

Dokumentationsunterlage zur Regeländerung
KTA 2201.4
Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische Einwirkungen
Teil 4: Anlagenteile
Fassung 2012-11

Inhalt

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

1 Auftrag des KTA

Der Kerntechnische Ausschuss (KTA) hat auf seiner 59. Sitzung am 22. November 2005 beschlossen, die Regel

KTA 2201.4 Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische Einwirkungen;
 Teil 4: Anforderungen an Verfahren zum Nachweis der Erdbebensicherheit
 für maschinen- und elektrotechnische Anlagenteile
 (Fassung 6/90)

zu ändern.

Der Unterausschuss ANLAGEN- UND BAUTECHNIK (UA-AB) wurde beauftragt, den Entwurfsvorschlag zur Änderung der Regel KTA 2201.4 zu prüfen und eine Beschlussvorlage für den KTA zu erarbeiten.

2 Beteiligte Personen**2.1 Arbeitsgremium**

Dr. T. Bloem	Westinghouse Electric Germany GmbH, Mannheim
Dr.-Ing. F.-O. Henkel (Obmann)	WÖLFEL Beratende Ingenieure GmbH, Höchberg
Dipl.-Ing. W. Holzer	TÜV SÜD Industrie Service GmbH, München
Dipl.-Ing. F.-J. Küpers	AREVA NP GmbH, Erlangen
Dipl.-Ing. K.-D. Liebig	AREVA NP GmbH, Erlangen
Dr.-Ing. R. Meiswinkel	MBI Bautechnik GmbH, Enkenbach-Alsenborn
Dr.-Ing. S. Mörschardt	Vattenfall Europe Nuclear Energy GmbH, Hamburg
Dipl.-Ing. G. Niehaus	TÜV NORD EnSys, Hannover
Dr.-Ing. M. Schalk	WÖLFEL Beratende Ingenieure GmbH, Höchberg

Weitere Mitwirkende

Dr.-Ing. A. Nesper	Wissenschaftlich Technische Ingenieurberatung GmbH, Jülich
--------------------	--

2.2 KTA-Unterausschuss ANLAGEN- und BAUTECHNIK (Stand: 2012-09)

Obmann: Dr. F. Sommer, E.ON, Hannover, ab September 2008
Dr. E. Fischer, E.ON, Hannover, bis September 2008

Vertreter der Hersteller und Ersteller von Atomanlagen:

Dipl.-Ing. A. Fila AREVA NP GmbH, Offenbach
(1. Stellvertreter: Dipl.-Ing. W. Roth, AREVA NP GmbH, Offenbach)
(2. Stellvertreter: B. Schmal, AREVA NP GmbH, Offenbach)

Vertreter der Betreiber von Atomanlagen:

Dipl.-Ing. K. Borowski RWE Power AG, Essen
(Stellvertreter: Dr. G. Roth, EnBW Kraftwerke AG, Philippsburg)

Dr. S. Mörschardt Vattenfall Europe Nuclear Energy GmbH, Hamburg
(Stellvertreter: Dr. B. Neundorf, Vattenfall Europe Nuclear Energy GmbH, Hamburg)

Dr.-Ing. F. Sommer E.ON Kernkraft GmbH, Hannover
(Stellvertreter: Dr. R. Meiswinkel, E.ON Kernkraft GmbH, Hannover bis März 2012)

Vertreter des Bundes und der Länder:

S. Neveling (für: BMU) Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bonn
(1. Stellvertreter: Dr. M. Fabian, BMU, Bonn, ab Nov. 2011)
(2. Stellvertreter: Dr. M. Krauß, BfS, Salzgitter, ab Nov. 2011)
(Stellvertreter: RD Dr. J. Wolf, BMU, Berlin, bis Nov. 2011)

MinR Dr.-Ing. G. Scheuermann Umweltministerium Baden-Württemberg, Stuttgart
(Stellvertreter: BDir Dr.-Ing. H. Schneider, Umweltministerium Baden-Württemberg, Stuttgart)

H.-J. Fieselmann Niedersächsisches Umweltministerium, Hannover
(Stellvertreter: GOR F. Gregorzewski, Niedersächsisches Umweltministerium, Hannover)

Vertreter der Gutachter und Beratungsorganisationen:

Dipl.-Ing. R. Hero TÜV SÜD Industrie Service GmbH, München
(Stellvertreter: Dipl.-Ing. S. Kirchner, TÜV SÜD Industrie Service GmbH, München)

Dr. R. Stück (ab November 2010) Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln

Dipl.-Ing. H. Liemersdorf (bis November 2010) Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln

Dipl.-Ing. Gerding (für RSK) TÜV NORD EnSys Hannover

Vertreter sonst. Behörden, Organisationen und Stellen:

Dr.-Ing. Meyer (für: DIN) HOCHTIEF Construction AG, Frankfurt
(Stellvertreter: Dr.-Ing. Sadegh-Azar (für: DIN), HOCHTIEF Construction AG, Frankfurt)

F. Hennig (für: DGB) E.ON Kernkraft GmbH, Kernkraftwerk Stade
(Stellvertreter: W. Rhoden (für: DGB), E.ON Kernkraft GmbH, Kernkraftwerk Würgassen, ab Nov. 2011)
(Stellvertreter: W. Pecher (für: DGB), E.ON Kernkraft GmbH, Kernkraftwerk Würgassen, bis Nov. 2011)

