Von der Gefährdung zur Schadensabschätzung: Erdbebenszenarien für die Schweiz

Autor(en): **Fäh, Donat / Deichmann, Nicolas / Kind, Fortunat**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **118 (2000)**

Heft 40: **Erdbebenvorsorge in der Schweiz**

PDF erstellt am: **19.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-79984

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

bebensicherheit vor Ablauf der Verjährungsfristen entdeckt wird [5] und der Grundeigentümer erfährt, dass sein Gebäude unverkäuflich ist, weil es zufolge fehlender Erdbebensicherheit wertlos oder in erheblichem Umfange minderwertig ist. Heute sind sich weite Bevölkerungskreise bereits im klaren, dass der Wert eines Grundstückes durch Altlasten im Untergrund («teure Leichen im Keller») erheblich eingeschränkt werden kann; diese können sogar zu einem Minuswert des Grundstückes führen [6,7]. Der Wert eines Bauwerkes wird ebenfalls massgebend dadurch mitbestimmt, ob die Erdbebensicherheit genügend oder ungenügend ist.

Prof. Bachmann hat nicht nur wissenschaftliche, sondern auch politische Durchhalte- und Durchsetzungskraft bewiesen. Die Sensibilisierung für das Erdbebenrisiko steigt. Bundesrat Moritz Leuenberger hat per 1. Januar 2000 dem Bundesamt für Wasser und Geologie (BWG) die Federführung bei der Erdbebenvorsorge des Bundes übertragen. Das BWG hat bis Ende 2000 zuhanden des Bundesrates einen Antrag für Massnahmen zur Erdbebenvorsorge des Bundes zu stellen [8]. Dies ist ein grosser und beispielgebender Teilerfolg. Ich habe darauf hingewiesen, dass die Bundesverfassung dem Bund sogar für Fuss- und Wanderwege die Gesetzgebungskompetenz verleiht (Art. 88 BV), jedoch keine Kompetenz für die umfassende Gesetzgebung zur Erdbebenvorsorge. Als ich diese halb ironische, halb zynische Bemerkung machte, wusste ich noch nicht, dass Prof. Bachmann Hauptinitiator dieses Verfassungsartikels war. Ich wünsche ihm auch im Bereich der Erdbebenvorsorge einen gleichwertigen krönenden Erfolg.

Adresse des Verfassers:
Rainer Schumacher, Prof. Dr. iur., Schumacher Baur Hürlimann, Rechtsanwälte und Notare, Oberstadtstrasse 7, 5400 Baden.

Literatur

[1]
Gauch P.: Zum Stand der Lehre und Rechtsprechung/Geschichten und Einsichten eines privaten Schuldrechtlers. ZSR 2000, Bd. I, S. 1 ff., S. 12
[2]
SIA-Dokumentation D 0162. Zürich 2000, S. 103 f.
[3]
Pound R.: Law in Books an Law in Action. American Law Review 1910, S. 12 ff, zit. nach *Rehbinder M.*: Rechtssoziologie. 3. Auflage, Berlin und New York 1993, S. 3
[4]
Bachmann H.: Realitätsnahe Erdbebenprüfung von Tragwerken/Schweizer Bauwerke schlecht gewappnet. NZZ vom 8. September 1999, S. 71; *Bachmann H.*,Auch unsere Bauwerke sind nicht sicher/Erdbeben können verheerend sein. Der Schweizerische Hauseigentümer, 15. Februar 2000, S. 19
[5]
Schumacher R.: zit. in Fussnote 2, S. 110, S. 114 und S. 119
[6]
Verordnung über die Sanierung von belasteten Standorten. Altlasten-Verordnung, AltLV, 26. August 1998
[7]
Liniger H.U.: Altlastenproblematik im neuen Umweltschutzrecht/Von den besonders teuren Leichen im Keller. SBW vom 28. Januar 2000, S. 19 und S. 21
[8]
Schweizer Ingenieur und Architekt, Heft 29/30, 25. Juli 2000, S. 38
[9]
Schumacher R.: zit. in Fussnote 2, S. 108

Donat Fäh, Nicolas Deichmann, Fortunat Kind und Domenico Giardini, Zürich

Von der Gefährdung zur Schadensabschätzung

Erdbebenszenarien für die Schweiz

Die im Jahr 1999 aufgetretenen Erdbeben in der Türkei, Griechenland und Taiwan haben uns einmal mehr die verheerenden Folgen dieser Naturereignisse in dicht besiedelten und industrialisierten Gebieten vor Augen geführt. Obwohl die Schweiz in den letzten fünfzig Jahren von schadenverursachenden Erdbeben weitgehend verschont geblieben ist, zeigt uns die Geschichte, dass Erdbeben auch hierzulande mit erheblichem Zerstörungspotential auftreten können.

