

KTA 2201.6

Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische Einwirkungen

Teil 6: Maßnahmen nach Erdbeben

Fassung Juni 1992

Inhalt

	Seite
Grundlagen	2
1 Anwendungsbereich.....	2
2 Begriffe.....	2
3 Analyse und Maßnahmen.....	2
3.1 Analyse	2
3.2 Maßnahmen	3
Anhang A: Ableitung des Faktors f.....	5
Anhang B: Zusammenstellung der verwendeten Formelzeichen und Abkürzungen	6
Anhang C: Bestimmungen, auf die in dieser Regel verwiesen wird	6
Stichwortverzeichnis.....	7

Grundlagen

(1) Die Regeln des Kerntechnischen Ausschusses (KTA) haben die Aufgabe, sicherheitstechnische Anforderungen anzugeben, bei deren Einhaltung die nach dem Stand von Wissenschaft und Technik erforderliche Vorsorge gegen Schäden durch die Errichtung und den Betrieb der Anlage getroffen ist (§ 7 Abs. 2 Nr. 3 Atomgesetz), um die im Atomgesetz und in der Strahlenschutzverordnung festgelegten sowie in den "Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke" und den "Leitlinien zur Beurteilung der Auslegung von Kernkraftwerken mit Druckwasserreaktoren gegen Störfälle im Sinne des § 28 Abs. 3 der Strahlenschutzverordnung (Störfall-Leitlinien)" weiter konkretisierten Schutzziele zu erreichen.

(2) Zur Erreichung dieser Ziele behandelt diese Regel im Rahmen von KTA 2201 "Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische Einwirkungen" Maßnahmen nach einem Erdbeben, wenn bestimmte Beschleunigungsgrenzwerte des Inspektionsniveaus überschritten wurden. Zur Regel KTA 2201 gehören als weitere Teile:

Teil 1: Grundsätze

Teil 2: Baugrund

Teil 3: Auslegung der baulichen Anlagen

Teil 4: Anforderungen an Verfahren zum Nachweis der Erdbebensicherheit für maschinen- und elektrotechnische Anlagenteile

Teil 5: Seismische Instrumentierung

(3) Diese Regel basiert auf dem Nachweiskonzept Bemessungserdbeben-Inspektionsniveau. Die Grenzwerte des Inspektionsniveaus betragen das 0,4-fache der Bemessungsgrößen des Bemessungserdbebens.

(4) Sind Nachweise geführt worden, die die Anwendung anderer Grenzwerte für die zu ergreifenden Maßnahmen nach Erdbeben zulassen, können diese anderen Grenzwerte als Inspektionsniveau verwendet werden.

Dies gilt z. B. für Kernkraftwerke, bei deren Auslegung ein Nachweis für das Auslegungserdbeben auf der Grundlage von KTA 2201.1 - Fassung 6/75 (Nachweiskonzept Sicherheitserdbeben - Auslegungserdbeben) geführt wurde.

1 Anwendungsbereich

Diese Regel ist auf Kernkraftwerke anzuwenden. Sie gilt für Kernkraftwerke an Standorten, für die eine seismische Instrumentierung nach KTA 2201.5 zu installieren ist.

2 Begriffe

(1) Bestimmungsgemäßer Anlagenzustand

Der bestimmungsgemäße Anlagenzustand ist der Zustand der Anlage, der dem bestimmungsgemäßen Betrieb zuzuordnen ist.

(2) Inspektionsniveau

Aus den Bemessungsgrößen des Bemessungserdbebens unter Anwendung eines Reduktionsfaktors von 0,4 erzeugte Grenzwerte (maximale Beschleunigungen $a_{IN, \max}$) und mit dem Reduktionsfaktor 0,4 skaliertes Verlauf der Beschleunigungs-Antwortspektren des Bemessungserdbebens.

3 Analyse und Maßnahmen

3.1 Analyse

3.1.1 Ansprechen der Sammelmeldung "Erdbeben"

Bei Ansprechen der Sammelmeldung "Erdbeben" auf der Warte ist unverzüglich eine Analyse gemäß dem Analysediagramm Bild 3-1 und den zugehörigen Erläuterungen nach Abschnitt 3.1.2 durchzuführen.

