

Kernkraftwerk Fessenheim: Beurteilung des Erdbebenrisikos



Expertise

RÉSONANCE Ingénieurs-Conseils SA

21 rue Jacques Grosselin
CH - 1227 CAROUGE (Genève)

Tél. +41 22 301 02 53
Fax +41 22 301 02 70
E-mail resonance@resonance.ch

Carouge, 5. September 2007

277/MK/CL/JH

Zusammenfassung

Der Bereich Gesundheitsschutz des Gesundheitsdepartementes des Kantons Basel-Stadt hat das Büro Résonance Ingénieurs-Conseils SA beauftragt, eine Expertise zur Erdbebengefährdung im Oberrheingraben auszuarbeiten. Der Kanton Jura, über sein Gesundheitsdepartement, hat sich diesem Auftrag angeschlossen. Das Hauptziel ist zu wissen, ob der Schutz des Kernkraftwerkes (KKW) Fessenheim vor Erdbeben dem heutigen Stand von Wissenschaft und/oder Technik entspricht.

Zehn Fragen wurden vom Auftraggeber gestellt; diese betreffen seismologische Aspekte, welche die Erdbebengefährdung anbelangen, sowie Aspekte des Erdbebeningenieurwesens, die sich auf die Verletzlichkeit des Kraftwerks beziehen.

Die Erdbebengefährdung, die zur Bemessung des KKW Fessenheim berücksichtigt worden ist, scheint seinerzeit unterschätzt worden zu sein. Die Neubestimmung der Erdbebengefährdung, wie sie bisher von EDF im Hinblick auf die 3. Zehnjahresüberprüfung ("visite décennale", vorgesehen ab 2009) vorgeschlagen wurde, führt zu einer deutlichen Unterschätzung der Gefährdung und ist deshalb nicht akzeptierbar. Die gleiche Feststellung gilt, in geringerem Ausmass, auch für die Neubestimmung der Gefährdung, die vom IRSN vorgeschlagen wurde. Die vorliegende Expertise zeigt die Schwächen dieser Neubestimmungen Punkt für Punkt auf.

Die Fragen bezüglich des Erdbebenwiderstandes der wichtigsten Strukturen des KKW Fessenheim konnten nicht konkret behandelt werden, da die notwendigen Informationen nicht zur Verfügung standen. Sicher aber ist, dass das KKW auf elastische Spannungen bemessen wurde, was in der Regel sehr stark auf der sicheren Seite liegt. Die Sicherheitsreserven können in bezug auf das Bemessungs-Erdbeben, das heisst die seinerzeit berücksichtigte Erdbebengefährdung, einen Faktor 2 oder sogar mehr ausmachen. Es bleibt zu überprüfen, ob diese Reserven bei einer realistischeren Bestimmung der Erdbebengefährdung ausreichend sind.

Es ist unseres Erachtens zwingend notwendig, so schnell als möglich eine vertiefte Überprüfung des Erdbebenwiderstandes des KKW Fessenheim durchzuführen, und zwar nach einer Neubestimmung der Erdbebengefährdung, welche die heutigen Kenntnisse in dieser Beziehung vollumfänglich berücksichtigt.

Carouge, 5. September 2007



Martin KOLLER
Erdbebeningenieur



Corinne LACAVE
Seismologin

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	1
1. Einleitung.....	3
1.1 Zielsetzung.....	3
1.2 Fragenliste.....	3
1.2.1 Seismologische Fragen.....	3
1.2.2 Fragen des Erdbebeningenieurwesens.....	4
1.3 Verfügbare Dokumente und Informationen.....	4
1.3.1 Zur Verfügung gestellte Dokumente.....	4
1.3.2 Öffentliche Dokumente.....	5
1.3.3 Nicht öffentliche oder beschränkt zugängliche Quellen.....	7
1.4 Qualifikation der Autoren der Expertise.....	8
1.5 Terminologie.....	8
1.6 Grundphilosophie und Struktur der Expertise.....	9
1.6.1 Behandlung der seismologischen Fragen.....	9
1.6.2 Behandlung der Fragen des Erdbebeningenieurwesens.....	10
2. Regionale Gefährdung.....	10
2.1 Französische Methode zur Bestimmung der Erdbebengefährdung.....	10
2.2 Berücksichtigung des Basler Erdbebens von 1356.....	11
2.2.1 Französische Studien.....	12
2.2.2 Deutsche Studien.....	13
2.2.3 Schweizer Studie.....	13
2.2.4 Studie PEGASOS.....	14
2.2.5 Schlussfolgerungen.....	16
2.3 Berücksichtigung eines lokalen Erdbebens.....	18
2.4 Angemessenheit der verwendeten Abminderungsbeziehung.....	19
3. Standorteffekte.....	21
4. Diskussion der RFS2001-01.....	23
4.1 Problem des "fehlenden" Erdbebens.....	24
4.2 Problem der unscharfen Kenngrößen des Referenzbebens.....	25
4.3 Problem der seismotektonischen Zonierung.....	25
4.4 Problem der maximalen Intensität am Standort.....	25
4.5 Problem der starken Streuung der Bodenbewegungsgrößen.....	26
4.6 Schlussfolgerungen.....	27
5. Fragen des Erdbebeningenieurwesens.....	28
5.1 Erdbebenwiderstand des KKW.....	28
5.2 Erfahrung mit dem Niigataken Chuetsu-oki-Erdbeben vom 16. Juli 2007.....	30
5.3 Erdbebenwiderstand des Damms des Rheinseitenkanals.....	31
6. Generelle Schlussfolgerungen.....	31
7. Glossar.....	32
Anhang.....	33

1. Einleitung

Im Zusammenhang mit dem kantonalen Atomschutzgesetz hat der Bereich Gesundheitsschutz (Gesundheitsdepartement des Kantons Basel-Stadt) das Büro Résonance Ingénieurs-Conseils SA beauftragt, eine Expertise zur Erdbebengefährdung im Oberrheingraben auszuarbeiten. Der Kanton Jura, über sein Gesundheitsdepartement, hat sich diesem Auftrag angeschlossen.

1.1 Zielsetzung

Das Hauptziel ist zu wissen, ob der Schutz des Kernkraftwerkes (KKW) Fessenheim vor Erdbeben dem heutigen Stand von Wissenschaft und/oder Technik entspricht.

Der Auftraggeber hat zehn Fragen gestellt, die in zwei Klassen eingeteilt werden können:

- seismologische Fragen, welche die Erdbebengefährdung betreffen,
- Fragen des Erdbebeningenieurwesens, die sich auf die Verletzlichkeit des Kraftwerkes beziehen.

1.2 Fragenliste

1.2.1 Seismologische Fragen

1. Inwiefern ist ein Erdbeben von der Stärke Basel 1356 (Referenzerdbeben) mit Epizentrum in der unmittelbaren Umgebung des AKW Fessenheim weniger wahrscheinlich als an andern Orten am Oberrhein? Existieren wissenschaftliche Grundlagen, die es rechtfertigen, das Epizentrum eines hypothetischen Erdbebens für die Beurteilung der Erdbebengefährdung in Fessenheim auf jene Erdbebenzone zu beschränken, in welcher das Referenzbeben historisch stattfand?
2. Mit welcher Präzision lassen sich im Gebiet des Oberrheins überhaupt Erdbebenzonen voneinander abgrenzen? Entspricht die Abgrenzung von Erdbebenzonen, wie sie zum Zeitpunkt der Errichtung des AKW Fessenheim aktuell war, noch dem heutigen Stand des Wissens?
3. Würde die Stärke des Referenzbebens für das AKW Fessenheim heute nach andern Kriterien festgelegt, als dies zum Zeitpunkt der Errichtung von Fessenheim der Fall war?
4. Inwiefern könnten die Bodeneigenschaften am Standort des AKW ein zusätzliches Risiko darstellen?
5. Was für technische Expertisen und Messungen sind notwendig, um auf Grund des heutigen Wissenstands den Einfluss der lokalen geologischen Eigenschaften des Untergrunds in Fessenheim (Beschleunigung von S- und P-Wellen, Frequenzspektren und Amplituden) zu beurteilen? Inwiefern wurden diesbezügliche Abklärungen bereits vorgenommen (durch neutrale Experten, durch die Betreiber)? Welche Schlussfolgerungen lassen sich auf Grund des aktuellen Wissenstands über den Untergrund für die Beurteilung des Erdbebenrisikos des AKW Fessenheim machen und welche Fragen können noch nicht befriedigend beantwortet werden?

6. Wurden bei der Beurteilung des Erdbebenrisikos des AKW Fessenheims durch die französischen Behörden die oben aufgeführten Punkte entsprechend dem heutigen Stand der Forschung und Technik berücksichtigt?

1.2.2 Fragen des Erdbebeningenieurwesens

7. Für welche Erdbebenstärken und auf Grund welcher Normen wurden die Anlagen des AKW Fessenheim ursprünglich ausgelegt (Inbetriebnahme 1977)? Inwiefern entspricht die damalige Auslegung des AKW noch dem heutigen Stand der Wissenschaft und der Technik bezüglich Erdbebengefährdung? Wie stark unterscheidet sich das heutige Wissen bezüglich Erdbebensicherheit vom Stand von 1977?
8. Welche spezifischen Risiken ergeben sich nach heutigem Wissenstand beim AKW Fessenheim auf Grund der besonderen Konstruktion (veralteter Reaktortyp, nur ein Containment)?
9. Welche Nachrüstungen bezüglich Erdbebensicherheit wurden in Fessenheim seit der Inbetriebnahme 1977 vorgenommen (Unterlagen EDF)? Welche zusätzlichen Anforderungen an Erdbebensicherheit wurden damit erfüllt? Inwiefern entspricht die aktuelle Auslegung des AKW dem heutigen Stand des Wissens und der Technik, bzw. den aktuell üblichen Sicherheitsstandards bezüglich Erdbebenrisiken?
10. Existieren Expertisen, welche gemäss aktuellem Wissensstand geprüft haben, ob ein Erdbeben zu einem Dammbbruch des Rheinseitenkanals führen könnte (Dieser sollte das AKW Fessenheim vor Überschwemmungen schützen)?

1.3 Verfügbare Dokumente und Informationen

Die hauptsächlich konsultierten Dokumente können in drei Klassen eingeteilt werden:

- Dokumente, die vom Kunden bei der Erteilung des Auftrags zur Ausarbeitung der Expertise zur Verfügung gestellt wurden,
- öffentliche Dokumente (Webseiten, Berichte, Publikationen in wissenschaftlichen Zeitschriften, usw.),
- zusätzliche Informationsquellen (nicht veröffentlichte Berichte, schriftliche Antworten auf spezifische Fragen, die von den Verfassern der vorliegenden Expertise formuliert wurden).

Alle nachfolgend aufgelisteten Dokumente wurden konsultiert; sie werden in der vorliegenden Expertise aber nicht alle explizit zitiert.

1.3.1 Zur Verfügung gestellte Dokumente

1. BERSSIN, Auszug aus einem Bericht unbekanntes Titels, Kapitel 2.6 betreffend das KKW Fessenheim, 2002 (?)
2. EDF, interne Notiz, "Réévaluation des séismes par l'IRSN selon la nouvelle Règle Fondamentale de Sécurité (R.F.S.)", 2003 (?)
3. IRSN, Informationsdossier mit dem Titel "Sûreté et protection des installations nucléaires : trente ans de recherches à l'IRSN sur les séismes", März 2003
4. Berge-Thierry C., Dossier : la protection contre les risques externes, "Le risque sismique dans la conception des installations nucléaires de base", Sept. 2001

5. Kabinet des Préfekten, Notiz mit dem Titel "Prise en compte du risque sismique", unbekanntes Datum
6. Huggenberger P., Kantonsgeologe von Basel-Stadt, Antwort auf Fragen des Kantonschemikers betreffend Erdbeben im Oberrheingraben, 7. Okt. 2004
7. Meghraoui M. et al., "Active Normal Faulting in the Upper Rhine Graben and Paleoseismic Identification of the 1356 Basel Earthquake", *Science*, vol. 293, 2070-2073, 14 Sept. 2001
8. www.bgr.de, seismotektonische Karten, 2006
9. EDF (?), technische Notiz, "Impact du séisme de Saint-Dié du 22/02/2003 sur le CNPE de Fessenheim", 2003 (?)
10. BRGM, makroseismische Karte des Erdbebens vom 13. Mai 1965
11. Erdbebendienst Baden-Württemberg, Karte des Erdbebens von Fessenheim (M = 2.1) vom 28. Nov. 2006
12. Brom J.-M., Association Trinationale de Protection Nucléaire, "Centrale nucléaire de Fessenheim : la logique de l'arrêt" et "La centrale nucléaire de Fessenheim et le risque sismique", 2004 et 2005
13. INTERREG II, Schlussbericht : "Grenzüberschreitende Erkundung des tiefen rheinnahen Grundwasserleiters zwischen Fessenheim und Breisach" 1999-2001
14. Granet M., Notiz mit dem Titel "Microzonage sismique de la région du sud du Rhin Supérieur" betreffend das Projekt INTERREG III, unbekanntes Datum
15. Fäh D. et al., Schweizerischer Erdbebendienst und Geologisch-Paläontologisches Institut der Universität Basel, "Spektrale Mikrozonierung und Gefährungsanalyse für Basel-Stadt", Bericht vom 20.11.2003
16. Häring M.O. et R.J. Hopkirk, "Deep Heat Mining", Schlussbericht, 2003
17. Marty Kälin B., Kommission für Umwelt, Raumplanung und Energie, Brief an den Bundesrat M. Leuenberger vom 3. Okt. 2006, mit Antwort vom 3. Nov. 2006
18. Herrmann A., Notiz des kantonalen Laboratoriums Basel-Stadt, 2005
19. Lepage C., juristische Expertise betreffend die Situation des Kernkraftwerkes Fessenheim

1.3.2 Öffentliche Dokumente

Einzig die im Zusammenhang mit der vorliegenden Expertise wichtigsten konsultierten Dokumente sind nachfolgend aufgelistet. Gewisse Dokumente der Liste sind im Text nicht explizit zitiert, haben aber die Expertise gleichwohl beeinflusst.

