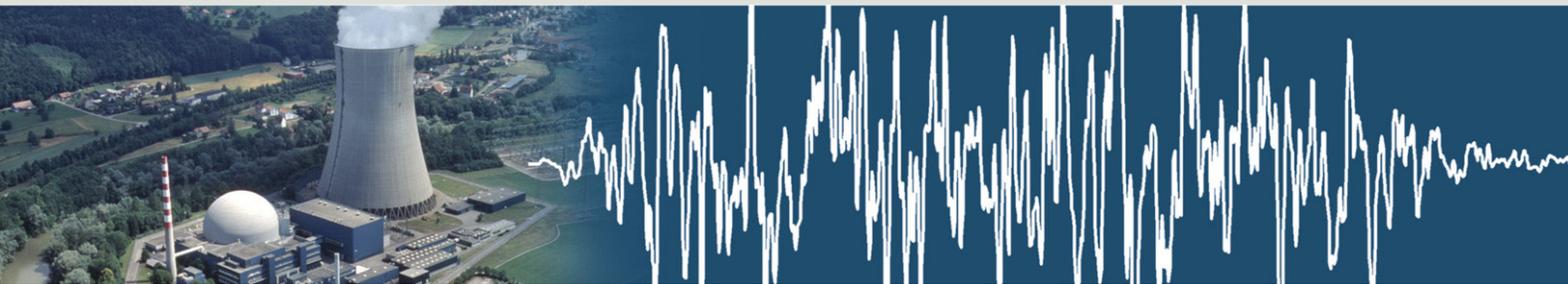




Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen HSK
Division principale de la sécurité des installations nucléaires DSN
Divisione principale della sicurezza degli impianti nucleari DSN
Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate HSK



Neubestimmung der Erdbebengefährdung an den Kernkraftwerkstandorten in der Schweiz (Projekt PEGASOS)

Würenlingen, Juni 2007



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen HSK
Division principale de la Sécurité des Installations Nucléaires
Divisione principale della Sicurezza degli Impianti Nucleari
Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate

HSK-AN-6252

Neubestimmung der Erdbebengefährdung an den Kernkraftwerkstandorten in der Schweiz (Projekt PEGASOS)

Juni 2007

Herausgeber

Hauptabteilung für die Sicherheit
der Kernanlagen (HSK)

CH-5232 Villigen-HSK

Telefon ++41(0)56 310 38 11

Telefax ++41(0)56 310 39 95

Zu beziehen bei

Hauptabteilung für die Sicherheit
der Kernanlagen (HSK)

Informationsdienst

CH-5232 Villigen-HSK

Zusammenfassung

Ausgangslage

Die schweizerischen Kernkraftwerke (KKW) sind so geplant und gebaut, dass sie auch stärkeren Erdbeben standhalten können. Sie gehören sogar zu den erdbebensichersten Bauten der Schweiz. Trotzdem stellen Erdbeben weiterhin eine der nicht vernachlässigbaren Gefährdungen für die Schweizer KKW dar. Die Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK) legt deshalb als Aufsichtsbehörde grossen Wert darauf, dass die Erdbebengefährdung für die KKW so umfassend und genau wie möglich bestimmt wird.

Fortschritte in den Berechnungsmethoden

Um für den Bau der Schweizer KKW die Erdbebengefährdung einzuschätzen, griff man auf historische Erdbebendaten zurück. Diese wurden Mitte der 1970er-Jahre statistisch ausgewertet und in einer Erdbebengefährdungskarte dargestellt. Mit der Einführung der Probabilistischen Sicherheitsanalysen (PSA) wurden dann in den 1980er-Jahren die Anforderungen an die Bestimmung der Erdbebengefährdung weiter verfeinert. In der Erdbebengefährdung war nun auch die Streubreite auszuweisen, welche den in der Datenbasis und den Berechnungsmodellen vorhandenen Unschärfen Rechnung trägt.

Forderung der HSK

Die PSA, die von den Betreibern der Schweizer KKW erstellt wurden, bestätigten, dass Erdbeben massgeblich zum Gesamtrisiko der KKW beitragen können. Nachdem dann im Ausland weitere Fortschritte auf dem Gebiet der probabilistischen Erdbebengefährdungsanalyse erzielt wurden, kam die HSK zum Schluss, dass die für die Schweizer KKW vorliegenden Erdbebengefährdungsanalysen nicht mehr in allen Punkten dem aktuellsten Stand entsprachen. Im Jahr 1999 forderte die HSK deshalb die KKW-Betreiber auf, die Erdbebengefährdung nach den neuesten Methoden zu bestimmen und insbesondere die Unsicherheiten der Rechenergebnisse umfassend zu quantifizieren.

Das Projekt PEGASOS

Zur Umsetzung der Forderung der HSK gaben die KKW-Betreiber das Projekt PEGASOS (Probabilistische Erdbebengefährdungsanalyse für die KKW-Standorte in der Schweiz) in Auftrag. In Anlehnung an eine in den USA neu entwickelte Methode wurde in diesem Projekt die Erdbebengefährdung unter möglichst umfassender Berücksichtigung des Kenntnisstandes der international massgebenden Fachwelt ermittelt. Für die Studie konnten erstrangige erdwissenschaftliche Fachexperten von unabhängigen Organisationen aus dem In- und Ausland gewonnen werden. Im Jahr 1999 starteten die Vorbereitungsarbeiten zu dieser in Europa bisher einzigartigen Studie. Anfang 2001 begannen die eigentlichen Projektarbeiten und im Sommer 2004 konnte die Studie abgeschlossen werden.

Projektbeurteilung durch die HSK

Die HSK hat das Projekt PEGASOS mit einem Team anerkannter Experten begleitend überprüft. In dem Reviewschlussbericht stellte die HSK fest, dass die methodischen Vorgaben in dem Projekt erfüllt wurden und mit dem Projekt international ein neuer Standard gesetzt wird. Sie befand, dass die PEGASOS-Ergebnisse derzeit die bestmögliche Basis für die Festlegung von Erdbebengefährdungsannahmen in den PSA und bei Auslegungsfragen der Schweizer KKW darstellen. Doch stellte die HSK auch fest, dass die in den PEGASOS-Ergebnissen ausgewiesene Bandbreite der Unsicherheiten recht gross ist, und durch weitere Untersuchungen verkleinert werden könnte.

Weiterentwicklungen zu PEGASOS

Seit Abschluss des Projekts sind die KKW-Betreiber dabei, die PEGASOS-Ergebnisse vor allem auf ihre Umsetzbarkeit hin zu prüfen und zu bewerten. Eine Herausforderung bereitet die grosse Bandbreite der Ergebnisse, die nicht zuletzt darauf zurückzuführen ist, dass für starke Erdbeben in unseren Regionen kaum Erfahrungswerte vorliegen. Um die offenen Punkte und das weitere Vorgehen in der Fachwelt zu diskutieren organisierten die KKW-Betreiber zwei Workshops in der Schweiz und stellten die PEGASOS-Studie bei einer OECD-Konferenz in Korea vor. Der breiten Öffentlichkeit ist PEGASOS bisher nicht im Detail vorgestellt worden, da die Studie innerhalb der Expertenwelt noch diskutiert wird.

Aufgrund der Ergebnisse aus den PEGASOS-Prüfarbeiten haben die KKW-Betreiber vorläufige Schwerpunkte für Zusatzarbeiten zu PEGASOS erstellt. Diese diskutierten sie im Mai dieses Jahres in den USA mit der amerikanischen Industrie sowie mit der HSK und amerikanischen Behörden. Basierend auf den internationalen Erfahrungen mit neuen Erdbebengefährdungsstudien (USA, IAEA) ist davon auszugehen, dass die Fachdiskussionen und Umsetzungsarbeiten zu PEGASOS noch einige Zeit in Anspruch nehmen werden.

Massnahmen der HSK

Auf Basis der Erkenntnisse aus dem Projekt PEGASOS hat die HSK für die PSA der Schweizer KKW neue, verschärfte Erdbebengefährdungsannahmen festgelegt. Ferner hat die HSK die Betreiber der Schweizer KKW aufgefordert, die Möglichkeiten und den Nutzen von risikomindernden seismischen Ertüchtigungen komponentenspezifisch zu untersuchen. Weiter ist die HSK zurzeit daran, neue Bemessungsgrundlagen für wesentliche Änderungen an bestehenden KKW und für neue KKW festzulegen.

Résumé

Situation initiale

Les centrales nucléaires suisses sont projetées et construites de façon à pouvoir résister aussi à des tremblements de terre puissants. Ce sont parmi les bâtiments les plus sûrs face au risque de tremblements de terre en Suisse. Cependant, les tremblements de terre demeurent pour les centrales nucléaires suisses des menaces à ne pas négliger. La Division principale de la Sécurité des installations Nucléaires (DSN) attache de ce fait une grande importance à ce que l'aléa sismique des centrales nucléaires soit calculé de la manière la plus détaillée et exacte.

Progrès dans les méthodes de calcul

Les centrales nucléaires suisses ont été construites sur la base d'un aléa sismique évalué à partir des données historiques de tremblements de terre. Au milieu des années 1970, ces données ont été traitées de manière statistique et représentées au moyen d'une carte de l'aléa sismique. Avec l'avènement des Etudes Probabilistes de Sûreté (EPS) dans les années 1980, les exigences quant à la détermination de l'aléa sismique ont été affinées. Dès lors, il a été nécessaire pour l'établissement de l'aléa sismique de déterminer des marges qui tiennent compte des incertitudes dans la base de donnée et dans les modèles de calcul.

