

RSK - STELLUNGNAHME

KTA-Regel 2201.1: „Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische Einwirkungen; Teil 1: Grundsätze“; Fassung 6/90 - Empfehlungen für die Überarbeitung der Regel

vom 27.05.2004

1 Beratungsauftrag

Das BMU hat mit Schreiben vom 08.11.2002 [U 1] die RSK gebeten, in einer Stellungnahme den Überarbeitungsbedarf für die KTA-Regel 2201.1, Teil 1, festzulegen und Empfehlungen für Inhalte einer Neufassung der Regel zu geben.

2 Sicherheitstechnischer Hintergrund und Bewertungsmaßstäbe

Die Auslegung von Kernkraftwerken (und üblicherweise auch anderen kerntechnischen Anlagen) gegen Erdbeben erfolgt unter Zugrundelegung des KTA-Regelwerks 2201 [R 1] „Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische Einwirkungen“. Die Grundsätze der Erdbebenauslegung, wie die Festlegung des Bemessungserdbebens, die Klassifizierung der Anlagenteile oder die Auslegungsanforderungen sind in der KTA-Regel 2201.1, Fassung 6/90 festgelegt. Das KTA-Regelwerk 2201 wird außerdem zum Nachweis der Erdbebensicherheit bestehender Anlagen herangezogen. Im Rahmen der Beratungen der Arbeitsgruppe SEISMOLOGIE¹ zur Neufestlegung des Bemessungserdbebens am Standort Biblis [U 2] wurde offenkundig, dass der fortschreitende Erkenntnisstand auf den Gebieten der Seismologie und des Erdbebeningenieurwesens (u. a. zur Probabilistik, zur Wahl der Bemessungsantwortspektren und der Fraktilen etc.) eine Anpassung der Regel an den aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik erfordert. Im Auftrag des BMU werden in dieser Stellungnahme der Überarbeitungsbedarf für die KTA-Regel 2201.1 festgestellt und Empfehlungen für Inhalte einer Neufassung der Regel gegeben.

Die Beratungen zu dem Auftrag des BMU erfolgten in der Arbeitsgruppe SEISMOLOGIE des RSK-Ausschusses ANLAGEN- UND SYSTEMTECHNIK. Die Bewertungen und Empfehlungen der Arbeitsgruppe gründen auf dem von den Mitgliedern der Arbeitsgruppe in Forschung, Lehre und Praxis erworbenen Wissen auf den Gebieten der Seismologie und des Erdbebeningenieurwesens sowie auf dem in der einschlägigen Literatur veröffentlichten Stand von Wissenschaft und Technik. Insbesondere wurde auch der internationale Stand der Erdbebenregeln hinzugezogen.

¹ Mitglieder der Arbeitsgruppe: Dr. Brüstle, Dipl.-Ing. Gerding, Dipl. Phys. Hahn, Prof. Hinzen, Dr. Kaiser, Dr. Leydecker, Prof. Scherbaum, Dr. Schwarz, Dr. Waas, Dr. Zinn

3 Vorgehensweise

Die Arbeitsgruppe SEISMOLOGIE des RSK-Ausschusses ANLAGEN- UND SYSTEMTECHNIK hat sich in ihrer

- 12. Sitzung am 26.03.2003,
- 13. Sitzung am 04.06.2003,
- 14. Sitzung am 26.09.2003,
- 15. Sitzung am 04.11.2003,
- 16. Sitzung am 25.11.2003 und
- 17. Sitzung am 02.03.2004 (Redaktionssitzung)

mit folgenden Themen zur KTA-Regel 2201.1 befasst:

- Anwendungsbereich der Regel,
- Begriffsdefinitionen,
- Festlegung des Bemessungserdbebens,
- Berücksichtigung der Erdbeben­­tätigkeit einschließlich Paläoseismologie,
- Deterministische Erdbeben­­gefährdungsanalyse,
- Probabilistische Erdbeben­­gefährdungsanalyse,
- Ingenieurseismologische Kenngrößen,
- Klassifizierung, Schutzziele und
- Auslegung, Berechnungen.

Als bisheriger Sachverhalt wird im Folgenden der Regeltext oder der Regelinhalt der derzeit gültigen KTA-Regel 2201.1, Fassung 06/90 wiedergegeben². Daran anschließend folgen die Bewertung des Sachverhalts und diesbezügliche Empfehlungen für eine Neufassung der KTA-Regel 2201.1.

Die Stellungnahme wurde auf der 371. und 372. RSK-Sitzung am 29.04.2004 bzw. am 27.05.2004 diskutiert und verabschiedet.

4 Empfehlungen für eine Neufassung der KTA-Regel 2201.1, Teil 1

4.1 Titel

Bisheriger Sachverhalt

Der Titel der KTA-Regel 2201.1 lautet: „*Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische Einwirkungen; Teil 1: Grundsätze*“.

Bewertung/Empfehlung

² Zitate aus der KTA-Regel 2201, Teil 1, sind durch Kursivdruck hervorgehoben.

Die KTA-Regel 2201.1 wird auch zum Nachweis der Erdbebensicherheit bestehender Anlagen herangezogen und außerdem nicht nur auf Kernkraftwerke angewandt. Der Titel der KTA-Regel 2201.1 sollte deshalb in „Erdbebensicherheit kerntechnischer Anlagen; Teil 1: Grundsätze“ geändert werden.

4.2 Anwendungsbereich

Bisheriger Sachverhalt

Die Regel ist auf Kernkraftwerke anzuwenden. Darüber hinaus erfolgt aber ein Hinweis, dass die Regel ... sinngemäß auch der Auslegung aller übrigen kerntechnischen Anlagen zu Grunde gelegt werden kann.

Bewertung/Empfehlung

Die KTA-Regel 2201.1 wird in der Praxis der Genehmigungsverfahren und der Begutachtung nicht nur bei Kernkraftwerken sondern auch bei anderen kerntechnischen Anlagen wie z. B. Zwischenlager, Endlager, Brennelementfabriken, zu Grunde gelegt. Die Anwendung bezieht sich insbesondere auf die Festlegung des Bemessungserdbebens. Bei der Klassifizierung der zu schützenden Anlagenteile und der Benennung der zu berücksichtigenden Lasten kommen bei anderen kerntechnischen Anlagen anlagentypspezifische Besonderheiten zum Tragen. Dies gilt teilweise auch für die Anforderungen an die Auslegung und die Nachweisverfahren.

Es wird daher empfohlen, die KTA-Regel 2201.1 grundsätzlich auf die kerntechnischen Anlagen im Sinne der Definition „Kernanlage“ nach Anlage 1 des AtG und auf die Anlagen und Einrichtungen, für die die RSK-Sicherheitsanforderungen [U 3] gelten, anzuwenden.

Bei der Anwendung dieser Regel sind die unterschiedlichen Gefährdungspotenziale und anlagenspezifischen Besonderheiten von Kernkraftwerken und anderen kerntechnischen Anlagen zu berücksichtigen.

Die Einschätzung der Gefährdungspotenziale anderer kerntechnischer Anlagen als Kernkraftwerke und die sich daraus begründende Art der Erdbebenauslegung kann z. B. analog zur RSK-Empfehlung [U 3] Kap. 2.7.1 getroffen werden. Die KTA 2201.1 sollte bei Endlagern für radioaktive Abfälle nur für den obertägigen Anlagenteil angewendet werden.

