

Seismische Risikomodellierung eines simulierten Portfolios bestehend aus Mauerwerksbauten

A. Mühlhausen¹, U. E. Dorka¹

¹ Fachgebiet Stahl- & Verbundbau, Universität Kassel, Kassel, Deutschland

Kurzfassung. Starke Erdbeben in dicht besiedelten Gegenden unserer Welt gehören zu den schwersten uns bekannten Naturkatastrophen und sind demnach das Naturereignis mit dem größten Sachschadenspotenzial. Reale Schadensdaten von Gebäuden liegen für die meisten gefährdeten Regionen der Welt nicht bzw. nicht in der notwendigen Güte vor und die bestehenden Schadensdaten von Erdbebenschäden sind zufällig auf der Welt verteilt.

Da Starkbeben seltene Ereignisse sind, wird sich diese Situation in absehbarer Zeit nicht ändern. Hier kann die in den letzten Jahrzehnten entwickelte Finite Elemente Methode (FEM) einen entscheidenden Beitrag leisten.

Um ganze Portfolios, bestehend aus 3D-FE Modellen, automatisch simulieren zu können, wurde das „Simulated Building Portfolio“-Tool (SBP-Tool) an der Universität Kassel in Kooperation mit der Munich RE entwickelt. Durch die Eingabe verschiedener Parameter und einer statistischen Variation innerhalb des SBP-Tools kann ein gesamtes Portfolio z.B. aus Mauerwerksbauten erzeugt werden.

Dieses Paper präsentiert virtuelle Schadensdaten eines simulierten Portfolios, das große Ähnlichkeiten mit real existierenden Mauerwerksgebäuden in L’Aquila aufweist. Anhand der virtuellen Schäden wird der Einfluss bestimmter Gebäudeparameter, wie Anzahl der Geschosse oder das Vorhandensein eines weichen Geschosses, gewichtet, um im Anschluss mit Hilfe der Diskriminanzanalyse verschiedene Gebäudeklassen identifizieren zu können.

Folglich können mit solch validierten Portfolios virtuelle Schadensdaten für Regionen in der Welt mit keinen oder nur wenigen realen Schadensdaten simuliert werden. Diese virtuellen Schadensdaten können unter anderem auch als Grundlage für die Berechnung von Versicherungsprämien verwendet werden.

Schlagwörter: Seismische Risikomodellierung, Simulation von virtuellen Portfolios, SBP-Tool

1 EINLEITUNG

Ein wichtiges Ziel für die Versicherungs- und Rückversicherungsindustrie ist die Kenntnis über möglich auftretende Sachschadensdaten nach einer Naturkatastrophe um schnelle Aufbauhilfe für die Gesellschaft leisten zu können.

Einmal mehr wurde die Provinz Sichuan am 20. April 2013 von einem Erdbeben der Stärke 7.0 auf der Richterskala in China betroffen, forderte über 200 Tote, mehrere tausende Verletzte und laut Nachrichtenagentur Xinhua waren insgesamt über 1,7 Millionen Menschen betroffen. Nach dem verheerenden Erdbeben vom 16. Mai 2008 (Mw = 7,9), das große volkswirtschaftliche Sachschäden verursachte, rückte die Region ungewollt wieder in das Interesse der Öffentlichkeit.

Da die jetzigen Sachschadensdaten infolge von Erdbeben die gesamte Welt nur rein zufällig abdecken, sowohl qualitativ als auch aus geographischen Gesichtspunkten, bestehen weiterhin Wissenslücken hinsichtlich der Verfügbarkeit solcher wichtiger Daten. Trotz erfolgreicher Großprojekte wie das

„Global Earthquake Model“ (GEM), die wichtige wissenschaftliche Beiträge leisten, sollten auch hier neue Felder betreten werden.

Neue Konzepte zur Ermittlung solcher Schadensdaten sind daher notwendig und der Einsatz von numerisch simulierten Portfolios unter Verwendung der Finiten Elemente Methode können hier einen entscheidenden Beitrag leisten.

2 DIE KOMBINATION VON KOMPLEXEN SEISMOLOGISCHEN UND STRUKTURELLEN MODELLEN ALS GRUNDLAGE FÜR DIE RISIKO MODELLIERUNG

Ein gutes Beispiel für räumliche Wellenausbreitungen oberflächennaher Böden großer 3D-FE Modelle wurde von (Guidotti et al. 2012) entwickelt. In seiner Studie beschreibt Guidotti das Bodenmodell sehr detailliert und verwendet für sein Modell mit den Abmessungen 1 km x 1 km und 50 m Tiefe über 1.000.000 Finite Elemente.

