

**Schlußbericht**  
**zum Vorhaben B 105-97001**  
**„Analyse und Ertüchtigung seismisch beanspruchter bzw. geschädigter**  
**Bauwerke – Seismische Risikokartierung und Folgeabschätzung“**

## **1 Aufgabenstellung**

### **1.1 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde**

Wesentliche Voraussetzungen für die Durchführung des Vorhabens bilden die Vorarbeiten des Antragstellers auf den Gebieten der seismischen Gefährdungseinschätzung, der standortspezifischen Einwirkungsbeschreibung, der konstruktiven Durchbildung von Tragwerken und der normengerechten Umsetzung unter Berücksichtigung der Besonderheiten des Verhaltens von Bauwerken mit unterschiedlicher Regularität bzw. Verletzbarkeit.

Im Rahmen der Deutschen Task Force Erdbeben und der verantwortlichen Einbindung des Antragstellers in die Durchführung und Koordination der Einsätze der Bauingenieure war es möglich, an den Erdbebenmissionen in Venezuela (1997) und in der Türkei (1999) unmittelbar beteiligt zu sein. Wiederholungseinsätze in den Jahren 1999 (Venezuela) und 2000 (Türkei) trugen zur Fundierung der wissenschaftlichen Auswertungen bei, deren Ergebnisse in entsprechenden Publikationen vorgelegt und auf internationalen Fachtagungen vorgestellt werden konnten.

Durch das Vorhaben wurde eine Beteiligung des Erdbebenzentrums an diesen Erdbebeneinsätzen sichergestellt. Der im Forschungsvorhaben verankerte Schwerpunkt „Analyse seismisch beanspruchter und geschädigter Bauwerke“ konnte somit in vollem Umfang umgesetzt werden.

Für die Bearbeitung des Vorhabens war die Bewertung der Seismizität Thüringens und ihre aktuelle Widerspiegelung in Erdbebenbaunormen Ausgangspunkt, um im Untersuchungsgebiet Ostthüringen einen repräsentativen Anwendungsfall für die seismische Risikokartierung begründen zu können.

Durch kooperative Mitwirkung der lokalen Behörden und durch die Zusammenarbeit mit der Landesanstalt für Geologie konnte wesentliche Eingangsdaten bzw. Kartenmaterialien erworben werden, um die Ebenen des GIS-Modells der seismischen Risikokartierung auszugestalten. Mit dem Vorhaben ist es gelungen, methodischen Grundlagen der Risikokartierung zu entwickeln. Die für die Spezifik deutscher Erdbebengebiete ausgerichtete Vorgehensweise (auf der Grundlage der makroseismischen Skala EMS-98) erweist sich als anwendungsfähig für andere Untersuchungsgebiete.

## 1.2 Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Vorhaben wurde gemäß der im Antrag dargestellten Phasen des Arbeitsprogramms durchgeführt. In der *ersten Phase* wurden wesentliche Grundlagenuntersuchungen zur seismischen Risikokartierung durchgeführt und die erforderlichen methodischen, theoretischen und rechentechnischen Voraussetzungen für die konkrete Anwendung geschaffen. Durch die Erdbebeneinsätze war es möglich, die Verletzbarkeit von Bauwerken in bauweisenspezifische Empfindlichkeitsfunktionen zu überführen, die ein wesentliches Bindeglied zwischen den Erdbebenszenarien und dem Verhalten von Bauwerken bilden.

In der *zweiten Phase* des Vorhabens erfolgte die Etablierung des Erdbebenkompetenzzentrums durch die wissenschaftlichen Arbeiten im Rahmen der Einsätze der Deutschen Task Force Erdbeben. Wesentliche Ergebnisse werden in dem *Thesis*-Heft 1/2 der Wissenschaftlichen Zeitschrift der Bauhaus-Universität Weimar vorgelegt.

In der *dritten Phase* wurde antragskonform mit der Fallstudie der Stadt Schmöln die Kartierung und Bewertung der Verletzbarkeit des Bauwerkbestandes sowie - darauf aufbauend - die seismische Risikobewertung und Abschätzung von Erdbebenfolgen im Untersuchungsgebiet Ostthüringen durchgeführt.

Die Planung des Vorhabens erwies sich als geeignet, um die gesteckten Zielstellungen zum erfolgreichen Abschluss zu führen. Im Zusammenhang mit der Vorhabenabwicklung erwies es sich als notwendig, auf aktuelle Erdbebeneinsätze zu reagieren. Nicht zuletzt durch die Schwarmbebenserie im Vogtland war es erforderlich, entsprechende Umwidmungen in den Reisekosten vorzunehmen. Die Umwidmung im Bereich der wissenschaftlichen Hilfskräfte folgte ebenfalls aus dem aktuellen Bedarf nach den Erdbebeneinsätzen.

Aufgrund sorgfältiger Planung und Abwicklung des Vorhabens gab es keine Veranlassung, von den Zielstellungen des Vorhabens abzuweichen. Die Zielstellungen konnten wissenschaftlich und technisch realisiert werden.

## 1.3 Anknüpfung an wissenschaftlichen und technischen Stand

Mit dem Vorhaben wurde an den wissenschaftlichen und technischen Stand angeknüpft, der durch den Antragsteller weitestgehend selbst als mitbestimmt betrachtet werden kann. Zu nennen ist hier die Weiterentwicklung der Europäischen Makroseismischen Skala EMS-92 in Form ihrer Aktualisierung durch die Fassung EMS-98 sowie die bausteinartige Aufbereitung der seismischen Risikokartierung, die - ausgehend von der Bewertung historischer Beben und ihre Überführung in konkrete Erdbebenszenarien, über die Bereitstellung von Erdbeben-Bodenbewegungen auf der Grundlage der Starkbebenmessung der Deutschen Task Force Erdbeben bis hin zur Ableitung bauweisenspezifischer Verletzbarkeitsfunktionen auf der Basis der Schadenserhebungen - ausschließlich auf eigenen Arbeiten basiert.

