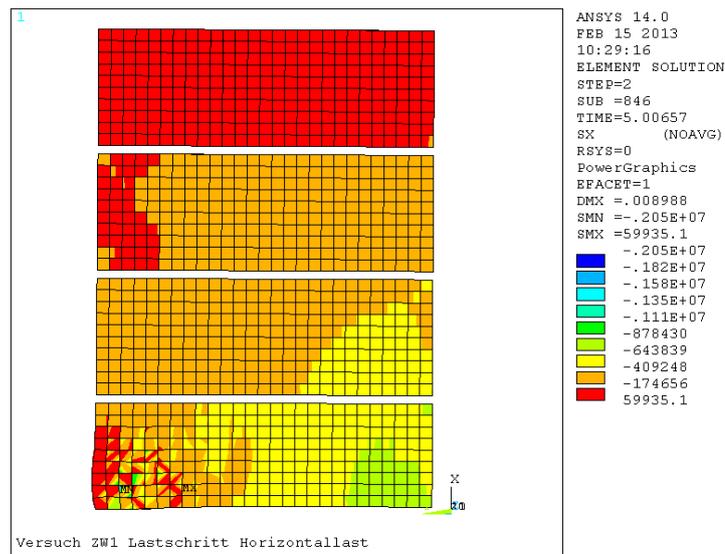


Abbildung 7-25: Vertikale Spannungen bei Wand 6 ohne Elastomer, Material 4, Signal 3 [103]

Bei der Auswertung der Simulationen, die aus [103] entnommen wurden, hat sich herausgestellt, dass das Material 4 in allen untersuchten Varianten (mit und ohne Elastomerlager, verschiedene Zeitsignale etc.) versagt. Das Einbringen der Elastomerlager hat in diesem Fall die Tragfähigkeit der Modelle nicht verbessern können. Trotz seines Einsatzes sind die Beanspruchbarkeit und das Energiedissipationsvermögen der Wandscheibe gering. Eine weitere Darstellung in den Abbildungen 7-26 und 7-27 sorgt für einen besseren Überblick des Verhaltens des Materials 4. Der Einsatz der elastischen Lagerung verbessert zwar die Spannungsverteilung und die Größe der vertikalen Spannungen ($f_{mx} = 1,5 \text{ N/mm}^2 < 4,4 \text{ N/mm}^2$) erheblich. Nach einem vollständigen Durchlauf der Berechnung (10s) sieht man jedoch bei beiden Bildern, dass der Bruch in beiden Fällen (mit und ohne Elastomer) nicht zu vermeiden war.

Aus den erwähnten Gründen wird das Material 4 und die Wandscheibe 4 in den nächsten Analysen nicht weiter untersucht.

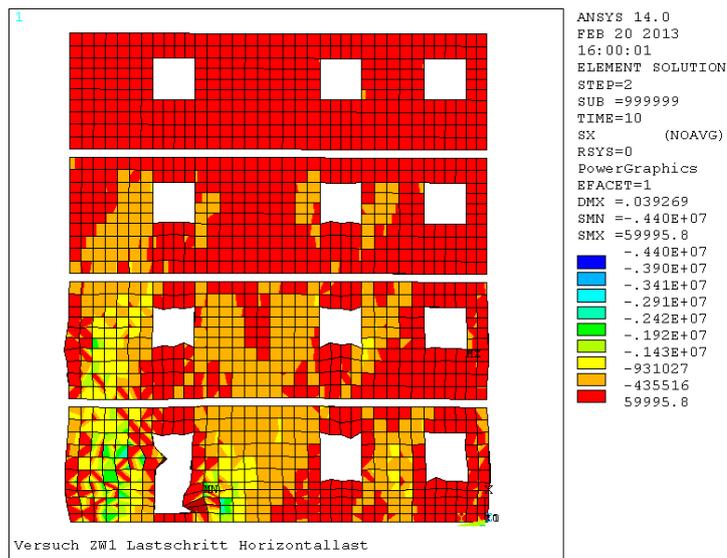


Abbildung 7-26: Vertikale Spannungen bei Wand 4 ohne Elastomer, Material 4, Signal 1 [103]

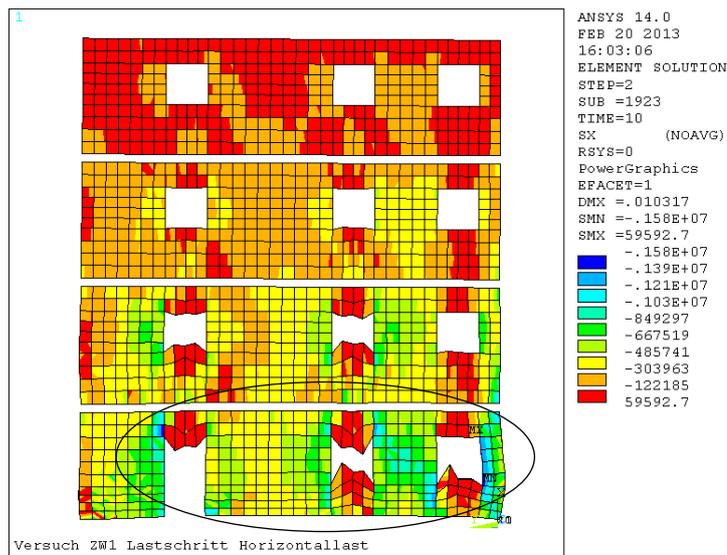


Abbildung 7-27: Vertikale Spannungen bei Wand 4 mit Elastomer, Material 4, Signal 1 [103]

7.3.2.2 Vergleich Wandscheibe mit und ohne Elastomerlager

In diesem Abschnitt wird der Einfluss des Sylomers® bei Erdbebeneinwirkung untersucht. Es werden die Modelle 5 und 6 mit den Materialien 1 und 3 betrachtet.

Als erstes wird die Wirkung der elastischen Lagerung bei Material 3 untersucht. In Abbildung 7-28 und Abbildung 7-30 sind alle Parameter identisch, d. h. Geo-

metrie (Wand 6), Material (Material 3) und Zeitsignal (Signal 3) sind für beide Wände gleich.

Die Wandscheibe ohne Elastomer bricht in der Bodenplatte bei 2,7s und erreicht auch höhere Druckspannungen als das Modell mit Elastomer. Bei der Abbildung 7-29 ist das Rissbild nach der Ganz-Modellierung zu sehen. Das Versagen erfolgt infolge von Schub in der Lagerfuge und Zug des Mauerwerks parallel zur Lagerfuge. D.h. beide Arten von Schäden entsprechen einem Fugenversagen im Fundamentbereich. In 7-30 ist die Spannungsverteilung gleichmäßiger und es kommt nicht zum Bruch im Fundamentbereich. Das letzte ist wichtig, weil bei Erdbebeneinwirkung im Hochbau die Steifigkeit im Fundamentbereich genügend groß sein muss, um die Beanspruchung, die vom Gebäude kommt, gleichmäßig in den Baugrund zu leiten.

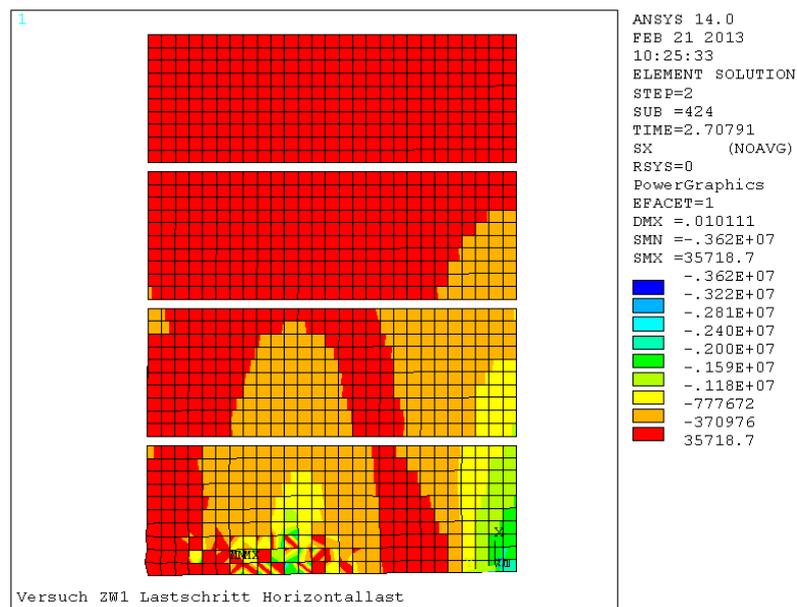


Abbildung 7-28: Vertikale Spannungen bei Wand 6 ohne Elastomer, Material 3, Signal 3 [103]

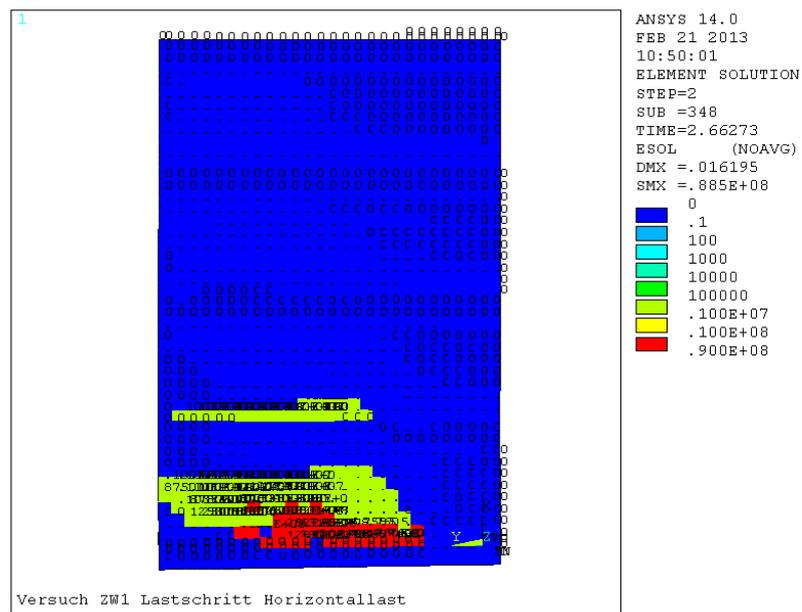


Abbildung 7-29: Rissbild aus dem Modell nach Ganz [103]

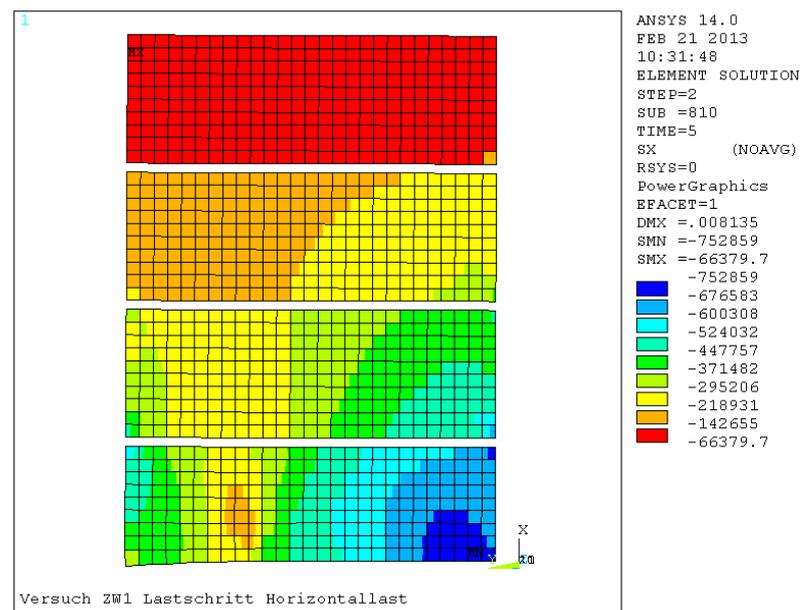


Abbildung 7-30: Vertikale Spannungen bei Wand 6 mit Elastomer, Material 3, Signal 3 [103]

Die Wirkung des Elastomerlagers ist in Abbildung 7-31 dargestellt. In diesem Diagramm ist die Verschiebung in y-Richtung der Wand 6, Material 3 und Zeit-signal 3 dargestellt. Es handelt sich hier um absolute Verschiebungsunterschiede zwischen der gemessenen Verschiebung an Wandfuß und -kopf.

Es sind drei Linien dargestellt:

- S_1 : Fall ohne Elastomer,

- S₂: Fall Wandscheibe mit Elastomer (von der Fundamentunterkante bis zum Wandkopf) und
- S₃: Fall Wandscheibe ohne Elastomer (von der Fundamentoberkante bis zum Wandkopf).

Durch den Einsatz der elastischen Lagerung wird die Struktur weicher, die Eigenfrequenzen werden niedriger.

Der Großteil der Verformung findet in der elastischen Lagerung statt. Dies führt zu einer Spannungsreduktion in der Wand. Ein weiterer Grund für die Spannungsreduktion, ist die Energiedissipation, die durch das hochdämpfende Sylo-mer® stattfindet.

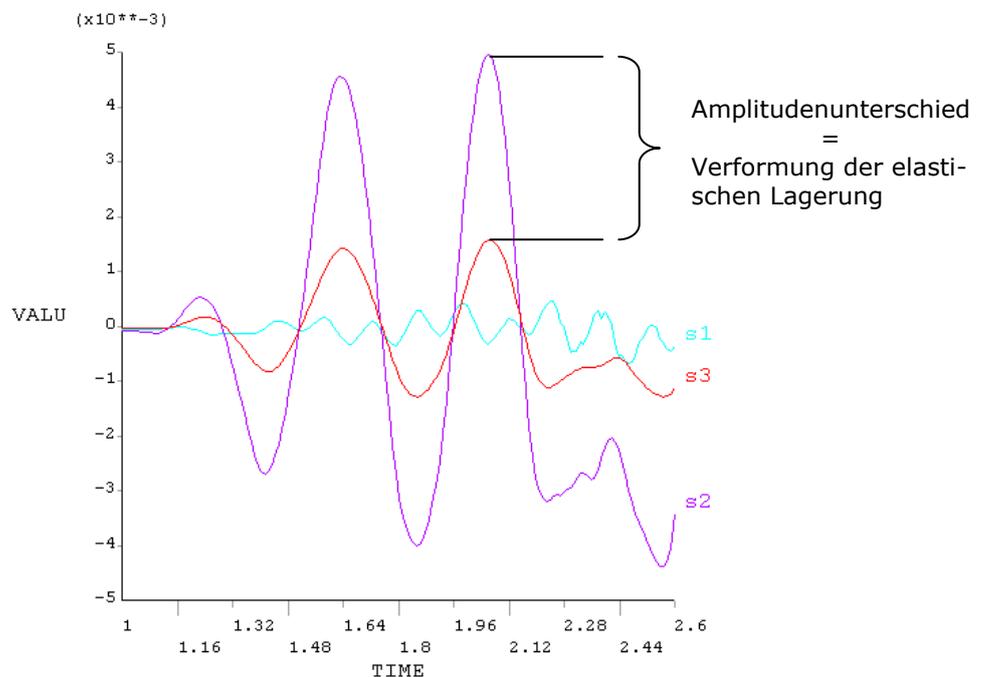


Abbildung 7-31: Horizontale Verschiebungen bei Wand 6

Für weitere Vergleiche wird als nächstes die Wand 6 mit einem steiferen Material (Material 1) und bei Signal 2 dargestellt. In Abbildung 7-32 sind die vertikalen Spannungen der Wand 6 ohne Elastomerlager zu jener Zeit (3,78s), zu der der erste Bruch auftritt, dargestellt. Zum besseren Überblick sieht man in Abbildung 7-33 die Rissbilder nach Ganz. Man erkennt, dass der Bruch hauptsächlich in der Bodenplatte in Form von Zugversagen des Mauerwerks parallel zur Lagerfuge (Fugenversagen) und Schubversagen der Lagerfugen auftritt. Die großflächige blaue Einfärbung der Wand ist der Bereich, in dem kein Versagenskriterium verletzt wurde und somit kein Schaden vorkommt.

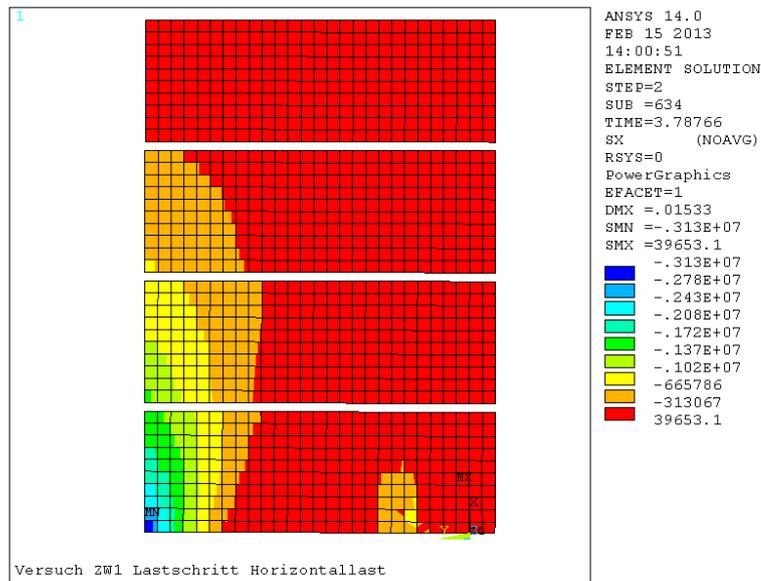


Abbildung 7-32: Vertikale Spannungen bei Wand 6, ohne Elastomer, Material 1, Signal 2 [103]

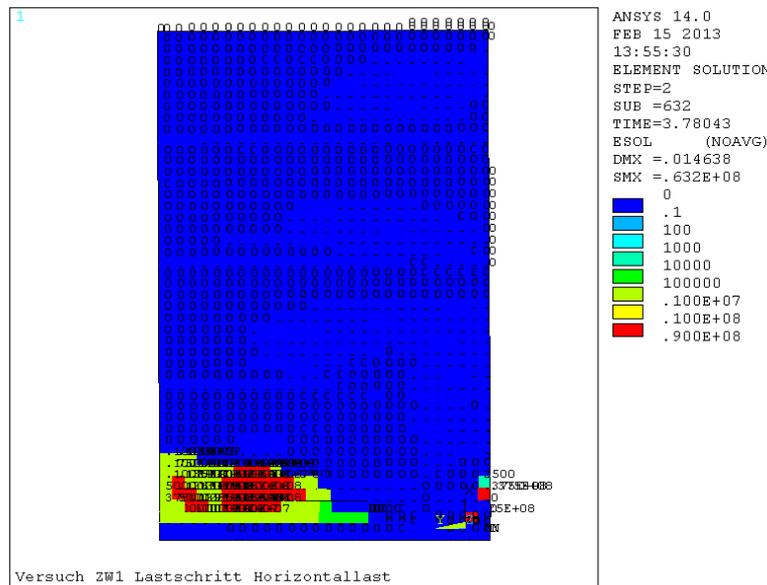


Abbildung 7-33: Rissbild aus Ganz bei Wand 6, ohne Elastomer, Material 1, Signal 2 [103]

In Abbildung 7-34 ist die Wirkung der Elastomerlager ersichtlich. In diesem Fall die Verteilung der vertikalen Spannungen zum gleichen Zeitpunkt, an dem die Wand ohne Elastomerlager den ersten Riss bekommen hat, abgebildet. Zum einen sind die vertikalen Spannungen niedriger als bei 7-32 und zum anderen gibt es keine konzentrierte Spannungsverteilung, die Schäden verursachen würden. Das wichtigste dabei ist, dass kein Bruch im Fundamentbereich vorkommt. In diesem Fall gab es überhaupt keine Schäden.

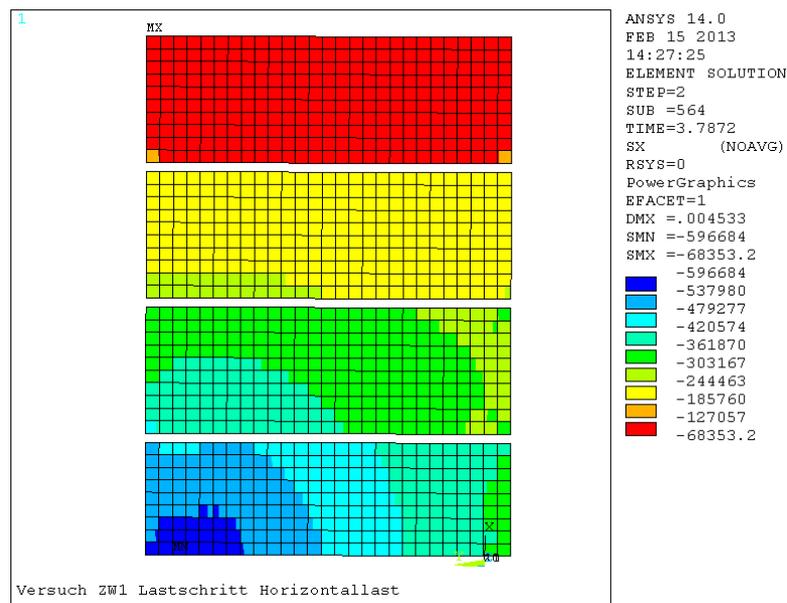


Abbildung 7-34: Vertikale Spannungen bei Wand 6, mit Elastomer, Material 1, Signal 2 [103]

Einen weiteren Vergleich stellt die Wand 5 mit dem Material 1 bei Zeitsignal 2 dar. In der Abbildung 7-35 ist die vertikale Spannungsverteilung bei Wand 5 zu sehen. In Abbildung 7-36 werden die Versagensmechanismen zum Zeitpunkt des Bruchs (3,78s) nach Ganz dargestellt. Die Farbskalierung deutet auf die Art der Risse hin. Daraus lassen sich zwei Typen erkennen: Treppenförmiges Schubversagen der Lager- und Stoßfugen (100 000 000) und ein Zugversagen der Lagerfugen (100 000). Im ersten Fall hängt das Versagen mit der einachsigen horizontalen Druckfestigkeit des Mauerwerks parallel zu den Lagerfugen zusammen. Diese sogenannte Längsdruckfestigkeit ist hier wegen der Durchgängigkeit der Lagerfugen sehr gering im Vergleich zu der vertikalen Druckfestigkeit und somit tritt ein „Ausknicken“ in den Lagerfugen auf [43]. Hier kommt es auch zu mehreren Schubrisen in den Fensterecken. Grund dafür ist, dass in den Ecken oft große Spannungskonzentrationen auftreten, deshalb gehen die Risse von dort aus.

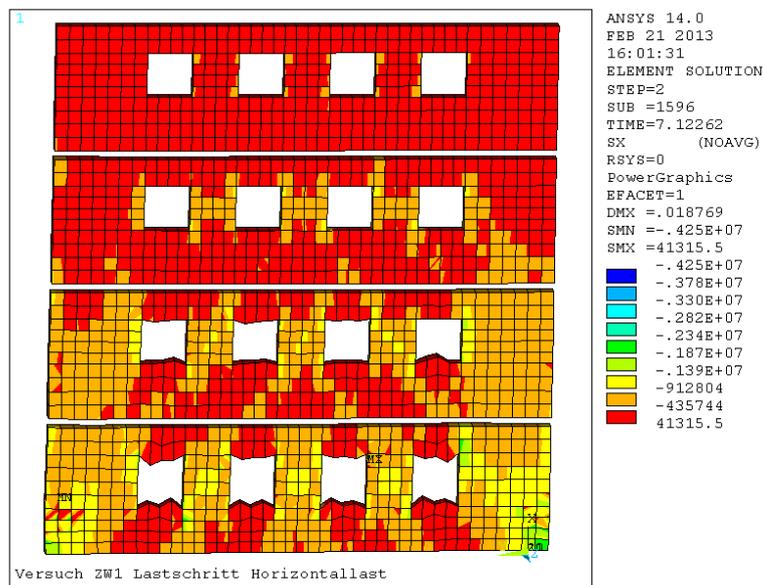


Abbildung 7-35: Vertikale Spannungen bei Wand 5, ohne Elastomer, Material 1, Signal 2 [103]

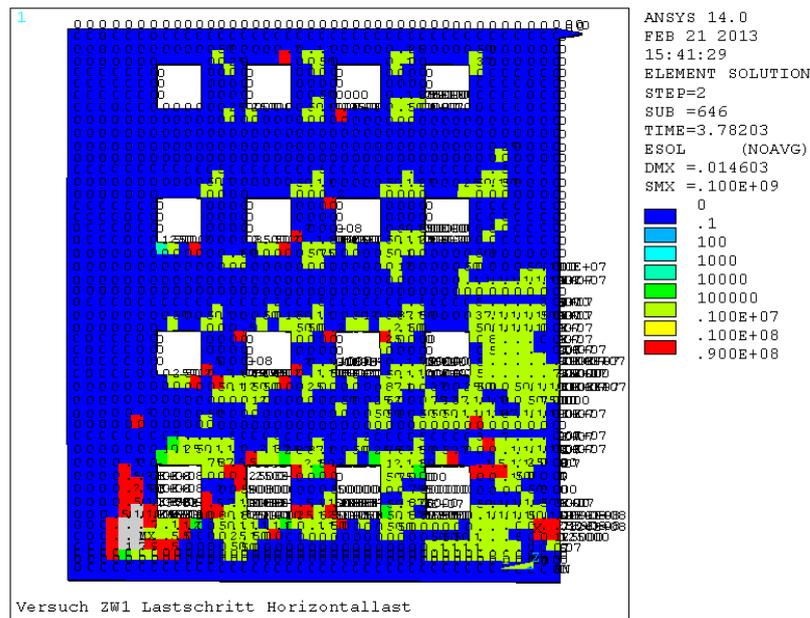


Abbildung 7-36: Rissbild aus Ganz bei Wand 5, ohne Elastomer, Material 1, Signal 2 [103]

Bild 7-37 zeigt die positive Wirkung der Elastomerlager auf die Wandscheibe. Durch den Einsatz des Sylomers® im Fundamentbereich wird ein Versagen der Wand vermieden.

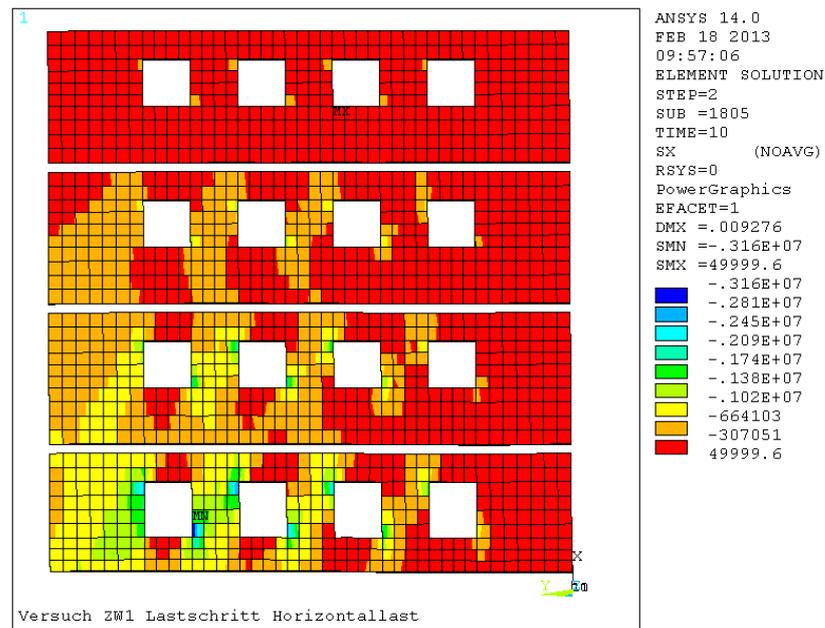


Abbildung 7-37: Vertikale Spannungen bei Wand 5, mit Elastomer, Material 1, Signal 2 [103]

7.3.2.3 Zusammenfassung der Zeitverlaufsberechnung

In der gegenständlichen Arbeit wurde die Abminderung der Erdbebeneinwirkung auf Mauerwerkswandscheiben durch die Anordnung einer elastischen Lagerung an der Basis untersucht. Hierzu wurden 2D-Wandscheibenmodelle verwendet. Das nichtlineare Verhalten des Mauerwerks wurde unter Verwendung des Materialmodells von Ganz [105] berücksichtigt.