21. Levret A., M. Cushing et G. Peyridieu, "Recherche des caractéristiques de séismes historiques en France", Volume I, Atlas de 140 cartes macrosismiques, IPSN, 1996
22. Blès J.L. et al., "Zonage sismique de la France Métropolitaine pour l'application des règles parasismiques aux installations classées", Documents du BRGM 279, 1998
23. Terrier M. et al., "Zonation of Metropolitan France for the application of earthquake-resistant building regulations to critical facilities. Part 1: Seismotectonic zonation", *Journal of Seismology*, vol. 4, 215-230, 2000
24. Bour M. et al., "Zonation of Metropolitan France for the application of earthquake-resistant building regulations to critical facilities. Part 2: Seismic zonation", *Journal of Seismology*, vol. 4, 231-245, 2000

25. GEO-TER, "Révision du zonage sismique de la France – étude probabiliste", Schlussbericht, Juli 2002
26. Grünthal G., D. Mayer-Rosa et W.A. Lenhardt, "Abschätzung der Erdbebengefährdung für die D-A-CH-Staaten – Deutschland, Österreich, Schweiz", Bautechnik, Heft 10, 19-33, vol. 75, Okt. 1998
27. Grünthal G. et R. Wahlström, "An M_w based earthquake catalogue for central, northern and northwestern Europe using a hierarchy of magnitude conversions", Journal of Seismology, vol. 7, 507-531, 2003
28. Grünthal G. et al., "New Generation of Probabilistic Seismic Hazard Assessment of Germany" GeoForschungszentrum Potsdam, 1st ECEES, Genf, Sept. 2006
29. Giardini D., S. Wiemer, D. Fäh et N. Deichmann, "Seismic Hazard Assessment of Switzerland, 2004", Schweizerischer Erdbebendienst, Nov. 2004
30. ASN, RFS2001-01, "Règle fondamentale de sûreté n°2001-01 relative à la détermination du risque sismique pour la sûreté des installations nucléaires de base de surface", 2001
31. Berge-Thierry C., E. Cushing, O. Scotti et F. Bonilla, "Determination of the Seismic Input in France for the Nuclear Power Plants Safety: Regulatory Context, Hypothesis and Uncertainties Treatment", NEA/CSNI/R 22, Tsukuba, Japan, 2004
32. Abrahamson N. "State of the Practice of Seismic Hazard Evaluation". Proc. GeoENG. 19-24 Nov 2000
33. Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, "Hydrogeologischer Bau und hydraulische Eigenschaften", INTERREG III a, 2006
34. SESAME European Research Project, "Guidelines for the Implementation of the H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations Measurements, Processing and Interpretation", http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr/Deliverables/Del-D23-HV_User_Guidelines.pdf, 2004
35. Ustaszewski K. et S.M. Schmid, "Latest Pliocene to Recent Thick-skinned Tectonics at the Upper Rhine Graben – Jura Mountains Junction", Swiss Journal of Geosciences, eingereicht 2007
36. Abrahamson, N.A. et W.J. Silva, "Empirical response spectral attenuation relations for shallow crustal earthquakes", Seism. Res. Lett. 68, 94-127, 1997.
37. Ambraseys, N.N., K.A. Simpson et J.J. Bommer, "Prediction of horizontal response spectra in Europe", Earth. Eng. Struct. Dyn. 25, 371-400, 1996
38. Ambraseys N.N., J. Douglas, S.K. Sarma et P.M. Smit, "Equations for the Estimation of Strong Ground Motions from Shallow Crustal Earthquakes Using Data from Europe and the Middle East: Horizontal Peak Ground Acceleration and Spectral Acceleration", Bulletin of Earthquake Engineering, Volume 3, Number 1, pp. 55-73., 2005
39. Berge-Thierry, C., F. Cotton, M. Cushing, D.-A. Griot-Pommeroy, J. Joly, A. Levret, et F. Fukushima, "Méthode de détermination des spectres horizontaux et verticaux dans le cadre de la révision de la RFS I.2.c". Rapport IPSN/DPRE/SERGD 00-53, 2000
40. Campbell, W. et Y. Bozorgnia, "Updated near source ground motion relations for horizontal and vertical components of peak ground acceleration, peak ground velocity and pseudo-absolute acceleration response spectra", Bull. Seism. Soc. Am. 93, 314-331, 2003

41. Campbell K.W. et Y. Bozorgnia, "Campbell-Bozorgnia NGA Empirical Ground Motion Model for the Average Horizontal Component of PGA, PGV, PGD and SA at Selected Spectral Periods Ranging from 0.01–10.0 Seconds" (Version 1.1). C-B NGA Report: Dec. 15, 2006.
42. ASN, auf der Webseite <http://www.asn.fr> zugängliche Dokumente betreffend Erdbebenrisiko und/oder Fessenheim, insbesondere :
Information betreffend "...l'interprétation et les modalités d'application de la nouvelle règle fondamentale de sûreté relative à la détermination du risque sismique pour les réexamens de sûreté des réacteurs de 900 et 1300 mégawatts" vom 2. Juni 2003
Brief der ASN an EDF betreffend "Détermination des mouvements sismiques à prendre en compte pour la sûreté des installations nucléaires, en application de la RFS 2001-01" vom 2. Juni 2003
Brief der ASN an EDF betreffend "Organisations du réexamen de la sûreté des réacteurs de 900 MWe à l'occasion de leurs troisièmes visites décennales" vom 9. Okt. 2003
43. Gesetz vom 13. Juni 2006 über Transparenz und Sicherheit im Nuklearbereich, <http://www.legifrance.gouv.fr/WAspad/UnTexteDeJorf?numjo=DEVX0100081L>,
ou <http://www.vie-publique.fr/actualite/panorama/texte-vote/loi-du-13-juin-2006-relative-transparence-securite-matiere-nucleaire.html>
44. IRSN, "Séisme de Chinon", http://www.irsn.org/document/files/File/dossiers/seismes/seisme_chinon_5_11_2006.pdf, 10. Nov. 2006
45. IRSN, "Réexamen de sûreté lors des 3^{es} visites décennales des réacteurs de 900 MWe", http://net-science.irsn.org/net-science/liblocal/docs/docs_DIR/RST2005-fr/F4RST05-6.pdf
46. IAEA-TECDOC-1487, "Advanced nuclear plant design options to cope with external events", International Atomic Energy Agency, Feb. 2006, insbesondere Appendix I
47. IAEA Safety Standards Series, "Evaluation of Seismic Hazards for Nuclear Power Plants", Safety Guide n° NS-G-3.3, Dez. 2002
48. Info Nucléaire, diverse Artikel gegen die Kernenergie im allgemeinen, unter anderem gegen das Kraftwerk Fessenheim auf http://www.dissident-media.org/infonucleaire/news_terre.html
49. Info Nucléaire, diverse Artikel über das Kernkraftwerk Fessenheim auf <http://www.dissident-media.org/infonucleaire/fessenheim2.html>
50. Ministry of Economy, Trade and Industry (METI), Dokumente auf der Webseite <http://www.meti.go.jp/english> betreffend das Erdbeben von Niigataken Chuetsu-oki, Japan, vom 16. Juli 2007, insbesondere
"Results of analysis of earthquake observation data obtained during the Niigataken Chuetsu-oki Earthquake in 2007 at Kashiwazaki-Kariwa Nuclear Power Station", Tokyo Electric Power Company (Part 1)
"Consequences of the Niigataken Chuetsu-oki Earthquake in 2007 at Kashiwazaki-Kariwa Nuclear Power Station", Tokyo Electric Power Company (the 1st to the 15th report)

1.3.3 Nicht öffentliche oder beschränkt zugängliche Quellen

Die PEGASOS-Berichte sind auf Anfrage bei swissnuclear erhältlich. Die mit einem Stern (*) bezeichneten Dokumente befinden sich im Anhang.

51. PEGASOS (Probabilistic Seismic Hazard Analysis for Swiss Nuclear Power Plant Sites) : "Seismic Source Characterisation (SP1)", Elicitation Summaries, Final Report, Volume 4, 2004
52. PEGASOS (Probabilistic Seismic Hazard Analysis for Swiss Nuclear Power Plant Sites) : "Ground Motion Characterisation (SP2)", Elicitation Summaries, Final Report, Volume 5, 2004
- 53.* Antwort des BERSSIN auf Fragen der Autoren der vorliegenden Expertise
- 54.* Antwort der ASN auf Fragen der Autoren der vorliegenden Expertise
55. Granet M. und M.-O. Boulanger, "Mikrozonierung der Region Süd des Oberrheins", Schlussbericht, Vertrag INTERREG III n° 3c.8, 2002 - 2006

1.4 Qualifikation der Autoren der Expertise

Die Beauftragte, Résonance Ingénieurs-Conseils SA, Carouge, ist ein kleines Ingenieurbüro, das auf die Bereiche Ingenieurseismologie und Erdbebeningenieurwesen spezialisiert ist. Sie ist in erster Linie in der Schweiz aktiv, erzielt aber zwischen 10 und 20 % ihres Umsatzes in Frankreich. Die wichtigsten Referenzen lassen sich auf ihrer Webseite finden: www.resonance.ch.

Die vorliegende Expertise wurde erarbeitet von:

- Martin KOLLER, Bauingenieur, spezialisiert auf Erdbebeningenieurwesen, Doktor der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich, zur Zeit Präsident der Europäischen Vereinigung für Erdbebeningenieurwesen;
- Corinne LACAVE, Seismologin, Doktor der Universität Joseph Fourier, Grenoble, Mitglied der Schweizer Expertenkommission "Plattform Naturgefahren".

Die Lebensläufe der Autoren können auf der Webseite von Résonance SA eingesehen werden.

1.5 Terminologie

Im folgenden wird strikte zwischen Erdbebengefährdung, Erdbebenverletzlichkeit und Erdbebenrisiko unterschieden:

- Die Erdbebengefährdung ist ein Mass für die Erdbebenstärke, die an einem bestimmten Ort – in der Regel mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit – erreicht oder überschritten wird; sie ist unabhängig vom betrachteten Bauwerk.
- Die Erdbebenverletzlichkeit ist das Schadensausmass eines Bauwerks oder einer Anlage in Abhängigkeit der Erdbebenstärke.
- Das Erdbebenrisiko schliesslich ist das Produkt aus Erdbebengefährdung und -verletzlichkeit.

Ein Glossar am Ende der Expertise gibt die vollständigen Bezeichnungen der als Abkürzungen zitierten Institutionen.

1.6 Grundphilosophie und Struktur der Expertise

1.6.1 Behandlung der seismologischen Fragen

Die unter Punkt 1.2.1 vorgestellten Fragen zielen darauf ab, die Erdbebengefährdung, wie sie zur Zeit des Baus des KKW Fessenheim bestimmt worden ist, mit dem heutigen Wissensstand zu vergleichen. Tatsächlich scheint die Erdbebengefährdung seinerzeit unterschätzt worden zu sein, wie dies fast überall in Zentraleuropa der Fall ist. Die französischen KKW werden aber periodisch vertieften Überprüfungen unterzogen, Zehnjahresüberprüfungen genannt ("visite décennale"). Im Rahmen dieser Zehnjahresüberprüfungen wird auch die Erdbebengefährdung neu bestimmt.

Für Fessenheim sind zur Zeit die Studien zur Vorbereitung der 3. Zehnjahresüberprüfung im Gang. Es dürfte deshalb interessanter sein zu untersuchen, ob die Neubestimmung der Erdbebengefährdung für die 3. Zehnjahresüberprüfung dem heutigen Wissensstand entspricht. Die vorliegende Expertise ist deshalb mehr auf die Beurteilung der heutigen anstelle der ursprünglichen Bestimmung der Erdbebengefährdung ausgerichtet. Wir interessieren uns insbesondere für die Frage, ob die aktuellen französischen Vorschriften auf der Höhe der heutigen wissenschaftlichen Kenntnisse sind.

Die Fragen 1, 2 und 3, zitiert in Kapitel 1.2.1, betreffen die Bestimmung der "regionalen" Erdbebengefährdung am betrachteten Standort, unter Berücksichtigung der lokalen Geologie mittels einfacher Klassifikation des Bodentyps, aber ohne vertiefte Studie des Einflusses der lokalen Geologie auf die Bodenbewegungen bei einem Erdbeben. Diese Fragen werden in Kapitel 2 unter dem Titel "Regionale Gefährdung" diskutiert.

Die Fragen 1, 2 und 3 sind die Fragen, die in der vorliegenden Expertise am detailliertesten diskutiert werden, und dies aus zwei Gründen:

- Die Kenntnis-Unschärfen sind in diesem Bereich besonders gross und die Experteneinschätzungen spielen daher eine ausschlaggebende Rolle. Folglich bringt es wenig, wenn wir eine weitere Expertenmeinung anpreisen. Die Expertise entwickelt deshalb hier vielmehr eine Gesamtschau über die Meinungen der verschiedenen Expertengruppen, die dieses Problem in letzter Zeit behandelt haben.
- Ein Grossteil der Informationen, die notwendig waren, um eine Bilanz aufzustellen, konnte entweder in der öffentlichen Literatur gefunden werden oder in den PEGASOS-Berichten, die zwar noch nicht formell publiziert, aber von "swissnuclear" für die vorliegende Expertise zur Verfügung gestellt wurden.

In diesem Zusammenhang können und müssen weitere Fragen gestellt werden, um beurteilen zu können, ob die regionale Gefährdung, die für die Bemessung oder Überprüfung des KKW Fessenheim berücksichtigt wurde bzw. wird, in bezug auf den heutigen Wissensstand angemessen ist. Deshalb werden in Kapitel 2 zu den Fragen 1, 2 und 3 ergänzende Fragen aufgeworfen und behandelt.

Die Fragen 4 und 5 sprechen den spezifischen Einfluss der lokalen Geologie auf die Bodenbewegungen an. Das Kapitel 3 mit dem Titel "Standorteffekte" ist diesem Thema gewidmet.

Die Frage 6 hinterfragt, ob die französischen Methoden zur Bestimmung der Erdbebengefährdung für einen nuklearen Standort in bezug auf den aktuellen inter-

nationalen Stand der Wissenschaft angemessen ist. Diese Frage wird in Kapitel 4 behandelt, unter dem Titel "Diskussion der RFS2001-01".

1.6.2 Behandlung der Fragen des Erdbebeningenieurwesens

Was die Fragen des Erdbebeningenieurwesens anbelangt (Fragen 7 bis 10), war es nicht möglich, an spezifische Informationen heranzukommen, die das KKW Fessenheim betreffen. Folglich wird nur eine allgemeine Diskussion der Entwicklung des Erdbebeningenieurwesens und ihrer Konsequenzen möglich sein, die in Kapitel 5 dargelegt wird.

2. Regionale Gefährdung

Das vorliegende Kapitel diskutiert die seismologischen Fragen 1, 2 und 3. Vorgängig aber ist es hilfreich, die wesentlichen Schritte der französischen Methode zu erklären, die zur Bestimmung der Erdbebengefährdung für Kernkraftwerke verwendet wird.

2.1 Französische Methode zur Bestimmung der Erdbebengefährdung

Einzig die wichtigsten Elemente der Methode werden hier vorgestellt, so dass die Bedeutung später aufgeworfener Punkte beurteilt werden kann; diese Methode wird in allen Details in der Grundregel der Sicherheit ("Règle fondamentale de sûreté", RFS) 2001-01 (30) definiert. Es handelt sich um eine deterministische Methode, im Gegensatz zu probabilistischen Methoden, die heutzutage die Referenz darstellen.

In einem ersten Schritt wird die Tektonik und die Seismizität der Umgebung eines gegebenen Standorts untersucht. In den Gebieten mit geringer Deformationsrate der Erdkruste, wie in Zentraleuropa, ist die Wiederkehrperiode starker Erdbeben gross. Folglich sind nur wenige starke historische Erdbeben bekannt, und es ist deshalb oft schwierig, die aktiven Verwerfungen zu identifizieren. Deshalb wird die Umgebung eines untersuchten Standorts meistens in sogenannte seismotektonische Zonen mit je homogenem seismischem Potential unterteilt. Anschliessend wird das maximale historisch bekannte Erdbeben für jede Zone bestimmt, ausgehend von einem Katalog historischer Erdbeben und eventuell mit Hilfe ergänzender paläoseismischer Forschungsarbeiten (Suche geologischer oder morphologischer Spuren vorgeschichtlicher Erdbeben).

Die zweite Etappe besteht darin, das "maximale historisch wahrscheinliche Erdbeben" ("séisme maximal historiquement vraisemblable", "SMHV") für jede seismotektonische Zone um den Standort herum zu definieren. Dies wird in folgender Weise angestellt: In der tektonischen Zone, zu welcher der Standort gehört, wird vorausgesetzt, das maximale historisch bekannte Erdbeben könne in der Vertikalen unter dem Standort auftreten. Für die übrigen Zonen wird angenommen, das maximale historisch bekannte Erdbeben könne an jenem Punkt der Zone auftreten, der dem Standort am nächsten ist. Die genaue Lage der seismotektonischen Grenzen, im besonderen bei der Zone mit dem stärksten SMHV, kann damit im Rahmen der beschriebenen Methode sehr wichtig sein.

In einem dritten Schritt wird das SMHV, das im betrachteten Standort die grösste Intensität bewirkt, beibehalten. Es wird um eine Stufe auf der Intensitätsskala, oder um einen halben Punkt auf der Magnitudenskala, verstärkt, um so das Referenzbeben zu erhalten, das sogenannte "vergrösserte Sicherheitsbeben" ("séisme majoré de sécurité", "SMS"), definiert über eine Magnitude, eine Distanz und eine Herdtiefe.

