

STELLUNGNAHME der Arbeitsgruppe SEISMOLOGIE des RSK-Ausschusses ANLAGEN- UND SYSTEMTECHNIK

Bemessungserdbeben am Standort Biblis

1 Beratungsauftrag

Im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Landwirtschaft und Forsten hat das Öko-Institut e. V. (im Folgenden „Gutachter“ genannt) in dem im Dezember 1999 vorgelegten Gutachten [U1] das Bemessungserdbeben am Standort Biblis neu ermittelt. Das BMU hat mit Schreiben vom 24.01.2000 [U2] die RSK gebeten festzustellen, ob diese Neufestlegung des Bemessungserdbebens am Standort Biblis im Gutachten des Öko-Instituts dem Stand von Wissenschaft und Technik entspricht. Insbesondere sollen dabei die geologischen Verhältnisse, die Ableitung der ingenieurseismologischen Kenngrößen, die Bestimmung des Bemessungsspektrums sowie die Wahl der erforderlichen Fraktile des Bemessungsantwortspektrums betrachtet werden.

2 Sicherheitstechnischer Hintergrund, Erkenntnismittel und Bewertungsmaßstäbe

Zur Sicherstellung der atomrechtlich geforderten Schadensvorsorge sind deutsche Kernkraftwerke gemäß den geltenden Sicherheitskriterien [R1] und Leitlinien [R2] auch gegen Erdbeben auszulegen. Die Auslegung dient dem Ziel, die Umgebung der Anlage im Falle eines Erdbebens vor einer unzulässigen Strahlenbelastung zu schützen. Die Grundsätze der Erdbebenauslegung von Kernkraftwerken und die Verfahren zum Nachweis der Erdbebensicherheit sind in den Regelteilen von KTA 2201 [R3] behandelt. Als Bemessungserdbeben ist der Auslegung gemäß KTA 2201.1 das Erdbeben mit der für den Standort größten Intensität zugrunde zu legen, das unter Berücksichtigung einer größeren Umgebung des Standortes (bis etwa 200 km vom Standort) nach wissenschaftlichen Erkenntnissen auftreten kann.

Die Beratungen der Arbeitsgruppe SEISMOLOGIE des RSK-Ausschusses ANLAGEN- UND SYSTEMTECHNIK zum Gutachten des Öko-Instituts über die Neufestlegung des Bemessungserdbebens am Standort Biblis orientierten sich im Wesentlichen an den Vorgaben der KTA-Regel 2201.1. Als Erkenntnismittel lagen den Beratungen die Ergebnisse der Sachverständigenanhörung zu den jeweiligen Themenkomplexen zugrunde. Ferner gründet sich die Bewertung der Arbeitsgruppe auf das von den Mitgliedern der Arbeitsgruppe in Forschung, Lehre und Praxis erworbene Wissen auf den Gebieten der Seismologie und des Erdbebeningenieurwesens sowie auf den in der einschlägigen Literatur veröffentlichten Stand von Wissenschaft und Technik.

Bei einer Reihe von Einzelfragen gibt es nach Auffassung der Arbeitsgruppe keine ausreichende Basis in der publizierten Literatur, die eine eindeutige Bewertung der Aussagen des Gutachtens im Hinblick auf den Stand

von Wissenschaft und Technik im Sinne des Beratungsauftrages des BMU zuläßt.

3 Beratungsergebnisse

3.1 Vorgehensweise

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

- 1. Sitzung am 18.02.2000,
- 2. Sitzung am 21.03.2000,
- 3. Sitzung am 17.05.2000,
- 4. Sitzung am 28.06.2000,
- 5. Sitzung am 28.07.2000,
- 6. Sitzung am 10.08.2000,
- 7. Sitzung am 26.10.2000,
- 8. Sitzung am 07.12.2000,
- 9. Sitzung am 03. und 04.05.2001,
- 10. Sitzung am 20.08.2001 und
- 11. Sitzung am 06.12.2001

mit folgenden Themen zum Bemessungserdbeben am Standort Biblis befasst:

- Festlegung tektonischer Einheiten,
- maßgebende historische Erdbeben,
- Intensität und Magnitude des Bemessungserdbebens,
- Einfluss des lokalen Untergrundes,
- Auswahl von Strong-Motion-Daten zur Festlegung der Freifeld-Antwortspektren,
- ingenieurseismologische Kenngrößen des Bemessungserdbebens (Maximalbeschleunigung, Antwortspektren, Starkbebendauer) und Wahl der Fraktilen und
- probabilistische Erdbebengefährdungsanalyse.

Die Arbeitsgruppe hörte hierzu den Gutachter und von ihr zugezogene Sachverständige an. Die Beratungsergebnisse zu den genannten Sachthemen sind nachfolgend zusammengefasst.

3.2 Festlegung tektonischer Einheiten

Sachverhalt

Im Gutachten werden zur Frage, in welcher tektonischen Einheit im Sinne der KTA-Regel 2201.1 der Standort Biblis liegt, zwei Modelle verwendet:

- Der gesamte Oberrheingraben wird als eine tektonische Einheit betrachtet.
- Der Oberrheingraben wird in Nord-Süd-Richtung in drei tektonische Einheiten unterteilt. Der Standort Biblis liegt dabei in der nördlichen Einheit.

In beiden Modellen liegt der Bereich des Baseler Erdbebens von 1356 in einer tektonischen Einheit südlich der Einheit(en) des Oberrheingrabens.

Für die deterministische Ableitung des Bemessungserdbebens (und ebenfalls für die Wahl der seismischen Quellregionen bei der probabilistischen Erdbebengefährdungsanalyse) werden beide Einteilungsmodelle mit je 50 % Wichtung herangezogen.

Bewertung

Eine Abgrenzung des Oberrheingrabens (ORG) von der Umgebung steht für die Arbeitsgruppe in geologisch-tektonischer Hinsicht außer Zweifel. Für eine Unterteilung des ORG mit der Abtrennung eines nördlichen Bereiches spricht aus seismologischer Sicht die in der Vergangenheit erdbebenarme Kraichgau-Senke; andererseits kann auch das Modell gesamter ORG nicht ausgeschlossen werden. Darüber hinaus sind u. a. im Zusammenhang mit probabilistischen Berechnungen auch andere Unterteilungen des ORG publiziert worden, die sich von den im Gutachten gewählten Modellen zum Teil deutlich unterscheiden.

In der AG bestehen unterschiedliche Meinungen, welche der Betrachtungsweisen sowohl unter seismologischen als auch unter geologisch-tektonischen Gesichtspunkten der Vorrang einzuräumen ist. Einer der vier Seismologen der Arbeitsgruppe vertritt die Auffassung, dass allein der nördliche Oberrheingraben die tektonische Einheit ist, in der Biblis liegt. Der im Gutachten beschrittene Weg, die gewählten zwei Einteilungsmodelle bei der Festlegung des Bemessungserdbebens gleichgewichtet zu verfolgen, ist nach dem derzeitigen Kenntnisstand eine der möglichen Vorgehensweisen, die dem Stand von Wissenschaft und Technik entsprechen und nicht im Widerspruch zur KTA 2201.1 stehen.

3.3 Maßgebende historische Erdbeben

Sachverhalt

Eine wesentliche Grundlage für die Festlegung des Bemessungserdbebens bilden die historisch berichteten Erdbeben, die in der tektonischen Einheit des Standortes Biblis oder in den Nachbareinheiten aufgetreten sind. Die stärksten der Beben in der tektonischen Einheit des Standortes werden vom Gutachter als Schlüsselerdbeben bezeichnet.