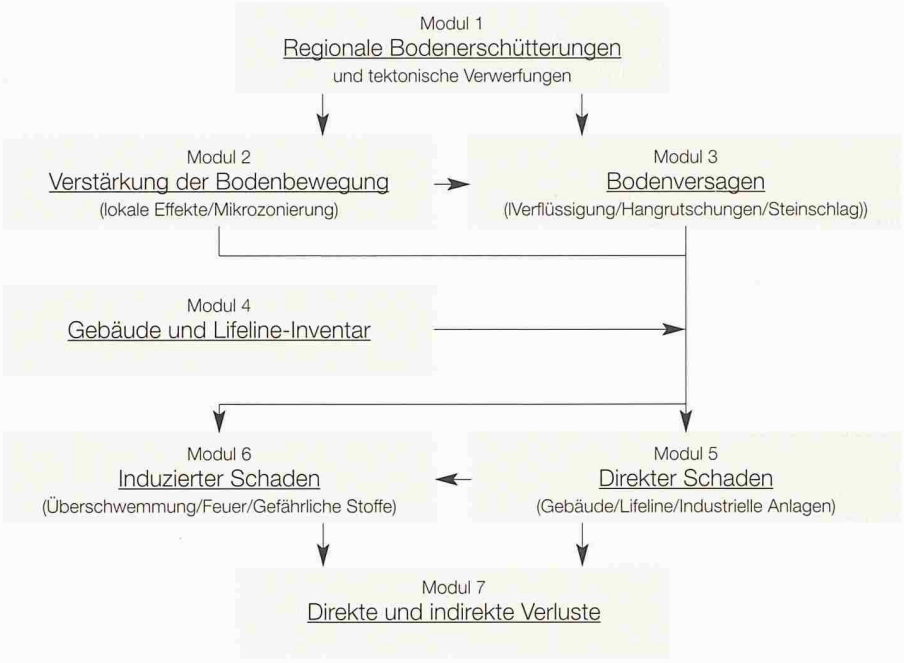
Das stärkste, aus historischen Quellen bekannte Erdbeben in Mitteleuropa zerstörte 1356 grosse Teile der Stadt Basel. Auch in der Zentralschweiz, im St. Galler Rheintal, in Graubünden und vor allem im Wallis sind in den vergangenen Jahrhunderten wiederholt Schadensbeben aufgetreten. Die bekannten Erdbeben bilden die Grundlage der 1978 für die Schweiz erarbeiteten Karte der Erdbebengefährdung [1]. Diese diente als Basis für die Erdbeben-Baunorm SIA 160 [2].

Für die gesellschaftlichen Entscheidungsträger ist nicht die Erdbebengefährdung an sich von Relevanz, sondern das Erdbebenrisiko. Letzteres ergibt sich aus dem Zusammenwirken von naturbedingter Gefährdung, der Verletzbarkeit der Infrastruktur und der möglichen Verluste. Gefragt ist also eine quantitative Abschätzung der räumlichen Verteilung der zu erwartenden Erdbebenschäden. Das Erdbebenrisiko muss daher ganzheitlich und interdisziplinär betrachtet werden. Dass sich diese Erkenntnis in der Schweiz durchgesetzt hat, ist ganz besonders Professor Hugo Bachmann zu verdanken, der sich seit Jahren beharrlich dafür einsetzt, dass Erdwissenschafter, Ingenieure, Planer, Behörden und Politiker gemeinsam vorgehen, im Bestreben das Erdbebenrisiko zu vermindern [3].

Der Schweizerische Erdbebendienst hat 1998 in Zusammenarbeit mit dem Institut für Baustatik und Konstruktion der ETH Zürich, mit Geologen der Universität Basel und mit Behördenvertretern des Kantons Basel-Stadt das Projekt «Erdbebenszenarien für die Schweiz» lanciert [4]. In diesem Beitrag soll die entsprechende Methodologie erläutert und anhand einer Anwendung auf den Kanton Basel-Stadt veranschaulicht werden.