Die vierte Etappe besteht darin, für das SMS die Erdbebenbewegungen am betrachteten Standort mit Hilfe sogenannter Abminderungsbeziehungen zu berechnen. Es handelt sich um Korrelationen, die sich aus der statistischen Untersuchung einer grossen Zahl von Erdbebenaufzeichnungen ergeben. Diese Beziehungen liefern die Charakteristiken der Bodenbewegung (z.B. die spektralen Bodenbeschleunigungen) in Funktion der Magnitude und der Distanz eines Erdbebens sowie in Abhängigkeit der Bodenklasse (typischerweise "Fels", "steifer" und "weicher Boden") am betrachteten Standort. In der Literatur lassen sich zahlreiche Abminderungsbeziehungen mit manchmal erheblichen Unterschieden untereinander finden. Allen gemeinsam ist, dass die Streuung der Charakteristiken der Bodenbewegung sehr ausgeprägt ist, mit einer Standardabweichung (einer Log-Normalverteilung), die beinahe einem Faktor 2 entspricht. Die RFS2001-01 definiert, wie die Korrelationskoeffizienten zu bestimmen sind; eine entsprechende Beziehung wurde vom IRSN (Berge-Thierry et al., 2000) (39) erarbeitet. Gemäss Publikation (31) wird einzig und allein diese Beziehung für die französischen KKW verwendet.

Für die Bestimmung der Gefährdung an einem gegebenen Standort wird die Beziehung verwendet, die Mittelwerten entspricht.

Die Elemente der Methode, die das Schlussresultat am stärksten beeinflussen, sind:

- die Definition der seismotektonischen Zonen, und insbesondere derer Grenzen, da angenommen wird, das SMS könne innerhalb der zugehörigen Zone an jenem Punkt auftreten, der dem betroffenen Standort am nächsten liegt,
- die Unschärfe der Abminderungsbeziehung(en),
- die Unschärfen der Bestimmung der Charakteristiken des SMS (Magnitude, Herdtiefe).

2.2 Berücksichtigung des Basler Erdbebens von 1356

Aus (1) geht hervor, dass schon 2002, anschliessend an die Inkraftsetzung der RFS2001-01, EDF sowie das IRSN die Erdbebengefährdung für zahlreiche KKW neu bestimmt haben, und insbesondere auch für das KKW Fessenheim. Dabei zeigt sich, dass das Basler Erdbeben von 1356 für die Gefährdung in Fessenheim massgebend wird (für das IRSN nur bei den tiefen Frequenzen, siehe Diskussion in Kapitel 2.3). Es ist daher wesentlich, die Distanz zum KKW zu bestimmen, in der die Grenze der seismotektonischen Zone anzunehmen ist, die dieses Erdbeben enthält (da dieses Erdbeben, gemäss RFS2001-01, an jedem Punkt dieser Zone auftreten kann), sowie die Magnitude, die diesem Erdbeben zugeschrieben wird.

Wiederum gemäss (1) hat EDF das Erdbeben, das dem Basler Beben entspricht, 34 km im Süden des KKW Fessenheim angenommen, mit einer Magnitude unspezifizierter Art (wahrscheinlich M_s) von $M = 6.2$, und das IRSN 29 km im Süden, mit einer Magnitude von $M = 6.0$. Dies bedeutet, dass sich die Verfasser dieser Studien sicher sind, dass ein dem Basler Beben von 1356 analoges Erdbeben

zwingend im Bereich der Interaktion des Rheingrabens (N-S-Verwerfungen) mit dem Permo-Karbon-Trog (E-W-Verwerfungen) südlich von Basel auftreten müsste und somit in unmittelbarer Umgebung von Fessenheim ausgeschlossen werden kann. Dieser Standpunkt wird hier mit demjenigen von Expertengruppen verglichen, die in letzter Zeit mit mehr oder weniger derselben Fragestellung konfrontiert waren.

Sämtliche nachfolgenden Vergleiche beziehen sich auf nationale oder regionale Studien, welche nicht auf die spezifische Frage der Erdbebengefährdung in Fessenheim ausgerichtet waren. Die Grenzen der seismotektonischen Zonen wurden deshalb nicht unbedingt mit derselben Präzision gezogen, die für eine spezifische Studie für den Standort Fessenheim notwendig gewesen wäre. Die PEGASOS-Studie, zum Beispiel, war den Standorten der Schweizer KKW gewidmet, und in diesem Kontext war die genaue Lage der nördlichen Grenze der Zone, die das Basler Beben von 1356 enthält, nicht so entscheidend, wie dies für eine Studie für Fessenheim der Fall gewesen wäre. Folglich darf die Distanz dieser Grenze zum KKW Fessenheim nicht als auf den Kilometer genau interpretiert werden. Die Grössenordnung bleibt aber gültig – eine Differenz zwischen wenigen Kilometern und 30 km Distanz bis zum KKW Fessenheim kann gleichwohl als signifikant betrachtet werden.

2.2.1 Französische Studien

BRGM 1998

1998 hat das BRGM eine seismotektonische Zonierung von Frankreich ohne Überseegebiete ((22), siehe auch (23) und (24)) publiziert, die für die Anwendung der Erdbebenvorschriften für klassierte Anlagen mit besonderem Gefahrenpotential für die Umwelt bestimmt war. Es handelte sich um ein deterministisches Vorgehen, basierend auf einer seismotektonischen Analyse gemäss der Verordnung ("arrêté") vom 10. Mai 1993 – ähnlich dem Vorgehen nach der RFS2001-01.

In dieser Studie wurde das Basler Beben von 1356 dem "System seismogener Strukturen S19" zugeordnet, entsprechend einer "Transitionszone östlicher Jura – Rheingraben", deren Nordgrenze etwa von Montbéliard über Basel bis Waldshut verläuft. Die Mindestdistanz zwischen der Nordgrenze und dem KKW Fessenheim liegt demnach in der Grössenordnung von 30 km. Das Basler Beben ist mit einer makroseismischen Magnitude von $M = 6.2$ berücksichtigt worden.

GEO-TER 2002

Im Jahre 2002 hat GEO-TER eine probabilistische Studie der Erdbebengefährdung beendet. Diese wurde im Hinblick auf die Änderung der Erdbebenzonierung von 1985 durchgeführt, die mit der Inkraftsetzung der Norm Eurocode 8 vorgesehen ist. Diese Studie wurde von einer Expertengruppe sowie vom IRSN eng begleitet. Es darf deshalb gefolgert werden, dass die wesentlichsten Elemente dieser Studie einem gewissen Konsens unter den französischen Experten entsprechen.

Die probabilistische Studie basiert auf zwei alternativen seismotektonischen Zonenmodellen für Frankreich ohne Überseegebiete; das eine Modell weist 52, das andere 25 Zonen auf. Das erste Modell berücksichtigt die Komplexität der Strukturen, der Deformationsmechanismen und der beobachteten Erdbebenaktivität, während das zweite insbesondere mehr auf die Deformationsregime in regionalem Massstab und auf die tektonische Vergangenheit ausgerichtet ist.

In beiden Modellen ist die Zone, die das Basler Beben von 1356 enthält, identisch. Sie ist ähnlich der BRGM-Studie von 1998, aber erstreckt sich leicht weiter nördlich. Die Distanz zwischen ihrer Nordgrenze und dem KKW Fessenheim beträgt ungefähr 20 km. Das Basler Beben wird mit einer Magnitude von $M_L = M_S = 6.2$ berücksichtigt, was praktisch einer Momentmagnitude von $M_w = 6.0$ entspricht (27).

2.2.2 Deutsche Studien

GFZ 2006

Die derzeitige Erdbebenzonierung Deutschlands in der Norm DIN 4149 beruht auf einer seismotektonischen Zonierung, die im Dokument (26) vorgestellt worden ist. Vor kurzem wurde eine neue, vom GeoForschungszentrum Potsdam durchgeführte probabilistische Studie präsentiert (Dokument (28) von 2006). Sie benutzt eine tektonische Zonierung grossen Massstabs ohne Berücksichtigung der Seismizität, mit einem Gewicht von 15 %, sowie drei untereinander gleich gewichtete, kleinmassstäbliche Modelle, basierend auf der räumlichen Verteilung der Seismizität, mit einem Gesamtgewicht von 85 %. Die drei kleinmassstäblichen Modelle sind:

- das Modell der älteren Studie von Ahorner und Rosenhauer (1986),
- die Zonierung von Grünthal et al. des Dokuments (26) (1998),
- und das Modell von Grünthal (2004), basierend auf einer neotektonischen Studie von Wetzel und Franzke (2004).

Im grossmassstäblichen Modell, das eine einzige Zone für den Rheingraben enthält, ist das Basler Beben von 1356 der Zone Jura zugeordnet, deren Nordgrenze sich im Süden der Stadt Basel befindet, mit einer Distanz zum KKW Fessenheim im Bereich von 30 bis 40 km.

Die drei kleinmassstäblichen Modelle weisen eine besondere Zone für die Region Basel auf. Die Nordgrenze befindet sich in einer Distanz zum KKW Fessenheim, die 15 bis 20 km (Grünthal, 2004) bis zu 25 bis 30 km (Grünthal et al., 1998) beträgt.

Die dem Basler Beben von 1356 zugeordnete Magnitude beträgt $M_w = 6.6$.

2.2.3 Schweizer Studie

SED 2004

Die letzte Erdbebengefährdungsstudie der Schweiz wurde 2004 vom Schweizerischen Erdbebendienst publiziert. Sie ist praktisch identisch mit derjenigen, die der seismischen Zonierung der Norm SIA 261 von 2003 zugrunde liegt.

Die probabilistische Studie wurde mit Hilfe zweier seismotektonischer Zonierungen durchgeführt. Die eine basierte hauptsächlich auf der historischen Seismizität, mit 26 Zonen, während die andere davon ausging, dass die Seismizität an die grossen tektonischen Einheiten gebunden ist und damit nur 12 Zonen aufwies. Beide Zonierungen enthalten eine Zone für die Region Basel, die bei der tektonischen Zonierung in E-W-Richtung etwas weiter reicht, während die Nordgrenze in beiden Fällen etwa identisch ist, mit einer Distanz zwischen 10 und 20 km bis zum KKW Fessenheim.

Für das Basler Beben von 1356 wurde eine Magnitude von $M_w = 6.9$ angenommen. Dieser Wert wird von einer neuen, vertieften historischen und archäologischen Studie des SED bestätigt. Diese Studie, deren Gesamtaufwand vier Arbeitsjahre

betrug und die sich zur Zeit in der Abschlussphase befindet, ist zum Schluss gekommen, dass die Magnitude M_w zwischen 6.7 und 7.1 gelegen haben muss (persönliche Mitteilung des SED).

2.2.4 Studie PEGASOS

Die PEGASOS-Studie, die in der Schweiz in den Jahren 2002 bis 2004 durchgeführt wurde, hatte die probabilistische Bestimmung der Erdbebengefährdung für die vier nuklearen Standorte in der Schweiz zum Ziel. Drei dieser vier Standorte befinden sich im Nordwesten der Schweiz. Eine realistische Berücksichtigung des Basler Bebens von 1356 war deshalb im Rahmen dieser Studie relativ wichtig.

Die PEGASOS-Studie wurde nach den strengsten Regeln der Richtlinien des SSHAC (Senior Seismic Hazard Assessment Committee, beratendes Gremium des U.S. Nuclear Regulatory Committee), gemäss der sogenannten Stufe 4, durchgeführt. Der Gesamtaufwand lag in der Grössenordnung von 10 Mio Schweizer Franken. Sämtliche Eingangsparameter für die Gefährdungsberechnungen mussten von unabhängigen Experten bestimmt werden. Ein Total von 21 Experten hat in drei Teilprojekten gearbeitet: Diese betrafen die Quellencharakterisierung (vier Gruppen zu je drei Experten), Abminderungsbeziehungen (fünf Experten) und Standorteffekte (vier Experten). Innerhalb jedes Teilprojektes haben die Experten sämtliche zur Verfügung stehenden Informationen untereinander ausgetauscht und diskutiert. Die Animation der Teilprojekte wurde von auf internationaler Ebene anerkannten amerikanischen Experten sichergestellt. Zahlreiche zusätzliche Experten wurden im Laufe der Studie eingeladen, um verschiedene wissenschaftliche Aspekte und Standpunkte vorzustellen.

Es ist wichtig zu wissen, dass die 21 Experten nicht gefragt wurden, ihre persönlichen Ansichten zu vertreten, sondern ihre Sicht der Kenntnisse und Auffassungen der "informierten wissenschaftlichen Gemeinschaft" darzulegen. In Übereinstimmung mit der Philosophie einer strikt probabilistischen Studie wurden die Experten immer und immer wieder darauf aufmerksam gemacht, dass es nicht statthaft war, Parameter "auf der sicheren Seite" festzulegen, sondern dass immer "bestmögliche Schätzungen", mit einer Angabe ihrer Unschärfen, anzugeben waren. Die Animatoren unterstrichen immer wieder, dass weder die aleatorischen (entsprechend den den physikalischen Prozessen inhärenten Variationen) noch die epistemischen (infolge unvollständiger Kenntnis oder mangelhafter Modelle der physikalischen Prozesse) Unschärfen unterschätzt werden sollten.

Allein für die Definition der Quellencharakteristiken, den Aspekt, der uns hier interessiert, wurden 2100 Arbeitstage vergütet – und zusätzlich wurden von den Experten noch unzählige Arbeitstage über das Budget hinaus, ohne Bezahlung, geleistet. Diese Anzahl Arbeitstage liegt höchst wahrscheinlich um eine Grössenordnung höher als die Anzahl Arbeitstage, die für die Quellencharakterisierung irgendeiner der oben zitierten Studien zur Verfügung stand. Wir denken deshalb, dass die Zuverlässigkeit der Resultate von PEGASOS höher einzustufen ist als diejenige der anderen Studien.

Vier Gruppen mit je drei Experten (GE-1a, GE-1b, GE-1c und GE-1d) haben seismotektonische Zonierungen entwickelt, und jede Gruppe hatte die Freiheit, mehrere Modelle vorzuschlagen (51). Das Wesentliche dieser Zonierungen in bezug auf das hier diskutierte Thema wird im folgenden vorgestellt.

Expertengruppe 1a

Die Expertengruppe GE-1a hat der Möglichkeit, dass das Basler Beben von 1356 auf eine Reaktivierung der E-W-orientierten Verwerfungen des Permo-Karbon-Troges im Süden Basels zurückzuführen ist, ein Gewicht von 30 % zugeordnet. In diesem Fall betrüge die kürzeste Distanz zum KKW Fessenheim mehr als 30 km.

Ein Gewicht von 70 % wurde der Alternative gegeben, nach der die mehr oder weniger N-S-orientierten rheinischen Verwerfungen Ursprung des Bebens von 1356 waren. Drei Untervarianten wurden für diesen Fall erarbeitet. Die minimale Distanz zwischen der Grenze der Zone, in welcher ein zum 1356er-Ereignis analoges Beben auftreten könnte, und dem KKW Fessenheim wurde mit einem Gewicht von 44 % auf die Größenordnung von nur 2 bis 5 km geschätzt. Bei den anderen beiden Untervarianten, mit einem Gesamtgewicht von 26 %, betrüge die kürzeste Distanz etwa 15 km.

Die Magnitude $M_w = 6.9$ des Bebens von 1356, wie vom SED vorgeschlagen, wurde von dieser Expertengruppe nicht in Frage gestellt.

Expertengruppe 1b

Für die Expertengruppe GE-1b beträgt die kürzeste Distanz zwischen der Grenze der Zone, in der ein zum 1356er-Ereignis analoges Beben auftreten könnte, und dem KKW Fessenheim 5 bis 10 km, mit einem Gewicht von 40 %. Ein Gewicht von 60 % wurde der Variante zugeschrieben, nach der das Basler Beben zwingend an die tektonischen Strukturen im Süden Basels gebunden ist, mit einer Distanz zum KKW Fessenheim von 30 bis 40 km.