4.3 Begriffe

Bisheriger Sachverhalt

In der derzeitigen Fassung der KTA-Regel 2201.1 werden bis auf wenige Ausnahmen (Intensität, Maximalbeschleunigungen) keine kerntechnischen, bautechnischen und (ingenieur-) seismologischen Begriffe definiert.

Bewertung/Empfehlung

In eine Neufassung der KTA-Regel 2201.1 sollten Definitionen wichtiger Fachbegriffe gemäß den nachfolgenden Vorschlägen aufgenommen werden.

Anlagenteile: Unter dem Begriff „Anlagenteile“ werden elektro- und maschinentechnische Einrichtungen verstanden, die in die Gebäude eingefügt sind.

Antwortspektrum (response spectrum): Darstellung der maximalen Amplituden der Schwingungen von gedämpften Einmassenschwingern (Beschleunigungen, Geschwindigkeiten, Verschiebungen) unterschiedlicher Eigenfrequenz als Antwort auf eine Anregung am Fußpunkt, aufgetragen gegen die Eigenfrequenzen oder -perioden der Schwinger. Die Anregung wird durch ein *Seismogramm* beschrieben; dieses bezieht sich üblicherweise auf das Freifeld. Wenn nicht anders angegeben, ist das Antwortspektrum der Beschleunigung gemeint (spektrale Beschleunigungen). Als Antwortspektrum wird hier das Antwortspektrum eines elastischen Schwingers verstanden, das keine Effekte duktiler Verformung enthält.

Bauliche Anlagen: Entsprechend den Definitionen in den Landesbauordnungen sind „Bauliche Anlagen“ (auch „Bauwerke“) mit dem Erdboden verbundene, aus Bauprodukten (Baustoffe und Bauteile) hergestellte Anlagen. Für eine „Bauliche Anlage“ kann der Nachweis der Erdbebensicherheit sowohl im Ganzen als auch in Teilen („Bauteile“) erforderlich werden.

Bemessungserdbeben (design earthquake): Das für die Auslegung einer kerntechnischen Anlage gegen seismische Einwirkungen maßgebende Erdbeben. Auf der Grundlage des Bemessungserdbebens werden die *ingenieurseismologischen Kenngrößen* festgelegt. Unter Bemessungserdbeben können auch mehrere maßgebliche Beben bzw. die für die Auslegung maßgeblichen Bodenbewegungen am Standort der Anlage verstanden werden.

Bemessungsspektrum (design spectrum): Antwortspektrum, das der Erdbebenauslegung für das Bemessungserdbeben zu Grunde gelegt wird.

Deaggregation: Innerhalb der PSHA vorzunehmende Bestimmung der Anteile, mit denen Erdbeben diskreter Magnituden- und Entfernungsintervalle zur Gesamtgefährdung eines Standortes beitragen.

Deterministische seismische Gefährdungsanalyse (Deterministic Seismic Hazard Analysis, DSHA): Bestimmung des *Bemessungserdbebens* mit deterministischen Verfahren. Eine *Überschreitenswahrscheinlichkeit* kann damit nicht angegeben werden.

Epizentralintensität: *Intensität* des Erdbebens im *Epizentrum*.

Epizentrum: Projektion des Ortes des Bruchbeginns (*Hypozentrum*) eines Erdbebens auf die Erdoberfläche, Angabe durch geographische Koordinaten.

Freifeld: Geländeoberfläche, deren Schwingungseigenschaften nicht durch Bauwerke beeinflusst wird.

Größte seismische Einwirkung: Hierunter wird diejenige *seismische Einwirkung* verstanden, die im für die auszulegenden Bau- und Anlagenteile relevanten Frequenzbereich (etwa 0,2 Hz bis 25 Hz) die größten spektralen Beschleunigungswerte enthält.

Herdtiefe: Tiefe des *Hypozentrums* eines Erdbebens unter der Erdoberfläche.

Hypozentrum: Punkt auf der Bruchfläche eines Erdbebens, an dem der Bruchprozess beginnt. Beschrieben durch die geographischen Koordinaten des *Epizentrums* und die *Herdtiefe*.

Ingenieurseismologische Kenngrößen: Aus dem *Bemessungserdbeben* abgeleitete Parameter: *Antwortspektrum*, *Starkbewegungsdauer* und weitere Parameter der Bodenbewegungen am Standort.

Intensität oder makroseismische Intensität: Beschreibt das örtliche Ausmaß der Einwirkung seismischer Wellen und Dislokationen an der Erdoberfläche auf Menschen, Objekte, Bauwerke und Landschaft. Die Klassifikation der Stärke der Einwirkung erfolgt qualitativ aufgrund von sichtbaren und fühlbaren Auswirkungen in einem begrenzten Gebiet. Zur Klassifizierung wird bisher in Deutschland die 12-gradige Skala MSK 1964 (MEDVEDEV - SPONHEUER - KARNIK) verwendet. Neu eingeführt wurde die EM-Skala 1998 (European Macroseismic Scale = EMS). Die verwendete Skala ist bei der Angabe von Intensitäten stets zu nennen.

Magnitude: C. F. RICHTER führte 1935 den Begriff der Magnitude (M) ein. Sie ist ein instrumentell bestimmtes Maß für die Stärke eines Erdbebens. Die von RICHTER vorgeschlagene Magnitudenbestimmung wird auch heute noch unter der Bezeichnung „Lokalmagnitude“ verwendet. Wie alle später aufgestellten Magnitudenskalen (Raumwellenmagnitude, Oberflächenwellenmagnitude, Momentenmagnitude) handelt es sich um eine logarithmische Skala.

Magnituden- bzw. Intensitäts-Häufigkeit (magnitude/intensity - frequency relation): Die auf ein Jahr bezogene mittlere Anzahl von Erdbeben für ein bestimmtes Magnituden- bzw. Intensitäts-Intervall. Eine Häufigkeitsbeziehung wird jeweils für eine *seismische Quelle* aufgestellt. Empfohlen wird die Darstellung in Form von normalen und kumulativen Magnituden- bzw. Intensitätshäufigkeitskurven.

Maximalbeschleunigung (peak ground acceleration – PGA): Maximaler Amplitudenwert der horizontalen bzw. vertikalen Beschleunigungskomponenten des Erdbebenzeitverlaufs (*Seismogramm*). Entspricht der Starrkörperbeschleunigung des *Freifeld*-Antwortspektrums („Einhängewert“).

Paläoseismologie: Untersuchung prähistorischer Erdbeben mit Methoden der Geologie und Geophysik im Hinblick auf Ort, Stärke und Alter der Beben.

Probabilistische Seismische Gefährdungsanalyse (probabilistic seismic hazard analysis, PSHA): Berechnung von *Überschreitenswahrscheinlichkeiten* pro Jahr zum Beispiel von Intensitäten und spektralen Beschleunigungswerten und deren Unsicherheiten mit wahrscheinlichkeitstheoretischen Modellen.

