

Dokumentationsunterlage zur Regelerstellung

KTA 2201.6

Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische Einwirkungen

Teil 6: Maßnahmen nach Erdbeben

(Fassung 6/92)

- 1 Auftrag des KTA
- 2 Beteiligte an der Regelerstellung
- 3 Erarbeitung des Regelentwurfs
- 4 Ausführungen zum Regeltext

1 Auftrag des KTA

- a) Der Kerntechnische Ausschuss (KTA) hat auf seiner 20. Sitzung am 20. Februar 1979 die Kraftwerk Union AG (KWU) beauftragt, federführend einen Regelentwurfsvorschlag KTA 2201 "Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische Einwirkungen, Teil 6: Maßnahmen nach Erdbeben" mit einer Dokumentationsunterlage durch ein Arbeitsgremium zu erarbeiten.

Die 1. Sitzung des Arbeitsgremiums KTA 2201.6 fand am 05.09.1979 statt. Zur Erarbeitung des Regelentwurfsvorschlages (Abschlusssitzung am 20.4.1983) benötigte das damalige Arbeitsgremium insgesamt 14 Sitzungen.

Der Regelentwurfsvorschlag wurde vom UA-AB erstmals am 02.08.1983 beraten und eine Entwurfsfassung April 1983 fertig gestellt. Die Weiterbearbeitung wurde bis zum Vorliegen von Ergebnissen aus dem Regeländerungsverfahren zu KTA 2201, Teil 1 "Grundsätze" vorläufig ausgesetzt. Die Regelarbeiten ruhten bis Anfang 1988.

- b) Auf der 43. Sitzung des KTA am 27.06.89 wurde die Federführung an die VGB übertragen, nach dem der Auftrag von Siemens AG - UB KWU zurückgegeben worden war.

2 Beteiligte an der Regelerstellung

2.1 Arbeitsgremium KTA 2201.6

An der Überarbeitung der Regelentwurfsvorlage KTA 2201.6/89/1 (Fraktionsvorlage) waren beim Stand vom 07.03.1990 im Arbeitsgremium als Mitglieder beteiligt:

- aus Datenschutzgründen in dieser Datei gelöscht

2.2 KTA-Unterausschuss

Dem KTA-Unterausschuss ANLAGEN- UND BAUTECHNIK (UA-AB) gehören an:

- aus Datenschutzgründen in dieser Datei gelöscht

2.3 KTA-Geschäftsstelle

Dipl.-Geophys. M. Bork

Geschäftsstelle des Kerntechnischen Ausschusses bei der Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln

3 Erarbeitung des Regelentwurfs

Der Unterausschuss ANLAGEN- UND BAUTECHNIK hat auf seiner 64. Sitzung am 19.01.1988 mit der Auswertung von Forschungs- und Untersuchungsergebnissen zum Thema "Erdbebenauslegung" begonnen und hierbei beschlossen, erst dann Regeltextänderungen zur Serie KTA 2201 vorzubereiten, wenn Grundsatzentscheidungen von Seiten der RSK vorliegen.

Die RSK-Beratungen über den Einfluss des Auslegungserdbebens auf Kernkraftwerksbauteile führten im Mai 1988 zu einer Bestätigung für das neue Auslegungskonzept auf der Basis eines einzigen, die sicherheitstechnischen Anforderungen abdeckenden Erdbebens, des Sicherheitserdbebens. Der UA-AB hat daraufhin auf seiner 65. Sitzung am 30. Juni 1988 beschlossen, dass

- die UA-Beratungsunterlage zu Teil 3 (bauliche Anlagen) und in diesem Zusammenhang - da nur teilweise in Vorgriff auf noch ausstehende Bewertungen zu den maschinen- und elektrotechnischen Anlagenteilen - auch der Teil 1 (Grundsätze) auf der Basis Fassung 6/75 sowie die UA-Beratungsunterlage zu Teil 6 (Maßnahmen nach Erdbeben) im Pkt. Auslegungserdbeben/Inspektionserdbeben formal angepasst werden sollten,
- der UA auf der Grundlage dieser von der KTA-GS fertig gestellten Überarbeitungen prüfen wird, inwieweit einzelne externe Fachleute oder ein Arbeitsgremium hinzugezogen werden sollen,
- bei einer Anpassung der Regelvorlage KTA 2201.4 (maschinen- und elektrotechnische Anlagenteile) zusätzlich zur Bewertung des AEB-Einflusses noch die Festlegung des Dämpfungswerts bei Rohrleitungen erforderlich ist.

