

Faktenblatt

Oktober 2011

Erdbebensicherheit von Kernkraftwerken

Am 11. März 2011 hat ein grosser Tsunami den Nordosten Japans verwüstet. In den Fluten starben 20 000 Menschen. Überschwemmt wurde auch das Kernkraftwerk Fukushima-Daiichi. In der Folge kam es zu erheblichen Freisetzungen radioaktiver Stoffe aus dieser Anlage. Auslöser des Tsunamis war ein extrem schweres Erdbeben. Die Schweiz ist deutlich weniger erdbebengefährdet. Dennoch wurde beim Bau unserer Kernkraftwerke dieser Naturgefahr vorsorglich Rechnung getragen und der Schutz wird laufend weiter verbessert.

Wie gefährdet ist die Schweiz?

Weltweit betrachtet befindet sich die Schweiz in einer Zone niedriger bis mittlerer Erdbebenaktivität – in der Übergangszone zwischen einem Gebiet mit hoher Erdbebenaktivität im Süden (Italien, Griechenland) und einer ruhigen Region im nördlichen Europa. Der Untergrund der Schweiz und ihrer näheren Umgebung wird einerseits von einem

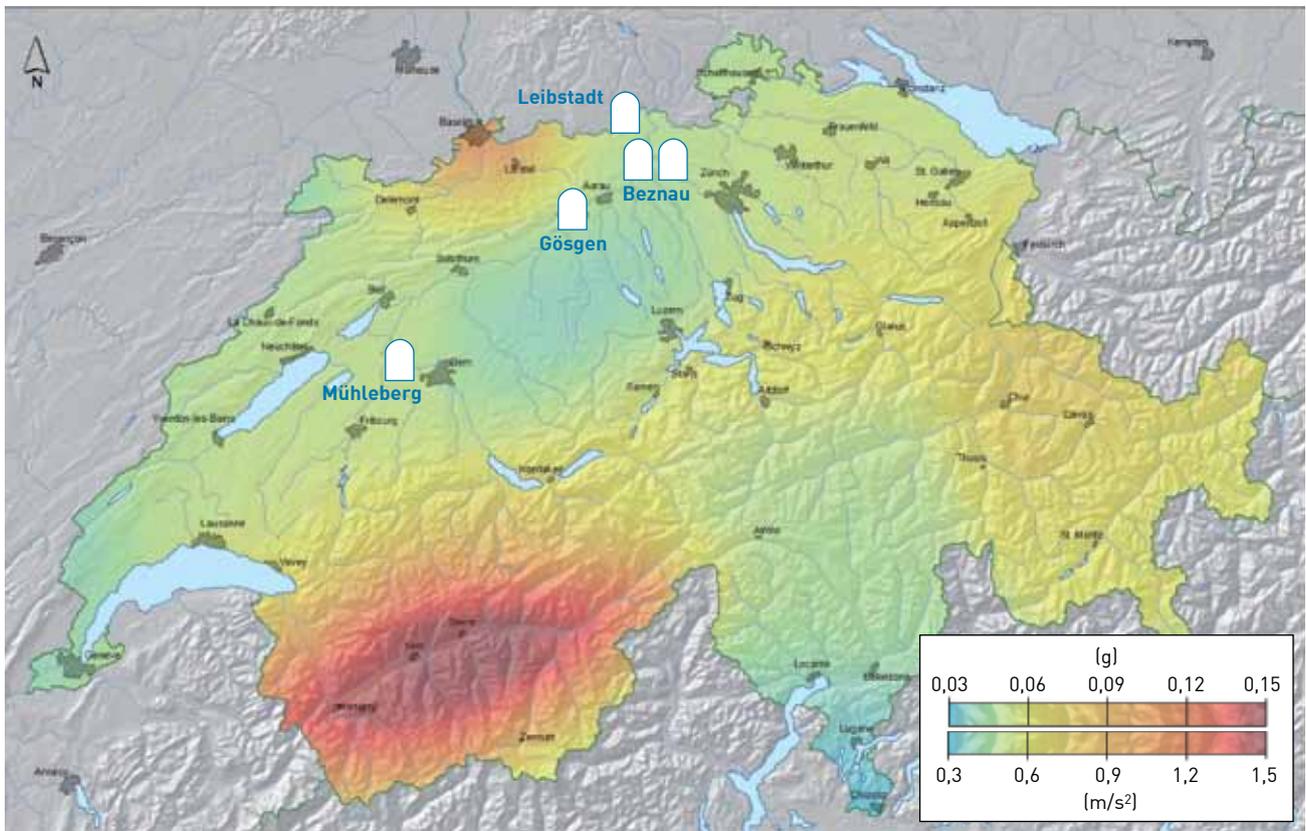
nördlichen Ausläufer der Kollisionszone zwischen der eurasischen und der afrikanischen Platte im Mittelmeerraum bestimmt, und andererseits von der Bruchzone des Oberrheins nördlich von Basel. Diese beiden tektonischen Unruhezonens sind die Hauptursache für Erdbeben auf dem Gebiet der Schweiz.