Seismische Einwirkungen: Einwirkungen seismischer Wellen am Standort in Folge eines Erdbebens. Die seismischen Einwirkungen werden im Allgemeinen durch das *Antwortspektrum*, die zugehörige *Starkbewegungsdauer* und die *Intensität* beschrieben.

Seismische Quelle (seismic source): Gebiet (Volumen, Fläche oder Linie) mit näherungsweise homogener Seismizität. Eine seismische Quelle wird beschrieben durch relevante seismologische Parameter (Art, Geometrie und räumliche Verteilung von Erdbeben, Häufigkeiten von Erdbeben verschiedener Stärke, Bruchtypen und Abstrahlcharakteristiken, Bruchflächen, maximale Magnituden, u. a.) sowie durch ein statistisches Modell für die zeitliche Verteilung zukünftiger Beben.

Seismizität: Erdbebentätigkeit im weitesten Sinne.

Seismogramm: Aufzeichnung der translatorischen Bodenbewegung (proportional zu Verschiebung, Geschwindigkeit oder Beschleunigung) an einem Ort beim Durchgang einer seismischen Welle. Auch als Registrierung oder Zeitverlauf bezeichnet. Meistens in drei orthogonalen Komponenten aufgezeichnet, davon zwei in horizontaler Richtung.

Seismotektonische Einheit (auch Seismotektonische Region): Gebiet in dem Gleichartigkeit hinsichtlich der *Seismizität*, der geologischen Struktur und Entwicklung und der tektonischen, insbesondere der neotektonischen Verhältnisse angenommen wird. Eine seismotektonische Einheit kann auch eine *seismische Quelle* sein.

Starkbewegungsdauer (auch Dauer der Starkbewegungsphase): Die Starkbewegungsdauer wird definiert über die Zeitdauer, in der ein bestimmter Prozentsatz der kumulativen seismischen Wellenenergie an einem Standort erreicht wird (z. B. das 70%-Kriterium, bei dem die Wellenenergie von 5 % auf 75 % der Gesamtenergie ansteigt).

Strong-Motion-Seismogramm: *Seismogramm* starker seismischer Bodenbewegungen (meist Beschleunigungsseismogramm), welche aufgrund ihrer Amplituden, ihrem Frequenzgehalt und ihrer Dauer möglicherweise Schäden an Bauwerken und technischen Anlagen verursachen können.

Tektonik: Lehre vom Bau der Erdkruste und den Bewegungen und Kräften, die ihn erzeugt haben. Tektonische Strukturen sind Lineamente, Störungen, Verwerfungen, Gräben, etc. Neotektonik ist die Tektonik des Quartärs und jüngsten Tertiärs.

Überschreitenswahrscheinlichkeit (probability of exceedance): Wahrscheinlichkeit, mit der an einem Standort innerhalb eines vorgegebenen Zeitraumes (üblicherweise 1 Jahr) eine bestimmte seismische Bodenbewegung (*Maximalbeschleunigung*, Spektralwerte der Beschleunigung, o. a.) oder *Intensität* erreicht oder überschritten wird. Der Kehrwert der jährlichen Überschreitenswahrscheinlichkeit wird auch als mittlere Wiederkehrperiode (return period) bezeichnet.

Unsicherheiten: Es gibt zwei Arten von Unsicherheiten: epistemische und aleatorische Unsicherheiten. Bei den epistemischen Unsicherheiten handelt es sich um Unsicherheiten aufgrund unvollständiger wissenschaftlicher Kenntnis, die durch neue Informationen reduziert werden können. Die aleatorischen Unsicherheiten stammen aus der Zufälligkeit des Prozesses selbst und lassen sich nicht weiter reduzieren.

4.4 Allgemeine Anforderungen an die Festlegung des Bemessungserdbebens

Bisheriger Sachverhalt

Der bisherige Text der KTA 2201.1 lautet:

(1) Als Bemessungserdbeben ist das Erdbeben mit der für den Standort größten Intensität anzunehmen, das unter Berücksichtigung einer größeren Umgebung des Standortes (bis etwa 200 km vom Standort) nach wissenschaftlichen Erkenntnissen auftreten kann.

H i n w e i s :

Die "Intensität" eines Erdbebens ist ein Maß für seine Auswirkungen auf den Menschen, auf Bauwerke und auf die Erdoberfläche. Unter Intensität versteht man in dieser Regel den numerischen Wert auf der MEDVEDEV-SPONHEUER-KARNIK-Skala (MSK 1964).

(2) Die Festsetzung des Bemessungserdbebens ist mit Angaben über zu erwartende Maximalbeschleunigungen, Dauer der Erschütterungen, Antwortspektren u. a. aufgrund von seismologischen Gutachten unter Berücksichtigung der lokalen geologischen Verhältnisse vorzunehmen.

Die derzeitige Vorgehensweise wird in der KTA 2201.1 zwar nicht explizit deterministisch genannt, gleichwohl ist sie de facto deterministisch angelegt.

Da zur probabilistischen Vorgehensweise bei der Festlegung des Bemessungserdbebens in der KTA 2201.1, Fassung 06/90 keine Regelungen enthalten sind und auch die mit den Grundsätzen verfolgte Vorgehensweise nicht explizit als deterministische Vorgehensweise bezeichnet wird, fehlen demzufolge auch Regelungen zur Festlegung des Bemessungserdbebens nach erfolgter deterministischer und probabilistischer Analyse. Ebenso fehlen Regelungen zur Überschreitenswahrscheinlichkeit sowie zur Wahl der Fraktile (50 % bzw. 84 %) des Bemessungsspektrums.

In der Praxis wird häufig eine im Rahmen des Forschungsvorhabens [L 1] bereits 1986 beschriebene Vorgehensweise angewandt, die Überschreitenswahrscheinlichkeit $10^{-5}/a$ mit den 50%-Fraktile-Spektren zu verknüpfen.

Bewertung/Empfehlung

Die RSK schlägt vor, den übergeordneten Text zur Definition des Bemessungserdbebens zu ändern, weil die Festlegung von Einwirkungsgrößen ohne Bezug zu Überschreitenswahrscheinlichkeiten nicht aufrecht erhalten werden kann, und stattdessen die folgende Formulierung zu wählen:

(1) Die Festlegung des Bemessungserdbebens und der zugehörigen Einwirkungen muss auf der Grundlage der Ergebnisse deterministischer **und** probabilistischer Analysen erfolgen. Für die deterministische Bestimmung des Bemessungserdbebens ist ein Erdbeben mit der für den Standort größten seismischen Einwirkung anzunehmen, das unter Berücksichtigung der Umgebung des Standortes bis mindestens 200 km Entfernung nach wissenschaftlichen Erkenntnissen auftreten kann. Bei der probabilistischen Bestimmung des Bemessungserdbebens ist die Überschreitenswahrscheinlichkeit im Bereich 10^{-4} bis 10^{-5} pro Jahr zu Grunde zu legen.

(2) Die Ergebnisse der probabilistischen und der deterministischen Vorgehensweise sind zu vergleichen, Unterschiede sind zu erklären. Die Festlegung des Bemessungserdbebens erfolgt unter Berücksichtigung der

Belastbarkeit der Ergebnisse der deterministischen und probabilistischen Analysen, wobei im Zweifel die größeren seismischen Einwirkungen als Bemessungsgrößen anzugeben sind. Die Festlegung der maßgeblichen Kenngrößen ist zu begründen.