Die in den Diagrammpunkten 1 bis 7 genannten Maßnahmen sind innerhalb eines im Betriebshandbuch festzulegenden Zeitraums durchzuführen.

3.1.2 Durchführung der Analyse

(1) Feststellung der Sachlage

Zur Feststellung der Sachlage sind Prüfungen und Untersuchungen im einzelnen gemäß (2) bis (7) durchzuführen.

(2) Auslösung der Sammelmeldung durch Erdbeben?
(Diagrammpunkt 1)

Es ist zu prüfen, ob ein Erdbeben stattgefunden hat, z. B. durch Kontaktaufnahme mit Stellen außerhalb des Kernkraftwerks. Haben mindestens zwei seismische Trigger angesprochen, so ist vorsorglich anzunehmen, daß ein Erdbeben stattgefunden hat.

(3) Seismischer Wächter angesprochen?
(Diagrammpunkt 3)

Es ist zu prüfen, ob mindestens ein seismischer Wächter angesprochen hat.

(4) Anlage im bestimmungsgemäßen Zustand?
(Diagrammpunkt 5)

Der Anlagenzustand ist von der Warte aus (zum Beispiel Rechnerausdrucke, Analoganzeigen, Störmeldungen, Hinweise auf Leckagen) zu überprüfen. Durch Begehung der Anlage ist eine Sichtprüfung (zum Beispiel Vergleich des Ist-Zustandes mit dem Soll-Zustand, Prüfung auf Unversehrtheit, Kontrolle örtlicher Meßstellen und Verformungen) durchzuführen. Art und Umfang der Prüfungen richten sich nach den spezifischen Gegebenheiten der Anlage. Zur Beurteilung der Erdbebenauswirkungen sollen auch nicht gegen Erdbeben ausgelegte Anlagenbereiche begangen werden.

Der bestimmungsgemäße Anlagenzustand gilt zu nächst als eingehalten, wenn die Bedingungen gemäß Betriebshandbuch eingehalten und keine offensichtlichen Schäden erkennbar sind, die zu einer Einschränkung des bestimmungsgemäßen Betriebs führen können.

(5) Inspektionsniveau überschritten?
(Diagrammpunkte 4 und 6)

Gleichzeitig mit den Maßnahmen nach Absatz 4 sind die maximalen registrierten Beschleunigungen ($a_{ir, \max}$) aus den aufgezeichneten Zeitverläufen an den Aufstellungsorten der Beschleunigungsaufnehmer wie folgt zu ermitteln:

a) Für alle aufgezeichneten Beschleunigungszeitverläufe sind spurweise die aufgetretenen Maximalwerte ($a_{xr, \max}$, $a_{yr, \max}$, $a_{zr, \max}$) zu ermitteln.

b) Es ist die Resultierende ($a_{hr, R, \max}$) aus den registrierten Horizontalbeschleunigungskomponenten am jeweiligen Registrierort zu ermitteln.

Es ist ein Vergleich zwischen den maximalen registrierten Beschleunigungen ($a_{ir, \max}$) und den dem Inspektionsniveau zugrunde liegenden jeweiligen maximalen Beschleunigungen ($a_{iIN, \max}$) für alle Aufstellungsorte der Beschleunigungsaufnehmer durchzuführen.

Das Inspektionsniveau gilt als überschritten, wenn für mindestens eine Beschleunigung

$$a_{ir, \max} > a_{IN, \max}$$

ist.

- (6) Inspektionsniveau maßgeblich überschritten?
(Diagrammpunkt 7)

Das Inspektionsniveau gilt als maßgeblich überschritten, wenn für mindestens zwei Registrierorte die Beschleunigungen

$$a_{hrR, \max} > f \cdot a_{IN, \max}$$

sind, wobei der Faktor f mit dem nach Anhang A abgeleiteten Wert von 1,5 anzusetzen ist, falls kein größerer Wert anlagen-spezifisch als zulässig nachgewiesen wird.

