

KTA 2201.2

Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische Einwirkungen

Teil 2: Baugrund

Fassung 2024-12

Vorbemerkung

Der Kerntechnische Ausschuss (KTA) beabsichtigt, die zurzeit in der Fassung 2012-11 vorliegende Regel KTA 2201.2 zu ändern. Der Entwurf dieser Änderung wird hiermit der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt, damit er erforderlichenfalls verbessert werden kann. Es wird darauf hingewiesen, dass die endgültige Fassung von dem vorliegenden Entwurf abweichen kann.

**Änderungsvorschläge sind innerhalb einer Frist von drei Monaten,
beginnend am 1. Februar 2025,**

entweder per E-Mail (kta-gs@base.bund.de) oder schriftlich (GS 2 KTA-GS beim BASE, Willy-Brandt-Str. 5, 38226 Salzgitter) bei der Geschäftsstelle des Kerntechnischen Ausschusses beim Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE) einzureichen

Frühere Fassungen der Regel: 1982-11 (BAnz Nr. 64a vom 6. April 1983)
1990-06 (BAnz Nr. 20a vom 30. Januar 1991)
2012-11 (BAnz AT 23.01.2013 B5 vom 23. Januar 2013)

Regeländerungsentwurf

Inhalt

	Seite
1 Anwendungsbereich	2
2 Begriffe	2
3 Baugrunderkundung	2
4 Baugrunddynamische Kenndaten	2
5 Baugrundveränderung	3
Anhang A Anwendungsverfahren	4
Anhang B Bestimmungen, auf die in dieser Regel verwiesen wird	8
Dokumentationsunterlage zur Regeländerung	9

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 Absatz 2 Nr. 3 Atomgesetz - AtG), um die im AtG, im Strahlenschutzgesetz (StrlSchG) und in der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) festgelegten sowie in den „Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke“ (SiAnf) und den „Interpretationen zu den Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke“ weiter konkretisierten Schutzziele zu erreichen.

(2) Gemäß den SiAnf sind Schutzmaßnahmen, soweit sie in Betracht zu ziehen sind, gegen Einwirkungen von Erdbeben vorzusehen. Erdbeben gehören zu der Störfallgruppe, gegen die anlagentechnische Schadensvorsorge getroffen werden muss und die bezüglich ihrer radiologischen Auswirkungen auf die Umgebung relevant ist. Die Grundsätze dieser Vorsorge sind in der Regelreihe KTA 2201 festgelegt.

(3) Die Regel KTA 2201.2 im Rahmen der Regelreihe KTA 2201 "Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische Einwirkungen" behandelt die Ermittlung und Anwendung von Kenndaten des Baugrundes, nach denen ein Kernkraftwerk gegen seismische Einwirkungen auszulegen ist. Zur Regelreihe gehören als weitere Teile:

Teil 1: Grundsätze

Teil 3: Bauliche Anlagen

Teil 4: Anlagenteile

Teil 5: Seismische Instrumentierung

Teil 6: Maßnahmen nach Erdbeben

1 Anwendungsbereich

Diese Regel ist auf Kernkraftwerke mit Leichtwasserreaktoren zur Erfüllung der in KTA 2201.1 genannten Schutzziele anzuwenden.

2 Begriffe

(1) Bodenverflüssigung

Als Bodenverflüssigung wird der Verlust der Scherfestigkeit des Bodens unter dynamischer Beanspruchung durch Anstieg des Porenwasserdruckes bezeichnet. Der Anstieg des Porenwasserdruckes wird hierbei durch die dynamische Beanspruchung und die Bodenverdichtung ausgelöst.

(2) Kompressionswellengeschwindigkeit

Die Kompressionswellengeschwindigkeit bezeichnet die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Kompressionswellen. Kompressionswellen (auch Primärwellen oder Druckwellen genannt) sind elastische longitudinal polarisierte Raumwellen, bei deren Durchgang durch ein Medium Volumenelemente aus Teilchen komprimiert und gedehnt werden.