Exigence de la DSN

Les EPS des exploitants des centrales nucléaires suisses confirment que les tremblements de terre contribuent de manière déterminante au risque total des centrales nucléaires. Du fait des progrès importants réalisés à l'étranger dans le domaine de l'analyse probabiliste de l'aléa sismique, la DSN a jugé que les analyses existantes de l'aléa sismique des centrales nucléaires suisses n'étaient plus en tout point à la pointe du progrès. En 1999, la DSN a exigé des exploitants des centrales nucléaires une réévaluation de l'aléa sismique sur la base des méthodes les plus actuelles. La DSN a exigé entre autres une quantification détaillée de l'incertitude des calculs.

Le projet PEGASOS

Afin de remplir les exigences de la DSN, les exploitants des centrales nucléaires ont mis en route le projet PEGASOS (acronyme allemand pour « analyse probabiliste de l'aléa sismique aux emplacements des centrales nucléaires suisses »). Sur la base d'une nouvelle méthode développée aux Etats-Unis, l'aléa sismique a été évalué dans ce projet en tenant compte de la façon la plus détaillée des connaissances des experts internationaux. Des spécialistes réputés des sciences de la terre appartenant à des organisations indépendantes suisses et étrangères ont été engagés pour cette étude. Les travaux préparatoires à cette étude encore unique en Europe ont débuté en 1999. Les travaux du projet proprement dit ont commencé au début de 2001 et l'étude a été achevée en été 2004.

Evaluation du projet par la DSN

La DSN a vérifié et suivi le projet PEGASOS avec une équipe de spécialistes reconnus. Dans son rapport final, la DSN a constaté que les exigences quant à la méthode ont été remplies et que le projet a posé les jalons d'un nouveau standard au niveau international. Elle a conclu que les résultats de PEGASOS représentent actuellement la meilleure base pour l'établissement d'hypothèses sur l'aléa sismique dans les EPS ainsi que pour les questions de conception des centrales nucléaires suisses. Cependant, la DSN a également relevé que les marges d'incertitude des résultats du projet PEGASOS sont élevées, mais pourraient être réduites par des études ultérieures.

Développements concernant PEGASOS

Depuis la clôture du projet, les exploitants des centrales nucléaires s'activent à vérifier et à évaluer les résultats de PEGASOS principalement quant à leur applicabilité. Le niveau élevé des incertitudes dans les résultats constitue un défi qui est notamment à imputer au fait qu'il n'existe que peu de valeurs empiriques dans notre région pour les tremblements de terre puissants. Afin de discuter entre experts des points encore ouverts et de la suite à donner au projet, les exploitants des installations nucléaires ont organisé deux ateliers de discussion en Suisse et ont présenté les résultats du projet PEGASOS à une conférence de l'OCDE en Corée. Jusqu'à présent, PEGASOS n'a pas encore été présenté en détail à un large public, du fait que les résultats font toujours l'objet de discussions entre experts.

En raison des résultats des vérifications de PEGASOS, les exploitants des centrales nucléaires ont mis provisoirement l'accent sur des travaux additionnels à PEGASOS. Des discussions à ce sujet ont eu lieu en mai de cette année aux Etats-Unis avec l'industrie américaine ainsi qu'avec la DSN et les autorités américaines. Sur la base de l'expérience internationale concernant les études de l'aléa sismique (USA, AIEA), on peut présumer que les discussions techniques et les travaux de mise en pratique de PEGASOS dureront encore un certain temps.

Mesures de la DSN

Sur la base des résultats du projet PEGASOS, la DSN a défini de nouvelles hypothèses d'aléa sismique renforcées pour les EPS des centrales nucléaires suisses. De plus, la DSN a exigé des exploitants des centrales nucléaires suisses d'analyser les possibilités et l'utilité de travaux de renforcement de composants et structures visant à réduire le risque sismique. La DSN est en train de définir des bases de conception concernant les modifications essentielles pour les centrales existantes et futures.

Summary

Initial Situation

The Swiss Nuclear Power Plants (NPPs) are designed and built such as to resist strong earthquakes. They are amongst those buildings with the highest seismic safety in Switzerland. Nevertheless, earthquakes continue to present a non-negligible hazard to the Swiss NPPs. Therefore, the Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate (HSK) attaches great importance to the most comprehensive and accurate assessment of the seismic hazard.

Advances in Analysis Methods

In order to assess the seismic hazard for the original design of the Swiss NPPs historic earthquake data were gathered. In the mid-1970's these data were evaluated statistically and presented in seismic hazard maps. With the introduction and development of the Probabilistic Safety Assessments (PSA) in the 1980's the requirements for the seismic hazard analysis were further specified. From then on, the uncertainty range, which is caused by the inherent scatter of the data and the analysis models, had to be included in the seismic hazard analysis.

HSK Requirement

The PSA, which were conducted by the licensees of the Swiss NPPs, confirmed that seismic events can provide a substantial contribution to the overall risk of the plants. Noting further advances in international projects in the field of probabilistic seismic hazard analysis, the HSK concluded that the original results from seismic hazard studies did not anymore represent the current state-of-the-art. In 1999, the HSK required that the licensees determined the seismic hazard according to the updated methods and included a comprehensive evaluation of all contributions to the uncertainties in the resulting hazard.

The PEGASOS Project

In order to meet the HSK requirement, the licensees initiated the project PEGASOS, a German acronym for "Probabilistic Assessment of Seismic Hazard for Swiss Nuclear Power Plant Sites". Based on a newly developed method in the USA the seismic hazard was evaluated considering the broad knowledge of the relevant international expert community. Leading national and international earth science experts from independent organizations could be involved in this unique study in Europe. The preparatory work was started in 1999. The actual project work was launched in 2001 and completed in summer 2004.

Project Review by the HSK

The HSK established a team of recognized experts, which conducted a participatory review of the PEGASOS project. In the final report of the participatory review, the HSK concluded that the methodological requirements had been accomplished and that the project would set a new international standard for seismic hazard assessments of NPPs. The HSK found that the results of the PEGASOS project currently represented the best possible basis for the specification of seismic hazard parameters in the PSA applications and for seismic design issues for nuclear facilities. However, the HSK also found that the documented uncertainty range was rather broad and that this bandwidth could be reduced by further investigations.

PEGASOS Follow-up Developments

After project completion, the licensees began to evaluate the results, particularly the possibility of implementing them for analysis purposes. A particular challenge is the broad uncertainty range, which is mainly a consequence of the lack of strong motion data in the Swiss environment. The licensees organized two workshops in Switzerland with the objective to discuss open issues and the further steps to be taken. Furthermore, the study results were also presented during an OECD conference in Korea. PEGASOS results have not yet been introduced in detail to the broad public as the study is still a subject of discussion between experts.

Based on the PEGASOS review findings the licensees developed a program for a refinement project. They discussed the key refinement issues in the USA in May 2007 in meetings with the American industry as well as with the HSK and the American authorities. According to the international experience with new studies on seismic hazard (USA, IAEA), it is expected that the discussion among experts and the implementation of the PEGASOS project will require substantial additional time.

Measures Taken by the HSK

As a first action based on the findings from the PEGASOS project the HSK has specified more stringent seismic hazard parameters to be used in the PSA studies for the Swiss NPPs. Furthermore, the HSK has required the licensees to systematically investigate the possibilities and the benefit of additional risk reducing seismic upgrade measures. Presently, the HSK is preparing the basics for new design specifications in case of substantial plant modifications on existing NPPs and also for new NPPs.

Inhaltsverzeichnis

1	Beweggründe für die Neubestimmung der Erdbebengefährdung	1
1.1	Ausgangslage	1
1.2	Neue Methoden und Erkenntnisse	1
1.3	Forderung und Zielvorgabe der HSK	2
2	Das Projekt PEGASOS.....	3
2.1	Die vier Teilprojekte	4
2.2	PEGASOS-Resultate	5
2.2.1	Gefährdungskurven	5
2.2.2	Uniform Hazard Spectra	7
2.2.3	Deaggregation der Gefährdung	7
2.2.4	Sensitivitätsstudien	8
2.2.5	Resultatvergleiche	8
2.3	Beurteilung durch die HSK	10
3	Folgearbeiten	11
3.1	Weiterentwicklung der PEGASOS-Studie	11
3.2	Massnahmen der HSK	12
4	Fazit	13
	Abkürzungen	14
	Referenzen.....	15

1 Beweggründe für die Neubestimmung der Erdbebengefährdung

1.1 Ausgangslage

Für den sicheren Betrieb der Schweizer Kernkraftwerke (KKW) sind fundierte Kenntnisse der Erdbebensicherheit unerlässlich. Bereits beim Bau der KKW wurde der Erdbebensicherheit grosse Aufmerksamkeit geschenkt. Für Kernanlagen gelten weitaus strengere Bestimmungen als für Normalbauten. Die Methoden zur erdbebensicheren Bemessung von Bauten und Komponenten sowie der Beurteilung der Erdbebensicherheit bestehender Anlagen wurden im Laufe der Jahre immer weiterentwickelt. Parallel dazu wurde manche Sicherheitsvorkehrung in den Kernanlagen verschärft. Insgesamt betrachtet sind die Schweizer KKW so geplant, gebaut und nachgerüstet, dass sie auch stärkeren Erdbeben standhalten können. Die KKW gehören zu den erdbebensichersten Bauten der Schweiz.