Die wesentlichen Erkenntnisse sind aus den Ergebnissen für die Wände 5 und 6 ableitbar und in Tabelle 7-9 dargestellt. Es werden die Ergebnisse für die Wand 5 mit Material 1 bei Anregung durch den Zeitverlauf 2 für die Varianten mit und ohne elastische Lagerung dargestellt. In der Spalte „Koeffizient“ ist jener Faktor angegeben, mit dem der ursprüngliche Zeitverlauf skaliert werden kann, so dass die Wandscheibe gerade noch steht. Durch den Vergleich dieser Skalierungsfaktoren für die Variante mit und ohne elastische Lagerung lässt sich die Verbesserung des Tragverhaltes durch den Einbau der elastischen Lagerung in Prozent angeben. In Tabelle 7-9 sind weiters für die Wand 6 Angaben für die Materialein 3 und 1 unter Verwendung des Zeitsignals 1 enthalten.

Tabelle 7-9: Parametermatrix

Wand	Mit/ohne El.	Material	Koeffizient	Signal	Verbesserung des Tragverhaltens
5	Ohne El.	1	1,3	2	92%
5	Mit El.	1	2,5	2	
6	Ohne El.	3	1,3	1	54%
6	Mit El.	3	2,0	1	
6	Ohne El.	1	1,6	1	31%
6	Mit El.	1	2,1	1	

8 Marktpotenzialanalyse

In diesem Kapitel liegt das Hauptaugenmerk auf der Untersuchung des Marktpotenzials der elastischen Lagerung Sylomer® in erdbebengefährdeten Ländern. Zielmärkte sind hier europäische Staaten, die nicht nur eine hohe Erdbebengefährdung, sondern auch ein hohes Erdbebenrisiko besitzen. Diese Begriffe werden im Weiteren analysiert und ihre Bedeutung für diesen Beitrag genau erklärt.

Die Marktpotenzialanalyse hier ist als eine prinzipielle Herangehensweise an die Potenzialermittlung gedacht. Ziel ist, die wesentlichen Aussagen zur Potenzialanalyse soweit zu konkretisieren, dass die Firma Getzner in der Lage sein wird, eine wirtschaftliche Bewertung mit ihren Gewichtungen und Kostenvorstellungen durchführen zu können. Kern der Arbeit ist, durch die Methodik, die nachfolgend beschrieben wird, schrittweise in dem untersuchten Land den relevanten Markt in Prozent zu identifizieren. Im Weiteren wird, um die Marktsituation und die Nachfrage nach dem Produkt im Markt ersichtlicher darzustellen, die sogenannte SWOT-Analyse einbezogen. Dies ist ein strategisches Instrument, das zur Analyse von Unternehmensprozessen dient.

8.1 Definition relevanter Begriffe

Mithilfe einer **Marktpotenzialanalyse** wird die maximale Aufnahmefähigkeit eines Marktes für bestimmte Produkte bzw. Dienstleistungen abgeschätzt. Der Begriff „Markt“ beschreibt *die Menge aller potenziellen Kunden mit einem bestimmten Bedürfnis oder Wunsch, die bereit oder in der Lage sind, dieses Bedürfnis bzw. diesen Wunsch durch den Kauf der Produkte bzw. Dienstleistungen zu befriedigen [61].*

Hierbei wird zwischen den folgenden Begriffen unterschieden [61]:

- **Marktvolumen:** stellt die tatsächliche bzw. prognostizierte Absatzmenge eines Produktes dar;
- **Absatzpotenzial:** beschreibt die maximal mögliche Absatzmenge eines Unternehmens;
- **Absatzvolumen:** ist die tatsächliche bzw. prognostizierte Absatzmenge eines Produktes eines Unternehmens für einen bestimmten Zeitraum.

Generell wird der Markt hauptsächlich durch die Nachfrage bestimmt. Hauptaufgabe der Marktpotenzialanalyse ist die Darstellung der fiktiven Obergrenze für

die Gesamtnachfrage. Die Märkte, für die eine Potenzialanalyse eingesetzt wird, sind Wachstums- und ungesättigte Märkte. Das bedeutet, dass das Marktpotenzial anzeigt, ab wann von einer kompletten Marktsättigung gesprochen werden kann. Marktpotenzialanalysen erlauben es auch, Auskunft darüber zu geben, ob der Markt in Zukunft eher wächst oder stabil bleibt [62].

Marktpotenziale bieten Entscheidungshilfen bei den folgenden Einsatzgebieten [61]:

- Untersuchung potenzieller Zielmärkte
- Bewertung von (Produkt-) Ideen
- Festlegen von Standorten
- Bestimmung von Verkaufsgebieten

Die **SWOT-Analyse** dient als Instrument zur Strategiefindung. Mithilfe der SWOT-Analyse werden die notwendigen Informationen erhoben und im Weiteren analysiert. Ziel ist die Einschätzung des eigenen Geschäftsbereichs, die Steigerung des Unternehmenserfolgs und der Wettbewerbsvorteil [63].

Die erarbeiteten Erkenntnisse werden innerhalb einer Matrix dargestellt und in die folgenden Bereiche eingeteilt:

- Strengths (Stärken),
- Weaknesses (Schwächen),
- Opportunities (Chancen) und
- Threats (Risiken).

Die Stärken und Schwächen stehen für die interne Analyse des Unternehmens und die Chancen und Risiken stellen die externe Analyse des relevanten Marktes dar (Umweltanalyse) [63]. Im Fall der Sylomer® Lagerung entsprechen die Vor- und Nachteile des Produkts den ersten zwei Faktoren und die Chancen und Risiken beziehen sich auf die untersuchten Länder, für die eine derartige Erdbebenisolierung in Frage kommt.

8.2 Hochbau in Europa

Die Baunachfrage in Europa wird derzeit von einer Reihe negativer Faktoren beeinflusst. Umfangreiche Leerstände, hohe Arbeitslosigkeit sowie fallende Preise im Immobilienmarkt haben bis jetzt eine Belebung der Wohnungsbaunachfrage verhindert. In Abbildung 8-1 ist eine Gegenüberstellung des Bauvolumens und des Bruttoinlandsprodukts zu sehen. Sie zeigt deutlich, dass das Bauvolumen in den Jahren 2008 bis 2010 stark zurückgegangen ist [64].

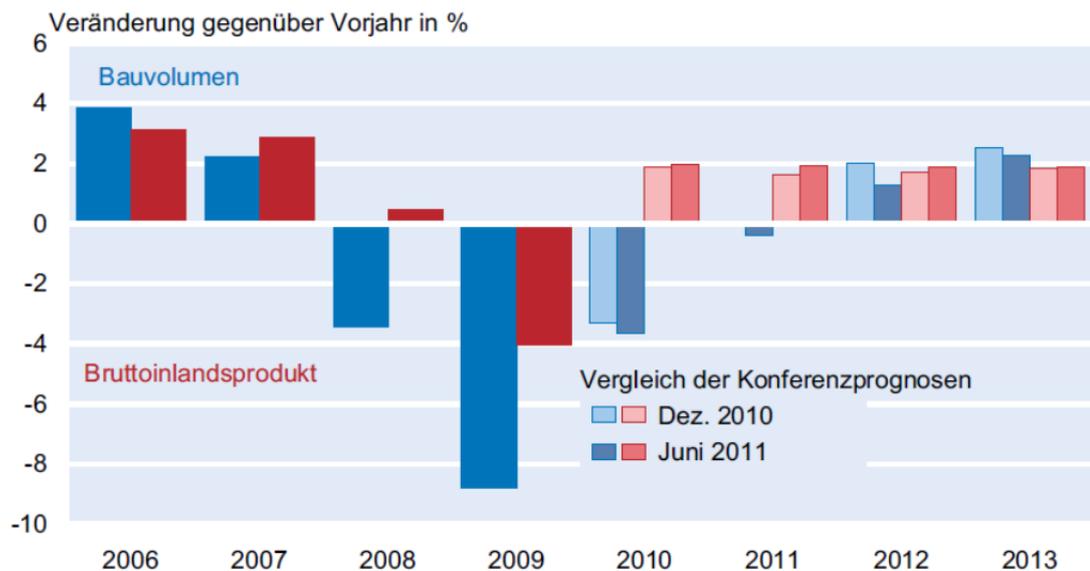


Abbildung 8-1: Bauvolumen insgesamt und Bruttoinlandsprodukt in Europa (in Preisen von 2010) [64]

In Mitteleuropa ist die Entwicklung der Bauwirtschaft sehr stabil, jedoch etwas niedriger als in nordischen Ländern (Dänemark, Finnland, Norwegen, Schweden) [66]. In Ländern wie Irland, Portugal, Griechenland und Spanien ist die Lage im Bausektor besonders kritisch. Aufgrund der vorgenommenen Kürzungen der öffentlichen Ausgaben, der Absenkung von Renten und Sozialausgaben, der Steuererhebung und Verringerung der Staatsbediensteten ist die Baunachfrage in diesen Ländern generell gesunken. Trotzdem dürften im Jahr 2011 ca. 54% der Hochbauinvestitionen dem Gebäudebestand zugute kommen. In absoluten Größen stellen die Bestandsmaßnahmen das stabilisierende Element im europäischen Hochbau dar. Trotz der Wirtschaftskrise und den Finanzierungsschwierigkeiten sind 350 Mrd. Euro in den Wohnungsbestand und 200 Mrd. Euro in Nichtwohngebäudebestand (z. B. Fabriken) geflossen (Abbildung 8-2) [64].

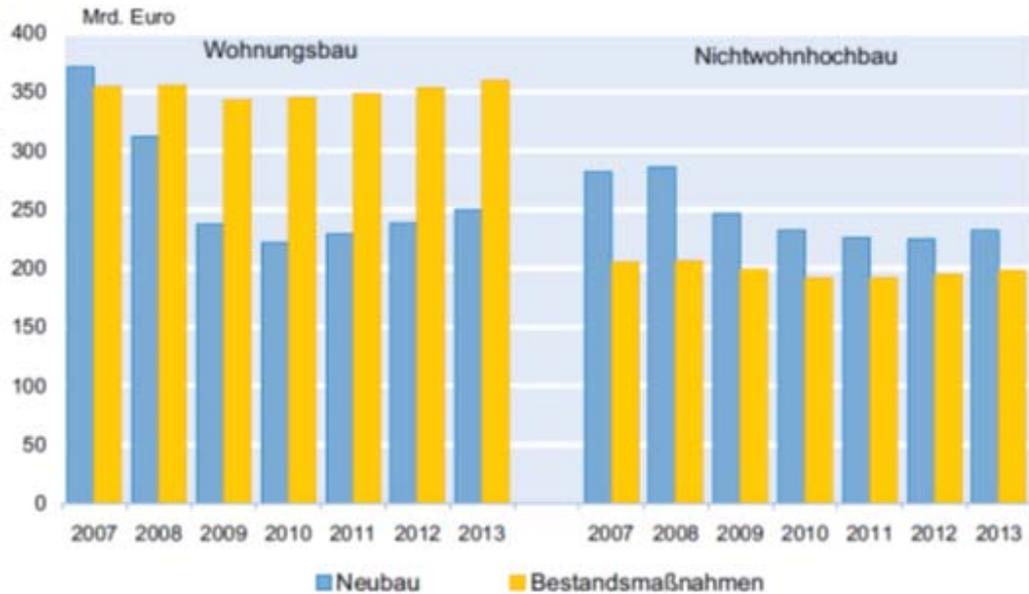


Abbildung 8-2: Neubau- und Bestandsinvestitionen im europäischen Hochbau nach Bauarten (in Preisen von 2010) [64]

Für das Jahr 2013 wird in Europa ein Wachstum im Bereich der Bauwirtschaft erwartet. Die Bauproduktion soll für 2013 und 2014 um etwa 1,8% bis 2% wachsen. Wie man in Abbildung 8-3 sieht, ist die Situation im Bausektor Hochbau sehr optimistisch. Das Potenzial für den Neubau wird aufgrund einer zu erwartenden Verbesserung des gesamtwirtschaftlichen Umfelds in Europa im Vergleich zum Tiefbau stärker. Tiefbau leidet unter den öffentlichen Sparkursen [66].

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
	Reale Veränderung gegen das Vorjahr in %						
Wohnbau							
Neubau	- 16,4	- 22,8	- 6,8	+ 2,7	+ 1,8	+ 3,7	+ 3,6
Sanierung	- 0,2	- 3,5	+ 0,9	+ 0,6	+ 1,0	+ 1,5	+ 2,1
Sonstiger Hochbau							
Neubau	+ 0,8	- 14,1	- 6,9	- 3,1	- 2,7	+ 2,4	+ 1,8
Sanierung	+ 0,9	- 3,4	- 2,4	+ 0,5	+ 0,1	+ 1,7	+ 1,8
Tiefbau	+ 0,4	+ 0,8	- 4,4	- 3,3	- 2,1	+ 0,4	+ 0,7
Insgesamt	- 3,7	- 8,6	- 3,6	- 0,6	- 0,3	+ 1,8	+ 2,0

Abbildung 8-3: Bauvolumen nach Sparten [66]

In Zentral-Osteuropa, wie etwa Polen, Russland oder Tschechien, ist die Bauweise Mauerwerk wegen ihrer guten bauphysikalischen Eigenschaften (z. B. Dauerhaftigkeit, Feuchteschutz) und guten Verarbeitbarkeit sehr gefragt. Es besitzt eine gute Wärmespeicherfähigkeit, aber dennoch keine optimale Dämmung und daher muss der Dämmwert des Tragwerks durch andere Möglichkeiten (z. B.

Isolierputz, Vollwärmeschutz aus Polystyrol) verbessert werden [94]. Dies ist mit einem höheren Kostenfaktor verbunden. In Polen begünstigt die makroökonomische Stabilität zusätzlich eine solide Entwicklung im Wohnungsneubau.

Für Zentral-Westeuropa, wie etwa Deutschland oder die Schweiz, lässt sich auch eine starke Änderung im Wohnungsneubau, hier insbesondere Mauerwerksbau, feststellen. In Nord-Westeuropa, wie etwa Belgien, Frankreich oder den skandinavischen Ländern, kann man ebenfalls eine positive Entwicklung im Neubau beobachten [65].

8.3 Seismizität in Europa

Am 6. April 2009 erschütterte ein Erdbeben der Stärke 5,8 nach Richter die italienische Stadt L' Aquila [49]. Die Prachtbauten dieser mittelalterlichen Stadt erlitten dabei immense Schäden. Das Erdbeben war so stark, dass umliegende Dörfer, wie z.B. das Bergdorf Onna, auch zerstört wurden. Die Bilanz dieser Katastrophe waren 300 Todesopfer. In den sechs Monaten nach dem 6. April wurden mehr als 11.000 Nachbeben registriert.

Diese und auch viele andere Ereignisse der letzten Jahre zeigen, dass die Erdbeben-tätigkeit in Europa sehr präsent ist. Der Hauptteil der sich weltweit ereignenden Beben konzentriert sich auf die Plattenränder des zirkumpazifischen Raumes [48]. Im europäischen Raum findet der größte Teil der Erdbeben zwischen der Afrikanischen und der Europäischen Platte statt. In der Abbildung 8-4 ist die europäische Erdbebengefährdungskarte zu sehen. Die Farbskalierung auf der Karte bezieht sich auf die auftretende Spitzenbodenbeschleunigung (m/s^2) und legt eine Überschreitungswahrscheinlichkeit von 10% in 50 Jahren zugrunde [47].

Die Länder die laut dieser Karte besonders gefährdet sind, sind Griechenland, südliche und westliche Teile des Balkans, Italien und der westliche Teil der Türkei.

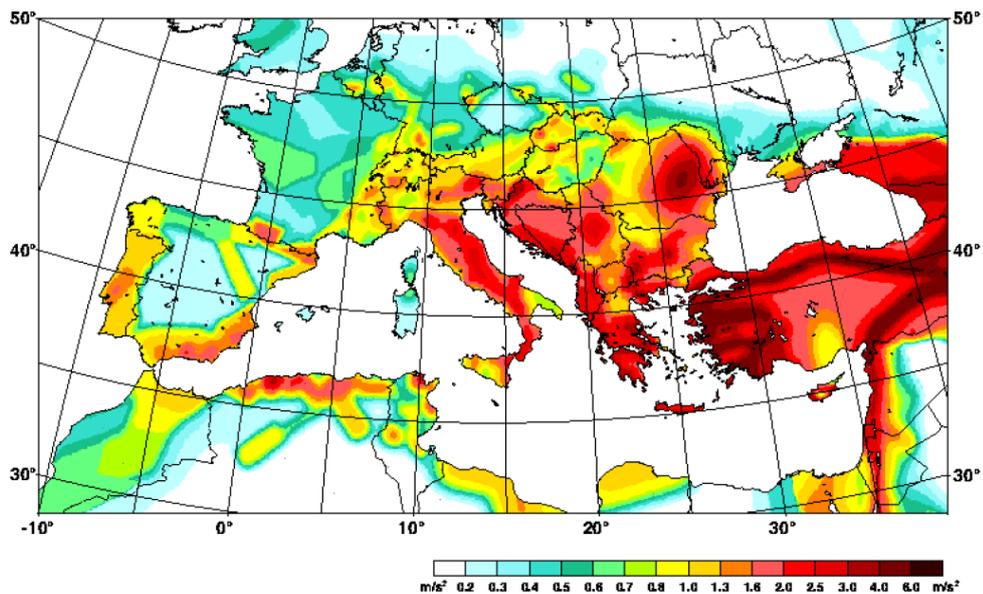


Abbildung 8-4: Erdbebenkarte Europas [47]

Der nördliche Teil von Europa bleibt aber auch nicht gänzlich unverschont. Der Flachmeerbereich, der Norwegen vorgelagert ist, zeigt eine nicht vernachlässigbare Beben­­tätigkeit. Entlang des Mittelatlantischen Rückens, der eine Platten­­grenze darstellt, wird eine enge Scharung von Beben am nordwestlichen Randbereich deutlich (Abbildung 8-5).

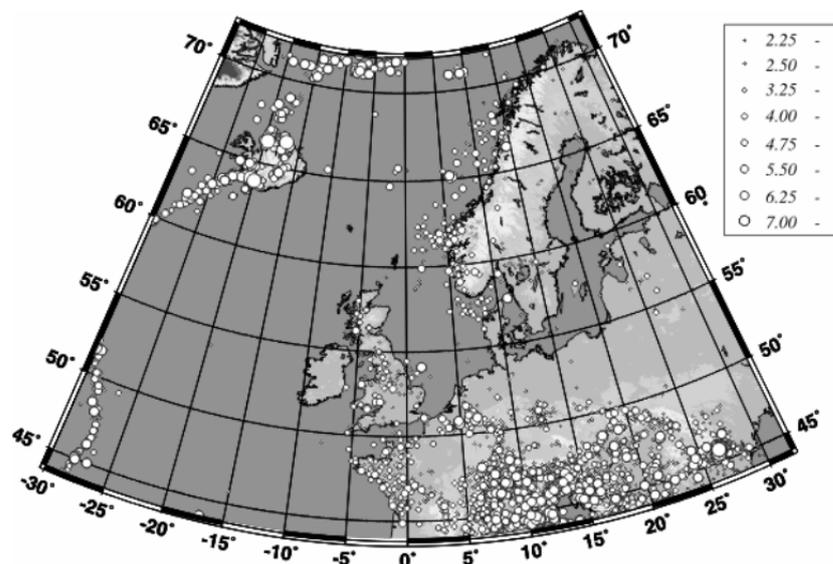


Abbildung 8-5: Beben­­tätigkeit in Europa nördlich des Mittelmeerraumes [48]

Die Folgen von Starkbeben haben in jeder Hinsicht (Gesundheit und Sicherheit des Menschen, Wirtschaft usw.) katastrophale Ausmaße. Die Tabelle 8-1 gibt einen Überblick über einige der gut untersuchten Schadenbeben in Europa seit

1976. Ein zum Ruin führendes Beben war das in Süditalien, in Irpinia im Jahr 1980. Die Folgen waren ca. 4.700 Tote, 9.000 Verletzte und 250.000 Obdachlose. Bei den Erdbeben in Umbrien (1997) und in Athen (1999) ist bemerkenswert, dass trotz der relativ geringen Magnitude (jeweils 5,6 und 5,9) die verursachten Schäden enorm waren [48]. Im Vergleich dazu brachte ein schweres Beben der Stärke 7,0 die Gebäude der japanischen Hauptstadt Tokio lediglich zum Schwan-ken: Es gab keine schweren Folgen und das öffentliche Leben ging weitgehend uneingeschränkt weiter. Es gab keine Meldungen über Verletzte oder schwere Schäden [50].

Daran lässt sich erkennen, dass nicht alle erdbebengefährdeten Gebiete auch automatisch ein hohes Risiko haben. Im folgenden Kapitel wird ein genauer Blick auf die Begriffe „Gefährdung“ und „Risiko“ geworfen.

Tabelle 8-1: Auswahl von Schadenbeben in Europa [48]

Ort	Jahr	Magnitude	Tote	weitere Angaben	Schäden in Mio US-\$
Italien, Friaul	1976	6.5	978		2.000
Rumänien, Bukarest	1977	7.0	1.581	150 km tief	800
Deutschland, Albstadt	1978	5.7	0	6.850 beschädigte Häuser	140
Portugal, Azoren	1980	6.8	56	400 Verletzte	10
Süditalien, Irpinia	1980	6.9	4.689	9.000 Verletzte, 250.000 Obdachlose	20.000
Griechenland, Athen/Korinth	1981	6.8	16		>25
Belgien, Lüttich	1983	5.0	2	26 Verletzte, Hunderte beschädigte Häuser	50
Süditalien, Abruzzo	1984	5.8	7	100 Verletzte	25
Rumänien, Bukarest	1986	6.9	2	große Schäden, 132 km tief	730
Griechenland, Kalamata	1986	5.9	20	300 Verletzte, 1.500 Häuser zerstört	>25
Niederlande, Roermond/Heinsberg (D)	1992	5.9	1	25 Verletzte, 7.200 beschädigte Häuser	145
Griechenland, Aigion	1995	6.6	5	12.000 Obdachlose, 6.300 Häuser zerstört	450
Italien, Umbrien/ Marken	1997	5.6	4		4.525
Griechenland, Athen	1999	5.9	145	70.000 Obdachlose	4.000

8.4 Vulnerabilität, Erdbebengefährdung, Erdbebenrisiko

Erdbebengefährdung bedeutet nicht (immer) gleich Erdbebenrisiko, d.h. dass die Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer bestimmten Erschütterungsstärke, also die Erdbebengefährdung, in einem gegebenen Gebiet hoch sein kann, ohne dass automatisch die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Schäden (Vulnerabilität) auch hoch ist.

Das Risiko ist von der Vulnerabilität, der Gefährdung und dem Expositionsgrad¹ abhängig und die Definition lautet [59]:

$$(Erdbeben)Risiko = (Erdbeben)Gefährdung \times Vulnerabilität \times Wert$$

Da die Begriffe Risiko (engl. risk), Gefährdung (engl. hazard) und Vulnerabilität (engl. vulnerability) oft miteinander verwechselt werden, werden sie in den kommenden Unterkapiteln im Hinblick auf ihre Bedeutung in dieser Arbeit genauer betrachtet.

8.4.1 Vulnerabilität

In Meskouris et al. [32] wird die „Vulnerabilität“ wie folgt definiert:

„Der Begriff „Vulnerabilität“ („Verletzlichkeit“) wird verstanden als die mögliche Schädigung, die ein Bauwerk infolge eines Erdbebens, erleiden bzw. aushalten kann.“ [S.349]

Die Verletzbarkeit der Bauwerke beschreibt den Zusammenhang zwischen Erdbebenstärke und der Wahrscheinlichkeit, dass ein Tragwerk bei einem Beben zu Schaden kommt [52]. Ein Schaden ist hierbei in den meisten Fällen als eine Reduzierung der Stabilität und Gebrauchstauglichkeit der Struktur zu verstehen [59]. Es kann zu Personenschäden, Verluste und Schädigungen von Bauwerken kommen.

Die Vulnerabilitätsbeziehung zwischen Intensität eines Erdbebens und Schadensgrad, den ein Bauwerk bei seismischer Einwirkung erleidet, wird durch die EMS beschrieben (siehe 2.3.2), indem sie die Gebäude in sechs Verletzbarkeits-

¹ Expositionsgrad bewertet den „Wert“ eines Objektes oder die möglichen Konsequenzen auf Menschenleben [59].

klassen (A bis F) einteilt. Der Bauwerkstyp in Klasse A ist am meisten gefährdet, da „A“ für den höchsten Verletzbarkeitsgrad steht. Anhand der Tabelle 8-2 ist ein Beispiel für den Bauwerkstyp „Mauerwerk“ zu sehen; die Darstellung entspricht der Spannweite der wahrscheinlichen Zuordnungen und in fettgedruckt steht die wahrscheinlichste Zuordnung [52].

Tabelle 8-2: Zuordnung der EMS-Verletzbarkeitsklassen [52]

Bauwerkstyp	EMS Verletzbarkeitsklasse		
Mauerwerk mit			
• Holzbalkendecken	A	B	C
• Stahlbetondecken	B	C	D

Ein weiterer Begriff ist die sogenannte Fragilitätskurve. Sie ist eine Funktion, die für jeden definierten Schadenszustand bestimmt werden kann. Durch diese Kurve wird die Wahrscheinlichkeit angegeben, dass das Bauwerk für einen gegebenen Parameter jeden Schadenszustand erreicht, für den die Kurve ausgelegt wurde. Die Vulnerabilitätskurve wird aus den Fragilitätskurven berechnet und gibt den Schadensgrad für einen gegebenen Parameter, der die Stärke eines Erdbebens charakterisiert (z. B. Intensität), an [59]. Zusätzlich zur Einteilung der Bauwerke in Verletzbarkeitsklassen unterscheidet die EMS zwischen fünf Schadensgraden. In der Abbildung 8-6 sind die sogenannten „Verletzbarkeitskurven“ dargestellt und zeigen den Zusammenhang zwischen Intensität, Verletzbarkeit, Schadensgrad und die Wahrscheinlichkeit, bei der so ein Schädigungsgrad auftaucht ($P(SG)$) [52]. Anhand dieser Abbildung kann das von der Firma Getzner gesetzte Ziel noch einmal verdeutlicht werden. Durch die Entwicklung der elastischen Lagerung aus Sylomer® gegen Erdbebeneinwirkung sollen die dargestellten Kurven nach unten verschoben werden, d. h. die Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines Schades soll möglichst minimiert bzw. verringert werden.

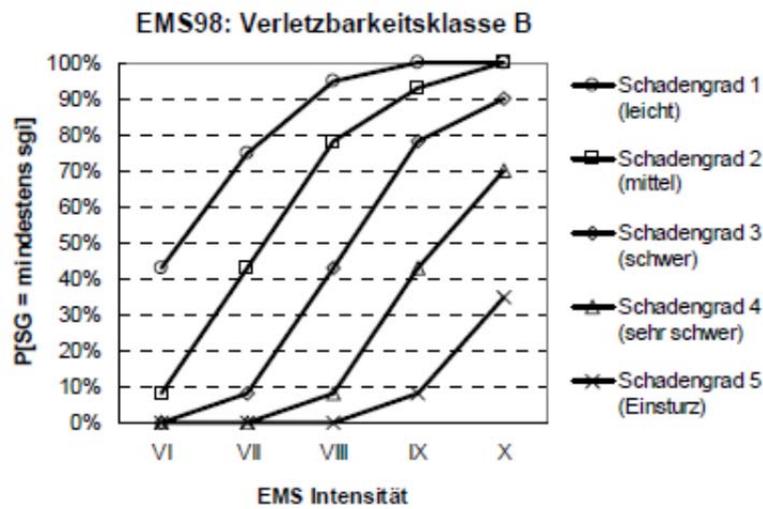


Abbildung 8-6: Verletzbarkeitskurven für die Klasse B [52]

In der folgenden Abbildung ist ein Diagramm mit vier Fragilitätskurven schematisch dargestellt. Jede einzelne Kurve stellt eine Abgrenzung zweier Schädigungsklassen dar. Die Benennung der Fragilitätskurve erfolgt nach der Schädigungsklasse unterhalb der Kurve. Die Angabe des Bereichs zwischen zwei Kurven verrät die Wahrscheinlichkeit über die Zugehörigkeit zu einer Schädigungsklasse [59].

