

Dokumentationsunterlage zur Regeländerung
KTA 2201.6
Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische Einwirkungen
Teil 6: Maßnahmen nach Erdbeben
Fassung 2015-11

Inhalt:

- 1 Auftrag des KTA
- 2 Beteiligte an der Regelerstellung
- 3 Erarbeitung der Regeländerung
- 4 Berücksichtigte Regeln und Unterlagen
- 5 Ausführungen zur Regeländerung

1 Auftrag des KTA

Der Kerntechnische Ausschuss (KTA) hat auf seiner 62. Sitzung am 13. November 2007 folgenden Beschluss gefasst:

Beschluss-Nr.: 62/8.1.1/1 vom 13.11.2007

Der Unterausschuss ANLAGEN- UND BAUTECHNIK (UA-AB) wird beauftragt, federführend den Entwurf zur Änderung der Regel

KTA 2201.6 Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische Einwirkungen;
Teil 6: Maßnahmen nach Erdbeben
(Fassung 1992-06)

mit einer Dokumentationsunterlage durch ein Arbeitsgremium erarbeiten zu lassen.

Der Zeitpunkt der Änderung dieser Regel sollte in zeitlicher Abstimmung mit dem Änderungsverfahren der Regel KTA 2201.1 erfolgen.

Die Geschäftsstelle wird beauftragt, diesen Beschluss zur Regel KTA 2201.6 dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit zur Veröffentlichung im Bundesanzeiger zuzuleiten.

2 Beteiligte an der Regelerstellung

2.1 Arbeitsgremium

Dr. T. Bloem	Westinghouse Electric; Mannheim
Dr. B. Elsche	E.ON Kernkraft, Hannover
Dipl.-Ing. L. Gerstner	AREVA, Offenbach
K. Götz	AREVA, Erlangen
Dr.-Ing. C. Golbs	Seismotec GmbH, Weimar
Dipl.-Ing. J. Graipel	TÜV SÜD Energietechnik, Filderstadt
Dipl.-Ing. S. Hartenstein	E.ON Kernkraft, Brokdorf
Dipl.-Ing. R. Horstmann	AREVA, Erlangen
Dipl.-Ing. S. Kirchner	TÜV SÜD Industrie Service GmbH, München
Dr. M. Krauß	BfS, Salzgitter
Dr. G. Roth (Obmann)	EnBW Kernkraft, Philippsburg
Dr.-Ing. H. Sadegh-Azar	HOCHTIEF SOLUTIONS AG, Frankfurt
Dipl.-Phys. M. Stein	EnBW Kernkraft, Neckarwestheim
Dr. G. Thuma	GRS, Köln

2.2 KTA-Unterausschuss ANLAGEN- und BAUTECHNIK (Stand: September 2015)

Obmann: Dr.-Ing. B. Elsche, E.ON Kernkraft GmbH, Hannover (ab November 2013)
 Dr.-Ing. F. Sommer, E.ON Kernkraft GmbH, Hannover (bis November 2013)

Vertreter der Hersteller und Ersteller von Atomanlagen

Dipl.-Ing. A. Fila	AREVA GmbH, Offenbach (1. Stellvertreter: W. Roth, AREVA GmbH, Offenbach) (2. Stellvertreter: B. Schmal, AREVA GmbH, Offenbach)
Dipl.-Ing. A. Oberste-Schemmann	Westinghouse Electric Germany GmbH, Mannheim, seit Dez. 2012 (Stellvertreter: U. Ricklefs, Westinghouse Electric Germany GmbH, Mannheim, seit Dez. 2012)

Vertreter der Betreiber von Atomanlagen

Dipl.-Ing. K. Borowski	RWE Power AG, Essen (Stellvertreter: Dr. G. Roth, EnBW Kraftwerke AG, Philippsburg)
Dr.-Ing. B. Elsche	E.ON Kernkraft GmbH, Hannover (ab November 2013)
Dr.-Ing. S. Mörschardt	Vattenfall Europe Nuclear Energy GmbH, Hamburg (Stellvertreter: H. Peters, Vattenfall Europe Nuclear Energy GmbH, Kernkraftwerk Brunsbüttel, ab Dez. 2012) (Stellvertreter: Dr. B. Neundorf, Vattenfall Europe Nuclear Energy GmbH, Hamburg, bis Nov. 2012)
Dr.-Ing. F. Sommer	E.ON Kernkraft GmbH, Hannover bis November 2013 (Stellvertreter: Dr.-Ing. B. Elsche, E.ON Kernkraft GmbH, Hannover, ab Dezember 2012 bis November 2013) (Stellvertreter: Dr.-Ing. R. Meiswinkel, E.ON Kernkraft GmbH, Hannover bis März 2012)

Vertreter des Bundes und der Länder

Dr. S. Borghoff	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit ab Nov. 2013 (1. Stellvertreter: Dr. M. Krauß, Bundesamt für Strahlenschutz, ab Dez. 2012) (2. Stellvertreter: Dr. M. Fabian, BMUB, ab Dez. 2012)
Dipl.-Ing. H.-J. Fieselmann	Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz, Hannover (1. Stellvertreter: MinR Dr. U. Hoffmann, Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein, Kiel, seit Dez. 2012) (2. Stellvertreter: GOAR F. Lotzmann, Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz, Hannover, seit Dez. 2012) (Stellvertreter: GOR F. Gregorzewski, Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz, Hannover, bis Nov. 2012)
S. Neveling	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit bis Nov. 2013 (1. Stellvertreter: Dr. M. Krauß, Bundesamt für Strahlenschutz, ab Dez. 2012) (2. Stellvertreter: Dr. M. Fabian, BMUB, ab Dez. 2012) (1. Stellvertreter: Dr. M. Fabian, BMUB, bis Nov. 2012) (2. Stellvertreter: Dr. M. Krauß, Bundesamt für Strahlenschutz, bis Nov. 2012)

Vertreter der Gutachter und Beratungsorganisationen

Dipl.-Ing. S. Kirchner	TÜV SÜD Industrie Service GmbH, München, ab Dez. 2012
Dr.-Ing. F.-H. Schlüter (für: RSK)	SMP-Ingenieure im Bauwesen, Karlsruhe, ab Nov. 2013
Dr. R. Stück	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln
Dipl.-Ing. G. Gerding (für: RSK)	TÜV Nord EnSys, Hannover bis November 2013
Dipl.-Ing. R. Hero	TÜV SÜD Industrie Service GmbH, München, bis Nov. 2012) (Stellvertreter: Dipl.-Ing. S. Kirchner, TÜV SÜD Industrie Service GmbH, München, bis Nov. 2012))

Vertreter sonst. Behörden, Organisationen und Stellen

F. Hennig (für: DGB)	E.ON Kernkraft GmbH, Kernkraftwerk Stade (Stellvertreter: W. Rhoden (für: DGB), E.ON Kernkraft GmbH, Kernkraftwerk Würgassen, ab Dez. 2012) (Stellvertreter: W. Pecher (für: DGB), E.ON Kernkraft GmbH, Kernkraftwerk Würgassen, bis Nov. 2012)
Dr.-Ing. J. Meyer (für: DIN)	HOCHTIEF Solutions AG, Frankfurt (Stellvertreter: Dr.-Ing. H. Sadegh-Azar (für: DIN), HOCHTIEF Solutions AG, Frankfurt)
BDir Dr.-Ing. H. Schneider (für: ARGEBAU)	Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, Stuttgart, ab Dez. 2012 (Stellvertreter: MinR Dr.-Ing. G. Scheuermann (für: ARGEBAU), Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, Stuttgart, ab Dez. 2012 bis Nov. 2013)
MinR Dr.-Ing. G. Scheuermann (für: ARGEBAU)	Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, Stuttgart, bis Nov. 2012 (Stellvertreter: BDir Dr.-Ing. H. Schneider (für: ARGEBAU), Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, Stuttgart, bis Nov. 2012)

2.3 Zuständige Mitarbeiter der KTA-Geschäftsstelle

Dr.-Ing. R. Gersinska	KTA-GS beim BfS, Salzgitter
-----------------------	-----------------------------