Methodologie der Schadensabschätzung

Das allgemeine Vorgehen zur Abschätzung des Schadens als Folge eines Erdbebens ist in Bild 1 schematisch dargestellt. Die zum Schlussergebnis beitragenden Faktoren können demgemäss in einzelne Module eingeteilt werden, die einerseits unabhängig voneinander behandelt werden können, deren Ausgangsgrössen aber



1
Schematische Darstellung des Vorgehens zur Abschätzung des Erdbebenrisikos

andererseits als Eingangsgrössen für die folgenden Module dienen. Das Einbinden dieser verschiedenen Module in ein geographisches Informationssystem (GIS) erlaubt es, den kombinierten Effekt der einzelnen Einflussgrössen auszuwerten und kartographisch darzustellen. Wichtig ist dabei die Berücksichtigung der entsprechenden Unsicherheiten.

Modul 1

Die Abschätzung der regionalen Erdbebengefährdung stellt naturgemäss den ersten Schritt in einer Risikoabschätzung dar. Einerseits werden deterministische Verfahren angewendet, um historische Ereignisse oder maximal zu erwartende Erdbeben zu simulieren. Andererseits wird der Zufälligkeit von Erdbeben durch die Anwendung von probabilistischen Modellen Rechnung getragen. Ausgangspunkt dieser Modelle ist die Erkenntnis, dass die statistische Verteilung von schwachen Erdbeben die Wahrscheinlichkeit bestimmt, mit der starke Beben auftreten, sowie die Annahme, dass die Seismizität der Vergangenheit das zukünftige Auftreten von Erdbeben widerspiegelt. Ausschlaggebend für die Zuverlässigkeit des Ergebnisses ist die Qualität der vergangenen Beobachtungen und die Vollständigkeit des verwendeten Erdbebenkataloges. Für eine sinnvolle Beurteilung der seismischen Gefährdung gilt es in jedem Fall zu berücksichtigen, dass die Unsicherheit einer Abschätzung der Auftretenswahrscheinlichkeit eines Erdbebens mit zunehmender Stärke des Ereignisses wegen seiner entsprechend langen statistischen Wiederkehrperiode überproportional zunimmt [5]. Einen wichtigen Einfluss haben ausserdem die Abgrenzung der seismotektonischen Quellgebiete sowie die Abminderung der seismischen Erschütterungen auf dem Weg von der Quelle zum Beobachtungsstandort. Traditionell wird die seismische Gefährdung entweder als Intensität, entsprechend einer der gängigen makroseismischen Intensitätskalen (z.B. Mercalli, MSK oder EMS 98), oder als Spitzenbeschleunigung (PGA) der zu erwartenden Erschütterung ausgedrückt. Moderne Methoden arbeiten mit vollständigen Zeitreihen oder mit spektralen Werten der Bodenbewegung.

Modul 2

Die Erfahrung zeigt, dass die tatsächlich auftretenden Erschütterungen lokal von den regionalen Mittelwerten stark abweichen und kleinräumig grosse Unterschiede aufweisen können. Die durch ein Erdbeben verursachte Bodenbewegung wird im Falle von weichen Böden in der Regel um das Zwei- bis Vierfache, in Extremfällen sogar um das Zehn- bis Dreissigfache, gegenüber derjenigen eines festen Untergrundes verstärkt. Zudem führen solche Aufschaukelungsphänomene sowohl zu einer frequenzabhängigen Verstärkung als auch zu einer Verlängerung der Dauer der Erschütterungen. Dies wirkt sich besonders verheerend aus, wenn die dominierende Schwingungsfrequenz im Untergrund mit der Resonanzfrequenz der Gebäude übereinstimmt. In Mikrozonierungsstudien muss daher die lokale Erschütterungsfähigkeit als Funktion der geotechnischen Eigenschaften des Untergrundes erarbeitet und dokumentiert werden.



2
Zonierung und Mikrozonierung in Gebieten mit geringer Seismizität: schematische Darstellung der in der Mikrozonierung anwendbaren Verfahren (Grundlagendaten: Regionale Gefährdung)

Modul 3

Als weitere geologisch bedingte Folgen von starken Erdbeben sind Bodenverflüssigungen, Hangrutschungen und Bergstürze sowie kleinräumige Terrainveränderungen wie Sackungen, Hebungen und Rissbildung zu berücksichtigen. Bodenverflüssigung, bei der die Kohäsion lockerer Sedimente unter Umständen plötzlich auf Null sinken kann, ist vor allem im Mittelland im Bereich von Fluss- und Seeufern zu erwarten. Hangrutschungen und Bergstürze stellen hingegen in Berggebieten ein zusätzliches Gefahrenpotential dar und sind zum Beispiel als Folgen der Walliser Beben von 1855 und 1946 eindrücklich dokumentiert.