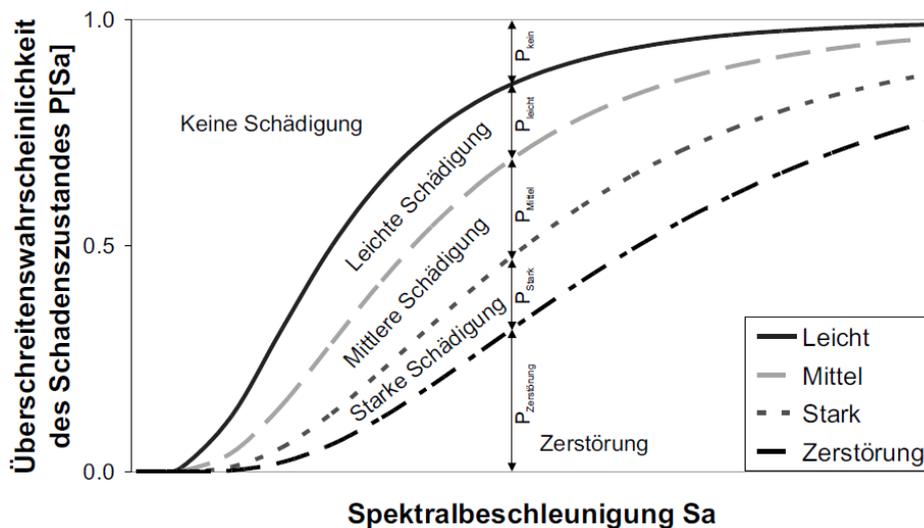


Abbildung 8-7: Fragilitätskurven und Schädigungsklassen [59]

Hier sei angemerkt, dass die intensitätsbasierte Beschreibung der Verletzbarkeit als Basis ein verallgemeinertes Wissen aus Erfahrungen über das Bauwerkverhalten bei vergangenen Erdbeben verwendet. Dieses Wissen ist empirisch und folglich in Bezug auf den Einzelfall nur eine Abschätzung [52]. Für eine konkrete

Aussage sind aufwändigere Erdbebeningenieurmethoden erforderlich, wie z. B. numerische Simulationen.

In Abbildung 8-8 sind zwei Modelle dargestellt, in denen präsentiert wird, wie die Vulnerabilität bzw. das Risiko untersucht werden kann. Zum einen gibt es das empirische Modell *for large scale studies* und zum anderen das numerische Modell *for local case studies* [93]. Die empirischen Fragilitätskurven werden aus der Aufzeichnung von Schadensdokumentationen vergangener Erdbeben (unter Berücksichtigung charakteristischer Bodenverhältnisse und tektonischer Merkmale) entwickelt und führen zu realitätsnahen Vorhersagen von Bauwerksschäden durch Erdbeben. Daraus lässt sich schließen, dass eine Übertragung auf andere Regionen nicht möglich ist. Derart gewonnene Kurven sind gut geeignet zur Kalibrierung analytischer Modelle. Wenn aber keine Schadensberichte vergangener Erdbeben vorliegen, dann besteht die Möglichkeit Angaben zum Schadenspotenzial eines Erdbebens für eine Baukonstruktion mittels Fragilitätskurven zu machen, die als Basis Computersimulationen benutzen. Diese Methode ist vorteilhaft, weil die Analyse eines einzelnen Bauwerks gemacht werden kann, ohne dass zuvor eine Beschädigung infolge eines Erdbebens auftreten muss [59].

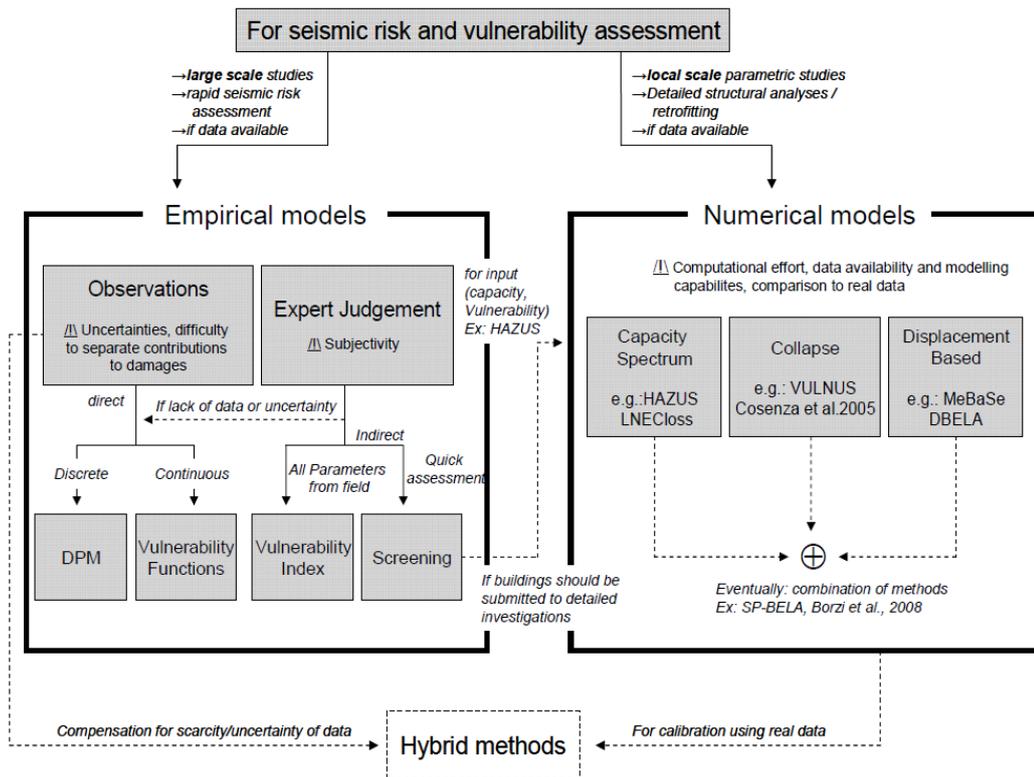


Abbildung 8-8: Typische Modelle zur Beurteilung der Vulnerabilität und des Risikos [93]

8.4.2 Erdbebengefährdung

Unter Erdbebengefährdung versteht man alle potenziell Schaden verursachenden Phänomene, die mit Erdbeben verbunden sind, wie z. B. Bodenbewegungen, Bodenverflüssigung, Erdrutschungen und Tsunamis [51]. Im weiteren Sinne bedeutet Erdbebengefährdung die Wahrscheinlichkeit, dass schadenverursachende Phänomene mit einer bestimmten Stärke an einem bestimmten Standort und innerhalb eines bestimmten Intervalls (bei einem Erdbeben die jährliche Wiederkehrperiode) auftreten. Die Gefährdung lässt sich nicht reduzieren, weil sie sich aus den tektonischen Prozessen der Erdkruste ergibt [48].

Unter den Größen, die zur Charakterisierung der Erdbebengefährdung beitragen, ist die sogenannte makroseismische Intensität von historischer Bedeutung. Sie beschreibt sowohl das Schadensausmaß als auch die wahrgenommene Wirkung von Erdbeben [52]. Im mitteleuropäischen Raum ist die sogenannte European Makroseismic Scale (EMS) von Relevanz (siehe Kapitel 2).

8.4.3 Wert

Unter „Wert“ versteht man die ökonomischen Verluste, wie z. B. materiellen Kosten der beschädigten Bauwerke, Verlust von Menschenleben [59] und andere immaterielle Güter, wie kulturelle/historische Werte. In anderen Worten kann der Wert im Zuge der Erdbebenrisikoberechnung als potenzielles Schadensvolumen verstanden werden.



Abbildung 8-9: Schäden eines Bauwerkes infolge eines Erdbebens [25]

8.4.4 Erdbebenrisiko

Der Begriff Erdbebenrisiko ist eine Verknüpfung des möglichen Versagens von Bauwerken und den damit verbundenen Konsequenzen [52]. Im engeren Sinne betrachtet, kann man die seismische Gefährdung nicht beeinflussen. Im Gegensatz dazu kann die Vulnerabilität durch geeignete Maßnahmen minimiert werden.

Laut UNDRP (United Nations Disaster Relief Co-Ordinator, auf Deutsch: Organisation der Vereinten Nationen für Katastrophenhilfe), einer Organisation, die für die Analyse von Naturkatastrophen und Verletzbarkeit zuständig ist, wird der Überbegriff „Risiko“ in spezifisches Risiko, Risikoelemente, Risiko und kumulatives Risiko [53] unterteilt. Im Detail [53], [52]:

- spezifisches Risiko:

Das Produkt Gefährdung und Verletzbarkeit; entspricht dem erwarteten Verlustgrad infolge eines Bebens mit bestimmter Eintrittswahrscheinlichkeit.

- Risikoelemente:

Die Risikoelemente entsprechen allen gefährdeten Elementen, die sich innerhalb eines Gebietes befinden, z. B. Eigentumswert, Anzahl der Personen.

- Risiko:

Das Risiko aus einer bestimmten Naturkatastrophe, wie Erdbeben, ist die Summe aller erwarteten Verluste, z. B.:

- Erwartete Anzahl von Toten,
- Verletzten,
- Wert der Verluste durch Schäden etc.

- kumulatives Risiko:

Entspricht dem erwarteten Verlust aufgrund von unterschiedlichen potenziellen katastrophalen Naturphänomenen, z. B. Erdbeben, Dürre, Vulkanausbrüche usw.

Hauptkriterien für die Auswahl der in dieser Masterarbeit diskutierten Staaten sind das Erdbebenrisiko und die in Abbildung 8-4 dargestellte Spitzenbodenbeschleunigung. Diese ist insofern wichtig, weil die auf das Bauteil wirkende Beschleunigung abhängig von der Beschleunigung des Bodens und vom Eigenschwingverhalten des Bauwerkes ist [8].

8.5 Methodik und Vorgehensweise

Das vorliegende Kapitel widmet sich dem Aufzeigen der Rahmenbedingungen einer Marktpotenzialanalyse. Es wird darauf eingegangen, welche Schritte notwendig sind, um den relevanten Markt identifizieren zu können. Die Idee dahinter ist, vom Gesamtmarkt auf den potenziellen Markt schließen zu können. Den Ausführungen folgt ein Flussdiagramm, das die vorgeschlagenen Maßnahmen zur Implementierung der Potenzialanalyse anschaulich darstellt.

Nachfolgend wird die Vorgehensweise dieser Analyse beschrieben, wobei das Hauptaugenmerk darauf liegt, den Ursprung der für die Analyse erforderlichen Daten zu beschreiben. Anschließend wird die theoretisch dargestellte Analyse am Beispiel von Griechenland durchgeführt.

Die genauere Definition der Marktpotenzialanalyse wurde in Kapitel 8.1 erläutert. Folglich wird die Analyse in zwei Teilen betrachtet: die Risikoanalyse und die Marktanalyse.

Als erstes wird *A – Risikoanalyse* beschrieben:

A1) Erdbebengefährdung

Für die Risikoanalyse eines Landes ist in erster Linie die Betrachtung der Erdbeben-tätigkeit von Bedeutung. Diese ist aus Erdbebenkarten anhand der Größe der Bodenbeschleunigung ersichtlich. Zu finden sind solche Karten in den Erdbeben-normen des jeweiligen Landes oder bei nationalen seismischen Diensten, z. B. wäre das in Österreich die ZAMG, Zentralanstalt für Meteorologie und Geodyna-mik.

Eine weitere Quelle für solche Daten ist das PAGER-Projekt (Prompt Assessment of Global Earthquakes for Response). Es wurde von der American U. S. Geological Survey in Zusammenarbeit mit WHE (World Housing Enzyklopädie), einer gemeinsamen Aktion der EERI (Earthquake Engineering Research Institute) und IAEE (International Association for Earthquake Engineering), durchgeführt. Das Ziel des Projektes ist, mit Hilfe der weltweiten Experten eine internationale Datenbank der seismischen Gefährdung für alle häufig vorfindbaren Gebäudetypen in allen Ländern zu schaffen, wobei der Schwerpunkt auf der Betrachtung der Wahrscheinlichkeit eines Zusammenbruchs der Konstruktion auf jeder Ebene der makroseismischen Intensität liegt. Das vorrangige Ziel des PAGER ist die Gründung eines Systems, das ein *post-seismic decision-making* unterstützen soll. Darüber hinaus soll eine weitere Nutzung des Systems die Entwicklung von

„Szenarien“ vorantreiben, die von entscheidender Bedeutung für das Management des seismischen Risikos weltweit sind [78].

A2) Risikobetrachtung

Wie schon in 8.4 erläutert, ist Risiko ein multikomplexer Begriff und setzt sich aus verschiedenen Faktoren zusammen. Nachdem man die Erdbeben­tätigkeit und die damit eventuell verbundene Gefahr in dem jeweiligen Land betrachtet hat, ist der nächste Schritt das Risiko zu betrachten.

A3) Anteil der Fläche

Am Ende dieser Analyse sollte der Anteil der Fläche, der als gefährdet gilt, festgestellt werden. In anderen Worten, soll angestrebt werden, die seismisch-gefährdete Fläche zu definieren, damit man später den relevanten Markt bestimmen kann.

Für *B - Marktbetrachtung* wird folgende Vorgehensweise empfohlen:

B1) Wirtschaft/Bauwirtschaft

Die Betrachtung der volkswirtschaftlichen Rahmenbedingungen, die in dem zu bewertenden Land herrschen, ist notwendig, um sich ein Bild über den vorherrschenden Markt, in den man investieren will, zu machen. Da insbesondere der Bausektor von Interesse ist, sollte man genaue Informationen über die Bauwirtschaft im jeweiligen Land einholen. Die wirtschaftlichen und auch speziell die bauwirtschaftlichen Eckdaten über jedes Land kann man in nationalen Statistiken finden. In Österreich sind solche Daten beispielsweise bei „Statistik Austria“ öffentlich zugänglich.

B2) Bauvolumen ermitteln

„Das Bauvolumen ist definiert als die Summe aller Leistungen, die auf die Herstellung oder bauliche Erhaltung von Gebäuden und Bauwerken zielen. Das Bauvolumen entspricht dem baugewerblichen Produktionswert (bereinigt um Doppelzählungen), ergänzt um Teile der Produktionswerte anderer Wirtschaftsbereiche (Verarbeitendes Gewerbe und Dienstleistungen), die ebenso in die Investitionen einfließen. Das Bauvolumen beschreibt somit die Bauproduktion im weiteren Sinne. Dabei handelt es sich begrifflich um die Betrachtung von Bruttogrößen, nicht aber um Wertschöpfung als das dahinterstehende Ziel der wirtschaftlichen Tätigkeit.“ [S.19, 79]

An dieser Stelle ist eine Betrachtung der BIP Prognose des Landes notwendig, wobei im Speziellen der Produktionsfaktor des Baugewerbes bewertet werden

sollte. Er zeigt die Entwicklung des Produktionsvolumens im Bausektor. Im europäischen Raum gibt es zum Beispiel „Eurostat“. Eurostat ist das statistische Amt der Europäischen Union, mit dem Ziel die Union mit europäischen Statistiken zu versorgen [89].

In diesem Arbeitsschritt gilt es, die Frage, wie viel in dem Land gebaut wird zu beantworten. Die Daten, die man hierzu benötigt, sind hauptsächlich bei der jeweiligen nationalen statistischen Behörde zu finden (analog zu Statistik Austria in Österreich). Teilweise gibt es auch andere Quellen, die aus Datenschutzgründen nicht öffentlich zugänglich sind. Ein Beispiel dafür ist die „AGWR II“ (Adress-, Gebäude- und Wohnungsregister II)² in Österreich. Bei AGWR II handelt sich um eine Datenbank, die zur Unterstützung der Gemeinden bei der Erfassung der Daten von Bauvorhaben hilft. In Österreich erfolgte der Start des Echtbetriebes am 26. November 2004 und aufbauend auf den Erfahrungen der ersten Betriebsjahre wurde das Adress-GWR II entwickelt und ging mit 29. März 2010 in Betrieb. Diese Datenbank beinhaltet Informationen wie die Art der Bautätigkeit (Neueinrichtung, Umbau etc.), die Flächenangaben zum Gebäude, Geschoßangabe und Bauweise, Gebäuden und Nutzungseinheiten. Sie enthält somit alle für diesen Schritt der Potenzialanalyse relevanten Informationen [80].

In Deutschland zum Beispiel findet man beim Statistischen Bundesamt (Destatis) genaue Informationen über die Errichtung neuer Gebäude, z. B. gab es für das Jahr 2011 Baugenehmigungen im Hochbau für 228.311 Wohnungen und davon waren 204.724 Neuerrichtungen [95]. Diese Daten in Verbindung mit denen aus den Vorjahren können ein sehr konkretes Bild über das Bauvolumen in dem jeweiligen Land geben, wie die Feststellung, dass in Deutschland von Januar bis September 2012 178.097 Wohnungen genehmigt wurden, also 6,2% mehr Wohnungen als im vorigen Jahr [96].

² Als Zusatzinformation soll hier angeführt werden, dass aus Gründen der Zugriffs- und Nutzungsrechte das Adressregister und das Gebäude- und Wohnungsregister formal getrennt geführt werden.

B3) Hochbau als Teil des Gesamtbauvolumens ermitteln

Da sich die zu konstruierende Getzner Lösung nur für Hochbauten eignet, ist dieses Marktsegment als Unterkategorie des allgemeinen Bauvolumens hervorzuheben.

Wie schon bei den oben behandelten Punkten ist auch hier die erste Anlaufstelle das nationale Statistikamt des jeweiligen Landes. Eine weitere Datenquelle, die hier hilfreich sein könnte, ist „NERA“. Das Forschungsprojekt „Network of European Research for Earthquake Risk Assessment and Mitigation“ (NERA) begann 2010 im Zuge des 7. Rahmenprogramms (FP7) mit dem Ziel der Vernetzung und des Informationsaustausches zwischen europäischen Erdbebenforschungsinstituten.

In einem Arbeitspaket des Projekts NERA werden Bauwerkseigenschaften zur Charakterisierung des europäischen Gebäudebestands untersucht. Anhand der Datenbankstruktur soll eine vollständige Bewertung der Schadensanfälligkeit bei Erdbebenereignissen möglich sein.

Allerdings ist NERA noch keine flächendeckende Datenbank. Es gibt bereits Informationen, aber nur für vereinzelte Städte bzw. Regionen, die im Rahmen einer Fallstudie untersucht wurden.

Wichtig ist hierbei, Informationen über den aktuellen Stand zu bekommen. Das bedeutet, die Untersuchung sollte sich einerseits auf den Bestand und andererseits auf den Neubau konzentrieren, um einen Trend zu ermitteln, der Auskunft über die Marktentwicklung der kommenden Jahre gibt.

B4) Ziegelbau als Teil des gesamten Hochbaus ermitteln

Das Ziel dieses Arbeitsschrittes ist eine quantitative Darstellung des Bauwerkstyps Mauerwerksbau, da es sich um ein nicht duktileres Produkt handelt und es, wie bereits im Kapitel 5 erläutert wurde, anfälliger ist als andere Bauweisen z. B. Stahlbeton. Auch hier helfen nationale Statistiken weiter, um den prozentuellen Anteil der Mauerwerksbauten am gesamten Hochbau zu ermitteln.

B5) Normative Regelung

Die Betrachtung von Erdbebennormen ist notwendig, um über die normativen Regelungen im jeweiligen Land in puncto erdbebensichere Konstruktion Bescheid zu wissen. In Österreich gilt zum Beispiel der Eurocode 8 (siehe [1]). Prinzipiell sollte dieser in ganz Europa gelten, aber es sind noch nicht alle Länder so weit, um den Auflagen Folge zu leisten.

Ein weiterer Aspekt der normativen Regelung ist die Betrachtung der Vorschriften zum Thema Mauerwerksbau im jeweiligen Land. Dadurch erhält man Auskunft über die Qualität der vorliegenden Bauweise und ob es spezifische Regelungen gibt, die berücksichtigt werden müssen. In Österreich z. B. gilt Eurocode 6 [38].

Als nächstes folgt eine Abschätzung des Marktpotenzials im jeweiligen Land und mithilfe der SWOT-Analyse, deren Bedeutung bereits erklärt wurde (siehe 8.1), wird ein Resümee gezogen. Die SWOT-Analyse erfüllt hier den Zweck eines Tools, wobei die wichtigsten Daten noch einmal zusammengefasst und mittels einer Matrix das Pro und Kontra des Verfahrens veranschaulicht werden.

Wenn all diese Punkte behandelt worden sind, geht es mit einer firmeninternen Kalkulation weiter, bei der eine Konkurrenzanalyse durchgeführt und das geschätzte Potenzial in Euro berechnet wird. Im Rahmen der vorliegenden Masterarbeit ist eine solche Analyse allerdings nicht relevant, weshalb auf ihre detaillierte Darstellung verzichtet wird.

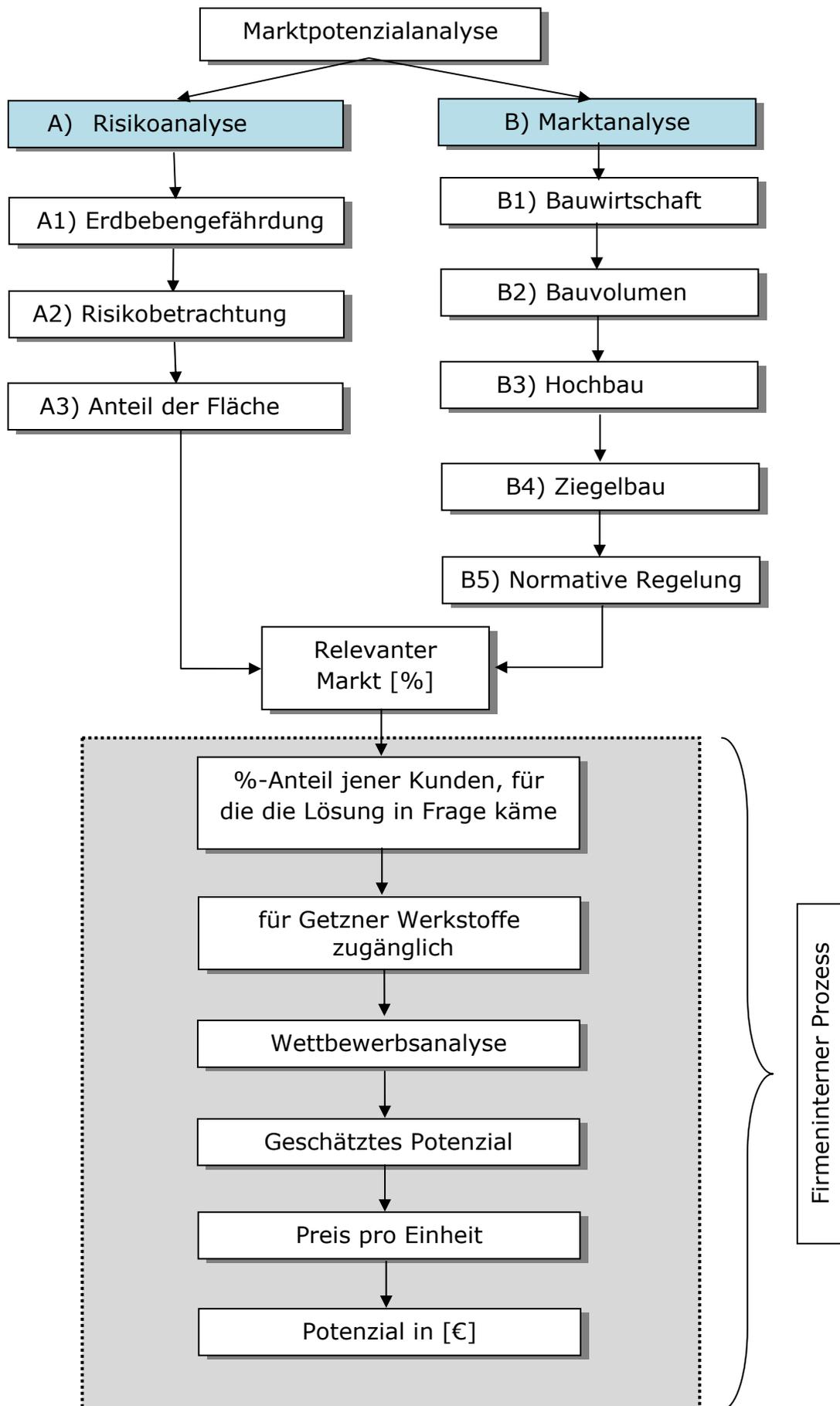


Abbildung 85: Flussdiagramm Marktpotenzialanalyse

8.6 Griechenland

Griechenland gehört zu den tektonisch aktivsten Ländern Europas. Jedes Jahr werden ungefähr 6000 Erdstöße registriert. In Anlehnung an das Flussdiagramm in Abbildung 8-9 wird in diesem Abschnitt auf die Erdbebengefährdung, die normativen Regelungen und das mögliche Potential der Sylomer® Lagerung für den griechischen Markt eingegangen.

8.6.1 Allgemeines

Die ersten historischen Berichte über seismische Aktivität in Griechenland datieren auf das sechste Jahrhundert zurück. Cicero berichtete 550 v. Chr. über ein starkes Erdbeben, das Sparta ruinierte. Bis zur Mitte des neunzehnten Jahrhunderts gibt es Informationen über Erdbeben von Nichtspezialisten auf dem Gebiet, wie z. B. Philosophen, Reisenden, Historikern usw. Im Laufe der Zeit hat sich viel auf dem Gebiet der Erdbebenforschung in Griechenland geändert. Im Jahr 1959 wurde der erste Vertikalseismometer (Typ Benioff) in der Nationalen Beobachtungsstelle in Athen eingebaut und bereits im Jahr 1962 war die seismologische Station in Athen im Mittelpunkt des internationalen Netzwerks [46]. In den letzten zwei Jahrzehnten wurden signifikante Fortschritte in der seismischen Gefährdungsanalyse gemacht. Diese Studien decken die Hauptprobleme über makroseismische Intensität, Bodenbeschleunigungen, Bodengeschwindigkeiten etc. ab [47]. Ein zusammenfassendes Ergebnis stellt die Karte in der Abbildung 8-11 dar. Dabei handelt es sich um Griechenland, das in drei seismisch unterschiedlich stark gefährdete Bereiche eingeteilt ist. Diese Karte fungiert als Basis für die EAK-2000, das nationale Erdbebendokument in Griechenland [56].

8.6.2 A – Risikoanalyse

Als erstes wird die Risikoanalyse dargestellt. Sie dient dazu, einen besseren Überblick über das Land und seine Seismizität zu bekommen. Daraus wird als Resultat der Anteil der Fläche, für den die Getzner-Lösung in Frage käme, herausgefiltert.