Die Magnitude $M_w = 6.9$ für das Beben von 1356, wie vom SED vorgeschlagen, wurde auch von dieser Expertengruppe nicht in Frage gestellt.

Expertengruppe 1c

Die Expertengruppe GE-1c hat eine seismotektonische Zone um Basel herum eingeführt, die bei allen Varianten ihrer seismotektonischen Zonierung unverändert bleibt. Diese Zone hat eine nicht-uniforme Seismizität, mit einer maximalen Dichte in der Mitte und einer Gauss'schen Abnahme zu den Rändern hin, wobei eine Abnahme entsprechend einer Standardabweichung 10 km vom Zentrum entfernt erreicht wird.

Betrachtet man eine Abnahme entsprechend zwei Standardabweichungen als effektive Zonengrenze, so würde sich diese in ungefähr 10 km vom KKW Fessenheim befinden.

Diese Expertengruppe hat für die Magnitude des 1356er-Bebens einen Wert von $M_w = 6.5$ bis 6.9 berücksichtigt.

Expertengruppe 1d

Die Expertengruppe GE-1d hat die Strategie verfolgt, nur Zonen abzugrenzen, falls überzeugende Gründe dies verlangen, mit der Begründung, dass Fluktuationen in der Erdbebenhäufigkeit vorübergehend sein können und deshalb kaum Vorhersagekraft haben. Demnach arbeitet die GE-1d mit eher ausgedehnten seismotektonischen Zonen, führt aber die Möglichkeit einer inhomogenen räumlichen Verteilung innerhalb der Zonen ein. Ein direkter Vergleich mit einer klassischen

deterministischen Zonierung, mit homogener Verteilung der Seismizität pro Zone, ist deshalb nur bedingt möglich.

In ihrem Bericht halten die Experten der GE-1d fest, dass sie glauben, ein Erdbeben wie dasjenige von 1356 könne überall in der seismotektonischen Zone "Südlicher Rheingraben" auftreten. In diesem Fall könnte ein solches Beben auf der Vertikalen unter dem KKW Fessenheim auftreten.

Die anderen Varianten entsprechen grösseren Distanzen zwischen einem Beben analog zu demjenigen von 1356 und dem KKW Fessenheim, von 20 bis zu über 30 km.

Eine Magnitude von $M_w = 6.5 \pm 0.5$ wurde von dieser Expertengruppe für das 1356er-Beben angenommen.

2.2.5 Schlussfolgerungen

Auf die Fragen 1, 2 und 3, zitiert in Kapitel 1.2.1, können folgende Antworten gegeben werden:

Frage 1 Inwiefern ist ein Erdbeben von der Stärke Basel 1356 (Referenzerdbeben) mit Epizentrum in der unmittelbaren Umgebung des AKW Fessenheim weniger wahrscheinlich als an andern Orten am Oberrhein? Existieren wissenschaftliche Grundlagen, die es rechtfertigen, das Epizentrum eines hypothetischen Erdbebens für die Beurteilung der Erdbebengefährdung in Fessenheim auf jene Erdbebenzone zu beschränken, in welcher das Referenzbeben historisch stattfand?

Die meisten Experten sind überzeugt, dass ein Erdbeben analog zu demjenigen von 1356 zwingend an die tektonische Schwächezone gebunden ist, die mit der Interaktion zwischen dem Oberen Rheingraben und dem Permo-Karbon-Trog einhergeht. Einige unter ihnen, insbesondere die französischen Experten, schliessen daraus, dass sich ein solches Beben automatisch im Süden der Stadt Basel befinden muss, in mindestens 30 km Distanz zum KKW Fessenheim. Zahlreiche andere Experten jedoch – zwei PEGASOS-Expertengruppen und die Verfasser der neuesten nationalen Studien für Deutschland und für die Schweiz – ziehen die Grenze der entsprechenden Zone weiter nördlich, mehrheitlich zwischen 10 und 20 km südlich vom KKW Fessenheim.

Zwei von vier PEGASOS-Expertengruppen denken, es sei unmöglich auszuschliessen, dass ein Beben analog zu demjenigen von 1356 in der unmittelbaren oder näheren Umgebung des KKW auftreten könnte, wobei sie dieser Hypothese ein Gewicht von 0.3 bis 0.4 zumessen.

Es folgt daraus, dass sich eine Distanz zum KKW Fessenheim von 34 km, und selbst von 29 km (Studien der EDF bzw. des IRSN, zitiert in der Einleitung zu Kapitel 2.2) am optimistischen Ende des von den verschiedenen Experten erwähnten Wertebereichs befindet. Folglich müssen die Distanzen von 34 und 29 km im Rahmen einer deterministischen Sicherheitsstudie als überschätzt eingestuft werden. Zumindest wären sehr umfangreiche tektonische Forschungsarbeiten notwendig, um – eventuell – geringere Distanzen ausschliessen zu können.

Frage 2 Mit welcher Präzision lassen sich im Gebiet des Oberrheins überhaupt Erdbebenzonen voneinander abgrenzen? Entspricht die Abgrenzung von Erdbebenzonen, wie sie zum Zeitpunkt der Errichtung des AKW Fessenheim aktuell war, noch dem heutigen Stand des Wissens?

Die Schweizer Gefährdungsstudie (29) gibt eine prägnante Antwort: "Es gibt keine ideale und anerkannt einzig richtige Methode, eine seismotektonische Zonierung zu erstellen; die Zonierung enthält einen inhärenten Teil an 'expert judgment'. Es ist deshalb wichtig, die Unsicherheit jeglicher Zonierung zu erfassen." Die meisten Experten in Seismotektonik wären ohne Zweifel mit dieser Formulierung einverstanden.

Tatsächlich scheinen die vor ungefähr 2002 durchgeführten Studien die Möglichkeit eines Bebens analog zu demjenigen von 1356 tendenziell auf eine Zone südlich von Basel zu beschränken, während die Verfasser der neueren Studien ein solches Beben in einem – ein wenig bis deutlich – grösseren geographischen Raum für möglich halten.

Frage 3 Würde die Stärke des Referenzbebens für das AKW Fessenheim heute nach andern Kriterien festgelegt, als dies zum Zeitpunkt der Errichtung von Fessenheim der Fall war?

Zur Zeit des Baus des KKW Fessenheim wurde die Erdbebengefährdungsstudie mit einer makroseismischen Intensität, ohne explizite Definition der zugehörigen Magnitude, durchgeführt. Zu erwähnen ist jedoch, dass das Basler Beben von 1356 in den französischen Katalogen seit langem (siehe z.B. in (21), aus dem Jahre 1996) mit der makroseismischen Magnitude von 6.2 aufgelistet ist, was ungefähr einer Moment-Magnitude M_w von 6.0 entspricht (27). Nur, der aktuelle deutsche Katalog (27) führt dieses Erdbeben mit einer Magnitude $M_w = 6.6$ und der aktuelle Schweizer Katalog mit einer Magnitude $M_w = 6.9$ auf. Eine vertiefte Studie des SED, die in der Abschlussphase steht, bestätigt im wesentlichen einen Wert in der Nähe von $M_w = 6.9$ (siehe Kapitel 2.2.3).

Wiederum: Im Rahmen einer deterministischen Sicherheitsstudie ist es wissenschaftlich nicht vertretbar, den optimistischsten Wert einer Serie unsicherer Werte zu verwenden, und dies um so weniger, als es sich mit $M = 6.2$ um einen Wert handelt, der signifikant tiefer liegt als die Einschätzungen der Experten der anderen Länder, die vom 1356er-Beben betroffen sind.

2.3 Berücksichtigung eines lokalen Erdbebens

Aus den Dokumenten (1), (2) sowie (54) geht hervor, dass sich das IRSN und EDF über die Interpretation eines wichtigen Punktes der RFS2001-01 nicht einig sind. Das IRSN verlangt, dass bei der Bestimmung der Erdbebengefährdung in Form eines Antwortspektrums für die Überprüfung des KKW Fessenheim ein lokales Erdbeben mitberücksichtigt wird. EDF hingegen berücksichtigt kein solches lokales Erdbeben.

Studiert man die RFS2001-01, so stellt man fest, dass diese im Kapitel 2, "Grundzüge des Regelwerkes" ("Enoncé de la règle") festschreibt:

"... das Regelwerk basiert auf der Definition der Charakteristiken der 'Maximalen Historisch Wahrscheinlichen Erdbeben' ('Séismes Maximaux Historiquement Vraisemblables', SMHV) als die 'Erdbeben mit den stärksten Auswirkungen' ('séismes les plus pénalisants'), die während einer Zeitspanne auftreten könnten, für die historische Erdbeben überliefert sind, also während ungefähr 1000 Jahren."

Später, in Kapitel 2.1 des Anhanges, steht geschrieben:

"Dieses Vorgehen erlaubt, für den anvisierten Standort ein oder mehrere Maximale Historisch Wahrscheinliche Erdbeben (SMHV) zu definieren, welche das oder die Erdbeben sind ... die am Standort die grössten Effekte im Sinne der makroseismischen Intensität ergeben könnten."

Das Problem ist, dass diese Formulierungen nicht äquivalent sind (es aber mehr oder weniger waren in bezug auf die Praxis der 60er- bis 80er-Jahre). Es ist nämlich möglich, dass ein Fernbeben, das heisst ein vom betrachteten Standort entferntes Beben, mit relativ grosser Magnitude eine grössere makroseismische Intensität am Standort ergibt als ein Nahbeben mit moderater Magnitude, dass aber das Nahbeben gleichwohl im Bereich der für Anlagen oft massgebenden hohen Frequenzen höhere Spektralbeschleunigungen bewirkt. Dies ist eine durchaus typische Situation, und genau dieser begegnet man bei der Definition der Erdbebengefährdung für das KKW Fessenheim.

In den Grundzügen der RFS2001-01 ist die Rede von "*Erdbeben mit den stärksten Auswirkungen*" ("*séismes les plus pénalisants*"). Nun ist heutzutage allgemein anerkannt, dass, für jede Frequenz genommen, das Erdbeben, das die höchsten Spektralbeschleunigungen hervorruft, das Erdbeben mit den (für diese Frequenz) stärksten Auswirkungen ist. Folglich ist es möglich, dass je nach betrachteter Frequenz das eine oder das andere, das ferne oder das nahe Beben, massgebend ist. Demzufolge ist es unerlässlich, auch ein lokales Beben bei der Bestimmung der Erdbebengefährdung für das KKW Fessenheim zu berücksichtigen, und dies um so mehr, als die Auftretenswahrscheinlichkeit eines solchen Bebens, mit moderater Magnitude, deutlich höher ist als die Auftretenswahrscheinlichkeit eines Bebens analog zu demjenigen von 1356.

EDF zieht nur das Basler Erdbeben von 1356 und kein Lokalbeben als Referenzbeben in Betracht. Tatsächlich bezieht sich EDF auf die Formulierung des Anhangs, nach welcher es genügt, nur das Erdbeben zu berücksichtigen, welches die stärkste Intensität am betrachteten Standort bewirkt. Nur, diese Formulierung ist ein Überbleibsel aus den 60er- bis 80er-Jahren und, nach heutigem Kenntnisstand, keineswegs konform mit den "Grundzügen des Regelwerks". Folglich muss die RFS2001-01 entweder gemäss ihren Grundzügen angewendet oder aber dringend modifiziert werden. Tatsächlich führt die Haltung von EDF auf ein Spektrum, das für die höheren Frequenzen einer Wiederkehrperiode von deutlich weniger als 1000 Jahren entspricht, während es auf internationaler Ebene verbreitet ist, für ein KKW eine Wiederkehrperiode in der Grössenordnung von 10'000 Jahren oder mehr zu berücksichtigen (46).

Gemäss der Antwort der ASN auf unsere Fragen (54) scheint diese die Frage des Lokalbebens für Fessenheim noch nicht endgültig entschieden zu haben. Sie legt aber gleichwohl dar, dass die Haltung von EDF "... in der Form die RFS2001-01 erfüllt", was wir ernsthaft in Zweifel ziehen. Im Gegenteil, die Haltung von EDF widerspricht den Grundzügen des Regelwerkes.

Angesichts der bisherigen Ausführungen können wir die Schlussfolgerung einer Stellungnahme des BERRSIN (IRSN) nur unterstützen, die 2003 herausgegeben und in der Antwort der ASN auf unsere Fragen zitiert wurde (54): "...die Erarbeitung der Erdbebengefährdung nach der RFS2001-01 durch EDF für den Standort Fessenheim ist nicht akzeptierbar." Wir sind zutiefst überzeugt, dass 95 % aller unabhängigen Ingenieurseismologen mit dieser Ansicht einverstanden wären.

Es ist im übrigen interessant festzuhalten, dass gemäss Dokument (44) für das KKW Chinon ein Lokalbeben berücksichtigt worden ist. Nichts rechtfertigt, dies nicht auch für das KKW Fessenheim zu tun.

2.4 Angemessenheit der verwendeten Abminderungsbeziehung

Die seismischen Bodenbewegungen am betrachteten Standort berechnen sich, für eine gegebene Magnitude und Distanz, mit Hilfe sogenannter Abminderungsbeziehungen (siehe Kapitel 2.1). Es handelt sich um statistische Korrelationen, basierend auf einer grossen Anzahl von Erdbebenaufzeichnungen. In der Literatur lassen sich zahlreiche Abminderungsbeziehungen mit manchmal erheblichen Unterschieden untereinander finden.

Es stellt sich hier die Kernfrage, ob die von der RFS2001-01 vorgeschriebene Abminderungsbeziehung, Berge-Thierry et al. (2000), angemessen ist und dem heutigen Stand der Kenntnisse entspricht.

Die fünf europäischen Experten (von denen keiner Schweizer war) des PEGASOS-Teilprojektes II, "Charakterisierung der Bodenbewegungen", haben die Frage untersucht, welche Abminderungsbeziehungen für Zentraleuropa die geeignetsten sind; sie hatten hierfür ein kumuliertes Budget von mehreren hundert Arbeitstagen zur Verfügung.

Es war den Experten freigestellt, so viele Abminderungsbeziehungen vorzuschlagen, wie sie für angemessen hielten. Unter all diesen ordneten die Experten das höchste Gewicht den folgenden vier zu:

- Abrahamson und Silva (1997) (36) (3 von 5 Experten)
- Ambraseys et al. (1996) (37) (3 von 5 Experten)
- Berge-Thierry et al. (2000) (39) (3 von 5 Experten)
- Campbell und Bozorgnia (2003) (40) (2 von 5 Experten)

Einer der Experten hat keine Präferenzen geäussert, sondern einfach eine Liste von als geeignet beurteilten Abminderungsbeziehungen vorgeschlagen; die oben erwähnten vier Beziehungen waren, neben anderen, alle auf seiner Liste.

Die Beziehungen (37) und (40) wurden seither von im wesentlichen denselben Autoren überarbeitet: Ambraseys et al. (2005) (38) und Campbell und Bozorgnia (2006) (41). Bild 1 zeigt einen Vergleich der Antwortspektren, die sich aus den neuesten Versionen dieser vier Beziehungen für ein Erdbeben der Magnitude $M_w = 6.7$ und eine Distanz von 30 km ergeben.

Zuerst einmal kann man feststellen, dass sich das Spektrum, welches sich aus der Beziehung RFS2001-01 (39) ergibt, in der Umgebung der Spektren der anderen Beziehungen befindet. Nichtsdestotrotz lassen sich wesentliche Unterschiede beobachten, bis um einen Faktor 2 für Perioden, die länger als 2 s sind. Deshalb ist es angezeigt, für eine konkrete Studie mehrere Abminderungsbeziehungen zu verwenden.

