

Forschung und Technik

bt Blattmann H.

Rüsten für das grosse Erdbeben Anhaltende Kluft zwischen dem theoretischen Wissen und der Baupraxis

Man weiss immer besser, wie erdbebensichere Bauten zu erstellen sind. Und mit dem Forschungsprojekt Pegasos, einer breit angelegten Studie der Kernkraftwerksbetreiber, soll das maximale Erdbebenrisiko zumindest an den Kernkraftwerkstandorten noch genauer bestimmt werden. Dennoch wächst laut den Spezialisten das Risiko von Erdbebenschäden, denn die neuen Erkenntnisse sind vielerorts nicht umgesetzt.

bt. Seit Jahren warnen Fachleute davor, dass auch die Schweiz eines Tages wieder von einem zerstörerischen Erdbeben getroffen werden könnte. Nicht vor allem, weil sich hier die afrikanische Kontinentalplatte jährlich 1 bis 2 Millimeter gegen die eurasische schiebt. Dadurch bauen sich Spannungen in der Erdkruste auf, die plötzlich zu einer ruckartigen Verschiebung der Platten führen können, mit dem Resultat, dass die Erde in einem Umkreis von bis zu mehreren hundert Kilometern spürbar bebt. Die Schweizer Geschichte kennt denn durchaus auch grosse Erdbeben, etwa jenes von 1855 im Walliser Ort Visp oder die Katastrophe von Basel 1356, bei der wohl Hunderte, wenn nicht Tausende ihr Leben verloren - wie viele es waren, liess sich bis heute nicht eruieren.

Unterschiedliche Wirkung

Das Schadenausmass wird nicht in erster Linie durch die Magnitude auf der Richter Skala und damit die Energie bestimmt, die bei der tektonischen Spannungsentladung freigesetzt wird, sondern vor allem durch die Verletzbarkeit der vom Menschen erstellten Bauten. Sowohl das Walliser Beben wie jenes von Basel hatten nach heutigen Schätzungen eine Magnitude im Bereich von 6,5 - global kein seltenes Ereignis, tritt es weltweit jährlich doch über hundert Mal auf. In der Schweiz rechnet man alle hundert Jahre mit einem Erdbeben der Magnitude von mindestens 6. Zum Vergleich: Das Beben von Bam in Iran Ende 2003 hatte mit einer Magnitude von etwa 6,6 eine ähnliche Stärke. Es forderte Zehntausende von Toten. Unzählige eingestürzte Häuser hatten ihre Bewohner unter sich begraben.

Genau deshalb sind auch die Schweizer Erdbebenfachleute beunruhigt. Auch bei uns, so ihre Analyse, würde eine Vielzahl von Bauten unter den horizontalen Kräften, mit denen bei einem Erdbeben mit einer derartigen Magnitude in der Schweiz zu rechnen ist, zusammenstürzen. Zwar ist die Technik inzwischen auch im Stande, architektonisch modernste Objekte, auch elegante Glasgebäude so zu bauen, dass sie selbst in der Nähe des Epizentrums ein Erdbeben mit Magnitude 8 und entsprechenden Horizontalbeschleunigungen mehr oder weniger intakt überstehen - Konstruktionen, wie sie in Kalifornien, Taiwan und Japan erstellt werden. Daraus zu schliessen, dass auch moderne Schweizer Häuser erdbebensicher sind, ist laut den Experten jedoch falsch. Eine Untersuchung des Bundesamtes für Zivilschutz über mögliche Katastrophen und Notlagen in unserem Land hatte 1995 denn auch ergeben, dass das von einem Erdbeben ausgehende Risiko, umgerechnet aufs Jahr, grösser ist als alle anderen Gefahren von Technik, Gesellschaft und Natur. Und dies, obwohl es seit 1970 Bestimmungen des Schweizerischen Ingenieur- und Architektenvereins (SIA) für erdbebensicheres Bauen gibt. Diese waren allerdings noch summarisch und aus heutiger Sicht ungenügend. Sie sind daher 1989 und ein zweites Mal aufs Jahr 2003 verschärft worden. Im Juli löst die für Erdbeben massgebende neue Norm (SIA Norm 261), die auf der EU-Norm EC 8 basiert, die 89er Fassung nun definitiv ab.