3 Erarbeitung der Regeländerung**3.1 Erarbeitung der Regeländerungsentwurfsvorlage**

- (1) Der Kerntechnische Ausschuss (KTA) hat auf seiner 62. Sitzung am 13. November 2007 beschlossen, die Regel KTA 2201.6 zu ändern und den KTA-Unterausschuss ANLAGEN- und BAUTECHNIK (UA-AB) beauftragt, einen Entwurf zur Änderung dieser Regel mit Dokumentationsunterlage durch ein Arbeitsgremium erarbeiten zu lassen.
- (2) Die konstituierende Sitzung des Arbeitsgremiums KTA 2201.6 fand am 4. Februar 2010 bei EnBW in Karlsruhe statt.
- (3) Zur Erarbeitung eines Regeländerungsentwurfsvorschlages fanden folgende weitere Sitzungen statt:
 2. Sitzung am 4. und 5. Mai bei GRS in Köln
 3. Sitzung am 7. Juli bei HOCHTIEF in Frankfurt
 4. Sitzung am 26. Oktober bei AREVA in Offenbach
 5. Sitzung am 8. und 9. Februar 2011 bei E.ON in Hannover
 6. Sitzung am 5. und 6. Juli 2011 bei TÜV SÜD in München
 7. Sitzung am 5. und 6. Oktober 2011 bei Westinghouse in Mannheim
 8. Sitzung am 24. und 25. Januar 2012 bei E.ON in Hannover
 9. Sitzung am 13. und 14. März 2012 bei TÜV SÜD in Filderstadt
 10. Sitzung am 19. Juni bei HOCHTIEF in Frankfurt
 11. Sitzung am 7. und 8. August 2012 bei Kernkraftwerk Brokdorf
 12. Sitzung am 27. September 2012 bei E.ON in Hannover
 13. Sitzung am 4. Dezember 2012 bei HOCHTIEF in Frankfurt
 14. Sitzung am 8. und 9. Januar 2013 bei Westinghouse in Mannheim
 15. Sitzung am 27. und 28. August 2013 bei EnBW in Karlsruhe
- (4) Der UA-AB hat auf seiner 104. am 3. März 2011 und 106. Sitzung am 6. März 2012 den Stand der Beratungen im Arbeitsgremium KTA 2201.6 verfolgt.
- (5) In der 14. Sitzung des AG wurde der Regeländerungsentwurfsvorschlag abschließend beraten und einstimmig dessen Vorlage in der 108. Sitzung des UA-AB beschlossen. Im Nachgang an die Sitzung wurden noch redaktionelle Änderungen vorgenommen.
- (6) Der UA-AB hat auf seiner 108. Sitzung am 6. März 2013 den Regeländerungsentwurfsvorschlag geprüft und die Regeländerungsentwurfsvorlage KTA 2201.6 (mit 12 Ja-Stimmen und einer Gegenstimme) in der Fassung 2013-03 verabschiedet. Diese wurde für den Fraktionsumlauf freigegeben.

3.2 Erarbeitung des Regeländerungsentwurfs

(1) Im Rahmen des Fraktionsumlaufs, der vom 15. März bis 15. Juni 2013 erfolgte, wurden von folgenden Personen bzw. Institutionen insgesamt 15 Stellungnahmen eingereicht:

- E.ON EKK
- RSK Ausschuss Anlagen- und Systemtechnik
- RSK Ausschuss Druckführende Komponenten und Werkstoffe
- VdTÜV

(2) Das AG beriet in seiner 15. Sitzung am 27. und 28. August 2013 die eingereichten Stellungnahmen und beschloss einstimmig die Verabschiedung des so erarbeiteten Regelentwurfsvorschlags (Fassung 2013-08) zur Vorlage an den Unterausschuss ANLAGEN- UND BAUTECHNIK (UA-AB).

(3) Der UA-AB beriet auf seiner 109. Sitzung am 16. September 2013 über den neuen Regeländerungsentwurfsvorschlag und beschloss mit der erforderlichen Mehrheit von 12 zu 1 Stimmen dem KTA auf seiner 68. Sitzung am 19. November 2013 zu empfehlen, die in dieser Sitzung erarbeitete Regeländerungsentwurfsvorlage KTA-Dok.-Nr. 2201.6/13/1 (Fassung 2013-09) als Regeländerungsentwurf im verkürzten Verfahren gemäß § 7 Absatz 6 der Bekanntmachung über die Bildung eines Kerntechnischen Ausschusses in Verbindung mit Abschnitt 5.3 der Verfahrensordnung des KTA zu verabschieden.

(4) Der KTA beschloss auf seiner 68. Sitzung am 19. November 2013 mit der erforderlichen Mehrheit diese Regeländerungsentwurfsvorlage im verkürzten Verfahren gemäß § 7 Absatz 6 der Bekanntmachung über die Bildung eines Kerntechnischen Ausschusses in Verbindung mit Abschnitt 5.3 der Verfahrensordnung des KTA als Regeländerungsentwurf zu verabschieden. Die Bekanntmachung erfolgte im Bundesanzeiger am 19.12.2013.

3.3 Erarbeitung der Regeländerung

(1) Im Rahmen der Öffentlichkeitsbeteiligung, die vom 1. Januar 2014 bis 31. März 2014 stattfand, sind insgesamt 24 Stellungnahmen zum Regeländerungsentwurf von folgenden Einwendern eingegangen:

- Dr. M. Fabian, BMUB, Bonn
- Dr. R. Zinn, Stangenberg und Partner Ingenieur GmbH, Bochum

(2) Zur Klärung der Schnittstellen zwischen KTA 2201.5 und KTA 2201.6 wurde eine gemeinsame Sitzung der beiden AG am 25. Juni 2014 bei KKP in Philippsburg durchgeführt. In dieser Sitzung erfolgte auch ein Abgleich mit den SiAnf und Interpretationen.

(3) Das Arbeitsgremium bearbeitete die eingegangenen Stellungnahmen in seiner 16. Sitzung am 25. und 26. Juni 2014 bei KKP in Philippsburg und erarbeitete den Regeländerungsvorschlag KTA 2201.6 in der Fassung 2014-06. Das Arbeitsgremium beschloss einstimmig diesen Regeländerungsvorschlag dem KTA-Unterausschuss ANLAGEN- UND BAUTECHNIK (UA-AB) mit der Empfehlung vorzulegen, diese Fassung dem KTA zur Aufstellung als Regeländerung vorzuschlagen.

(4) Der UA-AB hat in seiner 111. Sitzung am 16. und 17. September 2014 mit der erforderlichen 5/6 Mehrheit (11 Ja-Stimmen, einer Gegenstimme und einer Enthaltung bei 13 anwesenden Stimmen) beschlossen, den Vorschlag des Arbeitsgremiums in der Fassung 2014-09 dem KTA als Regeländerungsvorlage KTA-Dok.-Nr. 2201.6/14/1 mit der Empfehlung vorzulegen, die Vorlage als Regeländerung zu verabschieden.

(5) Der KTA hat in seiner 69. Sitzung am 11. November 2014 die Aufstellung der KTA 2201.6 als Regel (Regeländerung) in der Fassung 2014-11 abgelehnt. Die RSK sah die Möglichkeit, dass sich im Rahmen der andauernden Gründruckphase der KTA 2201.5 inhaltliche Rückwirkungen auf die KTA 2201.6 ergeben könnten, und konnte daher dem Antrag zur Weißdrucksetzung der KTA 2201.6 nicht zustimmen. Die Regeln 2201.5 und 2201.6 sollten vielmehr gemeinsam als Weißdruck verabschiedet werden. Ferner wurden seitens des Obmanns des UA-MK Bedenken geäußert, ob die Festlegungen in Anhang A der vorgeschlagenen Regeländerung KTA 2201.6 kompatibel mit den Auslegungsgrundsätzen der Druckführenden Umschließung seien. Der UA-MK wollte diese Fragestellung im Rahmen einer verlängerten Gründruckphase gerne noch diskutieren.

(6) Nach dem die Regeländerung KTA 2201.5 in der Fassung 2015-09 im UA-AB in seiner 113. Sitzung am 15. und 16. September 2015 abschließend beraten und zum Weißdruck vorgeschlagen wurde, wurde erneut über die KTA 2201.6 beraten. Da mittlerweile die Bedenken des UA-MK ausgeräumt sind, wurde in der 113. Sitzung des UA-AB einstimmig die erneute Vorlage der KTA 2201.6 zusammen mit der KTA 2201.5 in der 70. Sitzung des KTA beschlossen.

(7) Der KTA hat die Regeländerungsvorlage KTA 2201.6 auf seiner 70. Sitzung am 10. November 2015 behandelt und einstimmig als Regeländerung in der Fassung 2015-11 beschlossen. Die Bekanntmachung dieses Beschlusses durch das BMUB erfolgte im Bundesanzeiger vom 26. November 2015. Der Volltext der Regel wurde durch das BMUB im Bundesanzeiger vom 8. Januar 2016 veröffentlicht.

