

Im Visier der Erdbebenforschung – die Stadt Basel

Ein Erdbeben kann man nicht voraussagen, Totaleinstürze von Gebäuden kann man hingegen durch gezielte Baugrunduntersuchungen und die Einhaltung der Bau-normen vermeiden. Was würde auf die Basler bei einem starken Erdbeben zukommen? Ein wissenschaftliches Risikoszenario.

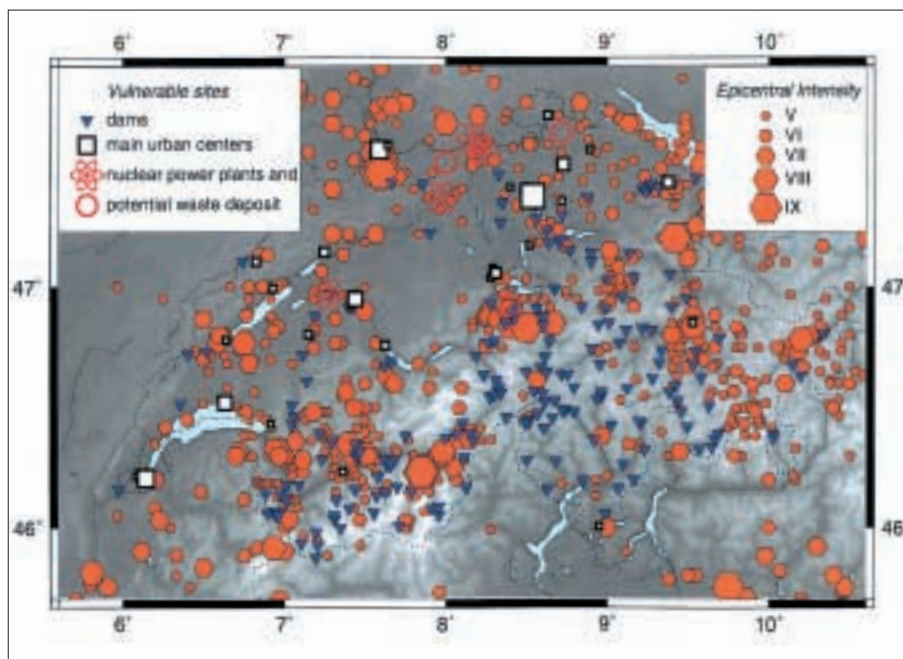
VON DONAT FÄH

Das Basler Erdbeben von 1356, welches in und um Basel sehr grosse Schäden verursacht hat, war das grösste historische Beben nördlich der Alpen. Schadensbeben wie dieses traten in historischer Zeit immer wieder auf. Es gibt zudem archäologische Hinweise für ein Erdbeben in der Region Basel um etwa 250 n.Chr., in dem die Römerstadt Augusta Raurica zerstört wurde. Seit jener Zeit hat sich die Region zu einem wichtigen Industriezentrum und Verkehrsknotenpunkt entwickelt. Das Risiko eines möglichen Erdbebens wird häufig unterschätzt.

Innerhalb der Schweiz variiert die Gefährdung durch Erdbeben. Während sie im Mittelland relativ gering ist, sind die Region Basel, Teile der Innerschweiz, das St.Galler Rheintal, das Berner Oberland sowie das Engadin stärker gefährdet. Am grössten ist die Wahrscheinlichkeit von starken Erdbeben im Wallis.

Zur Bestimmung der seismischen Gefährdung werden im Allgemeinen probabilistische Modelle verwendet, welche die Zufälligkeit eines Erdbebens berücksichtigen. Ausgangspunkt ist die Beobachtung, dass die statistische Verteilung schwacher Erdbeben

Dr. Donat Fäh ist Wissenschaftlicher Mitarbeiter beim Schweizerischen Erdbebendienst am Institut für Geophysik der ETH Zürich.