Wesentlich für Schäden an Bauten sind die bei einem Erdbeben an der Erdoberfläche freigesetzten Energien, die Dauer der Einwirkung sowie die dabei auftretenden Beschleunigungen. Letztere werden in Metern pro Sekunde im Quadrat (m/s^2) oder in g (Normal-Erdbeschleunigung $9,81 m/s^2$) angegeben. Eine Rolle spielen zudem die Richtung der Beschleunigungen sowie die auftretenden Schwingungen (ausgedrückt in der Einheit Hertz = Anzahl der Schwingungen pro Sekunde).

Das Erdbebenrisiko an einem bestimmten Ort ergibt sich aus der Stärke der an der Erdoberfläche zu erwartenden Stösse, in Verbindung mit ihrer durchschnittlichen Häufigkeit (Wiederkehrperiode) innerhalb eines bestimmten Zeitraums.



Erdbeben: Die Schweiz befindet sich in einer Zone niedriger bis mittlerer Aktivität.



Erdbeben-Gefährdungskarte der Schweiz für eine Frequenz von 5 Hertz und eine Wiederkehrperiode von 475 Jahren. Angegeben sind die erwarteten Beschleunigungen im Fels an der Erdoberfläche.

Quelle: Schweizerischer Erdbebendienst/ETH Zürich

Wie häufig sind starke Erdbeben?

Ende 2004 hat der Schweizerische Erdbebendienst an der ETH Zürich aktualisierte Gefahrenkarten publiziert, die auf den derzeit modernsten Beurteilungsmethoden beruhen. Die obenstehende Karte zeigt die Beschleunigungen im festgefügteten Fels, die für mehrstöckige Gebäude relevant sind. In den blauen und grünen Gebieten erwarten die Fachleute im Mittel nur schwache Erdstöße. In den orangenen und rotbraunen Regionen wie beispielsweise dem Wallis rechnen sie hingegen mit stärkeren Ereignissen und Beschleunigungen. Im weltweiten Vergleich entspricht dies einem mittleren Gefährdungsniveau. Bei sehr starken Erdbeben in Japan oder Taiwan wurden im Fels schon Beschleunigungen über 0,5 g gemessen.

Die Karte zeigt, dass die schweizerischen Kernkraftwerke in seismisch eher ruhigen Zonen liegen – was nicht heisst, dass dort nicht auch grössere Erdbeben auftreten können,

wenn auch sehr selten. So rechnen die Experten für diese ruhigen Zonen bei einer Wiederkehrperiode von 10000 Jahren mit Erdbeben mit charakteristischen Beschleunigungen im Bereich von 0,2–0,26 g.

Welche Rolle spielen Baunormen?

Erdbeben können weder verhindert, noch örtlich und zeitlich verlässlich vorausgesagt werden. Daher konzentriert sich der Erdbebenschutz auf das Verhüten oder wenigstens Mildern der Folgen. Nicht Erdbeben töten, sondern einstürzende Bauten und Brände. Das Risiko der Bevölkerung ergibt sich daher einerseits aus der Erdbebengefährdung (Intensität und Häufigkeit), und andererseits aus der Schadenanfälligkeit der Bauten. Dabei zeigt sich immer wieder, dass die Widerstandskraft von Gebäuden ganz wesentlich von ihrer Bauweise und vom Baugrund abhängt.

1970 wurden in der Schweiz erstmals für herkömmliche Neubauten Bestimmungen für einen minimalen Erdbebenschutz in die Bau-normen aufgenommen. Seither wurden diese Normen wiederholt modernisiert.