- (7) Beanspruchungsniveau zulässig?
(Diagrammpunkt 8)

Es ist ein Vergleich der aus den registrierten Erdbebenzeitverläufen ermittelten Erdbebenantwortspektralen mit den dem Inspektionsniveau zugrunde liegenden Antwortspektralen an den Aufstellungsstellen der Beschleunigungsaufnehmer vorzunehmen:

- Eine Überschreitung der dem Inspektionsniveau zugrunde liegenden Antwortspektralen liegt vor, wenn mindestens bei einem Frequenzwert die Amplitude um mehr als 10 % überschritten wurde.
- Die Frequenzen, bei denen eine Überschreitung der dem Inspektionsniveau zugrunde liegenden Antwortspektralen vorliegt, sind für die jeweiligen Registrierorte zu ermitteln.
- Bei Anlagenteilen der Erdbebenklasse I, deren Eigenfrequenzen nicht mit den nach Punkt a) zuzuordnenden Frequenzen zusammenfallen, kann ohne weiteren Nachweis angenommen werden, daß die zulässigen Beanspruchungen nicht überschritten wurden.

Für alle Anlagenteile der Erdbebenklasse I, deren Eigenfrequenzen mit den nach Punkt a) zuzuordnenden Frequenzen zusammenfallen, sind weitergehende Untersuchungen zu den aufgetretenen Beanspruchungen durchzuführen und das tatsächlich aufgetretene Beanspruchungsniveau wie folgt zu bewerten:

- Für diese Anlagenteile ist eine Beanspruchungsanalyse durchzuführen. Es sind die aus den registrierten Erdbebenzeitverläufen ermittelten Beschleunigungs-Antwortspektralen, erforderlichenfalls die für den jeweiligen Einbauort umgerechneten Erdbeben-Zeitverläufe aller drei Anrichtungsrichtungen, zu berücksichtigen. Es dürfen die Anlagen- oder Systemzustände angesetzt werden, die während des Erdbebens vorlagen.
- Das aufgetretene Beanspruchungsniveau ist mit dem bei der Bemessung (Lastkombination "Erdbeben" gemäß KTA 2201.3 und KTA 2201.4) zugrunde gelegten zu vergleichen und die Zulässigkeit nachzuweisen. (Nachweis der Erfüllung der jeweiligen sicherheitstechnischen Aufgabenstellungen: Standsicherheit, Integrität, Funktionsfähigkeit)

- Weitergehende Festlegungen sind im Einzelfall zulässig, insbesondere auch bei Anlagenteilen der Erdbebenklasse II, die Teile der Erdbebenklasse I gefährden können, sowie bei nichttragenden Bauteilen von Bauwerken der Erdbebenklasse I.

3.2 Maßnahmen

3.2.1 Allgemeine Maßnahmen

(1) Tritt als Folge eines Erdbebens eine Betriebsstörung oder ein Störfall im nicht gegen Erdbeben ausgelegten Bereich der Anlage auf, so sind die im Betriebshandbuch hierfür jeweils angegebenen Maßnahmen vorrangig auszuführen. Die in dieser Regel angegebenen Maßnahmen sind dann im jeweils geforderten Umfang als zusätzliche Überprüfungsmaßnahmen anzusehen.

(2) Die Maßnahmen nach Erdbeben sind zu dokumentieren.

(3) Zur Aufrechterhaltung der Registrierbereitschaft der seismischen Instrumentierung sind die Meßwertträger bei Entnahme aus den Registriergeräten unmittelbar zu ersetzen.

3.2.2 Maßnahmen je nach Sachlage

(1) Je nach Sachlage aufgrund der Analyse nach Bild 3-1 sind Maßnahmen nach (2), (3) oder (4) durchzuführen.

(2) Überprüfung der seismischen Instrumentierung
(Diagrammpunkt 2)

Die Ursache der Fehlanregung ist zu ermitteln und Vorkehrung gegen eine Wiederholung zu treffen. Als Fehlanregung der seismischen Instrumentierung sind Anregungen anzusehen, die nicht durch Erdbeben verursacht wurden.