(3) Entscheidungen über die Unsicherheitsfraktilen der spektralen Bodenbewegungsgrößen sind zu begründen. Der Fraktilwert des Bemessungsspektrums darf mit 50 % angenommen werden, wenn die Überschreitenswahrscheinlichkeit des Bemessungserdbebens zu $10^{-5}/a$ gezeigt wird; der Fraktilwert ist mit 84 % anzunehmen, wenn von einer Überschreitenswahrscheinlichkeit von $10^{-4}/a$ ausgegangen wird.

(4) Für das Bemessungserdbeben sind im Rahmen der seismologischen Begutachtung die Standortintensität, die Starkbewegungsdauer und standortspezifische Antwortspektren anzugeben. Dabei sind auch die lokalen und regionalen geologischen und tektonischen Gegebenheiten zu berücksichtigen.

(5) Auch in Gebieten geringer Seismizität muss das Bemessungserdbeben für kerntechnische Anlagen, die aufgrund ihres Gefährdungspotenzials gegen Erdbeben auszulegen sind (vgl. 4.2) so festgelegt werden, dass die seismischen Einwirkungen mindestens der Intensität VI MSK/EMS entsprechen.

(6) Seismologische Gutachten müssen nachvollziehbar und nachprüfbar sein. Die verwendeten Daten sind, soweit nicht allgemein zugänglich, vollständig und in geeigneter Form dem Gutachten beizufügen.

4.5 Berücksichtigung der Erdbebentätigkeit

Bisheriger Sachverhalt

Bei der Festlegung des Bemessungserdbebens ist ... *von folgenden Grundsätzen auszugehen:*

3a) Alle historisch berichteten Erdbeben, die den Standort betreffen haben oder von denen anzunehmen ist, dass sie ihn betreffen haben, sind abgestuft nach Häufigkeit und Stärke anzugeben.

Die Paläoseismologie ist in der KTA-Regel 2201.1, Fassung 06/90 nicht erwähnt.

Bewertung/Empfehlung

Die RSK schlägt vor, den Text zur Berücksichtigung der bisherigen Erdbebentätigkeit zu ändern und stattdessen die folgende Formulierung zu wählen:

Alle für die seismische Gefährdung am Standort relevanten Erdbeben sind bei der Festlegung des Bemessungserdbebens zu berücksichtigen. Die Erdbeben mit der für den Standort größten Einwirkung müssen besonders überprüft werden. In Zweifelsfällen kann es notwendig sein, historische Quellen zu Erdbeben neu zu bewerten und/oder paläoseismologische Untersuchungen durchzuführen.

Die Bewertung historischer Erdbeben sollte in folgenden Schritten geschehen:

- Erfassen und Aufbereiten der historischen Quellen (ggf. Untersuchung von noch vorhandenen Schäden an Gebäuden)

Die erfassten und aufbereiteten Quelltexte sind vollständig zu dokumentieren.

- Kritik der historischen Quellen

Die Quellenkritik hat das Ziel, die Genauigkeit und Verlässlichkeit historischer Informationen geschichtswissenschaftlich zu beurteilen.

- Seismologische Interpretation der historischen Quellen

Die historischen Beschreibungen sind in Intensitätswerte umzusetzen, der Unsicherheitsbereich für jeden Intensitätspunkt ist anzugeben. Aus der Verteilung der Intensitäten können weitere Herdparameter des Erdbebens (z. B. Epizentralintensität, Herdkoordinaten, Herdtiefe, Magnitude) abgeschätzt werden.

Die Paläoseismologie untersucht prähistorische Erdbeben besonders im Hinblick auf deren Ort, Stärke und Alter. Durch die Charakterisierung und Datierung starker prähistorischer Erdbeben kann der historische und instrumentelle Erdbebenkatalog ergänzt werden. Publierte paläoseismologische Daten sind bei der standortspezifischen Gefährdungsanalyse zu berücksichtigen. Falls die Seismizität des Standortes nicht mit anderen Verfahren ausreichend beurteilt werden kann und es aussichtsreich erscheint, ist der Standort paläoseismologisch zu untersuchen. Dies kann wie folgt geschehen:

- Geologische Interpretation von Luftbildern und anderen Fernerkundungsdaten im Hinblick auf die Identifikation von anstehendem Gestein, Verwerfungen und anderen tektonischen Lineamenten, Bodenbeschaffenheit und Spuren von Hangrutschungen oder Bodenverflüssigung.
- Kartierung der topographischen, geologischen, geomorphologischen und hydrologischen Merkmale in geeigneten Maßstäben und Konturintervallen für die stratigraphische Analyse, die Suche nach tektonischen Oberflächenstrukturen wie Verwerfungszonen und quartären geomorphologischen Merkmalen.
- Identifikation und Bewertung von vertikalen Bewegungen der Erdkruste durch geodätische Messungen und geologische Analyse.
- Analyse von anormalen Landschaftsformen, wie verschobene Profile von Wasserläufen, plötzliche Änderungen in fluviatilen Ablagerungen oder an Terrassen.
- Analyse von quartären Sedimentablagerungen in oder nahe von tektonischen Verwerfungszonen.
- Identifikation und Analyse von erschütterungsbedingten Deformationsmerkmalen einschließlich seismisch induzierter Bodenverflüssigungsmerkmale.
- Analyse von Verschiebungen an Verwerfungen einschließlich der Anwendung von geeigneten Datierungsmethoden.
- Bewertung im Hinblick auf koseismische und nichtseismische Bewegungen.

4.6 Deterministische Bestimmung des Bemessungserdbebens

Bisheriger Sachverhalt

Die derzeitige Vorgehensweise wird in der KTA 2201.1 zwar nicht explizit deterministisch genannt, gleichwohl ist sie de facto deterministisch angelegt:

3d) Wenn sich Epizentren oder Bereiche höchster Intensität von Erdbeben in der gleichen tektonischen Einheit wie der des Standorts befinden, ist bei der Ermittlung der Beschleunigung am Standort anzunehmen, dass diese Erdbeben in der Nähe des Standorts eintreten.

3e) Wenn sich Epizentren oder Bereiche höchster Intensität von Erdbeben in einer anderen tektonischen Einheit als der Standort befinden, sind die Beschleunigungen am Standort unter der Annahme zu ermitteln, dass die Epizentren oder Bereiche höchster Intensität dieser Erdbeben an dem dem Standort nächstgelegenen Punkt auf der Grenze der tektonischen Einheit liegen, in der sie auftreten.

Bewertung/Empfehlung

Die RSK schlägt vor, den Text zur Bestimmung des Bemessungserdbebens zu ändern und stattdessen die folgende Formulierung zu wählen:

Das Bemessungserdbeben sollte deterministisch wie folgt bestimmt werden, wobei die verwendeten seismotektonischen Einheiten anzugeben sind:

Befindet sich das Epizentrum eines maßgebenden Erdbebens in der gleichen seismotektonischen Einheit wie der Standort, so ist bei der Ermittlung der seismischen Einwirkung anzunehmen, dass ein gleichartiges Erdbeben unter dem Standort eintritt.