In den 1980er-Jahren wurde in der Schweiz die Probabilistische Sicherheitsanalyse (PSA) eingeführt. Mit diesen Analysen wurden die Anforderungen an die Bestimmung der Erdbebengefährdung weiter verfeinert. In der Erdbebengefährdung war nun auch die Streubreite auszuweisen, welche den in der Datenbasis und den Berechnungsmodellen naturgemäss vorhandenen Unschärfen Rechnung trägt. Um die Erdbebengefährdung an den Standorten Beznau, Mühleberg, Gösgen und Leibstadt für die PSA zu ermitteln, griff man auf historische Erdbebendaten zurück, die Mitte der 1970er-Jahre eigens für die Sicherheit der Schweizer KKW statistisch ausgewertet wurden. Zudem wurden lokale Bodenuntersuchungen und seismische Berechnungen angestellt, die ebenfalls in die Berechnung der Erdbebengefährdung einfließen.

Die in Bild 1 dargestellte Erdbebengefährdungskarte zeigt, dass die KKW in seismisch relativ ruhigen Zonen liegen, also ausserhalb von Regionen mit erhöhter Erdbebengefährdung. Die Erdbebengefährdung beschreibt wie häufig wie starke Erdbeben zu erwarten sind. Als Mass für die Stärke eines Erdbebens wird in Bild 1, wie in diesem Zusammenhang üblich, die Bodenbeschleunigung verwendet. Die Bodenbeschleunigung ist relativ einfach zu messen. Sie kann direkt registriert und aufgezeichnet werden. Entsprechende Messgeräte stehen auch an den Standorten der Schweizer KKW.

1.2 Neue Methoden und Erkenntnisse

In den 1980er- und 1990er-Jahren sind im Bereich der Seismik vor allem in den USA umfangreiche probabilistische Gefährdungsanalysen durchgeführt worden. Besonderes Augenmerk galt dabei der systematischen und umfassenden Berücksichtigung von Unsicherheiten. Es wurde unterschieden zwischen den Unsicherheiten, die naturbedingt zufälliger Art und somit nicht eliminierbar sind („aleatory uncertainties“), und den Unsicherheiten, die mit der Modellbildung verknüpft sind und durch Steigerung des Wissens verkleinert werden könnten („epistemic uncertainties“). Ferner wurden die Methoden der probabilistischen Erdbebengefährdungsanalyse vor allem im Bereich der strukturierten Expertenbefragung wesentlich weiterentwickelt („expert elicitation“).

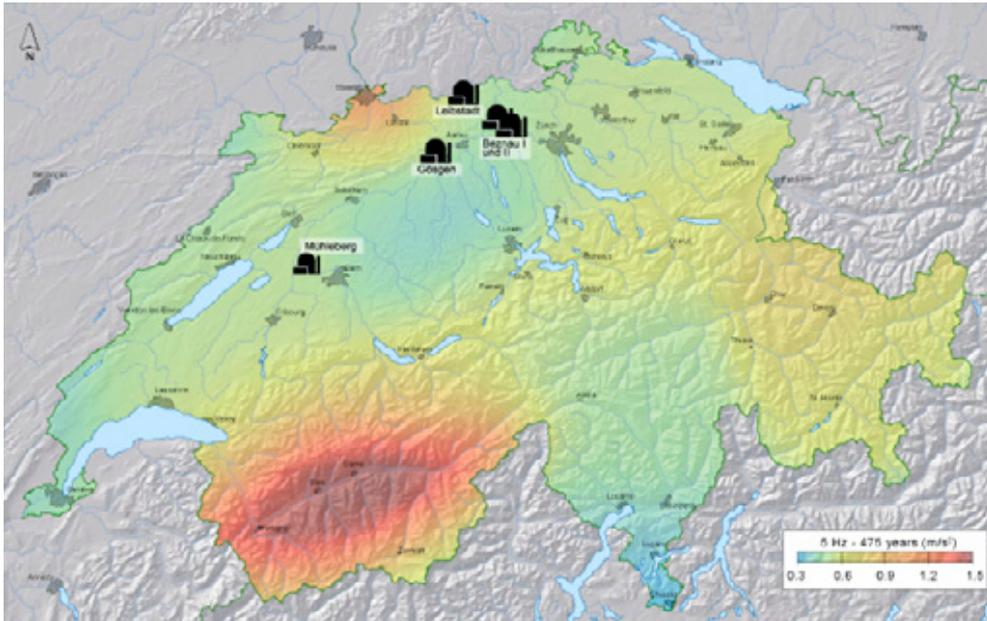


Bild 1 Erdbebengefährdungskarte der Schweiz (Quelle: Schweizerischer Erdbebendienst ETH Zürich), in der die Standorte der KKW eingezeichnet sind; Beznau I und II, Mühleberg, Gösgen, Leibstadt; Die Farben bezeichnen die statistisch zu erwartenden Bodenbeschleunigungen, für eine jährliche Häufigkeit von 1/475 und eine spektrale Frequenz von 5 Hz; grün: schwache Gefährdung, gelb: mittlere Gefährdung, rot: erhöhte Gefährdung

In den vergangenen Jahrzehnten konnte das Netz zur Messung von Erdbebendaten weltweit deutlich verdichtet werden. Vor allem in seismisch aktiven und industriell entwickelten Regionen (Westen der USA, Japan, Taiwan, Türkei, Italien) wurden konstant Daten erfasst und ausgewertet. Dadurch kann in den Gefährdungsberechnungen auf eine immer grössere Datenmenge zurückgegriffen werden. In der Schweiz ist seit 1992 ein so genanntes Starkbebenmessnetz, das sämtliche Bodenbeschleunigungen aufzeichnet, in Betrieb. Dieses Messnetz hat bis heute zahlreiche Beschleunigungsverläufe, die auf Erdbeben zurückzuführen sind, registriert. Allerdings kam es in der Schweiz seither nur zu schwachen Erdbeben.

1.3 Forderung und Zielvorgabe der HSK

Als unabhängige Aufsichtsbehörde der Schweizer Kernanlagen ist die HSK dafür zuständig, die von den Betreibern der Schweizer KKW erstellten und regelmässig aktualisierten PSA zu überprüfen und dafür zu sorgen, dass mit diesen Analysen das Risiko der KKW nach dem neuesten Stand von Wissenschaft und Technik ermittelt wird. Vor diesem Hintergrund und weil die vorliegenden PSA bestätigten, dass Erdbeben massgeblich zum Gesamtrisiko der KKW beitragen können, forderte die HSK Mitte 1999 die KKW-Betreiber auf, die Erdbebengefährdung an den Standorten der KKW neu zu bestimmen. Die HSK formulierte methodische Vorgaben, die sich an den US-amerikanischen Empfehlungen des Senior Seismic Hazard Analysis Committee (SSHAC, [1]) orientierten. Die HSK legte fest, dass die Neubestimmung der Erdbebengefährdung mit einer umfassenden Evaluation aller Unsicherheiten erfolgen sollte (SSHAC Level 4). Die HSK verlangte, dass Unsicherheiten sowohl bei den vorhandenen Erdbebendaten als auch bei deren Interpretation und Modellbildungen systematisch erfasst, berechnet und ausgewertet werden. Zudem forderte sie, dass alle neuen erdwissenschaftlichen Erkenntnisse und Messdaten konsequent in die Datenbasis aufgenommen werden.

Um diesen Forderungen der HSK nachzukommen, entschieden sich die KKW-Betreiber, eine umfassende Studie in Auftrag zu geben.

2 Das Projekt PEGASOS

Das Projekt PEGASOS (Probabilistische Erdbebengefährdungsanalyse für die KKW-Standorte in der Schweiz) ist eine in Europa bisher einzigartige Studie – sowohl vom Umfang her (Kosten ca. 10 Millionen CHF), als auch von der Vorgehensweise. Der wesentliche Unterschied zu den früheren probabilistischen Erdbebengefährdungsanalysen in der Schweiz war, dass die Unsicherheiten systematisch und umfassend erfasst wurden. Es wurde versucht die weltweit neuesten Erkenntnisse und Methoden aus der Erdbebenforschung mit einzubeziehen. Die Vorbereitungsarbeiten zu PEGASOS begannen 1999. Die eigentlichen Projektarbeiten wurden Anfang 2001 aufgenommen und Mitte 2004 mit dem Schlussbericht [3] beendet.

Das Projekt wurde in vier Teilprojekte unterteilt (Bestimmung der Erdbebenquellen, der Erdbebenausbreitung, der Standorteinflüsse und der Gefährdungsergebnisse). Für die Mitarbeit in den Teilprojekten 1 bis 3 konnten insgesamt 21 international anerkannte Fachexperten aus 7 europäischen Ländern gewonnen werden. In jedem dieser Teilprojekte waren zusätzlich unabhängige Spezialisten beauftragt, die Arbeit der Experten zu leiten und zu moderieren. Die Aufgabe dieser so genannten Technical Facilitator / Integrator (TFI) bestand darin, in Zusammenarbeit mit den Experten die für die eigentliche Gefährdungsberechnung (Teilprojekt 4) benötigten Eingaben zu erarbeiten. Dies geschah im Rahmen von Befragungsgesprächen („elicitation meetings“) und Workshops. Dabei hatten die TFI klar die Anweisung, diese Veranstaltungen zu moderieren, die Expertenteams zu führen und zu unterstützen, aber unter keinen Umständen zu beeinflussen.