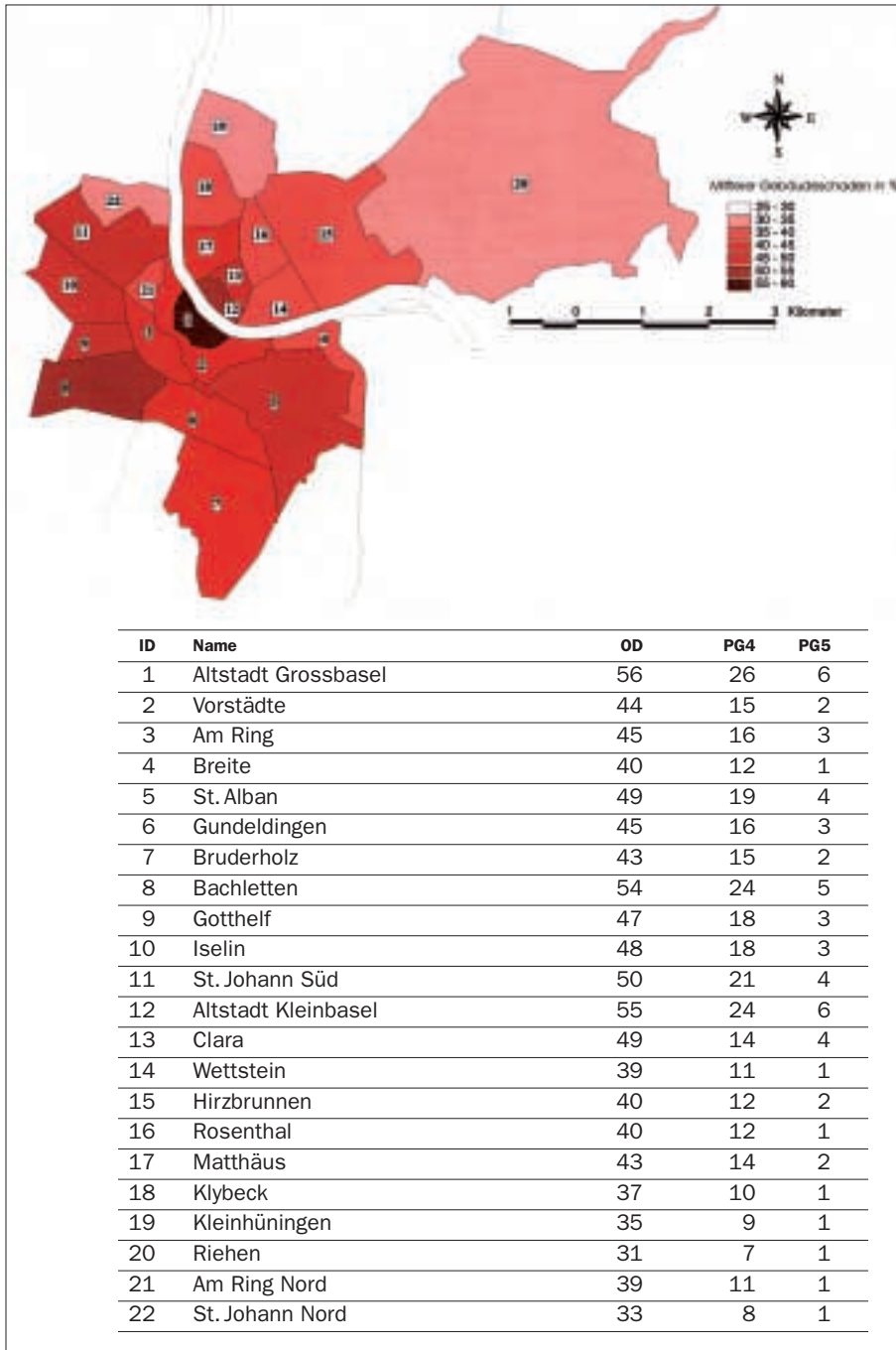


die Wahrscheinlichkeit bestimmt, mit der starke Erschütterungen auftreten. Zudem geht man davon aus, dass die historische Seismizität das zukünftige Auftreten der Erdbebenaktivität widerspiegelt. Das Erdbebenrisiko ergibt sich erst aus dem Zusammenwirken der Erdbebengefährdung, der Verletzbarkeit der menschlichen Infrastruktur und der Verluste, die möglicherweise entstehen. Im europäischen Vergleich gehört die Schweiz zu den Ländern mit einer mittleren Erdbebengefährdung. Durch die dichte Besiedelung und Industrialisierung weist sie jedoch ein hohes Erdbebenrisiko auf.