Guidotti verwendet demnach ein sehr komplexes räumliches Modell zur Beschreibung der anstehenden Bodenbewegungen, im Gegenzug werden die Gebäudemodelle sehr stark vereinfacht und als Starrkörper modelliert wie in Abbildung 1 zu sehen ist. Die Annahme von Starrkörpern berücksichtigt jedoch nicht die dynamischen Eigenschaften sowie das nichtlineare Tragverhalten der Gebäude. Darüberhinaus können mit solch vereinfachten Gebäudemodellen keine Aussage über strukturelle Sachschäden an Gebäuden getroffen werden.

Das Ziel einer realistischen Schadensabschätzung an Gebäuden muss sein, komplexe und detaillierte Bodenmodelle (wie sie Guidotti schon nutzt) mit ausgereiften Gebäudemodellen in Form von realistischen 3D Finiten Elemente Gebäudemodellen zu koppeln. Nur so ist eine zuverlässige Erstellung von virtuellen Schadensdaten in seismischen Risikomodellen möglich.

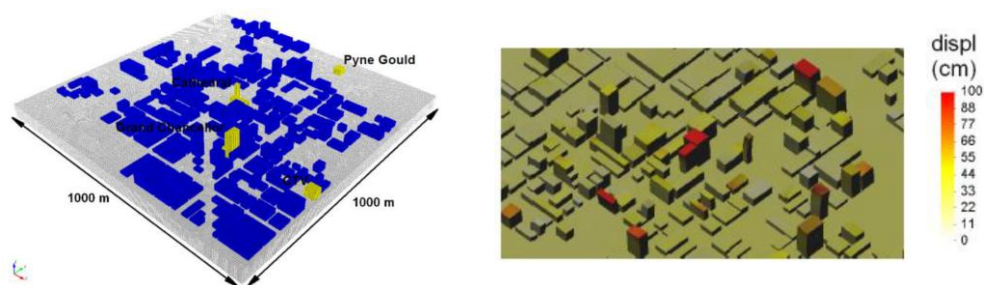


Abbildung 1. Links: Komplexe und ausgereifte 3D FE-Modelle für eine Wellenausbreitung in Böden kombiniert mit einfachsten Starrkörpern zur Beschreibung der Gebäude. Rechts: Screenshot der simulierten Verschiebungen der „Starrkörper Gebäude“, (Guidotti 2012)

3 DAS SBP-TOOL ZUR GENERIERUNG VON VIRTUELLEN PORTFOLIOS

Wie schon in Kapitel 2 erwähnt, muss das Ziel für eine realistische Schadensabschätzung für Portfolios sein, komplexe Bodenmodelle mit detaillierten 3D-FE Gebäudemodellen zu kombinieren.

Für die automatische Generierung solcher Gebäudemodelle wurde das sogenannte „Simulated Building Portfolio-Tool“ (nachfolgend auch SBP-Tool genannt) an der Universität Kassel in Zusammenarbeit mit der MunichRe entwickelt, (Mühlhausen et al. 2010, Mühlhausen et al. 2011a, Mühlhausen et al. 2011b, Mühlhausen et al. 2012a).

Das SBP-Tool erzeugt auf Grundlage globale Gebäudeparameter wie Anzahl der Geschosse, Abmessungen etc. realistische 3D-FE Modelle und ein implementierter statistischer Prozess variiert diese Gebäudeparameter für die Erzeugung eines virtuellen Portfolios vollautomatisch.