In den zahlreichen „elicitation meetings“ führten die TFI direkte Fachgespräche mit den einzelnen Experten bzw. Expertengruppen. Durch strukturierte Befragung der einzelnen Experten („expert elicitation“) zu bestimmten Sachfragen wurden dabei die Einschätzungen und Bewertungen („evaluations“) der einzelnen Experten etwa zu vorgeschlagenen Modellen oder Modellparametern erarbeitet. In diesen Interviews sollten die Experten nicht nur ihre eigene Bewertung darstellen, sondern auch die aus ihrer Sicht in der Fachwelt vorherrschende.

Pro Teilprojekt wurden fünf Workshops veranstaltet, in denen die Experten die Möglichkeit hatten zu diskutieren, z.B. auch die gemeinsam zu verwendende Datenbasis mitzugestalten und insbesondere die eigenen Bewertungen zu präsentieren, zu erläutern und zu begründen. In den Workshops ging es auch darum, die Bewertungen der anderen Experten kennen zu lernen und soweit zu hinterfragen, bis sie als für die Fachwelt repräsentativ nachvollzogen werden konnten. Die meisten Workshops waren teilprojektspezifisch angelegt. Einige wurden jedoch bewusst teilprojektübergreifend geplant, um den Austausch unter den Experten der verschiedenen Teilprojekte zu fördern. Vertreter der Schweizer KKW waren als Beobachter bei den Workshops zugelassen.

Die HSK hat das Projekt mit einem fünfköpfigen Team von erfahrenen Experten („HSK Review Team“) begleitet und geprüft. Sie hat anfänglich den Projektplan und die Art der zu bestimmenden Resultate (Resultatspezifikation) beurteilt. Die Mitglieder des HSK Review Teams nahmen im Folgenden an den Workshops als Beobachter teil. Wie die Vertreter der Schweizer KKW durften auch sie nicht aktiv in die Diskussion eingreifen oder Stellung beziehen. Ihre Beobachtungen teilten sie jeweils am Schluss der Workshops den TFI und der Projektleitung mit und hielten sie anschliessend schriftlich fest. Am Schluss des Projekts nahm das HSK Review Team mit einem abschliessenden Prüfbericht zum Projekt Stellung [4].

2.1 Die vier Teilprojekte

Die vier Teilprojekte der PEGASOS-Studie entsprechen den üblichen Hauptschritten einer probabilistischen Erdbebengefährdungsanalyse.

- *Teilprojekt 1: Bestimmung der seismischen Quellen* (“*Seismic Source Characterization*”)

In diesem Teilprojekt entwickelten vier Expertengruppen Modelle für die in der Gefährdungsanalyse zu berücksichtigenden Erdbebenherde, die so genannten seismischen Quellenmodelle. Dazu verwendeten sie die Daten des Erdbebenkatalogs¹ und weitere seismotektonische und geophysikalische Grundlagen. Als seismische Quellen wurden sowohl diskrete (linienförmige) Verwerfungen als auch Flächenquellen, d.h. Gebiete mit homogenen seismischen Eigenschaften, identifiziert. Für jede Quelle wurden die seismischen Eigenschaften ermittelt. Zum Beispiel wurde die Erdbebenaktivität jeder Quelle in Form einer Magnituden-Häufigkeits-Beziehung bestimmt. Bild 2 zeigt eine von einer Expertengruppe entwickelte Anordnung der Flächenquellen.

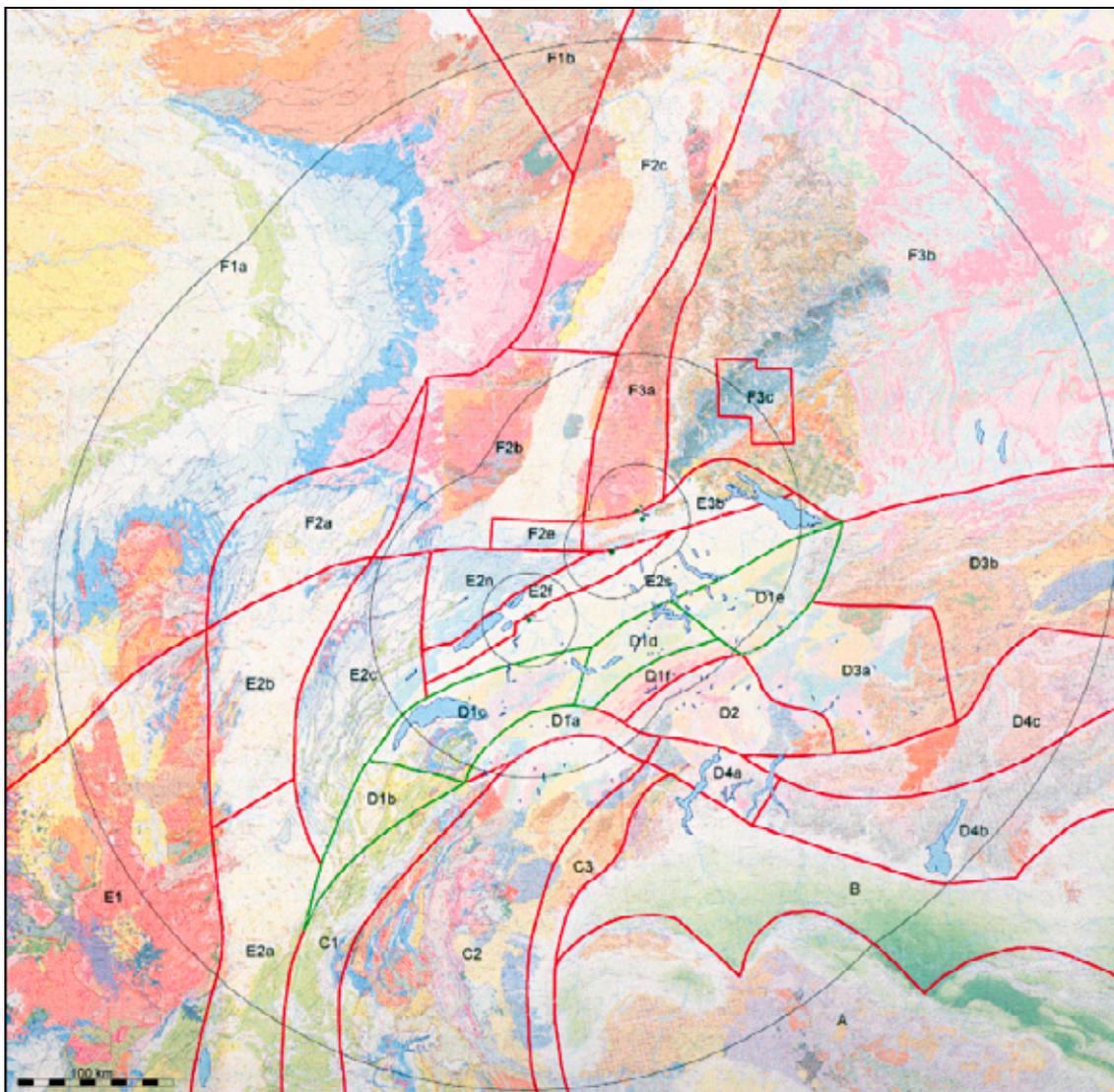


Bild 2 Beispiel einer Aufteilung in seismische Flächenquellen, wie sie von einer Expertengruppe des Teilprojekts 1 erarbeitet wurde, aus [3]; die Flächenquellen sind auf dem Hintergrund einer geographischen Karte dargestellt

¹ Im Erdbebenkatalog, einer Art Datenbank für Erdbebenrohdaten, werden alle Erdbebenereignisse erfasst, die z.B. aus den Aufzeichnungen des Starkbebenmessnetzes oder der Überlieferung bekannt sind.

- *Teilprojekt 2: Bestimmung der Erdbebenfortpflanzung ("Ground Motion Characterization")*

In diesem Teilprojekt wurde untersucht, welchen Einfluss die Distanz zwischen dem Erdbebenherd und dem betrachteten KKW-Standort hat. In so genannten Abminderungsmodellen wurde beschrieben, wie die Bodenerschütterung mit zunehmendem Abstand vom Erdbebenherd abnimmt. Die Abminderungsmodelle wurden dabei auf Referenzbedingungen bezogen, wie sie für Fels in einer tiefer gelegenen Bodenschicht gelten.

- *Teilprojekt 3: Bestimmung der Standorteinflüsse ("Site Response Characterization")*

Der Einfluss des Baugrunds auf die lokale Ausbreitung der Bodenerschütterung wurde in diesem Teilprojekt für jeden Standort spezifisch untersucht. Konkret wurde dabei der Verlauf der erdbebenbedingten Bodenbewegung durch die verschiedenen Bodenschichten unterhalb des Kraftwerks (vom Referenzfelsniveau bis zur Terrainoberfläche) betrachtet.

- *Teilprojekt 4: Berechnung der Erdbebengefährdung ("Seismic Hazard Computation")*

Die in den Teilprojekten 1, 2 und 3 zu einzelnen Aspekten der probabilistischen Erdbebengefährdungsanalyse postulierten und bewerteten Modelle wurden im Teilprojekt 4 zu einem Gesamtmodell zusammengefügt. Das Gesamtmodell wurde numerisch ausgewertet und die sich daraus ergebenden Resultate wurden inkl. der zugehörigen Unsicherheit für die praktische Nutzung grafisch übersichtlich aufbereitet.