Der UA-AB hat sich auf seiner Sitzung am 23.11.88 der RSK-Empfehlung, das Auslegungserdbeben nicht mehr als besonderen Lastfall zu berücksichtigen, angeschlossen. Die Begriffe ".Auslegungserdbeben" und "Sicherheitserdbeben" wurden zum Begriff "Bemessungserdbeben" (Bemessungserdbeben ist das Sicherheitserdbeben) zusammengefasst und als neues Inspektionsniveau das 0,4-fache der Bemessungsgrößen dieses Bemessungserdbebens eingeführt. Darüber hinaus war der UA der Ansicht, in der vorliegenden Revisionsphase zu KTA 2201 wenn, dann nur sachlich engbegrenzte zusätzliche Regeltextänderungen vorzunehmen, bei denen allgemeine Zustimmung erwartet werden kann.

Die Ergebnisse der Beratungen zur Regeländerung von KTA 2201.1 (6/75) wurden bei der Überarbeitung von KTA 2201.6 zugrunde gelegt.

Der UA-AB hat auf seiner 67. Sitzung am 20.01.1989 die Regelentwurfsvorlage KTA-Dok-Nr. 2201.6/89/1 fertig gestellt und beschlossen, diese den Fraktionen des KTA zur Stellungnahme vorzulegen.

Die Behandlung der im Fraktionsdurchgang seitens VdTÜV, Siemens AG und GS-Prüfstelle eingereichten Stellungnahmen führte zu dem einstimmigen Beschluss, die Entwurfsvorlage zur Überarbeitung an ein neu zu konstituierendes Arbeitsgremium zurückzuverweisen.

Das Arbeitsgremium, dem neben Mitgliedern des ehemaligen AG auch Vertreter der Fraktionseingaben angehörten, hat in 4 Sitzungen die Regelentwurfsvorlage überarbeitet und dem UA-AB zur Prüfung vorgelegt. Der UA-AB hat auf seiner 70. Sitzung am 29./30. März 1990 einstimmig beschlossen, die fertig gestellte Regelentwurfsvorlage (KTA-Dok.-Nr. 2201.6/90/2) dem KTA zur Verabschiedung vorzulegen.

Der KTA hat auf seiner 44. Sitzung am 12.06.1990 den Regelentwurf verabschiedet. Die Bekanntmachung des BMU erfolgte im Bundesanzeiger Nr. 119 vom 30.06.1990.

4 Ausführungen zum Regeltext

4.1 Konzept der Regel

Diese Regel KTA 2201 "Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische Einwirkungen, Teil 6: Maßnahmen nach Erdbeben" basiert auf dem Grundsatz, dass die Sicherheit von Kernkraftwerken durch die Auslegungen gegen den Lastfall Erdbeben gemäß KTA 2201 gewährleistet ist. Die Regel KTA 2201.5 (Teil 5: Seismische Instrumentierung) gibt eine seismische Instrumentierung an, mit der festgestellt werden kann, ob die dem Inspektionsniveau zugrundeliegenden Bemessungsgrößen überschritten worden sind, und mit der durch Registrierung von Erdbebenzeitverläufen Eingabewerte für eine rechnerische Nachprüfung gewonnen werden können. Das bisherige Inspektionsniveau mit AEB-Bezug (z. B: Antwortspektrum des Auslegungserdbebens) kann durch das neue Inspektionsniveau mit BEB-Bezug (z. B. 40 % vom Antwortspektrum des Bemessungserdbebens) ersetzt werden.

- a) Beim Nachweiskonzept Sicherheitserdbeben - Auslegungserdbeben werden die Anlagenteile der Klasse I sowohl für das Auslegungserdbeben als auch für das Sicherheitserdbeben auf der Grundlage der KTA-Regel 2201.1. (Fassung 6/75) ausgelegt, wobei aufgrund der Art der Auslegung für das Auslegungserdbeben auch nach wiederholtem Auftreten dieses unterstellten Erdbebens ein Weiterbetrieb des Kraftwerkes unter sicherheitstechnischen Aspekten möglich ist. Die Berücksichtigung des Sicherheitserdbebens stellt sicher, dass nach einem Erdbeben des unterstellten größtmöglichen Ausmaßes die Anlage sicher abgeschaltet, im abgeschalteten Zustand gehalten, die Nachwärme abgeführt und eine unzulässige Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Umgebung verhütet werden kann.