Modul 4

Für den Menschen wirkt sich die Erdbebengefährdung erst dann verheerend aus, wenn dadurch die gesellschaftliche Infrastruktur und insbesondere die Gebäude in Mitleidenschaft gezogen werden. Um das tatsächliche Schadenspotential abzuschätzen, ist es daher notwendig, eine Inventarisierung der potentiell gefährdeten Bauten durchzuführen. Dabei sind die Bauten nach Konstruktionstyp, Grösse, Grundriss und Material zu klassifizieren, so dass ihre Verletzbarkeit als Folge einer gegebenen Erdbebeneinwirkung quantitativ abgeschätzt werden kann [6]. Damit Prioritäten für allfällige Sanierungen von bestehenden Bauten richtig gesetzt werden können, ist es ausserdem notwendig, die Verwendung und die Belegung der betrachteten Gebäude zu erfassen. Dies ist besonders wichtig im Falle überlebenswichtiger Infrastrukturbauten (Lifelines), wie Systeme der Energie- und Wasserversorgung, Transport- und Kommunikationsnetze, sowie Feuerwehreinrichtungen und Spitäler.

Modul 5

Um die direkten Schäden abzuschätzen, werden die Resultate der ersten vier Module kombiniert. Die lokal zu erwartenden Bodenbewegungen aus den Modulen 1 und 2 erlauben es abzuschätzen, welche sekundären Effekte an der Erdoberfläche (Modul 3) in welchem Ausmass eintreffen könnten.

Modul 4 erlaubt dann, die direkt betroffenen Bauten und das Ausmass der Beschädigung abzuschätzen. Die direkten Schäden beinhalten nur diejenigen Schäden, die allein durch die Erdbebenerschütterungen oder durch direkte Einwirkungen sekundärer Phänomene, wie Bodenverflüssigung und Bergstürze, verursacht werden. Ein grosses Problem stellt dabei die Definition von Schadentypen und ihre Bewertung dar.

Modul 6

Neben den direkten Schäden sind auch solche zu berücksichtigen, die als Folge des Versagens der betroffenen Bauten entstehen. Tatsächlich kommt es häufig vor, dass Brände im Zusammenhang mit der Beschädigung von Gas- und Stromversorgungs-Netzen eine verheerendere Wirkung haben als die Erdbebenerschütterungen selber. Weitere indirekte Schäden können auch durch Überschwemmungen nach dem Versagen von Staudämmen oder durch unkontrollierte Freisetzung von gefährlichen Stoffen aus Industrieanlagen aller Art verursacht werden.

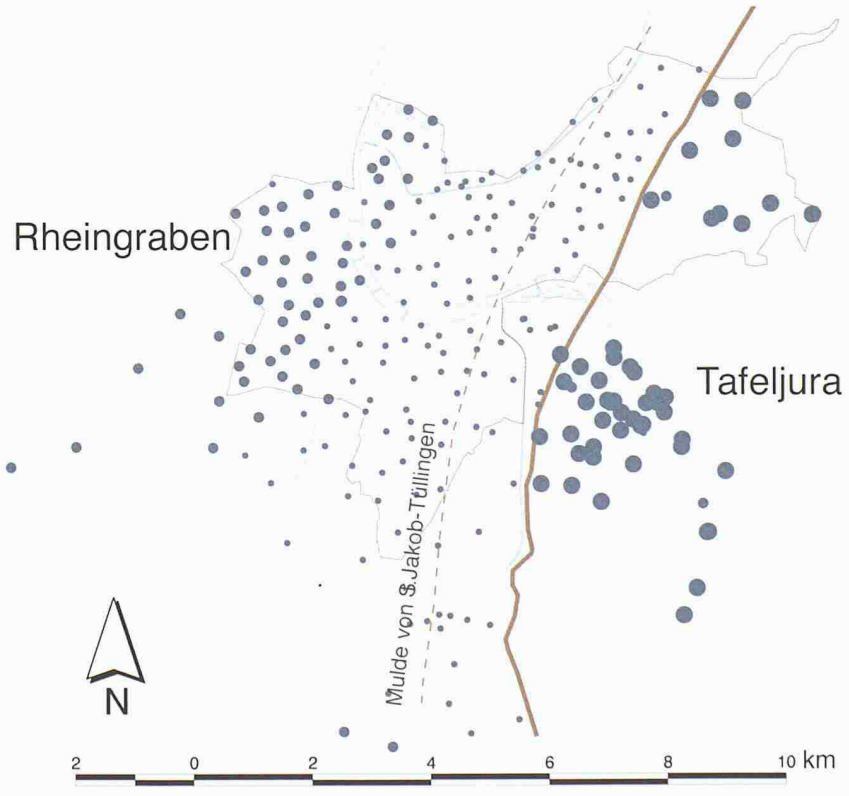
Modul 7

Die Ausgangsgrössen der Module 5 und 6 müssen schliesslich in eine Abschätzung des zu erwartenden Verlustes umgerechnet werden. Auch hier gibt es sowohl direkte Kosten, die bei der Schadensbehebung anfallen, als auch wirtschaftliche Folgekosten, wie Produktionsausfall und Arbeitsplatzverluste. Zusätzlich zu diesen volkswirtschaftlich quantifizierbaren Verlusten gilt es, auch die Folgen von Todesfällen und die mehr qualitativen mittel- und langfristigen gesellschaftspolitischen Auswirkungen zu berücksichtigen.