Die in historischer Zeit im nördlichen Oberrheingraben aufgetretene maximale Epizentralintensität und größte Magnitude werden im Gutachten mit $I_0 = VII$ und $M_L = 5,1$ angegeben. Diese Werte sind durch Aufzeichnungen belegt (Ludwigshafen/Worms 1952, $M_L = 5,1$) oder aufgrund einer Neubewertung historischer Quellen abgesichert (Lorsch 1871, $I_0 = VII$).

Die größten im gesamten ORG in historischer Zeit beobachteten Erdbeben werden vom Gutachter mit der Epizentralintensität $I_0 = \text{VII} - \text{VIII}$ (Rastatt 1728, Seltz 1952) und der makroseismisch bestimmten Magnitude $M_{L,m} = 5,3$ (Rastatt 1728) angegeben. Für diese Erdbeben wurden vom Gutachter keine Neubewertungen durchgeführt; die Intensitätswerte wurden den Erdbebenkatalogen entnommen, die Lokalmagnituden $M_{L,m}$ wurden mit einer empirischen Beziehung aus der Größe der Schütterfläche berechnet.

Die Fehlerbandbreite der Intensitätsangabe der größten historischen Erdbeben wird im Gutachten mit $\pm 1/2$ bis ± 1 Intensitätsstufe abgeschätzt. Da im Gutachten nur ganzzahlige Intensitäten verwendet werden, wird die Fehlerbandbreite in gewichteter Form mit der Intensitätsstufe 0 zu 50 % und der Intensitätsstufe ± 1 zu jeweils 25 % berücksichtigt. Für die Magnitude der größten historischen Erdbeben wird eine Standardabweichung von 0,5 Magnitudeneinheiten angenommen.

Bewertung

Die Arbeitsgruppe stimmt der Auswahl der im Gutachten genannten maßgebenden historischen Erdbeben, die nach Stand von Wissenschaft und Technik erfolgte, zu. Intensität und Magnitude der Beben von Ludwigshafen/Worms und Lorsch können nach Auffassung der Arbeitsgruppe als die maßgebenden Kenngrößen historischer Schlüsselerdbeben in der tektonischen Einheit Nördlicher Oberrheingraben angesehen werden. Bei Betrachtung des gesamten Oberrheingrabens als eine tektonische Einheit wäre es aus Gründen der Gleichgewichtung zu den umfassenden Untersuchungen zum nördlichen ORG wünschenswert, wenn auch die Erdbeben von Rastatt und Seltz, die wegen ihrer Intensitäten für das Bemessungserdbeben relevant sind, näher untersucht würden.

Der Aussage des Gutachters, dass bei den gewählten Modellen Erdbeben aus weiteren benachbarten tektonischen Einheiten keinen Einfluss auf die Größe des Bemessungserdbebens haben, wird zugestimmt.

Die Arbeitsgruppe ist der Auffassung, dass wegen der umfassenden Neubewertung historischer Erdbeben im Gutachten für die gut belegten Schlüsselerdbeben ein Unsicherheitsmaß der Maximalintensität von einer halben Intensitätsstufe als ausreichend angesehen werden kann. Für die instrumentell bestimmte Lokalmagnitude des Bebens von Ludwigshafen/Worms wird eine Standardabweichung von $\pm 0,3$ als richtig angesehen; für die nicht instrumentell beobachteten Beben im Nördlichen Oberrheingraben wird ein Unsicherheitsmaß von $\pm 0,5$ für angemessen gehalten.

3.4 Intensität und Magnitude des Bemessungserdbebens

Sachverhalt

Zur Festlegung des Bemessungserdbebens werden im Gutachten Zuschläge für den nicht bzw. unvollständig beobachteten Zeitraum auf die Werte der maximal historisch beobachteten Intensitäten und Magnituden einschließlich deren Fehlerbandbreiten addiert. Für den Nördlichen ORG betragen die Zuschläge $\Delta I = 0,75$ und $\Delta M = 0,5 \pm 0,25$. Da der Gutachter nur ganzzahlige Intensitätszuschläge zulässt, wird der Zuschlag $\Delta I = 0$ mit

einer Wichtung von 25 % und $\Delta I = 1$ mit einer Wichtung von 75 % berücksichtigt; für den gesamten ORG werden die Zuschläge mit $\Delta I = 0,5$ und $\Delta M = 0,35 \pm 0,25$ angesetzt. Bei Verwendung nur ganzzahliger Intensitätszuschläge entspricht dies einer Wichtung des Zuschlags von $\Delta I = 0$ und $\Delta I = 1$ von jeweils 50 %.

Zur Festlegung der Intensität und der Magnitude des Bemessungserdbebens verwendet der Gutachter die „Methode des Logischen Baums“. Dies führt insgesamt, ausgehend von den maximal historisch beobachteten Erdbeben

- $I_{\max \text{ hist}} = \text{VII}$ und $M_{L \max \text{ hist}} = 5,1$ im nördlichen ORG sowie
- $I_{\max \text{ hist}} = \text{VII} - \text{VIII}$ und $M_{L \max \text{ hist}} = 5,3$ im gesamten ORG,

unter der Voraussetzung einer gleichgewichteten Berücksichtigung beider tektonischer Modelle, unter Einbeziehung der Fehlerbandbreiten und der Zuschläge zu einer Wahrscheinlichkeitsverteilung der Intensität des Bemessungsbebens gemäß Tab. 1. Die Werte für die Intensität gelten gleichermaßen für den Standort, da davon ausgegangen wird, dass wegen der in unmittelbarer Standortnähe verlaufenden Hofheimer Störung die Bemessungsintensität der anzunehmenden Standortintensität entspricht.

Intensität des Bemessungserdbebens	VI	VII	VIII	IX	X
Wahrscheinlichkeit	6 %	28 %	41 %	22 %	3 %

Tabelle 1: Wahrscheinlichkeitsverteilung für die Intensität des Bemessungserdbebens nach Gutachten

Die Magnitude des Bemessungserdbebens ist durch den Medianwert (50%-Fraktile) von $M_L = 5,6$ und durch eine Bandbreite von $5,2 \leq M_L \leq 6,1$ (16%- bis 84%-Fraktile) gekennzeichnet.

Bewertung

Die Arbeitsgruppe stimmt im Grundsatz dem Vorgehen des Gutachters zu, für den nicht beobachteten Zeitraum einen Zuschlag zu wählen. Die Arbeitsgruppe hält die vom Gutachter gewählten Zuschläge für Intensitäten und Magnituden für den Standort Biblis für angemessen.

Für die Verwendung nur ganzzahliger Intensitäten bei der Ableitung der Bemessungsgrößen gibt es nach Auffassung der Arbeitsgruppe keinen zwingenden Grund. Bei der schrittweisen Beaufschlagung ausschließlich ganzzahliger Intensitätswerte mit ausschließlich ganzzahligen Zuschlägen innerhalb der „Methode des Logischen Baums“ ergeben sich mehrfach Auf- bzw. Abrundungseffekte, die schließlich zu einer sehr breiten Wahrscheinlichkeitsverteilung der Bemessungsintensität über vier Intensitätsstufen führen, vgl. Tab. 1. Es ist durchaus Stand von Wissenschaft und Technik, in empirischen Beziehungen und Rechenverfahren wie der vom Gutachter angewandten „Logische-Baum-Methode“ Zwischenwerte (Dezimalwerte) von Intensitäten zu verwenden. Daher empfiehlt die Arbeitsgruppe, auch nicht ganzzahlige Intensitätswerte innerhalb der „Methode des Logischen Baums“ zu verwenden.