Erfasst werden bei diesem Nachweiskonzept auch alle die Anlagenteile, deren Beschädigung oder Versagen Klasse I-Anlagenteile in ihrer sicherheitstechnischen Funktion beeinträchtigen können; bei zum Hochwasserschutz (KTA 2207)

dienenden Einrichtungen in Kombination mit dem Auslegungserdbeben, bei Brandschutzeinrichtungen (KTA 2101.1) erforderlichenfalls entweder für das Sicherheitserdbeben oder für ein (sogenanntes) kleineres Erdbeben.

Die betrieblichen (d.h. die Interessen des Betreibers betreffenden) Gesichtspunkte bleiben davon unberührt: Zusätzlich können alle für den Normalbetrieb wichtigen und nicht unter die Klasse I fallenden Anlagenteile für ein Betriebserdbeben (nach Wahl des Betreibers) ausgelegt werden.

- b) Beim Nachweiskonzept Bemessungserdbeben - Inspektionsniveau entfällt unter Beibehaltung der Auslegung für das Bemessungserdbeben (ehem. Sicherheitserdbeben) der Doppelnachweis für ein kleineres Erdbeben. Durch Definition eines Inspektionsniveaus als das 0,4fache des Bemessungserdbeben-Niveaus besteht keine Notwendigkeit eines zusätzlichen Nachweises, um davon ausgehen zu können, dass auch nach wiederholtem Auftreten von Erdbeben unterhalb oder gleich dem Inspektionsniveau ein Weiterbetrieb des Kraftwerkes unter sicherheitstechnischen Aspekten möglich ist. Für die Einrichtungen zum Hochwasser- und Brandschutz, die nicht für das Bemessungserdbeben ausgelegt sind, sollte eine Erdbebensicherheit bis zum Inspektionsniveau angestrebt werden.
- c) Beiden Nachweiskonzepten liegt die folgende Anforderung zugrunde: Nach Überschreitung einer Bemessungsgröße des Auslegungserdbebens/Inspektionsniveaus ist das Kernkraftwerk zu überprüfen. Ziel der Überprüfung ist es, festzustellen ob die Anlage - unter sicherheitstechnischen Aspekten - weiter betrieben werden darf.

Die betrieblichen (d. h. die Interessen des Betreibers betreffenden) Gesichtspunkte bleiben davon insoweit unberührt, als für nicht gegen das Bemessungserdbeben ausgelegte Anlagenteile (Betriebsanlagen, Einrichtungen des Hochwasser- und Brandschutzes) vor einem Weiterbetrieb Reparatur- und Ertüchtigungsmaßnahmen erforderlich sein können, die ihrerseits eine Abschaltung der Anlage zur Folge haben können; d.h. Abschaltung ausschließlich infolge betrieblicher Belange.

4.2 Anmerkungen zum Regeltext

Zu Abschnitt 1 (Anwendungsbereich)

Die Ermittlung der Erdbebenbelastung erfolgt durch die Auswertung der registrierten Erdbebenzeitverläufe. Bei der Erstellung dieser Regel wurde davon ausgegangen, dass das Kernkraftwerk mit einer seismischen Instrumentierung gemäß der Regel KTA 2201.5 ausgestattet ist.

Zu Abschnitt 3 (Analyse und Maßnahmen)

Diagrammpunkt 1

- (1) Die Erdbebenauslegung sichert die Aufrechterhaltung aller sicherheitstechnisch notwendigen Funktionen. Darüber hinaus ist zu erwarten, dass die infolge des Erdbebens auftretenden zusätzlichen Belastungen nur an einzelnen Stellen der Anlage an die jeweiligen Bemessungsgrenzen des Bemessungserdbebens heranreichen.
- (2) Das Reaktorschutzsystem löst das Abschalten der Anlage automatisch aus, wenn unzulässige Anlagenzustände auftreten. Aus diesem Grunde ist es nicht geboten, die von der seismischen Instrumentierung registrierten Signale mit dem Reaktorschutzsystem zu koppeln.
- (3) Da ein Erdbeben ein Ereignis ist, das großräumig wirkt, wird, wenn die Instrumentierung durch ein Erdbeben angesprochen hat, auf den Registrierungen aller Aufstellungsorte zur gleichen Zeit das Ereignis erkennbar sein, selbst wenn der Weit der Beschleunigungen von Aufstellungsort zu Aufstellungsort in Grenzen variiert.