Methoden der quantitativen Mikrozonierung

Ein Grossteil der Verluste als Folge der verheerenden Erdbeben der letzten Jahrzehnte hätten vermieden werden können, wenn die geotechnisch bedingten Verstärkungseffekte des Baugrundes erfasst und bei der Auslegung der entsprechenden Bauten berücksichtigt worden wären. Die Mikrozonierung ist daher eine essenzielle Massnahme zur Minderung des Erdbebenrisikos. In der Schweiz sind bisher verschiedene Mikrozonierungsstudien durchgeführt worden, im Kanton Obwalden [7], im St. Galler Rheintal [8], in Basel [9, 10] und im Wallis [11]. Auch das Projekt «Erdbebenszenarien für die Schweiz» beinhaltet als einen der Schwerpunkte die Entwicklung und das Testen verschiedener Methoden der Mikrozonierung. In Bild 2 sind die dabei anwendbaren Verfahren, abgestuft nach ihrem Detaillierungsgrad und dem entsprechenden Untersuchungsaufwand, schematisch dargestellt.

Mikrozonierungen beinhalten verschiedene Arbeitsschritte. Den ersten Schritt bildet die geologische und geotechnische Kartierung der Lockersedimente, das Erfassen von tektonischen



3

Gemessene Resonanz-Grundfrequenzen der Lockersedimente für das Gebiet von Basel [12]. Grosse Punkte bezeichnen Resonanzfrequenzen grösser als 2 Hz, mittlere Punkte stehen für den Bereich 0,75–1,2 Hz und kleine Punkte für 0,3–0,75 Hz

Störungen und die Beurteilung der Hangstabilität. Wichtige Grössen sind dabei die Mächtigkeit der Lockersedimente sowie deren Zusammensetzung, die Tiefe des Grundwasserspiegels, welcher vor allem bei nichtlinearem Verhalten von Sedimenten eine Rolle spielen kann, und die Topografie der Felsoberfläche und des Geländes. Diese Grössen beeinflussen das Wellenverhalten und sind während des Erdbebens massgeblich für das Auftreten von Resonanzphänomenen verantwortlich. In einem zweiten Schritt erlaubt die Kenntnis der Resonanz-Grundfrequenz der Lockersedimente eine vereinfachte Beurteilung des dynamischen Verhaltens des lokalen Untergrundes durch Erdbebenwellen-Anregung. In seismisch aktiven Gebieten ist es im Prinzip möglich, dieses Verhalten mittels Erdbebenaufzeichnungen an verschiedenen Standorten direkt zu beobachten. In weniger aktiven Gebieten wie der Schweiz muss man auf indirekte Methoden zurückgreifen. So kann die Resonanz-Grundfrequenz auch mit Hilfe der Eigenschaften der natürlichen Bodenunruhe bestimmt werden. Diese wird durch Maschinen und Verkehr, durch Meeresbrandung und starke Winde erzeugt. Sie ist überall vorhanden und wird in aktiven seismischen Messungen als Störung empfunden. Das Wellenfeld wird jedoch von der lokalen geologischen Struktur beeinflusst und zeigt an der Stelle der Grundfrequenz eine systematische Polarisation auf der horizontalen Bewegungskomponente. Als Beispiel ist in Bild 3 das Resultat solcher Messungen für das Gebiet von Basel dargestellt.