Ferner wurde im Teilprojekt 4 untersucht, wie sich einzelne Modellteile oder Berechnungsannahmen auf die Gefährdungsergebnisse auswirken. Auf solche (noch vorläufigen) Sensitivitätsanalysen konnten die Experten der Teilprojekte 1 bis 3 bereits im Projektablauf zurückgreifen.

2.2 PEGASOS-Resultate

2.2.1 Gefährdungskurven

In der Gefährdungskurve wird abgebildet, wie häufig damit zu rechnen ist, dass Erdbeben an dem betrachteten Ort dazu führen, dass gegebene Werte der Bodenerschütterung überschritten werden. In PEGASOS wurde auch die Häufigkeit von sehr seltenen Erdbeben erfasst. In den Gefährdungskurven sind sogar Bodenerschütterungen angezeigt, die lediglich mit einer Häufigkeit von 1/10'000'000 pro Jahr überschritten werden. Die Bodenerschütterung wurde in Abhängigkeit der Schwingungsfrequenz mit der so genannten spektralen Beschleunigung definiert. Dabei wurde der Frequenzbereich von 0.5 Hertz bis 100 Hertz („peak ground acceleration“, PGA) betrachtet.

Für jeden der vier KKW-Standorte (Beznau, Gösgen, Leibstadt und Mühleberg) wurden die Gefährdungskurven für folgende vier Höhen im Bodenprofil berechnet: Referenzfelsniveau, Fundamentniveau des Reaktorgebäudes, Fundamentniveau der wichtigen Nebengebäude, Terrainoberfläche. Für die horizontale und die vertikale Beschleunigungskomponente wurden separate Gefährdungskurven ermittelt. Neben der Mittelwertkurve („mean“) wurde für jede Gefährdungskurve die Unsicherheitsverteilung anhand der Mediankurve (50%-Fraktile) und weiterer Fraktilkurven im Bereich von 1% bis 99% angegeben. Als typische Gefährdungskurve zeigt Bild 3 die Horizontalkomponente der Starrkörperbeschleunigung (PGA) auf dem Niveau des Reaktorgebäudefundaments des KKW Leibstadt.

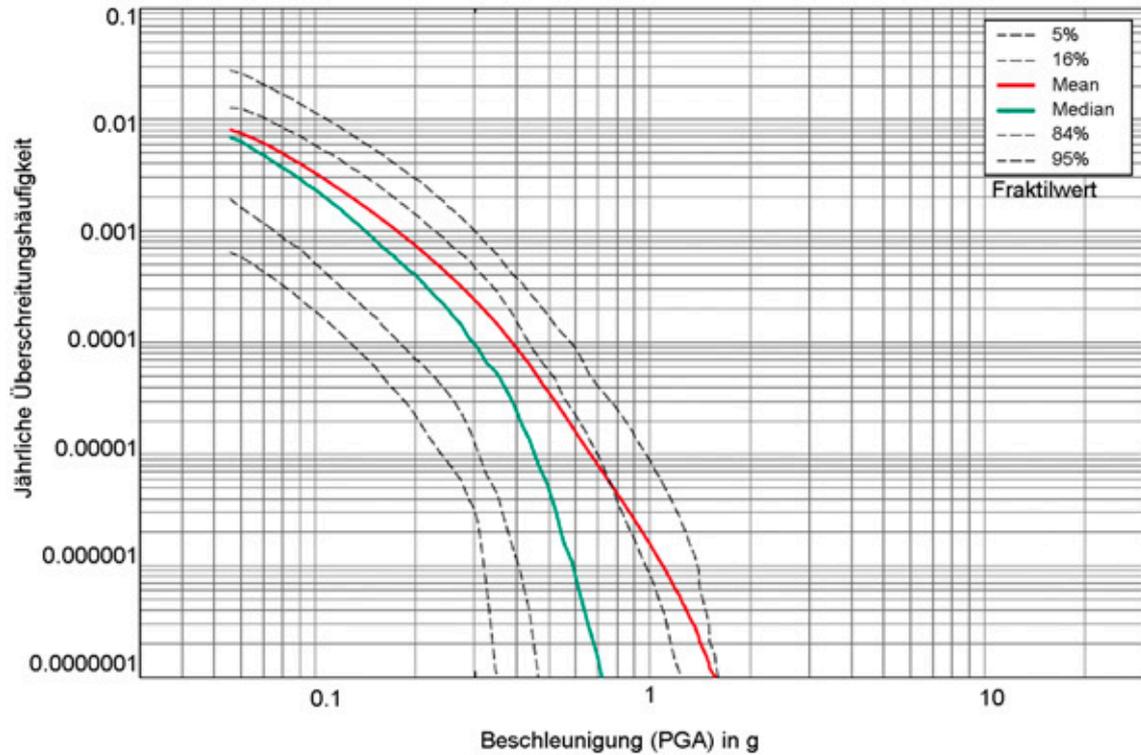


Bild 3 Gefährdungskurven KKW Leibstadt, Fundamentniveau Reaktorgebäude (-10 m), PGA, Horizontalkomponente

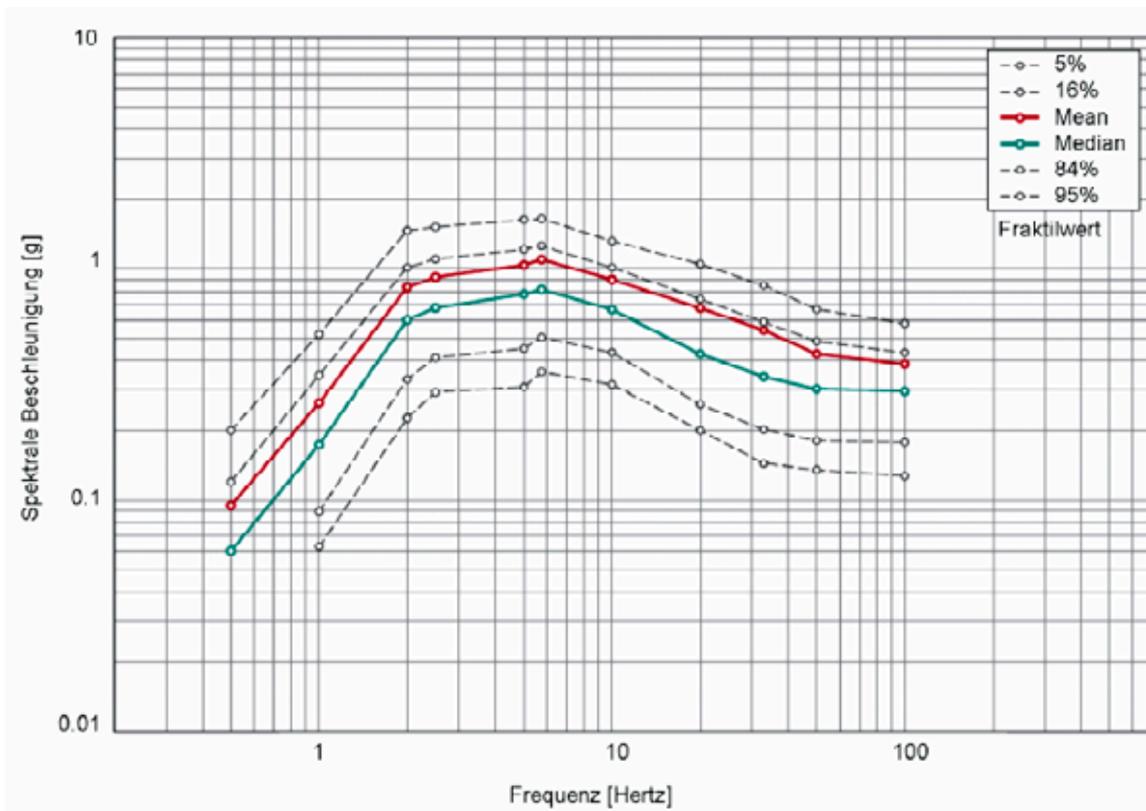


Bild 4 „Uniform hazard spectra“ KKW Leibstadt, Fundamentniveau Reaktorgebäude (-10 m), horizontale Beschleunigungskomponente, jährliche Häufigkeit 1/10'000, 5% Dämpfung

2.2.2 Uniform Hazard Spectra

Die „uniform hazard spectra“ (UHS) sind eine alternative Darstellung der in den Gefährdungskurven enthaltenen Information. In der Darstellung als UHS ist die Abhängigkeit der Bodenbeschleunigung von der Schwingungsfrequenz für eine feste jährliche Überschreitungshäufigkeit der Bodenbeschleunigung erkennbar. Bild 4 zeigt ein typisches Beispiel eines UHS, berechnet für das Niveau des Reaktorgebäudefundaments am Standort des KKW Leibstadt. Die Bodenerschütterung hat ihre stärksten Schwingungsanteile im Frequenzbereich zwischen 2 Hertz und 10 Hertz.

2.2.3 Deaggregation der Gefährdung

Im Rahmen der Auswertung und Interpretation der Erdbebengefährdung wurden die Resultate deaggregiert, das heisst die Gefährdung wurde in Teilbeiträge aufgeschlüsselt. Als Parameter wurden dabei die Magnitude des Erdbebens, die Distanz zwischen dem Erdbebenherd und dem Standort sowie ϵ , die Anzahl Standardabweichungen in der für jedes Magnitude-Distanz-Szenario definierten Verteilung der Bodenerschütterung, betrachtet. Durch die Deaggregation erkennt man, welche Erdbebenszenarien aus den untersuchten Modellkombinationen massgeblich zur standortspezifischen Gefährdung beitragen. Bild 5 zeigt die Deaggregation an einem Beispiel für das KKW Beznau. Generell führte die Deaggregation für alle Schweizer KKW zur Erkenntnis, dass die standortnahen Erdbeben mit relativ kleinen Magnituden zwischen 5 und 6 die Gefährdung stärker bestimmen als weiter entfernte starke Beben mit Magnituden grösser als 7.