4 Berücksichtigte Regeln und Unterlagen

4.1 Abgleich der KTA 2201.6 mit SiAnf und deren Interpretationen

Die Schnittstellen der KTA 2201.6 mit den SiAnf und deren Interpretationen wurden einander gegenüber gestellt und auf Umsetzung und Konsistenz geprüft. Eine ausführliche Darstellung des Abgleiches befindet sich in **Tabelle D-1** „Abgleich mit den SiAnf und deren Interpretationen“. Es wurden keine Widersprüche und kein Handlungsbedarf festgestellt.

Ebenso erfolgte ein Abgleich mit den geänderten SiAnf und Interpretationen vom März 2015, es wurden ebenfalls keine Widersprüche festgestellt.

Anforderungen gemäß SiAnf Anhang 3	Umsetzung in KTA 2201.6	Bewertung
4.2.1.1 (8) Es ist eine seismische Instrumentierung zu installieren, anhand derer die ingenieurseismologischen Parameter relevanter Erdbeben festgestellt werden können. Die seismische Instrumentierung muss in der Lage sein, mehrere aufeinanderfolgende Beben aufzuzeichnen (Vor-, Haupt- und Nachbeben) und eine Überschreitung von Grenzwerten für das Inspektionsniveau der Anlage zuverlässig anzuzeigen. Anhand der Aufzeichnungen der seismischen Instrumentierung muss eine Aussage hinsichtlich aller Sicherheitseinrichtungen möglich sein. Die seismische Instrumentierung muss einen Vergleich zwischen dem Auslegungsspektrum und den Antwortspektren registrierter Erdbeben ermöglichen.	Siehe KTA 2201.5, für KTA 2201.6 nicht zutreffend. Siehe KTA 2201.5, für KTA 2201.6 nicht zutreffend. Siehe KTA 2201.5, für KTA 2201.6 nicht zutreffend. Die Aussage wird ermöglicht auf Basis eines Gesamtkonzeptes von Auslegung, Messung und Kontrolle. Alle Sicherheitseinrichtungen sind rechnerisch gegen Erdbeben ausgelegt, das durch ein Bodenantwortspektrum im Freifeld definiert ist (siehe auch KTA 2201.5). An vier Orten sind Messungen vorgesehen. Nach Auftreten eines Erdbebens ist abhängig von der Auswertung der aufgezeichneten Beschleunigungs-Zeitverläufe ein gestaffeltes Maßnahmenkonzept anzuwenden (siehe Regeltext). Siehe KTA 2201.5, für KTA 2201.6 nicht zutreffend.	Erfüllt.
4.2.1.1 (9) In den Betriebsvorschriften sind Grenzwerte der seismischen Belastung festzulegen, bei deren Überschreitung Anlagenkontrollen und gegebenenfalls Maßnahmen (z. B. Abfahren der Anlage, Prüfung des Anlagenzustands) einzuleiten sind. Es ist sicherzustellen, dass dem Betriebspersonal die relevanten Werte aus der seismischen Instrumentierung zur Verfügung stehen und eine Alarmierung bei der Überschreitung festgelegter Grenzwerte erfolgt.	Nicht enthalten, da in SiAnf ausreichend geregelt. Siehe KTA 2201.5, für KTA 2201.6 nicht zutreffend.	Erfüllt.

Tabelle D-1: Abgleich mit den SiAnf und deren Interpretationen

4.2 Nationale Regeln und Unterlagen

- KTA 2201.1 (2011-11) Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische Einwirkungen; Teil 1: Grundsätze
- KTA 2201.4 (2012-11) Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische Einwirkungen; Teil 4: Anlagenteile
- KTA 2201.5 Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische Einwirkungen; Teil 5: Seismische Instrumentierung in der jeweils aktuellsten Überarbeitungsfassung
- KTA 3201.1 (1998-06) Komponenten des Primärkreises von Leichtwasserreaktoren; Teil 1: Werkstoffe und Erzeugnisformen
- KTA 3201.2 (1996-06) Komponenten des Primärkreises von Leichtwasserreaktoren; Teil 2: Auslegung, Konstruktion und Berechnung
- KTA 3204 (2008-11) Reaktordruckbehälter-Einbauten
- KTA 3205.1 (2002-06) Komponentenstützkonstruktionen mit nichtintegralen Anschlüssen; Teil 1: Komponentenstützkonstruktionen mit nichtintegralen Anschlüssen für Primärkreiskomponenten in Leichtwasserreaktoren
- KTA 3205.2 (1990-06) Komponentenstützkonstruktionen mit nichtintegralen Anschlüssen; Teil 2: Komponentenstützkonstruktionen mit nichtintegralen Anschlüssen für druck- und aktivitätsführende Komponenten in Systemen außerhalb des Primärkreises

- KTA 3211.1 (2000-06) Druck- und aktivitätsführende Komponenten von Systemen außerhalb des Primärkreises; Teil 1: Werkstoffe
- KTA 3211.2 (1992-06) Druck- und aktivitätsführende Komponenten von Systemen außerhalb des Primärkreises; Teil 2: Auslegung, Konstruktion und Berechnung
- KTA 3401.1 (1988-09) Reaktorsicherheitsbehälter aus Stahl; Teil 1: Werkstoffe und Erzeugnisformen
- KTA 3503 (2005-11) Typprüfung von elektrischen Baugruppen der Sicherheitsleittechnik
- KTA 3505 (2005-11) Typprüfung von Messwertgebern und Messumformern der Sicherheitsleittechnik
- DIN EN 10216-2 (2007-10) Nahtlose Stahlrohre für Druckbeanspruchungen - Technische Lieferbedingungen - Teil 2: Rohre aus unlegierten und legierten Stählen mit festgelegten Eigenschaften bei erhöhten Temperaturen; Deutsche Fassung EN 10216-2:2002+A2:2007
- Leitlinien zur Beurteilung der Auslegung von Kernkraftwerken mit Druckwasserreaktoren gegen Störfälle im Sinne des § 28 Abs. 3 StrlSchV (Störfall-Leitlinien) vom 18. Oktober 1983 (Beilage zum BAnz. Nr. 245 vom 31. Dezember 1983)

4.3 Internationale Regeln und Unterlagen

- IAEA Safety Report Series No. 66 Earthquake Preparedness and Response for Nuclear Power Plants (2011-05)
- EPRI Guidelines for Nuclear Plant Response to an Earthquake EPRI NP 6695 (1989-12)
- Pre-Earthquake Planning and Immediate Nuclear Power Plant Operator Postearthquake Actions
NRC-Regulatory Guide 1.166, March 1997
- Restart of a Nuclear Power Plant Shut Down by a Seismic Event
NRC-Regulatory Guide 1.167, March 1997

5 Ausführungen zur Regeländerung

Allgemeines

Entsprechend dem Auftrag des KTA hat das zuständige Arbeitsgremium den Umfang der änderungsbedürftigen Themen beraten. Hierzu wurde von dem Arbeitsgremium zunächst eine Sichtung relevanter internationaler Regeln und Unterlagen vorgenommen, insbesondere den IAEA Safety Report No. 66 und den EPRI Report NP 6695. Dabei wurde festgestellt, dass in diesen Dokumenten die Regelungen für Maßnahmen nach Erdbeben über den Umfang der KTA 2201.6 hinausgehen. In beiden Berichten werden auch auslegungsüberschreitende Erdbeben betrachtet und als wesentliches Ziel die Maßnahmen zum Wiederanfahren (Restart) der Anlage nach einem Erdbeben beschrieben. Das Arbeitsgremium erarbeitete daraufhin in Anlehnung an den IAEA Safety Report ein Konzept für ein gestaffeltes Vorgehen in Abhängigkeit der Erdbebenstärke und der festgestellten Schäden. Dieser erste konzeptionelle Vorschlag wurde dem KTA Unterausschuss Anlagen und Bautechnik UA-AB auf seiner Sitzung am 03.03.2011 vorgestellt.

Der KTA UA-AB hat den Ansatz zwar im Grundsatz positiv bewertet, sah aber nicht die Notwendigkeit einer derartigen Detaillierung. Unter der Berücksichtigung der deutschen Randbedingungen mit geringer Seismizität soll die grundsätzliche Vorgehensweise der bisherigen KTA 2201.6 ohne Schadenskategorien und ohne Matrix für Maßnahmen und Kriterien für den Weiterbetrieb beibehalten werden. Damit werden in dieser Regel nur für die Bereiche kleiner als „Inspektionsniveau maßgeblich überschritten“ konkrete Maßnahmen festgelegt. Bei einer Überschreitung des Levels „Inspektionsniveau maßgeblich überschritten“ bzw. bei der Feststellung des nicht bestimmungsgemäßen Anlagenzustandes ist die Anlage abzufahren und die Maßnahmen sind im Einzelfall in Abstimmung mit der Aufsichtsbehörde festzulegen.