Befindet sich das Epizentrum eines maßgebenden Erdbebens in einer anderen seismotektonischen Einheit als der Standort, so ist die seismische Einwirkung am Standort unter der Annahme zu ermitteln, dass das Epizentrum eines gleichartigen Erdbebens an dem standortnächsten Punkt auf der Grenze der seismotektonischen Einheit liegt, in der es auftritt.

Bei der Festlegung des Bemessungserdbebens sind die Unsicherheiten in den Annahmen zu berücksichtigen und ihre Auswirkungen auf die Größe des Bemessungserdbebens darzustellen. Bei der endgültigen Festlegung der Stärke des Bemessungserdbebens ist im Regelfall ein Zuschlag zu berücksichtigen, der zum Beispiel die Unvollständigkeit und die zeitliche Begrenztheit des zu Grunde liegenden Erdbebenkatalogs erfasst.

Wenn mehr als ein Beben zur Festlegung der seismischen Einwirkungen herangezogen werden, ist sinngemäß zu verfahren.

4.7 Probabilistische Bestimmung des Bemessungserdbebens

Bisheriger Sachverhalt

Zur probabilistischen Vorgehensweise bei der Festlegung des Bemessungserdbebens enthält die KTA-Regel 2201.1, Fassung 06/90 keine Regelungen.

Bewertung/Empfehlung

Neben der deterministischen Festlegung des Bemessungserdbebens (DSHA) und angepasst an die sicherheitstechnische Bedeutung der zu betrachtenden Anlage ist eine probabilistische Festlegung vorzunehmen, sofern die Ableitung eines Aktivitätsmodells für die relevanten seismischen Quellen möglich ist. Dazu ist eine probabilistische seismische Gefährdungsanalyse (*Probabilistic Seismic Hazard Analysis*, PSHA) durchzuführen.

Ziele der PSHA

Die PSHA ermittelt mögliche Erdbeben-Bodenbewegungen am Standort in einer wahrscheinlichkeitsorientierten Form. Alle bekannten seismologischen, geophysikalischen und geologischen Informationen werden dabei in geeigneter Weise verwendet. Bestimmt werden die jährlichen Überschreitenswahrscheinlichkeiten der seismischen Einwirkungen am Standort sowie die Unsicherheiten dieser Angaben.

Nachfolgend werden Vorgehen, Elemente und Ergebnisse einer vollständigen PSHA in Anlehnung an [R 3] beschrieben, wie sie dem aktuellen Stand der Wissenschaft entsprechen. Zur Klarstellung werden die im SSHAC-Report [R 3] genannten englischen Begriffe aufgeführt. Sie sollten nach Überarbeitung der KTA-Regel wieder entfallen.

Die RSK vertritt die Auffassung, dass eine probabilistische seismische Gefährdungsanalyse generell in einer Neufassung der KTA 2201.1 gefordert werden muss. Die Übertragung einer dem internationalen Stand von Wissenschaft und Technik entsprechenden Gefährdungsanalyse auf deutsche Verhältnisse, z. B. nach den Vorgaben des Senior Seismic Hazard Analysis Committees (SSHAC) im Auftrag der U.S. Nuclear Regulatory Commission der USA [R 3, R 4], des PEGASOS-Projektes der Schweiz [L 2] oder der International Atomic Agency in Wien (IAEA) [R 2], erfordert in einigen Teilbereichen noch wissenschaftliche Untersuchungen.

Neben der hier beschriebenen PSHA-Methode existieren auch andere probabilistische Methoden. Deren Anwendbarkeit ist gemäß 4.2 bei der weiteren Regelwerkserstellung festzuschreiben.

Vorgehen der PSHA

- Die PSHA beinhaltet eine explizite und quantitative Berücksichtigung von epistemischen (logic-tree approach) und aleatorischen Unsicherheiten.
- In der PSHA werden die Art und Größe des Einflusses der verwendeten Daten, Modelle und Vorgehensweisen auf das Ergebnis bestimmt (sensitivity, deaggregation).
- Die PSHA berücksichtigt die vorhandene Meinungsvielfalt der wissenschaftlichen Fachwelt in einer angemessenen Form, z. B. durch Auswahl eines Expertengremiums (representation of scientific community). Dabei wird ein spezieller Meinungsbildungs- und Interaktionsprozess der an der Analyse beteiligten Experten eingesetzt (expert interaction, elicitation, feed back). Deren unterschiedliche Bewertungen werden explizit in der Form epistemischer Unsicherheiten berücksichtigt.

Elemente der PSHA

Die Elemente der PSHA umfassen die verwendeten Erdbebenkataloge, die seismischen Quellen mit ihren charakteristischen Kenngrößen, Übertragungsfunktionen im Festgestein (ground motion prediction equation) auf dem Laufweg der seismischen Wellen von der Quelle zum Standort unter Berücksichtigung von Standorteffekten sowie die verwendeten Vorgehensweisen, Berechnungsmethoden und Rechenprogramme.

Die Übertragungsfunktionen der Bodenbewegungen sind als Funktion der Entfernung, aufgeschlüsselt nach Magnituden, Frequenzen und Unsicherheitsfraktile anzugeben. Alle Elemente der PSHA sind in geeigneter Form zu beschreiben und zu dokumentieren.

Ergebnisse der PSHA

Die Ergebnisse der PSHA enthalten Angaben über die mit unterschiedlicher Wahrscheinlichkeit zu erwartenden horizontalen und vertikalen Bodenbewegungen am Standort ohne Wechselwirkung mit Bauwerken (Freifeld) sowie möglichst über zu erwartende Standortintensitäten. Die Bodenbewegung ist in Form der spektralen Beschleunigungswerte mit 5 % der kritischen Dämpfung zu beschreiben:

- im Frequenzbereich von 0,2 Hz bis 25 Hz (soweit möglich),
- für Überschreitenswahrscheinlichkeiten von 10^{-1} /Jahr bis 10^{-5} /Jahr und kleiner (um Unsicherheiten darzustellen) sowie
- für die sechs diskreten Unsicherheitsfraktile: Mittelwert, Median und ± 1 und ± 2 Standardabweichungen.

Die Ergebnisse sind u. a. in den folgenden Formen aufzuschlüsseln:

- Darstellung der jährlichen Überschreitenswahrscheinlichkeit gegen die Amplituden der betrachteten spektralen Beschleunigungen für unterschiedliche Unsicherheitsfraktile, jeweils separiert für diskret spezifizierte Frequenzen (Gesamtgefährdungskurven, total hazard curves) sowie möglichst Darstellung der jährlichen Überschreitenswahrscheinlichkeit gegen die Standortintensität,
- Darstellung der Antwortspektren: Amplitude der spektralen Beschleunigung gegen die Frequenz für unterschiedliche Unsicherheitsfraktile, jeweils separiert für diskret spezifizierte jährliche Überschreitenswahrscheinlichkeiten (einheitliche Gefährdungsspektren, uniform or equal hazard spectra),
- vorstehende Darstellungen in derselben Form, aber separat aufgeschlüsselt für die einflussreichsten seismischen Quellen (hazard by source),
- Darstellung der relativen Beiträge aller Quellen zur Gesamtgefährdung, aufgeteilt z. B. nach Beiträgen in Magnitude-Entfernungs-Intervallpaaren, jeweils für diskret spezifizierte jährliche Überschreitenswahrscheinlichkeiten und Frequenzen und ggf. andere Formen der Aufspaltung (hazard deaggregation).