Im Hinblick auf die Datenauswertung zur Ermittlung der Bemessungsspektren hält die Arbeitsgruppe es für

sachgerecht, den Mittelwert der Magnitude des Bemessungserdbebens auf 5,6 – mit einem Unsicherheitsbereich von 5,2 bis 6,1 – festzulegen.

3.5 Einfluss des lokalen Untergrundes

Sachverhalt

Die Bewertung des Einflusses des lokalen Untergrundes auf die Festlegung der ingenieurseismologischen Kenngrößen am Standort Biblis erfolgte mit geophysikalischen Methoden. Die Ergebnisse der Untersuchungen sind ein Kriterium bei der Auswahl repräsentativer Strong-Motion-Daten und dienen der Beurteilung möglicher Verstärkungseffekte im lokalen Untergrund.

Die Auswertung der Registrierungen einer vom Gutachter auf dem Kraftwerksgelände betriebenen seismologischen Messstation ergab, ebenso wie die rechnerische Ermittlung von Übertragungsfunktionen vertikal propagierender Scherwellen, keine Hinweise auf ausgeprägte Verstärkungseffekte durch den lokalen Untergrund.

Bewertung

Die Arbeitsgruppe stimmt den Aussagen des Gutachters zu den Eigenschaften des lokalen Untergrundes grundsätzlich zu. Aufgrund der für die obersten 30 m geltenden mittleren Scherwellengeschwindigkeiten $v_{s,30} \sim 330$ m/s ist der Baugrund am Standort Biblis als weicher Boden („soft soil“: $v_{s,30}$ von 180 bis 360 m/s, „stiff soil“: $v_{s,30}$ von 360 bis 750 m/s gemäß Boore et al. [L1]) einzustufen. Die verwendeten Dämpfungswerte haben keinen Einfluss auf die Ableitung des Bemessungserdbebens im Gutachten und werden diesbezüglich von der Arbeitsgruppe nicht bewertet. Im Falle ergänzender Betrachtungen sollte das Profil C des Gutachtens verwendet werden, und es sollte der Einfluß der relativ hohen Scherbeanspruchungen der Bodenschichten beim Bemessungserdbeben auf die Dämpfung berücksichtigt werden.

3.6 Auswahl und Bewertung der Strong-Motion-Daten zur Festlegung der Freifeld-Antwortspektren

Sachverhalt

a) Aussagen des Gutachters

Die Festlegung des Freifeld-Antwortspektrums und der Starkbebendauer des Bemessungserdbebens erfolgte durch eine statistische Auswertung von Erdbebenregistrierungen (Strong-Motion-Daten), die nach Auffassung des Gutachters hinsichtlich Magnitude ($5,2 \leq M_L \leq 6,1$), Herdentfernung (Epizentralentfernung 0 bis 20 km), Herdtiefe (2 bis 20 km) und Untergrund für den Standort Biblis repräsentativ sind. Wichtigstes Auswahlkriterium ist hierbei die Lokalmagnitude M_L , da die Standortintensitäten der Registrierungen überwiegend nicht bekannt sind und für Erdbeben in Deutschland fast ausschließlich die Lokalmagnitude bekannt ist. Nach diesen Kriterien wurden 50 Erdbebenregistrierungen aus den zum Zeitpunkt der Gutachtenerstellung zugängli-

chen Strong-Motion-Daten zur Berechnung der Antwortspektren ausgewählt.

b) Aussagen des angehörtten Sachverständigen

Im Rahmen der Anhörung bezüglich der Auswahl und Qualität der im Gutachten verwendeten Registrierungen stellte der Sachverständige Smit (Imperial College London, ICSTM) [U8] fest:

- Die Auswahlkriterien sind bezüglich der Generierung eines möglichst vollständigen und repräsentativen Datensatzes ungünstig gewählt. Die Lokal-Magnitude M_L und die Epizentralentfernung sind nicht in jedem Fall die geeigneten Parameter. Die Auswahlkriterien sollten nach Möglichkeit um den Herdmechanismus erweitert werden.
- Es sind Daten enthalten, die die Auswahlkriterien nicht erfüllen oder die identisch sind und somit mehrfach einbezogen wurden.
- Ein Teil der zu den Strong-Motion-Daten im Gutachten angegebenen Erdbeben- und Stationsparameter (Magnitude, Herdtiefe, Epizentralentfernung) entspricht nicht dem heutigen Kenntnisstand.

Eine Abschätzung der topographischen Effekte und des Einflusses der lokalen Geologie ist bei den meisten Meßstationen wegen fehlender Angaben nicht möglich.

Bewertung

Die Untergrundeigenschaften der ausgewählten Standorte sind bei der Auswahl der 50 Erdbebenregistrierungen im Gutachten nicht in jedem Fall ausreichend berücksichtigt worden.

Aufgrund der Aussagen des Sachverständigen [U8] wurden die im Gutachten verwendeten Strong-Motion-Daten für den Magnitudenbereich $M_L = 5,2$ bis $6,1$ in der Zwischenzeit überprüft [U9]. Grundlage der Überprüfung war die inzwischen vom Sachverständigen und von einem Mitglied der Arbeitsgruppe in einigen Punkten revidierte ICSTM-Datenbank. Als Ergebnis der Überprüfung wurde der ursprüngliche Datensatz für neue statistische Auswertungen reduziert um Registrierungen mit nicht repräsentativen Untergrundverhältnissen, um bauwerksbezogene (in Gebäuden mit mehr als zwei Stockwerken) und um doppelte Registrierungen sowie um weitere nicht zu den Auswahlkriterien passende Registrierungen. Neben den unter a) genannten Auswahlkriterien wurden nur noch Registrierungen mit Scherwellengeschwindigkeiten $v_{s,30} = 330 \pm 80$ m/s berücksichtigt. Die statistische Auswertung der verbleibenden 12 Registrierungen ergab ähnliche Antwortspektren wie im Gutachten, wobei allerdings im höherfrequenten Bereich Abweichungen nach oben bestehen.

Eine weitere vergleichende Auswertung der im Gutachten [U1] verwendeten 50 Strong-Motion-Registrierungen durch Mitglieder der Arbeitsgruppe zeigt, dass die Amplituden der Antwortspektren nicht mit den Magnituden korrelieren. Dies bedeutet, dass sich auch bei einer anderen Wahl des Magnitudenbereichs als dem vom Gutachter festgelegten innerhalb der Bandbreite $5,2 \leq M_L \leq 6,1$ kaum Unterschiede zwischen den Antwortspektren ergeben würden. Vielmehr wurde festgestellt, dass offenbar in dem hier betrachteten Nahbereich die Herdentfernung einen wichtigen Einfluss auf die Amplituden der Antwortspektren hat.

Der im Gutachten gewählte Weg, die Antwortspektren in Abhängigkeit von der Magnitude M_L zu ermitteln,

entspricht nach Auffassung der Arbeitsgruppe einer möglichen Vorgehensweise nach dem Stand von Wissenschaft und Technik. Nach Ansicht der Arbeitsgruppe ist die Auswahl der Daten im Wesentlichen über die Lokalmagnitude M_L aufgrund der fehlenden Korrelation zwischen der Magnitude und der Höhe der Amplituden der Antwortspektren grundsätzlich problematisch. Einer Auswahl unter Berücksichtigung der Intensitäten wäre der Vorzug zu geben. Dies ist nicht ohne weiteres möglich, da zu den meisten Registrierungen die Standortintensität nicht bekannt ist. Besser wäre eine Kombination aus Magnitude, vorzugsweise Momentmagnitude M_w , und Herdentfernung als Auswahlkriterium. Hinsichtlich der vom Gutachter getroffenen Auswahl von für den Standort Biblis repräsentativen Erdbebenregistrierungen ist die Arbeitsgruppe der Auffassung, dass die in der neuen Auswertung [U9] getroffene und oben erwähnte Auswahl von 12 Registrierungen den Auswahlkriterien genügt.