Die erwähnten Unterschiede zwischen den einzelnen Abminderungsbeziehungen sind allerdings relativ bescheiden im Verhältnis zur Standardabweichung. So stellt sich die Frage, ob es reicht, Mittelwerte der Bodenbewegungen zu berücksichti-

gen, oder ob Mittelwerte plus eine Standardabweichung nicht angemessener wären (siehe Diskussion in Kapitel 4.5).

Die Abminderungsbeziehung (39), die als einzige von der RFS2001-01 zugelassen wird, ist somit akzeptierbar, auch wenn vorzuziehen wäre, sich für eine konkrete Studie auf mehrere Abminderungsbeziehungen abzustützen.

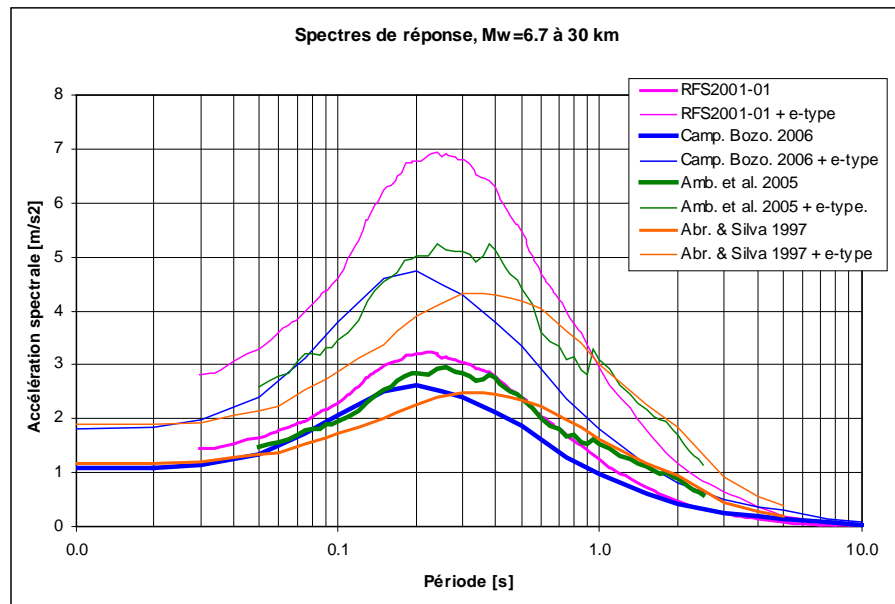


Bild 1 : Vergleich der Antwortspektren, die sich aus den Abminderungsbeziehungen ergeben, denen die PEGASOS-Experten ein erhebliches Gewicht zugemessen haben, für ein Erdbeben der Magnitude $M_w = 6.7$ in 30 km Distanz: Mittelwerte (fetter Strich) und Mittelwerte plus Standardabweichung (feiner Strich) der Abminderungsbeziehungen.

3. Standorteffekte

Der Einfluss der lokalen Geologie auf die seismischen Bodenbewegungen, "Standorteffekte" genannt, kann dramatisch sein. Das wahrscheinlich extremste Beispiel der letzten Jahrzehnte ist Mexico City während des Michoacan-Erdbebens von 1985: Die Bodenbewegungen wurden auf einer Tonablagerung von 30 bis 50 m Mächtigkeit eines ehemaligen Sees in bezug auf einen Felsstandort um einen Faktor 10 und mehr verstärkt.

Die hauptsächlichen Ursachen für Verstärkungen infolge von Standorteffekten sind:

- ausgedehnte, relativ "weiche" Lockergesteinsschichten, die sich über einer wesentlich härteren Unterlage befinden; je ausgeprägter der Unterschied in der Härte – wissenschaftlich spricht man von Impedanzsprung –, desto höher die Wahrscheinlichkeit, dass die seismischen Bodenbewegungen an der Oberfläche wesentlich stärker ausfallen,

- die Geometrie eng eingeschnittener Täler oder Becken mit mehr oder weniger "weichen" Ablagerungen, typischerweise mit einem Verhältnis von Breite zu maximaler Tiefe kleiner als 10, eventuell 20,
- die Topographie, falls diese stark ausgeprägt ist: die Bewegungen werden verstärkt auf Gipfeln und Gräten sowie längs von Kliffs.

Die erste dieser Ursachen ist die bei weitem verbreitetste und damit wichtigste.

Der Einfluss zumindest der ersten Ursache der Standorteffekte ist im statistischen Mittel in den Abminderungsbeziehungen inbegriffen, die für Standorte der Kategorie "Lockergestein" gültig sind, im Gegensatz zu den für Felsstandorte gültigen Beziehungen. Je weicher der Boden, desto bedeutender werden in der Regel die Verstärkungen, und um so problematischer wird es, sich nur auf Mittelwerte abzustützen. Dies ist der Grund, weshalb die RFS2001-01 vorschreibt, dass die Standorteffekte explizit untersucht werden müssen, unter Berücksichtigung der spezifischen lokalen Geologie am betrachteten Standort, sobald die mittlere S-Wellengeschwindigkeit bis in eine Tiefe von 30 m geringer als 300 m/s ist.

Tatsächlich zeigt die Erfahrung, dass eine spezifische Standortstudie in der Regel auf Resultate führt, die nicht allzu sehr von denjenigen abweichen, die sich durch die einfache Anwendung von Abminderungsbeziehungen für die Kategorie "Lockergesteine" ergeben, solange die S-Wellengeschwindigkeit mehr als 300 m/s beträgt und solange es sich weder um ein eng eingeschnittenes Tal noch um eine besondere topographische Konfiguration handelt. Gleichwohl ist erwähnenswert, dass in der Schweiz für alle KKW spezifische Standortstudien durchgeführt worden sind, und zwar schon seit den 70er-Jahren, obwohl die S-Wellengeschwindigkeiten in den obersten 30 m grösser als 300 m/s sind. Das Schweizer Vorgehen ist somit vorsichtiger und gründlicher als dasjenige der RFS2001-01.

Die RFS2001-01 verlangt ebenfalls spezifische Standortstudien im Fall von "besonderen" Standorteffekten:

"In gewissen Sonderfällen kann die komplexe Geometrie sedimentärer Schichten (Vorhandensein einer Topographie oder eines sedimentären Beckens) oder ihre grosse Mächtigkeit zu einer Verstärkung oder zu einer Verlängerung der Dauer der seismischen Bewegung führen. ... In diesen Fällen besonderer Standorteffekte ... werden spezifische Studien notwendig sein..."

Der Boden beim KKW Fessenheim gehört bis in eine Tiefe von ungefähr 50 m der sogenannten Neuenburg-Formation an (33) und besteht aus einem sandigen Kies, mit Horizonten von Steinen und Blöcken. Wir schätzen, dass die mittlere S-Wellengeschwindigkeit bis in eine Tiefe von 30 m klar grösser als 300 m/s ist. Darüber hinaus handelt es sich weder um ein enges Tal noch um eine Topographie, die zu sogenannten topographischen Standorteffekten Anlass gäbe. Folglich ist es gemäss der RFS2001-01 akzeptabel, die Standorteffekte auf vereinfachte Weise mit Hilfe einfacher Abminderungsbeziehungen für die Kategorie "Lockergestein" zu berücksichtigen.

Im Rahmen des Projektes INTERREG III, "Mikrozonierung des südlichen Oberrheingrabens" (55) wurden an drei Stellen um das KKW Fessenheim herum Messungen der ambienten Bodenschwingungen durchgeführt, um die Fundamentalfrequenz des Standortes zu bestimmen. Die Spitzen in den sogenannten H/V-Diagrammen, in denen die Fundamentalfrequenzen abgelesen wurden, sind nicht

genügend klar gemäss den massgebenden Richtlinien (34) in diesem Bereich, als dass eine zweifelsfreie Bestimmung dieser Frequenzen möglich wäre. (Diese Richtlinien wurden nach der Ausführung der zur Diskussion stehenden Messungen, aber vor der Redaktion des Schlussberichtes publiziert.) Tatsächlich sind die von den Spitzen abgeleiteten Frequenzen von 0.12 und 0.15 Hz erstaunlich niedrig in Anbetracht der Standortcharakteristiken (Fels in ungefähr 150 m Tiefe; möglicherweise handelt es sich aber um einen sehr "weichen" Fels, was das Resultat erklären könnte). Im Schlussbericht (55) fehlen jedoch die notwendigen Einzelheiten für eine vertieftere Beurteilung der Resultate.

Aus den Amplituden der Spitzen in den H/V-Diagrammen schliessen die Verfasser des Berichts (55), dass die Amplifikationsfaktoren der Erdbebenwellen – im Vergleich zu einem Felsstandort – nahezu einen Faktor 10 betragen, was eher beunruhigend wäre. Nur, diese Schlussfolgerung ist aus zwei Gründen übereilt: Erstens sind diese Spitzen bei sehr niedrigen Frequenzen zumindest zweifelhaft (und wären eher auf Wind zurückzuführen, falls es bei den Messungen gewindet hat), und zweitens, wie zahlreiche wissenschaftliche Publikationen (siehe z.B. (34)) deutlich gezeigt haben, kann die Amplitude der Spitzen nicht als Amplifikation der Erdbebenwellen interpretiert werden. Gleichwohl sind wir mit den Autoren dahingehend einig, dass diese hohen Amplituden ein Indikator für ein starkes Amplifikationspotential sein *könnten*.

Frage 4 Inwiefern könnten die Bodeneigenschaften am Standort des AKW ein zusätzliches Risiko darstellen?

Wir denken nicht, dass der Standort des KKW Fessenheim eine lokale Geologie aufweist, die ein "zusätzliches Risiko" darstellen könnte, das heisst, dass mit Amplifikationen der Erdbebenwellen zu rechnen wäre, die über das Übliche hinausgehen. Die von der RFS2001-01 vorgeschlagene vereinfachte Vorgehensweise, um Standorteffekte für die Kategorie "Lockergestein" zu berücksichtigen, wäre somit angemessen. Falls aber die in (55) dargelegte Interpretation der Messungen richtig ist, was zu überprüfen wäre, könnte der Standort unter Umständen trotzdem starke Amplifikationen von Erdbebenwellen erfahren. Der Bericht (55) müsste deshalb EDF veranlassen, die Studie vorsichtshalber zu vertiefen.

Frage 5 Was für technische Expertisen und Messungen sind notwendig, um auf Grund des heutigen Wissensstands den Einfluss der lokalen geologischen Eigenschaften des Untergrunds in Fessenheim (Beschleunigung von S- und P-Wellen, Frequenzspektren und Amplituden) zu beurteilen? Inwiefern wurden diesbezügliche Abklärungen bereits vorgenommen (durch neutrale Experten, durch die Betreiber)? Welche Schlussfolgerungen lassen sich auf Grund des aktuellen Wissensstands über den Untergrund für die Beurteilung des Erdbebenrisikos des AKW Fessenheim machen und welche Fragen können noch nicht befriedigend beantwortet werden?

Eine Standortstudie, auch Mikrozonierungsstudie genannt, mit Messungen der S-Wellengeschwindigkeiten am Standort (SASW-Messungen, und/oder Messungen in einem Bohrloch) sowie mit adäquater numerischer Modellierung würde dem heutigen Stand der Technik entsprechen. Für den Standort des KKW Fessenheim wurde unseres Wissens keine solche Studie ausgeführt; die Studie (55) ist, trotz ihres Namens, nur ein kleiner Schritt in diese Richtung. Die Schlussfolgerungen, die im Moment gezogen werden können, entsprechen der Antwort auf die Frage 4.

4. Diskussion der RFS2001-01

Die RFS2001-01 wurde im Jahr 2001 erlassen. Sie entspricht ohne jeden Zweifel einer Modernisierung gegenüber ihrer Vorläuferversion, der alten RFSI.2c von 1981. Aber die Grundphilosophie ist dieselbe geblieben. Es handelt sich um eine deterministische Methode, die sich in erster Linie auf die historische Seismizität abstützt (siehe Kapitel 2.1).

Wir werden in der Folge vier, ja sogar (je nach Interpretation) fünf ernsthafte Schwächen der RFS2001-01 aufzeigen. Aber unsere Kritik hat nichts Neues an sich; die meisten der aufgeworfenen Kritikpunkte sind schon im Dokument (31) aufgeführt.

4.1 Problem des "fehlenden" Erdbebens

Unter dem Titel "Definition und Prinzipien zur Bestimmung der Kenngrößen der für die Seismizität des Standorts repräsentativen Erdbeben" führt die RFS2001-01 an: "Das grundsätzliche Vorgehen besteht darin anzunehmen, dass in Zukunft Erdbeben analog zu den historisch bekannten Erdbeben auftreten können, mit einer Lage des Epizentrums, welche die ungünstigste Wirkung (bezüglich Intensität) am Standort bewirkt..." Tatsächlich basiert das Referenzbeben – sei es das SMHV oder seine um eine halbe Magnitude vergrößerte Version, das SMS (siehe Kapitel 2.1) – unmittelbar auf dem in der Umgebung des Standortes stärksten historisch bekannten Erdbeben. Aber "historisch bekannt" bedeutet, dass es genügend nah bei einem bevölkerten Ort während der Periode der einigermaßen zuverlässigen historischen Überlieferungen stattfinden müssen, das heisst während der letzten maximal tausend Jahre. In Zentraleuropa aber übersteigt die Wiederkehrperiode der stärksten Erdbeben typischerweise 1000 Jahre und kann 10'000 und mehr Jahre erreichen. Folglich ist es reiner Zufall, ob ein solches starkes Erdbeben während der letzten 1000 Jahre in der Umgebung des betrachteten Standortes stattgefunden hat. Es handelt sich hier, unserer Meinung nach, um die erste Schwäche der RFS2001-01.

Um die zu kurze Beobachtungszeitdauer von ungefähr 1000 Jahren zu kompensieren, verlangt die RFS2001-01, dass auch Paläo-Erdbeben berücksichtigt werden, das heisst ältere Erdbeben, für die wir über keine historischen Überlieferungen verfügen, die aber dank Brüchen, die bis zur Oberfläche reichten, Spuren in der Landschaft – Verschiebungen geologischer Markierer – hinterlassen haben. Nur, zahlreiche starke Erdbeben rufen keinen Oberflächenbruch hervor und hinterlassen damit auch keine Spuren an der Oberfläche: die Methodik der RFS2001-01 vermag diese Erdbeben natürlich nicht zu berücksichtigen.

Die Tatsache, dass die Beobachtungszeitdauer für Erdbeben zu kurz ist, stellt selbstverständlich für jede Methode zur Bestimmung der Erdbebengefährdung eine ernsthafte Schwierigkeit dar. Nur, das Problem eines "fehlenden" Erdbebens (Erdbeben, das stattgefunden hat, von dem man aber weder über historische Überlieferungen noch über geologische Spuren verfügt) wirkt sich unmittelbar auf das Resultat einer deterministischen Studie aus, während seine Auswirkung im Rahmen einer probabilistischen Studie abgeschwächt ist. In einer probabilistischen Studie wird nämlich die Auftretenswahrscheinlichkeit eines Erdbebens, das stärker als die bekannten Beben ist, extrapoliert, und zwar mit Hilfe einer empirischen Beziehung

nach Gutenberg und Richter (32), oft modifiziert zur Berücksichtigung der maximalen physikalisch plausiblen Magnitude.

4.2 Problem der unscharfen Kenngrößen des Referenzbebens

Die Definition der Kenngrößen des bekannten Erdbebens, welches das SMHV bestimmt, ist mit erheblichen Unschärfen behaftet, insbesondere wenn es sich um ein historisches Beben handelt, für welches keine instrumentelle Aufzeichnung existiert. Die sensitivsten Parameter sind die Magnitude und die Tiefe des Erdbebenherds. Ein flagrantes Beispiel ist die Bestimmung der Magnitude eines so gut untersuchten Erdbebens wie das Basler Beben von 1356 (siehe Kapitel 2.2)!