So sind in der Schweiz trotz der geringen Seismizität grosse Erdbeben auch in Zukunft möglich. Der Grund dafür ist die anhaltende Kollision zwischen der nach Norden driftenden Afrikanischen und der Europäischen Platte, ein Prozess, der auch für die Entstehung der Alpen verantwortlich ist. Die Kollisionskräfte führen zu einer zunehmenden Spannung in

Karte der historischen Erdbeben in der Schweiz von 1021–1997 und der heute dort lokalisierten gefährdeten Infrastrukturen, wie Kernkraftwerke, vorgeschlagene Standorte für atomare Endlager, grosse Staudämme und Städte von mehr als 20 000 Einwohnern. (Die Bebenstärke ist in makroseismischen Intensitäten angegeben. Nennenswerte Schäden an Gebäuden treten ab einer Intensität von VI auf).

der Erdkruste. Sobald die Scherfestigkeit des Gesteins nicht mehr ausreicht, kommt es zu einem Beben, bei welchem sich zwei Schollen entlang einer Verwerfung ruckartig gegeneinander verschieben. Ein Teil der entstehenden Energie wird in Schwingungsenergie seismischer Wellen umgewandelt, welche sich dann in alle Richtungen ausbreiten und an der Erdoberfläche entsprechend der Grösse des Erdbebens Schaden anrichten können.



Berechneter mittlerer Schaden in Basel für ein mögliches Erdbeben der Stärke des historischen Erdbebens von 1356.

(Die Einflüsse des lokalen Untergrundes und der geschätzten Gebäude-Verletzbarkeit sind im Erdbebenszenario berücksichtigt.)

Und wenn das grosse Erdbeben kommt...

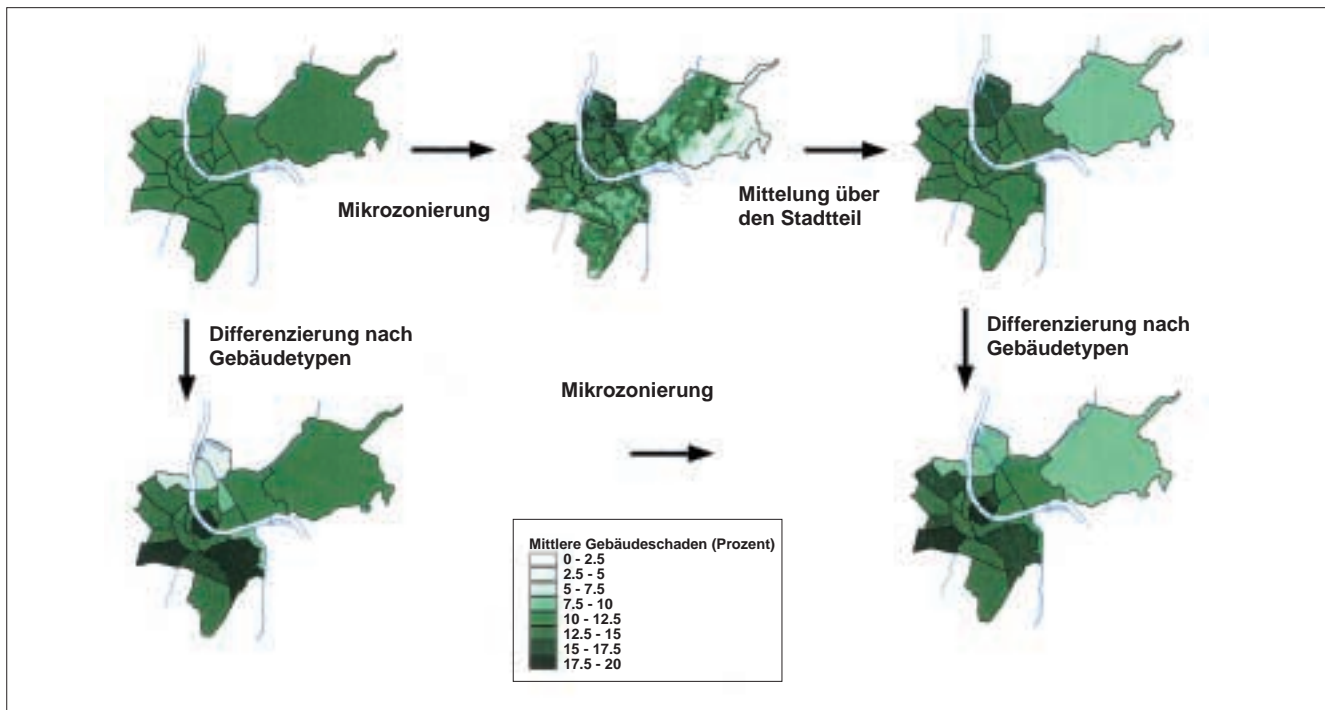
Die Frage ist nun, was wir in der Region Basel erwarten müssen, wenn sich heute ein starkes Erdbeben ereignet.

Der Gesamtschaden an Gebäuden, inklusive Verluste an Einrichtungen, Infrastrukturbauten und den Folgekosten durch Todesfälle, Verletzungen, Produktionsausfall und Umweltschäden würde sicherlich mehrere Milliarden Franken ausmachen.