(3) Materialdämpfung

Die Materialdämpfung ist die Umwandlung von mechanischer Energie in Wärmeenergie durch Dissipation (Reibung, Viskosität) in einem schwingenden System oder bei Wellenausbreitung.

(4) Scherwellengeschwindigkeit

Die Scherwellengeschwindigkeit bezeichnet die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Scherwellen. Scherwellen (auch Sekundärwellen oder Transversalwellen genannt) sind elastische transversal polarisierte Raumwellen, bei deren Durchgang durch ein Medium die Teilchenbewegung senkrecht zur

Fortpflanzungsrichtung erfolgt. Dies führt zur Verscherung des Ausbreitungsmediums. Scherwellen können sich in festen Körpern, jedoch nicht in Flüssigkeiten oder Gasen ausbreiten, da die beiden letzteren keinen nennenswerten Scherwiderstand besitzen.

(5) Schubmodul, dynamischer

Der dynamische Schubmodul des Bodens (G) beschreibt das elastische Verformungsverhalten unter dynamischer Einwirkung einer reinen Schubspannung. Er wird in Laborversuchen oder In-situ ermittelt. In Lockergestein nimmt er mit wachsender Schubverzerrung ab; sein Maximalwert G^0 tritt bei kleinsten dynamischen Schubverzerrungen ($\gamma \leq 10^{-5}$) auf.

3 Baugrunderkundung

(1) Als Beurteilungsgrundlagen für die Baugrundverhältnisse am Standort sind insbesondere Gutachten zur Geologie, Seismologie und zum Baugrund heranzuziehen.

(2) Die Ergebnisse aus geologischen und seismologischen Gutachten sowie den Baugrunduntersuchungen sind in charakteristischen Bodenprofilschnitten durch den Baugrundgutachter festzuhalten.

(3) Art und Umfang der erforderlichen geotechnischen Untersuchungen sowie die zu ermittelnden Kenndaten sind nach DIN EN 1997-1, DIN EN 1997-1/NA und DIN 1054 in Verbindung mit DIN EN 1997-2, DIN EN 1997-2/NA und DIN 4020 festzulegen. Dabei ist mindestens von einer Tiefe entsprechend dem zweifachen Gebäudedurchmesser oder Ersatzdurchmesser eines flächengleichen Kreisfundamentes auszugehen.

4 Baugrunderdynamische Kenndaten

(1) Die mechanischen Eigenschaften des Baugrundes bei dynamischer Beanspruchung unterscheiden sich deutlich von denen bei statischer Beanspruchung.

(2) Das Verhalten von Böden bei dynamischen Einwirkungen wird von einer Reihe von Einflussfaktoren bestimmt. Wesentliche Einflussgrößen sind dabei die Schubverzerrungsamplitude und die Anzahl der Belastungszyklen der Einwirkungen, der allseitige mittlere statische Druck unter der Gründung sowie die Porenzahl und der Sättigungsgrad des Bodens.

(3) Für die Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische Einwirkungen sind in Baugrundgutachten folgende baugrunderdynamische Kenndaten für die jeweiligen Bodenschichten anzugeben:

- Der dynamische Schubmodul G_0 bei kleinen Schubverzerrungen,
- die Poissonzahl ν ,
- die Materialdämpfung in Form des Dämpfungsgrades D ,
- die Dichte ρ und
- die Scherwellengeschwindigkeit v_s sowie die Kompressionswellengeschwindigkeit v_p bei kleinen Schubverzerrungen.

Dabei sind obere und untere Grenzwerte für G_0 in Abhängigkeit von der Tiefe und dem Spannungszustand des Bodens unter Bauwerkslast anzugeben.

Hinweis:

Bestimmungsverfahren für baugrunderdynamische Kenndaten sind im Abschnitt A 1 von **Anhang A** als Beispiele angegeben.

(4) Der Schubmodul und die Materialdämpfung sollen in Abhängigkeit von der Schubverzerrung und dem Spannungszustand im Boden bestimmt werden.

Hinweis:

Ein Verfahren zur Bestimmung von Schubmodul und Materialdämpfung ist im Abschnitt A 2 von **Anhang A** angegeben.