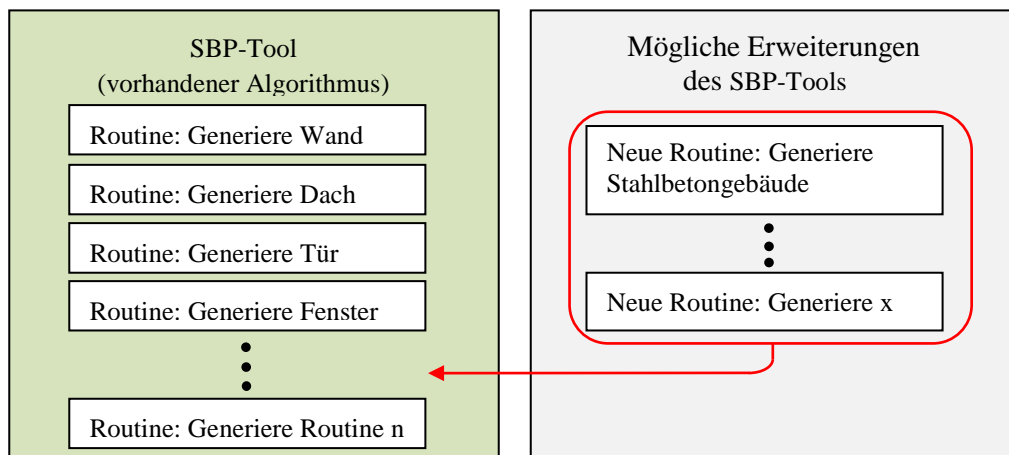


Abbildung 2. Schematische Darstellung der Implementierung einer neuen Routine in das SBP-Tool, (Mühlhausen et al. 2012b)

Das Programm wurde generisch in ISO 99 geschrieben und bietet die Möglichkeit neue Routinen einfach zu implementieren, somit ist die Modifikationen bestehender Routinen bzw. die Erweiterung von neuen Routinen ohne größeren Aufwand möglich. Eine neue Routine könnte die Erweiterung einer weiteren Bauweise wie z.B. Stahlbauten oder Stahlbetonrahmen mit Mauerwerkswänden sein oder bestehende Bauweisen um weitere Bauelemente wie Treppen etc. zu ergänzen. Zurzeit wird das SBP-Tool für die Generierung 3D linearer FE-Gebäude bestehend aus Mauerwerk genutzt (Abbildung 3).

Für das Ausführen des SBP-Tools werden zwei ASCII Dateien erzeugt. Die erste Datei liefert alle notwendigen Informationen über die Geometrie und die verwendeten Materialeigenschaften die für die Generierung eines numerischen 3D-FE Modell benötigt werden. Darüber hinaus liefert die Datei alle Informationen über die verwendeten Knoten, Elemente, Auflager, Materialeigenschaften für die Außen- und Innenwände, für die Stahlbetondecken sowie für das Dach. Weiterhin werden die anzusetzenden Lasten mit den dazugehörigen Freiheitsgraden (DOFs) in der ersten Datei gespeichert. Die zweite ASCII Datei besteht aus einer Reihe an Befehlen die zur Berechnung der Massen- und Steifigkeitsmatrizen für die FE-Software (SLang 2004) benötigt wird.

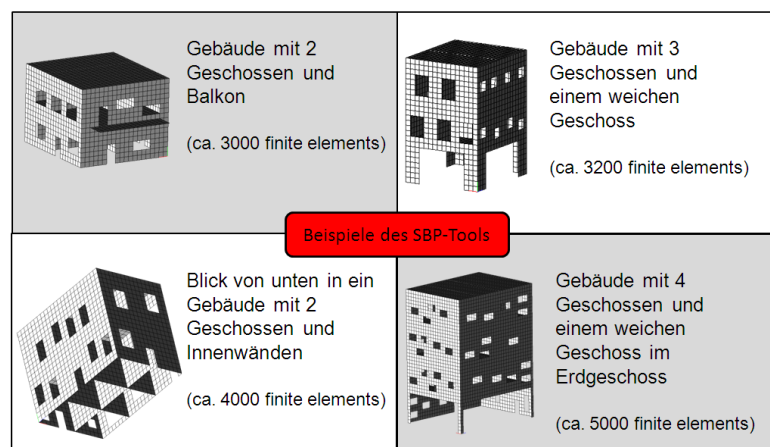


Abbildung 3. Beispielhaft mit dem SBP-Tool generierte 3D-FE Modelle für Mauerwerksbauten, (Mühlhausen et al. 2012b)

Die erste Datei des SBP-Tools ist unabhängig von der verwendeten FE-Software, während die zweite Datei an die jeweiligen Befehle der verwendeten Software angepasst werden muss. Es ist also ohne größeren Aufwand möglich, das SBP-Tool für andere FE-Software wie z.B. Ansys oder OpenQuake zu nutzen.

Die hier verwendete Software SLang importiert die zwei ASCII Dateien, führt die Befehlsabfolge aus, berechnet die Massen- und Steifigkeitsmatrizen und speichert die Matrizen in zwei unterschiedlichen Ausgabedateien ab. Der Lastvektor sowie die relevanten Freiheitsgrade des numerischen Modells werden ebenfalls in zwei weitere ASCII Ausgabedateien geschrieben.