Zwei Mitglieder der Arbeitsgruppe halten es für fraglich, ob die in [U9] vorgenommene Bereinigung des Datensatzes dazu geführt hat, dass die Daten der verbliebenen 12 Registrierungen den Bedingungen am Standort Biblis hinsichtlich der Untergrundverhältnisse entsprechen. Im Gutachten würden aufgrund experimenteller und theoretischer Untersuchungen ungünstige Übertragungseigenschaften am Standort Biblis, die zu einer Verstärkung der spektralen Beschleunigungen führen können, ausgeschlossen. Ob jedoch durch den Untergrund bedingte Verstärkungseffekte in den ausgewählten Erdbebenregistrierungen enthalten sind, sei im Gutachten nicht untersucht worden.

Durch Mitglieder der Arbeitsgruppe wurde eine Auswertung der seit Anfang 2001 verfügbaren Europäischen Strong-Motion-Datenbank [L2] vorgenommen [U11]. Dabei wurden zu den als repräsentativ angesehenen 12 Registrierungen des Gutachtens 21 passende Registrierungen aus der Datenbank hinzugenommen. Als Ergebnis der statistischen Auswertung der insgesamt 33 Registrierungen – allerdings auch hier ohne entfernungsabhängige Wichtung – ergaben sich insbesondere im Frequenzbereich 2 bis 5 Hz niedrigere Amplituden der Antwortspektren als im Gutachten ausgewiesen. Bei einer Eingrenzung auf Herdentfernungen von im Mittel 10 km ergaben sich bei den 50%-Fraktilspektren sowohl für die Horizontal- als auch für die Vertikalkomponente in weiten Frequenzbereichen ähnliche Ergebnisse wie im Gutachten, jedoch waren im Frequenzbereich 2 bis 5 Hz des Horizontalspektrums die Amplituden etwa 30 % kleiner als im Gutachten; bei einer weiteren Eingrenzung auf Herdentfernungen von im Mittel 8 km ergaben sich sowohl für die Horizontal- als auch für die Vertikalkomponente der 50%-Fraktilspektren höhere Amplituden als im Gutachten.

Die Epizentralentfernung wird für mitteleuropäische Gebiete als ein geeigneter Parameter angesehen, da für viele Registrierungen die Joyner-Boore-Distanzen r_{JB} (kürzeste Entfernung zwischen Standort und der Projektion der Herdfläche an die Erdoberfläche) nicht vorliegen. Bezüglich der Herdmechanismen ist die Arbeitsgruppe der Auffassung, dass Aufschiebungen für den ORG eher unwahrscheinlich sind. Für eine Einbeziehung des Kriteriums ‚Herdmechanismen‘ besteht Forschungsbedarf.

3.7 Ingenieurseismologische Kenngrößen des Bemessungserdbebens und Wahl der Fraktile

Sachverhalt

a) Aussagen des Gutachters

Die in der KTA-Regel 2201.1 geforderten ingenieurseismologischen Kenngrößen Antwortspektrum, Maximalbeschleunigung und Starkbebendauer (in KTA 2201.1 „ingenieurseismische Kenndaten“ genannt) wurden im Gutachten angegeben.

Zu den ausgewählten Strong-Motion-Seismogrammen wurden Antwortspektren für die Horizontalkomponenten und die Vertikalkomponente der Bodenbewegung berechnet. Die Spektren wurden statistisch ausgewertet und in Form mehrerer Fraktile dargestellt. Die 50%- und 84%-Fraktile unterscheiden sich in den spektralen Amplituden etwa um Faktoren zwischen 2 und 3. Die 50%-Fraktile des horizontalen Bemessungsspektrums zeigt im Frequenzbereich unter 8 Hz eine gute Übereinstimmung mit dem Spektrum von Hosser [L3] und liegt für höhere Frequenzen deutlich darüber. Die 50%-Fraktile des vertikalen Bemessungsspektrums liegt im Frequenzbereich unterhalb von 9 Hz deutlich unter und oberhalb von 9 Hz deutlich über dem Vertikalspektrum von Hosser [L3].

Zur Frage der Fraktilewahl (50 % oder 84 %) gibt der Gutachter einen ausführlichen Überblick über einschlägige Literaturangaben sowie nationale und internationale Regelwerke bzw. Vorgehensweisen. Unter anderem weist der Gutachter darauf hin, dass bisher national und international häufig skalierte Standardspektren verwendet würden, deren Form (aber nicht deren Niveau) auf der 84%-Fraktile beruhen. Weiter führt er an, dass die Vorgehensweise von Hosser, bei Verwendung der 50%-Fraktile anstelle der 84%-Fraktile das damit herabgesetzte Sicherheitsniveau durch eine Senkung der Überschreitenswahrscheinlichkeit der Standortintensität von $10^{-4}/a$ auf $10^{-5}/a$ wieder auszugleichen, nicht in jedem Falle anwendbar sei. Außerdem stellt er fest, dass in einigen Regelwerken die Wahl der Fraktile von dieser Überschreitenswahrscheinlichkeit abhängig gemacht wird.

Als Fazit führt der Gutachter an, dass die ermittelten 50%-Fraktile als wahrscheinlichster oder bester Schätzwert zu verstehen seien. Die Verwendung der 50%-Fraktile sei für die Auslegung von Kernkraftwerken nicht als konservativ anzusehen, da sie keine Unsicherheiten berücksichtige und keine konservativen Annahmen enthalten seien. Durch die Wahl des Abstandes des Bemessungsantwortspektrums von der 50%-Fraktile drücke sich das für den Standort Biblis angestrebte Maß an Konservativität aus. Die Entscheidung, welches Maß an Konservativität angemessen ist und welche Fraktile zu wählen ist, trifft der Gutachter explizit nicht.

b) Aussagen von angehörten Sachverständigen

Im Rahmen der Sachverständigen-Anhörung wurden die Ergebnisse eines Vergleichs der im Gutachten angegebenen Antwortspektren mit Antwortspektren, die nach dem Modell von Ambraseys et al., 1996, [L4] und [L5] unter Zugrundelegung eines anderen Datensatzes sowie unterschiedlicher Definitionen und Wertebereiche ermittelt wurden, vorgestellt. Danach ergibt sich folgende Bewertung des Sachverständigen Smit:

- Die Kurvenform der Horizontalspektren stimmt weitgehend mit der von Ambraseys et al. [L4] für $M_s = 5,6$ und die Joyner-Boore-Entfernung $r_{JB} = 10$ km berechneten überein, wobei systematische Abweichungen im Frequenzbereich 2 bis 4 Hz auftreten. In der Amplitude ist eine gute Übereinstimmung bei den Mittelwert-Spektren (50%-Fraktile) festzustellen, dagegen ergibt das 84%-Spektrum im Gutachten höhere Werte als in [L4].
- Die Vertikalspektren des Gutachtens weisen im hochfrequenten Bereich eigenartige Kurvenformen auf. Die Spektralwerte und die Unsicherheiten der vertikalen Bemessungsspektren des Gutachtens sind im Vergleich zu den nach Ambraseys und Simpson [L5] ermittelten Spektren in diesem Frequenzbereich systematisch höher.

Im Zusammenhang mit seiner Anhörung zum Thema „Probabilistische Erdbebengefährdungsanalyse“ (vgl. 3.8) vertrat der Sachverständige Rosenhauer die Auffassung, dass eine 84%-Fraktile nur sinnvolle Resultate liefere, wenn Registrierungen aus einem relativ engen Intensitätsbereich ausgewählt würden. Unter Verwendung der im Gutachten berücksichtigten Datensätze ergebe allein die 50%-Fraktile belastbare Ergebnisse.