Die Methodik der Risikokartierung und ihre Anwendung auf die Besonderheiten der durch eine geringe bis moderate Seismizität geprägten deutschen Erdbebengebiete wurde erstmals flächendeckend durchgeführt. Es sind keine vergleichbaren wissenschaftlichen Arbeiten oder ähnliche Vorhaben für deutsche Erdbebengebiete bekannt.

Ungeachtet dessen ist jedoch anzumerken hervorzuheben, dass insbesondere in der Schweiz vergleichbare wissenschaftliche Arbeiten anlaufen und zu ersten Abschlüssen geführt wurden. Diese Arbeiten wurden mit erheblich größerem personellen Aufwand realisiert und konzentrieren sich im wesentlichen auf die Stadt Basel, die 1356 von einem sehr schweren Beben betroffen wurde. Die gewählte Vorgehensweise weist deutliche Unterschiede zu dem Vorgehen aus, das für die deutschen Erdbebengebiete im Rahmen des Vorhabens entwickelt wurde. Die qualitativen Besonderheiten der eigenen Arbeiten bestehen in der auf konkrete Erdbebenauswertungen gestützte Beschreibung der Verletzbarkeit der Bauweisen, in der messtechnischen Untersuchung der erfassten Bauwerkssubstanz (Bestimmung der charakteristischen Grundfrequenzen) sowie in der Kopplung der Verletzbarkeitsklassen mit konkreten Schadenserwartungen am Maßstab der EMS-98. Insofern kann festgestellt werden, dass die im Ergebnis des Vorhabens vorgelegte seismische Risikokartierung und die bereitgestellten Grundlagen den wissenschaftlichen und technischen Stand für mitteleuropäische Erdbebengebiete markieren und auf andere Untersuchungsgebiete anwendbar sind.

#### **1.4 Zusammenarbeit mit anderen Stellen**

Die Zusammenarbeit mit dem GeoForschungsZentrum Potsdam war im Rahmen der Deutschen Task Force als wesentliches Element des Vorhabens vorgesehen und konnte in den verschiedenen Erdbebenmissionen erfolgreich gestaltet werden. Besonders zu würdigen ist die gute Zusammenarbeit mit den wissenschaftlichen Einrichtungen in den von Erdbeben betroffenen Gebieten Venezuelas (FINVISIS) und in der Türkei (AFET), ohne die die organisatorischen Rahmenbedingungen während der Einsätze kaum gewährleistet gewesen wären.

Im Zusammenhang mit der Entwicklung eines räumlichen Tiefenprofils für das Untersuchungsgebiet Schmölln ist die Zusammenarbeit mit der Landesanstalt für Geologie in Weimar durch Bereitstellung entsprechender Kartenunterlagen hervorzuheben.

Die Kartierung des Bauwerkbestandes in Schmölln wäre ohne die käuflich erworbenen Unterlagen des Katasteramtes nicht möglich gewesen. Aufgrund der Aktualisierung des Bauwerkbestandes durch die durchgeführten Untersuchungen ist hier ein nachweisbarer Effekt der Gegenseitigkeit zu verzeichnen gewesen, so dass hier die vom Innenministerium eingeräumte Ermäßigung der Kartengebühren als voll gerechtfertigt betrachtet werden kann.

Im Rahmen des 1999 initiierten und im Frühjahr 2000 etablierten „Deutschen Forschungsnetzes Naturkatastrophen“ konnte vom Erdbebenzentrum am Institut für Konstruktiven Ingenieurbau eine zentrale Rolle bei der Abschätzung von Schadenspotentialen in Zusammenarbeit mit Rückversicherern übernommen werden. Auf Grundlage der erfolgreichen Arbeiten auf dem Gebiet der seismischen Risikokartierung wurde hier eine Anwendung der methodischen Grundlagen auf deutsche Großstadträume angeregt. In diesem Zusammenhang hat das Vorhaben eine direkte Anbindung für Untersuchungen in anderen seismischen Regionen Deutschland gefunden.

## 2 Ausführliche Darstellung

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die wissenschaftlich-technischen Arbeitsziele des Vorhabens erfüllt wurden und dass die förderpolitischen Zielstellungen hinsichtlich der hochschul- und wissenschaftspolitischen als auch der wirtschaftspolitischen Ebene voll zum Tragen gekommen sind.

Es darf jedoch nicht übersehen werden, dass das Vorhaben nur einen ersten Beitrag zur Behandlung der aus der Seismizität Thüringens erwachsenen Aufgabenstellungen leisten konnte. Mit Einführung der Neufassung der Erdbebenbaunorm DIN 4149 wird eine neue seismische Gefährdungskarte auch für Erdbebengebiete in Thüringen verbindlich (Diese Gefährdungskarte ist u.a. auch dem *Thesis*-Heft 1/ 2, S. 52 bzw. der vergrößerten Karte auf S. 34 zu entnehmen). Wie die Gefährdungszonenkarte verdeutlicht, fallen Gera und Ronneburg in die Zone 2, die mit anderen Haupterdbeben-Regionen Deutschlands in der Schwäbischen Alb und in der Nordrheinischen Bucht vergleichbar ist. Derzeit besteht Unklarheit, wie die Erdbebensicherheit der Bauwerke allgemein zu bewerten ist. Die Kenntnis der Erdbebenverletzbarkeit ist jedoch für Bauwerke mit besonderer Bedeutung für den Katastrophenfall (Krankenhäuser, Feuerwehrgebäude und andere Hilfseinrichtungen) von maßgeblicher Bedeutung. Insofern sollten die aus dem Vorhaben gewonnenen methodischen Grundlagen auf Gera und angrenzende Gebiete übertragen werden. Anzuregen ist die Identifikation der öffentlichen Gebäude mit Bedeutung im Katastrophenfall und der sicherheitsrelevanten baulichen Anlagen der „Lebenslinien“ von Energie, Wasser, Transport und Kommunikation. In diesem Zusammenhang wäre es auch erforderlich, die oft als wenig erdbebentauglich eingestuften Großplattenbauten einer genaueren Untersuchung zu unterziehen. Diese Untersuchung müsste bei der Erfassung des Baubestandes beginnen und sollte sich in der Verfolgung des Verhaltens im ursprünglichen Planungszustand und nach der Sanierung der Gebäude resultierenden Veränderung der Erdbebenverletzbarkeit widerspiegeln.