2.3 Zuständige Mitarbeiter der KTA-Geschäftsstelle:

Dr.-Ing. R. Gersinska KTA-GS beim BfS, Salzgitter (ab November 2009)
Dipl.-Ing. M. Pradhan KTA-GS beim BfS, Salzgitter (bis November 2009)

3 Erarbeitung der Regeländerung

3.1 Erarbeitung des Regeländerungsentwurfsvorschlages

(1) Der Kerntechnische Ausschuss (KTA) hat auf seiner 59. Sitzung am 22. November 2005 beschlossen, die Regel KTA 2201.4 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) Der UA-AB hat auf seiner 97. Sitzung am 30. März 2006 zur Vorbereitung eines Entwurfs zur Änderung der oben genannten Regel ein Arbeitsgremium vorgeschlagen. In diesem Arbeitsgremium sollen alle Gruppen des KTA sowie weitere Fachleute aus dem Gebiet Erdbebenauslegung mitwirken. Die Obmannschaft des Arbeitsgremiums KTA 2201.4 wird an Henkel (Wölfel Beratende Ingenieure) übertragen. Bei der Überarbeitung der o. g. Regel sollen die Beratungsergebnisse der zurzeit in der Änderung befindlichen Erdbebenregel KTA 2201.1 (Grundsätze), insbesondere bezüglich der Schnittstellen zwischen den einzelnen Regeln, berücksichtigt werden. Das Arbeitsgremium KTA 2201.1 soll hierüber informiert werden.

(3) Die konstituierende Sitzung des Arbeitsgremiums KTA 2201.4 fand am 6. März 2007 in Höchberg statt. In dieser Sitzung wurde über das Thema „Handlungsbedarf zur Überarbeitung/Neufassung der Regel KTA 2201.4“ beraten. Es wurde festgestellt, dass sich die Regel in der Praxis bewährt hat und dass die Gliederung prinzipiell beibehalten werden kann. Bei der Überarbeitung der Regel sollen aber die Nachweisführung nach dem Teilsicherheitskonzept (nach dem KTA- Sachstandsbericht KTA-GS-78) sowie die nichtlinearen Verfahren berücksichtigt werden. Einige Ausführungen sollen, zwecks Vermeidung von Wiederholungen, nach KTA 2201.1 bzw. anderen KTA-Erdbebenregeln verschoben werden.

(4) Bis Januar 2011 haben folgende weitere Sitzungen stattgefunden:

2. Sitzung am 12. September 2007 bei Vattenfall in Hamburg,
3. Sitzung am 16. Januar 2008 bei Vattenfall in Hamburg,
4. Sitzung am 8. April 2008 bei E.ON Kernkraft in Hannover,
5. Sitzung am 5. Juni 2008 bei AREVA in Offenbach,
6. Sitzung am 29. Oktober 2008 bei Westinghouse in Mannheim,
7. Sitzung am 12. Februar 2009 bei E.ON Kernkraft in Hannover,
8. Sitzung am 16. Juni 2009 bei WBI in Höchberg,
9. Sitzung am 21./22. September 2009 bei AREVA NP in Erlangen,
10. Sitzung am 19./20. Januar 2010 bei WBI in Höchberg,
11. Sitzung am 22./23. April 2010 bei WBI in Höchberg
12. Sitzung am 5./6. Juli 2010 bei AREVA in Offenbach
13. Sitzung am 30. September und 1. Oktober 2010 bei VENE in Hamburg
14. Sitzung am 22./23. November 2010 bei TÜV SÜD in München
15. Sitzung am 26./27. Januar 2011 bei E.ON in Hannover

(5) In der 1. bis 4. Sitzung wurden die Abschnitte 1 bis 3 beraten. In der 5. Sitzung wurden Teile des Abschnitts 4 „Rechnerische Nachweise“ aktualisiert. Für die 6. Sitzung wurde ein Abgleich der Anforderungen bezüglich Nachweisführung, Berechnungsverfahren und Modellbildung, die in den derzeitigen Entwürfen zu KTA 2201.1, KTA 2201.3 und KTA 2201.4 enthalten sind, ausgearbeitet. In der 6. und 7. Sitzung wurde der Abschnitt 5 „Experimentelle Nachweise“ überarbeitet. In der 8. bis 10. Sitzung wurden die Beratungen zu den Abschnitten 4 und 7 fortgeführt. In der 11. bis 15. Sitzung wurde der Regeländerungsentwurfsvorschlag abschließend beraten. Während der Sitzungen des Arbeitsgremiums erfolgte ein kontinuierlicher Abgleich mit KTA 2201.3.

(6) Der UA-AB hat auf seiner 98. Sitzung am 30. Mai 2007, 99. Sitzung am 25. April 2008, 100. Sitzung am 9. April 2009, 101. Sitzung am 2. September 2009 und 102. Sitzung am 4. März 2010 jeweils den Stand der Beratungen im Arbeitsgremium KTA 2201.4 verfolgt.

(7) Der UA-AB hat auf seiner 104. Sitzung am 3. März 2011 den Regeländerungsentwurfsvorschlag geprüft und die Regeländerungsentwurfsvorlage KTA 2201.4 in der Fassung 2011-03 verabschiedet. Diese wurde für den Fraktionsumlauf freigegeben.