(3) Abfahren der Anlage
(Diagrammpunkt 9)

Sofern nicht bereits eine Reaktorschnellabschaltung durch das Erdbeben verursacht wurde, ist das Abfahren der Anlage gemäß Betriebshandbuch, wie für den jeweiligen Anlagenzustand vorgesehen, durchzuführen. Vorzugsweise sollte über die Hauptwärmesenke abgefahren werden.

Weitere Maßnahmen sind im Einzelfall in Abstimmung mit der Aufsichtsbehörde festzulegen.

(4) Weiterbetrieb der Anlage
(Diagrammpunkt 10)

Die Anlage muß nicht abgeschaltet werden, wenn der bestimmungsgemäße Anlagenzustand vorliegt und eine unzulässige Anlagenbeanspruchung infolge des Erdbebens nicht aufgetreten ist.

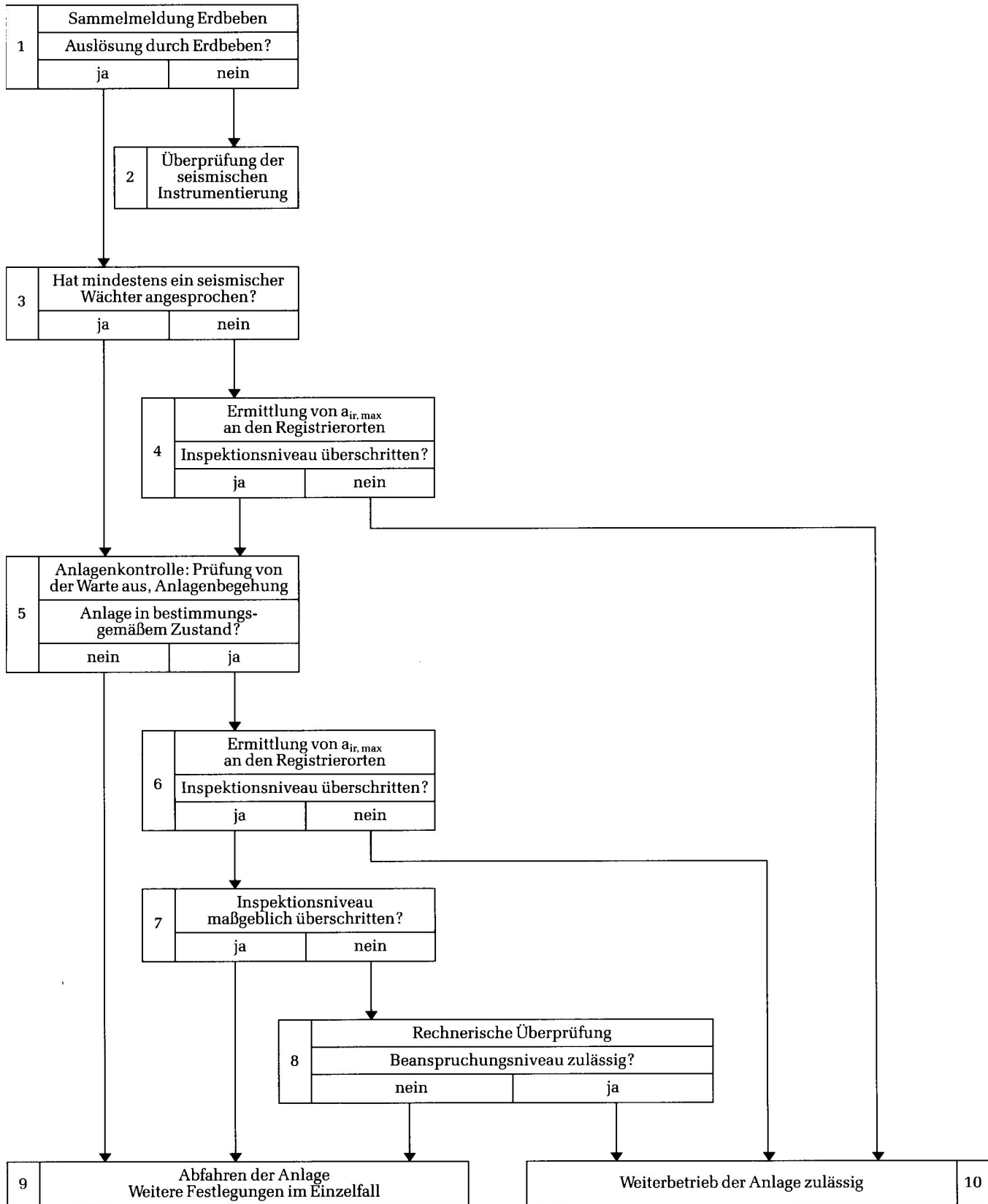


Bild 3-1: Analysediagramm zur Festlegung der Maßnahmen nach Erdbeben

Anhang A

Ableitung des Faktors f

Das Inspektionsniveau gilt als maßgeblich überschritten, wenn das Niveau des aufgetretenen Erdbebens (a_{hrR} , Antwortspektren) um einen Faktor f über dem des Inspektionsniveaus liegt:

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

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 A-1** sind die sicherheitstechnisch relevanten Komponenten nach Gruppen aufgelistet und die zugehörigen 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, anhebbar auf f = 1,75.

Zeile	Anlagengruppe	Beanspruchungsgrenze bei BEB	Abschaltniveau = $\alpha \times \text{BEB}$	
1	Rohrleitungen	geschweißt	$3 S_m (= R_{mT})$	0,7
2		geflanscht	Flansch: $R_{p0,2T}$	1