In den letzten zehn Jahren hatten sich die Erdbebenfachleute intensiv darum bemüht, die Voraussetzungen für eine effiziente Vorsorge zu verbessern. Zum einen ging es darum,

die Kräfte genauer zu kennen, mit denen bei einem Erdbeben in der Schweiz schlimmstenfalls zu rechnen ist und die Gebäude, aber auch Infrastrukturanlagen wie Gasleitungen oder Brücken, Staudämme oder Kernkraftwerke beschädigen und einstürzen lassen könnten. Hier hatten bereits in den sechziger Jahren die Kernkraftwerksbetreiber Pionierarbeit geleistet. Sie mussten, wie die Ersteller von Staudämmen, schon vor Jahrzehnten Erdbeben einkalkulieren und waren daher entscheidend am Zustandekommen des ersten Erdbebenkatalogs der Schweiz 1978 beteiligt, einer Zusammenstellung früherer Erdbeben durch den Schweizerischen Erdbebendienst an der ETH Zürich (SED). Der Katalog ist inzwischen - wieder mit ihrer Unterstützung und unter Auswertung zahlreicher historischer Quellen - ausgeweitet worden und liegt seit einem Jahr in revidierter Form vor.

Dazu hatten die Erdbebenfachleute in den letzten Jahren mit grossem Aufwand nach Spuren früherer Erdbeben gefahndet, die aus unterschiedlichen Gründen bis anhin nicht zur Kenntnis genommen worden sind. Auch versuchten sie anhand der in Archiven vorhandenen Beschreibungen das Schadenausmass und das jeweilige Epizentrum exakter zu bestimmen. Gleichzeitig wurde mittels paläoseismischer Abklärungen wie der Untersuchung von Sedimenten im Vierwaldstättersee oder charakteristischen Felsstürzen in der Region Basel nach Ereignissen gesucht, die mehrere tausend Jahre zurückliegen. Die detaillierteren Kenntnisse sind nun in die neue Erdbebengefährdungskarte eingeflossen. Selbst die neuen Karten können laut dem SED aber nur für Wiederkehrperioden von einigen hundert Jahren relativ gesicherte Aussagen machen. Das genügt für die neuen Baunormen, die auf Erschütterungen basieren, die mit einer Wahrscheinlichkeit von weniger als 10 Prozent in fünfzig Jahren auftreten beziehungsweise eine Wiederkehrperiode von 475 Jahren aufweisen. Bei den Kernkraftwerken jedoch hatten die Behörden wegen des grossen Gefahrenpotenzials bereits vor 30 Jahren die Berücksichtigung von Erschütterungen verlangt, die nur einmal in 10 000 Jahren auftreten.

Tücken des Untergrundes

Das Mass der Energie, die bei einer ruckartigen Verschiebung der Platten in der Erdkruste freigesetzt wird, ist allerdings nicht allein entscheidend für die Erschütterungen, die rings um ein Epizentrum auftreten. Genauso wichtig ist die Dämpfung - genannt Abminderung -, die die Schockwellen vom Hypozentrum in der Erdkruste bis zu einem bestimmten Punkt an der Erdoberfläche erfährt. Und für die Auswirkungen auf Bauten ist zudem die Art des Untergrundes von grosser Bedeutung, auf dem sie stehen und der sich bereits innerhalb weniger hundert Meter stark ändern kann. Harter Fels hat andere Eigenschaften als Lockergestein. Eine Bodenschicht aus Sand im Grundwasserbereich kann sich bei einem Erdbeben gar verflüssigen. Je nach Art des Bodens werden die vom Beben ausgelösten Kräfte gedämpft oder - zum Beispiel bei weichen Böden - um das Zwei- bis Vierfache, in extremen Fällen um das Dreissigfache verstärkt, was bei der Dimensionierung der Bauten berücksichtigt werden muss. Im vor zwei Jahren beendeten Projekt "Erdbebenszenarien für die Schweiz", vom SED 1998 zur besseren Risikoabschätzung lanciert, kam daher der sogenannten Mikrozonierung eine grosse Rolle zu: Mit einem besseren Messnetz und ausgefeilten seismischen Methoden wurden der Bodenaufbau und sein Verhalten bei Erschütterungen untersucht und kartiert. Die Erdbebenforschung selber wird zudem erneut durch die Kernkraftwerke vorangetrieben. Diese haben das Projekt Pegasos ins Leben gerufen, an dem seit etwa vier Jahren rund zwei Dutzend Experten aus dem In- und Ausland arbeiten. Das Ziel ist äusserst ehrgeizig. Mit einer ähnlichen Methode, wie sie die Amerikaner für die Abklärungen ihres geplanten Lagers für hochradioaktive Abfälle in den Yucca Mountains in Nevada einsetzten und die nun erstmals in Europa zum Einsatz kommt, soll vor allem evaluiert werden, mit welchen Bebenstärken aufgrund des vorhandenen Wissens im schlimmsten Fall an den Kernkraftwerkstandorten zu rechnen ist. Es ist nämlich nicht auszuschliessen, dass es auch in der Schweiz in allen Gebieten, wenn auch sehr selten, deutlich grössere Erdbeben geben kann als angenommen. Eines der seismologischen Modelle geht zum Beispiel davon aus, dass zwischen dem Logarithmus der Anzahl der Ereignisse in einer Region und der Magnitude der Beben eine praktisch lineare Beziehung