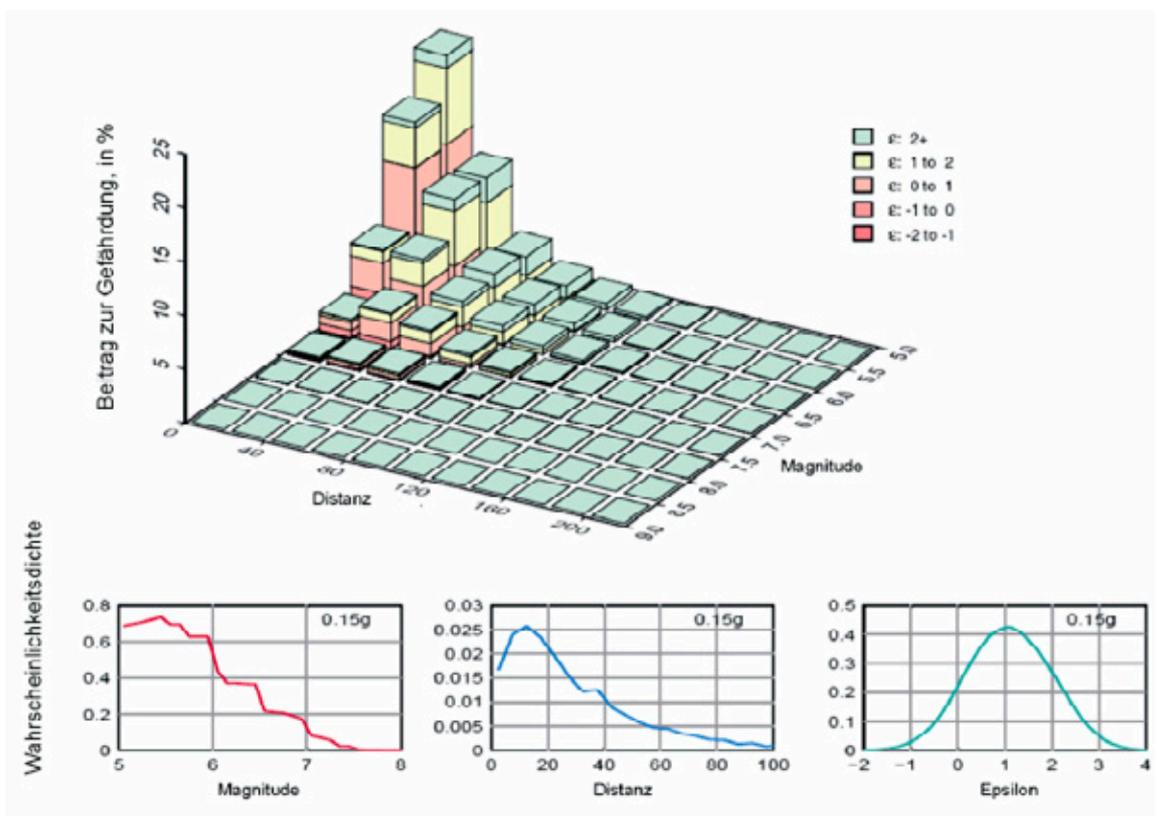


Bild 5 Deaggregation der Erdbebengefährdung: KKW Beznau, Felshorizont, Horizontalkomponente PGA = 0.15 g, Mittelwerte

2.2.4 Sensitivitätsstudien

Die Sensitivitätsstudien mit den in PEGASOS letztlich ausgewiesenen Gefährdungsergebnissen führten zu folgenden Erkenntnissen:

- Einfluss wichtiger seismischer Quellen

Die Sensitivitätsstudien bestätigten die aus der Deaggregation der Erdbebengefährdung gewonnene Erkenntnis, dass die standortnahen seismischen Quellen die Gefährdung massgeblich bestimmen. In den meisten Fällen liefert die Flächenquelle, in welcher der Standort liegt ("host zone"), den grössten Beitrag an die Gefährdung.

- Einfluss einer oberen Begrenzung der Bodenbeschleunigung

Sowohl im Teilprojekt 2 (Abminderungsmodelle), als auch im Teilprojekt 3 (Standorteinflüsse) nahmen die Experten eine Einschätzung der physikalisch maximal möglichen Bodenbeschleunigung vor. In der Sensitivitätsstudie wurden Gefährdungskurven mit und ohne diese Begrenzung verglichen. Es wurde ein nicht vernachlässigbarer Einfluss dieser Begrenzung auf die Gefährdung festgestellt.

- Einfluss der Experten

Es zeigte sich, dass die Streubreite zwischen den Bewertungen der einzelnen Experten im Vergleich zu der Streubreite, die die einzelnen Experten ihren eigenen Modellen zuordneten, klein ist. Dies deutet darauf hin, dass die einzelnen Experten bzw. Expertengruppen keine extremen Positionen vertraten und die in der Fachwelt vorhandene Schwankungsbreite zufrieden stellend erfassten.

Ein wesentliches Ergebnis der Sensitivitätsstudien ist ferner, dass die grosse Unsicherheit in den Abminderungsmodellen (Teilprojekt 2) am meisten an die Unsicherheit in den Gefährdungsergebnissen beiträgt, gefolgt von der Unsicherheit in den Standorteinflüssen und dann der Unsicherheit in der Quellencharakterisierung. Ein Grund für die grosse Unsicherheit in den Abminderungsmodellen ist, dass für die Schweiz und die angrenzenden Gebiete bisher keine Beschleunigungsmessdaten von mittelstarken bis starken Erdbeben (Schadenbeben) vorhanden sind. Die in der Schweiz mit dem Starkbebenmessnetz bisher registrierten Daten reichen nicht aus, um den Satz an möglichen Abminderungsmodellen deutlich einzugrenzen. Auch die Tektonik der Schweiz, die sowohl als stabiles kontinentales Gebiet als auch als aktive Plattengrenze interpretiert werden kann, kann nur bedingt herangezogen werden, um die Eignung der möglichen Abminderungsmodelle, die für bestimmte tektonische Verhältnisse definiert sind, zu bewerten.

2.2.5 Resultatvergleiche

Der in Bild 6 dargestellte Vergleich der PEGASOS-Ergebnisse mit den Resultaten der alten für die PSA der Schweizer KKW erstellten Gefährdungsanalysen zeigt für Bodenbeschleunigungen ab 0.1 g eine Zunahme der Überschreitungshäufigkeit. Besonders ausgeprägt ist die Zunahme für die starken Erdbeben. Die Gefährdung durch diese starken und damit sehr seltenen Erdbeben kann, wie auch in Bild 3 zu erkennen ist, nur mit grosser Unsicherheit ermittelt werden. Die festgestellte Zunahme ist denn auch darauf zurückzuführen, dass in PEGASOS die Unsicherheit gegenüber dem früheren Stand der Technik umfassender eingeschätzt und im Rechenablauf korrekter berücksichtigt wurde.

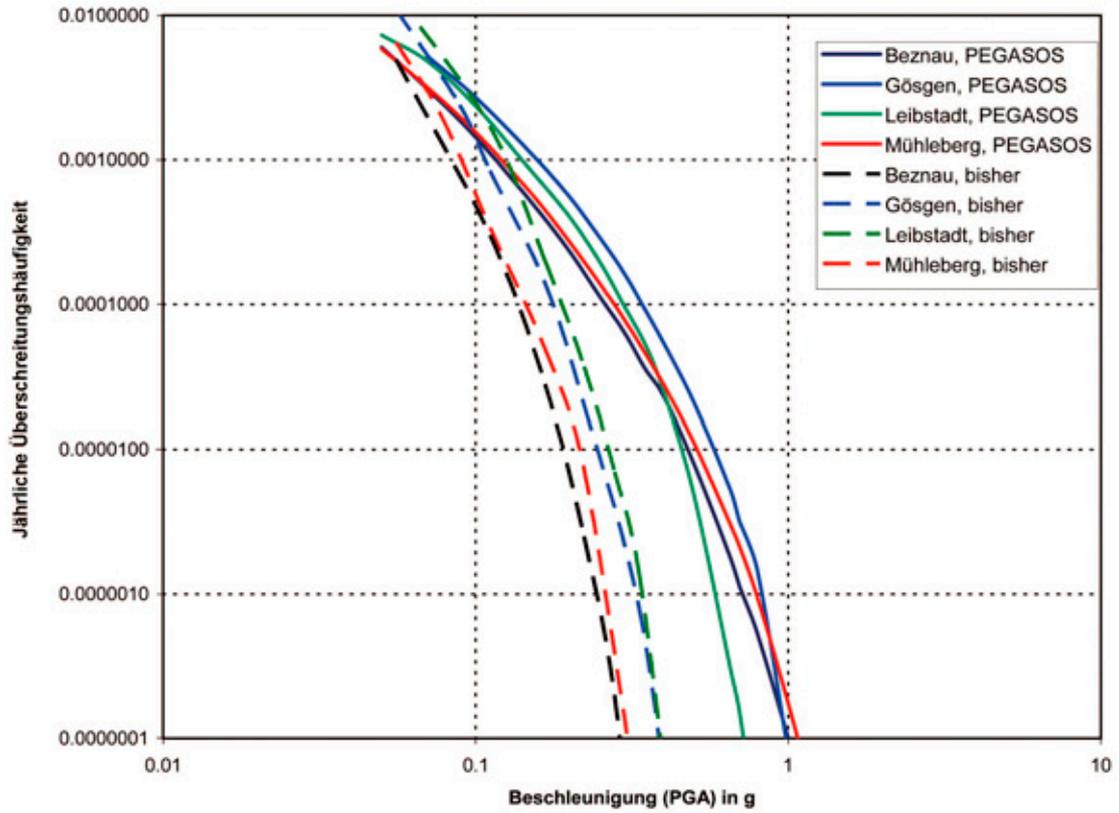


Bild 6 Vergleich der Gefährdungskurven aus PEGASOS mit den bisher verwendeten Gefährdungskurven, Fundamentniveau der Reaktorgebäude, Medianwerte (50%-Fraktile)