Im Folgenden sind Anmerkungen und Erläuterungen zu wesentlichen Änderungen der Regel angegeben:

Zu „Grundlagen“

Der Abschnitt Grundlagen wurde an den aktuellen Stand angepasst, und die Verweise auf die Sicherheitskriterien und Störfallleitlinien wurden durch Verweise auf die neuen Sicherheitsanforderungen und deren Interpretationen ersetzt.

Der alte Absatz (3) ist entfallen, da er keine regelwerksrelevante Information enthielt. Der alte Absatz (4) wurde umformuliert in Abschnitt 3.3 Absatz (3) aufgenommen. In den neuen Absätzen (3), (4) und (5) wurde eine Kurzfassung der Philosophie erklärend zum besseren Verständnis eingefügt.

Zu „1 Anwendungsbereich“

Der Anwendungsbereich wurde an die KTA 2201.1, Fassung 2011-11, angepasst. Die Regel kann in allen Betriebsphasen angewendet werden.

Zu „2 Begriffe“

Die Liste der Begriffe wurde überarbeitet. Die Begriffe wurden präzisiert.

Zu „3 Vorgehensweise“

Die grundsätzliche Vorgehensweise der alten KTA wurde beibehalten. Zur Veranschaulichung des gestaffelten Vorgehens in Abhängigkeit von der Erdbebenstärke wurde ein neues Bild 3-1 eingefügt. Infolge der technischen Weiterentwicklung der Erdbebenaufzeichnung ist es möglich, aus den aufgezeichneten Beschleunigungs-Zeitverläufen unmittelbar die daraus resultierenden Antwortspektren zu generieren und diese mit den mit dem Faktor 0,4 multiplizierten Spektren des Bemessungserdbebens für das Inspektionsniveau zu vergleichen.

Zu „3.1 Allgemeines“

Zu 3.1 (1)

Eine Anlagenbegehung für Erdbeben kleiner 0,4 BEB wurde neu aufgenommen, um den bestimmungsgemäßen Anlagenzustand zu verifizieren. Dies entspricht der international üblichen Vorgehensweise (siehe EPRI Guidelines for Nuclear Plant Response to an Earthquake EPRI NP 6695 (1989-12)).

Zu „3.2 Verifizierung des Erdbebens“

Das Vorgehen beim Versagen der seismischen Instrumentierung wurde beraten mit dem Ergebnis, dass die dann notwendigen Maßnahmen nicht im Rahmen dieser Regel festgelegt werden können, sondern im Einzelfall festzulegen sind.

Die früher geforderte Überprüfung der Registrierbereitschaft der seismischen Instrumentierung entfällt, da Fehlanregungen die Registrierbereitschaft moderner Systeme nicht beeinträchtigen.

Die Maßnahmen bei Fehlanregungen wurden hinsichtlich der Dokumentationsanforderung ergänzt. Eine Dokumentation kann z. B. durch Eintragungen ins Schichtbuch oder ähnliche Dokumentationssysteme erfolgen.

Zu „3.3 Einstufung des Erdbebens“

Zu 3.3 (3)

Es wurde ein Hinweis aufgenommen mit Erläuterungen hinsichtlich der KTA 2201.1 vom Juni 1975, die in der Fassung 1992-06 der KTA 2201.6 im Grundlagenabschnitt Absatz 4 als letzter Satz enthalten waren.

Zu 3.3 (5) Hinweis 1

Nähere Erläuterungen zu Spektralintensität und CAV-Wert können z. B. Electric Power Research Corporation, Standardization of the Cumulative Absolute Velocity, EPRI Report TR-100082, December 1991 entnommen werden.

Zu 3.3 (5)

Begründung für 16 Hz:

Durch die Filterung der Erdbebenwellen im (relativ weichen) Untergrund und im (nicht-starren) Gebäude können keine relevanten hochfrequenten Erschütterungen im Gebäude auftreten. Somit sind es meist Fehlmessungen oder Erschütterungen aus anderen Quellen.

Relevante Frequenzen für Bauwerke und Anlagenkomponenten liegen üblicherweise im niederfrequenten Bereich. Elektrotechnische Komponenten werden in Rütteltischversuchen (sinus-sweep bis in den hochfrequenten Bereich) nachgewiesen, siehe z. B. KTA 3503 Typprüfung von elektrischen Baugruppen der Sicherheitsleittechnik.

Hochfrequente Erschütterungen besitzen kaum einen nennenswerten Energiegehalt und können somit auch kaum Schäden verursachen (siehe **Bild D-1**).

Selbst in idealisierten Systemen werden diese Erschütterungen schon durch geringe plastische Verformungen abgebaut.

Der Grenzwert von 16 Hz wurde konservativ analog zu den RSK-Leitlinien für Druckwasserreaktoren übernommen.

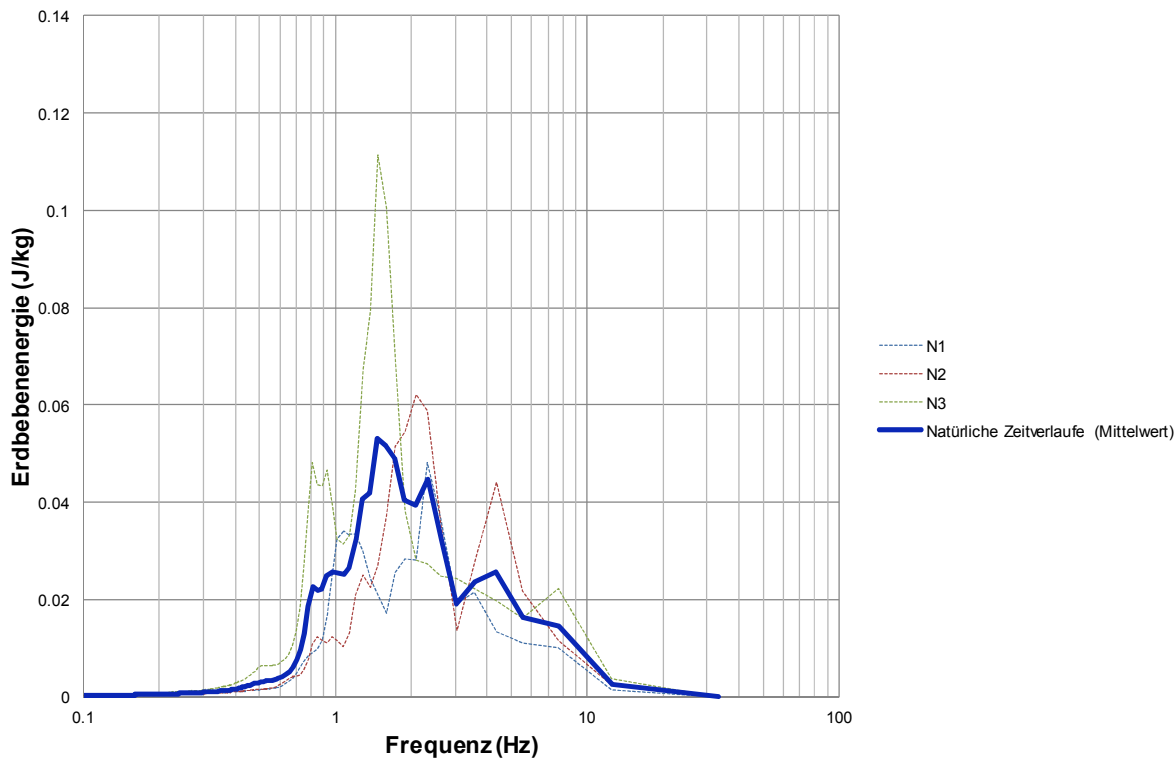


Bild D-1 Energieantwortspektren natürlicher Erdbebenzeitverläufe

Zu „3.4 Erste Maßnahmen“

Zu „3.4.1 Kontrolle von der Warte und Anlagenbegehung“

Bis zum Erreichen der maßgeblichen Überschreitung des Inspektionsniveaus sind aufgrund der Auslegung keine erdbebenbedingten Abweichung zu besorgen. Trotzdem ist eine Anlagenbegehung sicherheitsgerichtet unverzüglich durchzuführen, um auch Sekundäreffekte wie z. B. umgekipptes Gerüst o. ä. zu identifizieren. Der Begriff „unverzüglich“ bedeutet ohne schuldhaftes Verzögern.