Im Gegensatz zur DIN 4149 aus dem Jahre 1981 werden Gebiete mit Gebirgsschlagsgefährdung (zu verweisen ist auf das Kali-Werra-Gebiet) künftig in der Norm nicht mehr als seismische Zonen ausgewiesen. Dies bedeutet, dass für diese Gebiete somit auch keine gesonderten Regelungen durch die Erdbebennorm abverlangt werden (Dies ist auch sachlich nicht zu begründen, da die Gebirgsschlagseffekte spezifische Einwirkungen und Bauwerksbeanspruchungen bedingen). Des Weiteren ist festzustellen, dass gerade in den Gebieten mit Gebirgsschlagsgefährdung die Bauwerke eine begrenzte Widerstandsfähigkeit gegen horizontale Einwirkungen aufweisen und oft infolge des Baualters als besonders verletzlich einzuschätzen sind. Auf diese Sachverhalte wurde im Ergebnis der Analyse der Gebirgsschlagschäden 1998 durch Schwarz und Goldbach (1999) hingewiesen. Es scheint erforderlich, in weiterführenden Untersuchungen entsprechende Kartierungsarbeiten, wie sie auch für die erdbebengefährdeten Gebiete Ostthüringens durchgeführt wurden, unter Verwendung vergleichbarer methodischer Grundlagen auf die gebirgsschlagsgefährdeten Gebieten durchzuführen.

Thüringen ist gegenüber anderen Bundesländern durch eine hohe Dichte an sicherheitsrelevanten Bauwerken der Wasserversorgung gekennzeichnet. In diesem Zusammenhang wäre es ebenfalls angeraten, eine Klassifikation der seismischen Nachweisanforderungen in einer flächendeckenden Form vorzunehmen, die durch seismische Gefährdungsanalysen zu begründen wären.

Die angeschnittenen offenen Fragestellungen bzw. Anforderungsgebiete verdeutlichen, dass eine Weiterführung der durch das Vorhaben geleisteten Untersuchungen für das Land Thüringen wesentliche Bedeutung erlangen könnte. Die Fortführung dieser Arbeiten würde einen wissenschaftlichen und technischen Vorlauf nicht nur gegenüber den anderen Bundesländern, sondern auch im internationalen Maßstab auf diesem Gebiet sicherstellen und somit nicht zuletzt die Leistungsfähigkeit und Wettbewerbsfähigkeit des Erdbebenzentrums - sofern die Aufgaben durch diese Gruppierung übernommen werden – gewährleisten.

Zum Ende des Vorhabens kann festgestellt werden, dass die Etablierung eines anerkannten Kompetenzzentrums für Erdbebeningenieurwesen gelungen ist. Dies äußert sich u.a. in den Anfragen und der erreichten personellen Ausstattung des Erdbebenzentrums, aber auch in der Einbindung in nationale und internationale Normungsgremien.

### **3 Darstellung der Ergebnisse und ihre Verwertbarkeit**

Während des Vorhabenzeitraumes wurde großer Wert darauf gelegt, die wissenschaftlichen Ergebnisse und Auswertungen der nationalen und internationalen Fachwelt vorzustellen. Auf die einzelnen Publikationen im Rahmen von nationalen und internationalen Tagungen wurden in den jeweiligen Zwischenberichten hingewiesen. Die Ergebnisse der seismischen Risikokartierung wurden in einem Vortrag im Rahmen des Wissenschaftlichen Kolloquiums der Thüringer Landesanstalt für Geologie unter dem Thema „Seismische Risikokartierung – Testgebiet Schmöln“ sowohl den Vertretern der lokalen Behörden als auch Verantwortlichen in Thüringer Ministerien zur Kenntnis gebracht.

Die wesentlichen Ergebnisse, die vom Erdbebenzentrum im Rahmen der wissenschaftlichen Arbeiten in den letzten 3 Jahren vorgelegt wurden, stehen in der Beitragssammlung des Thesis-Heftes 1/2 zur Verfügung, wobei auch hier über Vorhaben aus anderen Forschungsprojekten, die in der Zwischenzeit gebunden werden konnten, berichtet wird. Neben der Berichterstattung auf der Europäischen Erdbebenkonferenz 1998, der Welterdbebenkonferenz 2000 wurden insbesondere regionale Veranstaltungen, in denen die von der Deutschen TaskForce ausgewerteten Erdbeben im Mittelpunkt standen, für Vortragspräsentationen genutzt. Zu verweisen ist auf Veranstaltungen in Merida (Venezuela) 1999 und das AGU-Meeting Boston 1999 (AGU- American Geophysical Union).

Über die wissenschaftlich-technischen Ergebnisse des Vorhabens wurde im Rahmen der Zwischenberichterstattung regelmäßig über den Fortschritt der Arbeiten informiert. Die wichtigsten Ergebnisse werden nachfolgend nochmals zusammengefasst.