(5) Die Verfahren zur Bestimmung der baugrunddynamischen Kenndaten sind in Abhängigkeit von den Baugrundverhältnissen auszuwählen. Grundsätzlich sind In-situ-Verfahren und Laborverfahren durchzuführen. Abweichend davon darf nach (6) verfahren werden.

(6) Wenn der Baugrund und die geologischen Randbedingungen zweier Standorte vergleichbar sind, so dürfen die baugrunddynamischen Kenndaten eines Standortes auf den anderen Standort übertragen werden.

5 Baugrundveränderung

(1) Es sind die möglichen Veränderungen des Baugrundes, wie sie als Folge von Erdbeben auftreten können, zu bestimmen. Hierzu gehören insbesondere:

a) Bleibende vertikale Verformungen durch Verdichtung des Korngefüges.

Hinweis:

Im Allgemeinen sind die bleibenden horizontalen Verformungen vernachlässigbar, z. B. an Standorten mit horizontaler Bodenschichtung.

Beurteilungsgrundlagen zur Bodenverflüssigung (Verflüssigungspotenzial) sind im Abschnitt A 3 von **Anhang A** angegeben.

b) Abminderung der Scherfestigkeit entweder durch Bodenverflüssigung oder durch andere Veränderungen des Korngefüges.

(2) Für Kernkraftwerke an Standorten, für die entweder die horizontale maximale Bodenbeschleunigung zu weniger als $0,8 \text{ m/s}^2$ ermittelt wurde oder der Baugrund aus steifen geologisch vorbelasteten Tonen oder gleichartigen bindigen Böden besteht, braucht kein Nachweis zur Bodenverflüssigung geführt zu werden.

Anhang A

Anwendungsverfahren

A 1 Untersuchungsverfahren zur Bestimmung baugrunddynamischer Kenndaten

Verfahren	Messmethode	a) Messgrößen b) abgeleitete Größen	Schubverzerrungsbereich ¹⁾
In-situ-Verfahren			
Bohrlochverfahren			
Uphole-Verfahren	Anregungen im Bohrloch, Messungen an der Oberfläche	a) Laufzeiten (P- und S-Wellengeschwindigkeiten) b) Schubmodul, Poissonzahl	etwa 10^{-7} bis 10^{-5}
Downhole-Verfahren	Anregungen an der Oberfläche, Messungen im Bohrloch		
Crosshole-Verfahren	Anregungen (Sender) in einem Bohrloch, Messungen in einem oder mehreren benachbarten Bohrlöchern (Empfänger)		
Seismische Tomographie	Durchschallung eines Untersuchungsgebietes durch Anordnung eines Netzes von Sendern und Empfängern in Bohrlöchern		
Oberflächenverfahren			
Schwinger	Kontinuierliche Anregung und Messung an der Oberfläche	a) Laufzeiten (Oberflächenwellengeschwindigkeiten) b) Schubmodul	etwa 10^{-7} bis 10^{-5}
SASW (Spectral Analysis of Surface Waves)	Stoßanregung und Messung an der Oberfläche		
Labor-Verfahren			
Resonant-Column-Versuch	Bestimmung der Geschwindigkeiten bei variabler Frequenz und variablen Amplituden	a) Frequenz, Wellenlänge (P- und S-Wellengeschwindigkeiten) b) Schubmodul, Poissonzahl, Materialdämpfung	etwa 10^{-7} bis $5 \cdot 10^{-4}$
Ultraschallmessungen	Bestimmung der Geschwindigkeiten infolge der Ultraschallpulse	a) Laufzeiten (P- und S-Wellengeschwindigkeiten) b) Schubmodul, Poissonzahl	etwa 10^{-7} bis 10^{-5}
Zyklischer Scherversuch	Messung bei einfacher Scherung unter einaxialer Beanspruchung und behinderter Seitendehnung	a) Verformungen, Spannungen (Spannungs-Schubverzerrungs-Kennlinie) b) Schubmodul, Materialdämpfung, Poissonzahl	etwa $5 \cdot 10^{-5}$ bis 10^{-1}
Zyklischer Triaxialversuch	Messung bei vertikaler und tangentialer Beanspruchung unter variablen Spannungszuständen		
Zyklischer Torsionsversuch	Messung bei tangentialer Belastung und einaxialer Belastung		
1) Bei Erdbeben in Deutschland liegen die Schubverzerrungen im Bereich von 10^{-5} bis 10^{-3} .			