3.2 Erarbeitung des Regeländerungsentwurfs

(8) Im Rahmen des Fraktionsumlaufs, der vom 1. April bis 30 Juni 2011 erfolgte, wurden von folgenden vier Personen bzw. Institutionen insgesamt 36 Stellungnahmen eingereicht:

- VdTÜV
- Herr Dr. Zinn
- AREVA (Herr Ellinghaus, Herr Lang und Frau Liebig)
- BMU (Herr Dr. Fabian)

(9) Das AG beriet in seiner 16. Sitzung am 26. Juli 2011 die eingereichten Stellungnahmen und beschloss einstimmig die Verabschiedung des so erarbeiteten Regeländerungsentwurfsvorschlags zur Vorlage an den Unterausschuss ANLAGEN- UND BAUTECHNIK (UA-AB). Nach der 16. Sitzung erfolgten noch redaktionelle Überarbeitungen, die in die Fassung 2011-08 einfließen.

(10) Der UA-AB beriet auf seiner 105. Sitzung am 14. September 2011 über den neuen Regeländerungsentwurfsvorschlag und beschloss einstimmig dem KTA auf seiner 66. Sitzung am 15. November 2011 zu empfehlen, die in dieser Sitzung erarbeitete Regeländerungsentwurfsvorlage KTA-Dok.-Nr. 2201.4/11/2 (Fassung 2011-09) als Regeländerungsentwurf zu verabschieden.

(11) Der KTA hat diese Regeländerungsentwurfsvorlage auf seiner 66. Sitzung am 15. November 2011 einstimmig als Regeländerungsentwurf in der Fassung 2011-11 verabschiedet. Die Bekanntmachung des BMU erfolgte im Bundesanzeiger Nr. 188 vom 14.12.2011.

3.3 Erarbeitung der Regeländerung

(21) Im Rahmen der Öffentlichkeitsbeteiligung, die vom 1. Januar 2012 bis 31. März 2012 stattfand, sind insgesamt 18 Stellungnahmen zum Regeländerungsentwurf von folgendem Einwender eingegangen:

- Dr. M. Fabian, BMU

(22) Das Arbeitsgremium bearbeitete die eingegangenen Stellungnahmen in seiner 17. Sitzung am 23. April 2012 bei WBI in Höchberg und erarbeitete den Regeländerungsvorschlag KTA 2201.4 in der Fassung 2012-04. 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.

(23) Der UA-AB hat in seiner 107. Sitzung am 4. und 5. September 2012 mit der erforderlichen 5/6 Mehrheit (10 Ja-Stimmen und einer Enthaltung bei 11 anwesenden Stimmen) beschlossen, den Vorschlag des Arbeitsgremiums in der Fassung 2012-09 dem KTA als Regeländerungsvorlage KTA-Dok.-Nr. 2201.4/12/1 mit der Empfehlung vorzulegen, die Vorlage als Regeländerung zu verabschieden.

(24) Der KTA hat die Regeländerungsvorlage auf seiner 67. Sitzung am 13.11.2012 behandelt und einstimmig als Regeländerung in der Fassung 2012-11 beschlossen. Die Bekanntmachung des BMU erfolgte im Bundesanzeiger Nr. AT 23.01.2013 B5 am 23.01.2013.

4 Berücksichtigte Regeln und Unterlagen

4.1 Nationale Regeln und Unterlagen

- KTA 2201.1 Fassung 2011-11
- KTA 2201.3 (Regelentwurfsvorlage Fassung 2012-03)

4.2 Internationale Regeln und Unterlagen

- Der Kiureghian, A Response Spectrum Method for Random Vibrations, Report No. UCB/EERC-80/15, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, California, 1980.
- IBC International Building Code (2009)
- IEC 60980 - Ed. 1.0, Recommended Practices for Seismic Qualification of Electrical Equipment of the Safety System for Nuclear Generating Stations, 1989-06

5 Ausführungen zur Regeländerung

Allgemeines:

Entsprechend dem Auftrag des KTA hat das zuständige Arbeitsgremium den Umfang der änderungsbedürftigen Themen beraten. In den Beratungen wurden teilweise Änderungen zwecks Anpassung der Regel an den Stand von W & T vorgenommen, insbesondere wurde neben dem globalen Sicherheitskonzept auch das Teilsicherheitskonzept der bautechnischen Normen berücksichtigt. Die KTA 2201.4 musste die Anwendung beider Verfahren verbinden, um gleichermaßen das derzeitige komponentenspezifische Regelwerk und die eingeführten technischen Baubestimmungen zu berücksichtigen. Dabei wurde die Gliederung der Regel zwecks systematischer und detaillierter Erfassung der Anforderungen geändert. Die unten genannten Abschnitte bzw. Absätze beziehen sich auf die vorliegende Fassung der Regeländerung.

Im Folgenden sind die Ausführungen zu wesentlichen Änderungen in den jeweiligen Abschnitten/Absätzen angegeben:

Zu Titel der Regel:

Aufgrund des bestehenden Beschlusses des KTA-Unterausschusses Programm- und Grundsatzfragen (UA-PG) vom 7. Oktober 2004 bezüglich des Anwendungsbereiches der KTA-Regeln nur für die Kernkraftwerke wird der Übertitel beibehalten. Der Untertitel von Teil 4 wird jedoch verkürzt auf „Anlagenteile“, korrespondierend zu dem Untertitel von Teil 3 „Bauliche Anlagen“.

Zu Grundlagen:

Der Abschnitt Grundlagen wurde an den aktuellen Stand angepasst, und es wurde ein Verweis auf das BMI-Sicherheitskriterium 2.6 aufgenommen.

Zu Abschnitt 1: „Anwendungsbereich“:

Der Anwendungsbereich wurde an die KTA 2201.1, Fassung 2011-11, angepasst.