8.6.2.1 A1 - Erdbebengefährdung in Griechenland

Wie in Abschnitt 8.6.1 bereits erwähnt, wird Griechenland aufgrund seiner seismischen Aktivität in Zonen eingeteilt. Diese Information in Verbindung mit der Kenntnis der Referenz-Spitzenbodenbeschleunigung a_{gR} [m/s^2] der jeweiligen Zone (Tabelle 8-3) macht ersichtlich, dass die Erdbebengefährdung in Griechen-

land relativ hoch ist. Zur Verdeutlichung der Aussage hilft ein Vergleich zu Österreich, wo a_{gR} in Zone 1 maximal den Wert 0,50 erreicht [55]. Abbildung 8-11 zeigt die Erdbebengefährdungskarte von Griechenland, die seit 2003 in der EAK-2000 herangezogen wird.

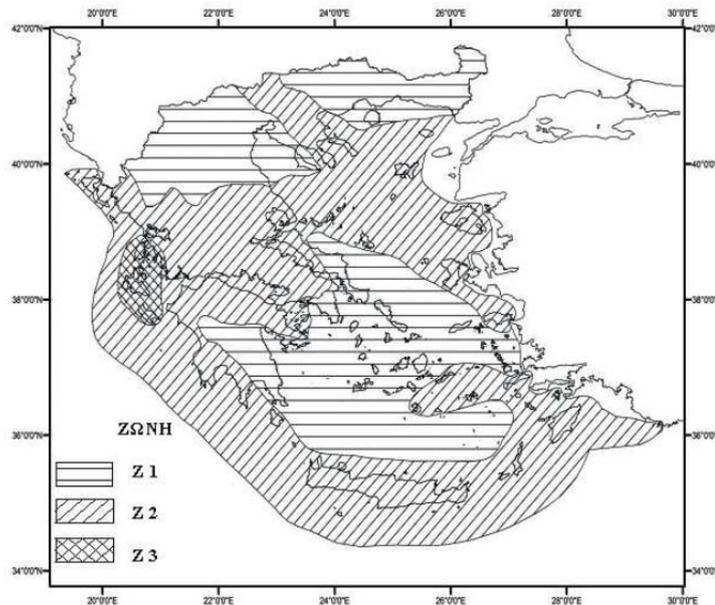


Abbildung 8-11: Erdbebengefährdete Zonen in Griechenland [56]

Tabelle 8-3: Referenz-Spitzenbodenbeschleunigung [57]

Zone	a_{gR} [m/s ²]
Z1	1,60
Z2	2,40
Z3	3,60

Griechenland befindet sich einer sehr seismogenen Zone und belegt den sechsten Platz auf der vor Japan angeführten Liste der seismisch aktivsten Länder der Welt [47]. Die hohe Erdbebentätigkeit in Griechenland ist auf die Konvergenz der ägäischen und der mediterranen Erdplatten zurückzuführen. In Europa ist es das Land mit der höchsten Seismizität und aufgrund der hohen Anzahl an Erdbeben und ihrer historischen Aufzeichnungen ist es von großer Bedeutung, dieses Land genauer zu betrachten [45].

8.6.2.2 A2 – Risikobetrachtung

In den Städten sind die große Anzahl der Bevölkerung und die hohe seismische Vulnerabilität (aufgrund nicht fachgerechter Konstruktionsweise und der Verwendung von Baustoffen geringer Qualität) die Gründe für das hohe Erdbebenrisiko [47].

In Abbildung 8-12 sieht man die Epizentren aller bekannten starken Erdbeben ($M \geq 6$) in der Periode 1901-2002 im Mittelmeerraum [46].

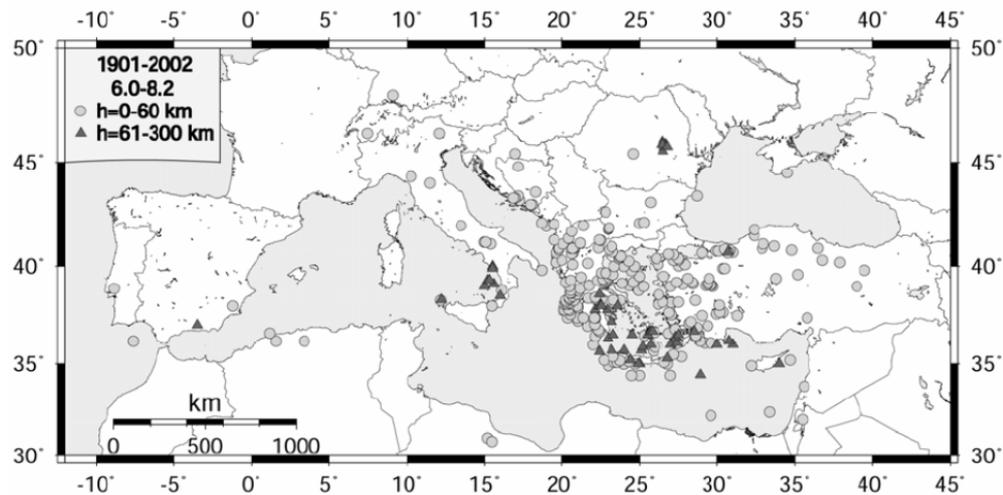


Abbildung 8-12: Epizentren starker Erdbeben ($M \geq 6$) im Mittelmeerraum [46]

Ein Beispiel für das potenzielle große Schadensausmaß, das durch Erdbeben in Griechenland verursacht wird, ist das Erdbeben vom 7. September 1999 in der Nähe von Athen. Es hatte eine Stärke von 5,9 und führte zum Einsturz von 65 Gebäuden, wodurch 70000 Familien obdachlos wurden. Im am stärksten betroffenen Gebiet herrschen zwei Bauweisen vor, nämlich bewehrte Betontragwerke und ein- bis zwei-stöckige Mauerwerksbauten. Großteils waren diese Bauwerke entsprechend der griechischen seismischen Norm von 1959 gebaut, etliche Bauwerke waren allerdings illegal errichtet worden und folgten keinen seismischen Verordnungen [69].

Eine weitere Zahl, die zeigt, wie wichtig eine Diskussion erdbebensicherer Bauweise in Griechenland ist, sind die 90% der 1419 Toten, die in insgesamt 50 fatalen Erdbeben zwischen 1900 und 2008 verzeichnet wurden, die aufgrund eingestürzter Gebäude starben [78].

8.6.2.3 A3 - Anteil der Fläche

In der Arbeit von Ringhofer [58] ist ein interessanter Vergleich zu anderen europäischen Ländern zu finden. Hierbei wurde der minimalste und der maximalste Wert der tragwerksunabhängigen Erdbebeneinwirkung auf ein Gebäude in fünf europäischen Ländern, darunter auch Griechenland, unter der Berücksichtigung der jeweiligen Norm betrachtet. Genauer gesagt, kann die von Erdbeben gefährdete Fläche in Deutschland, Österreich und Griechenland aufgrund des jeweiligen Annexes relativ genau beziffert werden. Im Gegensatz dazu wird bei den Ländern Frankreich, Italien und Schweiz die gefährdete Fläche anhand der nationalen Verteilung der Erdbebenzonen abgeschätzt. Die nachfolgende Tabelle 8-4 zeigt die Minima und Maxima als das Ergebnis des Produkts $\gamma_I \cdot a_{gR} \cdot S$ in $[m/s^2]$, welches an dieser Stelle nicht im Detail vertieft wird, aber der Vollständigkeit halber werden einige Eckdaten angeführt.

Für $\gamma_I \cdot a_{gR} \cdot S$ gilt [1]:

γ_I Bedeutungsbeiwert; *Beiwert, der die Folgen eines Versagens widerspiegelt.* [S. 16, 1]

Mithilfe des Bedeutungsbeiwerts wird die Referenz-Erdbebeneinwirkung definiert.

a_{gR} Referenz-Spitzenwert der Bodenbeschleunigung. Die Auswahl der Referenz-Spitzenbodenbeschleunigung, die von den nationalen Behörden für jede Erdbebenzone getroffen wird, entspricht der Referenz-Wiederkehrperiode T_{NCR} der Erdbebeneinwirkung für die Standsicherheitsbedingung (bzw. der Referenz-Überschreitungswahrscheinlichkeit in 50 Jahren P_{NCR})

S Bodenparameter; Er variiert je Baugrundklasse (A bis E) und Spektralform (Typ 1 und Typ 2) zwischen 1,00 und 1,6. Genauere Werte dazu lassen sich in [1], Kapitel 3.2.2.2. finden.

Tabelle 8-4: Minima, Maxima und die betroffenen Flächen der untersuchten Länder [58]

Land	Minimum [m/s ²]	Maximum [m/s ²]	Betroffene Fläche [%]
Österreich	0,00	1,98	20
Deutschland	0,00	1,68	15
Schweiz	0,60	3,14	100
Frankreich	0,00	5,88	60
Italien	0,00	6,40	92
Griechenland	1,28	7,06	100

In Griechenland ist die erdbebengefährdete Fläche 100%. Das lässt sich anhand der Erdbebenkarte mit der Bodenbeschleunigung (Abbildung 8-11) leicht erklären und bestätigt die Tatsache, dass Griechenland ein seismisch äußerst gefährdetes Land ist.

Im Fall der Schweiz lassen sich die 100% betroffener Fläche so erklären, dass davon ausgegangen wird, dass von der Bemessung aller Bauwerke im gesamten Bundesgebiet des Landes auf Erdbebeneinwirkungen ausgegangen werden muss. Laut SIA 261³ weist die Schweiz selbst in der niedrigsten nationalen Zone Z1 einen Bemessungswert der Bodenbeschleunigung a_{gd} (entspricht a_{gR} nach EN 1998-1 [1]) von 0,60 m/s² auf. Multipliziert man diesen Wert mit γ_f^4 von 1, dem geringsten Bedeutungsbeiwert für die Schweiz, und der günstigsten Baugrundkategorie (Baugrundklasse A, $S=1,0$), so liegt dieser Wert deutlich über der in der EN 1998-1 geregelten „sehr geringen Seismizität“ (0,49 m/s²; Abschnitt 3.2.1, EN 1998-1). Diese Grenze gibt im Wesentlichen an, ob gemäß EN 1998-1 die Erdbebeneinwirkungen auf ein Gebäude vernachlässigbar sind oder nicht [58], [1].

³ Die Bezeichnung SIA 261 ist ein Teil der gültigen Schweizer Normung – Serie 260-267 und regelt die Einwirkungen auf Tragwerke [55].

⁴ Der Bedeutungsbeiwert γ_f erlaubt die Abstufung der erforderlichen Zuverlässigkeit je nach Wichtigkeit des zu berechnenden Gebäudes [55].

Nach der obigen Untersuchung und in Anlehnung an Tabelle 8-4 sowie die Erdbebengefährdungskarte (Abbildung 8-11) kommt man zur Schlussfolgerung, dass aus Sicht der Risikobetrachtung 100% der Fläche von Griechenland betroffen ist.

8.6.3 B - Marktanalyse

Die Schritte, die im Kapitel 8.5 beschrieben wurden, werden an dieser Stelle detailliert erläutert (siehe Flussdiagramm, rechte Reihe Abbildung 7-8).

8.6.3.1 B1 - Bauwirtschaft

Zunächst sollen einige Eckdaten einen Einblick in das griechische Wirtschaftsprofil geben (die Daten stammen aus dem Jahr 2012): Das BIP je Einwohner beträgt 20.105 EUR, das Wirtschaftswachstum liegt bei -4,7% und die Investitionsquote beträgt 13,8% [70]. Die wichtigsten Exportländer für Griechenland sind Deutschland, Italien und Zypern, die wichtigsten Importländer sind Deutschland, Italien und Russland [71].

Die griechische Bauwirtschaft befindet sich, ebenso wie die gesamte Wirtschaft Griechenlands, in einer schwierigen Phase. Die Bautätigkeit lässt nach und die Anzahl der öffentlichen Projekte sinkt signifikant infolge des Rückgangs der staatlichen Investitionen. Das statistische Amt EL.STAT⁵ in Athen berichtet, dass 2010 in Griechenland insgesamt 49.974 Baugenehmigungen ausgestellt wurden. Das entsprach einer Fläche von 10,4 Mio. m² und einem Raumvolumen von 37,4 Mio.m³. Diese Daten zeigen eine deutliche Abnahme im Vergleich zum Jahr 2009, wo die Baugenehmigungen um 11%, die Baufläche um 19,9% und das Bauvolumen um 24,1% mehr betragen [67].

Die negativen Auswirkungen der griechischen Wirtschaft auf die Bautätigkeiten setzten sich im Jahr 2011 fort. Der Unterschied zum Jahr 2009 ist hier noch größer. Die Zahlen der Baugenehmigungen sanken um rund 38%, die Größe der Baufläche um rund 48% und das Raumvolumen um 45% [67].

⁵ EL.STAT: nationale statistische Behörde Griechenlands.

Tabelle 8-5: Strukturdaten zur Bauwirtschaft in Griechenland [69]

Strukturdaten zur Bauwirtschaft in Griechenland			
Kennziffer	2009	2010	Veränderung 2010/09
Neu errichtete Wohnungen (in Einheiten)	61.490	52.344	-14,9
Neu errichtete Gebäude (in Einheiten)	27.447	23.380	-14,8
Wert der neu errichteten Gebäude (in Mio. Euro)	433,2	348,1	-19,6
Wert der Erweiterungen an bestehenden Gebäuden (in Mio. Euro)	120,5	96,1	-20,2
Produktionsindex der Bauindustrie (Basis 2005=100), darunter	105,28	72,01	-31,6

Der Rückgang der Bautätigkeit wirkte sich auch auf die gesamte Branchenstruktur aus: Rund 23% der Bauunternehmen mussten seit 2005 ihr Geschäft aufgeben. Im Oktober 2011 gab es ungefähr 1300 Bauunternehmen, wobei 70% des Umsatzes von den größten 30 Gesellschaften erwirtschaftet wurden. Zu bemerken ist auch die starke Abhängigkeit der Firmen von öffentlichen Auftraggebern, denn staatlich geförderte Bauprojekte sind für mehr als 50% der Umsätze verantwortlich [69].

Ausgehend von den bisher erwähnten Eckdaten wird an dieser Stelle versucht eine Prognose für die Marktentwicklung in Griechenland zu geben.

Bevor man in einem Land investiert, sollte man auch dessen künftiges Wirtschaftswachstum berücksichtigen. Wächst der Markt in den kommenden Jahren oder ist eine Stagnation zu erwarten? Das ist eine wichtige Frage für die Strategieplanung eines Unternehmens.

Ein Indikator, der sehr viel über die Wirtschaft eines Landes verrät, ist das reale Bruttoinlandsprodukt. Es bewertet die produzierten Güter und Dienstleistungen eines Jahres mit den Preisen einer bestimmten Basisperiode. Man tut so, als ob sich die Preise nicht geändert hätten. Wenn das reale BIP sich verändert, spiegelt das also die tatsächlichen Mengenänderungen wider [88]. In der folgenden Tabelle 8-7 sieht man in der Statistik, dass nach einer langen Rezession in Griechenland ein minimales Wachstum im Jahr 2014 zu erwarten ist. Die Plus-Zahlen

sprechen für eine langsame, aber wahre Erholung in Griechenland [97]. Es wurden keine Daten zu dem schon erwähnten Produktionsfaktor für die nächsten Jahre gefunden, was die Erstellung einer genauen Prognose erschwert.

Tabelle 8-6: Reales BIP-Wachstum im internationalen Vergleich 2000-2014 [97]

	2009	2010	2011	2012	2013	2014
EU 27	-4,3	+2,1	+1,5	-0,3	+0,4	+1,6
Griechenland	-3,1	-4,9	-7,1	-6,0	-4,2	+0,6
Österreich	-3,8	+2,1	+2,7	+0,8	+0,9	+2,1

8.6.3.2 B2 - Bauvolumen-Marktdynamik

Die elastische Lagerung, die in dieser Arbeit untersucht wurde, ist hauptsächlich für Neubauten konzipiert. Allerdings kann diese konstruktive Lösung mit dem Ziel der Schwingungsdämpfung bei Erdbeben auch für Sanierungsmaßnahmen eingesetzt werden. Ein Nachteil ist dabei der damit verbundene Aufwand und Kostenfaktor. Es ist also von Bedeutung zu wissen, wie viel im zu untersuchenden Land generell gebaut wird.

Informationen über das Bauvolumen des Landes sind wichtig, da sie die Tendenz bzw. den Bedarf der Bevölkerung zeigen. Die Schuldenkrise sorgt dafür, dass in Griechenland weniger gebaut wird. In der Periode März 2011 bis März 2012 wurde beim Bauvolumen ein Einbruch von 27,2% verzeichnet. Gut 50% der Bauarbeiter haben seit 2007 ihre Arbeit verloren. Die Zahl der Baugenehmigungen sinkt nach wie vor, was auf niedrigere Löhne, höhere Arbeitslosigkeit, höhere Steuern und eine rigidere Kreditvergabe zurückzuführen ist [72]. Laut Daten der EL.STAT betrug im August 2012 das gesamte Bauvolumen 1.210 Baugenehmigungen. Das entspricht 265.500 m² Fläche und 1.186.700 m³ Volumen. In der Tabelle 8-7 ist mit -48,2% eine deutliche Verringerung gegenüber 2011 zu sehen. Dasselbe Bild bekommt man, wenn man den Zeitraum September 2011 bis August 2012 dem Vergleichszeitraum der Vorjahre gegenüberstellt (Tabelle 8-8) [73]. In Tabelle 8-9 ist ein starker Rückgang im Bereich privater Bauten zu erkennen. Das EU-Projekt „TABULA“ (Typology Approach for Building Stock Energy Assessment) beschäftigt sich mit Gebäudetypologien und will mithilfe dieser die energetische Bewertung der Gebäudebestände standardisieren, die Energieeinsparpotenziale in den Mitgliedsländern abschätzen und diese vereinfachen. Im europäischen Raum werden die schon vorhandenen Typologien verbessert und aktualisiert. Anschließend ist die Hauptaufgabe dieses Projektes die Entwicklung

eines Webtools mit dem Ziel, den Interessenten aller europäischen Länder die Möglichkeit zu geben, Zugriff auf diese Daten zu bekommen [76].

Laut der neuen Verordnung über die Gesamtenergieeffizienz-Bewertung von Gebäuden in Griechenland (KENAK) werden die Gebäude nach klimatischen Zonen eingeteilt. Im Detail handelt sich hier um vier Zonen (A, B, C und D), die nach den *heating degree days* (HDD) eingeteilt sind: Zone A (601–1100 HDD), Zone B (1101–1600 HDD), Zone C (1601–2200 HDD) und Zone D (2201–2620 HDD) [76].

Da man an diesem Punkt der Arbeit den öffentlichen Bausektor aus der Untersuchung nicht ausschließen kann, ist es interessant zu wissen, wie viel Prozent dieser ausmacht. Im Zuge des EU-Projektes TABULA wurde für Griechenland festgestellt, dass 25% aller Gebäude seit 1990 öffentliche Gebäude sind und in Tabelle 8-10 ist eine ausführliche Liste dieser zu finden. Die Gebäude werden nach Jahr und Funktion in Schulen, Hotels, Büros und Krankenhäuser eingeteilt; danach wiederum in Abbildung 8-13 nach klimatischen Zonen [76]. Für die Marktpotenzialanalyse wäre auch eine Einteilung der Gebäude nach Materialien wichtig. Hierzu konnten allerdings keine aussagekräftigen Daten gefunden werden.

Es muss weiter darauf hingewiesen werden, dass all diese Informationen mit dem Bestand und nicht mit Neubauten zu tun haben. Zum einen kann man daraus eine Tendenz bzw. einen Trend der Bauweise im Land erkennen. Zum anderen ist die Bestandszahl eine wichtige Information im Fall von Sanierungen, da diese Möglichkeit mittels Sylomer® ebenfalls durchgeführt werden könnte, wobei die Ausführung nicht Gegenstand dieser Arbeit ist.

Tabelle 8-7: Gesamte Bautätigkeit für den Monat August in den Jahren 2011 und 2012 [73]

August	Baugenehmigungen	Bebaute Fläche (in 1000) [m ²]	Volumen (in 1000) [m ³]
2011	2335	423,1	1636,4
2012	1210	265,5	1186,7
Rückgang [%]	-48,2	-37,3	-27,5

Tabelle 8-8: Gesamte Bautätigkeit für Sept. 2010 bis Aug. 2011 und Sept. 2011 bis Aug. 2012 [73]

September -August	Baugenehmigungen	Bebaute Fläche (in 1000) [m ²]	Volumen (in 1000) [m ³]
2010-2011	39.853	7.602,7	28.3710,3
2011-2012	29.463	5.254,4	20.028,5
Rückgang [%]	-26,1	-30,9	-29,4

Tabelle 8-9: Private Bauten für Sept. 2010 bis Aug. 2011 und Sept. 2011 bis Aug. 2012 [73]

September -August	Baugenehmigungen	Bebaute Fläche (in 1000) [m ²]	Volumen (in 1000) [m ³]
2010-2011	39.588	7.360,8	27.543,0
2011-2012	29.234	5.062,6	19.223,3
Rückgang [%]	-26,2	-31,2	-30,2

Tabelle 8-10: Anzahl der Einteilung öffentlicher Gebäude [76]

Jahr	Gebäude			
	Öffentliche Gebäude	Schulen	Hotels	Krankenhäus er
Vor 1980	89.352	14.126	3.015	1.566
1981-2000	39.348	700	2.580	117
2001-2010	23.850	750	1.214	59

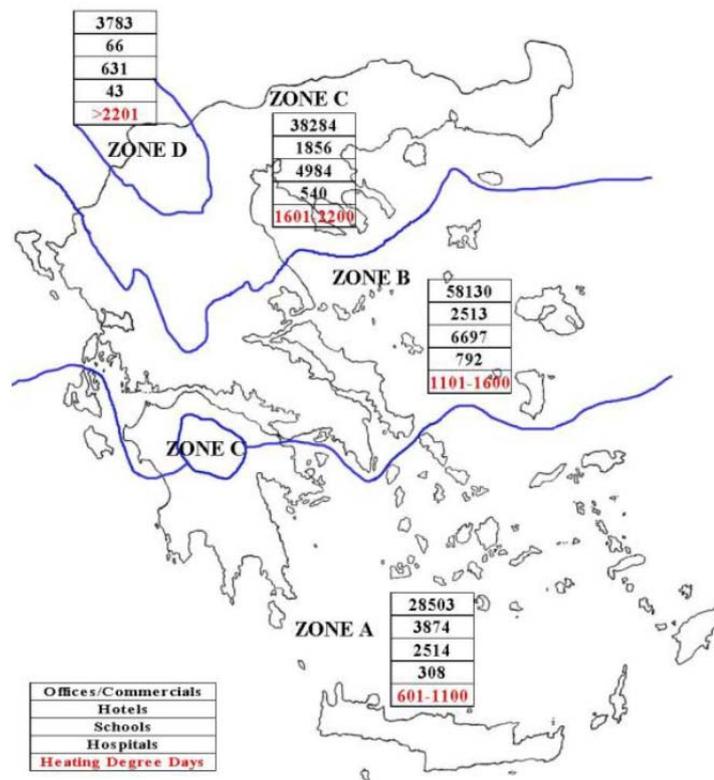


Abbildung 8-13: Einteilung öffentlicher Gebäude nach klimatischen Zonen [76]

In folgender Tabelle 8-11 ist eine Einteilung der Einfamilienhäuser und Mehrfamilienhäuser, deren Außenwandmaterialien sowie die klimatische Zone aufgelistet. Da es sich immer noch um den Bestand handelt, kann das Ganze als eine Trendlinie betrachtet werden. Eine Schwierigkeit ist hier allerdings, dass es sich um Prozentzahlen und nicht um absolute Zahlen handelt (Anmerkung: die Tabellen zu den klimatischen Zonen B, C und D sind im Anhang B zu finden) [76].

Tabelle 8-11: Klimatische Zone A laut TABULA in Griechenland [76]

(%) der Gebäude über den angege- benen Zeitraum	KLIMATISCHE ZONE A																	
	Einfamilienhäuser									Mehrfamilienhäuser								
	bis 1980			1981 - 2000			2001 - 2010			bis 1980			1981 - 2000			2001 - 2010		
	NI	TI	I	NI	TI	I	NI	TI	I	NI	TI	I	NI	TI	I	NI	TI	I
	82	15	3	30	50	20	10	20	70	95	5	0	20	70	10	5	20	75
Wände																		
Mauerwerk	50	30	0	20	25	0	10	5	0	40	5	0	20	10	0	10	5	0
Doppelmauerwerk	20	70	100	70	70	100	10	90	95	60	95	0	80	90	100	90	95	100
Steinmauer	30	0	0	10	5	0	80	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0

NI: Nicht isolierte Gebäude; TI: Teilisolierte Gebäude; I: Isolierte Gebäude

8.6.3.3 B3 - Hochbau als Teil des Gesamtbauvolumens ermitteln

Den nächsten Schritt der Potenzialanalyse stellt die Betrachtung der Hochbauten, insbesondere in Frage kommender Gebäude, wie z. B. 1- oder 2-stöckige Gebäude, dar. Diese Informationen sind in Verbindung mit dem Folge-Kapitel (8.6.3.4) wichtig, um den relevanten Markt zu ermitteln. Die elastische Lagerung gemäß Getzner steht am Beginn des Markteintritts und wie schon im vorhergehenden Abschnitt beschrieben, sollte potenzieller Bedarf ermittelt werden. In dieser Phase des Prozesses ist es wichtig zu wissen, welche Gebäude des gesamten Bauvolumens Teil der Untersuchung sind und den Einsatzkriterien entsprechen.

In Abbildung 8-14 ist der Anteil des Hochbaues in der griechischen Bauwirtschaft als Index im Vergleich zum Jahr 2005 (=100) dargestellt. Der Umsatz im Bau insgesamt stieg von 2007 auf 2008 zunächst an, fiel danach allerdings um gut 47 Punkte bis zum Jahr 2010. Im Hochbau gab es von 2007 auf 2008 nahezu gleichbleibende Umsätze, danach fielen diese aber um etwa 37 Punkte ab. Der Rückgang der Umsätze im Hochbausektor ist daher etwas geringer als im Bau-sektor insgesamt [68].

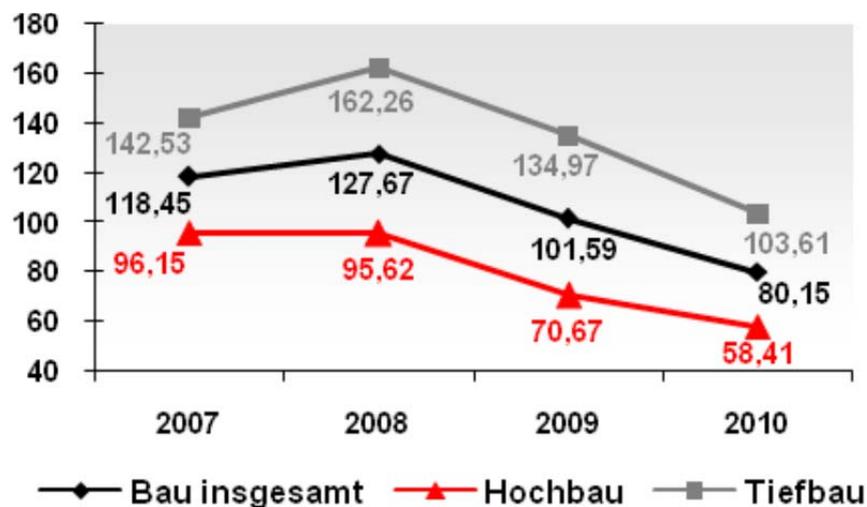


Abbildung 8-14: Umsatzentwicklung Baubranche Griechenland [68]

Relevante Daten für diesen Schnitt der Marktpotenzialanalyse konnten im Projekt NERA gefunden werden. Das Forschungsprojekt „Network of European Research for Earthquake Risk Assessment and Mitigation“ (NERA) begann 2010 im Zuge des 7. Rahmenprogramms (FP7) mit dem Ziel der Vernetzung und des Informationsaustausches zwischen europäischen Erdbebenforschungsinstituten.