- Entscheidende Voraussetzung für die Durchführung des Vorhabens bildeten die Einsätze der Deutschen Task Force Erdbeben in den Jahren 1997, 1998, 1999 und 2000 in den Erdbebengebieten Venezuelas und der Türkei. Im Rahmen dieser Einsätze konnte eine Serie relativ starker Nachbeben registriert und diese unikalen Erdbebendaten ausgewertet werden. Ergebnisse der Datenaufbereitung sind im Thesis-Heft 1/2 in den Beiträgen enthalten.
- Neben den ersten Einsätzen konnten die Auswertungen durch sogenannte Wiederholungseinsätze fortgeführt und durch messtechnische Untersuchungen der Standortuntergrundbedingungen weiter verifiziert werden. In diesem Zusammenhang ist der im Berichtszeitraum erfolgte Ausbau der messtechnischen Möglichkeiten und der Einsatz der erworbenen Gerätetechnik sowie die vom GeoForschungsZentrum Potsdam

zur Verfügung gestellte Technik des TaskForce-Pools hervorzuheben. Die entwickelte messtechnische Konfiguration zur Analyse der dominanten Standortperioden über Auswertungen der natürlichen Bodenunruhe und die auf der Grundlage der ausgewerteten Messsignale bestimmten Merkmale der Einwirkungsverstärkung trugen wesentlich zur Bewertung der schadensverursachenden Faktoren bei.

- Im Rahmen der Erdbebeneinsätze ist es gelungen, Methoden zur Abschätzung der lokalen Verstärkungseffekte zu entwickeln und ihre Leistungsfähigkeit zu erproben. Auf die gewonnenen Erfahrungen wird im Beitrag von *D. Lang, D., Schwarz, J.*: Herausarbeitung lokaler Standorteffekte auf der Grundlage von Nachbebenregistrierungen und Aufzeichnungen der Bodenunruhe (*Thesis*-Heft 1/ 2, 2001, S. 100 – 116) hingewiesen. Im Zusammenhang mit der seismischen Risikokartierung in Ostthüringen konnte aus Aufwandsgründen diese Technik noch nicht zum Einsatz kommen. Es bleibt jedoch einer Fortführung des Vorhabens vorbehalten, eine solche messtechnische Ergänzung der Standortbewertung vorzunehmen.
- Begonnen wurde mit der messtechnischen Instrumentierung und Untersuchung von Bauwerken, deren Test im Anfangsstadium in einem Punkthochhaus in Jena-Lobada erfolgte. Die erprobte Messkonfiguration sollte sich als geeignet erweisen, um bei künftigen Erdbebeneinsätzen zum Einsatz zu kommen. Die verstärkte inhaltliche Ausrichtung der Aktivitäten der Deutschen TaskForce auf die Messung des Bauwerkverhaltens wird die künftigen Einsätze auf eine qualitativ neue Stufe führen.
- Die Auswertung der Erdbebenschäden trug wesentlich zur Weiterentwicklung der Europäischen Makroseismischen Skala EMS-98 bei. Für die Gebiet Venezuelas und der Türkei konnten Intensitätskarten erstellt werden, die für künftige Planungs- und Bebauungsentscheidungen von Bedeutung sein dürften (siehe auch den Beitrag von *M. Raschke* Makroseismische Effekte des Kocaeli/Izmit (Türkei)-Erdbebens vom 17. August 1999 (*Thesis*-Heft 1/ 2, 2001, S. 170 – 179).
- Die seismische Risikokartierung wurde von Anfang an bausteinartig im Sinne der Schichten eines Geographischen Informationssystems strukturiert. Ausgehend von der Bewertung der historischen Erdbeben und der Ableitung von Ereignisszenarien wurden die methodischen Grundlagen zur inhaltlichen Ausgestaltung der einzelnen Schichten des Geographischen Informations-Systems entwickelt. Unter Anwendung des GIS-Programms MAP-Info wurden die Risikokartierungsarbeiten durchgeführt. Die seismische Risikokartierung wird in den einzelnen Bearbeitungsschritten, in den zugrunde liegenden Annahmen, in der Vorgehensweise und in den Ergebnissen durch die Beiträge von *J. Schwarz, M. Raschke, Maiwald, H.* Methodische Grundlagen der seismischen Risikokartierung am Beispiel der Stadt Schmölln / Ostthüringen (1): Erfassung und Bewertung des Bauwerksbestandes (*Thesis*-Heft 1/ 2, 2001, S. 180 – 199) und in Weiterführung des Vorhabens durch den zweiten Berichtsteil zu den Modellereignissen, lokalen Verstärkungseffekte und Schadensszenarien (*Thesis*-Heft 1/ 2, 2001, S. 200 – 217) dargestellt.
- Im Rahmen des Vorhabens ist es gelungen, ausgehend von modernen Methoden der Luftbilderkennung, den Gebäudebestand zu geocodieren. Am Beispiel der Stadt Schmölln konnte gezeigt werden, dass durch das gewählte Vorgehen ca. 20 % der Bauwerke in gegenüber dem katastermäßigen Bestand korrigiert werden mußten. Auf diese Weise wurde sichergestellt, dass die Erdbebenszenarien sich auf den tatsächlichen Bauwerkbestandes beziehen. Auf die gewählte Vorgehensweise zur Anpassung und

Bewertung der Bauwerkssubstanz wird in den Beiträgen des *Thesis*-Heftes 1/ 2 im Detail hingewiesen. An das Katasteramt Schmölln wurde ein entsprechender Arbeitsbericht zur Anpassung der Bestandsunterlagen übergeben.