Zu Abschnitt 2: „Begriffe“

Die Liste der Begriffe wurde überarbeitet und erweitert. Es wurden jedoch nur Begriffe aufgenommen, die explizit in Teil 4 verwendet werden soweit sie nicht in KTA 2201.1 definiert sind. Nicht aufgenommen wurden Grundbegriffe der Mathematik, der Mechanik und der Schwingungstechnik, da deren Kenntnis bei den Nutzern dieser Regel vorausgesetzt wird. Weitere Angaben zu Quellen von Begriffen und Definitionen enthält ein entsprechender Hinweis.

Zu Abschnitt 3: „Allgemeine Anforderungen“

Der Abschnitt wurde neu geordnet und gestrafft, das Flussdiagramm mit den Nachweisschritten wurde an den aktuellen Stand der Nachweisführung angepasst. Teilthemen, die bereits in KTA 2201.1 enthalten sind (z. B. Erdbebenerregung am Standort), wurden gestrichen. Der Unterpunkt „Relativverschiebungen“ wurde nach Abschnitt 4 verschoben, da er mehr zur Berechnung gehört. Als Nachweismethoden werden Analogienachweise und Plausibilitätsnachweise als gleichberechtigt neben rechnerischen und experimentellen Nachweisen angesprochen (vgl. Abschnitte 6 und 7).

Zu Abschnitt 4: „Rechnerische Nachweise“

Der Abschnitt wurde überarbeitet, neu gegliedert sowie erweitert und dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik angepasst. Ferner wurden die Schnittstellen zu KTA 2201.1 berücksichtigt und zu KTA 2201.3 neu festgelegt.

Zu 4.2: „Anregung am Standort oder Einbauort“

Sekundärantworten des Bauwerks (Antwortzeitverläufe oder Antwortspektren) werden KTA 2201.3 zugewiesen, Tertiärantworten sind Gegenstand von KTA 2201.4. Bezüglich der Überlagerung von Anregungsrichtungen wird auf KTA 2201.1 verwiesen. Die diesbezüglichen früheren Abschnitte und Bilder entfallen.

Das Ersatzverfahren wurde beibehalten, da es sich bewährt hat. Der zugehörige Text wurde präzisiert und für Tertiärspektren umgeschrieben. (In redaktionell angepasster Form wurde dieser Abschnitt für Sekundärspektren in KTA 2201.3 integriert.)

Neu aufgenommen wurde der Abschnitt „Bemessungsspektren“, also die Ermittlung einhüllender, geglätteter Spektren, die eine robuste, d. h. gegen Auswirkungen von Parameterunschärfen unempfindliche Auslegung der Anlagenteile sicherstellen. Die Kriterien für Einhüllung, Verbreiterung und Glättung der berechneten Spektren sind angegeben.

Neu aufgenommen wurden „nichtlineare Spektren für Klasse IIa Anlagenteile“. Hier wird für die Klasse IIa Anlagenteile eine Methode aufgegriffen, die im nichtkerntechnischen Regelwerk (z. B. DIN EN 1998, IBC) international etabliert ist und eine Auslegung solcher Anlagenteile unter Nutzung ihres dissipativen Verhaltens ermöglicht.

Zu 4.2.3.1 „Zeitverlaufverfahren“

Die in KTA 2201.1 und KTA 2201.3 getroffenen Festlegungen bezüglich Anzahl der Zeitverläufe oder Zeitverlaufsätze (Belastungssituationen) werden in KTA 2201.4 fortgeschrieben. In der Tertiärebene wird die Anzahl der Zeitverläufe jedoch vervielfacht mit der Anzahl der Modellvarianten infolge Variation von Modellparametern wie Baugrund- und Struktursteifigkeiten aus der Sekundärebene.

Zur Anzahl der Zeitverläufe bzw. Belastungssituationen:

- Bei linearen Berechnungen ist eine Zahl von 3 Belastungssituationen, gebildet aus untereinander statistisch unabhängigen Zeitverläufen, die ggf. auf mehrere Modellvarianten anzusetzen sind, Stand von Wissenschaft und Technik; das Vorgehen hat sich bewährt.
- Bei nichtlinearen Berechnungen muss die Anzahl der Belastungssituationen höher sein, da die Ergebnisse stärker von der spektralen Phasenlage abhängen. Die Anzahl 7 (künstliche Zeitverläufe), die sich auch in KTA 2201.1 findet, entspricht der Forderung in DIN EN 1998 und sollte daher auch in KTA 2201.4 Orientierung sein. Die Zahl sollte aus Gründen der Praktikabilität nicht höher angesetzt werden, in ingenieurmäßig begründeten Fällen auch reduziert werden können. Deshalb sind die entsprechenden Forderungen in KTA 2201.4 nur qualitativ angegeben und die mögliche Anzahl nur in einem Hinweis genannt.

Zur Frage Mittelung oder Einhüllung:

- Bei linearen Berechnungen ist die Mittelung gleichgerichteter Antworten aus verschiedenen Belastungssituationen mathematisch begründet: Das Ergebnis hat in diesem Fall den gleichen Verteilungstyp wie die streuenden Eingangsgrößen (Phasenlage der spektralen Anteile, Materialkennwerte, Modellunschärfen). Weil hier mit Mittelwerten gerechnet wird, darf auch das Ergebnis gemittelt werden.
- Bei nichtlinearen Berechnungen ist dagegen über den Verteilungstyp der Ergebnisse nichts bekannt. Außerdem ist bei einigen Fragen (Lagesicherheit, Anschlagen, Absturz) schon eine einzige Überschreitung unzulässig. Schließlich zeigen Veröffentlichungen, dass bei nichtlinearen Berechnungen nur eine um eine Größenordnung höhere Anzahl von Fällen zu statistisch verwertbaren Ergebnissen führt (Monte Carlo). Bei 5 (registrierte Zeitverläufe) bis 7 (künstliche Zeitverläufe) Belastungssituationen schafft daher nur Einhüllen angemessene Sicherheit.