Einige Schätzungen gehen davon aus, dass bei einer Wiederholung des Erdbebens von 1356 mit zirka 100 Todesopfern zu rechnen wäre. Andere Schätzungen berechnen eine Anzahl von insgesamt über 10 000 Todesopfern in der Schweiz, Deutschland und Frankreich.

Obwohl für beide Schätzungen ein Erdbeben der Magnitude 6,5 angenommen wurde, kommen sie aufgrund unterschiedlicher Annahmen zu unterschiedlichen Ergebnissen. Für die Situation in der Schweiz sind viele Faktoren kaum bekannt. Sie werden aus Beobachtungsdaten anderer Länder hergeleitet. Um in Zukunft die Methoden der Erdbeben-Risikoabschätzung für die Schweiz zu verbessern, lancierte der Schweizerische Erdbeben-dienst das Projekt «Erdbebenszenarien für die Schweiz». Das Projekt soll die verschiedenen Aspekte des Erdbebenrisikos von der geologischen Feldarbeit über theoretische Studien und ingenieurspezifische Anwendungen bis zu einer Umsetzung in Mikrozonierungs- und Risikokarten mit einbeziehen. Ein wichtiger Teil ist dabei die interdisziplinäre Zusammenarbeit mit Experten aus der Seismologie, mit Bauingenieuren des Instituts für Baustatik und Konstruktion der ETH, Geologen der Universität Basel und Behördenvertretern des Kantons Basel Stadt.

Wir können ein Erdbeben nicht voraussagen, aber wir können die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten einer bestimmten Erschütterungsintensität abschätzen. Die Erfahrungen aus starken Erdbeben zeigen, dass die stärksten Schäden massgeblich durch zwei Faktoren bestimmt sind – die Eigenschaften des lokalen geologischen Untergrundes und die Qualität der Bauwerke. Zum einen kann ein besonders weicher Untergrund zu einer Aufschaukelung der Erdbebenwellen führen und somit zu einer erheblichen Verstärkung der Erschütterungen. Besonders verheerend können die-



se Effekte sein, wenn die dominierende Schwingungsfrequenz im Untergrund mit derjenigen der Gebäude übereinstimmt. Zum anderen gibt es in der Schweiz erst seit 1989 fortschrittliche Baunormen für die Erdbebensicherung von Bauwerken. Diese werden allerdings oft nicht eingehalten, weil sie rechtlich wenig verbindlich sind und wenig Kontrollen stattfinden. Der allergrösste Teil der heute in der Schweiz vorhandenen Bauwerke ist nicht auf eine genügende Erdbebensicherheit bemessen worden und schon gar nicht auf den lokalen Untergrund abgestimmt.

Der Blick in den lokalen geologischen Untergrund

In den letzten Jahrzehnten wurden früher gemiedene Gebiete wie Schwemmland, Talböden und weiche Fluss- und Seeufer besiedelt. Sie sind Standort einer grossen Anzahl von Industriebetrieben mit verletzlicher Infrastruktur und grossem Schadenspotenzial für Mensch und Umwelt geworden. Weiche Böden können die Erdbebenerstärkungen im Vergleich zu solidem Felsuntergrund im Extremfall bis zum Zehnfachen verstärken. Dies ist

auch der Grund, warum die Besiedlung und Industrialisierung das Erdbebenrisiko gegenüber früheren Jahrhunderten verschärft hat.

Entsprechend der geotechnischen Eigenschaften des Untergrundes können innerhalb von wenigen hundert Metern Unterschiede in der Erdbebengefährdung vorliegen, die grösser sind als die Unterschiede zwischen weit auseinander liegenden Landesteilen. Neben Erdbebengefährdungskarten, welche die regionalen Gefährdungsunterschiede aufzeigen können, muss daher auch die lokale Erschütterungsfähigkeit des Untergrundes erarbeitet und dokumentiert werden. Solche Mikrozonierungsstudien erlauben es den Bauingenieuren, die Gebäude so zu dimensionieren, dass sie den zu erwartenden Erschütterungen auch wirklich standhalten können.

Ein Schwerpunkt im Projekt «Erdbebenzenarien für die Schweiz» ist die Entwicklung und das Testen verschiedener Methoden der Mikrozonierung. Solche Zonierungen beinhalten verschiedene Arbeitsschritte. Den ersten Schritt bildet die geologische und geotechnische Kartierung der Lockersedimente, die

Berechneter mittlerer Schaden in Basel für ein mögliches Erdbeben mit einer Wiederkehrperiode von 475 Jahren. Gezeigt werden die Einflüsse des lokalen Untergrundes und der Verteilung der Gebäude mit unterschiedlicher Verletzbarkeit.