- Von Anfang an war es geplant, methodischen Grundlagen zur Abschätzung der Erdbebenfolgen in Gebieten geringerer Seismizität zu entwickeln. Dies bedeutet u.a., dass die Bodenbewegungen auf der Grundlage empirischer Daten abzuschätzen sind. Durch die Bebenmessungen im Rahmen der Deutschen TaskForce Erdbeben ist es gelungen, eine solide Ausgangs-Datenbasis bereitzustellen und auf das Testgebiet zu übertragen.
- Des Weiteren kam es darauf an, die Bauwerkssubstanz hinsichtlich der Verletzbarkeit zu bewerten und diese empirische Bewertung in konkrete Schadensszenarien zu überführen. Diese empirische Komponente wurde in einem zweiten Schritt durch die analytische Komponente, das heißt durch die Berechnung von Bauwerken auf der Grundlage realistischer Modelle, ergänzt. Die rechentechnischen Untersuchungen stützen sich dabei vor allen Dingen auf die Analyse seismisch instrumentierter Gebäude bzw. Gebäude aus erdbebengeschädigten Regionen, für die eine relativ genaue Dokumentation der Gebäude und Schädigung sowie Beben-Registrierungen im Standortbereich verfügbar waren. Die Zielstellung bestand darin, die vorhandene Programmbasis hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit im Sinne der Schadensprognose zu überprüfen. An einzelnen Objekten konnte der Nachweis erbracht werden, dass mit den Modellen und rechentechnischen Hilfsmitteln (unter Berücksichtigung der Streubreiten-Unsicherheiten) Schadensszenarien begründet werden können. (vgl. u.a. die Beiträge von *C. Schott, Schwarz, J.: Reinterpretation des Antwortverhaltens seismisch instrumentierter Stahlbetontragwerke (Thesis-Heft 1/ 2, 2001, S. 118 – 128)*, *Th. Swain, J. Schwarz, Ebertt, M.: Simulation des Antwortverhaltens seismisch beanspruchter Stahlbetontragwerke am Beispiel des Imperial County S. Buildings (Thesis-Heft 1/ 2, 2001, S. 130 – 143)*).
- Für das Untersuchungsgebiet Ostthüringen und die Stadt Schmölln wurde - erstmals für deutsche Erdbebengebiete - eine flächendeckende seismische Risikokartierung vorgelegt. Sowohl die methodischen Grundlagen als auch die praktische Anwendung sind als einmalig und originär zu betrachten. Die auf der Grundlage von empirischen, messtechnischen und rechentechnischen Untersuchungen gewonnenen Erkenntnisse und Bausteine der Risikokartierung sind grundsätzlich auf andere deutsche Erdbebengebiete übertragbar. Wie die Ergebnisse für die einzelnen Erdbebenszenarien zeigen, können verschiedene Szenarien durchgespielt werden, die für jedes einzelne Bauwerk eine konkrete Schadensaussage für das jeweilige Szenarium gestatten. Im Sinne der politischen und juristischen Akzeptanz wurden Ergebnisse einer am Flächen-Nutzungs-Plan ausgerichteten durchschnittlichen Schadenserwartung ausgerichtet. Entsprechende Ergebnisse werden für die in der DIN 4149 für das Gebiet ausgewiesene Intensität sowie für höhere Intensitäten (Extremfälle in „optimistischer“ und „pessimistischer“ Variante) vorgelegt.

Die Resonanz auf die präsentierten Ergebnisse verdeutlicht, dass den Untersuchungen des Erdbebenzentrums hohe Wertschätzung entgegengebracht wird. Mit der Einbindung des Erdbebenzentrums am Institut für Konstruktiven Ingenieurbau der Bauhaus-Universität Weimar und des Deutschen Forschungsnetzes Naturkatastrophen (DFNK) wurde sichergestellt, dass die Erfahrungen auch auf andere deutsche Erdbebengebiete übertragen und Erkenntnisse weiterentwickelt werden können.

Im Rahmen des DFNK wurde das Erdbebenzentrum beauftragt, im Rahmen des Clusters der Projekt zur Naturgefahr Erdbeben eine verantwortliche und koordinierende Rolle zu übernehmen und selbst eine Quantifizierung der Schadenspotentiale für den Großstadtraum Köln vorzunehmen. In diesem Kontext sollte es gelingen, die Fragen nach den monetären Erdbebenfolgen auf eine realistische Grundlage zu stellen.

Es sei an dieser Stelle gestattet, auf einige interessante Aspekte zu verweisen, die im Rahmen des Vorhabens für das Untersuchungsgebiet Schmölln noch nicht geleistet werden konnten und Gegenstand weiterführender Untersuchungen sein sollten.

- Verifikation der Ableitung räumlicher Tiefenprofile durch rasterförmige messtechnische Erfassung der Bodenunruhe und Mikrobebenbereich
- Kalibrierung des räumlichen Tiefenprofils auf der Grundlage messtechnischer Ergebnisse,
- Kennzeichnung des Einflusses der im Stadtgebiet vorhandenen Störung auf die seismische Bodenbewegung,
- Weiterführung der messtechnischen Untersuchung ausgewählter Bauwerksvertreter mit dem Schwerpunkt von Plattenbauten bzw. Stahlbetonkonstruktionen,
- räumliche Visualisierung der Schadensszenarien auf der Grundlage entsprechender geocodierter Bauwerksdaten und Animations- bzw. Hilfsprogramme,
- Anwendung der entwickelten Methodik auf das Gebiet Gera/Ronneburg,
- Entwicklung von Modellen zur Extrapolation aus einzelnen Testgebieten auf den Großstadtraum,
- Untersuchung ausgewählter Objekte mit Bedeutung für die öffentliche Sicherheit bzw. mit Bedeutung für den Katastrophenfall (Krankenhäuser, Schulen, Feuerwehr, Polizei und ähnliche Gebäude),
- rechen-technische Simulation der Schäden, unter den zu erwartenden Bodenbewegungen infolge der jeweiligen Erdbebenszenarien,
- Ableitung konkreter Ertüchtigungsmaßnahmen für diese ausgewählten Objekte im Sinne einer Prioritätenliste.

(Dies entspricht auch der Vorgehensweise der in der Schweiz auf der Grundlage der gewonnenen Erkenntnisse für den Großstadtraum Basel gewonnen wurden und würde Vorbildcharakter für die anderen Erdbebengebiete Deutschlands besitzen.)