4.8 Ingenieurseismologische Kenngrößen

Bisheriger Sachverhalt

3b) *Da historische Erdbeben durch verschiedene Parameter, wie z. B. Magnitude, Intensität und Wirkungen auf Boden, Bauwerke und Personen gekennzeichnet worden sind, die sich nicht als Eingabedaten für eine Auslegungsrechnung eignen, sind diese Parameter durch ingenieurseismische Kenndaten zu ersetzen, die durch Verwendung angemessener, dem Stand der Wissenschaft entsprechender Beziehungen gewonnen werden.*

3c) *Horizontale und vertikale Beschleunigungen sind als gleichzeitig wirkend anzunehmen. Die maximale Vertikalbeschleunigung ist mit 50 % der maximalen Horizontalbeschleunigung anzusetzen.*

3f) *Die Kenndaten der Bodenbewegungen sind an der Geländeoberfläche (Freifeld) des Standortes zu ermitteln.*

3g) *Die Maximalbeschleunigung des Bemessungserdbebens ist mit $\max a = 0,5 \text{ m/s}^2$ anzunehmen, auch wenn ein Wert für $\max a$ kleiner als $0,5 \text{ m/s}^2$ ermittelt wurde.*

3h) *Die Maximalbeschleunigung des Bemessungserdbebens ist mit $\max a = 1,0 \text{ m/s}^2$ anzunehmen, wenn ein Wert für $\max a$ zwischen $0,5 \text{ m/s}^2$ und $1,0 \text{ m/s}^2$ ermittelt wurde.*

H i n w e i s :

Unter "Maximalbeschleunigung" versteht man

- *die Starrkörperhorizontalbeschleunigung des Freifeldantwortspektrums (Einhängewert),*
- *den Maximalwert der Resultierenden der Horizontalbeschleunigungskomponenten in der Starkbewegungsphase des Erdbebenzeitverlaufs (Amplitudenwert).*

Bewertung/Empfehlung

Die RSK vertritt die Auffassung, dass die Ziffern 3b) und 3f) nach wie vor dem Stand von Wissenschaft und Technik entsprechen, die Ziffern 3c), 3g) und 3h) aber nicht mehr zeitgemäß sind. Insbesondere sollten die ingenieurseismologischen Kenngrößen des Bemessungserdbeben nicht über die Maximalbeschleunigung, sondern über die seismischen Einwirkungen in Form von Antwortspektren und Starkbewegungsdauern festgelegt werden. Die ingenieurseismologischen Kenngrößen sollten wie folgt festgelegt werden:

Als Antwortspektrum ist das Freifeld-Antwortspektrum für 5 % und ggf. weitere geeignete Werte der kritischen Dämpfung anzugeben; dies gibt die seismischen Einwirkungen des Bemessungserdbebens am Standort als maßgebende ingenieurseismologische Kenngröße wieder. Es ist je ein Antwortspektrum der horizontalen und der vertikalen Komponente anzugeben. Das Spektrum für die resultierende horizontale Antwortschwingung kann abgeschätzt werden; dazu wird das Antwortspektrum für eine (beliebig orientierte) horizontale Komponente mit dem Faktor 1,2 multipliziert.

Die Starkbewegungsdauer für das Bemessungserdbeben ist unter Nennung des Energiekriteriums anzugeben. Es sollte wenn möglich auch eine Fensterfunktion für die Erzeugung synthetischer Seismogramme angegeben werden.

4.9 Klassifizierung der Anlagenteile

Bisheriger Sachverhalt

In der bisherigen Fassung der KTA 2201.1 werden unter Berücksichtigung der Sicherheitsaspekte der Gesamtanlage die Anlagenteile für die Auslegung gegen Erdbeben in zwei Klassen unterteilt:

Klasse I: Anlagenteile,

- *die erforderlich sind, um den Reaktor sicher abzuschalten, im abgeschalteten Zustand zu halten und die Nachwärme abzuführen,*
- *deren Beschädigung oder Versagen einen Schaden mit unzulässiger Freisetzung radioaktiver Stoffe verursachen oder veranlassen können,*
- *die eine unzulässige Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Umgebung verhüten sollen,*

sowie alle diese Anlagenteile stützenden oder verbindenden Tragwerke.

Klasse II: Alle sonstigen Anlagenteile des Kernkraftwerks.

Gemäß einem Hinweis werden ... *unter Anlagenteile ... auch die Bauwerke verstanden.*

Bewertung/Empfehlung

Unter dem Begriff „Anlagenteile“ werden in der Regel maschinen- und elektrotechnische Systeme und Komponenten einer Anlage verstanden, während „Bauliche Anlagen“ entsprechend ihrer Art und Aufgabenstellung eine eigenständige Gruppe bilden. Auch im KTA-Regelwerk 2201 wird mit den KTA-Regeln 2201.3 und KTA 2201.4 zwischen beiden Gruppen unterschieden. In einer Neufassung der KTA-Regel 2201.1 sollten jeweils Anlagenteile und Bauliche Anlagen genannt werden.

Die bisher genannten sicherheitstechnischen Anforderungen bei Erdbeben (Sichere Abschaltung, Nachwärmeabfuhr, keine unzulässige Aktivitätsfreisetzung) beziehen sich primär auf Kernkraftwerke. Sie sollten verallgemeinert und an die moderne Sprachregelung angepasst werden. Als allgemeine sicherheitstechnische Anforderungen an die Erdbebensicherheit kerntechnischer Anlagen sollten genannt werden: Kontrolle der Reaktivität, Kühlung der Brennelemente, Einschluss der radioaktiven Stoffe, Begrenzung der Strahlenexposition.

Die Auslegung gegen Erdbeben erfolgte bei der Errichtung der Anlagen im Allgemeinen in einer mehr oder weniger standardisierten Vorgehensweise, indem ein Gebäude oder ein technisches System zunächst als schutzbedürftig (Klasse I) klassifiziert wurde und seine Auslegung dann durch entsprechende Bemessung oder konstruktive Gestaltung gegen seismische Einwirkungen nachgewiesen wurde. Dabei wurde nicht differenziert, welche sicherheitstechnische Bedeutung das einzelne Bau- oder Anlagenteil beim Störfallablauf infolge Erdbeben hat. Demgegenüber werden im Rahmen der periodischen Sicherheitsüberprüfung (PSÜ) oder von Änderungs-genehmigungsverfahren die Erdbebennachweise der Bau- und Anlagenteile in Bezug auf die erforderlichen Sicherheitsfunktionen geführt, je nachdem welche sicherheitstechnische Bedeutung die Teile beim Störfallablauf haben. Dabei wird zwischen Anforderungen an die Standsicherheit, Integrität und Funktionssicherheit unterschieden. Statt einer pauschalen Klassifizierung von Bau- und Anlagenteilen sollten die Anforderungen an den Nachweis der Erdbebensicherheit von Bauwerken (Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit) und Anlagenteilen (Standsicherheit, Integrität, Funktionssicherheit) in Bezug auf die im Anforderungsfall erforderlichen Sicherheitsfunktionen festgelegt werden.