besteht. Gilt dies auch für seltene grosse Beben, so wären im Wallis Erdbeben der Magnitude 7 und im Rheingraben gar 7,5 denkbar. Und auch wenn mancherorts eine gewisse Periodizität extremer Ereignisse beobachtet wurde, können die Experten nicht ausschliessen, dass es schon bald ein grosses Erdbeben gibt.

Fortschritte im Erdbebeningenieurwesen

Die bei einem Beben an einem Ort auftretenden Erschütterungen zu kennen, ist das eine, Anlagen und Gebäude so zu bauen, dass sie diesen Erschütterungen ohne grosse Schäden standhalten, das andere. Als erstes gilt es, die Personen zu schützen. Bei Infrastrukturwerken ist es aber ebenso wichtig, das Funktionieren zum Beispiel eines Spitals, einer Informationszentrale oder eines Transportweges zu gewährleisten. Seit einiger Zeit weiss man aus der Analyse von Schadenbildern, dass nicht nur der Untergrund und die Stärke der Mauern die Erdbebensicherheit eines Baues bestimmen. Auch der Grundriss und die Anordnung der Stockwerke und Wände sowie deren Steifigkeit beziehungsweise Elastizität und besonders das plastische Verformungsvermögen (Duktilität) sind von grosser Bedeutung. In den letzten Jahrzehnten sind die Kenntnisse des Verhaltens von Bau- und Tragwerken durch intensive Forschung nun stark erweitert worden. Als wenig erdbebengerecht gelten inzwischen gewissermassen schwebende Bauten, deren unterstes Stockwerk aus nur wenigen Wänden, verstärkt durch Säulen, besteht. Dasselbe gilt, wenn ein mittleres Geschoss als Folge einer derartigen Gestaltung "weich" ist. Solche Stockwerke können bei horizontalen Verschiebungen von bis zu 12 Zentimetern, wie sie 1855 beim Beben in Visp aufgetreten sein dürften, kollabieren und den ganzen Bau zu Fall bringen - beim berühmten Basler Beben geht man gar von Verschiebungen von 15 oder 20 Zentimetern aus.

Aber auch asymmetrische Grundrisse und Aussteifungen sind laut den Experten zu meiden. Zudem gelten Backsteinbauten als gefährdet, wenn sie nicht durch duktile Stahlbetontragwände oder durch Stahlbewehrungen verstärkt werden. Eine ungünstige Kombination von duktilen und steifen Elementen kann zum Beispiel zu einem Knicken tragender Teile und so zu einem Kollaps führen. Entscheidend ist, dass die vom schwankenden Boden übertragene Energie das Gebäude nur zum Schwingen bringt oder zu einer plastischen Verformung führt, nicht jedoch Brüche verursacht.

Neben der geometrischen Anordnung der Aussteifungen und der Eigenfrequenz der Bauten (sie ist mitentscheidend dafür, ob es zu einem Aufschaukeln der Bewegung kommt) sowie der Stärke der tragenden Elemente kommt daher der Duktilität der Materialien eine grosse Rolle zu. Während in Kalifornien Bauten oft mit tragenden Rahmenkonstruktionen aus **Stahl** erstellt werden, ist diese Bauweise bei uns selten. Hier stehen bewehrter Beton und Backsteine als Baumaterialien im Vordergrund. Bei beiden kann es jedoch zu Konflikten mit der Erdbebensicherheit kommen, stellt doch die neueste Norm (SIA 261) zum Teil deutlich höhere Anforderungen. Diese können, wenn bei den Tragwerken keine duktilitätsfördernden Massnahmen eingesetzt sind, die Berücksichtigung von bis zu 100 Prozent grösseren Horizontalkräften bedingen als die 1989er Norm.