Die Erdbebensituation in Thüringen stellt sich aus Sicht des Projektverantwortlichen aufgrund der Neufassung der Norm für deutsche Erdbebengebiete DIN 4149 (mit Stand des Gelbdruckes 2001) wie folgt dar:

### ***Konsequenzen aus der Neufassung der DIN 4149 (2001)***

Die bislang bundesweit geltende DIN 4149 (1981) für Bauten in deutschen Erdbebengebieten wird im Zusammenhang mit der Einführung des Eurocode 8 durch eine neue Norm (E DIN 4149) ersetzt, deren Gelbdruck durch das zuständige Normungsgremium im DIN verabschiedet wurde. Damit wird auf die Veränderungen im Stand Wissenschaft und Technik reagiert und der Harmonisierung der Europäischen Baunormen durch eine auf die Besonderheiten deutscher Erdbebengebiete ausgerichtete nationale Norm begegnet.

Gegenüber der DIN 4149 (alt) ergeben sich Veränderungen, die insbesondere für das Territorium des Freistaates Thüringen von Bedeutung sind:



- Das auf historische Beobachtungen maximaler Bebenintensitäten gestützte (deterministische) Zonierungskonzept wird durch eine probabilistischen Karte ersetzt, die dem *praktischen Sicherheitsbedürfnis und dem aktuellen Stand der Technik* besser gerecht wird.
- Die neue Erdbebenzonenkarte geht von einer mittleren Wiederholungsperiode von 475 Jahren aus und entspricht einer 10% Überschreitenswahrscheinlichkeit in 50 Jahren. Dieses Gefährdungsniveau wird für *allgemeine Hochbauten* als ausreichend angesehen.
- Die Zonen der alten und neuen DIN 41419 unterscheiden sich bei quasi gleicher Nummerierung nicht nur qualitativ hinsichtlich der Gefährdungsgröße, sondern auch quantitativ bezüglich der jeweils zugeordneten ingenieurseismologischen Kenngrößen.
- Auch die E DIN 4149 (2001) ist als Norm für allgemeine Hochbauten vorgesehen und formuliert. Durch den Geltungsbereich werden sicherheitsrelevante Anlagen, Talsperren und auch Brücken explizit ausgeklammert.
- Somit ist für diese Bauwerke, die durch ein erhöhtes Risikopotential gekennzeichnet sind, auch die DIN-Zonenkarte nicht direkt übertragbar.

Für die *Bauwerke mit erhöhtem Sicherheitsbedürfnis bzw. Risikopotential* ergeben sich aus der notwendigen Beurteilung der Erdbebensicherheit Konsequenzen, die nur in staatlicher bzw. behördlicher Verantwortlichkeit zu regeln sind. Dies gilt insbesondere für Talsperren, Rückhaltebecken, Deponien und Absetzanlagen. u.a., bei denen a priori auf eine Betrachtung des Lastfalles Erdbeben nicht verzichtet werden darf bzw. denen Ereignisse mit einer deutlich geringeren Eintrittswahrscheinlichkeit zugrunde zu legen sind.

Dies äußert sich in der Forderung, für das Sicherheitsbeben von Ereignissen mit mittleren Wiederholungsperioden von 10000 (bzw. 5000) Jahren auszugehen. Das für die Auslegung maßgebende Beben ist somit von höherer Stärke als das für den jeweiligen Standort gemäß Erdbebenzonenkarte der DIN 4149 charakterisierte Bemessungsbeben.

#### *Besonderheiten der Erdbebengefährdung in Thüringen*

Das Land Thüringen weist hinsichtlich seiner Erdbebengefährdung gegenüber anderen Bundesländern eine Besonderheit auf, die sich mit dem Begriff der *induzierten Seismizität*, d. h. mit der durch den Eingriff des Menschen in die Natur hervorgerufenen Seismizität verbindet.

Mehrere schwere Gebirgsschläge sind bisher im Kalibergbau-Revier Werra beobachtet worden. Der Gebirgsschlag von Völkershausen (13. März 1989) erreichte mit einer Magnitude von 5,5 eine Größe der Energiefreisetzung, die für die tektonischen (natürlichen) Erdbeben als *Maximalereignis in einem Zeitraum von 500 Jahren* zu betrachten ist.

Eine Wiederholung derartiger Ereignisse ist trotz der drastischen Reduzierung bzw. Beendigung der Fördertätigkeiten nicht auszuschließen. Die Beseitigung der Erdbebenfolgen in Völkershausen erforderte enorme ökonomische Mittel. Vergleichbare Ereignisse dürften die Möglichkeiten eines Bundeslandes allein übersteigen. (Anmerkung: Auf diese Besonderheiten wurde bereits in der Anlage 1 zum Projektantrag hingewiesen)

Während in der DIN 4149 (1981) die von induzierten Ereignissen getroffenen Gebiete noch explizit ausgewiesen und somit bauliche Vorkehrungen gewährleistet wurden, entfallen diese Gebiete in der neuen Gefährdungszonenkarte, die ausschließlich auf – von der Entstehung her - tektonische Erdbebenereignisse ausgerichtet ist.

Daraus ergibt sich insbesondere in den Ingenieurwissenschaften ein Handlungsbedarf, der in folgenden Punkten zusammengefaßt werden kann (Schwarz, 2001):

- Diskussion des Gelbdruckes zur E DIN 4149 (Fassung Juni 2001) sowie der Anforderungen aus und in den Erdbebenzonen
- Festlegung von Gefährungsklassen in Abhängigkeit von der Bauwerkskategorie bzw. vom Risikopotential
- Identifikation und Aufnahme der im Katastrophenfall überlebenswichtigen Objekte (Krankenhäuser, Feuerwehren u.ä.)
- Identifikation und Überprüfung sicherheitsrelevanter oder “versorgungsrelevanter” Bauwerke insbesondere der Lebenslinien (*life-lines*): Energie, Wasser, Nahrung, Transport, Kommunikation, Altlasten
- Identifikation des Bauwerksbestandes und seiner Verletzbarkeit
- Abschätzung der Schadenspotentiale im großräumigem Maßstab (Schwerpunkt Ostthüringen)
- Klärung des Ertüchtigungsbedarfs
- Schadenspotentiale infolge induzierter Ereignisse und Ableitung von Vorsorgemaßnahmen (nach Wegfall der Zonen in E DIN 4149)
- Seismische Instrumentierung
- (Natur)-Katastrophenmanagement

Schwarz, J. (2001):

Seismische Risikokartierung - Schadenspotentiale in Ostthüringen, Testgebiet Schmölln. Vortrag im Rahmen der Wissenschaftlichen Kolloquien der Thüringer Landesanstalt für Geologie, 21.03.2001.