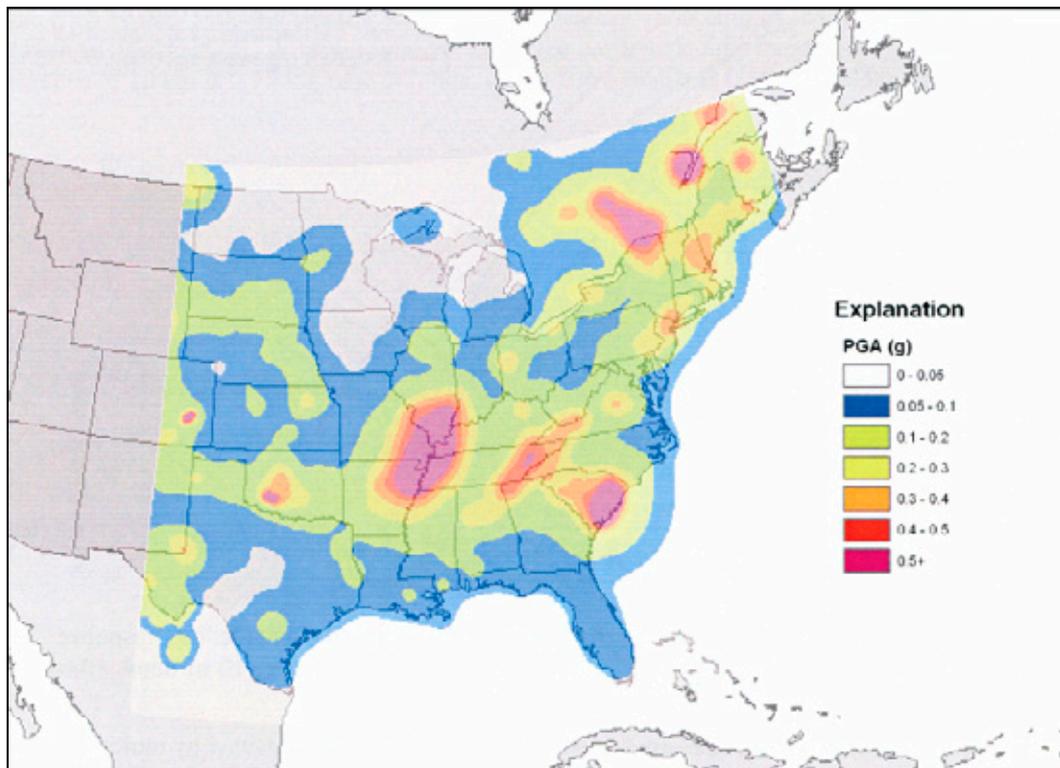


Bild 7 Gefährdungskarte für den Osten der USA: Beschleunigungen auf hartem Fels, Mittelwerte für die Häufigkeit 1/10'000 pro Jahr; Quelle: [3]

Ein Vergleich [3] mit der aktuellen Gefährdungskarte des US Geological Survey für den Osten der USA (Bild 7) liefert eine plausible Übereinstimmung der vergleichbaren Resultatgrössen. In Zonen, in welchen die seismische Gefährdung als ähnlich, das heisst als schwach bis mittel eingestuft wird, liegen die Mittelwerte der Bodenbeschleunigungen (PGA-Werte) auf dem Felsuntergrund zwischen 0.1 g und 0.4 g, für eine Häufigkeit von 1/10'000 pro Jahr. Die Vergleichswerte aus PEGASOS liegen für die hier untersuchten Standorte zwischen 0.23 g und 0.27 g.

2.3 Beurteilung durch die HSK

Die HSK hat das Projekt PEGASOS mit dem HSK Review Team von Beginn an begleitet und überprüft. Zu den Aufgaben des HSK Review Teams gehörte es, die Workshops und Fachgespräche zu beobachten und anschliessend seine Betrachtungen und Empfehlungen mitzuteilen. Nach Erhalt des PEGASOS-Schlussberichts verfasste das HSK Review Team einen abschliessenden Prüfbericht [4].

Nach Meinung der HSK wurde mit dem Projekt PEGASOS die methodische Vorgabe, eine SSHAC-Level-4-Studie durchzuführen, erfüllt. Vor allem durch die Erfassung der lokalen Standorteinflüsse und durch das innovative Qualitätssicherungssystem sind international neue Massstäbe gesetzt worden.

Die Ergebnisse des PEGASOS-Projekts wurden nach dem neuesten internationalen Wissensstand ermittelt. Sie bieten derzeit die bestmögliche Grundlage, um Erdbebengefährdungsannahmen für die untersuchten Standorte der Schweizer KKW festzulegen.

Das HSK Review Team stellte jedoch auch fest, dass die ausgewiesene Bandbreite der Unsicherheiten recht gross ist, und durch weitere Untersuchungen reduziert werden könnte. Die wichtigsten entsprechenden Hinweise des HSK Review Teams betreffen folgende Punkte:

- Die für die seismischen Quellen angenommenen maximalen Magnituden sind nicht abschliessend begründet.
- Die untere Grenze der in der berechneten Gefährdung berücksichtigten Magnituden ist ebenfalls nicht eingehend bewertet.
- Die Abgrenzungen bzw. die Wechselwirkungen zwischen den Teilprojekten 2 (Abminderungsmodelle) und 3 (Standorteinflüsse) sind nicht überall klar und eindeutig erfasst worden. Dazu wäre ein intensiverer Austausch unter den Experten dieser Teilprojekte erforderlich gewesen. Da in den beiden Teilprojekten unabhängige Einschätzungen der Modellparameter sowie deren Streubreiten vorgenommen wurden, sind die Unsicherheiten in den Schnittstellenbereichen möglicherweise überschätzt worden.
- Die Interaktion der Experten aus den Teilprojekten 1 (Seismische Quellen), 2 (Abminderungsmodelle) und 3 (Standorteinflüsse) war eventuell zu knapp, um unrealistische oder sogar unmögliche Modellkombinationen umfassend aus der Auswertung auszuschneiden.

3 Folgearbeiten

3.1 Weiterentwicklung der PEGASOS-Studie

Seit Abschluss des PEGASOS-Projekts sind die KKW-Betreiber dabei, die PEGASOS-Ergebnisse auf ihre Umsetzbarkeit hin zu prüfen und zu bewerten. Eine Herausforderung bereiten vor allem die grossen Unschärfen in den Ergebnissen, die nicht zuletzt darauf zurückzuführen sind, dass für starke Erdbeben in der Schweiz und den angrenzenden Gebieten kaum direkt verwendbare Messungen vorliegen. Die grundsätzliche Schwierigkeit liegt darin, dass Erdbeben lediglich seit ca. 100 Jahren messtechnisch erfasst und anhand von Überlieferungen etwa 1000 Jahre zurückverfolgt werden können. Für die PSA der KKW ist hingegen die Erdbebengefährdung auch für sehr kleine jährliche Überschreitungshäufigkeiten von bis zu $1/10'000'000$ gesucht.

Im November 2004, gleich nach Abschluss des PEGASOS-Projekts, organisierten die KKW-Betreiber zusammen mit dem Schweizerischen Erdbebendienst an der ETH Zürich einen Workshop, um das Projekt und die damit verbundenen Herausforderungen mit der Fachwelt zu diskutieren. Ferner wurde anlässlich einer OECD-Konferenz im November 2006 in Korea PEGASOS einem Fachpublikum vorgestellt und erstmals der vollständige Projektbericht abgegeben.

Basierend auf den PEGASOS-Prüfergebnissen der HSK [4] und den Erkenntnissen aus ihren eigenen Prüfarbeiten haben die KKW-Betreiber verschiedene Vorschläge erarbeitet, wie die PEGASOS-Studie verfeinert und damit die Unsicherheit reduziert werden könnte. Ende November 2006 führten die KKW-Betreiber in Zürich einen Workshop mit einem 14-köpfigen Expertenpanel durch, um die Möglichkeiten einer Weiterentwicklung der PEGASOS-Studie weiter auszuloten. Dabei wurde auch klar, dass seit der Durchführung des PEGASOS-Projekts in der Fachwelt weitere Fortschritte erzielt wurden. Von Bedeutung könnten z.B. neue international gewonnene Ergebnisse aus Starkbebenmessungen sein, die für eine verbesserte Beurteilung der Abminderung von Erdbebenererschütterungen in der Schweiz herangezogen werden könnten.