Die Fehler bei der Bestimmung der Kenngrößen des Referenzbebens schlagen unmittelbar auf die nach der RFS2001-01 bestimmte Gefährdung durch. Eine probabilistische Studie hingegen stützt sich auf alle bekannten Erdbeben ab, und folglich gleichen sich die Fehler bei der Bestimmung der Kenngrößen dieser Beben tendenziell aus, solange es sich nicht um systematische Fehler handelt (wie zum Beispiel eine systematische Überschätzung der Magnitude aller historischen Erdbeben). Aber selbstverständlich erfordert die probabilistische Studie einen grösseren Aufwand, da alle bekannten Erdbeben und nicht nur das stärkste in der Umgebung des betrachteten Standortes untersucht werden müssen.

Die Vergrößerung der Magnitude des SMHV um einen halben Punkt, um das SMS zu erhalten, wird zu Recht als Massnahme dargestellt, um die erwähnte Unschärfe abzudecken. Das Kapitel 2.1 des Anhangs I der RFS2001-01 hält fest: "Um die der Bestimmung der Kenngrößen des SMHV inhärenten Unsicherheiten zu berücksichtigen, wird eine pauschale Sicherheitsmarge festgelegt..." Aber, dies bedeutet, dass die Wiederkehrperiode des berücksichtigten Erdbebens, je nach konkreter Situation, in der Größenordnung von nur 1000 Jahren liegen kann, während es auf internationaler Ebene recht verbreitet ist, Kernkraftwerke auf ein Erdbeben mit einer Wiederkehrperiode von mindestens 10'000 Jahren auszulegen (46).

4.3 Problem der seismotektonischen Zonierung

Wie sehr klar aus Kapitel 2.2 hervorgeht, ist die seismotektonische Zonierung keine exakte Wissenschaft, sondern hängt stark von Experteneinschätzungen ab. Nur, die Wahl einer Hypothese unter mehreren, die möglich scheinen, wirkt sich unmittelbar auf die nach der RFS2001-01 bestimmten Erdbebengefährdung aus, und der Unterschied in der resultierenden Gefährdung kann gewaltig sein. Im Rahmen einer probabilistischen Studie hingegen ist es möglich, mehrere unsichere Hypothesen mit unterschiedlichen Gewichtungen zu berücksichtigen. So hängt das Resultat wesentlich weniger von der Zonierung ab. Tatsächlich haben Sensitivitätsuntersuchungen im Rahmen probabilistischer Studien (PEGASOS, GEO-TER (25), usw.) gezeigt, dass der Einfluss der seismotektonischen Zonierung erstaunlich bescheiden bleibt.

4.4 Problem der maximalen Intensität am Standort

Die Tatsache, dass die RFS2001-01 in ihrem Anhang festlegt, dass das Erdbeben zu berücksichtigen ist, welches die grösste Intensität am betrachteten Standort hervorruft, und nicht die stärksten Spektralbeschleunigungen, ist ein Überbleibsel

aus den 60er- bis 80er-Jahren und widerspricht, je nach deren Interpretation, dem gesunden Menschenverstand. Der Leser wird, was die Diskussion dieses Punktes anbelangt, auf Kapitel 2.3 verwiesen.

4.5 Problem der starken Streuung der Bodenbewegungsgrößen

Die seismischen Bodenbewegungen weisen, für eine gegebene Magnitude und Distanz, von Natur aus eine sehr starke Streuung (Variabilität) auf. Die Komplexität des Bruchvorgangs und das Ausmass des Spannungsabfalls auf der Verwerfung, die je nach Richtung ungleiche Wellenabstrahlung, die Heterogenität der Erdkruste, der Einfluss der lokalen Geologie am betrachteten Standort, sowie noch weitere Elemente beeinflussen die Bodenbewegungen sehr stark.

Bild 2, dem Dokument (31) entnommen, illustriert gut, was diese Streuung bedeutet. Selbst wenn bei einer Prognose der Mittelwert plus Standardabweichung berücksichtigt wird, wird es immer wieder Beschleunigungen geben, welche diese Prognose überschreiten. In einer probabilistischen Studie ist es möglich, eine solche Streuung vollumfänglich zu berücksichtigen.

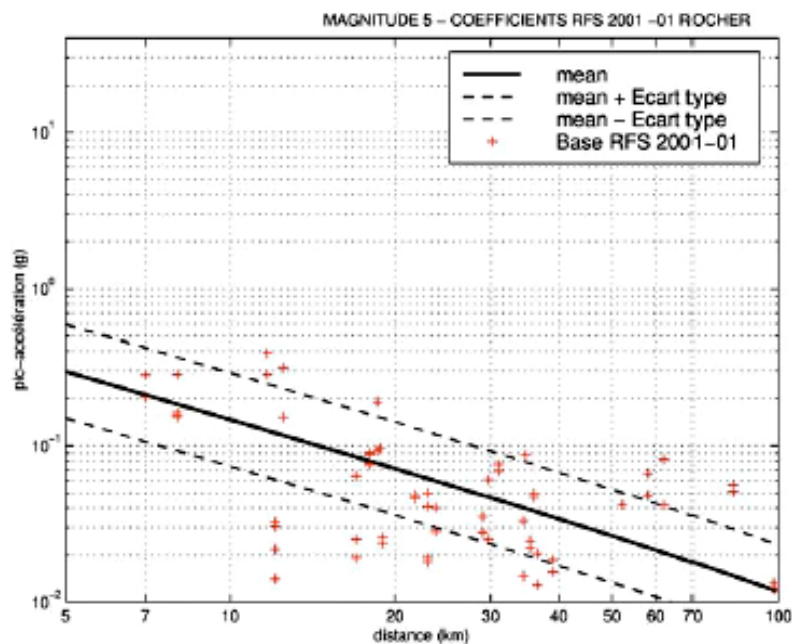


Bild 2 : Werte der maximalen Beschleunigungen der Datenbank der RFS2001-01 im Vergleich mit einer Prognose nach derselben RFS2001-01 für ein Erdbeben mit Magnitude 5 (maximale Bodenbeschleunigungen in Funktion der Entfernung des Bebens vom betrachteten Standort).

Tatsächlich ist es klassisch, im Rahmen einer probabilistischen Studie für eine Region moderater Seismizität Folgendes beobachten zu können: Die Wahrscheinlichkeit einer aussergewöhnlich starken Bewegung (mit, dementsprechend, einer sehr geringen Auftretenswahrscheinlichkeit) ergibt sich in erster Linie aus der Möglichkeit, dass ein Erdbeben mit moderater Magnitude auftritt, das aussergewöhnlich starke Bodenbewegungen hervorruft (z.B. entsprechend dem Mittelwert plus zwei

Standardabweichungen), und viel weniger aus dem Szenario einer aussergewöhnlich hohen Magnitude mit einer für diese statistisch mittleren Bodenbewegung (32).

Die Streuung der Bodenbewegungen ist derart ausgeprägt, dass es nicht akzeptierbar ist, im Rahmen einer deterministischen Sicherheitsstudie nur gerade den Mittelwert einer einzigen statistischen Beziehung für die Bestimmung der Bodenbewegungen zu berücksichtigen.

Erstens ist es auf internationaler Ebene üblich, mehrere Abminderungsbeziehungen zu verwenden, und nicht nur eine einzige. Die von der RFS2001-01 vorgeschriebene Abminderungsbeziehung kann aber immerhin als für Zentraleuropa geeignet bezeichnet werden.

Zweitens, und dies ist wichtiger, erschiene uns die Berücksichtigung von Mittelwerten plus einer Standardabweichung, wie gemäss (47) in mehreren Ländern praktiziert, wesentlich angemessener. Selbst in diesem Fall wäre es immer noch unmöglich auszuschliessen, dass stärkere Bewegungen als prognostiziert auftreten könnten. Aber die zugehörige Wahrscheinlichkeit wäre deutlich geringer, und die Erfahrung zeigt, dass die versteckten Reserven einer klassischen deterministischen Bemessung von Tragstrukturen dieses Überschreiten der prognostizierten Bodenbewegung in der Regel zu kompensieren vermögen (siehe Diskussion in Kapitel 5).

Es bleibt anzufügen, dass bei vielen probabilistischen Erdbebengefährdungsstudien der Vergangenheit die Streuung der Bodenbewegungen nicht, oder nicht korrekt, berücksichtigt wurden. Dies führte systematisch auf zu tiefe Mittelwerte der Erdbebengefährdung (32).

4.6 Schlussfolgerungen

Wir versuchen, hier eine Antwort auf die sechste Frage zu geben:

Frage 6 Wurden bei der Beurteilung des Erdbebenrisikos des AKW Fessenheims durch die französischen Behörden die oben aufgeführten Punkte entsprechend dem heutigen Stand der Forschung und Technik berücksichtigt?

Obwohl die ASN eine relativ detaillierte Webseite unterhält (www.asn.fr), ist es nicht einfach, sich ein klares Bild zu verschaffen, was die getroffenen Entscheidungen betreffend Erdbebenwiderstand der Kraftwerke anbelangt. Ein Beispiel ist die Frage der Berücksichtigung eines lokalen Erdbebens (siehe Diskussion in Kapitel 2.3), welche aus einem auf der Webseite publizierten Dokument (42) als Steiffrage hervorgeht, aber deren Ausgang auf der Webseite nicht gefunden werden kann.

Aus der Diskussion der RFS2001-01 geht jedoch hervor, dass die Beurteilung des vom KKW Fessenheim ausgehenden Erdbebenrisikos, was die Erdbebengefährdung anbetrifft, nicht wirklich auf der Höhe der gegenwärtigen Kenntnisse und Praxis ist. Das Hauptproblem besteht darin, dass die Grundphilosophie der RFS2001-01 zutiefst im Kenntnisstand der 70er- oder bestenfalls anfänglichen 80er-Jahre verankert ist, trotz der unbestreitbaren Modernisierung gewisser Punkte gegenüber ihrer Vorläuferversion.

Trotz der hier ausgeführten Kritik ist zu unterstreichen, dass die Internationale Atomenergieagentur die deterministischen Methoden wie diejenige der RFS2001-01 nicht formell verwirft. Sie empfiehlt aber mit Nachdruck, probabilistische Methoden

zu verwenden (31, 47). Tatsächlich sind die Resultate, die sich aus probabilistischen Methoden ergeben, deutlich weniger empfindlich bezüglich Kenntnisunschärfen und "expert judgments" als die Resultate aus deterministischen Methoden.

Der wichtigste "Mangel" der RFS2001-01 bezüglich Gefährdung ist die Tatsache, dass die mittlere Abminderungsbeziehung zur Bestimmung der Erdbebenbewegungen am betrachteten Standort verwendet wird. Dies bedeutet, dass beim Eintreten des SMS die bedingte Wahrscheinlichkeit, dass die Bodenbewegung stärker ausfällt als die Referenzbewegung, die mit der mittleren Abminderungsbeziehung berechnet wurde, grössenordnungsmässig 50 % beträgt, und dass die bedingte Wahrscheinlichkeit etwa 15 % ausmacht, dass diese Bewegung mindestens doppelt so stark ist. In den 70er- und selbst 80er-Jahren war sich die Gemeinschaft der Seismologen der Tragweite dieser Problematik noch nicht voll bewusst, und die Gemeinschaft der Erdbebeningenieure erst recht nicht.

Was die angemessene Berücksichtigung der Standorteffekte anbelangt, ist die RFS2001-01 hingegen einigermassen auf der Höhe der heutigen Kenntnisse (siehe auch Kapitel 3).

5. Fragen des Erdbebeningenieurwesens

Die Fragen bezüglich dem Erdbebenwiderstand der wichtigsten Strukturen des KKW Fessenheim konnten nicht konkret behandelt werden, da die notwendigen Informationen nicht zur Verfügung standen. Tatsächlich hätte man Zugang zu den Sicherheitsberichten sowie zu den Plänen aus der Bauzeit benötigt und diese im Detail studieren müssen. Es wurde als wenig wahrscheinlich beurteilt, einfach Zugang zu diesen Dokumenten zu erhalten, so dass keine Schritte in diese Richtung unternommen wurden. Darüber hinaus hätte ein detailliertes Studium dieser Dokumente wahrscheinlich den finanziellen Rahmen der vorliegenden Expertise gesprengt.

Es ist hingegen möglich, die Prinzipien der dazumaligen Erdbebenbemessung und der heutigen Erdbebenüberprüfungen im nuklearen Umfeld zu skizzieren. Ausgehend von solchen allgemeinen Bemerkungen wird es möglich sein, gewisse Tendenzen für die Antworten auf die gestellten Fragen aufzuzeigen.

5.1 Erdbebenwiderstand des KKW

Aus den Dokumenten (1), (2) und (9) kann gefolgert werden, dass das KKW Fessenheim seinerzeit für ein Erdbeben mit einer nominalen Bodenbeschleunigung von 0.2 g und für ein durchaus "vernünftiges" Antwortspektrum (d.h. ähnlich dem, was heutzutage verwendet würde) bemessen wurde. Zum Vergleich: Das Bemessungsniveau des KKW Fessenheim entspricht praktisch dem, was heutzutage nach den zur Zeit gültigen SIA-Normen für die Auslegung eines Spitals oder einer Feuerwehrezentrale in Basel verwendet würde.

In den 70er-Jahren, zur Zeit des Baus des KKW Fessenheim, war es üblich, eine sogenannte "elastische" Bemessung vorzunehmen, bei der sichergestellt wurde, dass die Schwelle der sogenannten "zulässigen" Spannungen nicht überschritten wurde. Dieses Vorgehen war üblich in allen Bereichen des Bauingenieurwesens bis

zu den 70er-Jahren. Seither ist man mehr und mehr dazu übergegangen, die inhärenten Reserven einer solchen Bemessung zu berücksichtigen. Tatsächlich bedeutet das Eindringen des Materials in den post-elastischen, "plastisch" genannten Bereich in den meisten Fällen nicht, dass die Struktur einstürzt; sie vermag im plastischen Bereich Widerstandsreserven zu mobilisieren. Diese inhärenten Reserven können jedoch gering oder im Gegenteil sehr bedeutend sein, je nach konkreter Situation.

Die plastischen Reserven in expliziter Weise zu berücksichtigen ist im "konventionellen" Bauingenieurwesen üblich geworden, nicht aber im nuklearen Umfeld, zumindest nicht für die in bezug auf die Sicherheit wichtigsten Strukturen.

Im seismischen Bereich handelt es sich nicht nur um die Widerstandsreserve dank Plastifizierung im Vergleich zu einer rein elastischen Bemessung. Das Eindringen in den plastischen Bereich kann darüber hinaus auch einen günstigen Einfluss auf die Beanspruchung ausüben; tatsächlich kann die Plastifizierung zu einer merklichen Reduktion der effektiven Erdbebenkräfte führen. Die Plastifizierung der Struktur bei einer Berechnung des Erdbebenverhaltens zu berücksichtigen bedeutet damit oft einen doppelten Vorteil. Folglich erweist es sich in den meisten Fällen – aber nicht unbedingt in allen Fällen –, dass die elastische Bemessung sehr stark auf der sicheren Seite liegt. Die Reserve in bezug auf das Bemessungsbeben kann alles in allem einen Faktor 2, ja sogar mehr ausmachen.

Auf internationaler Ebene ist es im nuklearen Umfeld üblich geworden, diese Reserven im Rahmen probabilistischer Risikostudien, "PSA" ("Probabilistic Safety Assessment") genannt, zu quantifizieren. Es scheint verbreitet zu sein, dass nicht vernachlässigbare Wahrscheinlichkeiten für signifikante Schäden an einem KKW erst für Niveaus von Erdbebenbeschleunigungen erreicht werden, die deutlich höher sind – um einen Faktor 2 oder mehr – als die bei der elastischen Bemessung berücksichtigten.