## **Anlage 1:**

### **Übersicht zu den Beiträgen im *Thesis*-Heft 1/ 2, 2001: Ingenieurseismologie und Erdbebeningenieurwesen**

#### **Komplex 1: Historische Erdbeben/ Bebenszenarien**

*Fischer, Jan, Grünthal, Gottfried, Schwarz, Jochen:*

Das Erdbebens vom 07.Februar1839 in der Gegend von Unterriexingen, 8 - 30

*Grünthal, Gottfried, Schwarz, Jochen:*

Reinterpretation der Parameter des Mitteldeutschen Bebens von 1872 und Ableitung von Erdbebenszenarien für die Region Ostthüringen, 32 - 48

#### **Komplex 2: Erdbeben – Einwirkungen - Task Force – Bebenmessungen**

*Schwarz, Jochen, Golbs, Christian, Grünthal, Gottfried:*

Gefährdungskonsistente Einwirkungen für deutsche Erdbebengebiete – Konsequenzen für die Normenentwicklung, 50 - 69

*Habenberger, Jörg; Lang, Dominik, Schwarz, Jochen:*

Antwortspektren auf der Grundlage der Starkbebenmessungen im Erdbebengebiet der Türkei, 70 - 78

*Schwarz, Jochen, Habenberger, Jörg, Schott, Corina:*

Auswertung von Strong-Motion-Daten in den für deutsche Erdbebengebiete maßgebenden Magnituden- und Entfernungsbereichen: Fallstudie für felsige Untergrundbedingungen, 80 – 91.

*Raschke, Mathias,; Brunner, Manfred, Schwarz, Jochen:*

Strong-Motion-Registrierungen während der Schwarmbebenserie im Vogtland (September bis November 2001), 92 - 99

*Lang, Dominik, Schwarz, Jochen:*

Herausarbeitung lokaler Standorteffekte auf der Grundlage von Nachbebenregistrierungen und Aufzeichnungen der Bodenunruhe, 100 - 116

#### **Komplex 3: Verhalten seismisch beanspruchter Bauwerke**

*Schott, Corina, Schwarz, Jochen:*

Reinterpretation des Antwortverhaltens seismisch instrumentierter Stahlbetontragwerke, 118 – 128.

*Swain, Thomas, Schwarz, Jochen, Ebert, Matthias:*

Simulation des Antwortverhaltens seismisch beanspruchter Stahlbetontragwerke am Beispiel des Imperial County S. Buildings, 130 - 143.

*J. Schwarz, C. Schott, T.M. Swain.*

Simulationen zur Effizienz der Ertüchtigungsmaßnahmen an einem erdbebengeschädigten Bürogebäude, 144 - 156

*Habenberger, Jörg:*

Zur Berechnung von flüssigkeitsgefüllten Tankbauwerken unter seismischen Einwirkungen, 158 - 168.

#### **Komplex 4: Seismische Risikokartierung**

*Raschke, Mathias:*

Makroseismische Effekte des Kocaeli (Türkei)-Erdbebens vom 17. August 1999, 170–179.

*Schwarz, Jochen, Raschke, Mathias, Maiwald, Holger:*

Methodische Grundlagen der seismischen Risikokartierung am Beispiel der Stadt Schmölln / Ostthüringen (1): Erfassung und Bewertung des Bauwerksbestandes, 180 – 199.

*Schwarz, Jochen, Raschke, Mathias, Maiwald, Holger:*

Methodische Grundlagen der seismischen Risikokartierung am Beispiel der Stadt Schmölln / Ostthüringen (2): Modellereignisse, lokale Verstärkungseffekte und Schadensszenarien, 200 - 217.

## Anlage 2

### Veröffentlichungen im Berichtszeitraum

#### 1998

- Schwarz, J.; Lang, D., Habenberger, J.; Raschke, M., Baumbach, M.; Grosser, H. et. al., Schmitz, M. et al.:  
The Cariaco, Venezuela, Earthquake of July 09, 1997: Engineering analysis of structural damage. Eleventh European Conference on Earthquake Engineering, Paris 1998.
- Raschke, M., Schwarz, J.:  
Application of the EMS-92 to the Cariaco (Venezuela) earthquake of July 09, 1997. XXVI General Assembly of European Seismological Commission, August 23 - 28, 1998, Tel Aviv. Special Theme Session. The European Macroseismic Scale EMS-92. Latest Updates and Applications.
- Schwarz, J.:  
The assignment of vulnerability class(es) for structures with earthquake resistant design. XXVI General Assembly of European Seismological Commission, August 23 - 28, 1998, Tel Aviv. Special Theme Session. The European Macroseismic Scale EMS-92. Latest Updates and Applications
- Grünthal, G. (ed.); Musson, R.; Schwarz, J.; Stucchi, M.:  
European Macroseismic Scale 1998 .Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Sismologie, Volume 15, Luxembourg 1998.
- Raschke, M.; Wuttke, F.; Wenk, Th.:  
Das Adana-Ceyhan Erdbeben vom 27. Juni 1998. D-A-CH – Mitteilungsblatt August 1998, Nr. 2. Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik, S. 12-14