Der Sachverständige Mayer-Rosa bezeichnete das Aufrechnen von Eintrittswahrscheinlichkeiten (z. B. $10^{-5}/a$ statt $10^{-4}/a$) gegen Fraktile des Spektrums (z. B. 50 % statt 84 %) als problematisch aufgrund der unterschiedlichen Formen der 50%- und 84%-Fraktilspektren.

Bewertung

Die Arbeitsgruppe bestätigt, dass die in der KTA 2201.1 geforderten ingenieurseismologischen Kenngrößen im Gutachten vollständig angegeben sind.

Die im Gutachten ermittelten Bemessungsspektren (50%-Fraktile-Spektren und 84%-Fraktile-Spektren) können von der Arbeitsgruppe in ihrer Größenordnung bestätigt werden. Inwieweit die Spektren des Gutachtens auch sehr standortnahe Ereignisse (Epizentralentfernungen bis ≈ 8 km) abdecken, ist nicht geklärt. Dies zeigen auch Berechnungen synthetischer Seismogramme von einem angenommenen Erdbebenherd direkt am Standort (Hypozentralentfernung 7 km), welche von Mitgliedern der Arbeitsgruppe durchgeführt wurden [U12, U13]. Die verwendeten Datensätze von Boore et al. [L1] und Ambraseys et al. [L4] enthalten für sehr kleine Entfernungen nur wenige Daten, daher sind Verallgemeinerungen für empirische Zusammenhänge für herdnahe Bodenbewegungen insbesondere für Entfernungen < 7 km problematisch. Dies zeigen auch aktuelle Auswertungen von Datensätzen aus der Türkei, die aus den Reihen der Arbeitsgruppe vorgenommen wurden [U15].

Die von der Arbeitsgruppe zum Vergleich herangezogenen, von Hosser für den Standort Biblis für unterschiedliche Eintrittsraten ermittelten Antwortspektren zeigen, dass dessen Vorgehensweise (Ausgleich des Sicherheitsniveaus beim Übergang von der 84%- auf die 50%-Fraktile durch Senkung der Überschreitenswahrscheinlichkeit um eine Größenordnung) für den Standort Biblis und die von Hosser ausgewählten Registrierungen – abweichend von den Beispielen des Gutachters – zu ähnlichen Antwortspektren führt. Ob dies allgemein gilt, sollte Gegenstand zukünftiger Forschung sein. Da die im Gutachten getroffene Aussage, dass

die Vorgehensweise von Hosser nicht in jedem Falle anwendbar sei, sich u. a. auf Auswertungen von nicht zum Standort Biblis passenden Registrierungen stützt, bewertet die Arbeitsgruppe diese Aussage des Gutachters nicht.

Aus den Reihen der Arbeitsgruppe wurde ein Vergleich mit dem Konzept der geologie- und untergrundabhängigen Spektren, das bei der Erstellung der neuen DIN 4149 angewandt wurde, vorgenommen [U10]. Danach werden Spektren in starkem Maße durch sehr mächtige Lockersedimentschichten beeinflusst. Unter diesen Bedingungen, wie sie auch am Standort vorliegen, ist im Vergleich zu einem Felsspektrum eine starke Reduzierung der Spektralwerte im Bereich höherer Frequenzen sowie eine Anhebung im Bereich kleinerer Frequenzen zu erwarten.

Hinsichtlich der Anmerkung des Sachverständigen Smit zu den Horizontalspektren wird darauf verwiesen, dass der Sachverständige sich auf Spektren für eine Joyner-Boore-Entfernung $r_{\text{JB}} = 10$ km bezieht, während im Gutachten Herdentfernungen von 0 bis 20 km ausgewertet wurden; von daher ist eine größere Streubreite bei den Antwortspektren im Gutachten erklärbar.

Zur Diskussion der Bemessungsfraktile ist die Arbeitsgruppe wie der Gutachter der Auffassung, dass beide Fraktilen (50 % und 84 %) in der Literatur und in der internationalen Praxis – bei probabilistischen Betrachtungen jeweils in Kombination mit unterschiedlichen Überschreitenswahrscheinlichkeiten – vertreten werden. Welchem der beiden Fraktilwerte der Vorzug zu geben ist, ist aus dem internationalen Stand von Wissenschaft und Technik allein nicht schlüssig abzuleiten. Vielmehr ist der Fraktilwert nach dem angestrebten Maß an Sicherheit bzw. hinnehmbarem Risiko zu wählen und hängt auch davon ab, welche Konservativitäten auf dem Weg der Ableitung des Bemessungserdbebens und der zugehörigen ingenieurseismologischen Kenngrößen bereits eingeflossen sind. Vor diesem Hintergrund kann die Arbeitsgruppe keine allgemeine Empfehlung zur Verwendung einer bestimmten Fraktile für die Erdbebenauslegung von Kernkraftwerken geben.

Zur Aussage im Gutachten, dass die Verwendung der 50%-Fraktile für die Auslegung von KKW nicht als konservativ anzusehen sei, da sie keine Unsicherheiten berücksichtige und keine konservativen Annahmen enthalten seien, nimmt die AG in allgemeiner Form aus den vorgenannten Gründen nicht Stellung. Bezogen auf den Standort Biblis ist die AG der Auffassung, dass eine Aussage zur Konservativität des 50%-Fraktilspektrums wegen der offenen Fragen zum Einfluss sehr standortnaher Ereignisse derzeit nicht abschließend getroffen werden kann.

3.8 Probabilistische Erdbebengefährdungsanalyse

Sachverhalt

a) Aussagen des Gutachters

Zur Absicherung der deterministischen Festlegung des Bemessungserdbebens wurde mit probabilistischen Methoden eine Berechnung der Überschreitenswahrscheinlichkeit der Bemessungsintensität am Standort Biblis durchgeführt. Der Gutachter stellt fest, dass die Ergebnisse der probabilistischen Methode in entscheidendem Maße von der deterministischen Festlegung bestimmter Eingangsgrößen abhängen. So wird die Überschreitenswahrscheinlichkeit im Wahrscheinlichkeitsbereich kleiner als $10^{-4}/a$ in starkem Maße von der

Festlegung der Maximalmagnitude beeinflusst. Beispielsweise schwankt die ermittelte Eintrittshäufigkeit für die Intensität VIII am Standort je nach Wahl der Parameter zwischen ca. $10^{-4}/a$ und ca. $10^{-6}/a$. Insofern sind die probabilistischen Ergebnisse für den Standort Biblis als Richtwerte für Vergleiche und ergänzende Absicherungen nützlich; als alleinige Entscheidungselemente sind sie im relevanten Wertebereich nicht ausreichend.

b) Aussagen der angehörten Sachverständigen

Die Sachverständigen Grünthal und Rosenhauer äußerten die Ansicht [U4], [U5], dass mit bestimmten Modellen bzw. konservativen Eingangsdaten Aussagen zur Überschreitenswahrscheinlichkeit der Intensität und damit zur Erdbebengefährdung auch im Bereich $10^{-5}/a$ möglich sind.