Zu „3.4.2 Erdbebenbedingte Abweichungen“

Zu 3.4.2 (2) – (4)

Hinsichtlich der Dokumentation sind z. B. Eintragungen ins Schichtbuch oder ähnliche Dokumentationssysteme (Betriebsführungssysteme) als geeignete Maßnahmen anzusehen.

Zu „3.5 Vertiefte Maßnahmen“

Zu „3.5.1 Inspektionen und Analysen“

Das angesprochene Anlagenbegehungsteam für diese Inspektion besteht aus fachkundigen Personen aller Fachbereiche, z. B. systemverantwortliche Ingenieure, Schichtleiter und Führungskräfte. Auch anlagenfremde Personen mit entsprechender Erfahrung im Bereich Erdbebenbegehungen können zur Identifikation möglicher Schäden hilfreich sein.

Der Anlagenbegehungsumfang bei der Inspektion wurde gegenüber der Fassung 1992-06 präzisiert und auf die gesamte Anlage ausgedehnt, um damit eine Konzentration der rechnerischen Nachweise auf die Komponenten mit maximaler Erdbebenbelastung zu ermöglichen. Mit der stärkeren Betonung auf die Anlagenbegehung wird auch dem internationalen Stand von Wissenschaft und Technik Rechnung getragen.

Zu 3.5.1 (5) und (6)

Der Umfang der rechnerischen Analysen wurde gegenüber der Fassung 1992-06 konkretisiert. Wesentliche Grundlage für das Auslegungskonzept Bemessungserdbeben/Inspektionsniveau sind die Erfahrungen mit dem Auslegungskonzept Sicherheitserdbeben/Auslegungserdbeben, die gezeigt haben, dass bis zu einer maßgeblichen Überschreitung des Inspektionsniveaus die zulässigen Spannungen der Stufe C nicht überschritten werden. Eine umfangreiche Beanspruchungsanalyse nach Auftreten eines Erdbebens unterhalb dieses Niveaus ist deshalb nicht erforderlich.

Nach der neuen Vorgehensweise wird an jeweils zwei repräsentativen Anlagenteilen mit einer hohen Ausnutzung der zulässigen Spannungen beim Bemessungserdbeben eine Kontrollrechnung durchgeführt. Die betroffenen Anlagenteile können entweder über die seismische PSA identifiziert oder aus den bestehenden Nachweisen vorsorglich identifiziert werden, damit nach Auftreten eines Erdbebens diese Beanspruchungsanalysen kurzfristig durchgeführt werden können. Bestätigen die Kontrollrechnungen an diesen Anlagenteilen und baulichen Anlagen, dass die zulässigen Spannungen nicht überschritten wurden, so kann davon ausgegangen werden, dass dies auch für alle anderen gegen Erdbeben ausgelegten Anlagenteile und baulichen Anlagen eingehalten ist.

Zu „3.5.3 Abfahrinspektion“

Entsprechend dem internationalen Stand wurde eine Forderung aufgenommen, vor dem Abfahren zunächst die Verfügbarkeit der für das Abfahren erforderlichen Systeme einschließlich der Notstromdiesel zu prüfen und sicherzustellen.

Zu „3.6.2 Abfahren“

Wenn das Erdbeben eine Stärke größer als 0,4-f-BEB erreicht hat, und bei der Abfahrkontrolle die Funktionsfähigkeit der Notstromversorgung, der Nachwärmeabfuhr und der notwendigen Hilfssysteme festgestellt wurde, so ist die Anlage entsprechend Abschnitt 3.6.2 abzufahren.

Herr Dr. Bloem äußerte im Arbeitsgremium KTA 2201.6 Bedenken, ob ein Abfahren in den Notstrombetrieb gestattet werden soll. Bei einem späteren durch einen systematischen Fehler verursachten Ausfall der Notstromversorgung gäbe es dann keine Möglichkeit der Nachkühlung mehr. Hierzu erläutert er:

Bei einem starken Erdbeben kann ein Ausfall des Fremdnetzes nicht ausgeschlossen werden. Die in Abschnitt 3.6.2 aufgestellte Forderung kann zur Folge haben, dass bei funktionierender Anlage in den Betrieb mit Notstromversorgung abzufahren ist.

US-amerikanische Regeln und Richtlinien fordern ebenso ein Abfahren nach einem Überschreiten der Erdbebenstärke des OBE. Die Forderung zum Abfahren wird dort jedoch relativiert. Dazu werden Zitate aus dem U.S. Nuclear Regulatory Guide 1.166 vom März 1997 und aus dem im Jahr 1989 herausgegebenen Technical Report EPRI NP-6695 „Guidelines for Nuclear Plant Response to an Earthquake“ aufgeführt.

U.S. Nuclear Regulatory Guide 1.166, Abschnitte 5.1 und 6.3:

“If the response spectrum check and the Cumulated Acceleration Velocity (CAV) check (performed or calculated in accordance with Regulatory Positions 4.1 and 4.2) were exceeded, the OBE was exceeded and plant shutdown is required. ... Prior to initiating plant shutdown following an earthquake, visual inspections and control board checks of safe shutdown systems should be performed by plant operations personnel, and the availability of off-site and emergency on-site power sources should be determined.”

Entsprechend dem Abschnitt 4.3.4.3 im Bericht EPRI NP-6695 ist ein Abfahren der Anlage auch dann möglich, wenn die Verfügbarkeit des Fremdnetzes als Folge des Erdbebens unsicher ist oder als nicht zuverlässig (marginal) bewertet wird. Vor dem Abfahren müssen, wie es auch in der KTA 2201.6 gefordert wird, alle erforderlichen Prüfungen an der Notstromversorgung vorgenommen werden. Im Bericht EPRI NP-6695 wird keine Aussage getroffen, ob direkt in den Notstrombetrieb abgefahren werden kann. Im Abschnitt 4.3.1 des Berichts EPRI NP-6695 steht jedoch: *„Operator response to maintain a safe, stable condition of the plant would take precedence over the inspection and tests proposed herein and are beyond the scope of the guidelines.“*

Die Ausführungen im Abschnitt 4.3.4.3 des Berichts EPRI NP-6695 stimmen mit den Ausführungen im Abschnitt 4.3 des von der IAEA im Jahr 2011 herausgegebenen Safety Report Series No. 66 „Earthquake Preparedness and Response for Nuclear Power Plants“ überein.

Die im U.S. Nuclear Regulatory Guide 1.166 aufgestellte Forderung kann so gedeutet werden, dass ein Abfahren nur bei sicherem Fremdnetz vorgenommen werden soll. Der Abschnitt 4.3.1 im Bericht EPRI NP-6695 kann so gedeutet werden, dass ein stabiler Anlagenbetrieb nach dem Erdbeben zunächst beibehalten werden darf.

Andere Mitglieder des Arbeitsgremiums argumentierten, aufgrund der mehrfach vorhandenen Notstromaggregate und aufgrund des zusätzlichen Nachkühlsystems (z. B. Zuna-Systeme) beziehungsweise der Notstands-Notstromaggregate sei ein Ausfall der Nachkühlung wenig wahrscheinlich. Nach einem Erdbeben sei ein Abfahren in den Notstrombetrieb deswegen vertretbar.

Zu „Anhang A: Herleitung des Faktors f“

Der Faktor f wird erneut hergeleitet und anhand der im Jahr 2012 vorliegenden Werkstoffwerte und anhand der im Jahr 2012 in KTA-Regeln gültigen Spannungsgrenzen überprüft.

Das Abfahrniveau, gemessen an der das Anlagenteil wesentlich belastenden Antwortbeschleunigung beim Erdbeben, ist erreicht, wenn das Niveau des aufgetretenen Erdbebens um einen Faktor f über der Antwortbeschleunigung $0,4 \cdot a_{BEB}$ des Inspektionsniveaus liegt:

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

(D-1)

Dabei bezeichnet a_{BEB} die das Anlagenteil wesentlich belastende Antwortbeschleunigung beim Bemessungserdbeben.

Ein konservativ niedriger Faktor f wird hergeleitet. Wenn die Beanspruchungen bei einem aufgetretenen Erdbeben innerhalb der elastischen Grenzen bleiben, oder plastische Deformationen auf Bereiche geometrischer Diskontinuitäten beschränkt bleiben, ist ein Weiterbetrieb der Anlage unbedenklich. Für druck- und aktivitätsführende Anlagenteile sind diese Voraussetzungen erfüllt, wenn die zulässigen Beanspruchungen der Stufe C nicht überschritten werden. Die verschiedenen Stufen sind zum Beispiel in der KTA 3201.2 definiert. Für nichtintegrale Stützkonstruktionen sind die Voraussetzungen erfüllt, wenn Spannungsgrenzen des Stahlbaulastfalls HS1 eingehalten werden. Stahlbaulastfälle werden zum Beispiel in der KTA 3205.1 angegeben. Für die Ermittlung der zulässigen Spannungen wird unabhängig von der jeweiligen Beanspruchungsstufe von gleichen Temperaturen ausgegangen.