In den internen Notizen (2) von EDF, die wahrscheinlich von Anfang 2003 stammen, ist von enormen Kosten die Rede, die für Verstärkungen notwendig würden, falls neu ein Bemessungsbeben mit einer Spitzenbeschleunigung von 0.28 g zu berücksichtigen wäre, wie dies Ende 2002 vom IRSN vorgeschlagen worden ist. In der Tat wurden im selben Dokument für Fessenheim Kosten in der Höhe von 200 Millionen Euros pro Abschnitt erwähnt.

Falls die Überprüfung immer noch nach der Philosophie der elastischen Bemessung vorgenommen werden muss, ist es tatsächlich plausibel, dass bedeutende Verstärkungen notwendig werden. Alles weist jedoch darauf hin, dass eine realistischere Überprüfung, unter Berücksichtigung der Plastifizierung, erlauben würde, eine ausreichende Sicherheit nachzuweisen – zumindest für ein Erdbeben, wie 2002 vom IRSN vorgeschlagen, das allerdings die Gefährdung gemäss unseren in der vorliegenden Expertise präsentierten Argumenten unterschätzt. Aber es ist wahrscheinlich, dass die ASN, wie andere nukleare Überwachungsbehörden in anderen Ländern, in Anbetracht des in diesen Kreisen vorherrschenden Konservatismus, den man auch Vorsicht nennen kann, noch nicht zulassen würde, derartige Überprüfungen des Erdbebenwiderstandes vorzunehmen.

Es ist zu hoffen, dass Forschungs- und Validierungsprojekte, zum Beispiel in der Art des Projektes "SMART-2008", von EDF und dem CEA in die Wege geleitet, dazu

beitragen werden, in Zukunft realistischere Überprüfungen der Sicherheitsmargen von KKW zu erarbeiten.

Auf der Grundlage dieser generellen Überlegungen versuchen wir, hier erste provisorische Antworten auf die Fragen 7, 8 und 9 zu geben:

Frage 7 Für welche Erdbebenstärken und auf Grund welcher Normen wurden die Anlagen des AKW Fessenheim ursprünglich ausgelegt (Inbetriebnahme 1977)? Inwiefern entspricht die damalige Auslegung des AKW noch dem heutigen Stand der Wissenschaft und der Technik bezüglich Erdbebengefährdung? Wie stark unterscheidet sich das heutige Wissen bezüglich Erdbebensicherheit vom Stand von 1977?

Es ist zu unterscheiden zwischen einerseits der Erdbebengefährdung, d.h. dem Bemessungsbeben, das unserer Meinung nach seinerzeit klar unterschätzt wurde (und heute noch wird), und andererseits der Bemessung des KKW in bezug auf dieses Beben. Diese Bemessung wurde wahrscheinlich mit sehr grossen impliziten Sicherheitsmargen vorgenommen. Zur Zeit würde man im nuklearen Umfeld in bezug auf ein gegebenes Bemessungsbeben mit etwas weniger Reserven bemessen, aber immer noch mit beträchtlichen Reserven. Der bessere Kenntnisstand unserer Tage würde im Prinzip erlauben, mehr "an die Grenzen" zu gehen, aber dieses Potential wird bis heute nur sehr begrenzt ausgenutzt (was auf der sicheren Seite liegt).

Frage 8 Welche spezifischen Risiken ergeben sich nach heutigem Wissenstand beim AKW Fessenheim auf Grund der besonderen Konstruktion (veralteter Reaktortyp, nur ein Containment)?

Diese Frage geht weit über den alleinigen Aspekt der Erdbebensicherheit hinaus. Die Verfasser der vorliegenden Expertise halten sich nicht für kompetent, diese Frage zu beantworten.

Frage 9 Welche Nachrüstungen bezüglich Erdbebensicherheit wurden in Fessenheim seit der Inbetriebnahme 1977 vorgenommen (Unterlagen EDF)? Welche zusätzlichen Anforderungen an Erdbebensicherheit wurden damit erfüllt? Inwiefern entspricht die aktuelle Auslegung des AKW dem heutigen Stand des Wissens und der Technik, bzw. den aktuell üblichen Sicherheitsstandards bezüglich Erdbebenrisiken?

Wegen fehlender Unterlagen können wir die ersten beiden der hier gestellten Fragen nicht beantworten. Was die dritte anbetrifft: Es ist klar, dass wenn das KKW heute neu zu bauen wäre, müsste dieses für ein Erdbeben bemessen werden, das deutlich stärker wäre als das Bemessungsbeben von damals. Trotzdem bedeutet dies nicht zwingend, dass die Erdbebensicherheit des heutigen KKW wirklich ungenügend ist. Nur eine vertiefte Erdbebenüberprüfung der Bauten und Anlagen würde erlauben, diesen Punkt zu klären.

5.2 Erfahrung mit dem Niigataken Chuetsu-oki-Erdbeben vom 16. Juli 2007

Am 16. Juli 2007 ist in einer Distanz von 15 bis 20 km vom KKW Kashiwazaki-Kariwa (Japan) ein Erdbeben der Magnitude $M_w = 6.6$ bis 6.8 aufgetreten. Dank beinahe 100 seismischen Überwachungsinstrumenten auf dem Areal des KKW sind die von diesem Erdbeben hervorgerufenen Beschleunigungen gut bekannt. Es ist weltweit das erste Mal, dass ein KKW so starke Beschleunigungen erfährt.

Das Kraftwerk wurde in der Tat Beschleunigungen unterworfen, die etwa zweimal stärker waren als jene, die bei seiner Bemessung berücksichtigt worden waren (50).

Trotzdem wurden nur geringfügige Schäden festgestellt. Obwohl ein beschränkter Austritt von radioaktivem Material festzustellen war, so scheinen die Dosen, denen die Angestellten ausgesetzt waren, nach den vom betroffenen japanischen Ministerium veröffentlichten Berichten (50) um mehrere Grössenordnungen unter den japanischen Grenzwerten geblieben zu sein. Dank sofortiger Verdünnung blieb – nach derselben Quelle – auch die Verschmutzung der Umwelt um mehrere Grössenordnungen unterhalb der Grenzwerte.

Das Vorhandensein einer Sicherheitsreserve in der Grössenordnung von einem Faktor 2, oder sogar mehr, in bezug auf das Bemessungsbeben hat sich somit im konkreten Fall dieses japanischen KKW im wesentlichen bestätigt. Dies ist ein starkes Indiz, aber natürlich kein Beweis dafür, dass dies auch beim KKW Fessenheim der Fall sein könnte.

5.3 Erdbebenwiderstand des Damms des Rheinseitenkanals

Frage 10 Existieren Expertisen, welche gemäss aktuellem Wissensstands geprüft haben, ob ein Erdbeben zu einem Dambruch des Rheinseitenkanals führen könnte (Dieser sollte das AKW Fessenheim vor Überschwemmungen schützen)?

Wir haben keine Kenntnis einer solchen Studie. Es ist allerdings anzufügen, dass der Bruch eines gut gebauten und gut unterhaltenen Damms beim Auftreten des Bemessungsbebens von dazumal – unserer Meinung nach unterschätzt – unwahrscheinlich wäre. Aber es bliebe nachzuweisen, dass der Damm ein angemesseneres, das heisst stärkeres Bemessungsbeben überleben würde.

6. Generelle Schlussfolgerungen

Die Neubestimmung der Erdbebengefährdung, wie sie bis heute von EDF im Hinblick auf die 3. Zehnjahreskontrolle vorgeschlagen worden ist, führt zu einer ausgeprägten Unterschätzung der Gefährdung und ist folglich nicht akzeptierbar. Dieselbe Feststellung gilt, in geringerem Ausmass, für die vom IRSN vorgeschlagene Neubestimmung der Gefährdung. Die vorliegende Expertise zeigt die Schwächen dieser Neubestimmungen Punkt für Punkt auf.

Die hauptsächlichen Gründe für die Unterschätzung der Erdbebengefährdung sind:

- eine zu optimistische Interpretation der wesentlichen Kenngrössen des Basler Erdbebens von 1356, das als Referenzbeben dient: Unterschätzung seiner Magnitude und Überschätzung der minimalen Distanz zum KKW, in welcher ein solches Beben auftreten könnte (EDF und IRSN),
- die Tatsache, dass kein lokales Erdbeben als Referenzbeben berücksichtigt wird (nur EDF),
- eine ungenügende Berücksichtigung der Unschärfe der Grunddaten, insbesondere die Benutzung von statistischen Mittelwerten zur Bestimmung der Bodenbeschleunigungen für das oder die Referenzbeben. Konsequenz ist eine bedingte Wahrscheinlichkeit von 50 %, dass die damit erhaltenen Bodenbeschleunigungen überschritten werden (Schwäche der von der RFS2001-01 vorgeschriebenen Methode, EDF und IRSN).

Die Fragen bezüglich Erdbebenwiderstand der wichtigsten Strukturen des KKW Fessenheim konnten nicht konkret behandelt werden, da die notwendigen Informationen nicht zur Verfügung standen. In bezug auf diesen Punkt muss sich deshalb die vorliegende Expertise auf einige generelle Feststellungen beschränken.

Als das KKW Fessenheim gebaut wurde, war es üblich, eine "elastische" Bemessung vorzunehmen, was in den meisten Fällen, aber nicht unbedingt immer, sehr weit auf der sicheren Seite liegt. Die Sicherheitsreserven können in bezug auf das Bemessungsbeben einen Faktor 2 oder sogar mehr ausmachen. Das Vorhandensein einer solchen Reserve hat sich vor kurzem im wesentlichen bestätigt: Das japanische KKW Kashiwazaki-Kariwa hat mit dem Erdbeben von Niigataken Chuetsu-oki vom 16. Juli 2007 eine Beanspruchung erfahren, die etwa zweimal stärker ausfiel als seinerzeit bei der Bemessung des Kraftwerkes berücksichtigt worden war.

Folglich ist es wahrscheinlich, dass erhebliche Sicherheitsreserven in bezug auf das seinerzeitige – unterschätzte – Bemessungsbeben (Erdbebengefährdung) vorhanden sind. Es bleibt dagegen erst zu untersuchen, ob diese Reserven in bezug auf eine realistischere Bestimmung der Erdbebengefährdung für den Standort Fessenheim ausreichen.

Es ist deshalb unmöglich, unmittelbar den Schluss zu ziehen, dass das KKW Fessenheim wegen der Unterschätzung des Bemessungsbebens ein untragbares Erdbebenrisiko darstellt – auch wenn ein gewisser Verdacht zweifellos berechtigt ist. Einzig eine vertiefte Erdbebenüberprüfung aller sicherheitsrelevanten Bauten und Anlagen würde erlauben, diesen Verdacht zu erhärten oder auszuräumen. Es ist unseres Erachtens zwingend notwendig, so schnell als möglich eine vertiefte Überprüfung des Erdbebenwiderstandes des KKW Fessenheim durchzuführen.

7. Glossar

ASN	Französische Überwachungsbehörde für nukleare Sicherheit ("Autorité de sûreté nucléaire française"), gegründet 2006
BERSSIN	Büro zur Bestimmung des Erdbebenrisikos für die Sicherheit nuklearer Anlagen ("Bureau d'évaluation du risque sismique pour la sûreté des installations nucléaires"), Einheit des IRSN
BRGM	Französisches Büro für Forschung im Bereich Geologie und Bergbau ("Bureau de recherches géologiques et minières français")
CEA	Französischer Organismus, der sich mit Forschung und Entwicklung im Bereich der Kernenergie befasst ("Commissariat à l'Energie Atomique")
DGSNR	Generaldirektion der nuklearen Sicherheit und des Strahlenschutzes ("Direction générale de la sûreté nucléaire et de la radioprotection"), Vorgängerbehörde der ASN
GEO-TER	Französisches Beratungsbüro, spezialisiert im Bereich Erdbebenrisiko
GFZ	GeoForschungsZentrum, Potsdam
IRSN	Französisches Institut für Strahlenschutz und nukleare Sicherheit ("Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire")
SED	Schweizerischer Erdbebendienst

Anhang

- Antworten des IRSN auf von uns gestellte Fragen
- Der ASN gestellte Fragen
- Antworten der ASN

IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Fontenay-aux-Roses, le 13 FEV. 2007

RESONANCE

A l'attention de Corinne LACAVE

21 rue Jacques Grosselin

1227 CAROUGE (Genève)

SUISSE

Direction
de l'environnement
et de l'intervention

N° Chrono : DEI/SARG/2007-0075

Objet : votre demande 277/CL/MK transmise par courrier électronique le 26 janvier 2007

Service d'analyse des risques
liés à la géosphère

Affaire suivie par :
C. Berge-Thierry
Bureau d'évaluation des
risques sismiques pour la
sûreté des installations

Tél. +33 (0)1 58 35 86 71
Fax +33 (0)1 58 35 81 30
catherine.berge@irsn.fr

Madame,

Par votre courrier cité en objet, vous sollicitez l'IRSN sur des points méthodologiques et pratiques de la Règle Fondamentale de Sûreté pour la définition des mouvements sismiques pour la conception des installations nucléaires de base (RFS 2001-01). Je vous prie de trouver ci-joint les réponses à vos questions. Certaines d'entre elles sont relatives aux expertises menées par l'IRSN sur le site de Fessenheim en appui à l'Autorité de Sûreté Nucléaire. Il vous appartient de contacter cette dernière pour obtenir les éléments d'informations correspondants.

Vous souhaitant bonne réception de la présente,

Je vous prie de d'agréer, Madame, l'expression de mes sincères salutations.

Adresse Courrier
BP 17
92262 Fontenay-aux-Roses
Cedex France

D. GAY
Adjoint du Chef du SARG

J.M. PERES

Chef du Sarg

Siège social
77, av. du Général-de-Gaulle
92140 Clamart
Standard +33 (0)1 58 35 88 88
RCS Nanterre B 440 546 018

Question :

1) Dans la RFS, une fois le(s) SMS déterminé(s), faut-il prendre le spectre moyen issu de la relation d'atténuation, ou bien le spectre moyen + 1 ou 2 écarts types ?

Réponse :

Le § 2.3.1. du texte de la RFS 2001-01 précise que le spectre de réponse est calculé en retenant la valeur moyenne prédite par la relation d'atténuation. Qu'il s'agisse d'un SMHV, d'un SMS, ou d'un paléoséisme c'est le mouvement sismique moyen issu de cette relation d'atténuation qui est retenu.

Question :

2. En ce qui concerne le sol, a-t-on recours à une étude de site spécifique, ou bien prend-on simplement la catégorie "sol meuble", ou équivalente, de la relation d'atténuation utilisée ? En Suisse, pour les sites des centrales nucléaires, des études de site spécifiques sont faites, selon l'état de l'art, depuis les années 70... Et si une étude de site (microzonage) est faite, comment les résultats sont-ils utilisés et appliqués sur le spectre final de dimensionnement ou de calcul des structures du site ?

Réponse :

Le § 2.3.4. du texte de la RFS 2001-01 précise la prise en compte des effets de site. L'étude spécifique de site est requise si :

- la vitesse des ondes de cisaillement dans les 30 mètres premiers mètres est inférieure à 300 m/s (i.e. risque de comportement non-linéaire voire liquéfaction),
- dans le cas d' « effets de site particuliers » (du type géométrique, topographique, fortes variations latérales ...).

Selon le résultat de l'étude spécifique, il peut être jugé suffisant de conserver, *in fine*, le (les) spectre(s) de réponse issu de l'application de la relation d'atténuation de la RFS 2001-01 (condition « sol alluvions », i.e., $300 \text{ m/s} < V_s < 800 \text{ m/s}$).

Au contraire, sur certains sites, l'étude spécifique aboutira à retenir un spectre réponse de site alternatif à celui issu du (des) SMS (et éventuellement paléoséisme) évalué(s) avec la relation d'atténuation de la RFS 2001-01 : ce spectre de réponse « alternatif » sera représentatif de la réponse spécifique du site (par exemple, amplification notable sur une certaine gamme de fréquences). Dans un tel cas, c'est ce spectre de réponse qui servira à établir le spectre de dimensionnement ou le spectre de « vérification » des installations existantes.