Demzufolge werden zur Beschreibung eines jeden Gebäudes vier ASCII Dateien (Massen- und Steifigkeitsmatrix, Lastvektor und die Freiheitsgrade) benötigt um eine dynamische Zeitverlaufsberechnung ausführen zu können.

Für den allgemeinen Fall (nichtlineares Materialverhalten) sind nach dem zentralen Grenzwertsatz 500 Zeitverläufe für die Berechnung einer Standardabweichung einer lokalen Variablen notwendig um eine Genauigkeit größer 99% zu erhalten. Demnach wären für das in Abbildung 4 gezeigte Portfolio, bestehend aus 65 Gebäuden und ca. 1.700.000 DOFs, 8.500.000 Zeitverlaufsberechnungen erforderlich. Um diese 8.500.000 Zeitverlaufsberechnungen in kürzester Zeit berechnen zu können wird einer der effizienteste Algorithmus der Welt in Kombination mit der Nutzung eines Linux-Clusters (parallel computing) verwendet (siehe Kapitel 4).

Für den Ausnahmefall (Annahme eines linearen Materialgesetzes) lassen sich die erforderlichen statistischen Werte einer lokalen Variable mit Hilfe von Powerspektren sehr effizient berechnen da die Transferfunktionen einer lokalen Variablen lediglich mit dem Powerspektrum der Anregung (Bodenbeschleunigung) multipliziert werden müssen. Diese Transferfunktionen beschreiben das Verhältnis zwischen einem Output einer lokalen Variablen (z.B. Spannungen) und eines normierten Inputs, im vorliegenden Fall der Fußpunktanregung infolge eines Erdbebens. Sie sind damit eine Tragwerkseigenschaft, die ohne eine genaue Kenntnis über das Lastereignis bestimmt werden kann, nur sein Angriffspunkt muss bekannt sein. Für lineare Modelle sind diese Funktionen über den gesamten Bebenprozess konstant und müssen nur einmal berechnet werden. Die Berechnung einer einzigen Zeitverlaufsberechnung ist demzufolge ausreichend.

4 DIE PORTFOLIO SIMULATION

Für die Durchführung einer effizienten Zeitverlaufsberechnung wird in dieser Studie der von Dorka entwickelte Substruktur-Algorithmus verwendet welcher in (Roik und Dorka 1989, Dorka und Heiland 1991, Dorka und Füllekrug 1998, Dorka 2002, Bayer et al. 2005, Dorka et al. 2006, Dorka et al. 2007) ausführlich beschrieben wird. Dieser Algorithmus basiert auf der Bewegungsgleichung (1):

$$M \frac{d^2u}{dt} + C \frac{du}{dt} + Ku = p(t) + f_r + f_s \quad (1)$$

Mit den Integrationskonstanten $\gamma = 0.5$ und $\beta = 0.25$ ergibt sich das Newmark Verfahren. Das Verfahren beinhaltet sowohl experimentelle als auch nichtlineare Rückstellkräfte $f_r + f_s$, durch paralleles sub-stepping innerhalb eines Zeitschritts wird zeitaufwendige Matrixinvertierungen und Iterationen vermieden. Aus diesem Grund kann der Algorithmus die Vorteile eines multi-core und multi-processor Computers unter Verwendung paralleler Programmbibliotheken nutzen und so 10000 DOFs in 43,94 ms pro Zeitschritt auf einem Standard Computer lösen (Obón Santacana und Dorka 2011a, Obón Santacana und Dorka 2011b, Obón Santacana und Dorka 2012). Dies bedeutet, das ein Gebäude aus Abbildung 3 mit 10000 bis 12000 DOFs und einem 40 sekundigen Erdbeben (4000 Zeitschritte) mit Hilfe des Substruktur Algorithmus und ohne Berücksichtigung von Nicht-Linearitäten in nur 3 Minuten Rechenzeit berechnet wird.

Die Zeitverläufe werden mit allen erforderlichen Informationen für die Parameter (Datum, Dauer der Berechnung, Anzahl der DOFs, Anzahl der Zeitschritte und Dauer eines Zeitschritts) und für die Zeitintegrationen (Beschleunigung, Geschwindigkeit, Verschiebungen und Spannungen) in einer HDF5 Datei gespeichert und stehen zur weiteren Nutzung (z.B. Matlab Anwendungen) zur Verfügung.

Mit Hilfe des SBT-Tools und dem effizienten Substruktur-Algorithmus ist es möglich, tausende 3D FE Gebäude zu generieren und Erdbebensimulationen zur Abschätzung von Schäden durchzuführen. Ein Standardrechner würde für die Simulation des aus 65 Gebäuden bestehenden Portfolios (Abbildung 4) mit ca. 500.000 Finiten Elementen (1.700.000 DOFs) nur wenige Stunden benötigen.