#### 1999

- Lang, D., Schwarz, J., Raschke, M.:  
The Cariaco, Venezuela, Earthquake of July 09, 1997: Aftershock recordings, site response studies and macroseismic investigations. AGU Spring Meeting, Boston, June 1 – 4, published as a supplement to EOS, April 27, 1999.
- Lang, D., Raschke, M., Schwarz, J.:  
The Cariaco, Venezuela, Earthquake of July 09, 1997: Aftershock measurements, macroseismic investigations and engineering analysis of structural damage. VI Congreso Venezolano de Sismología e Ingeniería Sísmica, Mérida, Venezuela, May 12 – 14, 1999.
- Schwarz, J., Grünthal, G.:  
Hazard-consistent seismic action and its application to codes for a low seismicity regions of Central Europe. 9th SDEE 99, August 9-12, 1999 Bergen, Norway, Abstracts Volume (K. Atakan, L. Ottemöller) Elsevier, 169.
- Khakimov, S. A., Raschke, M., Schwarz, J.,:  
Voruntersuchungen zur seismischen Risikokartierung am Beispiel der Stadt Taschkent. In: Erdbebengerechtes Bauen mit lokal verfügbaren Materialien in Zentralasien. *Thesis Wiss. Zeitschrift der Bauhaus-Universität Weimar.* 45 (1999) 6, 94-105.
- Schwarz, J. u.a.:  
Lessons from recent earthquakes – field missions of German Task Force. 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand, Januar 30 – February 4, 2000. Special Theme Session.
- Lang, D., Raschke, M., Schwarz, J.:  
The Cariaco, Venezuela, Earthquake of July 09, 1997: Aftershock measurements, macroseismic investigations and engineering analysis of structural damage. VI Congreso Venezolano de Sismología e Ingeniería Sísmica, Mérida, Venezuela, May 12 – 14, 1999.
- Lang, D. H., Schwarz, J., Raschke, M.:  
The Cariaco (Venezuela) Earthquake of July 09, 1997: Aftershock Recordings, Site Response Studies and Macroseismic Investigations. Invited Presentation at American Geophysical Union (AGU) Spring Meeting, Boston, Massachusetts, 1999

Brunner, M.; Lang, D.; Raschke, M.; Schwarz, J.:  
Post-TaskForce Einsatz in Venezuela PETFINEV-99. D-A-CH – Mitteilungsblatt September 1999,  
Nr. 2. Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik, S. 19-21  
Lang, D. H., Raschke, M.:  
Das Kocaeli (Türkei) Erdbeben vom 17. August 1999 – Einsatz der Deutschen TaskForce Erdbeben.  
Kurzbericht. D-A-CH Mitteilungsblatt, Band 18, September 1999, Nr. 2, Erdbebeningenieurwesen und  
Baudynamik

## 2000

Lang, D. H., Schwarz, J., Raschke, M.:  
Mission of German TaskForce after the Izmit (Kocaeli) Earthquake of August 17, 1999: Analysis of  
Aftershock Data and Structural Damage. IIASA-EuroConference on Global Risk and Catastrophe Risk  
Management: Earthquake Risks in Europe, Laxenburg/Austria, 2000  
Raschke, M., Schwarz, J., Lang, D. H.: A differentiated statistic of building damages in a macrosismic  
analysis after the Turkish earthquakes in 1999. IIASA-EuroConference on Global Risk and  
Catastrophe Risk Management: Earthquake Risks in Europe, Laxenburg/Austria, 2000  
Lang, D. H., Schwarz, J., Habenberger, J. (2000):  
Strong-Motion Data recorded during Missions of German TaskForce. 17<sup>th</sup> General Assembly of the  
European Seismology Commission (ESC), Lisbon/Portugal, 2000  
Lang, D. H., Schwarz, J. (2000):  
A Comparison of Site Response Estimation Techniques: Case Studies in Earthquake-Affected Areas.  
Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Conference on Seismic Zonation, Palm Springs/USA, 2000  
Lang, D. H., Raschke, M., Schwarz, J. (2000):  
The Cariaco, Venezuela, Earthquake of July 09, 1997: aftershock recordings, site response studies and  
macroseismic investigations. Tectonophysics (Sonderheft zum Beben, eingereicht und für die  
Veröffentlichung bestätigt)  
Schwarz, J., Lang, D., Raschke, M.:  
Die Erdbeben in der Türkei am 17.08.1999 und 12.11.1999. Ein Beitrag zur Ingenieuranalyse der  
Schäden. Bautechnik 77 (2000) 5, 301-324.

## 2001

Schwarz, J., Lang, D. H. (2001):  
Erdbeben in Deutschland – Wie sicher sind unsere Bauwerke? Vortag zur Wissenschafts-Presse-  
konferenz (WPK) in Bonn am 16.01.2001  
Lang, D.; Ende, C.; Schwarz, J.:  
Post-TaskForce Einsatz in den Erdbebengebieten der Türkei. D-A-CH – Mitteilungsblatt April 2001,  
Nr. 1. Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik, S. 15-17.  
Swain, Th. M., Schott, C., Schwarz, J., Lang, D. H., Ebert, M. (2001):  
Reinterpretation des Antwortverhaltens erdbebengeschädigter Stahlbetontragwerke auf der Grundlage  
seismischer Registrierung. D-A-CH Tagung 2001, Innsbruck, 20 – 29.  
Schwarz, J., Raschke, M., Maiwald, H. (2001):  
Seismische Risikokartierung in deutschen Erdbebengebieten – Fallstudie Ostthüringen. D-A-CH  
Tagung 2001, Innsbruck, 112-121  
Lang, D. H., Ende, C., Schwarz, J. (2001):  
Post-TaskForce Einsatz in den Erdbebengebieten der Türkei. Kurzbericht. D-A-CH Mitteilungsblatt,  
Band 20, April 2001, Nr. 1