Für die Analyse des bei Kernkraftwerken durch Erdbeben ausgelösten Störfallablaufs sollten in einer Neufassung der Regel Kriterien im Hinblick auf

- Berücksichtigung von begrenzten Kühlmittleckagen nach der Erschütterungsphase,
- den Erhalt der Sicherheitsbehälterintegrität und die Verfügbarkeit der Gebäudeabschlussfunktionen,
- die langfristige Störfallbeherrschung nach dem Ereignis und dabei anzunehmenden Ereigniskombinationen und
- die Anforderungen des Einzelfehlerkonzepts

spezifiziert werden. Weiterhin sollte ein Hinweis auf die Regelungen in KTA 2101.1 bezüglich der anzunehmenden Ereigniskombinationen mit Brand aufgenommen werden.

Bau- und Anlagenteile, die selbst keine sicherheitstechnische Funktion haben (bisher: Klasse II), die aber durch möglicherweise an ihnen entstehenden Schäden und Wirkungen sicherheitstechnisch wichtige

Anlagenteile in ihrer Funktion beeinträchtigen können, sind in die Störfallbetrachtungen mit einzubeziehen. Diese Bau- und Anlagenteile werden in der bisherigen Praxis einer Klasse IIa zugeordnet. Die Anforderungen an den Nachweis der Erdbebensicherheit von Bauwerken und Anlagenteilen, die der bisherigen Klasse IIa zuzuordnen waren sollten bei der neuen Klassifizierung ebenfalls in Bezug auf die erforderlichen Sicherheitsfunktionen in Abhängigkeit der Ergebnisse anlagenspezifischer Störfallanalysen explizit genannt werden.

4.10 Einwirkungen (Lasten)

Bisheriger Sachverhalt

Es werden Lasten aufgezählt, die in Verbindung mit Erdbebenlasten bei der Auslegung der Anlagenteile zu unterscheiden sind:

- *Äußere Lasten des Gebrauchszustandes ...*,
- *Reaktionen aus Zwang im Gebrauchszustand ...*,
- *Reaktionen aus Erdbeben sowie der hieraus resultierenden Folgewirkungen und*
- *Äußere Lasten, hervorgerufen durch Schäden an nicht erdbebensicher ausgelegten Anlagenteilen ...*

(2) Bei der Kombination der ... genannten Lasten und Reaktionen ist zu untersuchen, inwieweit ein gleichzeitiges Eintreten oder ein zeitliches Nacheinander der Lastarten in Betracht zu ziehen ist.

(3) Nichtständige Lasten, die den seismisch bedingten Lasten in günstiger Weise entgegenwirken, sind nicht zu berücksichtigen.

(4) Kombinationen von Lasten aus Erdbeben und erdbebenbedingten Störfall- und Störfallfolgelasten sind zu berücksichtigen.

Bewertung/Empfehlung

Der Begriff „Lasten“ ist nicht mehr zeitgemäß und sollte durch den in neueren Normen und Richtlinien verwendeten Begriff „Einwirkungen“ ersetzt werden.

Für den Nachweis der Erdbebensicherheit der Bauwerke und Anlagenteile sind Erdbebeneinwirkungen mit ständigen und veränderlichen Einwirkungen gemäß den Annahmen der Störfallanalyse und den fachspezifischen Regeln zu kombinieren; die detaillierte Aufzählung in der KTA-Regel 2201.1 kann daher entfallen.

4.11 Nachweis der Erdbebensicherheit (Auslegung)

Bisheriger Sachverhalt

(1) Alle Anlagenteile der Klasse I sind gemäß dieser Regel so auszulegen, dass beim Bemessungserdbeben ihre sicherheitstechnische Funktion erhalten bleibt. Eine Koordinierung der Erdbebenauslegung aller Anlagenteile ist sicherzustellen.

(2) Alle Anlagenteile der Klasse I sind so auszulegen, dass bei den seismisch bedingten Lasten des Bemessungserdbebens zusammen mit andern Lasten die Spannungen und/oder Deformationen innerhalb zulässiger Grenzen liegen.

(3) Für die Anlagenteile der Klasse II ist ein Nachweis gemäß dieser Regel nicht erforderlich. Es ist jedoch (...) nachzuweisen, dass durch die an ihnen möglicherweise entstehenden Wirkungen und Schäden keine zur Klasse I gehörenden Teile in ihrer sicherheitstechnischen Funktion beeinträchtigt werden können.

Bewertung/Empfehlung

Entsprechend der Empfehlung zur Änderung des Titels der KTA-Regel 2201.1 in „Erdbebensicherheit kerntechnischer Anlagen“ sollte die bisherige Kapitelüberschrift „Auslegung“ in „Nachweis der Erdbebensicherheit“ geändert werden.

Alle Bauwerke und Anlagenteile, deren Erdbebensicherheit zur Einhaltung der sicherheitstechnischen Anforderungen aufgrund der Ergebnisse anlagenspezifischer Störfallanalysen erforderlich ist, sind gemäß dieser Regel so nachzuweisen, dass ihre jeweilige sicherheitstechnische Aufgabenstellung (Bauwerke: Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit; Anlagenteile: Standsicherheit, Integrität, Funktionssicherheit) beim Bemessungserdbeben erhalten bleibt.

4.12 Nachweisverfahren (Berechnungen)

Bisheriger Sachverhalt

Dynamische Berechnung:

Die zur erdbebensicheren Auslegung erforderlichen Berechnungen sind mittels solcher Berechnungsverfahren (Spektralverfahren, Zeitverlaufverfahren) durchzuführen, die die Eigenschaften des Erdbebens sowie das Verhalten des Bodens und der Anlagenteile hinreichend berücksichtigen.

Vereinfachte Berechnung:

Für Kernkraftwerke an Standorten, für die die Maximalbeschleunigungen des Bemessungserdbebens zu weniger als $1,0 \text{ m/s}^2$ ermittelt wurden, dürfen anstelle der dynamischen Berechnung vereinfachte Berechnungen durchgeführt werden.

Ohne Berechnung:

Falls eine ausreichende Sicherheit entweder aufgrund der Konstruktion gegeben ist oder durch experimentelle Prüfungen nachgewiesen wird, darf auf eine Berechnung verzichtet werden.

Bewertung/Empfehlung

Als Methoden zum Nachweis der Erdbebensicherheit von Bauwerken und Anlagenteilen kommen neben Berechnungsverfahren auch experimentelle Nachweise, die Einhaltung von Konstruktionsregeln sowie Erfahrungstatsachen in Betracht. Die Kapitelüberschrift sollte dementsprechend in „Nachweisverfahren“ geändert werden.

Als Berechnungsverfahren kommen in der Regel dynamische Berechnungsverfahren in Betracht. Die Zulässigkeit von vereinfachten Berechnungen für Bau- und Anlagenteile muss im Einzelfall begründet werden.