Abbildung 4. Ein mit dem SBP-Tool simuliertes Portfolio bestehend aus 3D FE-Modellen für Mauerwerksbauten. Diese Art von Portfolios können mit jeder Art von seismischem Input kombiniert werden. Das virtuelle Portfolio wurde mit einem Balkonanteil von 30% und einem Anteil an weichen Geschossen von 20% erstellt, (Mühlhausen et al. 2012b)

5 DIE DEFINITION EINES VIRTUELEN PORTFOLIOS

Der globale Gebäudebestand ist in der Welt verglichen an den Dimensionierungsvorschriften, den Konstruktionsausführungen und der Anfälligkeit für Naturgefahren sehr ungleichmäßig verteilt.

GEM bietet in dieser Hinsicht sehr wichtige und hilfreiche Werkzeuge um ein besseres Verständnis für die Durchführung von Schadenssimulationen an virtuellen Portfolios spezieller Regionen in der Welt zu bekommen.

Auf der einen Seite bietet GEM die open source Anwendungen „Inventory Data Capture Tool“ (IDCT) und auf der Seite das „GEM Earthquake Consequences Database (GEMECD) an. Beide Anwendungen liefern zum einen wichtige Informationen über den ersten Eindruck des vorherrschenden Gebäudebestands spezieller Regionen; zum anderen können Informationen zu einzelnen Erdbeben-Events entnommen werden.

Ein weiteres und aus Sicht für eine seismische Risikomodellierung das bedeutendste Werkzeug ist das „GEM building taxonomy“ V2.0 und wurde im März 2013 gestartet. Es klassifiziert Gebäude hinsichtlich 13 charakteristischer Gebäudeparameter, zu denen zählen das verwendete Material für den vertikalen Lastabtrag (Mauerwerk, Holz etc.), Horizontales Aussteifungssystem, Dach und Zwischendecken, Gebäudehöhe, Erstellungsdatum, strukturelle Unregelmäßigkeiten, Nutzungsart, Ausrichtung des Gebäudes (parallel oder orthogonal zu Straßen), Gebäudeposition innerhalb eines Blocks, Form des Grundrisses, Außenwände und Fundamente (Brzev et al. 2012).

Die Vision des „GEM building taxonomy“ Teams ist es, weltweit Gebäude durch einen individuellen Code zu erfassen. Dieser Code soll jeweils Auskunft über das Vorhandensein der oben genannten Gebäudeparameter geben.

Obwohl das „GEM building taxonomy“-Tool unabhängig vom SBP-Tool entwickelt wurde, arbeiten beide Anwendungen mit ähnlichen Gebäudeparametern um ein Gebäude oder ein Portfolio zu beschreiben bzw. zu definieren. Eine Gegenüberstellung der beiden Tools ist in Tabelle 1 aufgeführt. Das SBP-Tool ist generisch programmiert und erlaubt verwendete Gebäudeparameter des „GEM building taxonomy“ in das SBP-Tool zu implementieren. Darüber hinaus besteht auch die Möglichkeit Anpassungen an der „GEM building taxonomy“ vorzunehmen um eventuell fehlende Parameter, die für eine seismische Risikomodellierung notwendig sind, hinzuzufügen.

Tabelle 1. Gegenüberstellung der 13 Gebäudeparameter der „GEM building taxonomy“ und die erforderlichen Eingangsparameter des SBP-Tools

Gebäudeparameter	„GEM building taxonomy“	SBP-Tool
Material für vertikalen Lastabtrag	x	x
Horizontales Aussteifungssystem	x	x
Dach*	x	x
Zwischendecken	x	x
Gebäudehöhe*	x	x
Erstellungsdatum	x	x
Strukturelle Unregelmäßigkeiten	x	x
Nutzungsart	x	x
Ausrichtung des Gebäudes	x	x
Gebäudeposition innerhalb eines Blocks	x	o
Form des Grundrisses	x	x
Außenwände	x	x
Fundamente	x	o
Weitere SBP-Tool Eingangsparameter für die Definition eines Portfolios:		
Anzahl der Gebäude pro Portfolio		x
Geschossanzahl		x
Abmessungen des Grundrisses*		x
Abmessungen der Innenräume*		x
Abmessungen der Fenster und Türen*		x
Anzahl der Fenster pro Wand*		x
Geschosshöhe*		x
Balkon**		x
Weiches Geschoss**		x
Dicke der Außenwand		x
Dicke der Innenwand		x
Dicke der Zwischendecken und des Dachs		x
Steifigkeit der Außenwand		x
Steifigkeit der Innenwand		x
Steifigkeit der Zwischendecken und des Dachs		x
x	Diese Parameter werden verwendet	
o	Diese Parameter werden nicht verwendet	
*	Für diese Parameter muss ein Bereich (Minimum und Maximum) definiert werden	
**	Prozentualer Anteil des gesamten Portfolio besitzen diesen Parameter	