In einem Arbeitspaket des Projekts NERA werden Bauwerkseigenschaften zur Charakterisierung des europäischen Gebäudebestands untersucht. Anhand der Datenbankstruktur soll eine vollständige Bewertung der Schadensanfälligkeit bei Erdbebenereignissen möglich sein.

Im Rahmen eines NERA-Workshops wurde im Jahr 2011 in Pavia eine Präsentation der ersten Ergebnisse von verschiedenen Ländern, die am Projekt teilnehmen, gezeigt. Es wurde anhand ausgewählter Städte beispielhaft für die jeweiligen Länder gezeigt, wie eine Gebäude-„Inventar-Datenbank“ funktionieren kann.

Laut Pomonis hat der weitaus größte Teil der Hochbauten in Griechenland 1 Stockwerk, an zweiter Stelle folgen die 2-stöckigen Gebäude [74].

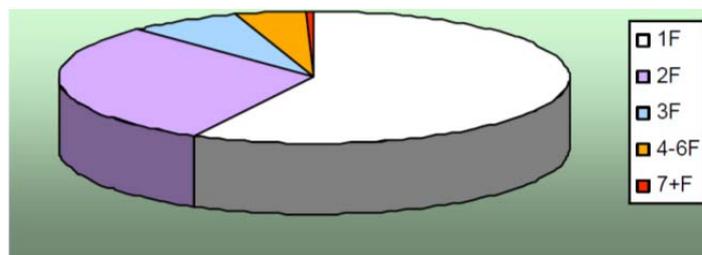


Abbildung 8-15: Anzahl der Stockwerke bei Hochbauten in Griechenland [74]

Im Detail ist die Anzahl der Gebäude in ganz Griechenland 3.990.970 (Stand:2000) [77]. Diese sind folgendermaßen eingeteilt:

- nur Erdgeschoß: 2.310.021
- 1 Stockwerk: 1.194.088
- 2 Stockwerke: 282.044
- 3 bis 5 Stockwerke: 182.335
- 6 Stockwerke oder mehr: 22.482 und
- mit Pilotis⁶: 106.345.

8.6.3.4 B4 - Ziegelbau

Ein entscheidendes Kriterium für den Erfolg der Potenzialanalyse ist das Wissen über den Ziegelbau-Anteil im zu untersuchenden Land. An dieser Stelle wird speziell abgeleitet, wie viele Gebäude aus einem nicht duktilen Material (Ziegel-

⁶ Pilotis: als Pilotis wird eine offene Konstruktion aus Pfeilern im Erdgeschoß bezeichnet.

bau) gebaut sind, da die vorgeschlagene konstruktive Lösung für Ziegelbau untersucht wird.

Der letzte Stand (2009) über den Anteil der Gebäude in Griechenland und ihre Materialien ist in Abbildung 8-16 dargestellt. Es ist eindeutig, dass Mauerwerksbau eine beliebte und oft angewendete Lösung ist [74]. Zu demselben Ergebnis kommt man auch, wenn man die Daten von EL.STAT betrachtet. Hier liegt allerdings die letzte Messung etliche Jahre zurück. Im Jahr 2000 wurden 3.990.970 Gebäude festgestellt [75]. Davon waren:

- Stahlbeton: 1.909.312
- Mauerwerksbau: 1.083.000
- Stein: 891.649
- Stahl: 21.718
- Holzbau: 20.622 und
- Andere Materialien: 56.852

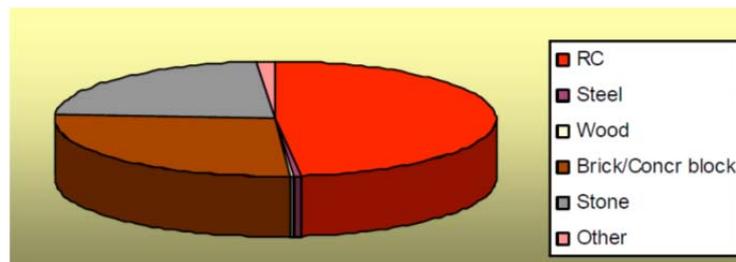


Abbildung 8-16: Einteilung der Materialien von Bauwerken in ganz Griechenland [74]

In [78] haben sich zwei unabhängige Institute, das RMS⁷ und das ATh⁸, auf die Beurteilung der seismischen Gefährdung von Gebäuden in Griechenland spezialisiert, wobei alle gemeinsamen Typologien berücksichtigt werden und der Schwerpunkt auf der Wahrscheinlichkeit eines Zusammenbruchs der Konstruktion liegt. Diese Untersuchungen fanden im Rahmen des Programms PAGER statt und die Länder, die daran teilnahmen, haben sich bereit erklärt, ihre Ergebnisse mit denen von Griechenland zu vergleichen. Ein Teil der Ergebnisse dieser Untersuchung ist in Abbildung 8-17 und Abbildung 8-18 zu sehen. Bei der Betrachtung

⁷ RMS: Risk Management Solutions

⁸ ATh: Aristoteles Universität Thessaloniki

der Ergebnisse muss berücksichtigt werden, dass es in den jeweiligen Ländern Unterschiede in den Bauformen und auch hinsichtlich des wirtschaftlichen sowie des sozialen Status gibt. Hierbei spielt der oben genannte Faktor „Erdbebenrisiko“ eine große Rolle. Zum Beispiel ist die Wahrscheinlichkeit des Zusammenbruchs der Konstruktionen in Nepal und Pakistan sehr hoch im Vergleich zu Deutschland. Diese Ergebnisse, die unten geschildert sind, zeigen eindeutig, wie groß die Gefahr des Zusammenbruchs bei nicht duktilen Bauten im Vergleich zu Stahlbeton-Konstruktionen ist.

Aus der Abbildung 8-17 können Rückschlüsse auf Länderprioritäten gezogen werden, die für eine Marktpotenzialanalyse interessant wären. Da hier die Rede vom europäischen Raum ist, wären Zypern und FYROM von großem Interesse. In Zypern erkennt man laut Abbildung 7-14 eine sehr hohe Einsturzwahrscheinlichkeit bei der Erdbebenstärke 9 (100%!). In 8.7.2 wird diesem Land mehr Aufmerksamkeit geschenkt.

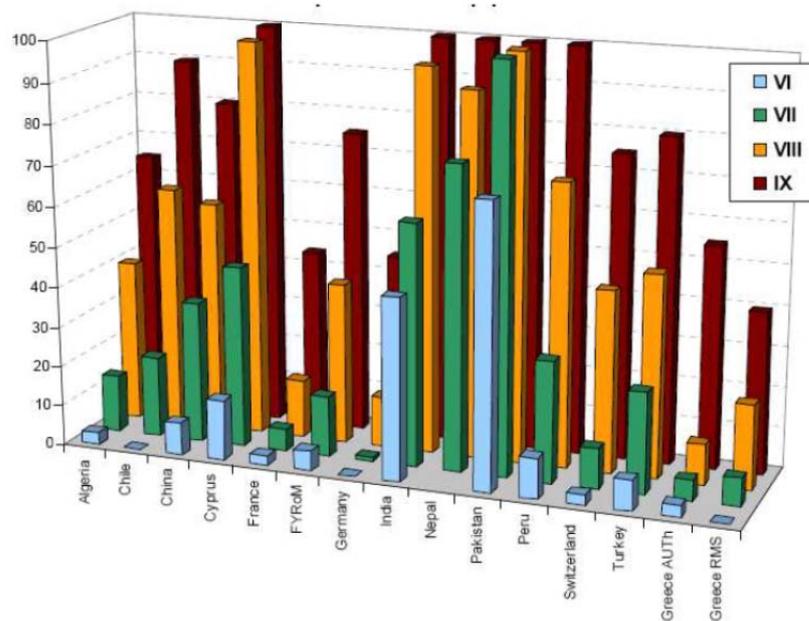


Abbildung 8-17: Wahrscheinlichkeit eines Zusammenbruchs bei Mauerwerk bei unterschiedlichen Erdbebenstärken [78]

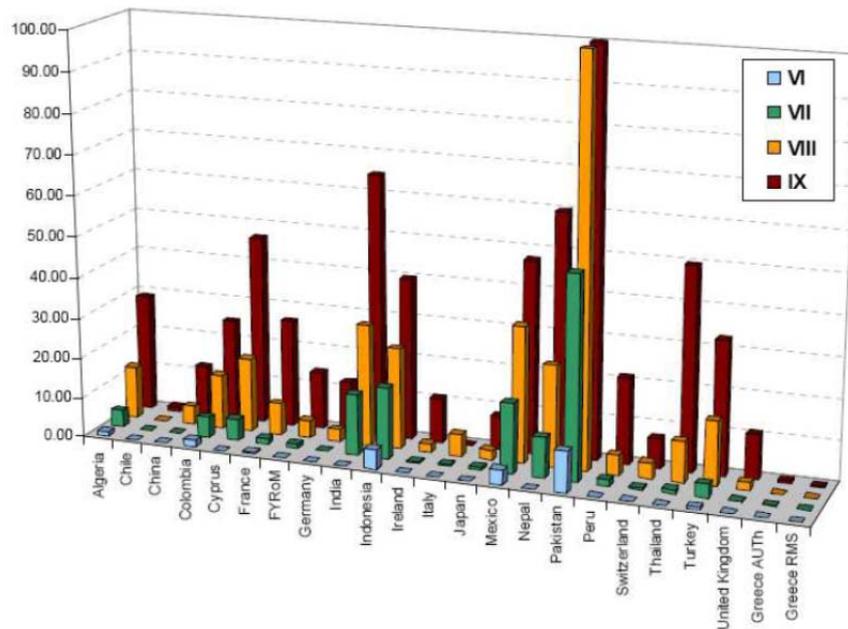


Abbildung 8-18: Wahrscheinlichkeit eines Zusammenbruchs bei Stahlbeton Mauerwerk bei unterschiedlichen Erdbebenstärken [78]

8.6.3.5 B5 - Normativer Hintergrund

In Griechenland ist die normative Regelung für das Erdbeben mit der „EAK 2000“, (Greek Code for Seismic Resistant Structures) festgelegt [54]. Ein nationales Anwendungsdokument für die EN-1998-1 wurde bereits erstellt, aber befindet sich noch in der Testphase [55]. Bis Anfang 2010 wurde dem Tragwerksplaner frei überlassen, welche der beiden Normungen zur Verwendung kommen. Momentan ist die Normungssituation so, dass das nationale Anwendungsdokument zurückgezogen wurde und neu evaluiert wird. Wann es folglich offiziell eingeführt wird, ist zurzeit nicht bekannt.

So wie bei ÖNORM EN 1998-1 gibt es auch bei der griechischen Erdbebennormung eine Einteilung der Bauwerke in Bedeutungskategorien. Die Hochbauten werden in 4 Kategorien eingestuft. Die Zuordnung der Bauwerke ist abhängig von [1]:

- den Folgen eines Einsturzes für das menschliche Leben,
- ihrer Bedeutung für die öffentliche Sicherheit,
- dem Schutz der Bevölkerung unmittelbar nach einem Erdbeben und
- den sozialen und wirtschaftlichen Folgen eines Einsturzes.

Gemäß „EAK 2000“ folgt die Einteilung der Darstellung in Tabelle 8-12.

Tabelle 8-12: Bedeutungskategorien gemäß EAK 2000 [54]

Bedeutungskategorien		γ_I
I	Bauwerke von geringer Bedeutung für die öffentliche Sicherheit, z. B. landwirtschaftliche Bauten usw.	0,85
II	Gewöhnliche Bauwerke, die nicht unter die anderen Kategorien fallen	1,00
III	Bauwerke, deren Widerstand gegen Erdbeben wichtig ist im Hinblick auf die mit einem Einsturz verbundenen Folgen, z. B. Schulen, Versammlungsräume, kulturelle Einrichtungen usw.	1,15
IV	Bauwerke, deren Unversehrtheit während Erdbeben von höchster Wichtigkeit für den Schutz der Bevölkerung ist, z. B. Krankenhäuser, Feuerwachen, Kraftwerke usw.	1,30

Es sollte erwähnt werden, dass die γ -Werte als Bedeutungsbeiwerte zu verstehen sind. Nach denen erfolgt die Einteilung der Bauwerke in Bedeutungskategorien. Die Bedeutungsbeiwerte sollten so ermittelt werden, dass sie einem höheren oder niedrigeren Wert der Wiederkehrperiode der Einwirkung infolge Erdbeben entsprechen [1].

8.6.4 SWOT-Analyse und anschließende Abschätzung des Marktpotenzials

Mithilfe der folgenden SWOT-Analyse (Tabelle 8-13) kann man die wesentlichen Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken des Prozesses zusammenfassen. Die Stärken und Schwächen beziehen sich auf die Vorteile und Nachteile der elastischen Lagerung. Die Chancen und Risiken beschreiben den externen Teil, also das Land, das untersucht wird (Griechenland).

Die Vorteile/Nachteile der elastischen Lagerung sprechen für sich. Es ist ein kostengünstiges Produkt, das einen großen Beitrag zur Erdbebenisolierung leisten könnte. Wie bereits erwähnt, hat Griechenland Bedarf an qualitativen Bauprodukten, die den Wohnstandard und das Sicherheitsgefühl bei Erdbebeneinwirkung erhöhen.

Dem stehen aber der negativ anhaltende Trend bei den Baugenehmigungen und die hohe Arbeitslosigkeit entgegen, die den Neubau in Griechenland nicht begünstigen. Laut Tabelle 8-6 wird erst im Jahr 2014 ein Wirtschaftswachstum erwartet, aber es wird noch dauern, bis sich die Wirtschaft generell erholt.

Tabelle 8-13: SWOT-Analyse für Griechenland

Stärken	Schwächen
<ul style="list-style-type: none"> • Gute Schwingungsisolierung bei kleiner Einfederung • Verlegung von mehreren Lagen übereinander möglich • Sylomer® HD für höchste Ansprüche an Dämpfung • Einfachheit bei dem Einbau • Kostenfaktor • Kein hoher Aufwand bei der Herstellung • Nachgewiesene Wirkung der Lösung durch Simulation • Gute Wirkung in Relation zu den Kosten • „Leistbare“ Investition für einfache Wohnhäuser • Bei Starkbeben ist im Gebäude ein Überleben möglich • Einfache Konstruktion in Relation zu alternativen Lösungen • wartungsfrei 	<ul style="list-style-type: none"> • Teurer Einbau bei Sanierungen • Kein 100%-iger Schutz bei Maximalbeben • Ein limitierter Marktzugang, weil nicht das gesamte Wirksamkeitsspektrum abgedeckt wird • Teilweise unbekannter Baustoff • Keine Referenzen • Derzeit gibt es für diese Lösung keine Regelwerke/Normen, daher mögliche Probleme bei Zulassungen
Chancen	Risiken
<ul style="list-style-type: none"> • Bedarf an dieser Art Isolierung für Erdbeben • Marktdurchdringung möglich • Mauerwerksbau wird viel gebaut 	<ul style="list-style-type: none"> • Wirtschaftskrise • Langsames Wirtschaftswachstum

Der *relevante Markt* der zu konstruierenden Getzner-Lösung (siehe Abbildung 7-8; Flussdiagramm) lässt sich aus beiden Analysen wie folgt definieren:

Aus der Risikoanalyse kommt man zu dem Schluss, dass 100% von Griechenland erdbebengefährdet sind. Anders gesagt, ist ganz Griechenland ein Erdbebengebiet und grundsätzlich müssen alle Bauwerke so bemessen und ausgebil-

det werden, dass sie einer Erdbebeneinwirkung standhalten. Wenn man jetzt die Annahme trifft, dass sich das Verhältnis der bei Neubauten eingesetzten Materialien nicht wesentlich im Vergleich zum Bestand ändert, kann von 25% Mauerwerksbauten im Neubau ausgegangen werden (siehe Kapitel 8.6.3.4). Unter der Berücksichtigung des starken Rückgangs der Baugenehmigungen (Tabelle 8-8) und unter Beobachtung der Entwicklung des BIP-Volumens in Griechenland in den nächsten Jahren beobachtet (man erkennt einen minimalen Zuwachs von +0,6%) kann die Aussage getroffen werden, dass in Bezug auf die Anzahl der Neubauten für die Jahre 2013 und 2014 ein Wachstum von 0,5% erwartet wird. Daraus lässt sich schließen, dass der Markt, für den sich die Getzner Lösung eignet, generell vorhanden ist, aber voraussichtlich in den nächsten zwei Jahren eine Markteinführung sehr schwer sein wird.

8.7 Weitere Kurzbeispiele einer Potenzialanalyse

Im Folgenden werden Länder ausgesucht, die auch im Mittelmeerraum liegen und ebenfalls einer hohen Erdbebengefährdung unterliegen. Es wird eine grobe Übersicht über die relevanten Faktoren gegeben und dazu werden nur Ansätze zu möglichen Potenzialen präsentiert.

8.7.1 Italien

Wie bereits in Kapitel 8.3 erwähnt, ist Italien ein Land mit erhöhter Seismizität. In den letzten Jahren fügten die vielen Erdbeben dem Land enorme Schäden zu. In Abbildung 8-19 sieht man die Einteilung der Erdbebenzonen in Italien. So wie für Griechenland gilt auch hier eine Überschreitungswahrscheinlichkeit von 10% in 50 Jahren. In Anlehnung an Tabelle 8-4 sind 92% des Landes erdbebengefährdet.

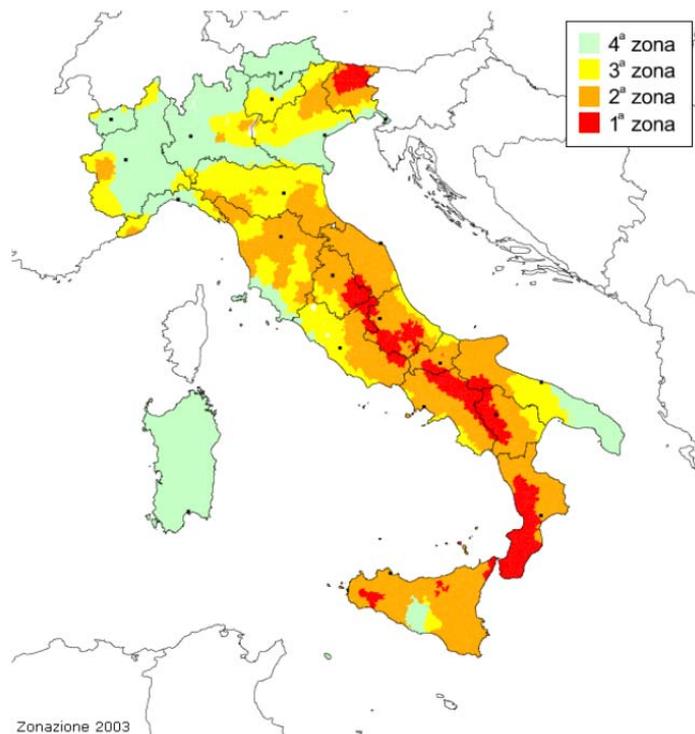


Abbildung 8-19: Erdbebenzonen in Italien [60]

Diese Erdbebenzonen sind nach der auftretenden Spitzenbodenbeschleunigung in $[g]^9$ eingeteilt und es gilt [60]:

⁹ $[g]$ steht für Erdbeschleunigung; $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

- Zone 1: $> 0,25g$
- Zone 2: $0,15g - 0,25g$
- Zone 3: $0,05g - 0,15g$
- Zone 4: $< 0,05g$.

Die folgenden zwei Abbildungen können die Aussage bestätigen, dass Italien einer erhöhten Erdbebengefährdung unterliegt. Basierend auf den Daten der italienischen Statistik (ISTAT) zeigt die Karte, die NERA [91] entnommen wurde, die Anzahl der zusammengestürzten Gebäude in [%] in dem ganzen Land. Daraus lässt sich erkennen, dass ein großer Teil von Italien seismisch belastet ist und die Anzahl der Gebäude, die einstürzen, bedenklich ist.

RISK MAP (collapsed buildings)



Abbildung 8-20: Risikogefährdete Gebiete in Italien [91]

Ähnlich wie bei Griechenland sieht man in Abbildung 8-21 wie groß die Vulnerabilität in Italien ist. Hierbei beschreibt rot eine hohe Empfindlichkeit und blau die weniger empfindlichen Gebiete.

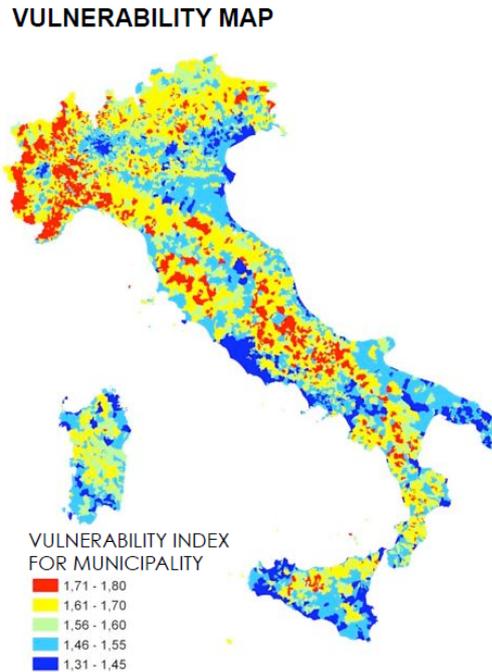


Abbildung 8-21: Verteilung der Vulnerabilität in Italien [91]

In Italien gilt das nationale Dokument „Norme tecniche per le costruzioni“. Diese Norm wurde das letzte Mal im Juli 2009 aktualisiert. Im Dokument wird betont, dass die italienische Norm ein Bestandteil der italienischen Staatsgesetze und über alle internationalen Dokumente zu stellen ist. Wenn aber die durchzuführende Berechnung nicht in der nationalen Norm beinhaltet ist oder in Bezug auf diese Missverständnisse vorliegen, dann sind internationale Normen, wie z. B. Eurocode, zugelassen [55].

Generell liegen folgende Daten für Italien vor: Gebäudebestand 11.226.595 [90] und laut TABULA ist davon Ziegelmauerwerk auf Platz 1, gefolgt von Stahlbeton (Abbildung 8-22).

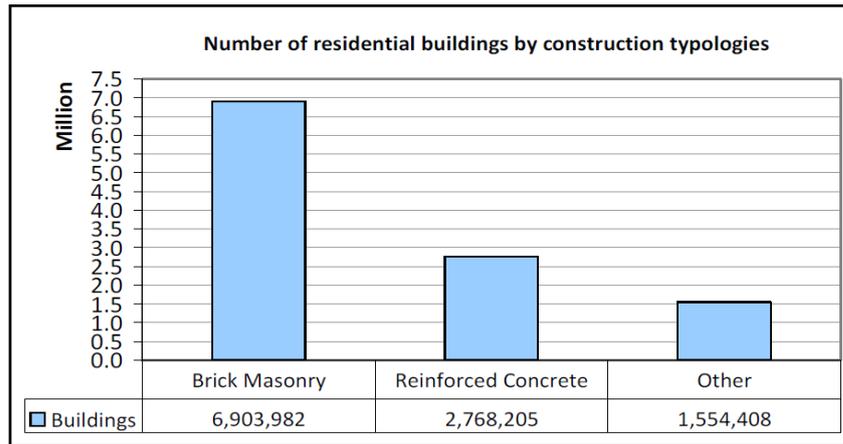


Abbildung 8-22: Einteilung der Gebäude in Italien nach ihren Materialien [90]

Da TABULA als Ziel die energetische Bewertung des Gebäudebestands hat, werden die Gebäude hier in einzelne Elemente „zerlegt“, wie Dach, Wände, Böden, Türen etc. Besonders interessant ist die Einteilung der Wände für eine Potenzialanalyse (Tabelle 8-14), da man eine typische Verteilung der Materialien sehen kann. Für das bessere Verständnis ist im Anhang C die Einteilung der verschiedenen Gebäudetypologien und ihrer Elemente zu finden. Anmerkung dazu: die dritte Spalte in der Tabelle 8-14, mit der Angabe des U-Wertes¹⁰, ist in diesem Zusammenhang nicht relevant.

Analog zu Kapitel 8.6.3.3 ist in Abbildung 8-23 die Anzahl der Stockwerke zu erkennen. Die Einteilung in A, B, C und D bezieht sich auf die Verletzbarkeitsklassen in Italien [91]. Die zeigt, dass Hochbau und Mauerwerksbau einen beachtlichen Anteil in Italien ausmachen.

¹⁰ U-Wert entspricht dem Wärmedurchgangskoeffizienten und wird in $[W/m^2K]$ angegeben.

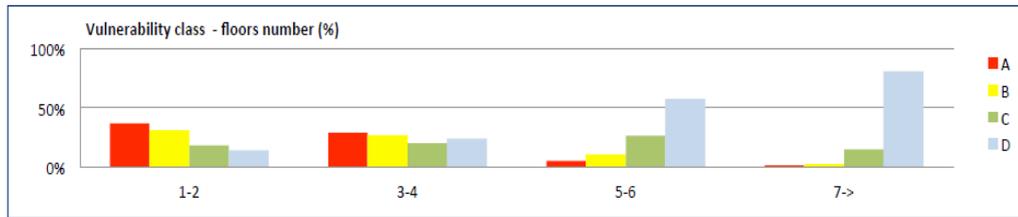
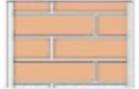
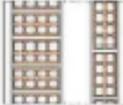
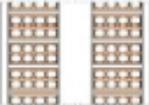
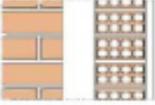


Abbildung 8-23: Anzahl der Stockwerke für Baubestand [91]

All diese Informationen führen zu dem Schluss, dass Italien ein sehr interessantes Land für die Durchführung einer Marktpotenzialanalyse wäre.

Tabelle 8-14: Typische Wände des Gebäudebestands in Italien [90]

WALLS				
DESCRIPTION		PERIOD		U [W/(m ² K)]
		from	to	
	Masonry with lists of stones and bricks (40 cm)	-	1930	1.61
	Masonry with lists of stones and bricks (60 cm)	-	1930	1.19
	Solid brick masonry (25 cm)	1900	1950	2.01
	Solid brick masonry (38 cm)	1900	1950	1.48
	Solid brick masonry (50 cm)	1900	1950	1.14
	Solid brick masonry (62 cm)	1900	1950	1.02
	Hollow wall brick masonry (30 cm)	1930	1975	1.15
	Hollow wall brick masonry (40 cm)	1930	1975	1.10
	Hollow wall brick masonry with solid and hollow bricks (40 cm)	1930	1975	1.26
	Hollow brick masonry (25 cm)	1950	1975	1.76
	Hollow brick masonry (40 cm)	1950	1975	1.26
	Concrete masonry (18 cm)	1955	1975	3.40

8.7.2 Zypern

Laut NERA und Bezug nehmend auf Abbildung 8-17 sieht man, dass Zypern im europäischen Vergleich, ähnlich wie Italien, theoretisch ein erhöhtes Marktpotenzial aufgrund der hohen Erdbebengefährdung aufweist. Ein Hauptkriterium für diese Aussage ist die erhöhte Erdbebengefährdung in Zypern. Viele Publikationen, die sich auf die seismische Aktivität im Raum Zypern spezialisieren, zeigen, dass sieben Erdbeben der Stärke 6 im Zeitraum 1901-1997 stattgefunden haben und dass es etwa 15 stark zerstörerische Erdbeben gab, die die Insel früher trafen. Die meisten dieser Erdbeben hatten ihre Epizentren, geologisch betrachtet, in der Oberfläche, das bedeutet mit $h < 60$ km (tief wäre $60 \text{ km} \leq h \leq 130$ km). In Abbildung 7-24 sind die Epizentren der seichten Erdbeben ($h < 60$ km) auf einer Karte des Gebietes dargestellt. Es sei hier angemerkt, dass die zwei bogenförmigen Linien (dargestellt durch eine gestrichelte Linie), die nördliche Grenze der afrikanischen Lithosphärenplatte in diesem östlichsten Teil des Mittelmeers definieren [98].