Die folgenden Formeln werden für druck- und aktivitätsführende Anlagenteile dargelegt. Für nichtintegrale Stützkonstruktionen gelten die Ausführungen analog, wobei die in der **Tabelle 4-3** der KTA 2201.4 angegebene Zuordnung der Stufen zu Stahlbaulastfällen zu beachten ist.

Wenn ein Anlagenteil im Normalbetrieb die Vergleichsspannung σ^A und beim Bemessungserdbeben die Vergleichsspannung σ^D erreicht, wird mit

$$\alpha = \frac{\frac{\text{zul}\sigma^C}{\text{vorh}\sigma^A} - 1}{\frac{\text{vorh}\sigma^D}{\text{vorh}\sigma^A} - 1} = \frac{\text{zul}\sigma^C - \text{vorh}\sigma^A}{\text{vorh}\sigma^D - \text{vorh}\sigma^A} \quad (\text{D-2})$$

die in der Stufe C zulässige Beanspruchung $\text{zul}\sigma^C$ bei einem Erdbeben mit der Beschleunigung $\alpha \cdot a_{\text{BEB}}$ erreicht.

Dabei sind:

- $\text{vorh}\sigma^A$: Für nach den Regeln KTA 3204, 3201.2 und 3211.2 nachzuweisende Anlagenteile die in der Stufe A auftretende primäre Vergleichsspannung; für nach den Regeln 3205.1 und 3205.2 nachzuweisende Anlagenteile die im Stahlbaulastfall H zu begrenzende, auftretende Spannung.
- $\text{zul}\sigma^C$: Zulässige Vergleichsspannung in der Stufe C für nach den Regeln KTA 3204, 3201.2 und 3211.2 nachzuweisende Anlagenteile; zulässige Spannung beim Stahlbaulastfall HS1 für nach den Regeln KTA 3205.1 und 3205.2 nachzuweisende Anlagenteile.
- $\text{vorh}\sigma^D$: Für nach den Regeln KTA 3204, 3201.2 und 3211.2 nachzuweisende Anlagenteile die beim Bemessungserdbeben in der Stufe D auftretende primäre Vergleichsspannung; für nach den Regeln 3205.1 und 3205.2 nachzuweisende Anlagenteile die beim Bemessungserdbeben im Stahlbaulastfall HS2 auftretende Spannung.

Es wird im Folgenden eine untere Grenze $\alpha_{\min}$ für α bestimmt. Dann kann

$$\text{Abfahrniveau} = \alpha_{\min} \cdot a_{\text{BEB}} = f \cdot 0,4 \cdot a_{\text{BEB}} \quad (\text{D-3})$$

gesetzt werden. Aus den Gleichungen (D-1) und (D-3) ergibt sich der Faktor f zu $f = \frac{\alpha_{\min}}{0,4}$.

Die Stufe B ist dem anomalen Betrieb zugeordnet. Die KTA 3201.2 hält fest, dass nach dem Auftreten eines dem anomalen Betrieb zugeordneten Lastfalls der anschließenden Fortführung des Betriebs keine sicherheitstechnischen Gründe entgegenstehen. Im Normalbetrieb sind noch ausreichende Reserven vorhanden, so dass auch davon ausgegangen werden kann, dass bei einem 0,4-fachen Bemessungserdbeben eine Überschreitung der Spannungsstufe B nicht eintritt. Daher wird vorausgesetzt, dass das betrachtete Anlagenteil bei einem Erdbeben der Beschleunigung $0,4 \cdot a_{\text{BEB}}$ die Spannungsgrenze der Stufe B beziehungsweise des Stahlbaulastfalls HZ erreicht:

$$\text{vorh}\sigma^A + 0,4 \cdot \sigma^{\text{BEB}} = \text{zul}\sigma^B \quad (\text{D-4})$$

Dabei wird mit σ^{BEB} der nur aus dem Bemessungserdbeben resultierende Spannungsanteil bezeichnet. Ferner wird vorausgesetzt, dass beim Bemessungserdbeben die Spannungsgrenze der Stufe D beziehungsweise des Stahlbaulastfalls HS2 erreicht wird. Dann gelten

$$\text{vorh}\sigma^A + \sigma^{\text{BEB}} = \text{zul}\sigma^D, \text{ und} \quad (\text{D-5})$$

$$\text{vorh}\sigma^D = \text{zul}\sigma^D. \quad (\text{D-6})$$

Aus der Gleichung (D-5) folgt

$$\sigma^{\text{BEB}} = \text{zul}\sigma^D - \text{vorh}\sigma^A.$$

Die Gleichung (D-4) wird dann zu

$$\text{vorh}\sigma^A + 0,4 \cdot \text{zul}\sigma^D - 0,4 \cdot \text{vorh}\sigma^A = \text{zul}\sigma^B, \text{ beziehungsweise}$$

$$\text{vorh}\sigma^A = \frac{5}{3} \text{zul}\sigma^B - \frac{2}{3} \text{zul}\sigma^D.$$

Unter Berücksichtigung von (D-3) und (D-6) erhält man aus der Gleichung (D-2) die gesuchte Formel für $\alpha_{\min}$:

$$\alpha_{\min} = \frac{\frac{\text{zul}\sigma^C}{\frac{5}{3}\text{zul}\sigma^B - \frac{2}{3}\text{zul}\sigma^D} - 1}{\frac{\text{zul}\sigma^D}{\frac{5}{3}\text{zul}\sigma^B - \frac{2}{3}\text{zul}\sigma^D} - 1}$$

$$= \frac{\text{zul}\sigma^C - \frac{5}{3}\text{zul}\sigma^B + \frac{2}{3}\text{zul}\sigma^D}{\text{zul}\sigma^D - \frac{5}{3}\text{zul}\sigma^B + \frac{2}{3}\text{zul}\sigma^D} = \frac{0,6 \cdot \text{zul}\sigma^C - \text{zul}\sigma^B + 0,4 \cdot \text{zul}\sigma^D}{\text{zul}\sigma^D - \text{zul}\sigma^B} \quad (\text{D-7})$$

Das Konzept der KTA 2201.6 beruht darauf, dass bei einem Erdbeben mit der Beschleunigung $0,4 \cdot a_{\text{BEB}}$ das Inspektionsniveau erreicht wird. Tatsächlich sind gegen das Bemessungserdbeben ausgelegte Konstruktionen möglich, für die bei $0,4 \cdot a_{\text{BEB}}$ die Spannungsgrenze der Stufe B bereits überschritten wird. Weil bestimmende Spannungskomponenten unter betrieblicher Belastung und unter ausschließlicher Erdbebenbelastung nicht gleichgerichtet sind, wird für die überwiegende Zahl der Anlagenteile bei einem Erdbeben mit der Beschleunigung $0,4 \cdot a_{\text{BEB}}$ die Spannungsgrenze der Stufe B jedoch nicht erreicht werden. Dazu werden vier Beispiele angegeben:

- Die größte Spannungskomponente in einer druckbelasteten Rohrleitung weist in die Umfangsrichtung. Wirkt beim Erdbeben ein Biegemoment, wird die Rohrleitung zusätzlich in ihrer Längsrichtung beansprucht.
- Im Normalbetrieb werden Anlagenteile und ihre Stützkonstruktionen durch ihr Gewicht beansprucht. Überwiegend tritt beim Erdbeben eine höhere horizontale als vertikale Beschleunigung auf. Die Spannungskomponente aus horizontaler Erdbebenbeschleunigung weist häufig in eine andere Richtung wie die aus der Gewichtsbeschleunigung.
- Bodenbefestigungen von Anlagenteilen werden im Normalbetrieb durch Druckkraft vom Gewicht beansprucht. Eine Zugkraft wird erst dann in Verankerungen und in Schweißnähten der Bodenbefestigung wirksam, wenn aus den Erdbebenbeschleunigungen resultierende Kräfte die Gewichtskraft überwinden.
- Stützkonstruktionen von Schaltschränken, Messumformergestellen, Kabeltrassen, Rohrleitungen, Behältern, Elektromotoren und Pumpen haben Bauteile zum Abtrag von Kräften nur aus horizontaler Beschleunigung. Eine horizontale Beschleunigung ist beim Normalbetrieb nicht wirksam, so dass beim Normalbetrieb Teile der Stützkonstruktion nicht beansprucht werden.