Zu 4.2.3.2 „Ersatzverfahren“

Das Ersatzverfahren hat sich als konservative Abschätzung von Sekundär- und Tertiärspektren bewährt und wurde redaktionell angepasst und im rechten Flankenbereich verfeinert in die Neufassung übernommen. Es wird nachfolgend durch ein Beispiel veranschaulicht.

Gewählt wird ein Schaltschrank nach **Bild D-1**, der dynamisch mit dem Spektrum nach **Bild D-2** berechnet wurde und für den ein Tertiärspektrum zur Auslegung eines Betriebsmittels abzuleiten ist.

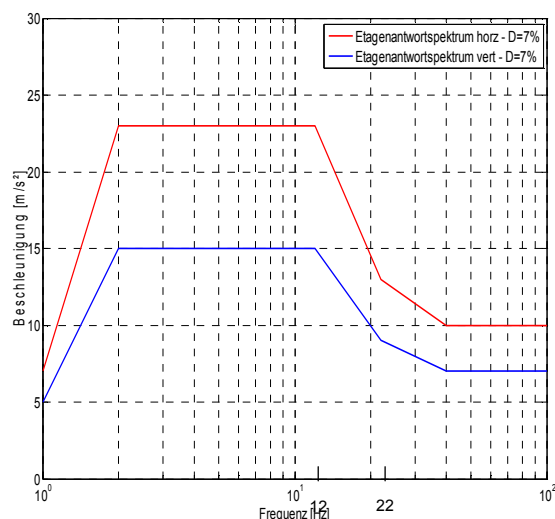
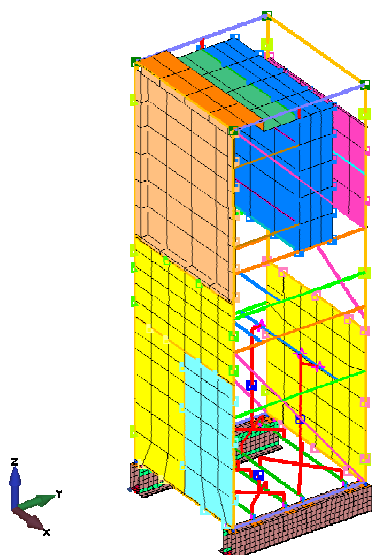


Bild D-1: Rechenmodell Schaltschrank

Bild D-2: Sekundärantwortspektrum

Die ermittelten modalen Parameter enthält **Tabelle D-1**; die signifikanten Eigenfrequenzen folgen aus den modalen Gewichten und sind gekennzeichnet.

MODAL EXTRACTION DATA						--- MODAL WEIGHTS ---		
MODE NO	EIGENVALUE (OMEGA*2)	NATURAL FREQUENCY	PERIOD	GENERALIZED WEIGHT	MAX TRANSLATION NODE-DOF VALUE	(GEN. WGT. * PARTICIPATION FACTORS**2)	X1	X2
1	10733.2	16.489	0.0606	548.523	131-3 1.0000	4069.61922	41.35304	0.43079
2	13400.2	18.424	0.0543	654.347	339-2 1.0000	110.63371	2692.12221	0.21528
3	17551.3	21.085	0.0474	48.5370	69-1 1.0000	0.07732	7.55502	0.00612
4	26157.7	25.741	0.0388	163.658	131-3 1.0000	492.69003	76.64136	0.00023
5	29753.8	27.453	0.0364	40.9595	339-2 1.0000	14.42192	69.46919	0.00031
6	30362.0	27.732	0.0361	39.5738	30-1 1.0000	39.42665	12.30079	0.00941
7	39537.7	31.646	0.0316	53.1778	111-3 1.0000	1667.92682	0.18224	1.93476
8	52925.1	36.614	0.0273	21.1168	111-3 1.0000	21.50063	0.76855	0.14052
9	80150.7	45.058	0.0222	118.564	111-3 1.0000	101.92144	0.17244	239.34535
10	87191.5	46.996	0.0213	66.6040	111-3 1.0000	155.97397	0.20777	202.36871

Tabelle D-1: Modale Daten des Schaltschranks

Das Ergebnis des Antwortspektren-Verfahrens (mit CQC und Überlagerung gleichgerichteter Antworten aus den 3 Erregungsrichtungen nach der Wurzel aus der Quadratsumme) liefert die maximalen Antwortbeschleunigungen am oberen Ende des Schaltschranks (Einbaustelle des Betriebsmittels) in die beiden horizontalen Richtungen: $a_x = 24,5 \text{ m/s}^2$, $a_y = 27,5 \text{ m/s}^2$. Dieses sind die a_G -Werte für die Anwendung des Ersatzverfahrens. Falls aus der Berechnung keine Beschleunigungsantworten folgen, müssen die Antwortgrößen in Beschleunigungsantworten umgerechnet werden.

Mit den Daten aus **Tabelle D-2** ergeben sich die in **Bild D-3** und **Bild D-4** eingezeichneten Tertiärspektren. Zum Vergleich eingetragen sind die durch dynamische Berechnung sich ergebenden Tertiärspektren. Im vorliegenden Beispiel liegen die Eigenfrequenzen des Schaltschranks sehr hoch. Statt ihrer werden daher die rechten Eckfrequenzen der zugrunde liegenden Bauwerksantwortspektren maßgebend. Die Konservativität des Ersatzverfahrens ist in jedem Fall evident.