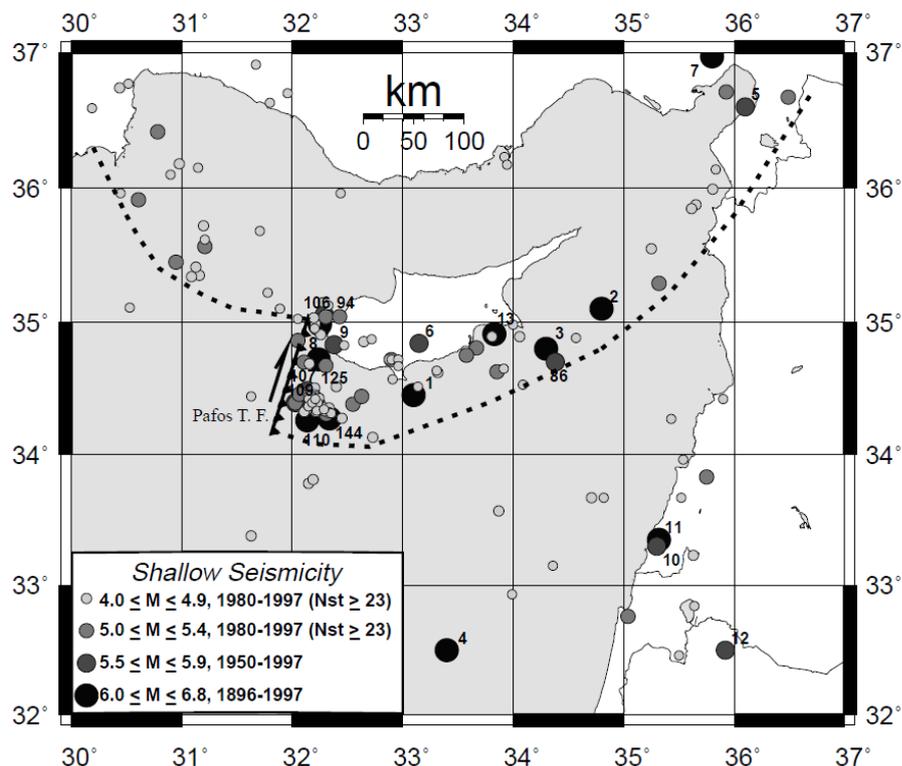


Abbildung 8-24: Die Epizentren von seichten Erdbeben ($h < 60$ km) in Zypern und Umgebung [98]

Analog zu den Erdbebenkarten für Griechenland (Abbildung 8-11) und Italien (Abbildung 8-19) sieht man in Abbildung 7-25 die Zonenkarte für Zypern.



Abbildung 8-25: Erdbebenzonen in Zypern [60]

Zypern hat eine Fläche von 10,000 km². In den letzten 100 Jahren erschütterten das Land 5 großen Erdbeben ($M_S > 6$) [92]. Fakt ist, dass ungefähr 50% der Gebäude nicht dem Stand der Technik entsprechend gegen Erdbebeneinwirkung gebaut sind. Wenn man einen Blick auf den Gebäudebestand wirft, erkennt man sofort, dass im Gegensatz zu den vorher erwähnten Ländern hier der Hauptgebäudetyp aus Stahlbeton besteht. Die statistischen Daten dazu wurden hauptsächlich aus den folgenden Quellen genommen: Statistikamt von Zypern, die örtlichen Verwaltungsbehörden, Cyprus geological survey department.

Generell sind die Gebäude in drei Kategorien eingeteilt [92]:

- Klasse A: Traditionelle Konstruktionen aus Mauerwerk,
- Klasse B: Stahlbeton Konstruktionen ≤ 2 Stockwerke und
- Klasse C: Stahlbeton Konstruktionen > 2 Stockwerke.

Die folgende Abbildung schildert die Situation in der Hauptstadt Nikosia.

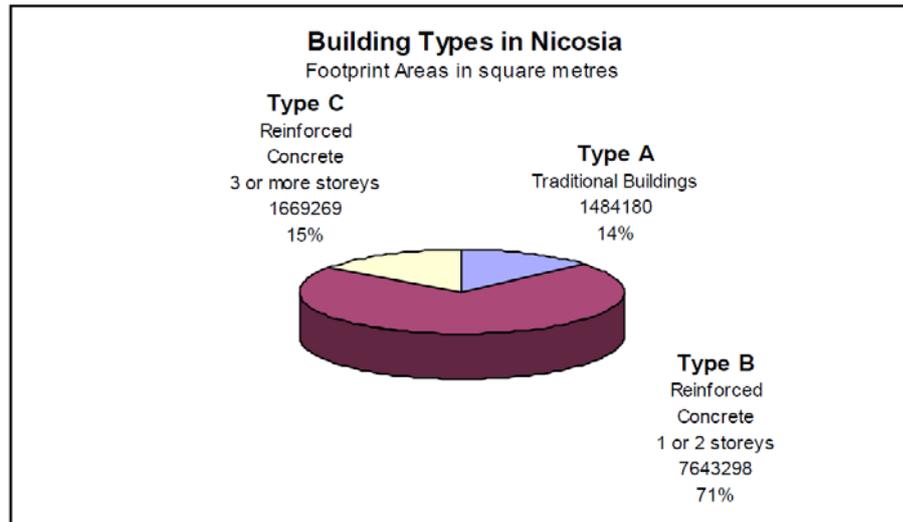


Abbildung 8-26: Einteilung der Gebäudeklassen in Nikosia [92]

Zypern ist auch nicht von der Wirtschaftskrise verschont geblieben. Die Eckdaten für Zypern laut Eurostat zeigen ein schwaches reales BIP. Nach dem Jahr 2010 hat sich das reale BIP im Vergleich zum Jahr 2012 immer mehr verschlechtert. Wie aus Abbildung 8-27 hervorgeht, ist die Prognose für die Jahre 2013 und 2014 nicht positiv [98].

Laut den Daten des Statistischen Amtes in Zypern (YSTAT), die man über die Anzahl der Baugenehmigungen bekommt, erkennt man einen Rückgang, wenn man den Zeitraum Januar bis September in den Jahren 2011 und 2012 vergleicht. In Zahlen gesprochen wurden die Baugenehmigungen von 4.079 auf 3.337 verringert [100]. In Abbildung 8-26 ist der Unterschied zu den bereits erwähnten Ländern deutlich dargestellt. Der Bedarf an konstruktiven Maßnahmen in Puncto Erdbebeneinwirkung wäre vorhanden, allerdings ist der Markt absolut gesehen sehr klein im Vergleich zu Griechenland oder Italien und laut Wirtschaftsprognosen ist seine Entwicklung langsamer als in anderen südeuropäischen Staaten.

8.7.3 Wachstumsrate des BIP in den untersuchten Ländern

In Abbildung 8 – 28 ist das reale BIP von allen Ländern, die in der Arbeit behandelt wurden (zum Vergleich auch Österreich), dargestellt. Wie schon bereits erklärt, ist das Bruttoinlandsprodukt (BIP) ein Maß der wirtschaftlichen Aktivität eines Landes. Durch die Berechnung der jährlichen Wachstumsrate des BIP-Volumens wird der Vergleich der ökonomischen Entwicklung zwischen Ländern unterschiedlicher Größe ermöglicht [99]. Das reale Bruttoinlandsprodukt beschäftigt sich mit der Entwicklung der Preise.

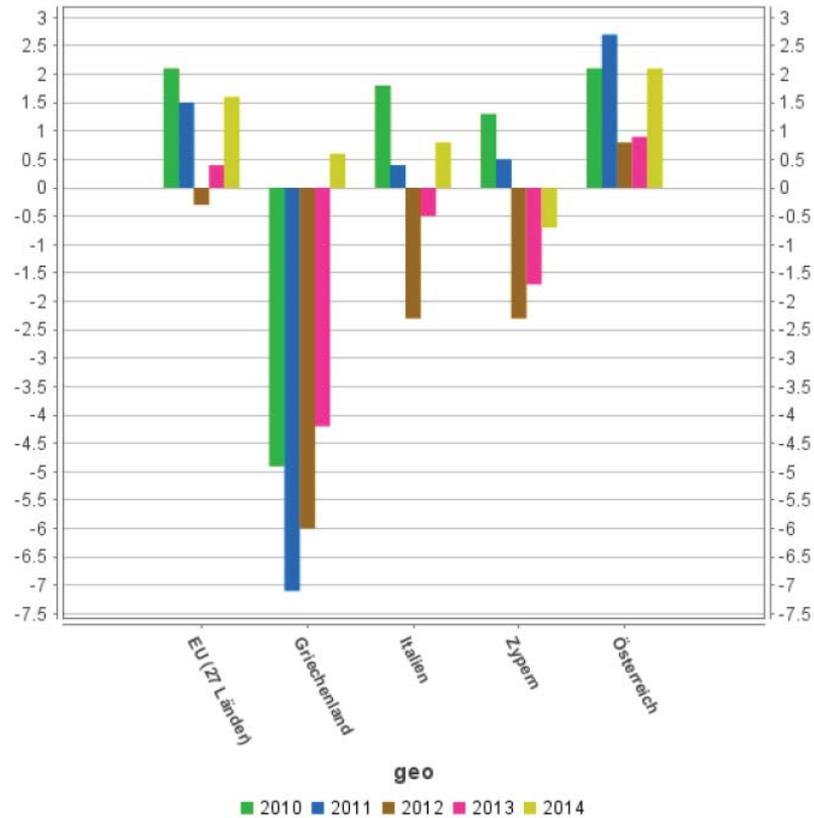


Abbildung 8-27: Wachstumsrate des realen BIP – Volumen für Griechenland, Italien und Österreich [99]

In Abbildung 8-27 sieht man, dass Griechenland bereits 2010 negative Zahlen aufwies. Die Statistik zeigt, dass Griechenland im Vergleich zur EU im Jahr 2011 den größten Tiefpunkt erreichte. Dagegen wiesen Italien und Zypern erst im Jahr 2012 eine geschrumpfte Wirtschaftsleistung auf. Die schwache Wirtschaftskraft bleibt in allen drei Ländern auch 2013 erhalten, die sich zwar gegenüber dem Vorjahr verbessert, aber der Statistik nach deutlich im negativen Bereich bleibt. Allerdings kann Griechenland der Prognose zufolge im Jahr 2014 mit einem Aufschwung rechnen. Diese positive Wendung in der griechischen Krise, die nach den Berechnungen der europäischen statistischen Behörde Eurostat erwartet wird, zeigt, dass die ökonomische Situation im Land längerfristig geändert wird und aus jetziger Sicht nicht getätigte Investitionen nachgeholt werden.

9 Zusammenfassung und Ausblick

9.1 Zusammenfassung

Im Zentrum dieser Arbeit steht die Untersuchung der Verbesserung der Tragsicherheit von unbewehrten Mauerwerksbauten unter dem Einsatz von Elastomerlagern bei Erdbebeneinwirkung. Im Auftrag der Firma Getzner sind hier zwei Gebiete betrachtet worden, und zwar ein konstruktiver und ein wirtschaftlicher Part.

Zu Beginn lassen sich allgemeine Grundlagen finden, die in die Thematik des Erdbebeningenieurwesens einführen (Kapitel 2). In weiterer Folge wird der Begriff „base isolation“ erklärt und es werden einige derzeit angewendete Maßnahmen, hauptsächlich zur Basisisolierung, präsentiert. Es werden aktuelle Entwicklungen im Bereich der Erdbebenschutzsysteme für Hochbauten (Kapitel 3) vorgestellt. In Kapitel 4 sind die Grundlagen für die Bemessung im Fall von Erdbebeneinwirkung dargestellt. Kapitel 5 setzt sich mit dem Tragverhalten und den unterschiedlichen Versagensmechanismen von unbewehrten Mauerwerksbauten unter Scheibenbeanspruchung auseinander. Hier wird außerdem ein Überblick über zwei Modelle für Schadensbilder gegeben: Das Makromaterialmodell von Ganz [43] und das von Lu [30] erweiterte und modifizierte Modell.

Kapitel 6 sorgt für eine Einführung in das Gebiet der Basisisolierung mittels elastischer Lagerung. Die Werkstoffeigenschaften des Elastomers werden, mit besonderem Augenmerk auf die elastische Lagerung der Firma Getzner, Sylomer®, dargestellt. Es werden Überlegungen zur konstruktiven Ausbildung in der Lagerfuge zwischen Elastomerlager und Mauerwerk gemacht.

Kapitel 7 schließt den konstruktiven Teil ab, indem anhand einer Sensitivitätsanalyse der positive Einfluss der elastischen Lagerung durch Sylomer® gezeigt wird. Die hier durchgeführten Untersuchungen bauen auf den numerischen Simulationen aus [103] auf. Als erstes wurden die unterschiedlichen Materialeigenschaften aus bestehender Literatur entnommen und angepasst. Es wurden drei Wandscheibenmodelle mittels statischem und dynamischem nichtlinearem Verfahren in Ansys untersucht. Bei allen drei Wandscheiben war Sylomer-HRB3000 mit einem Verlustfaktor von 50% eingebaut. In beiden Verfahren sind die vertikalen Spannungen der Modelle mit und ohne Elastomerlager analysiert worden und mithilfe des Zusatzpaketes „Multiplas“, das auf dem Ganz-Modell

[105] basiert, kann aus den Rissbildern die Versagensart der Wandscheiben gelesen werden. Aufgrund der Ergebnisse der statischen nichtlinearen Untersuchung wird ein Trend gezeigt, welcher einen Beweis für die positive Wirkung des Einsatzes des Sylomers® im Fundamentbereich der untersuchten Wandscheiben zeigt. Es wurden die Wandscheiben 4, 5 und 6 in Kombination mit den Materialien 1, 3 und 4 analysiert. Material 4 zeigte aufgrund seiner geringen Steifigkeit ein ungünstiges Verhalten im Vergleich zu den anderen zwei Materialien. Für die Zeitverlaufsberechnung sind drei spektrum-konforme Zeitverläufe benutzt worden. Zum Schluss werden die wesentlichen Erkenntnisse aus der Untersuchung der Wände 5 und 6 betrachtet und diskutiert. Daraus lässt sich schließen, dass sich das Tragverhalten durch den Einbau der elastischen Lagerung Sylomer® im Fundamentbereich wesentlich verbessert hat. Bei Wand 5 mit dem Material 1 und Zeitsignal 2 wurde eine Verbesserung gegenüber der Wandscheibe ohne Elastomer um 92% gezeigt, gefolgt von Wand 6 mit dem Material 3 bei Zeitsignal 1 mit 54% und Wand 6 mit Material 1 bei Zeitsignal 1 mit 31% Verbesserung der Tragfähigkeit.

Des Weiteren ist im Kapitel 8 der wirtschaftliche Teil zu finden. Es handelt sich um eine Marktpotenzialanalyse. Der Leitgedanke dabei war es, ein Modell zu entwerfen, das das Eindringen der Getzner-Lösung in einen neuen Markt ermöglichen kann. Ziel sind dabei erdbebengefährdete Regionen, in denen nicht duktile Materialien häufig zum Einsatz kommen. Im Rahmen dieser Masterarbeit wurde bewusst der Europäische Raum ausgesucht, da der Zugriff zu Informationen leichter ist. Es wurde ein Modell einer Vorgehensweise vorgestellt und beschrieben. Anhand dieses Modells wird gezeigt, wie man an eine Marktpotenzialanalyse herangeht. Der Gedanke dahinter ist, dass diese Schritte überall anwendbar sind; unter Einbezug der jeweiligen Datenquellen eines Landes. Die Marktpotenzialanalyse lässt sich in die Risiko- und Marktanalyse teilen, um zum Schluss das Marktpotenzial in dem jeweiligen Land abschätzen zu können. Allerdings gibt es bei der Risikoanalyse viele Faktoren, die die ganze Angelegenheit beeinflussen können, wie z. B. die Normung, die im jeweiligen Land gilt. Diese könnte beispielsweise gewisse Anforderungen stellen, die die Getzner-Lösung nicht erfüllen kann. Folglich wäre zu untersuchen, wie man weitermachen kann. Ist es möglich, in dem jeweiligen Land trotzdem zu investieren? Der Teil, der sich mit der Berechnung des geschätzten Potenzials in Euro und mit einer möglichen Konkurrenzanalyse auseinandersetzt, wird hier nicht behandelt, da es im Rahmen einer firmeninternen Kalkulation durchgeführt wird. Zum besseren Verständnis ist die Potenzialanalyse für das Land Griechenland durchgeführt. Aus der Bearbeitung

aller Kriterien der Risiko- und Marktanalyse lässt sich schließen, dass ganz Griechenland auf erdbebengefährdetem Gebiet liegt und 25% der Neubauten aus Mauerwerk bestehen. Dieses Ergebnis bedeutet, dass ein relevanter Markt für die Getzner-Lösung vorhanden wäre. Als weitere Kurzbeispiele für die Durchführung einer Marktpotenzialanalyse dienen die Länder Italien und Zypern.

9.2 Ausblick und Anregung

In der vorliegenden Arbeit wurden bei der Untersuchung der Wandscheibenmodelle als Parameter unterschiedliche Materialeigenschaften bei Mauerwerk und unterschiedliche Wandgeometrie analysiert.

Für das Erdbebeningenieurwesen sind der *Einfluss der lokalen Geologie und Topografie auf die Bebenintensität, das Deformations- und Festigkeitsverhalten des Untergrundes bei Erdbeben (inkl. Böschungsstabilität)* und die *Wechselwirkung zwischen Boden und Bauwerk* wichtige Faktoren für eine *erdbebengerechte Ausbildung von Foundationen und Stützkonstruktionen* [8]. Das bedeutet, dass ein Parameter, der im Rahmen der numerischen Simulation noch untersucht werden soll, die Bodensteifigkeit wäre. Des Weiteren wäre es sinnvoll, die in Kapitel 6 diskutierten Ergebnisse aus der Simulation [103] mit deren experimentellen Erdbebenprüfungen zu vergleichen.

Trotz der positiven Meldungen aus [25], was die Wirkung der Elastomere angeht, blieben einige Fragen offen. Hier wurden Elastomere in jeder Lagerfuge eingebaut. Das ist aufwendig, teuer und unrealistisch. Was für eine Auswirkung hätte also ihr Einsatz nur in der untersten Fuge? Die Arbeit hat sich auf eine Art Mauersteine, die Porenbetonsteine, konzentriert. Ein Vergleich mit anderen Ziegelqualitäten wäre von großer Bedeutung für die Weiterentwicklung des Sylo-mers®. Als letztes wurde festgestellt, dass der Epoxidharzklebstoff für eine gute Verbindung zwischen den Materialien sorgt. Wie wäre die Auswirkung anderer Mörtelarten?

Die genauen Einsatzgebiete der in dieser Arbeit zu konstruierenden Getzner-Lösung werden hier noch nicht auf bestimmte Erdbebenzonen eingeschränkt, da sich unterschiedliche konstruktive Lösungen für unterschiedliche Bodenbeschleunigungen besser oder schlechter eignen. Dies ist aber im Detail zu untersuchen, da eine Produktabstufung, die von der Erdbebenkarte bzw. Bodenbeschleunigung abhängig ist, empfehlenswert wäre. Der Vorteil besteht darin, dass z. B. für kleine Bodenbeschleunigungen günstigere Produkte entwickelt werden könnten.

Anhang A - Begriffsklärung

In diesem Kapitel werden die wichtigsten Begriffe, die zum besseren Verständnis der vorliegenden Arbeit dienen, behandelt.

Abstimmfrequenz:

Als Abstimmfrequenz wird die niedrigste vertikale Eigenfrequenz eines elastisch-gelagerten Systems (z. B. Gebäude) bezeichnet. Die Schwingungsisolierung ist besser bzw. höher, je tiefer die Abstimmfrequenz ist [27].

Dissipation:

Umwandlung von Energie.

Einfederung:

Die Einfederung wird in mm angegeben und beschreibt die „Zusammendrückung“ bzw. den Weg einer Feder, hier Elastomer, den sie unter Druckbelastung (Pressung) erfährt [27].

Federkennlinie:

Die Federkennlinie ist das Resultat einer analytischen Verknüpfung einer Last z. B. Kraft F , Moment M mit der entsprechenden lastspezifischen Auslenkungsdifferenz z. B. Weg s , zwischen den Lastangriffsstellen [26]. Der Verlauf der Linie wird durch den Werkstoff und die Gestalt der Feder beeinflusst. Ihre Steigung wird Federrate genannt. Folgende Arten der Federkennlinie gibt es:

- Progressive Federkennlinie: die Kennlinie der Feder besitzt einen zunehmenden Gradienten, d. h. die Federrate steigt mit zunehmender Last.
- Degressive Federkennlinie: Diese Federkennlinie hat einen abnehmenden Gradienten. In diesem Fall nehmen die Steifigkeit, die Federrate und der Steigungswinkel bei zunehmender Last ab.
- Lineare Federkennlinie: Hier ist die Federrate konstant.

Formfaktor:

Der Formfaktor q spielt eine wichtige Rolle für die Bemessung von unbewehrten Elastomerlagern und ergibt das Verhältnis der gedrückten Fläche zur Umfassungsfläche des Lagers. In der Abbildung A-1 ist die Definition des Formfaktors für drei verschiedene Formen zu erkennen [7].

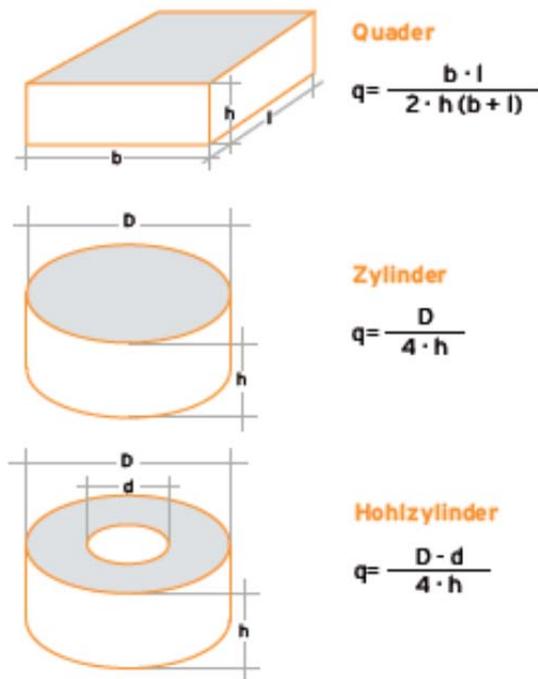


Abbildung A-1: Formfaktor q [7]

Frequenzverhältnis β :

Es ist das Verhältnis zwischen Erregerfrequenz (ω) und Eigenfrequenz (ω_0) [8].

Hysteresediagramm:

Wenn ein Bauteil durch eine zeitlich veränderte Kraft beansprucht wird, so erfährt er eine Verformung. Der Zusammenhang zwischen Kraft und Verformung wird durch das Hysteresediagramm wiedergegeben. Die Fläche, die von der Hysteresekurve eingeschlossen ist, wird als die Dämpfungsarbeit verstanden [8].

Lehrsches Dämpfungsmaß D :

Die Dämpfung eines freien Schwingers mit einer geschwindigkeitsproportionalen Dämpfung wird durch das Lehrsche Dämpfungsmaß D beschrieben [27]. (Prozentsatz der kritischen Dämpfung)

Mauerstein:

Der Mauerstein ist ein vorgeformtes Element zur Verwendung im Mauerwerksbau [38].

Mörtelfugen:

Lagerfuge: „Mörtelschicht zwischen den Lagerflächen von Mauersteinen.“

Stoßfuge: Mörtelfuge senkrecht zu der Lagerfuge und zu der Wandoberfläche.

Längsfuge: innerhalb einer Wand vertikal und parallel zur Wandoberfläche verlaufende Mörtelfuge“ [37]

Resonanz:

Systeme, die eine geringe Dämpfung besitzen, haben die maximale Schwingungsantwort bei Frequenzverhältnis nahe bei $\beta=1$. Bei $\beta=1$, tritt Resonanz auf [8]. In anderen Worten: wenn die Erregerfrequenz gleich der Eigenfrequenz des Systems ist, dann spricht man von Resonanz.

Schubmodul [N/mm²]:

Die Elastomerlager können Schubspannungen aufnehmen. Das Verhältnis zwischen Schubspannung und horizontaler Auslenkung des Elastomers wird als Schubmodul definiert [27].

Schubspannung [N/mm²]:

Die Schubspannung ergibt sich durch die Division der Schubkraft durch die Fläche des Elastomers [27].

Schwingungen:

Schwingungen sind Vorgänge, bei denen sich physikalische Größen, z.B. Beschleunigungen, Kräfte etc., in Abhängigkeit von der Zeit ändert [27]. In der Schwingungslehre wird hauptsächlich zwischen deterministischen Schwingungen und Zufallsschwingungen unterschieden. Als deterministische Schwingungen werden folgende vier bezeichnet:

- harmonische Schwingungen
- quasi-harmonische Schwingungen
- periodische Schwingungen
- quasi-periodische Schwingungen.

Die Zufallsschwingungen werden in stationäre und nichtstationäre Schwingungen unterteilt [8].

Steifigkeit:

Der Widerstand eines Elastomers gegen Verformung durch eine Kraft wird mithilfe der Steifigkeit dargestellt [27]. Sie kann mittels Kraft-Wegmessung beschrieben werden. Die Steilheit einer Kraft-Wegkurve entspricht der Steifigkeit und sie ist von der Belastungsgeschwindigkeit abhängig.

Verlustfaktor η :

Der Faktor entspricht dem Anteil der Dämpfungsarbeit bezogen auf die maximale Energie [19].

Verhaltensbeiwert q :

In [1] lässt sich für den Verhaltensbeiwert folgende Definition finden:

„Beiwert, der bei der Bemessung zur Reduzierung der durch lineare Berechnung ermittelten Kräfte verwendet wird, um der nichtlinearen Antwort eines Tragwerks in Abhängigkeit von Baustoff, Tragsystem und dem verwendeten Bemessungsverfahren Rechnung zu tragen“.

Mit anderen Worten beschreibt er die Verformungstragfähigkeit der Tragwerke und beinhaltet die zunehmenden Dämpfungseffekte bei nichtlinearem Materialverhalten[36]. In der folgenden Tabelle sind die Verhaltensbeiwerte für Mauerwerk laut Eurocode 8 dargestellt [1].