Für Sonderbauten wie Talsperren und Kernkraftwerke gelten wesentlich schärfere Bestimmungen. Diese Sondervorschriften galten bereits vor 1970, als die ersten Kernkraftwerke in der Schweiz gebaut wurden.

Welche Vorgaben gelten für Kernkraftwerke?

Bei der Planung, beim Bau und bei der Nachrüstung der schweizerischen Kernkraftwerke werden – wie international üblich – zwei Kategorien von Erdbeben zugrunde gelegt: das sogenannte Sicherheitserdbeben (SSE, Safe Shutdown Earthquake), und das sogenannte Betriebserdbeben (OBE, Operating Basis Earthquake). Das SSE entspricht jenem Erdbeben, dessen Eintrittshäufigkeit an einem gegebenen Standort im Bereich von einmal in 10 000 Jahren liegt.

Für das OBE wird gemäss der Praxis in den USA die Hälfte der Stärke des SSE angenommen. Die mittlere Wiederkehrperiode für das OBE liegt aufgrund der bisherigen internationalen Erfahrungen bei 200 bis 400 Jahren. Die schweizerischen Kernkraftwerke sind so geplant, gebaut und nachgerüstet worden, dass sie ein OBE ohne Schaden überstehen und in Betrieb bleiben dürfen.

Die sicherheitsrelevanten Anlageteile – wie das Reaktorgebäude oder die Notstandssysteme – sind darüber hinaus für das viel seltenere SSE ausgelegt. Ein Erdbeben in ihrer unmittelbaren Nachbarschaft von der Stärke wie jenes von 1356 in Basel (siehe Kasten) würden sie sicher überstehen. Nach einem solchen Beben könnten zwar Schäden auftreten, doch liesse sich der Reaktor immer noch sicher abschalten und die Nachwärme abführen. Dabei treten keine relevanten Strahlenbelastungen für Mensch und Umwelt auf.

In allen schweizerischen Kernkraftwerken sind Geräte zur Registrierung von Erdbeben installiert. Werden von einem Beben sicherheitsrelevante Systeme betroffen, wird der Reaktor abgeschaltet und die Anlage auf Schäden überprüft, bevor sie wieder den Betrieb aufnehmen darf.

Wie wird die Stärke von Erdbeben angegeben?

Die **Magnitude** ist ein Mass für die im Bebenherd (Epizentrum) freigesetzte Energie. Sie wird heute meistens als sogenannte Moment-Magnitude (M_w) berechnet und ersetzt die bekannte Richterskala. Das Erdbeben vor Sumatra beispielsweise, das am 26. Dezember 2004 einen verheerenden Tsunami auslöste, hatte eine Magnitude von 9,1. Das schwerste historische Erdbeben in der Schweiz, jenes von Basel im Jahr 1356, dürfte eine Magnitude zwischen 6,5 und 6,9 erreicht haben.

Die **Intensität** beschreibt die Schadenwirkung eines Erdbebens an der Erdoberfläche an einem bestimmten Ort und ändert sich daher mit der Entfernung vom Bebenherd und der Bodenbeschaffenheit. Am häufigsten wird eine 12-stufige Skala in römischen Ziffern verwendet, die sogenannte modifizierte Mercalli-Skala. Ab Intensitäten von V bis VI treten erste leichte Gebäudeschäden auf, bei Intensitäten ab IX stürzen verbreitet Häuser ein und Hänge rutschen ab. Beben bis zur Intensität VIII mit Schäden an zahlreichen Häusern hat es in der Schweiz seit dem Hochmittelalter verschiedentlich gegeben (z.B. Vispताल 1855). Höhepunkt war das Erdbeben von Basel im Jahr 1356, das im stark zerstörten Stadtzentrum die Intensität IX erreicht haben dürfte.



Erdbebenschutz als Daueraufgabe: geotechnische Bodenanalyse in einem Schweizer Kernkraftwerk.

Bild: KKG

Die Erfahrung aus Starkbeben rund um die Welt zeigen, dass neben der Bauweise auch der Baugrund einen grossen Einfluss auf das Schadenausmass hat. Beim Bau von Kernkraftwerken wird daher besonders auf die Fundamentierung der sicherheitsrelevanten Gebäude geachtet.