Der Sachverständige Rosenhauer kritisiert eine methodisch inkonsistente Vorgehensweise des Gutachters bei der Sensitivitätsanalyse. Einerseits gehe die Magnitudenobergrenze M_{\max} bei der Auswertung der Ausgangsdaten nicht ein, weil dabei von der Hypothese einer Gutenberg-Richter-Geraden ausgegangen werde. Andererseits werde mit einem qualitativ anderen Modell nach Cornell und McGuire gerechnet, bei dem sich der Kurvenverlauf mit M_{\max} ändere. Dies sei eine Modellschwäche des McGuire-Modells, die eine Normierungsänderung bewirke und ein Grund für die Instabilität der Intensitäts-Eintrittsraten sein könne. Der Effekt führe bei kleineren b - (Steigungs-)Werten der Gutenberg-Richter-Geraden ($\log N = a - bM$) verstärkt zu verfälschten Magnituden-Eintrittsraten für größere Werte von M_{\max} . Da der Gutachter offenbar mit nichtkumulativen Magnituden-Häufigkeiten statt mit der beim Modell nach Cornell und McGuire erforderlichen kumulativen Magnituden-Häufigkeiten ausgewertet und gerechnet und damit zu kleine b -Werte ermittelt habe, führe das dann in Verbindung mit der erwähnten Schwäche des McGuire-Modells zu den nicht zutreffenden Intensitäts-Eintrittsraten.

Nach Ansicht des Sachverständigen Grünthal spiegelt das Vorgehen gemäß US-NRC Reg. Guide 1.165 von 1997 [R4] derzeit den aktuellen Stand der Technik bei probabilistischen Erdbebengefährdungsanalysen wider. Es beziehe sich auf eine Referenz-Wahrscheinlichkeit von $10^{-5}/a$ und auf den Median (50-%-Fraktile) der spektralen Bodenbeschleunigungen bei den Kontrollfrequenzen und sei – insbesondere unter der Voraussetzung der Bestimmung von Abnahmebeziehungen der spektralen Beschleunigung – auch auf die Verhältnisse in Mitteleuropa anwendbar.

Der Sachverständige Mayer-Rosa [U6] erläuterte, dass er zwar keine eigenen Berechnungen für Biblis durchgeführt habe, dass die relativ große Abhängigkeit der Intensitäts-Eintrittsraten von M_{\max} insbesondere bei kleinen Intensitäten jedoch nicht den Erfahrungen entspreche, die man in der Schweiz seit 1977 bei probabilistischen Erdbebengefährdungsanalysen gemacht habe. Nach seiner Auffassung seien im Gutachten relativ große seismische Quellzonen verwendet worden, die die vorhandene Seismizität sehr stark verschmierten. Zu den Gefährdungskurven schlug Mayer-Rosa vor, nicht nur die Resultate einzelner Berechnungsäste, sondern Medianwerte und Fraktilwerte darzustellen.

Bezüglich kleiner Eintrittswahrscheinlichkeiten ist Mayer-Rosa der persönlichen Überzeugung, dass Eintrittsraten $< 10^{-4}/a$ nicht vertrauenswürdig seien, da die Unsicherheiten der Prognosen zunehmen. Er weist jedoch darauf hin, dass der von der Schweizer Bundesaufsichtsbehörde HSK bei probabilistischen Erdbebengefährdungsanalysen bisher geforderte Wert von $10^{-4}/a$ in Zukunft geändert würde und man sich möglicherweise

der oben erwähnten Vorgehensweise wie in den USA anschließen werde.

Bewertung

Die Arbeitsgruppe kommt nach Diskussion und Anhörung der Sachverständigen zu dem Schluss, dass die probabilistische Erdbebengefährdungsanalyse im Gutachten nicht dem Stand von Wissenschaft und Technik entspricht. Die Kritikpunkte am Gutachten sind:

- Die relativ groß gewählte seismische Quellzone des nördlichen ORG führt in der Tendenz zu einer Verringerung der Erdbebengefährdung am Standort.
- Der Gutachter hat nicht offen gelegt, auf welchem Weg er von Magnituden auf die Standortintensität gekommen ist.
- Es wurde nur eine Sensitivitätsanalyse und keine vollständige Unsicherheitsanalyse durchgeführt.
- Bei den Berechnungen nach dem Cornell/McGuire-Modell wurden für die Aktivitätsrate a und die Steigung b die Werte nichtkumulativer statt der erforderlichen kumulativen Magnituden-Häufigkeitsverteilungen der einzelnen Quellregionen eingesetzt.

Eine eigene Erhebung zu den zutreffenden a - und b -Werten sowie eine quantitative Bewertung der sich ergebenden Konsequenzen für die Intensitäts-Eintrittsraten am Standort Biblis seitens der Arbeitsgruppe erfolgt nicht, da hierzu einerseits vertiefende weitere Untersuchungen erforderlich wären, andererseits dazu vor dem Hintergrund der erwähnten Kritikpunkte keine Notwendigkeit besteht. Die Methode nach Cornell/McGuire entspricht nach Auffassung der Arbeitsgruppe grundsätzlich dem Stand von Wissenschaft und Technik, vgl. [U14].

Die Arbeitsgruppe sieht es als notwendig an, unter Beachtung der vorstehenden Anmerkungen und der Vorschläge der Sachverständigen eine neue probabilistische Erdbebengefährdungsanalyse durchzuführen.

4 Zusammenfassende Bewertung durch die Arbeitsgruppe SEISMOLOGIE

Die Arbeitsgruppe begrüßt es grundsätzlich, dass der Gutachter die Überprüfung des Bemessungserdbebens am Standort Biblis sehr detailliert vorgenommen hat. Es ist insbesondere hervorzuheben, dass im Gutachten anhand von Fehlerbaumanalysen versucht wurde, auch die Vertrauensbereiche der einzelnen Aussagen anzugeben. Die Arbeitsgruppe kann jedoch nicht bestätigen, dass die Vorgehensweise des Gutachters bei der Festlegung des Bemessungserdbebens Biblis in allen wesentlichen Teilen dem Stand von Wissenschaft und Technik entspricht. Bei einer Reihe von Einzelfragen gibt es nach Auffassung der Arbeitsgruppe darüber hinaus keine ausreichende Basis in der publizierten Literatur, die eine eindeutige Bewertung der Aussagen des Gutachtens im Hinblick auf den Stand von Wissenschaft und Technik im Sinne des Beratungsauftrages des BMU zulässt.

Der im Gutachten beschrittene Weg, die gewählten zwei Einteilungsmodelle tektonischer Einheiten bei der Festlegung des Bemessungserdbebens gleichgewichtet zu verfolgen, ist nach dem derzeitigen Kenntnisstand eine der möglichen Vorgehensweisen, die dem Stand von Wissenschaft und Technik entsprechen und nicht im

Widerspruch zur KTA 2201.1 stehen. Einer der vier Seismologen der Arbeitsgruppe vertritt die Auffassung, dass allein der nördliche Oberrheingraben die tektonische Einheit ist, in der Biblis liegt.

Die historischen Erdbeben, die für die Festlegung des Bemessungserdbebens relevant sind, wurden im Gutachten – soweit es den nördlichen ORG betrifft – sehr detailliert neu bewertet; die Arbeitsgruppe stimmt dieser Bewertung zu. Für die Betrachtung des gesamten ORG wurden die Intensitätswerte der Erdbeben aus dem Erdbebenkatalog und anderen Quellen entnommen. Beide Vorgehensweisen sind nach dem Stand von Wissenschaft und Technik zulässig. Die Arbeitsgruppe ist der Auffassung, dass wegen der umfassenden Neubewertung historischer Erdbeben im Gutachten für die gut belegten Schlüsselerdbeben ein Unsicherheitsmaß der Maximalintensität von einer halben Intensitätsstufe als ausreichend angesehen werden kann. Für die instrumentell bestimmte Lokal-Magnitude des Bebens von Ludwigshafen/Worms wird eine Standardabweichung von $\pm 0,3$ als richtig angesehen; für die nicht instrumentell beobachteten Beben im Nördlichen Oberrheingraben wird ein Unsicherheitsmaß von $\pm 0,5$ für angemessen gehalten.