Tabelle A-1: Verhaltensbeiwert q [1]

Buwerkstyp	Verhaltensbeiwert q
Unbewehrtes Mauerwerk nach EN 1996 (empfohlen nur in Fällen geringer Seismizität)	1,5
Unbewehrtes Mauerwerk nach EN 1998-1	1,5 bis 2,5
Eingefasstes Mauerwerk	2,0 bis 3,0
Bewehrtes Mauerwerk	2,5 bis 3,0

Anhang B - Klimatische Zonen

Tabelle A-2: Klimatische Zone B laut TABULA in Griechenland [76]

(%) der Gebäude über den angege- benen Zeitraum	KLIMATISCHE ZONE B																	
	Einfamilienhäuser									Mehrfamilienhäuser								
	bis 1980			1981 - 2000			2001 - 2010			bis 1980			1981 - 2000			2001 - 2010		
	NI	TI	I	NI	TI	I	NI	TI	I	NI	TI	I	NI	TI	I	NI	TI	I
	70	25	5	10	60	30	5	10	85	90	9	1	20	60	20	1	20	79
Wände																		
Mauerwerk	30	30	0	10	10	0	10	5	0	30	10	0	20	10	0	10	5	0
Doppelmauerwerk	50	60	100	80	90	100	10	90	95	70	90	100	80	90	100	90	95	100
Steinmauer	20	10	0	10	0	0	80	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0

NI: Nicht isolierte Gebäude; TI: Teilisolierte Gebäude; I: Isolierte Gebäude

Tabelle A-3: Klimatische Zone C laut TABULA in Griechenland [76]

(%) der Gebäude über den angege- benen Zeitraum	KLIMATISCHE ZONE C																	
	Einfamilienhäuser									Mehrfamilienhäuser								
	bis 1980			1981 - 2000			2001 - 2010			bis 1980			1981 - 2000			2001 - 2010		
	NI	TI	I	NI	TI	I	NI	TI	I	NI	TI	I	NI	TI	I	NI	TI	I
	70	25	5	10	60	30	5	10	85	90	9	1	20	60	20	1	10	79
Wände																		
Mauerwerk	30	30	0	10	10	0	10	5	0	30	10	0	20	10	0	10	5	0
Doppelmauerwerk	50	60	100	80	90	100	10	90	95	70	90	100	80	90	100	90	95	100
Steinmauer	20	10	0	10	0	0	80	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0

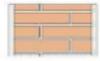
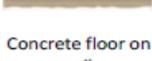
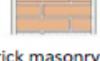
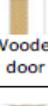
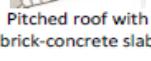
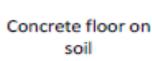
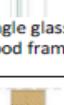
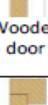
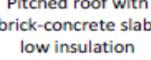
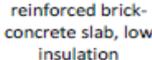
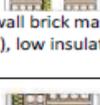
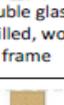
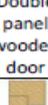
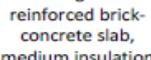
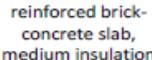
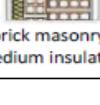
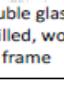
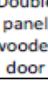
NI: Nicht isolierte Gebäude; TI: Teilisolierte Gebäude; I: Isolierte Gebäude

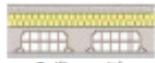
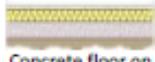
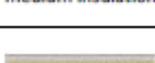
Tabelle A-4: Klimatische Zone D laut TABULA in Griechenland [76]

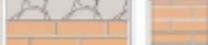
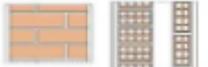
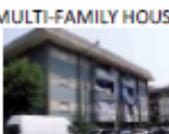
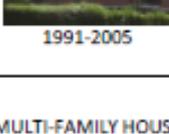
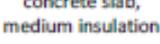
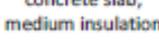
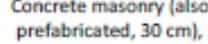
(%) der Gebäude über den angege- benen Zeitraum	KLIMATISCHE ZONE D																	
	Einfamilienhäuser									Mehrfamilienhäuser								
	bis 1980			1981 - 2000			2001 - 2010			bis 1980			1981 - 2000			2001 - 2010		
	NI	TI	I	NI	TI	I	NI	TI	I	NI	TI	I	NI	TI	I	NI	TI	I
	75	20	5	10	65	25	5	10	85	85	14	1	15	65	20	1	20	79
Wände																		
Mauerwerk	30	20	0	20	10	5	0	10	10	0	40	10	30	10	0	10	5	0
Doppelmauerwerk	10	30	100	60	75	95	10	70	90	60	90	100	70	90	100	90	95	100
Steinmauer	60	50	0	30	20	80	20	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

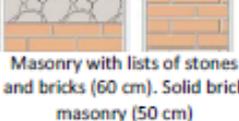
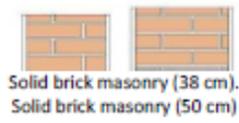
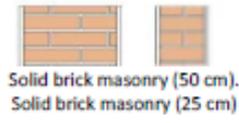
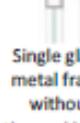
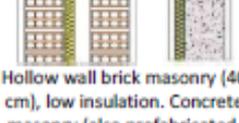
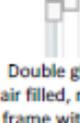
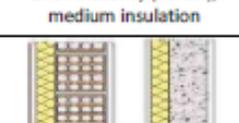
NI: Nicht isolierte Gebäude; TI: Teilisolierte Gebäude; I: Isolierte Gebäude

Anhang C - Gebäudetypologie Italien

Building-type	ROOFS/CEILINGS ⁽¹⁾	FLOORS	WALLS	WINDOWS	DOORS
 <p>SINGLE-FAMILY HOUSE up to 1900</p>	 <p>Pitched roof with wood structure and planking</p>	 <p>Concrete floor on soil</p>	 <p>Masonry with lists of stones and bricks (40 cm)</p>	 <p>Single glass, metal frame without thermal break</p>	 <p>Wooden door</p>
 <p>SINGLE-FAMILY HOUSE 1901-1920</p>	 <p>Pitched roof with wood structure and planking</p>	 <p>Concrete floor on soil</p>	 <p>Masonry with lists of stones and bricks (40 cm)</p>	 <p>Single glass, metal frame without thermal break</p>	 <p>Wooden door</p>
 <p>SINGLE-FAMILY HOUSE 1921-1945</p>	 <p>Pitched roof with wood structure and planking</p>	 <p>Concrete floor on soil</p>	 <p>Solid brick masonry (38 cm)</p>	 <p>Single glass, wood frame</p>	 <p>Wooden door</p>
 <p>SINGLE-FAMILY HOUSE 1946-1960</p>	 <p>Pitched roof with brick-concrete slab</p>	 <p>Concrete floor on soil</p>	 <p>Solid brick masonry (38 cm)</p>	 <p>Single glass, wood frame</p>	 <p>Wooden door</p>
 <p>SINGLE-FAMILY HOUSE 1961-1975</p>	 <p>Pitched roof with brick-concrete slab</p>	 <p>Concrete floor on soil</p>	 <p>Hollow brick masonry (40 cm)</p>	 <p>Single glass, wood frame</p>	 <p>Wooden door</p>
 <p>SINGLE-FAMILY HOUSE 1976-1990</p>	 <p>Pitched roof with brick-concrete slab, low insulation</p>	 <p>Floor with reinforced brick-concrete slab, low insulation</p>	 <p>Hollow wall brick masonry (40 cm), low insulation</p>	 <p>Double glass, air filled, wood frame</p>	 <p>Double panel wooden door</p>
 <p>SINGLE-FAMILY HOUSE 1991-2005</p>	 <p>Ceiling with reinforced brick-concrete slab, medium insulation</p>	 <p>Floor with reinforced brick-concrete slab, medium insulation</p>	 <p>Hollow brick masonry (40 cm), medium insulation</p>	 <p>Double glass, air filled, wood frame</p>	 <p>Double panel wooden door</p>

Building-type	ROOFS/CEILINGS ⁽¹⁾	FLOORS	WALLS	WINDOWS	DOORS
<p>SINGLE-FAMILY HOUSE</p>  <p>After 2005</p>	 <p>Ceiling with reinforced brick-concrete slab, high insulation</p>	 <p>Concrete floor on soil, high insulation</p>	 <p>Honeycomb bricks masonry (high thermal resistance), high insulation</p>	 <p>Low-e double glass, air or other gas filled, wood frame</p>	 <p>Double panel wooden door</p>
<p>TERRACED HOUSE</p>  <p>Up to 1900</p>	 <p>Pitched roof with wood structure and planking</p>	 <p>Vault floor with solid bricks</p>	 <p>Masonry with lists of stones and bricks (40 cm)</p>	 <p>Single glass, wood frame</p>	 <p>Wooden door</p>
<p>TERRACED HOUSE</p>  <p>1901-1920</p>	 <p>Pitched roof with wood structure and planking</p>	 <p>Concrete floor on soil</p>	 <p>Masonry with lists of stones and bricks (40 cm)</p>	 <p>Single glass, wood frame</p>	 <p>Wooden door</p>
<p>TERRACED HOUSE</p>  <p>1921-1945</p>	 <p>Flat ceiling with hollow bricks and steel beams</p>	 <p>Concrete floor on soil</p>	 <p>Solid brick masonry (25 cm)</p>	 <p>Single glass, wood frame</p>	 <p>Wooden door</p>
<p>TERRACED HOUSE</p>  <p>1946-1960</p>	 <p>Pitched roof with brick-concrete slab</p>	 <p>Floor with reinforced brick-concrete slab</p>	 <p>Hollow wall brick masonry (30 cm)</p>	 <p>Single glass, wood frame</p>	 <p>Wooden door</p>
<p>TERRACED HOUSE</p>  <p>1961-1975</p>	 <p>Flat roof with reinforced brick-concrete slab</p>	 <p>Concrete floor on soil</p>	 <p>Hollow brick masonry (40 cm)</p>	 <p>Single glass, wood frame</p>	 <p>Wooden door</p>
<p>TERRACED HOUSE</p>  <p>1976-1990</p>	 <p>Pitched roof with wood structure and planking, low insulation</p>	 <p>Floor with reinforced brick-concrete slab, low insulation</p>	 <p>Hollow wall brick masonry (40 cm), low insulation</p>	 <p>Double glass, air filled, wood frame</p>	 <p>Double panel wooden door</p>
<p>TERRACED HOUSE</p>  <p>1991-2005</p>	 <p>Ceiling with reinforced brick-concrete slab, medium insulation</p>	 <p>Floor with reinforced brick-concrete slab, medium insulation</p>	 <p>Hollow brick masonry (40 cm), medium insulation</p>	 <p>Double glass, air filled, wood frame</p>	 <p>Double panel wooden door</p>
<p>TERRACED HOUSE</p>  <p>After 2005</p>	 <p>Ceiling with reinforced brick-concrete slab, high insulation</p>	 <p>Concrete floor on soil, high insulation</p>	 <p>Honeycomb bricks masonry (high thermal resistance), high insulation</p>	 <p>Low-e double glass, air or other gas filled, wood frame</p>	 <p>Double panel wooden door</p>

Building-type	ROOFS/CEILINGS ⁽²⁾	FLOORS	WALLS	WINDOWS	DOORS
<p>MULTI-FAMILY HOUSE</p>  <p>Up to 1900</p>	 <p>Vault ceiling with solid bricks</p>	 <p>Vault floor with solid bricks</p>	 <p>Masonry with lists of stones and bricks (60 cm)</p>	 <p>Single glass, wood frame</p>	 <p>Wooden door</p>
<p>MULTI-FAMILY HOUSE</p>  <p>1901-1920</p>	 <p>Ceiling with wood beams and hollow bricks</p>	 <p>Vault floor with bricks and steel beams</p>	 <p>Masonry with lists of stones and bricks (60 cm). Solid brick masonry (38 cm)</p>	 <p>Single glass, wood frame</p>	
<p>MULTI-FAMILY HOUSE</p>  <p>1921-1945</p>	 <p>Ceiling with reinforced concrete</p>	 <p>Floor with reinforced concrete</p>	 <p>Solid brick masonry (38 cm). Hollow wall brick masonry (30 cm)</p>	 <p>Single glass, wood frame</p>	
<p>MULTI-FAMILY HOUSE</p>  <p>1946-1960</p>	 <p>Ceiling with reinforced brick-concrete slab</p>	 <p>Floor with reinforced brick-concrete slab</p>	 <p>Solid brick masonry (38 cm). Solid brick masonry (25 cm)</p>	 <p>Single glass, wood frame</p>	
<p>MULTI-FAMILY HOUSE</p>  <p>1961-1975</p>	 <p>Ceiling with reinforced brick-concrete slab</p>	 <p>Floor with reinforced brick-concrete slab</p>	 <p>Hollow wall brick masonry (30 cm). Hollow brick masonry (25 cm)</p>	 <p>Single glass, wood frame</p>	
<p>MULTI-FAMILY HOUSE</p>  <p>1976-1990</p>	 <p>Ceiling with reinforced brick-concrete slab, low insulation</p>	 <p>Floor with reinforced brick-concrete slab, low insulation</p>	 <p>Hollow brick masonry (25 cm), low insulation</p>	 <p>Double glass, air filled, metal frame without thermal break</p>	
<p>MULTI-FAMILY HOUSE</p>  <p>1991-2005</p>	 <p>Ceiling with reinforced brick-concrete slab, medium insulation</p>	 <p>Floor with reinforced brick-concrete slab, medium insulation</p>	 <p>Hollow wall brick masonry (30 and more), medium insulation. Concrete masonry (also prefabricated, 30 cm), medium insulation</p>	 <p>Low-e double glass, air or other gas filled, wood frame</p>	
<p>MULTI-FAMILY HOUSE</p>  <p>After 2005</p>	 <p>Ceiling with reinforced brick-concrete slab, high insulation</p>	 <p>Floor with reinforced brick-concrete slab, high insulation</p>	 <p>Honeycomb bricks masonry (high thermal resistance), high insulation. Concrete masonry (also prefabricated), high insulation</p>	 <p>Low-e double glass, air or other gas filled, wood frame</p>	

Building-type	ROOFS/CEILINGS ⁽¹⁾	FLOORS	WALLS	WINDOWS	DOORS
<p>APARTMENT BLOCK</p>  <p>Up to 1900</p>	 <p>Ceiling with wood beams and hollow bricks</p>	 <p>Vault floor with solid bricks</p>	 <p>Masonry with lists of stones and bricks (60 cm). Solid brick masonry (50 cm)</p>	 <p>Single glass, wood frame</p>	-
<p>APARTMENT BLOCK</p>  <p>1901-1920</p>	 <p>Vault ceiling with bricks and steel beams</p>	 <p>Vault floor with bricks and steel beams</p>	 <p>Solid brick masonry (38 cm). Solid brick masonry (50 cm)</p>	 <p>Single glass, wood frame</p>	-
<p>APARTMENT BLOCK</p>  <p>1921-1945</p>	 <p>Flat ceiling with hollow bricks and steel beams</p>	 <p>Floor with hollow bricks and steel beams</p>	 <p>Solid brick masonry (50 cm). Solid brick masonry (25 cm)</p>	 <p>Single glass, metal frame without thermal break</p>	-
<p>APARTMENT BLOCK</p>  <p>1946-1960</p>	 <p>Ceiling with reinforced brick-concrete slab</p>	 <p>Floor with reinforced brick-concrete slab</p>	 <p>Hollow wall brick masonry (30 cm). Concrete masonry (18 cm)</p>	 <p>Single glass, wood frame</p>	-
<p>APARTMENT BLOCK</p>  <p>1961-1975</p>	 <p>Ceiling with reinforced brick-concrete slab</p>	 <p>Floor with reinforced brick-concrete slab</p>	 <p>Hollow wall brick masonry (40 cm). Hollow brick masonry (40 cm)</p>	 <p>Single glass, wood frame</p>	-
<p>APARTMENT BLOCK</p>  <p>1976-1990</p>	 <p>Ceiling with reinforced brick-concrete slab, low insulation</p>	 <p>Floor with reinforced brick-concrete slab, low insulation</p>	 <p>Hollow wall brick masonry (40 cm), low insulation. Concrete masonry (also prefabricated, 18 cm), low insulation</p>	 <p>Double glass, air filled, metal frame without thermal break</p>	-
<p>APARTMENT BLOCK</p>  <p>1991-2005</p>	 <p>Ceiling with reinforced brick-concrete slab, medium insulation</p>	 <p>Floor with reinforced brick-concrete slab, medium insulation</p>	 <p>Concrete masonry (also prefabricated, 30 cm), medium insulation. Hollow brick masonry (40 cm), medium insulation</p>	 <p>Double glass, air filled, metal frame with thermal break</p>	-
<p>APARTMENT BLOCK</p>  <p>After 2005</p>	 <p>Ceiling with reinforced brick-concrete slab, high insulation</p>	 <p>Floor with reinforced brick-concrete slab, high insulation</p>	 <p>Honeycomb bricks masonry (high thermal resistance), high insulation. Concrete masonry (also prefabricated), high insulation</p>	 <p>Low-e double glass, air or other gas filled, wood frame</p>	-

Notes:

⁽¹⁾ The ceiling is considered instead of the roof when the boundary of the upper floor (attic space) is a conditioned space.

Literaturverzeichnis

- [1] Österreichisches Normungsinstitut, ÖNORM EN 1998-1, Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben. Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten, konsolidierte Fassung, Ausgabe: 2011-06-15.
- [2] Bridgestone, Seismic Base Isolation System; Url: http://www.bridgestone.com/products/diversified/antiseismic_rubber/method.html, letzter Zugriff am 13.09.2012.
- [3] Mordini A., Strauss A.: An innovative earthquake isolation system using fibre reinforced rubber bearings; in: Engineering Structures 30 (2008), Heft 10, S. 2739-2751.
- [4] Elmenhorst: Lagern und Entkoppeln, Bauspezialartikel; Url: <http://www.elmenhorst.de/index.php?content=produkte.html&ap=1&produkte=1&HG=Lagern/Entkoppeln&OG=1>, letzter Zugriff am 13.09.2012.
- [5] Gohl, W., Spies K. H. und 4 Mitautoren: Elastomere-, Dicht- und Konstruktionswerkstoffe. Gummitechnik, Richtlinien und Anwendungsbeispiele für Konstruktion und Praxis, Band 5; Renningen: Expert 2003.
- [6] Zenunović A.: Einsatz von elastischer Lagerung im Hochbau bei Erdbebenbelastung; Masterarbeit TU Graz, Mai 2010.
- [7] Getzner Werkstoffe GmbH; Produktunterlagen: Werkstoffeigenschaften und Schwingungsisolation: Technische Informationen.
- [8] Flesch R.: Baudynamik Praxisgerecht – Band 1, Berechnungsgrundlagen; Wiesbaden: Bauverlag 1993.
- [9] Kurup N.: Mathematical modeling of fibre reinforced carbon-black filled elastomers. INDEPTH Dokument DP-TR-IK-2-08. European Project INDEPTH.

- [10] Dorfmann L., Burtscher S.: Anisotrope Gummilager für die Erdbebenisolation von Brücken. Versuche am Rütteltisch; in: Schweizer Ingenieur und Architekt 117 (1999) Heft 45, S. 8-12.
- [11] Baur M.: Elastomerlager und nichtlineare Standorteffekte bei Erdbebenwirkung; Dissertation an Fakultät Bauingenieur-, Geo- und Umweltwissenschaften der Universität Fridericiana zu Karlsruhe (TH) 2003.
- [12] Gerhaher U., Strauss A., K. Bergmeister.: Effektivität eines Erdbebenisolationssystems für Hochbauten mittels faserbewehrter Elastomerlager; in: Bautechnik 86 (2009), Heft 1, S. 14-21.
- [13] Maurer Söhne: Erdbebensicherung im Hochbau: Onassis-House und Akropolis-Museum; Pressemitteilung-Juli 2005; Url: http://www.maurer-soehne.de/files/bauwerkschutzsysteme/pdf/de/news/MAU_PR_Athen_0705.pdf, letzter Zugriff am 18.09.2012.
- [14] Getzner Werkstoffe GmbH: Produktunterlagen: Elastische Lagerung von Gebäuden.
- [15] Structural Engineers Association of Northern California: Creating Innovative Technology, Url: <http://www.celebratingeqsafety.com/new-technologies.html>, letzter Zugriff am 18.09.2012.
- [16] Bachmann H.: Erdbebenertüchtigung des Feuerwehrgebäudes in Basel durch schwimmende Lagerung; in: Bautechnik 86 (2009), Heft 8, S. 480-489.
- [17] Bertsche B., Haas W.: Kennwertermittlung für die FEM-Simulation - Hauptfach-, Spezialisierungsfach- und APMB-Versuch; Institut für Maschinenelemente, Uni Stuttgart 2011.
- [18] Stommel M., Stojek M., Korte W.: FEM zur Berechnung von Kunststoff- und Elastomerbauteilen; München: Carl Hanser Verlag 2011.
- [19] Nauerz A.: Dynamisches Verhalten viskoelastischer Werkstoffe; Forschungsbericht, Fachhochschule Jena 2010.
- [20] Magnus K., Popp K.: Schwingungen; 7. Auflage, Wiesbaden: Teubner Verlag 2005.

- [21] Bachmann H.: Erdbebensicherung von Bauwerken; 2 überbearb. Aufl. - Basel; Boston; Berlin: Birkhäuser Verlag 2002.
- [22] Hongling S., Weiling D.: Research and Development of Seismic Base Isolation Technique for Civil Engineering Structures; in: 2010 International Conference on E-Product E-Service and E-Entertainment, Henan, China, 7-9 Nov. 2010, S. 609-615.
- [23] Moon B.-Y., Kang G.-J., Kang B.-S., Kelly J. M.: Design and manufacturing of fiber reinforced elastomeric isolator for seismic isolation; Journal of Materials Processing Technology, 130–131 (2002) S. 145–150.
- [24] Getzner Werkstoffe GmbH; Produktunterlagen: Werkstoffübersicht.
- [25] Aldoghaim E.: Verbesserung der seismischen Kapazität von Mauerwerkswänden durch Verwendung von Elastomerlagern; Universität Kassel, Dissertation, Januar 2011.
- [26] Steinhilper W., Sauer B. (Hrsg.): Konstruktionselemente des Maschinenbaus 1. Grundlagen der Berechnung und Gestaltung von Maschinenelementen; 8 Auflage, Berlin, Heidelberg: Springer 2012.
- [27] Getzner Werkstoffe GmbH: Glossar. Url: <http://www.getzner.com/downloads/glossar/>, letzter Zugriff am 25.9.2012.
- [28] Tsai H.-C.: Compression stiffness of infinite-strip bearings of laminated elastic material interleaving with flexible reinforcements; in: International Journal of Solids and Structures 41 (2004) S. 6647–6660.
- [29] Baunetz Wissen, Mauerwerk-Beanspruchung und Tragverhalten; Url: http://www.baunetzwissen.de/standardartikel/Mauerwerk_Trugverhalten-von-Mauerwerk_162716.html, letzter Zugriff am 25.09.2012.
- [30] Lu S.: Evaluierung der Erdbebensicherheit von unbewehrten Mauerwerkshochbauten des Katastrophenmanagements; TU Wien, Dissertation, April 2006.
- [31] Zilch K., Scheufler W.: Vorlesungsskript Mauerwerksbau; Technische Universität München, 2009.

- [32] Meskouris K., Hinzen K., Butenweg C., Mistler M.: Bauwerke und Erdbeben: Grundlagen-Anwendung-Beispiele; 2. erweiterte und aktualisierte Auflage, Wiesbaden: Vieweg & Sohn Verlag 2007.
- [33] Ventura C.E., Finn W.D.L., Lord J.-F., Fujita N.: Dynamic characteristics of a base isolated building from ambient vibration measurements and low level earthquake shaking; in: Soil Dynamics and Earthquake Engineering 23 (2003) S. 313–322.
- [34] Buchanan A.H. et al: Base Isolation and Damage-Resistant Technologies for Improved Seismic Performance of Buildings. A report written for the Royal Commission of Inquiry into Building Failure Caused by the Canterbury Earthquakes; University of Canterbury, Christchurch, August 2011.
- [35] Hussain S., Lee D., Retamal E.: Viscous damping for base isolated structures; Url: <http://www.taylordevices.com/Tech-Paper-archives/literature-pdf/36-ViscousDamping.pdf>, letzter Zugriff am 26.09.2012.
- [36] Verband der chemischen Industrie e.V.: Erläuterungen zum Leitfaden-Der Lastfall Erdbeben im Anlagenbau; Frankfurt, Mai 2009.
- [37] Schlöglmann K. H.: Mauerwerksbau; Skripten, Institut für Betonbau-Technische Universität Graz, S-3-04/2006.
- [38] Österreichisches Normungsinstitut, ÖNORM EN 1996-1-1, Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten. Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk, Ausgabe: 2009-11-15.
- [39] Baunetz Wissen, Mauerwerk; Url: http://www.baunetzwissen.de/standardartikel/Mauerwerk_Ringanker-und-Ringbalken_162742.html, letzter Zugriff am 01.10.2012.
- [40] Seltenhammer A, Bucher C. In: D-A-CH Mitteilungsblatt-Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik; 2010 (85) S. 2-9; Url: http://www.sgeb.ch/dach_mitteilungsblatt/DACH_Mitteilungsblatt_10_9.pdf, letzter Zugriff am 02.10.2012.
- [41] Gerhaher U.: Faserverstärkte Elastomerlager-Konzeption und Bemessung; Universität für Bodenkultur Wien, Dissertation, August 2010.

- [42] Mistler M.: Verformungsbasiertes seismisches Bemessungskonzept für Mauerwerksbauten; Fakultät für Bauingenieurwesen der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, Dissertation, Oktober 2006.
- [43] Schlegel R.: Numerische Berechnung von Mauerwerkstrukturen in homogenen und diskreten Modellierungsstrategien; Institut für Konstruktiven Ingenieurbau, Bauhaus-Universität Weimar, Dissertation, November 2004.
- [44] Unika GmbH: Kalksandstein – Bemessung und Ausführung von Mauerwerk; Bundesverband Kalksandsteinindustrie eV, Hannover, Januar 2007; Url: <http://www.unika-kalksandstein.de/media/statik.pdf>, letzter Zugriff am 05.10.2012.
- [45] Burton P.W., Xu Y., Qin C., Tselentis G.A., Sokos E.: A catalogue of seismicity in Greece and the adjacent areas for the twentieth century; *Tectonophysics* 390 (2004) S. 117–127.
- [46] Karaiskakis G.F., Papazachos C.B.: Seismology in Greece: a report; Url: http://geophysics.geo.auth.gr/new_web_site_2007/download_files/IASPE_I_giorgos.pdf, letzter Zugriff am 11.10.2012.
- [47] Crete innovative region (CRINNO); Url: http://emeric.ims.forth.gr/Seismic_Risk_Crete.pdf, letzter Zugriff am 12.10.2012.
- [48] Grünthal G.: Erdbeben und Erdbebengefährdung in Deutschland sowie im europäischen Kontext.-*Geographie und Schule* 2004 (151) S. 14-23; Url: <http://edoc.gfz-potsdam.de/gfz/get/6993/0/f6e0b968a8b599941e08995f5305b677/6993.pdf>, letzter Zugriff am 12.10.2012.
- [49] Pelliccione M.: L' Aquila - Ein Augenzeugenbericht; Url: <http://www.proholz.at/zuschnitt/36/laquila-ein-augenzeugenbericht/>, letzter Zugriff am 15.10.2012.
- [50] Süddeutsche.de: Erdbeben erschüttert Tokio. 2. Januar 2012; Url: <http://sz.de/1.1247790>, letzter Zugriff am 16.10.2012.

- [51] Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen: Berücksichtigung von Erdbebenbelastungen nach DIN 19700 in Nordrhein-Westfalen. Merkblatt 58; Essen 2006; Url:
<http://www.lanuv.nrw.de/veroeffentlichungen/merkbl/merk58/merk58.pdf>, letzter Zugriff am 16.10.2012.
- [52] Bundesamt für Wasser und Geologie: Beurteilung der Erdbebensicherheit bestehender Gebäude. Konzept und Richtlinien für die Stufe 3.-Wegleitungen des BWG; Erste Fassung, Biel 2005; Url:
https://www.google.at/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&cad=rja&ved=0CEoQFjAD&url=http%3A%2F%2Fwww.bafu.admin.ch%2Ferdbeben%2F07641%2F07647%2Findex.html%3Flang%3Dde%26download%3DNHzLpZeg7t%2Clnp6I0NTU042l2Z6ln1acy4Zn4Z2qZpnO2Yuq2Z6gpJCEdIN2gmym162epYbg2c_JjKbNoKSn6A--&ei=O2M8UYKqF8T6PIOYgMAI&usg=AFQjCNFshZ0sAi3z-V45leX0TUSa8R7WJQ&sig2=hslYOdYDTQf1Pc4k_r-Eng&bvm=bv.43287494,d.ZWU, letzter Zugriff am 16.10.2012.
- [53] Office of the United Nations Disaster Relief Co-Ordinator: Natural Disasters and Vulnerability Analysis; Report of Expert Group Meeting (9-12 July 1979), Genf 1980; Url:
<http://www.preventionweb.net/files/resolutions/NL800388.pdf>, letzter Zugriff am 17.10.2012.
- [54] Greek Code for Earthquake Resistant Structures-EAK 2000; Organization for Earthquake Resistant Planning and Protection, Ministry of Environment Planning and Public Works, Greece.
- [55] Ringhofer A.: Erdbebennormung in Europa und deren Anwendung auf Wohnbauten in Holz-Massivbauweise; Institut für Holzbau und Holztechnologie Technische Universität Graz; Masterarbeit; November 2010.
- [56] Staatliches Mitteilungsblatt Griechenland, 12 August 2003; Url:
http://www.elinyae.gr/el/lib_file_upload/1154B_03.pdf, letzter Zugriff am 17.10.2012.