Auch wenn, wie es oben erwähnt wurde, Konstruktionen möglich sind, die bei einer Erdbeben-Beschleunigung $0,4 \cdot a_{\text{BEB}}$ mehr als in der Stufe B zulässig beansprucht werden, so sind bei der Bestimmung von $\alpha_{\min}$ nach der Formel (D-7) weitere folgende Konservativitäten zu bedenken:

- Die Berechnung von α nach der Formel (D-2) ist dann exakt, wenn die Vergleichsspannung aus dem Spannungstensor des gesamten Ausdrucks bestimmt wird. Das ist kaum praktikabel, weil in Festigkeitsnachweisen Vergleichsspannungen für die einzelnen Stufen ausgewiesen werden. Ein aus den Vergleichsspannungen in den einzelnen Stufen bestimmter Wert für α ist höher als ein aus dem Spannungstensor des gesamten Ausdrucks bestimmter Wert für α .
- In Festigkeitsberechnungen wird die beim Bemessungserdbeben am höchsten beanspruchte Position im Anlagenteil ausgewiesen. Nicht immer ist diese Position auch die im Normalbetrieb am höchsten beanspruchte Position. Es kann vorkommen, dass für die beim Bemessungserdbeben am höchsten beanspruchte Position keine Spannung für die Stufe A angegeben wird. Zur Bestimmung einer in der Stufe C noch zu begrenzenden Erdbebenbeschleunigung müssen dann - konservativ - Spannungen an unterschiedlichen Positionen herangezogen werden.
- Um den Aufwand bei der Berechnung zu begrenzen, werden die im Normalbetrieb auftretende Spannung vorh σ^A und die beim Bemessungserdbeben auftretende Spannung vorh σ^D häufig konservativ hoch bestimmt. Als Folge ist die Festigkeitsreserve beim Erdbeben höher als in der Berechnung zu erkennen.
- Es ist wenig wahrscheinlich, dass das Anlagenteil beim Bemessungserdbeben mit seiner gerade noch zulässigen Spannung $\text{zul}\sigma^D$ beansprucht wird. Wird es beim Bemessungserdbeben nicht an der Grenze seiner zulässigen Spannung beansprucht, gilt $\alpha > \alpha_{\min}$.
- Beim Festigkeitsnachweis wird unterstellt, dass die Erdbebenanregung in der für das Anlagenteil ungünstigsten Richtung erfolgt, zum Beispiel senkrecht zur Rohrlängsachse. Tatsächlich kommt die Erdbebenwelle aus einer Richtung, die vorher nicht bekannt ist.
- Das Frequenzintervall des dem Bemessungserdbeben zugeordneten Freifeldantwortspektrums wurde in seinem Überhöhungsbereich verbreitert, um Streuungen und Unsicherheiten der Kennwerte des Erdbodens auszugleichen und um Erdbebenherde aus unterschiedlichen Richtungen zu erfassen. Ebenso wurde das Frequenzintervall des für den Erdbeben nachweis verwendeten Bauwerkantwortspektrums in seinem Überhöhungsbereich verbreitert, um Streuungen der Kennwerte des Erdbodens und Unsicherheiten im Rechenmodell des Bauwerks einschließlich der Bettung des Bauwerks im Erdboden auszugleichen. Das Antwortspektrum eines aufgetretenen Erdbebens weist einen weniger breiten Überhöhungsbereich als das betreffende Bauwerkantwortspektrum auf. Dadurch können in der seismischen Berechnung des Anlagenteils Eigenformen stark angeregt werden, die beim auftretenden Erdbeben gering oder mäßig angeregt werden.
- Festigkeitsberechnungen erfolgen mit Mindestwerten für die Dehngrenze und für die Zugfestigkeit. Würden Werkstoffwerte verwendet werden, werden in den überwiegenden Fällen größere Reserven ausgewiesen.

In der **Tabelle D-2** werden in der rechten Spalte für sicherheitstechnisch wichtige Anlagenteile aus der Formel (A-7) berechnete $\alpha_{\min}$ -Werte angegeben. Für nach den Regeln KTA 3204, 3201.2 oder 3211.2 nachzuweisende drucktragende Bauteile werden nur primäre Spannungen bewertet. Die Regeln KTA 3205.1 und 3205.2 unterscheiden nicht nach primären und sekundären Spannungen; für nach den Regeln KTA 3205.1 oder 3205.2 nachzuweisende Bauteile werden Gesamtspannungen bewertet. Die in der **Tabelle D-2** aufgeführten Werkstoffwerte wurden aus den Regeln KTA 3201.1 und KTA 3211.1 sowie aus der DIN EN 10216-2 übertragen. Herangezogen werden kleinste Werte für die kleinsten aufgeführten Wanddicken.

Wie es in der **Tabelle D-2** ersichtlich ist, beträgt der geringste Wert $\alpha_{\min} = 0,47$. Er tritt auf, wenn die Membranspannung in Behältern oder in anderen drucktragenden Bauteilen aus austenitischem Werkstoff nach Formeln der KTA 3201.2 oder der KTA 3211.2, Prüfgruppe A1, bestimmt wird. Für die Membran- und Biegespannung in Behältern oder anderen drucktragenden Bauteilen aus dem gleichen Werkstoffen gilt $\alpha_{\min} = 0,48$. Für aus einem austenitischem Werkstoff gefertigte drucktragende Bauteile der Prüfgruppe A2 oder A3 nach KTA 3211.2 ergibt sich mit $\alpha_{\min} = 0,52$ für die Membran- und Biegespannung auch ein Wert kleiner als 0,6. Für durch komponentenspezifische Analyse nachgewiesene Rohrleitungen und für drucktragende Bauteile aus ferritischem Werkstoff und für andere sicherheitstechnisch wichtige Anlagenteile gilt $\alpha_{\min} \geq 0,63$.

Der niedrige Wert für $\alpha_{\min}$ für Behälter und für andere drucktragende Bauteile aus austenitischem Werkstoff resultiert aus dem geringen Abstand der Spannungsgrenzen in der Stufe B ($1,1 \cdot S_m$ bzw. $1,65 \cdot S_m$) zu den Spannungsgrenzen in der Stufe C ($1,2 \cdot S_m$ bzw. $1,8 \cdot S_m$) bei gleichzeitig hoher Spannungsgrenze in der Stufe D.

Wenn für ein Anlagenteil $\alpha_{\min} < 0,6$ gilt, so kann unter den hier getroffenen Voraussetzungen bei einem Erdbeben der Beschleunigung $0,6 \cdot a_{BEB}$ die Spannung die Grenze der Stufe C überschreiten. Wird die Spannungsgrenze der Stufe C überschritten, ist eine plastische Verformung auch entfernt von einer geometrischen Diskontinuität möglich.

Wie es in der **Tabelle D-2** ersichtlich ist, erreichen Anlagenteile aus ferritischem Werkstoff unter der Voraussetzung (D-4) bei einem Erdbeben der Beschleunigung $0,6 \cdot a_{BEB}$ die in der Stufe C zulässige Spannung nicht. Behälter und andere drucktragende Bauteile aus austenitischem Stahl können bei einem Erdbeben der Beschleunigung $0,6 \cdot a_{BEB}$ die Spannungsgrenze der Stufe C überschreiten.

Die plastische Verformung des Bauteils aus austenitischem Werkstoff ist bei einem einmal aufgetretenem Erdbeben mit der Beschleunigung $0,6 \cdot a_{BEB}$ zu gering für eine nennenswerte plastische Dehnung und für eine damit einher gehende dauerhafte Verschwächung der Wanddicke. Außerdem besteht wegen des zähen austenitischen Werkstoffs und wegen der basissicheren Ausführung von Wanddickenänderungen und Schweißnähten nach einer solchen einmaligen Belastung keine Gefahr für einen Anriss. Daher kann davon ausgegangen werden, dass ein Anlagenteil aus austenitischem Werkstoff nach einmaligem Auftreten eines Erdbebens mit der Beschleunigung $0,6 \cdot a_{BEB}$ genügend Festigkeitsreserve hat, um einem weiteren Störfall ohne Verlust seiner Integrität standzuhalten.