Parameter	x-Richtung	y-Richtung
Beschleunigung des Hauptsystems a_G	24,5 m/s ²	27,5 m/s ²
Rechte Eckfrequenz des höchsten Plateaus des AWS	12 Hz	12 Hz
Tiefste maßgebende Eigenfrequenz f_1	16,5 Hz > 12 Hz	18,4 Hz > 12 Hz
Untere Grenzfrequenz $0,8 f_1 = 0,8 \times 12 \text{ Hz}$	9,6 Hz	9,6 Hz
Höchste maßgebende Eigenfrequenz f_n	31,6 Hz > 12 Hz	18,4 Hz > 12 Hz
Obere Grenzfrequenz $1,2 f_n = 1,2 \times 12 \text{ Hz}$	14,4 Hz	14,4 Hz
Dämpfung Schaltschrank (Hauptsystem) D_1	7 %	7 %
Dämpfung Betriebsmittel (Untersystem) D_2	4 %	4 %
Resonanzüberhöhungsfaktor V nach Bild 4-2	7,0	7,0
Maximalbeschleunigung $a_G V$	171,5 m/s ²	192,5 m/s ²
Obere Grenzfrequenz f_{grenz} nach Bild 4-1	40 Hz	40 Hz

Tabelle D-2: Daten zur Berechnung der Tertiärspektren

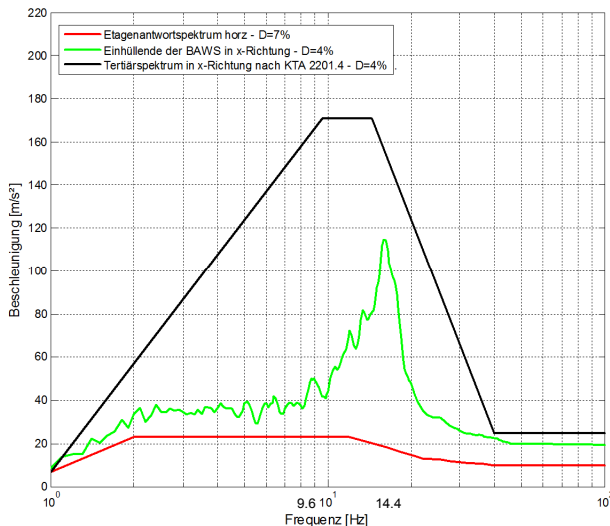


Bild D-3: Spektrenvergleich x-Richtung

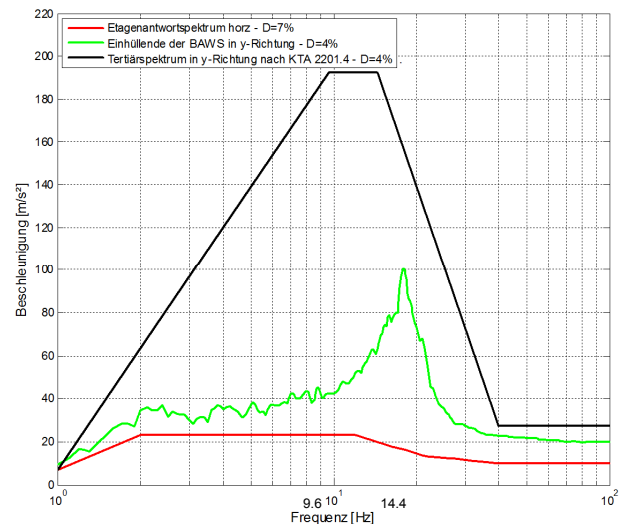


Bild D-4: Spektrenvergleich y-Richtung

Zu 4.2.4 (2) c): „Bemessungsspektren“

Bei der Bildung von Bemessungsspektren wird auch eine Kappung von Spektrenspitzen, die nicht breiter als 15 % der jeweiligen Mittenfrequenz sind, zugelassen. Bei diesen „Nadelspitzen“ handelt es sich um Recheneffekte, die bei linearer Berechnung mit dem Zeitverlaufverfahren entstehen. Dafür lassen sich verschiedene Ursachen angeben (/1/):