- [57] Nationales Griechisches Anwendungsdokument Eurocode EN 1998 - Design of structures for earthquake resistance - Part 1- general rules, seismic actions and rules for buildings, Greek national annex.
- [58] Ringhofer A., Schickhofer G.: Erdbebennormung in Europa und deren nationale Auslegungen; 9. Grazer Holzbau-Fachtagung; Url: https://online.tugraz.at/tug_online/voe_main2.getVollText?pDocumentNr=208464&pCurrPk=59925, letzter Zugriff am 23.10.2012.
- [59] Renault P.: Bewertungsverfahren zur Beurteilung der Erdbebensicherheit von Brückenbauwerken; Fakultät für Bauingenieurwesen der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, Dissertation, März 2007.
- [60] Solomos G., Pinto A., Dimova S.: A review of the seismic hazard zonation in national building codes in the context of eurocode 8. Support to the implementation, harmonization and further development of the Eurocodes, Luxemburg 2008; Url: <http://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/doc/EUR23563EN.pdf>, letzter Zugriff am 19.10.2012.
- [61] Marktpotenzialanalyse; Url: http://imihome.imi.uni-karlsruhe.de/nmarktpotenzialanalyse_b.html, letzter Zugriff am 23.10.2012.
- [62] Marktpotenzial; Url: <http://www.fuergruender.de/wissen/existenzgruendung-planen/markt/marktpotenzial/>, letzter Zugriff am 23.10.2012.
- [63] SWOT-Analyse; Url: <http://www.innovationsmethoden.info/files/method/SWOT%20Analyse.pdf>, letzter Zugriff am 24.10.2012.
- [64] Dorffmeister L., Gluch E.: Europäische Baunachfrage: Nach dramatischem Einbruch Verschnaufpause im Jahr 2011; ifo Schnelldienst 64 (2011) Heft 14 S. 37-42; Url: https://www.google.at/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ad=rja&ved=0CD4QFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.cesifo-group.de%2Fportal%2Fpls%2Fportal%2Fifo_applications.switches.DocLinkIfoDL%3FgetDoc%3Difosd_2011_14_4.pdf&ei=Fmc8UYIhhcc8qoGBuA4&usq=AFQjCNG8ktegjZORcJNqclepISI8GMsfBw&sig2=X1cQETH-

- U0Ahm0tKtKGOZw&bvm=bv.43287494,d.ZWU, letzter Zugriff am 25.10.2012.
- [65] Wienerberger: Geschäftsbericht 2011; Url: http://www.wienerbourse.at/berichte/1/8091_gb_2011.pdf, letzter Zugriff am 25.10.2012.
- [66] WIFO: Presseinformation - Erholung der europäischen Bauwirtschaft; Url: [http://www.wifo.ac.at/wwa/downloadController/displayDbDoc.htm?item=P_2011_11_16\\$.PDF](http://www.wifo.ac.at/wwa/downloadController/displayDbDoc.htm?item=P_2011_11_16$.PDF), letzter Zugriff am 25.10.2012.
- [67] Germany Trade and Invest: Griechenland-Bauwirtschaft; Url: http://www.gtai.de/GTAI/Content/DE/Trade/Fachdaten/PUB/2011/12/pub201112058015_16524.pdf, letzter Zugriff am 25.10.2012.
- [68] Außenwirtschaft Österreich (AWO): Exportbericht Griechenland - Stand April 2011; Url: <http://www.auwi-bayern.de/awp/inhalte/Laender/Anhaenge/Exportbericht-Griechenland.pdf>, letzter Zugriff am 25.10.2012.
- [69] Dimitriu P., Karakostas C., Lekidis V.: The Athens (Greece) earthquake of 7 September 1999: The event, its effects and the response; Institute of Engineering Seismology and Earthquake Engineering (ITSAK).
- [70] Wirtschaftsprofil Griechenland; Url: <http://wko.at/statistik/eu/wp-griechenland.pdf>, letzter Zugriff am 2.11.2012.
- [71] Export und Import von Griechenland; Url: <http://www.europa-auf-einen-blick.de/griechenland/export.php>, letzter Zugriff am 2.11.2012.
- [72] Solid - Wirtschaft und Technik am Bau: Griechischer Bau bricht um ein Drittel ein; Url: http://www.solidbau.at/home/artikel/Schuldenkrise/Griechischer_Bau_bricht_um_ein_Drittel_ein/aid/11515?analytics_from=archiv , letzter Zugriff am 05.11.2012.
- [73] Hellenic Statistical Authority (EL.STAT); Url: http://www.statistics.gr/portal/page/portal/ESYE/BUCKET/A1302/PressReleases/A1302_SOP03_DT_MM_08_2012_01_P_GR.pdf, letzter Zugriff am 12.11.2012.

- [74] NERA: European Building Inventory Workshop - Greece Building Stock; Url:
http://www.globalquakemodel.org/system/files/doc/Meetings/BuildingInventory_workshop/NERA-GEM_Building_Workshop-Pomonis-Greece.pdf, letzter Zugriff am 13.11.2012.
- [75] Hellenic Statistical Authority (EL.STAT); Url:
http://www.statistics.gr/portal/page/portal/ESYE/BUCKET/A1601/Other/A1601_SKT01_TB_DC_00_2000_07_F_GR.pdf, letzter Zugriff am 13.11.2012.
- [76] TABULA: D6.2-National Scientific Report - GREECE ; Url:
http://www.building-typology.eu/downloads/public/docs/scientific/GR_TABULA_ScientificReport_NOA.pdf, letzter Zugriff am 14.11.2012.
- [77] Hellenic Statistical Authority (EL.STAT); Url:
http://www.statistics.gr/portal/page/portal/ESYE/BUCKET/A1601/Other/A1601_SKT01_TB_DC_00_2000_01_F_GR.pdf, letzter Zugriff am 15.11.2012.
- [78] Pomonis A. et.al.: Seismic vulnerability and collapse probability assessment of buildings in Greece; Second International Workshop on Disaster Casualties, 15-16 June 2009, University of Cambridge, UK; Url:
http://www.researchgate.net/publication/204246943_Seismic_Vulnerability_and_Collapse_Probability_Assessment_of_Buildings_in_Greece, letzter Zugriff am 15.11.2012.
- [79] IW Consult GmbH Köln (im Auftrag des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung): Wertschöpfungskette Bau. Analyse der volkswirtschaftlichen Bedeutung der Wertschöpfungskette Bau. Köln 2008; Url:
<http://www.bmvbs.de/cae/servlet/contentblob/27554/publicationFile/10481/wertschoepfungskette-bau-endbericht.pdf>, letzter Zugriff am 16.11.2012.
- [80] Statistik Austria: Gebäude- und Wohnungsregister; Url:
http://www.statistik.at/web_de/services/adress_gwr_online/allgemeines/

- gebäude_und_wohnungsregister/index.html, letzter Zugriff am 16.11.2012.
- [81] GERB Schwingungsisolierungen: Erdbebenschutz für Maschinen, Anlagen und Gebäude; Url:
<http://www.gerb.com/de/arbeitsgebiete/arbeitsgebiete.php?woher=unterrubrik&ID=98>, letzter Zugriff am 26.11.2012.
- [82] GERB Schwingungsisolierungen: Gebäudeisolierung; Url:
<http://www.gerb.com/de/arbeitsgebiete/arbeitsgebiete.php?ID=84&kategorie=4>, letzter Zugriff am 26.11.2012.
- [83] GERB Schwingungsisolierungen: Erdbebenschutz für Gebäude;
Url:<http://www.gerb.com/de/photogalerie/index.php?woher=unterrubrik&kategorie=2&ID=98>, letzter Zugriff am 26.11.2012.
- [84] GERB Schwingungsisolierungen: Schwingungsisolierungen; Url:
<http://www.gerb.com/de/arbeitsgebiete/arbeitsgebiete.php>, letzter Zugriff am 26.11.2012.
- [85] Pasquin C. et al: Friction dampers for seismic rehabilitation of Eaton's building, Montreal; 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada, August 1-6, 2004, Paper No. 1949; Url:
http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/13_1949.pdf, letzter Zugriff am 27.11.2012.
- [86] Brendike A., Petryna Y, Nawrotzki P.: Innovative Erdbebensicherung eines Schulgebäudes mittels Schwingungstilger; in: Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung: 4. VDI-Fachtagung Baudynamik 2012: Kassel, 25. und 26. April 2012, Düsseldorf: VDI-Verl. 2012, S. 443-452.
- [87] Meinhardt M., Siepe D., Nawrotzki P.: Passive damping devices for earthquake protection of bridges and buildings; in: Seismic Isolation and Protection Systems 2 (2011) Heft 1, S. 35-55.
- [88] Stiassny A.: Grundkurs im Mikro- und Makroökonomik; Wien 2006; Url:
<http://www.wu.ac.at/iqv/mitarbeiter/stiassny/grundkursmima.pdf>, letzter Zugriff am 19.11.2012.

- [89] Europäische Kommission: Eurostat; Url: http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/about_eurostat/introduction, letzter Zugriff am 19.11.2012.
- [90] Corrado V., Ballarini I., Corgnati S.P.: D6.2-National scientific report on the TABULA activities in Italy; Turin 2012; Url: http://www.building-typology.eu/downloads/public/docs/scientific/IT_TABULA_ScientificReport_POLITO.pdf, letzter Zugriff am 19.11.2012.
- [91] Zuccaro G.: Data for vulnerability assessment at regional and national scale; Präsentation im Rahmen des NERA European Building Inventory Workshop, Pavia, 23-24 May 2011.
- [92] Chrysostomou C., Kyriakides N.: Building Stock inventory Cyprus; Präsentation im Rahmen des NERA European Building Inventory Workshop, Pavia, 23-24 May 2011.
- [93] Foerster E. et al.: ENSURE. WP 1: State-of-the-art on vulnerability types - Del. 1.1.1: Methodologies to assess vulnerability of structural systems; 2009; Url: http://www.ensureproject.eu/ENSURE_Del1.1.1.pdf, letzter Zugriff am 10.12.2012.
- [94] Energiesparhaus.at: Ziegelbau (Massivbauweise): Vorteile und Nachteile; Url: <http://www.energiesparhaus.at/gebaeudehuelle/ziegelbau.htm>, letzter Zugriff am 10.12.2012.
- [95] Destatis-Statistisches Bundesamt: Bautätigkeit; Url: <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/Bauen/Bautatigkeit/Tabellen/Baugenehmigungen.html>, letzter Zugriff am 10.12.2012.
- [96] Destatis-Statistisches Bundesamt: Von Januar bis September 2012 6,2 % mehr Wohnungen genehmigt; Pressemitteilung vom 20. November 2012; Url: https://www.destatis.de/DE/PresseService/Presse/Pressemitteilungen/2012/11/PD12_401_3111pdf.pdf?__blob=publicationFile, letzter Zugriff am 10.12.2012.

- [97] Reales BIP-Wachstum im internationalen Vergleich 2000-2014; Url: http://www.dnet.at/elis/Tabellen/arbeitsmarkt/wiinter_bipinter.pdf, letzter Zugriff am 11.12.2012.
- [98] Papazachos B.C.; Papaioannou Ch.A.: Lithospheric boundaries and plate motions in the Cyprus area; *Tectonophysics* 308 (1999) S. 193–204.
- [99] Eurostat: Wachstumsrate des realen BIP - Volumen; Januar 2013; Url: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/graph.do?tab=graph&plugin=1&pcode=tec00115&language=de&toolbox=data>, letzter Zugriff am 30.01.2012.
- [100] YSTAT: Konstruktionen; Url: http://www.mof.gov.cy/mof/cystat/statistics.nsf/industry_construction_62main_gr/industry_construction_62main_gr?OpenForm&sub=2&sel=2, letzter Zugriff am 12.12.2012.
- [101] Könke C. (Hrsg.): 12. D-A-CH Tagung 2011: Erdbeben und Baudynamik – Deutsche Gesellschaft für Erbebeningenieurwesen und Baudynamik; Weimar 2011.
- [102] Furtmüller T., Adam C.: Numerische Modellierung des nichtlinearen Verhaltens von Mauerwerksscheiben in Gründerzeithäusern unter Normalkraft und Schub. In: Achs G et al. (im Auftrag der VCE Holding GmbH): Erdbeben im Wiener Becken - Beurteilung, Gefährdung, Standortrisiko. Forschungsbericht SEISMID®, Wien 2011, S. 119-176.
- [103] Kwapisz M., Friedl H.: Einsatz von elastischer Lagerung im Hochbau bei Erdbebenbelastung, Erweiterte Untersuchungen – Teil 4.; Technischer Bericht, AIT Austrian Institute of Technology, 31.05.2012.
- [104] Bosiljkov V., Tomažević M.: Optimization of shape of masonry units and technology of construction for earthquake resistant masonry buildings; Research Report-Part three, ZAG, Ljubljana, April 2006.
- [105] Dynamic Software and Engineering GmbH: „Multiplas-Elastoplastic Material Models for Ansys-General multisurface plasticity, User’s manual“, Rev. 10, Release 4.1.0 for ANSYS 13, Weimar, June 2011.
- [106] Friedl H., Kwapisz M., Lechner A., Flesch R.: Seismic assessment of concrete tanks considering fluid structure interaction and nonlinear time his-

tory analysis; COMPDYN 2011, 3rd ECCOMAS Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering; Corfu, Greece, 25–28 May 2011.

- [107] Friedl H., Kwapisz M.: Einsatz von elastischer Lagerung im Hochbau bei Erdbebenbelastung, Erweiterte Untersuchungen – Teil 2; Technischer Bericht, AIT Austrian Institute of Technology, 21.01.2011.
- [108] Friedl H., Kwapisz M.: Einsatz von elastischer Lagerung im Hochbau bei Erdbebenbelastung, Erweiterte Untersuchungen – Teil 3; Technischer Bericht, AIT Austrian Institute of Technology, 31.05.2012.
- [109] Friedl H., M. Kwapisz, R. Flesch, P. Burtscher, M. Dietrich: Erhöhung der Erdbebensicherheit für nicht duktile Tragwerke im Hochbau durch streifenförmige elastische Lagerung; 12. D-A-CH Tagung für Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik, Hannover; 15.09.2011 - 16.09.2011; in: 12. D-A-C-H Tagung 2011 - Erdbeben und Baudynamik, Deutsche Gesellschaft für Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik (DGEB), (2011); 11 S.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Erdbebenaktivität und Opferzahlen von 1900 bis 2008 [78].....	1
Abbildung 2-1:Naturkatastrophen im 20. Jahrhundert [48]	4
Abbildung 2-2:Darstellung der wichtigsten Begriffe bei einem tektonischen Erdbeben [51].....	5
Abbildung 2-3: Klassifizierung der Schadensanfälligkeit von Bauwerken nach der EMS [32]	9
Abbildung 3-1: Rayleigh-Dämpfung [8].....	13
Abbildung 3-2: Arten der Duktilität [21].....	16
Abbildung 3-3: Systemduktilitätsfaktor bei einem Kragträger mit konzentrierter Masse [8]	17
Abbildung 3-4: Unterschiedliche Mechanismen der Bildung von Fließgelenken bei Rahmenbauwerken [8]	18
Abbildung 3-5:Unterschiedliche Möglichkeiten zur Ausbildung eines Bauwerks [21].....	19
Abbildung 4-1: Seismische Isolation; Gebäude ohne (links) und mit (rechts) Erdbebenisolierung [2]	23
Abbildung 4-2: Das Prinzip der Basisisolierung [11]	24
Abbildung 4-3: Elastomerlager mit Bleikern [15]	25
Abbildung 4-4: Verankerte und unverankerte Elastomerlager [11]	26
Abbildung 4-5: a) Kohlenstofffasergewebe und b) Glasfasergewebe [3]	27

Abbildung 4-6: Horizontalverschiebungen ψ der ersten Eigenform, Horizontalkräfte H und Momente M aus Erdbeben, mit und ohne Lager in allen Fugen [12]	28
Abbildung 4-7: Friction Pendulum Bearing-FPB [40]	29
Abbildung 4-8: SIP-Lager [13]	30
Abbildung 4-9: Stahlfederelemente unter einer Stahlstütze [83]	31
Abbildung 4-10: (links) viskoser Dämpfer; (rechts) Friction Dämpfer [34]	32
Abbildung 4-11: Reibungsdämpfer im Eaton Gebäude [85]	32
Abbildung 4-12: Das Prinzip eines linearen Schwingugstilgers [8]	34
Abbildung 4-13: Installation eines Tilgers auf dem Dach des Palatul Viktoria in Bukarest [87]	35
Abbildung 5-1: Kombinierte Beanspruchung einer Wand [29]	38
Abbildung 5-2: Beanspruchung von tragenden Wänden [31]	38
Abbildung 5-3: Versagensmechanismus von Mauerwerksbau unter Druckbeanspruchung [31]	39
Abbildung 5-4: Schubversagen [32]	41
Abbildung 5-5: Kombiniertes Druck- und Zugversagen infolge Biegebeanspruchung bei schlanken Wänden [32]	42
Abbildung 5-6: Angreifende Spannungen am Einzelstein [42]	43
Abbildung 5-7: Modifizierte Bedingung nach Mohr-Coulomb für Lagerfugen [37]	44
Abbildung 5-8: Fließflächen nach Ganz (links) [43] und Lu (rechts) [30]	45
Abbildung 5-9: Versagen bei horizontalem Gleiten [25]	46
Abbildung 5-10: Kippen der Wand [25]	46

Abbildung 5-11: Schubversagen [25]	46
Abbildung 6-1: Schematische Darstellung der netzartigen Struktur eines Elastomers [11].....	47
Abbildung 6-2: Temperaturverhalten [17]	48
Abbildung 6-3: Querdehnung von Elastomerlagern [4]	50
Abbildung 6-4: Sylomer®-Typen [7]	52
Abbildung 6-5: Überdeckung für die Bewehrung [37].....	56
Abbildung 7-1: Typische Rissbilder [43]	58
Abbildung 7-2: Modellierung des Mauerwerks [42]	60
Abbildung 7-3: Versuchsmodell, Belastung und Geometrie [43].....	61
Abbildung 7-4: Rissbild des Wandversuches [43].....	62
Abbildung 7-5: Wandversuch Nr. 1 in Ansys aus [103].....	62
Abbildung 7-6: Schematische Darstellung der Beanspruchung [25].....	63
Abbildung 7-7: Schadensbild [25]	64
Abbildung 7-8: Rissbild aus Ansys aus [103].....	64
Abbildung 7-9: Abmessungen Wand Typ-BNW [104].....	65
Abbildung 7-10: Rissbild aus [104].....	65
Abbildung 7-11: Rissbild aus Ansys aus [103].....	66
Abbildung 7-12: Abmessungen von Wand 4.....	69
Abbildung 7-13: Abmessungen von Wand 5.....	70
Abbildung 7-14: Abmessungen von Wand 6.....	70
Abbildung 7-15: Vergleich der Verschiebung der Materialien 1, 2 und 3	72

Abbildung 7-16: Horizontale Verschiebung bei der Wand 6 ohne Elastomerlager [103]	73
Abbildung 7-17: Horizontale Verschiebung bei der Wand 6 mit Elastomerlager [103]	73
Abbildung 7-18: Vergleich der max. Kraft der Materialien 1, 2 und 3	74
Abbildung 7-19: Vertikale Spannungen bei Wand 4, ohne (links) und mit Elastomerlager (rechts) [103].....	76
Abbildung 7-20: Vertikale Spannungen bei Wand 5, ohne (links) und mit Elastomerlager (rechts) [103].....	76
Abbildung 7-21: Vertikale Spannungen bei Wand 6, ohne (links) und mit Elastomerlager (rechts) [103].....	76
Abbildung 7-22: Künstlich generiertes Signal [105]	77
Abbildung 7-23: Vertikale Spannungen bei Wand 6 ohne Elastomer, Material 1, Signal 3 [103]	79
Abbildung 7-24: Vertikale Spannungen bei Wand 6 ohne Elastomer, Material 3, Signal 3 [103]	79
Abbildung 7-25: Vertikale Spannungen bei Wand 6 ohne Elastomer, Material 4, Signal 3 [103]	80
Abbildung 7-26: Vertikale Spannungen bei Wand 4 ohne Elastomer, Material 4, Signal 1 [103]	81
Abbildung 7-27: Vertikale Spannungen bei Wand 4 mit Elastomer, Material 4, Signal 1 [103]	81
Abbildung 7-28: Vertikale Spannungen bei Wand 6 ohne Elastomer, Material 3, Signal 3 [103]	82
Abbildung 7-29: Rissbild aus dem Modell nach Ganz [103]	83

Abbildung 7-30: Vertikale Spannungen bei Wand 6 mit Elastomer, Material 3, Signal 3 [103]	83
Abbildung 7-31: Horizontale Verschiebungen bei Wand 6.....	84
Abbildung 7-32: Vertikale Spannungen bei Wand 6, ohne Elastomer, Material 1, Signal 2 [103]	85
Abbildung 7-33: Rissbild aus Ganz bei Wand 6, ohne Elastomer, Material 1, Signal 2 [103]	85
Abbildung 7-34: Vertikale Spannungen bei Wand 6, mit Elastomer, Material 1, Signal 2 [103]	86
Abbildung 7-35: Vertikale Spannungen bei Wand 5, ohne Elastomer, Material 1, Signal 2 [103]	87
Abbildung 7-36: Rissbild aus Ganz bei Wand 5, ohne Elastomer, Material 1, Signal 2 [103]	87
Abbildung 7-37: Vertikale Spannungen bei Wand 5, mit Elastomer, Material 1, Signal 2 [103]	88
Abbildung 8-1: Bauvolumen insgesamt und Bruttoinlandsprodukt in Europa (in Preisen von 2010) [64]	92
Abbildung 8-2: Neubau-und Bestandsinvestitionen im europäischen Hochbau nach Bauarten (in Preisen von 2010) [64]	93
Abbildung 8-3: Bauvolumen nach Sparten [66]	93
Abbildung 8-4: Erdbebenkarte Europas [47]	95
Abbildung 8-5: Beben­­tätigkeit in Europa nördlich des Mittelmeerraumes [48] ..	95
Abbildung 8-6: Verletzbarkeitskurven für die Klasse B [52]	99
Abbildung 8-7: Fragilitätskurven und Schädigungsklassen [59]	99

Abbildung 8-8: Typische Modelle zur Beurteilung der Vulnerabilität und des Risikos [93]	101
Abbildung 8-9: Schäden eines Bauwerkes infolge eines Erdbebens [25].....	102
Abbildung 8-10: Flussdiagramm Marktpotenzialanalyse	109
Abbildung 8-11: Erdbebengefährdete Zonen in Griechenland [56].....	111
Abbildung 8-12: Epizentren starker Erdbeben ($M \geq 6$) im Mittelmeerraum [46]	112
Abbildung 8-13: Einteilung öffentlicher Gebäude nach klimatischen Zonen [76]	120
Abbildung 8-14: Umsatzentwicklung Baubranche Griechenland [68].....	122
Abbildung 8-15: Anzahl der Stockwerke bei Hochbauten in Griechenland [74]	123
Abbildung 8-16: Einteilung der Materialien von Bauwerken in ganz Griechenland [74].....	124
Abbildung 8-17: Wahrscheinlichkeit eines Zusammenbruchs bei Mauerwerk bei unterschiedlichen Erdbebenstärken [78].....	125
Abbildung 8-18: Wahrscheinlichkeit eines Zusammenbruchs bei Stahlbeton Mauerwerk bei unterschiedlichen Erdbebenstärken [78].....	126
Abbildung 8-19: Erdbebenzonen in Italien [60]	130
Abbildung 8-20: Risikogefährdete Gebiete in Italien [91].....	131
Abbildung 8-21: Verteilung der Vulnerabilität in Italien [91].....	132
Abbildung 8-22: Einteilung der Gebäude in Italien nach ihren Materialien [90]	133
Abbildung 8-23: Anzahl der Stockwerke für Baubestand [91]	134
Abbildung 8-24: Die Epizentren von seichten Erdbeben ($h < 60$ km) in Zypern und Umgebung [98].....	136
Abbildung 8-25: Erdbebenzonen in Zypern [60]	137

Abbildung 8-26: Einteilung der Gebäudeklassen in Nikosia [92]	138
Abbildung 8-27: Wachstumsrate des realen BIP – Volumen für Griechenland, Italien und Österreich [99]	139
Abbildung A-1: Formfaktor q [7]	144

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Kurzform der makroseismischen Intensitätsskala EMS-98 [48]	8
Tabelle 2-2: Schadensgrade der EMS und typische Schadensbilder bei Ziegel- und Stahlbetonbauten [32]	9
Tabelle 4-1: Frequenz- bzw. Amplitudenbereich der dynamischen Lasten [8]...	21
Tabelle 4-2: Vor- und Nachteile der bewehrten Elastomerlager	27
Tabelle 4-3: Vor- und Nachteile von FPB	29
Tabelle 4-4: Vor- und Nachteile von Schwingungsdämpfern	33
Tabelle 5-1: Einflussfaktoren der Festigkeit von Mauerwerk [37]	37
Tabelle 6-1: Federkennlinie	51
Tabelle 6-2: Charakteristische Verbundfestigkeit der Bewehrung in Mörtel oder Füllbeton, nicht von Mauersteinen umschlossen [38].....	56
Tabelle 7-1: Skalierung und Zuordnung der Rissbilder.....	59
Tabelle 7-2: Material 1 aus [103]	67
Tabelle 7-3: Material 2 aus [103]	67
Tabelle 7-4: Material 3 aus [103]	67
Tabelle 7-5: Material 4 aus [102]	68
Tabelle 7-6: Material 5 aus [102]	68
Tabelle 7-7: Kraft und Verschiebung für Wand 4	74
Tabelle 7-8: Betrachtete Modelle aus [103]	78
Tabelle 7-9: Parametermatrix.....	89
Tabelle 8-1: Auswahl von Schadenbeben in Europa [48].....	96

Tabelle 8-2: Zuordnung der EMS-Verletzbarkeitsklassen [52].....	98
Tabelle 8-3: Referenz-Spitzenbodenbeschleunigung [57].....	111
Tabelle 8-4: Minima, Maxima und die betroffenen Flächen der untersuchten Länder [58]	114
Tabelle 8-5: Strukturdaten zur Bauwirtschaft in Griechenland [69]	116
Tabelle 8-6: Reales BIP-Wachstum im internationalen Vergleich 2000-2014 [97]	117
Tabelle 8-7: Gesamte Bautätigkeit für den Monat August in den Jahren 2011 und 2012 [73].....	118
Tabelle 8-8: Gesamte Bautätigkeit für Sept. 2010 bis Aug. 2011 und Sept. 2011 bis Aug. 2012 [73].....	119
Tabelle 8-9: Private Bauten für Sept. 2010 bis Aug. 2011 und Sept. 2011 bis Aug. 2012 [73].....	119
Tabelle 8-10: Anzahl der Einteilung öffentlicher Gebäude [76].....	119
Tabelle 8-11: Klimatische Zone A laut TABULA in Griechenland [76].....	121
Tabelle 8-12: Bedeutungskategorien gemäß EAK 2000 [54].....	127
Tabelle 8-13: SWOT-Analyse für Griechenland	128
Tabelle 8-14: Typische Wände des Gebäudebestands in Italien [90].....	135
Tabelle A-1: Verhaltensbeiwert q [1]	146
Tabelle A-2: Klimatische Zone B laut TABULA in Griechenland [76]	147
Tabelle A-3: Klimatische Zone C laut TABULA in Griechenland [76]	148
Tabelle A-4: Klimatische Zone D laut TABULA in Griechenland [76].....	149