Die Tragfähigkeit beim Bemessungserdbeben wird gemäß den KTA-Regeln aus linear-elastischer Berechnung bestimmt; das plastische Verformungsvermögen des austenitischen Stahls wird nicht in der Festigkeitsberechnung erfasst. Bei plastischer Verformung erhöht sich die Dämpfung. Auch reduziert sich die Eigenfrequenz des Bauteils mit zunehmender plastischer Verformung. Eine resonanzartige Erhöhung bei wechselnder Beanspruchung fällt aus diesen Gründen nicht so hoch aus. Wegen der vergleichsweise kurzen Dauer und wegen der wechselnden Beanspruchung erfolgt beim Erdbeben ein begrenzter Energieeintrag in das Anlagenteil. Aufgrund des großen Verformungsvermögens von Bauteilen aus austenitischem Stahl, aufgrund der Verstimmung der Eigenfrequenz bei plastischer Dehnung und aufgrund der mit zunehmender plastischer Dehnung anwachsenden Dämpfung bedarf es beim Erdbeben aufgrund der wechselnden Beanspruchung vieler Lastspiele bis zum Versagen.

In Anbetracht der Zähigkeit von austenitischen Werkstoffen bleiben nach einer begrenzten plastischen Verformung, wie es bei einem Erdbeben mit der Beschleunigung $f \cdot 0,4 \cdot a_{BEB}$ möglich ist, noch genügend Festigkeit und noch genügend Verformungsvermögen, um später einem Lastfall der Stufe D, bei vollständiger Ausnutzung der für die Stufe D zulässigen Spannung, standzuhalten. Bei einmaliger Überschreitung der Spannungsgrenze in der Stufe C besteht für das drucktragende Bauteil aus austenitischem Werkstoff bei einem späteren Lastfall der Stufe D keine Gefahr des Versagens.

Mit

$$f = 1,5 \quad \text{beziehungsweise}$$

$$\alpha = 0,6$$

kann deswegen das

$$\text{Abschaltniveau} = \alpha \cdot a_{BEB} = 0,4 \cdot f \cdot a_{BEB} = 0,6 \cdot a_{BEB} \quad (D-8)$$

gesetzt werden.

Anlagen- teil	KTA	Tempe- ratur, °C	Werkstoff	Span- nungs- kategorie	Zulässige Spannung						α _{min}
					Stufe B/ HZ		Stufe C / HS1		Stufe D / HS2		
					Formel	Wert, N/mm ²	Formel	Wert, N/mm ²	Formel	Wert, N/mm ²	
Rohrlei- tung, berechnet nach komponen- tenspezi- fischer Analyse	3201.2	325	X6 CrNiTi 18 10 S WLA	Vergleichs- spannung aus primärer Membran- + Biege- spannung	1,5 ·R _{P0,2T}	145,5	1,8 ·R _{P0,2T}	174,6	2 ·R _{P0,2T}	194	0,76
			X6 CrNiTi 18 10 S KLA			199,5		239,4		266	0,76
			20 MnMoNi 55		1,8·S _m	342	2,25·S _m	427,5	3·S _m	570	0,63
	3211.2, Pr.-gr. A1	275	15 MnNi 6 3, Anhang A3			258		322,5		430	0,63
	3211.2, Prüfgr. A2		15 MnNi 6 3, Anhang A3			1,8·S	220,5	2,25·S	275,6	3·S	367,5
	220		16 Mo 3		202,5		253,1		337,5		0,63
Flansch- Dehn- schraube	3201.2	unab- hängig von Temp.	nach KTA 3201.1, Anh. A11, A12	Zug- spannung	$\frac{R_{P0,2T}}{1,5}$	--	$\frac{R_{P0,2T}}{1,1}$	--	$\frac{R_{P0,2T}}{1,1}$	--	1
Flansch- Starr- schraube	3211.2, P.- g. A1, A2, A3		nach KTA 3211.1, Anhang A5		$\frac{R_{P0,2T}}{1,8}$	--	$\frac{R_{P0,2T}}{1,3}$	--	$\frac{R_{P0,2T}}{1,3}$	--	1
Nichtinte- grale Unter- stützungen	3205.1		nach KTA 3205.1	Vergleichs- spannung	0,8· R _{v0,2}	--	0,9· R _{v0,2}	--	1· R _{v0,2}	--	0,70
	3205.2		nach KTA 3205.2		0,75· R _{v0,2}	--	0,85· R _{v0,2}	--	1· R _{v0,2}	--	0,64
Funkt. wäh- rend / nach Erdb., d. Spannung s-begrenz.	2201.4		--	--	--	(Stufe B / Stufe B)		(Stufe B / Stufe C)		(Stufe B / Stufe C)	
Behälter und andere drucktra- gende Bauteile, außer Rohr- leitungen mit Nachweis über kompon- enten- spezif. Analyse	3201.2	325	20 MnMoNi 55	Vergl.- spannung aus prim. Mem.-	1,1·S _m	205,3	0,63 ·R _{mT}	333,9	0,7 ·R _{mT}	371	0,87
			X6 CrNiNb 18 10 S			133	1,2·S _m	145,1	0,7·R _{mT}	239,8	0,47
			X6 CrNiNb 18 10 S	V.-sp. aus pr. Mem.- + Biegesp.	1,65·S _m	199,5	1,8·S _m	217,6	R _{mT}	342,5	0,48
	3211.2, Pr.-gr. A1	275	15 MnNi 6 3, Anhang A1, normalgeglü	Vergleichs- span. a. pr. Membran- spannung	1,1·S _m	163	R _{p0,2T}	240	0,7·R _{mT}	280	0,79
			X6 CrNiMoTi 17 12 2 S			V.-sp. aus pr. Mem.- + Biegesp.	1,65·S _m	226,5	1,8·S _m	247,1	R _{mT}
	3211.2, Pr.-gr. A2, A3	200	WStE 355 S	V.-sp. a. pr. Mem.-sp.	1,1·S	134,8	1,5·S	183,8	2·S	245	0,67
			X6 CrNiTi 18 10 S			V.-sp. aus pr. Mem.- + Biegesp.		123,8		168,8	225
							1,65·S	185,6	1,8·S	202,5	2,4·S
E- und Leit- technik	3503, 3505	(experimenteller Nachweis)									1
Sicher- heitshülle	3401.2	unab- häng. von Temp.	nach KTA 3401.1	Vergl.-sp. aus Mem.- + Biegesp.	0,75 ·R _{P0,2T}	--	0,84 ·R _{P0,2T}	--	0,94 ·R _{P0,2T}	--	0,68

Tabelle D-2: Berechnetes Abfahrniveau $\alpha_{\min} \cdot a_{BEB}$ bei sicherheitstechnisch wichtigen Anlagenteilen

Die Herleitung der Formel im Anhang A ist schematisch in **Bild D-2** dargestellt.

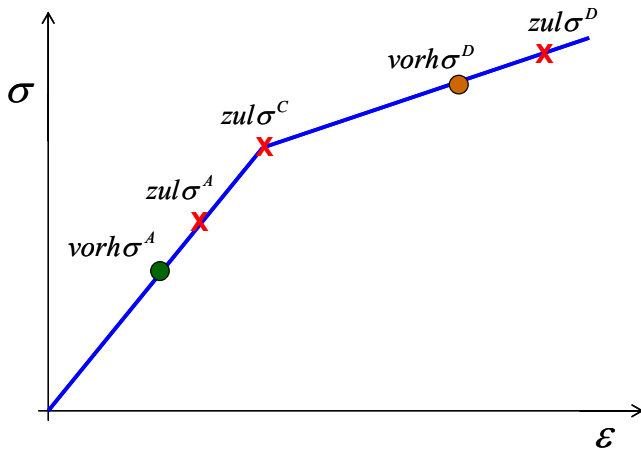


Bild D-2 Schematische Darstellung der Spannungszustände zur Herleitung der Formel im Anhang A

Beanspruchungen der Stufe C werden erreicht bei:

$$\text{zul}\sigma^C = \text{vorh}\sigma^A + \alpha \cdot \sigma^{\text{BEB}} \rightarrow \alpha = \frac{\text{zul}\sigma^C - \text{vorh}\sigma^A}{\sigma^{\text{BEB}}} = \frac{\text{zul}\sigma^C - \text{vorh}\sigma^A}{\text{vorh}\sigma^D - \text{vorh}\sigma^A} \quad (\text{D-9})$$

Zu „Informativer Anhang B: Hinweise zur Anlagenkontrolle“

Es wurde ein neuer informativer Anhang mit Hinweisen zur Anlagenkontrolle aufgenommen.

Zu „Informativer Anhang C: Inspektion“

Es wurde ein neuer informativer Anhang mit Hinweisen zu Inspektionen aufgenommen.