Bei ihren Kalkulationen zur Erdbebensicherheit von Gebäuden rechnen die Ingenieure konservativ, das heisst mit zusätzlichen Sicherheitsmargen. Als Ergebnis sind Kernanlagen in der Praxis noch widerstandsfähiger als auf dem Papier berechnet.

Aufgrund all dieser Vorkehrungen gehören die Kernkraftwerke zu den erdbebensicheren Bauten der Schweiz.

Wie steht es mit der Sicherheit in klassischen Erdbebengebieten?

Anders als die Schweiz gehören beispielsweise Kalifornien oder Japan zu den seismisch aktivsten Zonen der Erde. Bei der Standortwahl und den bautechnischen Vorgaben müssen die erhöhte Erdbebengefahr und die allfällige Bedrohung durch Tsunamis einberechnet werden.

Vom bisher stärksten Erdbeben in der Geschichte Japans am 11. März 2011 wurden 15 Reaktorblöcke an fünf Standorten betroffen. Die Erschütterungen lösten bei den im Betrieb stehenden Reaktoren plangemäss die Schnellabschaltung aus, und alle Anlagen befanden sich unmittelbar nach dem Erdbeben in einem sicheren Zustand. Während 11 der 15 Reaktorblöcke auch den eine halbe Stunde später eintreffenden Tsunami überstanden, führte die Überflutung im Kernkraftwerk Fukushima-Daiichi zu einem schweren Unfall mit erheblicher Freisetzung radioaktiver Stoffe.

Die Analyse dieses Unfalls zeigt, dass die Gefahr von grossen Tsunamis massiv unterschätzt wurde – entgegen besseren Wissens. Das in den 1970er-Jahren gebaute Kernkraftwerk Fukushima-Daiichi ist nie grundlegend nachgerüstet worden und die Sicherheitssysteme waren nicht gegen Überflutung geschützt. In ihrem ersten, provisorischen Bericht hält die japanische Regierung fest, dass die nukleare Sicherheitskultur ungenügend war.

Gibt es neue Erkenntnisse zur Erdbebengefahr in der Schweiz?

In der Schweiz sind die Betreiber und die Aufsichtsbehörden bestrebt, die Sicherheit der Kernkraftwerke im Licht des Wissensfortschritts laufend zu überprüfen und sie gegebenenfalls zu erhöhen. Das gilt selbstverständlich auch für die Erdbebengefährdung. So haben die Schweizer Kernkraftwerksbetreiber 1999 das Projekt «Pegasos» lanciert und bisher rund 10 Mio. Franken investiert. Das Projekt vertieft das bereits umfangreiche Wissen zur Erdbebengefährdung in der Schweiz.

Die Grundlagen für die bislang ausgewiesene Erdbebengefährdung wurden Mitte der 1970er-Jahre gelegt. Mit der Einführung der sogenannten probabilistischen Sicherheitsanalysen (PSA) in den 1980er-Jahren wurden die Anforderungen bezüglich sehr seltener Erdbeben erhöht. Im Rahmen von «Pegasos» wird die Gefährdung nach den fortschrittlichsten Methoden neu bestimmt und die bisherige Unschärfe in den Rechenmodellen umfassend einbezogen. Das Projekt hat zum Ziel, die Auswirkungen auch von äusserst seltenen Beben abzuschätzen, die mit einer Wahrscheinlichkeit von einmal in 10 Millionen Jahren auftreten.

Mit «Pegasos» hat die Schweiz Neuland betreten. Es handelt sich um die bisher einzige Studie dieser Art in Europa. Sie wird gegenwärtig verfeinert. Die bisher vorliegenden Erkenntnisse fliessen laufend in die Verbesserung der Bausubstanz der Kernkraftwerke ein.

Erneute Überprüfung

Nach dem schweren Unfall in Japan hat das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat (Ensi) die Betreiber der Kernkraftwerke verpflichtet, ihre Anlagen auf weitere Verbesserungsmöglichkeiten bei der Beherrschung sehr seltener Erdbeben und Hochwasser (10 000-jährliches Ereignis) zu überprüfen. Der Hochwasser-Nachweis wurde Ende August 2011 für alle Kernkraftwerke erbracht. Der Nachweis für die sehr seltenen Erdbeben und die Kombination von schweren Erdbeben mit gleichzeitigem Bruch von Staumauern muss bis Ende März 2012 vorliegen.