Tabelle A-1: Untersuchungsverfahren zur Bestimmung baugrunddynamischer Kenndaten

A 2 Bestimmung von dynamischem Schubmodul und Materialdämpfung aus In-situ-Untersuchungen oder mittels Hilfsrechnungen

(1) Die Bestimmung des dynamischen Schubmoduls G und des Dämpfungsgrads D des Materials darf in Anlehnung an [1] nach der in **Bild A-1** dargestellten Gleichung A-1 und Gleichung A-2 erfolgen.

$$G = \frac{1}{1 + \gamma_h} G_0 \quad (\text{A-1})$$

$$D = \frac{\gamma_h}{1 + \gamma_h} D_{\max} \quad (\text{A-2})$$

mit

$$\gamma_h = \frac{\gamma}{\gamma_r} \left[1 + a \cdot \exp\left(-b \frac{\gamma}{\gamma_r}\right) \right] \quad (\text{A-3})$$

und

$$\gamma_r = \frac{\max \tau}{G_0} \quad (\text{A-4})$$

- γ_h : hyperbolische Schubverzerrung
 G_0 : dynamischer Schubmodul bei kleinsten Schubverzerrungen ($\gamma \leq 10^{-5}$)
 D_{\max} : Dämpfungsgrad bei größten Schubverzerrungen (Materialdämpfung)
 γ : Schubverzerrung; γ_r : Referenzschubverzerrung
 $\max \tau$: maximale Schubspannung
 a, b : durch Laborversuche zu ermittelnde Koeffizienten

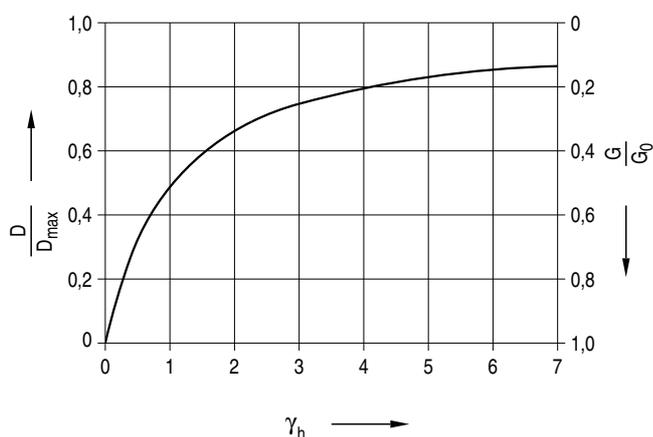


Bild A 1: Beziehung zwischen dynamischem Schubmodul, Materialdämpfung und hyperbolischer Schubverzerrung

(2) Der Dämpfungsgrad D_{\max} und die Größen a und b können für verschiedene Bodenarten mit Hilfe der in [1] angegebenen Bemessungsgleichungen ermittelt werden. Wichtigste Einflussgrößen sind Zahl und Frequenz der Lastwechsel sowie der im Boden herrschende Spannungszustand. G_0 ist durch In-situ-Messungen der Scherwellengeschwindigkeit v_s zu bestimmen.

(3) Es gilt

$$G_0 = v_s^2 \cdot \rho \quad (\text{A-5})$$

wobei ρ die Dichte des Bodens bezeichnet. Für die Abschätzung dürfen der Literatur entnommene empirisch abgeleitete Näherungsgleichungen verwendet werden, die die Form

$$G_0 = \alpha \cdot \frac{(\beta - e)^2}{1 + e} \cdot \sigma'_m{}^\delta \cdot (OCR)^K \quad (\text{A-6})$$

haben.