Die vom Gutachter für den nicht beobachteten Zeitraum gewählten Zuschläge hält die Arbeitsgruppe dem Stand von Wissenschaft und Technik entsprechend für angemessen. Für die bei der Festlegung der Bemessungsintensität gewählte Vorgehensweise mit Verwendung ausschließlich ganzzahliger Intensitäten und Zuschläge gibt es keinen zwingenden Grund. Dieses Verfahren führt zu einer sehr breiten Wahrscheinlichkeitsverteilung der Bemessungsintensität über vier Intensitätsstufen. Es ist durchaus Stand von Wissenschaft und Technik, in empirischen Beziehungen und Rechenverfahren wie der vom Gutachter angewandten „Logische-Baum-Methode“ Zwischenwerte (Dezimalwerte) von Intensitäten zu verwenden. Daher empfiehlt die Arbeitsgruppe, auch nicht ganzzahlige Intensitätswerte innerhalb der „Methode des Logischen Baums“ einzusetzen.

Im Hinblick auf die Datenauswertung zur Ermittlung der Bemessungsspektren hält die Arbeitsgruppe es für sachgerecht, den Mittelwert der Magnitude des Bemessungserdbebens auf $M_L = 5,6$ – mit einem Unsicherheitsbereich von 5,2 bis 6,1 – festzulegen.

Die Arbeitsgruppe stimmt den Aussagen des Gutachters zu den Eigenschaften des lokalen Untergrundes grundsätzlich zu.

Die Auswahl der Strong-Motion Erdbebenregistrierungen über die Nahbebenmagnitude M_L wird als eine der möglichen Vorgehensweisen nach dem Stand von Wissenschaft und Technik angesehen, die jedoch wegen der weitgehend fehlenden Korrelation der Magnituden des ausgewählten Datensatzes mit der Größe der Amplituden der Beschleunigungsantwortspektren auch grundsätzliche Fragen aufwirft. Eine intensitätsabhängige Auswahl ist nicht ohne weiteres möglich, da zu den meisten Registrierungen die Standortintensität nicht bekannt ist.

Die Untergrundeigenschaften der ausgewählten Standorte sind bei der Auswahl der 50 Erdbebenregistrierungen im Gutachten nicht in jedem Fall ausreichend berücksichtigt worden.

Bei der Auswahl der für den Standort repräsentativen Strong-Motion Erdbebenregistrierungen konnten zum Zeitpunkt der Erstellung des Gutachtens zahlreiche heute verfügbare Informationen nicht berücksichtigt wer-

den. Obwohl sich eine Reihe der im Gutachten verwendeten Registrierungen als nicht zum Standort Biblis passend herausgestellt haben, können die im Gutachten ermittelten Bemessungsspektren (50%-Fraktil-Spektren und 84%-Fraktil-Spektren) für das vom Gutachter gewählte Auswahlkriterium Herdentfernung (0 bis 20 km) in ihrer Größenordnung bestätigt werden. Bei einer Auswertung für eine mittlere Herdentfernung von 10 km unter Hinzuziehung von für den Standort repräsentativen Erdbebenregistrierungen der seit kurzem veröffentlichten Europäischen Strong-Motion Datenbank [L2] treten im Frequenzbereich 2 bis 5 Hz beim 50%-Fraktil-Horizontalspektrum etwa 30 % kleinere Amplituden als im entsprechenden Spektrum des Gutachtens auf. Bei einer weiteren Eingrenzung auf Herdentfernungen von im Mittel 8 km ergeben sich bei den 50%-Fraktilspektren sowohl für die Horizontal- als auch für die Vertikalkomponente der Bodenbewegung höhere Amplituden als im Gutachten. Es ist daher ungeklärt, ob sehr standortnahe Ereignisse (Epizentralentfernungen bis ≈ 8 km) durch die Bemessungsspektren des Gutachtens abgedeckt sind. Dies zeigen auch Berechnungen synthetischer Seismogramme von einem angenommenen Erdbebenherd direkt am Standort (Hypozentralentfernung 7 km), welche von Mitgliedern der Arbeitsgruppe durchgeführt wurden [U12, U13].

Aus der AG wurde auch darauf hingewiesen, dass Spektren in starkem Maße durch sehr mächtige Lockersedimentschichten beeinflusst werden. Unter diesen Bedingungen, wie sie auch am Standort vorliegen, ist im Vergleich zu einem Felsspektrum eine starke Reduzierung der Spektralwerte im Bereich höherer Frequenzen sowie eine Anhebung im Bereich kleinerer Frequenzen zu erwarten.

Welchem der beiden Fraktilwerte 50 % oder 84 % bei der Festlegung des Bemessungserdbebens der Vorzug zu geben ist, ist aus dem internationalen Stand von Wissenschaft und Technik allein nicht schlüssig abzuleiten. Vielmehr ist der Fraktilwert nach dem angestrebten Maß an Sicherheit bzw. hinnehmbaren Risiko zu wählen und hängt auch davon ab, welche Konservativitäten auf dem Weg der Ableitung des Bemessungsspektrums und der zugehörigen ingenieurseismologischen Kenngrößen bereits eingeflossen sind.

Zur Aussage im Gutachten, dass die Verwendung der 50%-Fraktile für die Auslegung von KKW nicht als konservativ anzusehen sei, da sie keine Unsicherheiten berücksichtige und keine konservativen Annahmen enthalten seien, nimmt die AG in allgemeiner Form aus den vorgenannten Gründen nicht Stellung. Bezogen auf den Standort Biblis ist die AG der Auffassung, dass eine Aussage zur Konservativität des 50%-Fraktilspektrums wegen der offenen Fragen zum Einfluss sehr standortnaher Ereignisse derzeit nicht abschließend getroffen werden kann.

Die im Gutachten durchgeführte probabilistische Erdbebengefährdungsanalyse entspricht nicht dem Stand von Wissenschaft und Technik.

5 Ergänzende Empfehlungen und Anmerkungen, unabhängig von der Bewertung des Gutachtens im Hinblick auf den Stand von Wissenschaft und Technik

Es konnte im Rahmen der Beratungen nicht geklärt werden, welche der Betrachtungsweisen bezüglich der tektonischen Einheiten vorzuziehen ist. Die Arbeitsgruppe empfiehlt, eine Präzisierung der Definition tektonischer Einheiten in der KTA 2201 [R3] vorzunehmen.

Bei Betrachtung des gesamten Oberrheingrabens als eine tektonische Einheit wäre es aus Gründen der Gleichgewichtung zu den umfassenden Untersuchungen des Gutachters zum nördlichen ORG wünschenswert, wenn auch die Erdbeben von Rastatt 1728 und Seltz 1952, die wegen ihrer Intensitäten für das Bemessungserdbeben relevant sind, näher untersucht würden.

Die für den Standort Biblis gewählten Zuschläge für den nicht beobachteten Zeitraum sind nicht ohne weiteres auf andere Standorte übertragbar. Es wird aus der Arbeitsgruppe in diesem Zusammenhang darauf verwiesen, dass in der Vergangenheit in Deutschland von einigen seismologischen Gutachtern die Verlegung des maximalen historischen Bebens in die Nähe des Standortes bereits als ausreichender Sicherheitszuschlag angesehen wurde.