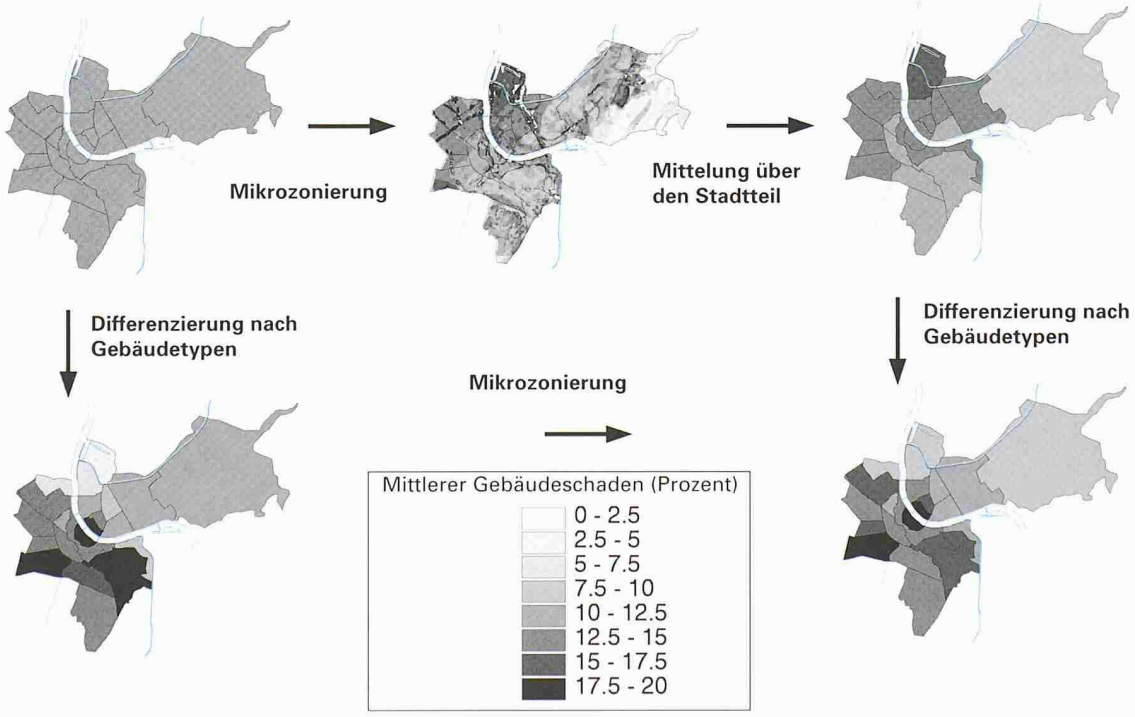
Als letzter Schritt kann mit Hilfe rechnerischer Verfahren die Ausbreitung seismischer Wellen in ein-, zwei- oder dreidimensionalen Modellen des Untergrundes simuliert werden, um Resonanzen und die daraus resultierenden Verstärkungen der Bodenbewegung zu bestimmen. Die Geschwindigkeit, mit welcher sich Scherwellen in den Sedimenten ausbreiten (S-Wellengeschwindigkeit), ist der ausschlaggebende Parameter, der in die Berechnung einfliessen muss. Diese Materialeigenschaft kann durch aktive seismische Methoden wie Reflexions- oder Refraktionsseismik gemessen werden, oder sie kann wiederum durch Nutzung der Eigenschaften der natürlichen Bodenunruhe bestimmt werden. Passive Methoden sind vor allem in Städten von grosser Bedeutung, wo weder Sprengungen noch das Auslegen von seismischen Profilen möglich sind. Aus diesem Grund werden zurzeit beim Erdbebendienst zwei neue Verfahren getestet, welche die Eigenschaften der natürlichen Bodenunruhe nutzen und es erlauben werden, die S-Wellengeschwindigkeiten des Untergrundes auch in dicht besiedelten Gebieten zu bestimmen.