Diagrammpunkt 2

Als mögliche Fehlanregungsquellen, auf die ein großer Teil der seismischen Instrumentierung ansprechen könnte, kommen andere schwerwiegende Einwirkungen von außen, die jedoch sowohl vom Ablauf als auch von ihrem Erscheinungsbild vom Erdbeben eindeutig zu unterscheiden sind, in Betracht (Flugzeugabsturz, Druckwelle). Gleiches gilt für anlageninterne Störfälle im Reaktorgebäude, durch die Teile der Instrumentierung ansprechen könnten (z.B. Bruchstücke, schlagende Rohrleitungen). Echte Fehlanregungen der Instrumentierung (Trigger, Beschleunigungsaufnehmer, Wächter) werden daher auf einen Aufstellungsort beschränkt bleiben und sind als solche identifizierbar.

Diagrammpunkt 3

Gemäß Teil 5 der Regel KTA 2201 sind mindestens drei Beschleunigungsaufnehmer im Reaktorgebäude und ein Beschleunigungsaufnehmer im Freifeld installiert, die die Beschleunigungen in jeweils drei orthogonalen Richtungen messen. Die Wächter werden auf die maximalen Freifeld- oder Gebäudebeschleunigungen (Antwortspektrumeinhängewerte) beim Inspektionsniveau eingestellt. Wurde (z. B. bei achsensymmetrischen Gebäuden) nur die horizontale Maximalbeschleunigung der Berechnung zugrunde gelegt, so sind bei dreiaxialen Wächtern die Beschleunigungsgrenzwerte für die Horizontalkomponenten auf den 1/2 fachen Beschleunigungswert der am Aufstellungsort für das Inspektionsniveau ermittelten horizontalen Maximalbeschleunigung zu reduzieren.

Diagrammpunkte 4,6

Es werden die maximalen Beschleunigungen der aufgezeichneten Spuren mit den Einhängewerten beim Inspektionsniveau verglichen. Den Wächtern der vertikalen Spuren wird die gleiche Bedeutung beigemessen wie den Wächtern der horizontalen

Spuren. Ein Abfragen des Überschreitens der vorgegebenen Grenzen an allen Aufstellungsorten der Beschleunigungsaufnehmer ist geeignet, um übereilte Maßnahmen infolge Fehlanzeigen zu vermeiden.

Diagrammpunkt 7

Wenn das aufgetretene Erdbeben das Inspektionsniveau (0,4 x BEB) überschritten hat, ist die Anlage zu überprüfen. Dies kann während des weiterlaufenden Betriebs geschehen. Ist das Inspektionsniveau jedoch maßgeblich überschritten, so ist die Anlage zunächst abzufahren, die Überprüfung während des Stillstands vorzunehmen und erst nach positivem Überprüfungsergebnis wieder anzufahren.

Das Inspektionsniveau gilt als maßgeblich überschritten, wenn das Niveau des aufgetretenen Erdbebens (a-hres, Antwortspektren) um einen Faktor f über dem des Inspektionsniveaus liegt:

$$\text{Abschaltniveau} = f \times 0,4 \times \text{BEB}$$

Zur Ableitung eines konservativen Faktors f wird davon ausgegangen, dass Weiterbetrieb solange unbedenklich ist, wie die Beanspruchungen des aufgetretenen Erdbebens innerhalb der elastischen Grenzen bzw. plastische Deformationen auf den Bereich geometrischer Diskontinuitäten beschränkt bleiben. Letzteres ist dann der Fall, wenn die Beanspruchungen der Stufe C nicht überschritten werden. Bei einer Auslegung gegen das Bemessungserdbeben nach Stufe D werden die Beanspruchungen der Stufe C bei $\alpha \times \text{BEB}$ erreicht mit

$$\alpha = \left(\frac{\text{zul } \sigma^C}{\text{vorh } \sigma^A} - 1 \right) / \left(\frac{\text{vorh } \sigma^D}{\text{vorh } \sigma^A} - 1 \right)$$

Dabei sind noch immer Konservativitäten vorhanden:

- vorsichtige Annahmen bezüglich vorh σ^A und vorh σ^D ,
- teilweise günstigere Betriebsbedingungen während dieses speziellen Erdbebens,
- Schmalbandigkeit der Spektren dieses speziellen Erdbebens,
- erfahrungsgemäß erheblich günstigeres Komponentenverhalten als rechnerisch auf Basis des Regelwerks KTA 2201 nachweisbar.