Die Arbeitsgruppe empfiehlt die Durchführung der folgenden ergänzenden Arbeiten für den Standort Biblis:

- Erneute probabilistische Erdbebengefährdungsanalyse,
- Neubewertung der stärksten historischen Erdbeben des mittleren und südlichen ORG,
- darauf aufbauend Bestimmung angemessener Bandbreiten der Intensität und Magnitude des Bemessungserdbebens,
- genauere Betrachtung und Bewertung der für den Standort herangezogenen herdnahen Strong-Motion-Registrierungen im Hinblick auf Herdmechanismen, Intensitäten, verursachte Schäden und Untergrundverhältnissen an den Registrier-Standorten.

Ferner sieht die Arbeitsgruppe in folgenden Punkten Forschungsbedarf:

- Überprüfung der Auswahlkriterien bezüglich der Strong-Motion-Registrierungen zur Bestimmung des Bemessungsantwortspektrums (Magnituden, Standortintensität, Epizentralentfernung/Joyner-Boore-Entfernung, Herdmechanismen, Untergrund),
- Überprüfung der Übertragbarkeit der US-amerikanischen probabilistischen Vorgehensweise von 1997 auf deutsche Standorte (Bemessungsspektrum als 50-%-Fraktile-Spektrum auf Basis einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von $10^{-5}/a$).

Der Sachverständige Mayer-Rosa trug über ein von der HSK initiiertes und derzeit laufendes Schweizer Projekt vor, in dem eine umfassende Erdbebengefährdungsanalyse für alle Kernkraftwerksstandorte der Schweiz in Zusammenarbeit zwischen Behörde und Betreibern durchgeführt wird [U7].

Die AG empfiehlt dringend, ähnlich zu den Untersuchungen in den USA und in der Schweiz eine umfassende Erdbebengefährdungsanalyse in Deutschland durchzuführen.

Der Ausschuss ANLAGEN- UND SYSTEMTECHNIK nahm auf seiner 14. Sitzung am 14.02.2002 den Entwurf der Stellungnahme zustimmend zur Kenntnis.

Die RSK nahm auf ihrer 349. Sitzung am 07.03.2002 die Stellungnahme zur Kenntnis.

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

6.1 **Beratungsunterlagen**

- [U1] Öko-Institut e. V.: Bemessungserdbeben Biblis, Ermittlung des Bemessungserdbebens für den Standort des Kernkraftwerkes Biblis auf der Basis aktueller Daten und Methoden, Teil 2: Bestimmung der Bemessungsgrößen, Darmstadt, Dezember 1999
- [U2] Schreiben des BMU an die RSK-Geschäftsstelle (Az.: AG RS I 4-14001/1) vom 24.01.2000, Beratungsauftrag für die Reaktor-Sicherheitskommission, Thema: Bemessungserdbeben Biblis
- [U3] RSK-Information SE4/3 vom 22.05.2000, Fragen an die Sachverständigen für probabilistische Erdbeben-Gefährdungsanalysen
- [U4] G. Grünthal: Ausgewählte Aspekte der probabilistischen Gefährdungsanalyse für Anlagen mit erhöhten Sicherheitsanforderungen, Bericht zur 4. Sitzung der Arbeitsgruppe Seismologie des RSK-Ausschusses Anlagen- und Systemtechnik am 28.06.2000
- [U5] W. Rosenhauer:
- Probabilistische Erdbeben-Gefährdungsanalyse, kurze Einführung, Zusammenfassung (mit 11 Abbildungen), 4. Sitzung der RSK-Arbeitsgruppe SEISMOLOGIE, Bonn, 28.06.2000
 - Grundlagen des Diskussionsbeitrags, Berechnungsformeln und Folien, 12.12.2000, 8. Sitzung der RSK-Arbeitsgruppe SEISMOLOGIE, Bonn, 07.12.2000, Probabilistische Erdbeben-Gefährdungsanalyse
- [U6] D. Mayer-Rosa: RSK-Sitzung in Bonn, 7.12.2000, Expertenbefragung, Stellungnahme zu den 5 kritischen Fragen
- [U7] D. Mayer Rosa: PEGASOS, Probabilistische Erdbeben-Gefährdungs-Analyse für die KKW-StandOrte Schweiz, Stand Dez. 2000
- [U8] P. Smit:
- Bemerkungen zu den im Gutachten „Bemessungserdbeben Biblis - Teil 2“ verwendeten Strong-Motion-Daten, 17.05.2000
 - Ergänzende Bemerkungen zu den im Gutachten „Bemessungserdbeben Biblis, Teil 2“ sowie „Bericht Kaiser, Hergert (2001)“ verwendeten Strong-Motion-Daten, London 26. April 2001
- [U9] D. Kaiser, P. Hergert: Überprüfung der im Gutachten „Bemessungserdbeben Biblis“ verwendeten Strong-Motion-Daten, RSK SE 11, 2001-11-13
- [U10] J. Schwarz: Geologie- und untergrundabhängige Spektren nach DIN 4149-neu. Diskus-

sionsbeitrag zur 4. Sitzung der AG SEISMOLOGIE am 28.06.2000.

- [U11] R. Zinn: Auswertung der Europäischen Strong-Motion Datenbank und der Gutachtensregistrierungen in Bezug auf den Standort Biblis, 13.08.2001.
- [U12] F. Scherbaum: Stochastische Simulation des Bemessungsspektrums Biblis, Folien 07.12.2000
- [U13] G. Waas: Anlage zum Besprechungsbericht zur 8. Sitzung der AG Seismologie der RSK am 07.12.2000
- [U14] G. Leydecker: Probabilistische Gefährdungsschätzung für den Standort Biblis unter Einbeziehung von Unsicherheiten
- [U15] J. Schwarz: Auswertungen von Nachbebenmessungen in der Türkei / Auswertungen zum Datensatz von Ambraseys zu kleinen Herdentfernungen, Tischvorlage zur 10. Sitzung der AG SEISMOLOGIE am 20.08.2001

6.2 Richtlinien, Leitlinien, Regeln

- [R1] BMI, Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke
BAnz Nr. 206, 03.11.1977
- [R2] RSK-Leitlinien für Druckwasserreaktoren, 3. Ausgabe, 14.10.1981 inklusive Änderungen gemäß BAnz Nr. 106 vom 10.06.1983 und BAnz. Nr. 104 vom 05.06.1984, Überarbeitung Kap. 7: BAnz Nr. 158a vom 23.08.1996, Berichtigung BAnz Nr. 214 vom 15.11.1996
- [R3] 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
- [R4] U.S. Nuclear Regulatory Commission: Identification and Characterization of Seismic Sources and Determination of Safe Shutdown Earthquake Ground Motion, Regulatory Guide 1.165, 1997.
- [R5] International Atomic Energy Agency (IAEA): Earthquakes and Associated Topics in Relation to Nuclear Power Plant Siting, A Safety Guide, Safety Series No. 50-SG-S1

(Rev. 1), Wien, Mai 1991.

6.3 Literatur

- [L1] Boore, D. W., Joyner, Fumal, T.: Estimation of Response Spectra and Peak Accelerations from Western North American Earthquakes: an Interim Report. U. S. Geological Survey, Open-File Report 93-509.

- [L2] Imperial College of Science, Technology and Medicine, London: European Strong-Motion Database. European Council, Environment and Climate Research Programme 2000.

- [L3] Hosser, D.: Realistische seismische Lastannahmen für die Bauwerke des Kernkraftwerkes KWB, Block A. Gutachtliche Stellungnahme Nr. G 88069, Januar 1989, Revision April 1989.

- [L4] Ambraseys, N. N., Simpson, K. A., Bommer, J. J.: Prediction of Horizontal Response Spectra in Europe, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* 25, S 371 – 400, 1996.

- [L5] Ambraseys, N. N., Bommer, J. J.: Prediction of Vertical Response Spectra in Europe, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* 25, S 401– 412, 1996.