Beispiel Schadensabschätzungen für Basel-Stadt

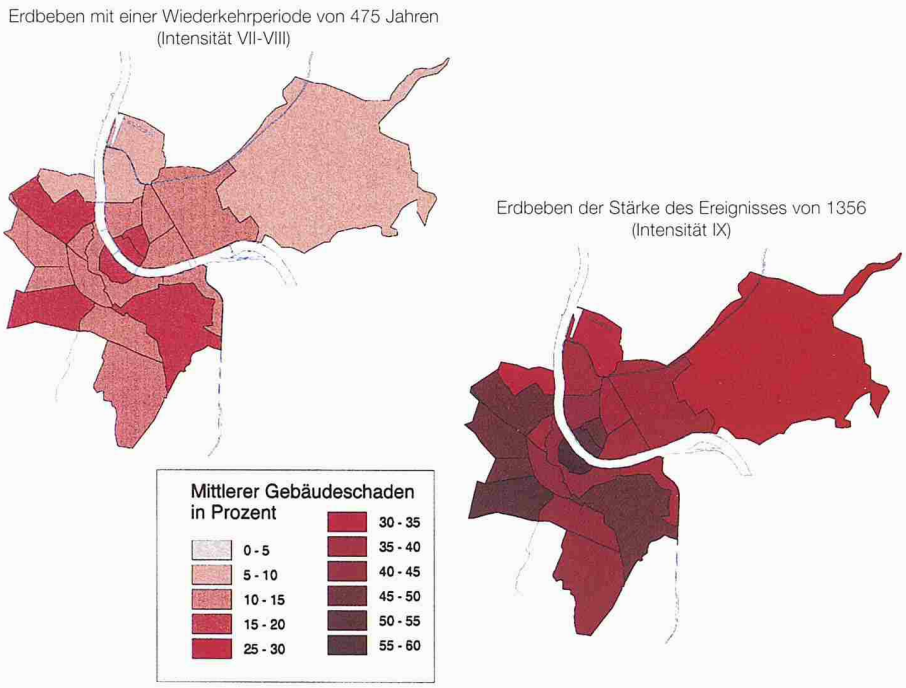
Sind die lokalen Untergrundverhältnisse einmal erfasst und die Bauten inventarisiert sowie gemäss ihrer Verletzbarkeit klassifiziert, können die für ein beliebiges Gefährdungsniveau zu erwartenden Schäden mittels eines geographischen Informationssystems kartographisch dargestellt werden. Bild 4 zeigt ein Beispiel für das Zusammenspiel der verschiedenen Einflüsse anhand des in den einzelnen Quartieren der Stadt Basel zu erwartenden mittleren Gebäudeschadens als Folge eines möglichen Bebens mit einer statistischen Wiederkehrperiode von 475 Jahren. Das Resultat zeigt deutlich, dass sich die Beiträge der geotechnischen Beschaffenheit und der Gebäudeverletzbarkeit in einigen Quartieren gegenseitig aufheben. In anderen Quartieren, wie zum Beispiel im historischen Stadtzentrum, ist hingegen das zu erwartende Schadensbild vom Zusammentreffen von ungünstigem Baugrund und verletzbarer Bausubstanz geprägt.

Schlussfolgerungen

Die Erfahrungen aus den Erdbeben der letzten Jahrzehnte sowie neuere Erkenntnisse auf dem Gebiet des Erdbebeningenieurwesens zeigen, dass regionale Ab-



4
Abfolge der einzelnen Schritte von seismischer Gefährdung über Mikrozonierung und Gebäudeklassifizierung zum Schadensbild für Basel-Stadt unter der Annahme eines Bebens der Intensität VII–VIII [13]. Es ist zu beachten, dass solche Szenarien mit einer beträchtlichen Unsicherheit behaftet sind



5
Vergleich der Schadensbilder für ein Beben mit einer Wiederkehrperiode von 475 Jahren (I_o = VII–VIII) und für eine Wiederholung des Bebens von 1356 (I_o = IX). In letzterem Fall ist mit dem Einsturz von etwa 4% und einem durchschnittlichen Totalverlust von rund 20% der Gebäude zu rechnen

schätzungen der statistisch zu erwartenden Spitzenbeschleunigung als Grundlage für Massnahmen zur Verminderung des Erdbebenrisikos nicht genügen. Standorteffekte, bedingt durch die geotechnischen Eigenschaften des Untergrundes, haben einen wesentlichen Einfluss auf Intensität, Dauer und Frequenzgehalt der Erdbebenerschütterungen. Dabei können über Entfernungen von wenigen hundert Metern Unterschiede auftreten, die in der gleichen Grössenordnung liegen wie die regionalen Gefährdungsunterschiede. Damit die Bauten den tatsächlich auftretenden Einwirkungen standhalten, müssen diese Effekte von Planern und Ingenieuren berücksichtigt werden. Moderne Methoden der Mikrozonierung erlauben es, die Einflüsse des Standortes zu quantifizieren sowie mittels geographischer Informationssysteme aufzuarbeiten und darzustellen.

Entscheidend für planerische und politische Massnahmen ist jedoch nicht die Erdbebengefährdung alleine sondern das Zusammenwirken der regionalen Gefährdung, der standortbedingten Einflüsse und der Verletzbarkeit der Bausubstanz. Das Beispiel dieses Zusammenwirkens für die Stadt Basel zeigt den Nutzen einer solchen Analyse. Die mittlere Intensität eines Ereignisses mit der statistischen Wiederkehrperiode von 475 Jahren beträgt VII bis VIII. Bei einem solchen Ereignis ist der totale Einsturz eines Gebäudes sehr unwahrscheinlich. Wie sähe aber das Bild aus im Falle einer Wiederholung des Bebens von 1356 mit einer Intensität von IX? Ein Vergleich der zwei Szenarien ist in Bild 5 dargestellt. Bei einer Wiederholung des Bebens von 1356 im heutigen Zeitpunkt müsste mit einer erheblichen Anzahl eingestürzter Gebäude gerechnet werden, die sehr ungleichmässig über das Stadtgebiet verteilt wären.