6 SCHADENSABSCHÄTZUNG FÜR EIN VIRTUELLES MAUERWERKSGEBÄUDE

Schadenskurven sind für die Versicherungswirtschaft ein wichtiges Instrument um das Sachschadenpotential eines Gebäudes besser abschätzen zu können. Sie dienen als Grundlage für die Ermittlung der Versicherungsrate pro Jahr und werden durch das Verhältnis der Schadenssumme bezogen auf die Wiederkehrperiode beschrieben.

Die Schadenskurven wie sie in Abbildung 5 und 7 zu sehen sind, wurden mit einem statistischen Prozess berechnet der bereits in (Mühlhausen et al. 2010, Mühlhausen et al. 2011a, Mühlhausen et al. 2011b) veröffentlicht wurde.

In erster Näherung kann man für Mauerwerk als Risskriterium einen Grenzwert für die Hauptzugspannung einführen. Damit erhält man an jeder Stelle des Tragwerks eine Abschätzung zur Auftretenswahrscheinlichkeit von Rissen und damit die Wandflächen für die eine Schädigung zu erwarten ist.

Des Weiteren wurde ein lineares Verhältnis für das Verhältnis von Schadenssumme und Schadensfläche angenommen, in weiterführenden Studien sollte diese Annahme verstärkt betrachtet werden.

Diese Annahmen erlauben eine erste Abschätzung für die Schadenssummen eines typischen Mauerwerksgebäudes (Abbildung 5, rechts) unter der Verwendung der Powerspektren wie in Kapitel 3 beschrieben.

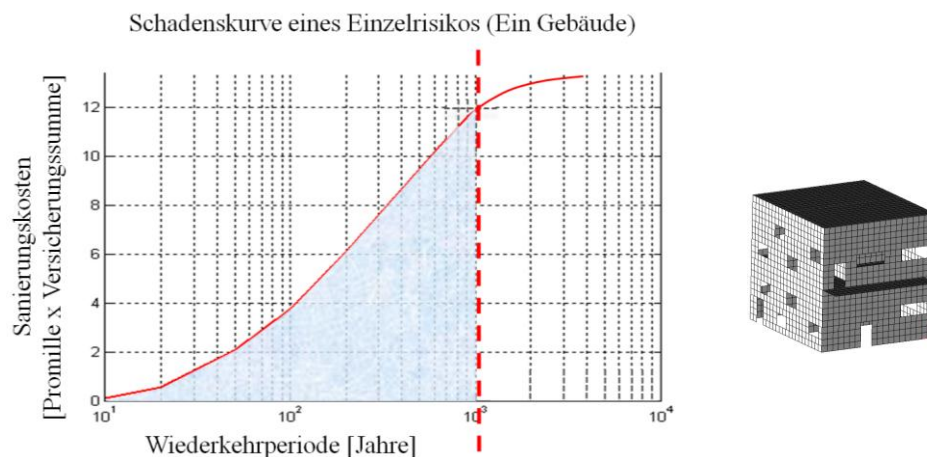


Abbildung 5. Eine typische Schadenskurve für ein Gebäude (rechts) mit der Annahme eines linearen Grenzwerts für Mauerwerksgebäude, (Mühlhausen et al. 2012b)

Werden die vier Gebäude in Abbildung 6 näher betrachtet so fällt auf, dass sich die Schadenskurve in Abbildung 7 trotz ähnlicher Abmessungen offensichtlich unterscheiden.