- Bei der Entkopplung von Primär- und Sekundärsystem im Antwortspektrenverfahren fehlt der „Tilgereffekt“ des Sekundärsystems bei Resonanzabstimmung, also im Bereich der Spektrenspitze. In /2/ und /3/ werden entkoppelte (Antwortspektrenverfahren) und gekoppelte (mit Erfassung des Tilgereffekts) Berechnungen durchgeführt. Aus den Ergebnissen können folgende Schlüsse gezogen werden:
 - Die entkoppelt ermittelten Ergebnisse sind höher als die gekoppelt ermittelten.
 - Sind sowohl Primär- als auch Sekundärstruktur mit 5 % gedämpft, dann sind die Unterschiede zwischen den maximalen Beschleunigungsantworten der Sekundärstruktur aus entkoppelter und gekoppelter Berechnung klein, wenn das Massenverhältnis sehr klein ist ($m_s/m_p \leq 0,001$). Bei einem Massenverhältnis $m_s/m_p = 0,01$ wird im Resonanzfall (d. h. $T_p = T_s$ bzw. $f_p = f_s$) mit einer entkoppelten Berechnung die Beschleunigung um bis zu 50 % überschätzt.
 - Beträgt die Dämpfung der Primärstruktur 15 % und die der Sekundärstruktur 5 %, so ist die Abweichung aus gekoppelter und entkoppelter Berechnung auch für größere Massenverhältnisse weniger ausgeprägt.
- Der Ansatz gewichteter modaler Dämpfungen führt bei Resonanzabstimmung von Primär- und Sekundärsystem, wenn diese unterschiedliche Dämpfungsgrade besitzen, zu numerischen Ergebnissen, die mechanisch inkorrekt sind. Die Ursache liegt in nicht vernachlässigbaren Nebendiagonalgliedern der Dämpfungsmatrix (/4/) Durch diesen Effekt entstehen scheinbare Spektrenspitzen. Bei den untersuchten Beispielen liegen die modalen Spektrenspitzen um einen Faktor 1,6 bis 2,2 über dem exakten Ergebnis. In einer vergleichbaren Arbeit (/5/) erreichen die Unterschiede in den Federkräften etwa einen Faktor 2,5.
- Bei geringer, in der Realität immer vorhandener Nichtlinearität krümmt sich die Vergrößerungsfunktion, die Lösung wird zweideutig, die Resonanz kann nicht gehalten werden. Gleichzeitig reduziert sich die Überhöhung im Resonanzbereich. Die linear berechneten Überhöhungen sind damit stets zu groß.
- Eine Berücksichtigung statistischer Verteilungen der Material- und Modellparameter führt zu einer geringeren Wahrscheinlichkeit der Spektrenspitzen und damit zu in den Spitzen deutlich niedrigeren Erwartungswerten. Deshalb findet sich in /6/ die Feststellung: „In lieu of performing a probabilistic evaluation, a 15 % reduction in peak amplitude of deterministic spectra is reasonable and conservative“. Diese Spektrenreduktion ist unabhängig von der Spitzenbreite und dadurch viel weitergehend als die hier festgelegte Kappung von Nadelspitzen bis zu einer Breite von 15 % der jeweiligen Frequenz. Sie wird nach dem Stand der Technik international angewandt.

Insgesamt lässt sich somit feststellen, dass die in KTA 2201.4, 4.2.4 (2) c) vorgesehene Kappung der Nadelspitzen eine angemessene Maßnahme ist, um unrealistische Überhöhungen zu reduzieren. Die Begrenzung durch die Frequenzbreite von 15 % stellt sicher, dass nur extreme Nadelspitzen geschnitten werden. Wenn durch die Mittelung über Ergebnisse aus mehreren statistisch unabhängigen Erregungszeitverläufen sich solche Spitzen bereits herausgemittelt haben, so greift die Kappung nicht.

Zu 4.3: „Modellbildung“

Dieser Abschnitt wurde neu zusammengestellt und systematisch gegliedert in „Systemeigenschaften“, „Unterteilung von Strukturen“ und „Flüssigkeitsfüllung in Komponenten“. Bei der Unterteilung wurde das Überlappungsverfahren bei Rohrleitungen neu aufgenommen. Der Abschnitt Flüssigkeitsfüllung enthält jetzt eine Öffnung zu genaueren Verfahren nach DIN EN 1998-4 und zur Methode der finiten Elemente für die Fluid-Struktur-Wechselwirkung.

Zu 4.4: „Analyse des mechanischen Verhaltens“

Dieser Abschnitt wurde überarbeitet, erweitert und fachlich auf den aktuellen Stand gebracht.

Unverändert sind die behandelten Rechenverfahren

- a) Antwortspektrenverfahren
- b) Zeitverlaufverfahren
- c) Quasistatisches Verfahren (früher Ersatzverfahren genannt)

Alternativ zu nichtlinearen Zeitverlaufverfahren werden aber auch nichtlineare statische Verfahren zugelassen. Ein Beispiel dafür ist die Kapazitätsspektrummethode, die im englischen Sprachraum als Pushover-Verfahren bezeichnet wird.

Der Abschnitt „Antwortspektrenverfahren“ wurde seiner praktischen Bedeutung entsprechend erweitert und auf den aktuellen fachlichen Stand gebracht. Insbesondere wurde zur modalen Überlagerung das CQC-Verfahren (Complete Quadratic Combination) als Standard eingeführt, so dass die einfache „Wurzel aus der Quadratsumme“ als Sonderfall für ausreichend gespreizte Eigenfrequenzen erscheint. Weiterhin wurde der in der Praxis ebenfalls wichtige „Starrkörperanteil“ aufgenommen und explizit behandelt.

Bei den „Zeitverlaufverfahren“ werden als Erregung Antwortzeitverläufe aus der Gebäudeberechnung, künstliche, zu den Antwortspektren des Gebäudes kompatible Zeitverläufe sowie entsprechend KTA 2201.1 registrierte Zeitverläufe im Rahmen eines Gesamtmodells zugelassen.

Das „Quasistatische Verfahren“ (fachlich korrekter als der frühere Begriff „Ersatzverfahren“) blieb praktisch unverändert; es hat sich in der vorliegenden Form bewährt.

Hinzugefügt wurden die Abschnitte

- Nichtlineare Berechnungen
- Quasi-nichtlineare Auslegung von Anlagenteilen der Klasse IIa
- Relativverschiebungen.

Durch die Aufnahme eines expliziten Abschnitts „Nichtlineare Berechnungen“ soll der Bedeutung dieser Verfahren für wirklichkeitsnähere Berechnungen Rechnung getragen werden. Anforderungen und Restriktionen sind – teilweise unter Bezug auf KTA 2201.1 – genannt.