Am Lehrstuhl für Baudynamik und Konstruktion der ETH Zürich, den seit letztem Sommer Alessandro Dazio innehat, hat man sich daher damit befasst, wie bewehrter Beton mit einfachen Massnahmen duktiler gemacht werden kann. Eine Anpassung der konstruktiven Details hat hier eine grosse Verbesserung gebracht. Zudem gelang es der **Stahl Gerlafingen** AG, ohne erhebliche Mehrkosten eine duktilere Sorte von Bewehrungsstahl zu entwickeln, ohne dass andere bautechnische Qualitäten gelitten hätten. Diese soll Anfang Juni lieferbar sein. Nun bleibt noch die schwierige Aufgabe der Ausbildung der Fachleute am Bau.

Noch nicht gelöst ist auch das Problem der Backsteinbauten. Backstein hat laut Dazio hervorragende thermische und akustische Eigenschaften, ist unbewehrt jedoch spröde. Er genügt der neuen SIA-Norm ohne Bewehrung daher nur selten. Diese Woche trifft sich Dazio deshalb zu Expertengesprächen mit der Mauerwerk-Industrie, um über die notwendigen Massnahmen zu diskutieren. Aber auch an einer weiteren Erhöhung der Duktilität von Stahlbeton durch Stahlfasern arbeitet man an der ETH. Verbesserte

Baumaterialien sind auch für die - oft teure - Nachrüstung von Bedeutung, bei der man mit unterschiedlichsten Methoden die Erdbebensicherheit von bestehenden Bauwerken zu erhöhen sucht.

Es harzt bei der Umsetzung

Wirklich Sorgen machen den Experten heute aber vor allem die mangelnde Umsetzung des inzwischen Bekannten. Zwar haben sie in den letzten Jahren in einer ganzen Reihe von Publikationen, Vorträgen und Pressekonferenzen auf das unterschätzte Erdbebenrisiko hingewiesen. Und bei den Bauten des Bundes und in einigen Kantonen tut sich einiges. Dennoch steigt das Schadenpotenzial laut den Fachleuten mit der wachsenden Baumasse weiter an - Ende der neunziger Jahre wurde es von den Versicherern für die Schweiz allein bei den Gebäuden für ein Beben wie jenes 1855 in Visp auf 10 Milliarden und für eines wie 1356 in Basel auf bis zu 50 Milliarden Franken geschätzt. Berücksichtigte man auch die Folgekosten, müssten diese Zahlen laut Hugo Bachmann, Vorgänger von Dazio und Pionier des schweizerischen Erdbebeningenieurwesens, der sich auch als emeritierter Professor weiter in der Erdbebenvorsorge engagiert, nochmals mit einem Faktor 2 bis 3 multipliziert werden. Gleichzeitig wäre mit Hunderten oder gar Tausenden von Toten zu rechnen. Bachmann, der auch international seine Kollegen zu einem vermehrten Engagement in der Politik aufruft, weist darauf hin, dass mangels rechtlicher Verbindlichkeit der vom SIA erlassenen Normen landauf, landab viele Baustellen zu sehen seien, bei denen sich weder der Architekt bei der Planung - und da müsse es beginnen - noch die Baufachleute bei der Umsetzung um erdbebensicheres Bauen bemüht hätten. Dabei lägen die Mehrkosten bei Neubauten meist unter 1 Prozent. Über 90 Prozent der heutigen Baumasse sei zudem ohnehin vor 1989 erstellt worden und damit kaum im Hinblick auf Erdbeben konzipiert. Literatur: Hugo Bachmann: Erdbebengerechter Entwurf von Hochbauten - Grundsätze für Ingenieure, Architekten, Bauherren und Behörden. Richtlinien des Bundesamtes für Wasser und Geologie, Bern 2002; Markus Weidmann: Erdbeben in der Schweiz. Desertina, Chur 2002; <http://www.seismo.ethz.ch/>
Weiterer Artikel im Inlandteil