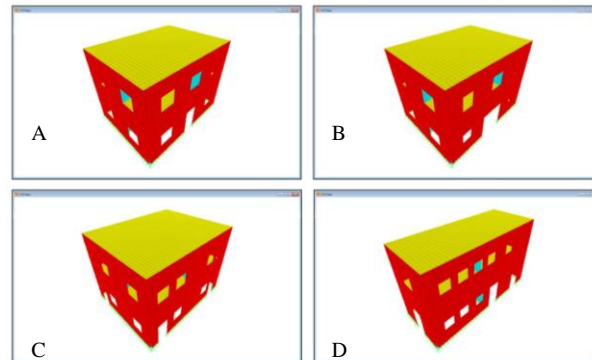


Abbildung 6. Typische Mauerwerksbauten (Variante A bis D) mit ähnlichen Abmessungen und Wandöffnungen, (Mühlhausen 2010)

In diesem Fall lässt sich vermuten, dass der unterschiedliche Verlauf der Schadenkurven auf die Wandöffnungen zurückzuführen ist. Das Verhältnis zwischen Wandöffnungsfläche und Wandfläche könnte ein möglicher Schadensindikator sein. In laufenden Untersuchungen werden solche Einflüsse näher untersucht um im Anschluß die belegten Schadensindikatoren mit in die „GEM’s building taxonomy“ aufnehmen zu können.

Weiterhin ist anzustreben, dass bereits bestehende Parameter der „GEM’s building taxonomy“ in das SBP-Tool aufgenommen werden sollten um deren Schadeneinfluss zu untersuchen.

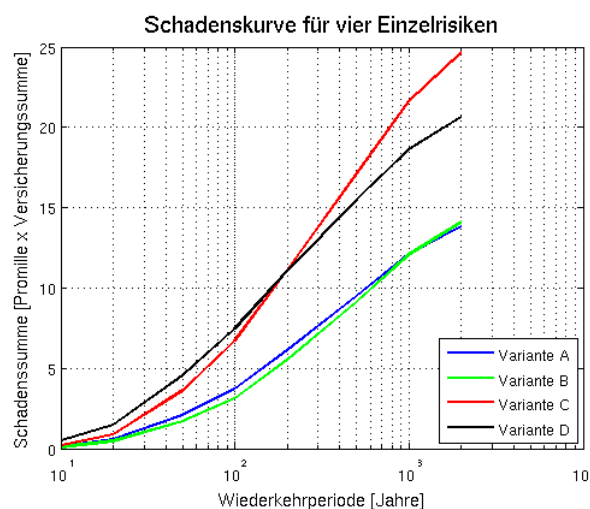


Abbildung 7. Die vier ermittelten Schadenskurven für die in Abbildung 6 gezeigten Gebäude. Variante A, B und C,D sollten aufgrund der unterschiedlichen Wandöffnungen in unterschiedliche Gebäudeklassen eingeordnet werden, (Mühlhausen 2010)

7 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Für eine zuverlässige und realistische Sachschadensabschätzungen sind neben komplexen seismologischen Bodenmodellen auch detaillierte 3D-FE Simulationen von Gebäuden zwingend notwendig, da an diesen Gebäuden die zu reparierenden Schäden auftreten und von den dynamischen Eigenschaften und lokalen Nichtlinearitäten abhängen.

Virtuell erzeugte Portfolios mit mehreren tausenden 3D Gebäudemodellen können jetzt mit dem an der Uni Kassel und in der Zusammenarbeit der Munich Re entwickelten SBP-Tool generiert werden. Diese numerisch sehr komplexen seismischen Simulationen können mit Hilfe eines hocheffizienten Algorithmus und der Nutzung eines Linux Clusters an der Universität Kassel gelöst werden.

Obwohl das „GEM building taxonomy“ und das SBP-Tool völlig unabhängig voneinander entwickelt wurden, nutzen beide Anwendungen ähnliche, wenn nicht sogar genau die gleichen Parameter um Gebäude zu identifizieren oder Portfolios virtuell zu simulieren. Mit Hilfe dieser Simulationen können weitere schadenverursachende Gebäudeparameter in das bestehende Konzept der „GEM building taxonomy“ aufgenommen werden um so bestehende Schadenssimulationen weiter zu verbessern.

Nach jetzigem Stand ist das SBP-Tool in der Lage Mauerwerksbauten zu generieren, eine Erweiterung zur Generierung von Gebäuden der Stahlverbundbauweisen befindet sich gerade in der Entwicklung.