3	Unterstützungen, Halterungen Stahlbau		$R_{p0,2T}$	1
4	Aktive M-Komponenten		$R_{p0,2T}$ oder Verformungsnachweis	1
5	Behälter, Wärmetauscher		min. $(3,6 S_m, R_{mT})$	> 0,5 (bis 0,7)
6	E- und leittechn. Komponenten		Experimenteller Nachweis	1
7	EK IIA-Komponenten, -Rohrleitungen		wie EK I-Komponenten,- Rohrleitungen	> 0,5 (bis 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.

→ $\alpha = 1,0$

Zeile 4

Da im Rahmen der Auslegung gegen BEB grundsätzlich der Nachweis durch Einhaltung von Stufe B oder Verformungsnachweis erbracht wird, treten bis 100% BEB keine unzulässigen plastischen Deformationen auf.

→ $\alpha = 1,0$.

Zeile 6

Falls die aktive Funktion bis 100% BEB experimentell nachgewiesen wird, gilt

→ $\alpha = 1,0$.

Zeilen 5, 7

Da für Stufen A und B im allgemeinen die Summe aus Primär- und Sekundärspannungen ($P_L + Q \leq 3 S_m$) maßgebend ist, kann für austenitische Werkstoffe bei den im Kraftwerk vorkommenden Fällen angenommen werden: vorh. $\sigma_L^A \leq S_m$.

Bei sonst konservativem Ansatz ergibt sich dann $\alpha = 0,5$. Bei ferritischen Werkstoffen folgt entsprechend $\alpha = 0,9$ bis 1,0. Da der Fall $\alpha = 0,5$ nur bei Behältern mit Prätzen oder Stützen auftreten kann, besteht die Möglichkeit, durch vollständige Betrachtung dieser (im allgemeinen wenigen) Behälter den Faktor anzuheben, im günstigsten Fall auf den Wert für geschweißte Rohrleitungen, $\alpha = 0,7$.