Das Beben mit einer statistischen Wiederkehrperiode von 475 Jahren entspricht ungefähr dem Bemessungsbeben der heute gültigen Baunorm SIA 160. Dementsprechend bieten diese Baunormen im Fall einer Wiederholung des Bebens von 1356 nicht den erwarteten Schutz. Welches Szenario als Grundlage für die Erdbebenbemessung von Bauten gewählt wird, ist ein gesellschaftspolitischer Entscheid. Er sollte in vollem Bewusstsein der möglichen Konsequenzen getroffen werden. Die beschriebenen Methoden der Abschätzung des Erdbebenrisikos liefern dazu ein nützliches Hilfsmittel.

Adresse der Verfasser:
Donat Fäh, Dr., *Nicolas Deichmann*, Dr., *Fortunat Kind, Domenico Giardini*, Prof. Dr., Schweizerischer Erdbebendienst, ETH-Hönggerberg, 8093 Zürich

Literatur

[1]
Sägesser R. und Mayer-Rosa D.: Erdbebengefährdung in der Schweiz. Schweizerische Bauzeitung, Nr. 7, 1978

[2]
Norm SIA 160, Einwirkung auf Tragwerke. Schweizerischer Ingenieur und Architektenverein, Zürich, 1989

[3]
Bachmann H., Darbre G.R., Deichmann N., Koller M., Studer J., Tinic S., Tisières P., Wenk Th., Wieland M., Zwicky P.: Handlungsbedarf von Behörden, Hochschulen, Industrie und Privaten zur Erdbebensicherung der Bauwerke in der Schweiz. SIA-Dokumentation D0150, Zürich, 1998

[4]
Fäh D., Bachmann H., Bay F., Becker A., Giardini D., Huggenberger P., Kind F., Lang K., Mayer-Rosa D., Noack T., Sellami S., Wenk T.: Earthquake scenarios for Switzerland. Proc. XII World Conference on Earthquake Engineering, New Zealand, Feb. 2000, Paper number 205, 2000

[5]
Rüttener E.: Earthquake Hazard Evaluation for Switzerland. Matériaux pour la Géologie de la Suisse, Géophysique Nr. 29, Commission Suisse de Géophysique, 1995

[6]
Lang K. und Bachmann H.: Erdbebenverletzbarkeit bestehender Gebäude aus unbewehrtem Mauerwerk. In: Erdbebenvorsorge in der Schweiz - Massnahmen bei neuen und bestehenden Bauwerken. SIA-Dokumentation D0162, Zürich, 2000

[7]
Schindler C., Beer C., Mayer-Rosa D., Rüttener E., Wagner J.-J., Jaquet J.M. und Frischknecht C.: Earthquake Hazard Assessment in the Canton Obwalden using Geographic Information System (GIS). In: Floods and Geological Hazards, Swiss National Committee of the UN-IDNDR, Report 1991-1993, 1993

[8]
Mayer-Rosa D., Rüttener E., Fäh D., Schindler C., Beer C., Wagner J.-J. und Frischknecht C.: Erdbebengefährdung und Mikrozonierung in der Schweiz, Beitrag zur Erforschung des Erdbebenrisikos in Abhängigkeit vom geologischen Untergrund. VdF Hochschulverlag AG, ETH Zürich, pp 90, 1997

[9]
Noack T., Fäh D. und Kruspan P.: Erdbebenmikrozonierung für den Kanton Basel-Stadt. Landeshydrologie und -geologie, Geologischer Bericht Nr. 24, pp 88, 1999

[10]
Fäh D., Rüttener E., Noack T. und Kruspan P.: Microzonation of the city of Basel. Journal of Seismology, 1, S. 87-102, 1997

[11]
Wagner J.-J., Frischknecht C., Rosset P., Mayer-Rosa D., Rüttener E., Smit P., Schindler C., Beer Ch., Sartori M.: Rapport final du projet SISVAL-IDNDR «zonage régional et local dans les ré-gions de Sion et Susten-Brig», 1997 (unveröffentlicht)

[12]
Kind F., Fäh D., Steimen S., Salamí F., Giardini D.: On the potential of microtremor measurements. Proc. XII World Conf. on Earthquake Engineering, New Zealand, Feb. 2000, Paper 204, 2000

[13]
Fäh D., Kind F., Lang K. und Giardini D.: An earthquake scenario for the city of Basel. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, in press