REFERENCES

- Bayer, V., Dorka, U. E., Füllekrug, U. and Gschwilm J. (2005). On real-time pseudo-dynamic substructure testing: algorithm, numerical and experimental results”. *Aero. Sc. and Tech*(9): 223-232.
- Brzev, S., Scawthorn. C., Charleson, A.W., Jaiswal, K. (2012) Interim Overview of „GEM building taxonomy“ V2.0, GEM Foundation
- Dorka, U.E., Heiland, D. (1991). Fast online earthquake simulation using a novel pc supported measurement and control concept”, *Proc. 4th Int. Conf. Structural Dynamics*, Southampton: 636-645.
- Dorka, U. E., Füllekrug, U. (1998). Algorithmen für real-time pseudo-dynamische Substrukturtests”, Report of the DFG project “SubPSD-Algorithmen, project number Do 360/7, University of Kaiserslautern, Germany.
- Dorka, U. E. (2002). Hybrid experimental - numerical simulation of vibrating structures”, *Proceedings of the International Workshop WAVE 2002*: 183 - 191. Okayama, Japan.
- Dorka, U. E., Queval, J. C., Nguyen V. T. and Maout, A. L. (2006). Real-time sub-structure testing on distributed shaking tables in CEA Saclay. *Proceedings of 4th World Conference on Structural Control and Monitoring*, San Diego, USA.
- Dorka, U. E., Queval, J. C., Nguyen V. T. and Maout, A. L. (2007). Substructure testing on distributed shaking tables”, *Proceeding of the 2nd International Conference on Advances in Experimental Structural Engineering (2AESE)*, Shanghai, China.
- GEM, Web page
<http://www.globalquakemodel.org/>, Accessed 27th of February 2013
- Guidotti, R., Castellani, R., Paolucci, R., Stupazzini, M. (2012). Near-field earthquake ground motion rotations and relevance on civil engineering structures. Doctoral Thesis, Department of Structural Engineering, Politecnico di Milano
- HDF5, Web page
<http://www.hdfgroup.org/HDF5/>, Accessed 27th of February 2013
- Mühlhausen, A., Dorka, U., Smolka, A. and Stupazzini, M. (2010), *Vorschlag eines Konzeptes für die Versicherungswirtschaft zur realistischen regionalen Abschätzung von Erdbebenschäden an Mauerwerksbauten auf der Grundlage numerischer Tragwerkssimulationen*. Masterthesis, Cooperation between Universität Kassel and Munich Re.
- Mühlhausen, A., Dorka, U., Smolka, A. and Stupazzini, M. (2011a). Vorschlag eines Konzeptes für die Versicherungswirtschaft zur realistischen regionalen Abschätzung von Erdbebenschäden an Mauerwerksbauten auf der Grundlage numerischer Tragwerkssimulationen. *12. D-A-CH Tagung – Erdbeben und Baudynamik*, Hannover, Germany
- Mühlhausen, A., Dorka, U., Smolka, A. and Stupazzini, M. (2011b). Improving Seismic Risk Assessment for the Insurance industry by using 3-D Finite Element Modelling. *The 2011 World Congress on Advances in Structural Engineering and Mechanics*, Seoul, South Korea
- Mühlhausen, A., Dorka, U., Smolka, A. and Stupazzini, M. (2012a). Seismic Risk Assessment for Masonry Buildings based on Discriminant Analysis of a Virtual Database. *Proceeding of the 15th World Conference on Earthquake Engineering*, Lisbon, Portugal

- Mühlhausen, A., Dorka, U., Smolka, A. and Stupazzini, M. (2012b). Seismic Risk Assessment for Masonry Buildings based on Discriminant Analysis of a Virtual Database. *Presentation of the 15th World Conference on Earthquake Engineering*, Lisbon, Portugal
- Obón-Santacana, F. and Dorka, U.E. (2011a). Use of large numerical models and high performance computers in geographically distributed seismic tests, In Fardis M. And Rakicevic, Z. (eds.), *Role of Research Infrastructures in Performance-based Earthquake Engineering (SERIES Workshop)*, Springer.
- Obón-Santacana, F. and Dorka, U.E. (2011b). Large Numerical Models in Continuous Hybrid Simulation, *The 2011 International Conference on Earthquakes and Structures (ICEAS'11)*, Seoul, Korea, September 18-23.
- Obón-Santacana, F. and Dorka, U.E. (2012). Effects of Large Numerical Models in Continuous Hybrid Simulation. *Proceeding of the the 15th World Conference on Earthquake Engineering*, September 12-17, 2012, Lisbon, Portugal.
- Roik, K. und Dorka, U.E. (1989). Fast online earthquake simulation of friction damped systems. *SFB151 Report No. 15*, Ruhr-University Bochum, Germany.
- SLang – The Structural Language (2004), Veit Bayer, Maik Brehm, Christian Bucher, et. Al. Documentation. Institute of Structural Mechanics - Bauhaus-University Weimar