Tabelle A-1: Abschaltniveau bei sicherheitstechnisch relevanten Anlagenteilen

Anhang B

Zusammenstellung der verwendeten Formelzeichen und Abkürzungen

- $a_{ir, \max}$ = registrierte, maximale Beschleunigung in Richtung i
 $a_{hrR, \max}$ = aus den beiden registrierten horizontalen Komponenten $a_{ir, \max}$ gebildete resultierende Beschleunigung
 $a_{IN, \max}$ = max. Beschleunigung, bezogen auf die Bemessungsgrößen des Bemessungserdbebens unter Anwendung eines Reduktionsfaktors von 0,4

Hinweis:

Die Definitionen beziehen sich jeweils auf die Aufstellungsorte der Beschleunigungsaufnehmer (= Registrierorte) der seismischen Instrumentierung

Indices:

- r = registrierte Beschleunigung
 R = resultierende Beschleunigung
 IN = Inspektionserdbeben
 i = Koordinatenrichtung ($i = x, y, z$)

Anhang C

Bestimmungen, auf die in dieser Regel verwiesen wird

(Die Verweise beziehen sich nur auf die in diesem Anhang angegebenen Fassung.)

- | | | |
|------------|--------|---|
| KTA 2201.4 | (6/90) | Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische Einwirkungen, Teil 4: Anforderungen an Verfahren zum Nachweis der Erdbebensicherheit für maschinen- und elektrotechnische Anlagenteile |
| KTA 2201.5 | (6/90) | Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische Einwirkungen, Teil 5: Seismische Instrumentierung |

Stichwortverzeichnis

- Analoganzeigen 3.1.1; 3.1.2 (4)
 Analyse 3.1
 - diagramm 3.1.1
 Anlagen
 - Zustand 2 (1); 3.1.2 (4); 3.2.2 (3), (4); 3.1.2 (7) d)
 - Beanspruchung 3.2.2 (4)
 Anlagenteile 3.1.2 (7) b), d)
 Anregungen 3.2.2 (2)
 Anregungsrichtungen 3.1.2 (7) d)
 Antwortspektren 2 (2); 3.1.2 (7), b), d)
 Auslösung 3.1.2. 1
- Begehung 3.1.2 (4)
 Bemessungserdbeben 2 (2); 3.2 (7) e)
 Beschleunigung
 -, max. 2 (2)
 -, max. registrierte 3.1.2 (5)
 Beschleunigungs-
 - zeitverläufe, aufgezeichnete 3.1.2 (5) a)
 - aufnehmer 3.1.2 (5), (7)
 Betriebshandbuch 3.1.1
- Eigenfrequenz 3.1.2 (7) c)
 Erdbeben-
 - auswirkung 3.1.2 (4)
 - antwortspektren 3.1.2 (7)
 - klasse 3.1.2 (7) c), f)
- Frequenzwert 3.1.2 (7) a)
 Funktionsfähigkeit 3.1.2 (7) e)
- Grenzwerte 2 (2)
- Horizontalbeschleunigungskomponenten 3.1.2 (5) b)
- Integrität 3.1.2 (7) e)
- Kontaktaufnahme 3.1.2 (2)
- Leckage 3.1.2 (4)
- Maßnahmen 3.2
 Meßstelle 3.1.2 (4)
 Meßwertträger 3.2.1 (3)
- Nachweis 3.1.2 (7) c)
 Niveau
 - Beanspruchungs- 3.1.2 (7) c), e)
 - Inspektions- 2 (2); 3.1.1 (5), (6); 3.1.1 (7) a), b)
- Orte
 - Aufstellungs- 3.1.1 (5)
 - Einbau- 3.1.2 (7) d)
 - Registrier- 3.1.2 (5) b)
- Prüfungen 3.1.2 (1)
- Reduktionsfaktor 2 (2)
- Sammelmeldung Erdbeben 3.1.1
 Seismische
 - Instrumenberung 1; 3.2.1 (3); 3.2.2 (2)
 - Trigger 3.1.2 (2)
 - Wächter 3.1.2 (3)
- Sichtprüfung 3.1.2 (4)
 Standort 1
 Standsicherheit 3.1.2 (7) e)
 Störmeldung 3.1.2 (4)
- Warte 3.1.1
- Zeitverläufe, aufgezeichnete 3.1.2 (5)
 Zustand
 -, bestimmungsgemäßer 3.1.2 (4)
 - Ist- 3.1.2 (4)
 - Soll- 3.1.2 (4)
 - System 3.1.2 (7) d)