Der Abschnitt „Quasi-nichtlineare Auslegung von Anlagenteilen der Klasse IIa“ geht aus von den in 4.2 definierten „nichtlinearen Spektren für Klasse IIa Anlagenteile“ und nennt die entsprechenden Anforderungen und Restriktionen. Ein Verhaltensbeiwert $q = 1,5$ und damit die Annahme einer Mindestduktilität wird generell zugelassen; bezüglich höherer Werte wird auf DIN EN 1998-1 verwiesen.

Der Abschnitt „Relativverschiebungen“ aus dem ehemaligen Abschnitt 3 wurde am Ende von 4.4 eingefügt und dabei fachlich und redaktionell präzisiert.

Zu 4.4.2 (2) Hinweis:

Die im Hinweis angesprochene Erweiterung der Gleichung (4-3) ist in „Der Kiureghian“ (siehe 4.2 dieser Dokumentationsunterlage) beschrieben.

Zu 4.5 „Nachweis der Grenzzustände“

Dieser Abschnitt wurde vollkommen neu entwickelt und aufgebaut, da er weiterhin die Möglichkeit eines Nachweises nach dem globalen Sicherheitskonzept (Nachweis der Einhaltung zulässiger Spannungen) bieten muss, aber auch die Brücke schlagen muss zu dem aus dem Bauwesen stammenden Teilsicherheitskonzept (Nachweis der Einhaltung von Grenzzuständen unter γ_F fachen Einwirkungen und $1/\gamma_M$ fachen Werkstofffestigkeiten). Beide Nachweisarten sind gleichberechtigt zugelassen, um alle komponentenspezifischen Regeln anwenden zu können, unabhängig davon, nach welchem Konzept diese aufgebaut sind.

Basis der Auslegung sind die Anforderungskategorien nach KTA-GS-78, wobei das Bemessungserdbeben – abgesehen von explizit benannten Ausnahmen – in Kategorie A3 einzuordnen ist. Tabelle 4-3 gibt die Zuordnung dieser Anforderungskategorien zu denen anderer Normen und Richtlinien wieder.

Zu 4.5.1 „Allgemeines“

Im Bauingenieurwesen wird der Begriff „Gebrauchstauglichkeit“ an Stelle von „Funktionsfähigkeit“ und „Integrität“ verwendet.

Zu 4.5.2 „Nachweis nach dem Teilsicherheitskonzept“

Die Teilsicherheitsbeiwerte für den Tragwiderstand wurden aus DIN EN 1993-1-1/NA entnommen.

Zu 4.5.3 „Nachweis nach dem globalen Sicherheitskonzept“

Für Stabilitätsnachweise nach dem globalen Sicherheitskonzept liegen keine gültigen DIN-Normen vor.

Zu Abschnitt 5: „Experimentelle Nachweise“

Die Überprüfung des Abschnittes 5 ergab, dass dieser weiterhin dem Stand von Wissenschaft und Technik entspricht. Der Text wurde deshalb grundsätzlich beibehalten und lediglich bereichsweise präzisiert und redaktionell überarbeitet. Die „Beispiele für die Zusammenfassung mehrerer Nachweisschritte“ im bisherigen 5.6 wurden gestrichen.

Zu Abschnitt 6: „Analogienachweise“ und Abschnitt 7: „Plausibilitätsnachweise“

Im Gegensatz zur bisherigen Fassung, in der Analogie- und Plausibilitätsbetrachtungen als „Alternative Nachweismöglichkeiten“ nur am Rande und in einem Abschnitt zusammen behandelt werden, sind jetzt beide Nachweisarten gleichberechtigt nebeneinander und hinsichtlich der Einhaltung der Schutzziele gleichberechtigt neben die rechnerischen und experimentellen Nachweise gestellt worden. Die Analogienachweise benötigen aber einen experimentellen oder rechnerischen Bezug. Der Plausibilitätsnachweis benötigt Erfahrungen aus Erdbeben.

Beide Nachweisarten sind fachlich grundsätzlich unterschiedlich. Deshalb werden sie jeweils zu Beginn definiert. Aus diesen Definitionen ergeben sich die Kriterien und Vorgehensweisen für die fachliche Anwendung. Bei den Analogienachweisen wurden die Kriterien für die Übertragbarkeit von Referenzergebnissen zugeschräfft. Die Plausibilitätsnachweise wurden für die Integration von Anlagenbegehungen geöffnet, die über ein Ablaufschema veranschaulicht werden.

Zu Anhang A (alt): Krane und deren Stahltragwerke

Der Anhang A ist entfallen, da in KTA 3902 nur noch ein allgemeiner Bezug auf die KTA 2201.4 enthalten ist.

Literatur (Dokumentationsunterlage):

- /1/ Henkel, F.-O.: Broadening and Smoothing of Floor Response Spectra - How to deal with „Needle Peaks“, SMiRT 2011
- /2/ Furtmüller, T., Adam, C.: Erdbebenantwort von schwingungsfähigen Einbauten in elastoplastischen Tragwerken, D-A-C-H Tagung 2007
- /3/ Furtmüller, T., Adam, C.: Studie zur Erdbebenantwort von Sekundärstrukturen in hochgedämpften Primärstrukturen, interne Korrespondenz, 9. April 2008
- /4/ Röhner, J., Henkel, F.-O.: The Influence of Nonclassical Damping on Subsystem Response, SMiRT 2009
- /5/ Gupta, A.: Significance of Nonclassical Damping in Coupled System Analysis, SMiRT 1999
- /6/ ASCE 4-98