Question :

3. Les résultats de l'étude d'aléa menée par l'IRSN pour le site de Fessenheim sont-ils, publics ? Si oui, est-il possible d'en obtenir une copie ?

Réponse :

L'étude de l'IRSN sur l'évaluation de l'aléa sismique du site de Fessenheim a été réalisée dans le cadre d'une saisine de l'Autorité de Sûreté Nucléaire. Cette étude ne peut donc vous être transmise sans accord préalable de cette dernière.

Question :

4. Si nous comprenons bien le document DGSNR/SD2/N° 0337/2003, du 2 juin 2003 (publié sur le site de l'ASN), il est indiqué au point II.d) que "les évaluations de l'aléa sismique pour les sites de ..., Fessenheim, ..., présentées par EDF me semblent répondre aux principes fixés par la RFS 2001-01, et à la démarche présentée au chapitre I et peuvent donc être utilisées comme base du réexamen de sûreté de ces sites". Or, à la fin du chapitre I.2 de ce même document, il est indiqué : "Je souhaite que vous me présentiez sous 6 mois votre analyse à ce sujet et ses impacts sur la qualification sismique des équipements". Cela a-t-il été fait ? quelles en sont les conclusions quand à l'aléa sismique retenu pour le site ? en particulier en ce qui concerne les divergences entre l'IRSN et EDF en terme de détermination des SMS (prise en compte ou non d'un séisme local sous le site). Il va sans dire, qu'à la lecture de ces textes, nous (en tant que sismologues) soutenons de toute évidence la position de l'IRSN, quant à cette détermination de l'aléa sismique. Elle correspond à ce que nous avons l'habitude de faire pour les études d'aléa pour les sites des barrages, en France. Cette démarche, de retenir un séisme local sous le site et un séisme lointain plus fort, est d'ailleurs aussi celle qui est clairement appliquée pour la centrale de Chinon (cf. note d'information IRSN du 10 novembre 2006, suite au séisme de Chinon), alors pourquoi pas pour Fessenheim ?

Réponse :

Cette question serait à soumettre directement à l'autorité de sûreté nucléaire (voir coordonnées ci-après).

Question :

5. Y a-t-il une personne que nous pourrions contacter auprès de l'ASN, qui serait à même de répondre à ces questions de décisions sur le cas particulier de Fessenheim ?

Réponse :

Nous vous recommandons de contacter Mr Mickaël Gandolin, à l'ASN, Direction des centrales nucléaires (DCN), son adresse électronique est Mickael.GANDOLIN@asn.fr.

Question :

6. L'étude de l'IRSN sur l'aléa sismique dans le graben du Haut-Rhin met-elle en évidence le fait qu'un séisme comme celui de Bâle ne pourrait pas se produire dans la zone sismotectonique à laquelle appartient le site de Fessenheim ?

Réponse :

La réponse à cette question relève de l'analyse réalisée pour le compte de l'ASN. La position de l'IRSN a cependant été présentée à la CLIS de Fessenheim le 5 juin 2005. La démarche de définition des séismes à prendre en compte (démarche RFS 2001-01) est fondée sur la définition d'un zonage sismotectonique qui s'appuie lui-même sur les données actualisées concernant la géologie, la sismologie et la géodynamique. Pour ce qui concerne les sites du sud de l'Alsace, le zonage défini par l'IRSN (présenté à Tsukuba (Berge-Thierry et al. 2004)) est très proche de celui défini par le BRGM dans les études d'ICPE (Terrier et al., 2000). Pour la région du séisme de Bâle il est défini une zone assez restreinte correspondant à l'interférence des plis frontaux du Jura (avec des mécanismes focaux en faille inverse, et des failles méridiennes du fossé rhénan avec des mécanismes à composante décrochante senestre. Cette zone est également particulière car la couverture sédimentaire surmonte un bassin profond anté mésozoïque (Permo-carbonifère) d'orientation ENE-WSW et limité au Nord par de grandes failles crustales de même orientation (Meyer et al, 1994). Ce zonage conduit à translater le séisme de Bâle à environ 30 km au sud du site de Fessenheim.

Références :

C. Berge-Thierry et al., Determination of the seismic input in France for the nuclear power plants safety: regulatory context, hypothesis and uncertainties treatment Workshop on seismic input motions, incorporating geological studies, Tsukuba (Japon), Proceedings on CDROM, NEA/CSNI/R(2004)22, 2004.

Terrier, M., Bles, J.L., Godefroy, P., Dominique, P., Bour, M., Martin, C. (2000). Zonation of Metropolitan France for the application of earthquake-resistant building regulations to critical facilities Part 1: Seismotectonic zonation. Journal of Seismology Volume 4, Issue 3, 2000, Pages 215-230.

21 rue Jacques Grosselin
CH - 1227 CAROUGE (Genève)
Téléphone (+41 22) 301 02 53
Télécopie (+41 22) 301 02 70
E-mail resonance@resonance.ch

ASN
Direction des Centrales Nucléaires
M. Mickaël Gandolin

277/CL/MK

Carouge, le 19 février 2007

Aléa sismique dans le graben du Haut-Rhin

Monsieur,

Nous avons été mandatés par le canton de Bâle dans le cadre d'une étude de l'aléa sismique du graben du Haut-Rhin. Dans ce contexte, nous avons adressé un certain nombre de questions à l'IRSN. L'IRSN nous a donné les réponses correspondantes, mais certaines questions sont du ressort de l'ASN, c'est pourquoi l'IRSN nous a transmis vos coordonnées.

Vous trouverez ainsi les questions, détaillées en annexe, concernant en particulier le cas de l'aléa sismique au site de Fessenheim, et plus généralement la détermination de l'aléa sismique sur les sites nucléaires français.

Ainsi, nous vous serions très reconnaissants si vous pouviez répondre à tout ou partie de ces questions.

En vous remerciant par avance, nous vous prions de recevoir, Monsieur, l'expression de nos meilleures salutations.

RÉSONANCE Ingénieurs-Conseils SA



Corinne LACAVE

Questions - Aléa sismique dans le graben du Haut-Rhin

1. Les résultats de l'étude d'aléa menée par l'IRSN pour le site de Fessenheim sont-ils publics ? Si oui, est-il possible d'en obtenir une copie ?
2. Si nous comprenons bien le document DGSNR/SD2/N° 0337/2003, du 2 juin 2003 (publié sur le site Internet de l'ASN), il est indiqué au point II.d) que "les évaluations de l'aléa sismique pour les sites de ..., Fessenheim, ..., présentées par EDF me semblent répondre aux principes fixés par la RFS 2001-01, et à la démarche présentée au chapitre I et peuvent donc être utilisées comme base du réexamen de sûreté de ces sites". Or, à la fin du chapitre I.2 de ce même document, il est indiqué : "Je souhaite que vous me présentiez sous 6 mois votre analyse à ce sujet et ses impacts sur la qualification sismique des équipements". Cela a-t-il été fait ? quelles en sont les conclusions quand à l'aléa sismique retenu pour le site ? en particulier en ce qui concerne les divergences entre l'IRSN et EDF en terme de détermination des SMS (prise en compte ou non d'un séisme local sous le site). Cette démarche, de retenir un séisme local sous le site et un séisme lointain plus fort, est d'ailleurs aussi celle qui est clairement appliquée pour la centrale de Chinon (cf. note d'information IRSN du 10 novembre 2006, suite au séisme de Chinon), alors pourquoi pas pour Fessenheim ?

DIRECTION DES CENTRALES NUCLEAIRES

DEP-SD2 -N° 0286 -2007

Affaire suivie par : Fabien FERON

Tél : 01.43.19.71.11

Fax : 01.43.19.70.89/66

Mel : fabien.feron@asn.fr

Paris, le 11 juin 2007

Madame LCAVE
Résonance

21 rue Jacques Grosselin
CH-1227 Carrouge (Genève)
Suisse

Objet : Aléa sismique – Application de la RFS 2001-01

Réf. : 1/ Courrier Résonance 277/CL/MK du 2 mars 2007
2/ Lettre DGSNR/SD2 n°0337/2003 du 2 juin 2003

Madame,

Par lettre citée en référence 1, vous interrogez l'ASN sur la détermination de l'aléa sismique pour les centrales nucléaires françaises et plus particulièrement le CNPE de Fessenheim. Votre première question porte sur le caractère public de l'étude réalisée par l'IRSN ; la seconde, plus large, porte sur l'application de la RFS 2001-01 pour la détermination, site par site, du niveau de séisme majoré de sécurité (SMS).

*
* * *

L'analyse menée par l'IRSN sur l'aléa sismique du site de Fessenheim, réalisée à la demande de l'ASN, entre dans le cadre plus large des réexamens périodiques de sûreté. Ces réexamens permettent en particulier de comparer le niveau de sûreté des centrales en exploitation aux exigences de sûreté les plus récentes et, au cas par cas, de statuer sur la nécessité d'éventuelles modifications pour améliorer ce niveau de sûreté.

Il revient à EDF de déterminer, conformément aux règles en vigueur, le niveau de séisme auquel ses installations doivent résister. Dans le cadre du contrôle qu'elle exerce, l'ASN vérifie que le niveau de séisme déterminé par EDF est conforme à la réglementation et aux recommandations émises dans des documents tels que les « règles fondamentales de sûreté ». Elle s'appuie, pour cela, sur l'expertise de l'IRSN.

Ainsi, lors du dernier réexamen de sûreté mené au début des années 1990, l'IRSN a globalement confirmé la validité de l'évaluation faite par EDF du niveau de séisme (SMS d'intensité IX sur l'échelle MSK).

A ce jour et jusqu'aux troisièmes visites décennales des réacteurs de Fessenheim, c'est ce niveau de séisme qui est à prendre en compte.

Le réexamen de sûreté en cours (dit « VD3 900 MWe »), conduit à l'occasion des troisièmes visites décennales des réacteurs de 900 MWe débutant en 2009, comporte également un volet sur le séisme. Il porte sur la résistance des installations face à un aléa sismique défini en appliquant les recommandations de sûreté les plus récentes, en l'espèce la règle fondamentale de sûreté (RFS) 2001-01 à laquelle vous faites référence dans votre courrier.

EDF a, dans cette optique, appliqué la RFS 2001-01 pour chacune des centrales nucléaires concernées afin de déterminer les « nouveaux » spectres sismiques. Les études détaillées correspondantes ont été produites par EDF et soumises à l'examen de l'IRSN. Cet examen a en particulier mis en lumière des différences d'interprétation de la RFS 2001-01 entre l'IRSN et EDF. Elles ont donné lieu à la lettre ASN (référence 2) que vous mentionnez dans votre courrier. Les discussions techniques visant à comprendre les causes et les conséquences de ces différences d'interprétation se poursuivent.

L'analyse achevée début 2003 par l'IRSN constitue donc une étape intermédiaire dans la détermination du séisme majoré de sécurité (SMS) de Fessenheim, l'objectif de l'ASN demeurant de statuer sur le SMS retenu pour chaque site préalablement aux troisièmes visites décennales.

En première approche, il s'avère qu'EDF et l'IRSN n'ont pas retenu les mêmes séismes historiques comme niveaux d'aléa dominants (SMHV : séismes maximaux historiquement vraisemblables). La principale différence porte sur la prise en compte de séismes proches du site. En effet, EDF écarte de tels séismes car ils n'entraînent pas l'intensité la plus grande au site (I_{site}), cette dernière étant liée au séisme de Bâle ce qui est, au plan de la forme, conforme à la RFS 2001-01. Toutefois, l'IRSN voit un intérêt à retenir de tels séismes en raison des pseudo accélérations plus importantes qu'ils provoquent au-delà de 2 Hz. C'est pourquoi l'ASN avait demandé à EDF de présenter des études complémentaires. Cette question, rappelée au point I.2 de la lettre en référence 2, est toujours en cours d'étude.

Les derniers résultats de l'analyse par l'IRSN de l'aléa sismique pour le site de Fessenheim sont repris dans le rapport de l'IRSN dont vous trouverez ci-joint l'extrait correspondant.

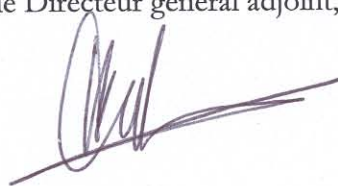
*

* *

Enfin, concernant la demande faite par l'ASN (lettre en référence 2) sur la qualification sismique des équipements, EDF a déjà réalisé la majorité des études relatives au site de Fessenheim. Quelques études sur certaines tuyauteries restent encore à transmettre à l'ASN. Ces études sont examinées par l'ASN dans le cadre du réexamen de sûreté VD3 900 MWe.

Je vous prie d'agréer, Madame, l'expression de ma considération distinguée.

Pour le Président de l'Autorité de Sûreté Nucléaire,
et par délégation,
le Directeur général adjoint,

A handwritten signature in dark ink, appearing to be 'Olivier Gupta', written over a horizontal line.

Olivier GUPTA

PJ : Rapport IRSN – partie relative au site de Fessenheim

Copies externes :

- IRSN/DSR
- EDF/CNPE de Fessenheim

Copies internes :

- ASN/DCN (OG, FF, DB)
- ASN/DRI
- ASN/Division de Strasbourg
- ASN/MJO
- ACL, JCN, JLL

IRSN

**Avis sur la mise a jour du référentiel
(version 2004) des spectres EDF pour les
REP français conformément à la
demande DGSNR (lettre du 2 juin 2003)**

S. Baize , D. Baumont, F. Bonilla , C. Berge-Thierry, E. Cushing., F.
Lemeille, S. Nechtschein , O. Scotti, P. Volant

Service d'Analyse des Risques Liés à la Géosphère

Rapport DEI/SARG n° 04-12

07-2004

R
A
P
P
O
R
T

2.16. Site de Fessenheim

2.16.1. Rappel de l'avis BERSSIn (Rapport IRSN/DPRE 03-14)

« EDF propose pour le site de Fessenheim le séisme de Bâle (18/10/1356) comme séisme de référence. EDF estime la magnitude de ce séisme à 6,7 et le place à 34 km de l'installation. Par ailleurs, EDF retient un paléoséisme (indice d'Achenheim, temps de retour estimé à 25.000 ans, magnitude estimée à 6,5, et situé à 73 km, selon EDF). Le spectre de réponse du paléoséisme est entièrement couvert par le spectre de réponse du SMS calé à 0,137g. EDF ne propose pas de séisme proche comme séisme de référence, du fait de son interprétation de la RFS2001-01 (« filtrage lmax »). EDF interprète la RFS2001-01 comme si le séisme produisant la plus forte intensité au site ls devait uniquement être utilisé pour définir le mouvement sismique. Le séisme de Bâle ayant une ls de IX, cette approche écarte les séismes proches car leurs intensités au site sont inférieures. Pour l'IRSN, les spectres des séismes proches (1926, 1952) doivent être considérés au même titre que celui du séisme de Bâle, pour définir l'aléa sismique de Fessenheim. Le Fossé rhénan se caractérise par une activité sismique significative (séisme de St dié, 22/02/2003), un séisme modéré proche du site est tout à fait probable.

Pour l'IRSN l'évaluation de l'aléa sismique selon la RFS2001-01 par EDF pour le site de Fessenheim n'est pas acceptable. »

2.16.2. Position DGSNR (lettre du 2 juin 2003)

« d) Cas des autres centrales du palier 900 MWe

Les évaluations de l'aléa sismique pour les sites de Cruas, **Fessenheim**, Gravelines, et Tricastin présentées par EDF me semblent répondre aux principes fixés par la RFS 2001-01, et à la démarche présentée au §. I et peuvent donc être utilisées comme base du réexamen de sûreté de ces sites. »

2.16.3. Réponse EDF :

les spectres SMS et minimal sont proposés (EF-TGG 01-164 E p. 23/32).

2.16.4. Avis BERSSIn (06/2004) Fessenheim

Cette proposition est conforme à la demande DGSNR.