Mit den Erkenntnissen aus diesem Workshop haben die KKW-Betreiber vorläufige Schwerpunkte für Zusatzarbeiten zu PEGASOS erstellt. Im Mai 2007 diskutierten sie diese Verfeinerungs- und Aktualisierungspunkte in den USA mit EPRI, dem Defense Nuclear Facilities Safety Board, der NRC und der HSK. Dabei bestätigte sich, dass die Methodik der PEGASOS-Studie dem heutigen Stand der Wissenschaft und Technik auf dem Gebiet der probabilistischen Erdbebengefährdungsanalyse entspricht. Verfeinerungen bzw. Aktualisierungen der PEGASOS-Studie vor allem in den Bereichen „Erdbebenfortpflanzung“ und „lokale Standorteinflüsse“ wurden ebenfalls als sinnvoll erachtet.

Vor dem Hintergrund der im Rahmen der Prüfarbeiten der HSK und der KKW-Betreiber gewonnenen Erkenntnisse und Empfehlungen ist zu erwarten, dass Teilbereiche der PEGASOS-Studie weiter entwickelt werden. Diese zusätzlichen Studien wird die HSK wiederum überprüfen. Es ist davon auszugehen, dass diese weiteren Entwicklungsarbeiten zu PEGASOS und die zugehörigen Fachdiskussionen und Umsetzungsarbeiten noch einige Zeit in Anspruch nehmen werden. Dies entspricht den internationalen Erfahrungen mit neuen Erdbebengefährdungsstudien (USA, IAEA). Die Analyse der Erdbebengefährdung ist grundsätzlich ein stetiger Prozess, in den immer wieder neue Erkenntnisse einfließen.

Seit der OECD-Konferenz im November 2006 in Korea ist der vollständige PEGASOS-Projektbericht bei swissnuclear² erhältlich. Interessierte Kreise haben von diesem Angebot Gebrauch gemacht. Da die Studie innerhalb der Expertenwelt noch diskutiert wird, wurde sie der breiten Öffentlichkeit bisher lediglich in beschränktem Umfang – z.B. mit Pressemitteilungen und mit Beiträgen in den HSK-Aufsichtsberichten – vorgestellt.

3.2 Massnahmen der HSK

Die KKW-Betreiber und die HSK prüfen regelmässig, wie die vorliegenden Ergebnisse aus der Neubestimmung der Erdbebengefährdung in die heutige Ingenieurpraxis Eingang finden können. Basierend auf den Erkenntnissen aus PEGASOS hat die HSK im Juni 2005 verschärfte Erdbebengefährdungsannahmen als Eingabe in die PSA festgelegt. Die von der HSK neu vorgegebenen Erdbebengefährdungskurven entsprechen den PEGASOS-Gefährdungskurven mit um 20% reduzierten Bodenbeschleunigungen. Die Reduktion um 20% erachtet die HSK als angemessen. Es ist zu erwarten, dass die KKW-Betreiber zumindest einen Teil der im Rahmen der PEGASOS-Reviewarbeiten identifizierten Verfeinerungsmöglichkeiten umsetzen lassen werden, und dass dadurch die grosse Unsicherheit in den PEGASOS-Resultaten abnehmen und damit auch der Mittelwert der Gefährdung sinken wird. Ferner spielte bei der Festlegung der Reduktion um 20% eine wichtige Rolle, dass die PEGASOS-Studie im internationalen Vergleich Pioniercharakter hatte und sowohl die Studie selbst als auch der in der Studie ausgewiesene Anstieg der berechneten Erdbebengefährdung in der Fachwelt noch diskutiert wurden. Die von der HSK festgelegte Verschärfung der Erdbebengefährdungsannahmen bedeutete z.B. für das KKW Leibstadt, dass die bei einer jährlichen Überschreitungshäufigkeit von 1/10'000 anzunehmende Bodenbeschleunigung von bisher 0.21 g auf neu 0.31 g anstieg (Fundamentniveau Reaktorgebäude, Horizontalkomponente PGA, Mittelwert).

Die HSK hat die KKW-Betreiber aufgefordert, Risikoabschätzungen durchzuführen, um den Einfluss der neuen Erdbebengefährdungskurven auf das Gesamtrisiko der Anlagen auszuweisen. In Kombination mit den restlichen Teilen der heute vorliegenden Erdbeben-PSA-Modelle führt die Berücksichtigung dieser fortschrittlichen Erdbebengefährdungsannahmen erwartungsgemäss dazu, dass der seismische Anteil am Risiko der Schweizer KKW im Vergleich zu früheren Studien zunimmt. Um das seismische Risiko realistisch bewerten zu können, ist es jedoch unerlässlich, auch die Erdbebenfestigkeit der Komponenten und Bauwerke nach fortschrittlichsten probabilistischen Methoden zu bestimmen. Sowohl bei den Schweizer KKW als auch in der internationalen Fachwelt wurden dazu umfangreiche Arbeiten initiiert.

Die HSK achtet darauf, dass die Schweizer KKW im Rahmen der Nachrüstung auch bezüglich Erdbebensicherheit stetig weiter verbessert werden. Die Betreiber der Schweizer KKW haben bereits in den zurückliegenden Jahren umfangreiche Erdbebenertüchtigungsmassnahmen in ihren Anlagen realisiert. Im Zusammenhang mit der Umsetzung der aus PEGASOS gewonnenen Kenntnisse hat die HSK die Betreiber der Schweizer KKW aufgefordert, die Möglichkeiten und den Nutzen von weiteren risikomindernden seismischen Ertüchtigungen komponentenspezifisch zu untersuchen.

Zurzeit ist die HSK daran, neue Bemessungsgrundlagen für wesentliche Änderungen an bestehenden KKW und für neue KKW festzulegen. Diese Bemessungsgrundlagen sollen sich an den PEGASOS-Resultaten orientieren.

² Fachgruppe Kernenergie der schweizerischen Stromverbundunternehmen

4 Fazit

Mit dem Projekt PEGASOS hat die Schweiz Neuland betreten. PEGASOS ist die erste und bisher einzige Studie dieser Art in Europa. Die aufwändige und umfangreiche Studie ist den Experten und weiteren interessierten Kreisen bekannt. Der breiten Öffentlichkeit ist PEGASOS bisher lediglich in beschränktem Umfang – z.B. mit Pressemitteilungen und mit Beiträgen in den Aufsichtsberichten der HSK – vorgestellt worden, da die Studie innerhalb der Expertenwelt noch diskutiert wird. Eine Herausforderung stellt dabei die grosse Bandbreite der Ergebnisse dar, die nicht zuletzt darauf zurückzuführen ist, dass für starke Erdbeben in unseren Regionen kaum Erfahrungswerte vorliegen.

Die Analyse der Erdbebengefährdung ist grundsätzlich ein stetiger Prozess, in den immer wieder neue Erkenntnisse einfließen. Basierend auf den internationalen Erfahrungen mit neuen Erdbebengefährdungsstudien (USA, IAEA) ist davon auszugehen, dass die Fachdiskussionen und Umsetzungsarbeiten zu PEGASOS noch einige Zeit in Anspruch nehmen werden. Die KKW-Betreiber und die HSK prüfen jedoch regelmässig, wie die vorliegenden Ergebnisse in die heutige Ingenieurpraxis Eingang finden können. Parallel zu den fortwährenden Untersuchungen der Erdbebengefährdung achtet die HSK darauf, dass die Schweizer KKW im Rahmen der Nachrüstung auch bezüglich Erdbebensicherheit weiter verbessert werden.

Abkürzungen

AIEA	Agence internationale de l'énergie atomique
EPRI	Electric Power Research Institute
ETH	Eidgenössische Technische Hochschule
HSK	Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen
IAEA	International Atomic Energy Agency
KKW	Kernkraftwerk
NRC	Nuclear Regulatory Commission
OCDE	Organisation de coopération et de développement économiques
OECD	Organisation for Economic Cooperation and Development
PEGASOS	Probabilistische Erdbebengefährdungsanalyse für die KKW-Standorte in der Schweiz
PGA	Peak Ground Acceleration
PSA	Probabilistische Sicherheitsanalyse
SSHAC	Senior Seismic Hazard Analysis Committee
TFI	Technical Facilitator / Integrator
UHS	Uniform Hazard Spectra
USA	United States of America

Referenzen

- [1] SSHAC (Senior Seismic Hazard Analysis Committee); "Recommendations for Probabilistic Seismic Hazard Analysis: Guidance on Uncertainty and Use of Experts," U.S. Nuclear Regulatory Commission, NUREG/CR-6372, April 1997.
- [2] Unterausschuss Kernenergie der Ueberlandwerke UAK; „Projektplan Probabilistische Erdbeben-Gefährdungs-Analyse für die KKW-Standorte in der Schweiz (PEGASOS), 20.9.2000.
- [3] Nagra; "Probabilistic Seismic Hazard Analysis for Swiss Nuclear Power Plant Sites (PEGASOS Project)", Final Report, July 2004.
- [4] Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen; "HSK-RT Final Report: Review Approach and Comment on "Probabilistic Seismic Hazard Analysis for Swiss Nuclear Power Plant Sites (PEGASOS Project) – Final Report", HSK-AN-5364, December 3, 2004.

HSK-AN-6252

Herausgeber Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK) CH-5232 Villigen-HSK
Telefon +41(0)56 310 38 11 Telefax +41(0)56 310 39 95 und +41(0)56 310 39 07

Zu beziehen bei Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK) Informationsdienst CH-5232 Villigen-HSK
oder per E-Mail Infodienst@hsk.ch
Abrufbar unter www.hsk.ch