Wesentliche Grundsätze zum Nachweis der Erdbebensicherheit von Bauwerken und Anlagenteilen aus den Regelteilen 2201.3 und 2201.4 sollten bereits in der KTA-Regel 2201.1 aufgeführt werden. Insbesondere sind zu nennen:

- Für die dynamische Berechnung werden das Bauwerk und der Baugrund auf ein mathematisch-mechanisches Modell abgebildet, das in der Lage sein muss, den durch das Erdbeben maßgebend angeregten Frequenzbereich des Bauwerkes zu erfassen.
- Die Bauwerksanregung ist in den drei orthogonalen Richtungen als gleichzeitig wirkend anzusetzen oder es ist jeweils eine resultierende horizontale und die vertikale Anregung anzusetzen. Die Überlagerung gleichgerichteter Beanspruchungsgrößen darf nach der Quadratwurzelmethode erfolgen.
- Der Einfluss der Wechselwirkung zwischen Bauwerk und Baugrund (Boden-Bauwerk-Wechselwirkung, BBW) darf vereinfacht durch frequenzunabhängige Parameter berücksichtigt werden, wenn zur Absicherung die Parameter in einem angemessenen Bereich variiert werden; bevorzugt sind aber frequenzabhängige BBW-Modelle einzusetzen.

4.13 Seismische Instrumentierung

Bisheriger Sachverhalt

Wurde die Maximalbeschleunigung des Bemessungserdbebens mit $\max a$ größer als oder gleich $1,0 \text{ m/s}^2$ festgesetzt, so ist eine seismische Instrumentierung gemäß KTA 2201.5 zu installieren, die die Feststellung ermöglicht, ob das 0,4-fache der aus der Berechnung ermittelten Bemessungsgrößen des Bemessungserdbebens überschritten worden ist. Nach Überschreitung einer Größe dieses Inspektionsniveaus ist das Kernkraftwerk zu überprüfen.

Hinweis:

Unter "Bemessungsgröße" wird die in der Berechnung für den Aufstellungsort des Beschleunigungsaufnehmers ermittelte maximale Beschleunigung verstanden (KTA 2201.5: Seismische Instrumentierung).

Bewertung/Empfehlung

Zur Feststellung, ob Maßnahmen nach Eintritt eines Erdbebenereignisses einzuleiten sind, sollten grundsätzlich alle Kernkraftwerke sowie andere kerntechnische Anlagen mit höherem Gefährdungspotenzial mit einer seismischen Instrumentierung versehen werden. Abweichungen davon sind im Einzelfall zu begründen.

Bemessungsgrößen zur Bestimmung des Inspektionsniveaus können auch Antwortspektren sein.

4.14 Auswirkungen auf den Standort

Bisheriger Sachverhalt

- **Baugrund**

Veränderungen des - gegebenenfalls verbesserten - Baugrundes, wie sie als Folgen von Erdbeben auftreten können, dürfen die sicherheitstechnische Funktion der Anlagenteile der Klasse I nicht beeinträchtigen.

- **Umgebung**

Veränderungen in der Umgebung und Zerstörung technischer Einrichtungen, wie sie als Folgen von Erdbeben auftreten können (z. B. Damm- oder Deichbrüche), dürfen die sicherheitstechnische Funktion der Anlagenteile der Klasse I nicht beeinträchtigen.

Bewertung/Empfehlung

Veränderungen des Baugrundes oder der Umgebung infolge von Erdbeben dürfen die erforderlichen sicherheitstechnischen Funktionen der Anlagenteile und der baulichen Anlagen nicht beeinträchtigen.

5 Zusatzbemerkung

Die RSK empfiehlt über die Empfehlungen zur Überarbeitung der KTA-Regel 2201.1 hinaus die nachfolgend genannten, in [U 2] begründeten, Empfehlungen umzusetzen:

- Durchführung einer probabilistischen Erdbebengefährdungsanalyse für einen Standort in Deutschland unter Berücksichtigung der in [R 3] festgelegten Empfehlungen (eine entsprechende Analyse wurde kürzlich in der Schweiz unter dem Namen PEGASOS [L 2] abgeschlossen),
- Präzisierung der Auswahlkriterien bezüglich der Strong-Motion-Registrierungen zur Bestimmung des Bemessungsantwortspektrums (Magnituden, Standortintensität, Epizentralentfernung/Joyner-Boore-Entfernung, Herdmechanismen, Untergrund).

6 Beratungsunterlagen [U], Richtlinien, Leitlinien, Regeln [R], Literatur [L]

Beratungsunterlagen

- [U 1] Schreiben des BMU an die RSK-Geschäftsstelle (Az.: AG RS I 3-17018/1)
vom 08.11.2002, Beratungsauftrag an die RSK, Thema: Stellungnahme der RSK zur
KTA-Regel 2201.1
- [U 2] Stellungnahme der AG SEISMOLOGIE des RSK-Ausschusses ANLAGEN- UND
SYSTEMTECHNIK: Bemessungserdbeben am Standort Biblis, 07.03.2002.
- [U 3] Empfehlung der RSK: Sicherheitsanforderungen an die längerfristige
Zwischenlagerung schwach- und mittelradioaktiver Abfälle, Fassung vom 05.12.2002
mit Neuformulierung in Abschnitt 2.7.1 (dritter Spiegelstrich) vom 16.10.2003.

Richtlinien, Leitlinien, Regeln

- [R 1] KTA 2201, Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische Einwirkungen
Teil 1: Grundsätze, Fassung 6/90
Teil 2: Baugrund, Fassung 6/90
Teil 3: Auslegung der baulichen Anlagen, Regelvorlage 6/91
Teil 4: Anforderungen an Verfahren zum Nachweis der Erdbebensicherheit für
maschinen- und elektrotechnische Anlagenteile, Fassung 6/90
Teil 5: Seismische Instrumentierung, Fassung 6/90
Teil 6: Maßnahmen nach Erdbeben, Fassung 6/90
- [R 2] IAEA-Safety Guide-NS-G-3.3-2002 (2002):
Evaluation of Seismic Hazards for Nuclear Power Plants.
- [R 3] Senior Seismic Hazard Analysis Committee (SSHAC) (1997):
Recommendations for Probabilistic Seismic Hazard Analysis - Guidance on
Uncertainty and Use of Experts. Main Report.
US Nuclear Regulatory Commission, NUREG/CR-6372
- [R 4] Lawrence Livermore National Laboratory (2002): Guidance for Performing
Probabilistic Seismic Hazard Analysis for a Nuclear Plant Site:
Example Application to the Southeastern United States
U.S. Nuclear Regulatory Commission, NUREG/CR-6607, UCRL-ID-133494, October
2002.

Literatur

- [L 1] IfBt-Bericht (1986) (König und Heunisch (eds.)):
Realistische Lastannahmen für Bauwerke mit erhöhtem Sekundärrisiko.
Abschlußbericht im

Auftrage des Instituts für Bautechnik Berlin, Frankfurt/M., 1986.

- [L 2] Abrahamson, Birkhäuser, Koller, Mayer-Rosa, Smit, Sprecher, Tinic, Graf:
PEGASOS – A Comprehensive Probabilistic Seismic Hazard Assessment for Nuclear
Power Plants in Switzerland, Paper Ref. 633 of 12th European Conf. on Earthquake
Engineering, London, 2002.