Erfassung von tektonischen 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, sowie 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 Resonanzgrundfrequenz der Lockersedimente eine vereinfachte Beurteilung des dynamischen Verhaltens von Lockersediment-Strukturen durch eine Erdbebenwellen-Anregung. Diese Frequenz kann mit Hilfe der Eigenschaften der natürlichen Bodenunruhe bestimmt



Bild: Keystone

Naturgewalt: Nach einem Erdbeben mit Stärke 5 auf der Richterskala im Oktober 1997 begutachtet ein Hausbesitzer im mittellitalienischen Cesi die entstandenen Gebäudeschäden.

werden. Die Bodenunruhe 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 systematisch eine Polarisation auf der horizontalen Komponente.

Als letzter Schritt können mit Hilfe rechnerischer Verfahren Resonanzen und daraus resultierende Verstärkungen von seismischen Wellen bestimmt werden. Die Geschwindigkeit, mit welcher Scherwellen in den Sedimenten ausbreiten (S-Wellen-Geschwindigkeit), 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 unter Ausnutzung der Eigenschaften der natürlichen Bodenunruhe bestimmt

werden. Passive Methoden sind vor allem in Städten von grosser Bedeutung, wo weder Sprengungen noch die Auslage von seismischen Profilen möglich sind. Aus diesem Grund werden zurzeit beim Erdbebendienst zwei neue Verfahren getestet, welche die Eigenschaften der natürlichen Bodenunruhe ausnutzen und es erlauben werden, die S-Wellen-Geschwindigkeiten des Untergrundes auch in dicht besiedelten Gebieten zu bestimmen.

Aus der Erfahrung lernen

Während in der Vergangenheit der Schwerpunkt auf der Intervention nach einer Erdbebenkatastrophe lag, wird die Aufmerksamkeit heute mehr und mehr auf die Prävention, das heisst die Durchführung von Massnahmen zur Risikoverminderung, gelenkt. Ein Schwerpunkt ist dabei die Verhütung von Erdbebenfolgen. Unser Projekt ist daher darauf ausgerichtet, Methoden zu entwickeln, welche es erlauben, den lokalen geologischen Untergrund und die Qualität der Bauwerke zu beurteilen und damit Instrumente für die Erdbebenvorsorge bereitzustellen.

Die Erdbeben des Jahres 1999 in der Türkei, in Griechenland

Der Schweizerische Erdbebendienst

In der Schweiz wurde schon 1878 die Nationale Erdbebenkommission gegründet, ein Jahr bevor eine entsprechende Organisation in Japan entstand. 1913 wurde diese Kommission in den Schweizerischen Erdbebendienst umgewandelt und dann im Jahre 1956 auf gesetzlichem Weg der ETH angegliedert. Der Erdbebendienst ist verantwortlich für die Erfassung und Auswertung der Seismität in der Schweiz: Die Überwachung des Schweizer Territoriums und der grossen Staudämme mit Hilfe von Seismographen- und Starkbeben-Netzwerken, rasche Alarmmeldungen an das Schweizerische Katastrophenhilfekorps, Teilnahme an der internationalen Überwachung des UNO-Atomtest-Stopp-Vertrags, die Zusammenarbeit mit Nagra und HSK für die Sicherheit von wichtigen Atomanlagen, die Überwachung von dichten urbanen Gebieten in der Schweiz und die seismische Gefährdungs- und Risikoanalyse für die Schweiz. Ein wichtiger Teil ist die Forschung im Bereich der seismischen Gefährdung und der Weiterentwicklung von neuen Methoden der Risikoanalyse.

Weitere Informationen:

<http://seismo.ethz.ch>

<http://seismo.ethz.ch/seismo-surf/seismobig.html>

und Taiwan haben gezeigt, dass Schäden und vor allem Totaleinstürze von Gebäuden durch gezielte Baugrunduntersuchungen und die Einhaltung der Baunormen vermieden werden können. Wichtige Gebäude mit öffentlicher Nutzung oder mit erhöhtem Gefährdungspotenzial und Anlagen, die auch im Katastrophenfall ihre Funktionstüchtigkeit bewahren müssen, wie zum Beispiel die Wasser- und Energieversorgung, Spitäler und Feuerwehrdepots, aber auch Schulen und Industrieanlagen, sollten auf keinen Fall von stärkeren Schäden betroffen werden.