In Tabelle D-1 sind die sicherheitstechnisch relevanten Komponenten nach Gruppen aufgelistet und die zug. α – Werte angegeben. In ingenieurmäßiger Wertung dieser Ergebnisse und der noch vorhandenen Konservativitäten ergibt sich: $\alpha = 0,6$ mit der Möglichkeit, durch anlagenspezifische Untersuchungen (rechnerische Überprüfung aller sicherheitstechnisch relevanter Behälter mit Prätzen oder Stützen aus Austenit) diesen bis auf $\alpha = 0,7$ anzuheben.

Dies entspricht einem Faktor f = 1,5, ggf. anhebbar auf f = 1,75.

Diagrammpunkt 9

(1) Sofern aufgrund der Erdbebenerstatterungen nicht selbst eine Schnellabschaltung des Reaktors erfolgt, besteht kein Grund, im Nachhinein eine Schnellabschaltung zu fordern, um Transienten zu vermeiden.

(2) Vorrangig sollte die Nachwärme über die betrieblichen Systeme abgeführt werden. Aus diesem Grund empfiehlt es sich, bei Ausfall der Fremdstromversorgung (Hauptnetz, Reservenetz) die Anlage zunächst im Inselbetrieb zu belassen, die Wiederherstellung der Fremdstromversorgung zu prüfen und gegebenenfalls wiederherzustellen, bevor die Notstromeinrichtungen in Anspruch genommen werden.

(3) Sofern auf Grund der Kriterien. des Ablaufdiagramms das Abfahren der Anlage erforderlich wird, darf das Abfahren gemäß Betriebshandbuch unter Einhaltung der normalen betrieblichen Vorbereitungen erfolgen.

Zeile	Anlagengruppe	Beanspruchungsgrenze bei BEB	Abschaltniveau = α x BEB
1	Rohrleitungen geschweißt	$3S_b (= R_{mT})$	0,7
2	gef lanscht	Flansch: $R_{p0,2T}$	1
3	Unterstützungen, Halterungen, Stahlbau	$R_{p0,2T}$	1
4	Aktive M-Komponenten	$R_{p0,2T}$	1
5	Behälter, Wärmetauscher	min. $(3,6S_m, R_{mT})$	> 0,5 (- 0,7)
6	E- und leittechn. Komponenten	Experimenteller Nachweis	11
7	EK Ila-Komponenten, -Rohrleitungen	wie EK I-Komponenten, -Rohrleitungen	> 0,5 (- 0,7)
8	Sicherheitshülle	$0,94 \cdot R_{p0,2T}$	1

Erläuterungen

Zeile 1
Aufgrund der Auslegungsstufe 0 und der Bedingung der Durchbiegungsbeschränkung kann angenommen werden:
vorh $\sigma^A < 0,75 S_m$. Bei sonst konservativem Ansatz ergibt sich dann $\alpha = 0,7$.

Zeilen 2, 3, 8
Soweit im Rahmen der Auslegung gegen BEB grundsätzlich die Streckgrenze eingehalten wird, bleiben bis 100 % BEB die Beanspruchungen im elastischen Bereich. Verbindungsmittel werden ohnehin strenger bewertet.
 $\Rightarrow \alpha = 1,0$.

Zeile 4
Da im Rahmen der Auslegung gegen BEB der Nachweis durch Einhaltung von Stufe B oder Verformungsnachweis erbracht wird, treten bis 100 % BEB keine unzulässigen plastischen Deformationen auf.
 $\Rightarrow \alpha = 1,0$.

Zeile 6
Da die aktive Funktion bis 100 % BEB experimentell nachgewiesen wird, gilt
 $\Rightarrow \alpha = 1,0$.

Zeilen 5, 7
Da für Stufe A, B i. a. die Summe aus Primär- und Sekundärspannungen $(P_L + Q \leq 3S_m)$ maßgebend ist, kann für austenitische Werkstoffe bei den im Kraftwerk vorkommenden Fällen angenommen werden vorh $\sigma_L^A \leq S_m$. Bei sonst konservativen Ansatz ergibt sich dann $\alpha \cong 0,5$. Bei ferritischen Werkstoffen folgt entsprechend $\alpha \cong 0,5 - 0,1$.
Da der Fall $\alpha \cong 0,5$ nur bei Behältern mit Prätzen oder Stützen auftreten kann, besteht die Möglichkeit, durch vollständige Betrachtung dieser (i. a. wenigen) Behälter den Faktor anzuheben, im günstigsten Fall auf den Wert für geschweißte Rohrleitungen, $\alpha \cong 0,7$.

Tabelle D-1: Abschaltniveau bei sicherheitstechnisch relevanten Anlagenteilen