- e : Porenzahl des Bodens
 σ'_m : mittlere effektive Hauptspannung im Boden
 δ : Exponent, näherungsweise 0,5
 α, β : von Kornform, Kornverteilung und Sättigungsgrad abhängige Größen
 OCR : Grad der Überkonsolidierung
 K : von der Plastizitätszahl des Bodens abhängiger Exponent

A 3 Beurteilungsgrundlagen zur Bodenverflüssigung

A 3.1 Verflüssigungspotenzial

(1) Gleichförmige und feinkörnige Sande unterhalb des Grundwasserspiegels neigen grundsätzlich mehr zur Bodenverflüssigung als ungleichförmige und grobe Sande. Entscheidenden Einfluss hat die Lagerungsdichte. Je lockerer der Sand gelagert ist, umso eher ist mit einer Verflüssigung zu rechnen. Bei sonst gleichen Bedingungen nimmt die Neigung zur Verflüssigung mit der Zunahme der wirksamen Spannungen im Boden ab [2].

(2) Bei hochliegendem Grundwasserspiegelstand ist die Gefahr der Verflüssigung größer als bei tiefem Grundwasserstand. Mit der Intensität und Dauer des Erdbebens nimmt die Gefahr der Verflüssigung zu.

(3) In diesem Zusammenhang sind auch die Durchlässigkeit des Sandes und die Entwässerungsbedingungen zu beachten. Je dünner die gefährdeten Schichten sind und je schneller sie in durchlässige Nachbarzonen entwässern können, um so kürzer ist die Zeit, in der der Sand im flüssigen Zustand bleibt, und umso weniger nachhaltig sind die Folgen.

(4) Steife, geologisch vorbelastete Tone und gleichartige bindige Böden reagieren unempfindlich auf Erschütterungen. Sie neigen nicht zur Verflüssigung.

(5) Böden, deren Körnung im Bereich zwischen Mittelschluff und Grobsand liegt, sind verflüssigungsgefährdet. Dies gilt besonders für Feinsande. Bei Kiesen tritt Verflüssigung im Allgemeinen nur sehr kurzzeitig auf. Deshalb können keine schädlichen Schubverzerrungen auftreten. Die Dauer der Verflüssigung ist von den Entwässerungsbedingungen abhängig.

(6) Im geschichteten Boden kann sich der Verflüssigungsvorgang, ausgehend von einer leicht verflüssigbaren Schicht, auf Bodenbereiche ausbreiten, die unter normalen Umständen nicht gefährdet sind. Deshalb ist die Verflüssigungsgefahr der gefährdeten Schichten zu beurteilen.

(7) Zur Beurteilung der Gefahr einer Bodenverflüssigung sind folgende Untersuchungen durchzuführen:

- Bohrungen unter und neben dem geplanten Bauwerk bis in 25 m Tiefe unter Geländeoberfläche, Kornverteilungsanalysen,
- Drucksondierungen CPT (Cone Penetration Test). Sind nur Ergebnisse von Rammsondierungen vorhanden, dürfen diese durch Anwendung von passenden Umrechnungsfaktoren verwendet werden,

- c) Grundwasserstandsmessungen (höchster Grundwasserstand mit einer Überschreitenswahrscheinlichkeit von $10^{-2}/a$) und
- d) bodendynamische Scherversuche zur genaueren Bestimmung der Eigenschaften einzelner Bodenschichten im Bedarfsfall.

(8) Verflüssigungsgefährdete Böden betreffen Sande, kiesige Sande, Schluffe sowie feinkörnige Böden mit einer Plastizitätszahl kleiner 15. Für Böden mit einem Tonanteil größer als 15 % darf die Untersuchung der Verflüssigungsgefährdung entfallen.

(9) Der Nachweis erfolgt durch Gegenüberstellung der durch das Erdbeben induzierten zyklischen Schubspannungen (Beanspruchung) mit den zu einer Verflüssigung führenden Schubspannungen (Widerstand). Der Nachweis erfolgt für jede Tiefe bis zu einer Tiefe von 15 m unter Geländeoberkante [2].

(10) Die Beurteilung der Verflüssigung soll für das Freifeld erfolgen.

Hinweis:

Der Einfluss eines Bauwerks kann je nach Baugrundverhältnissen sowohl positiv als auch negativ ausfallen. Er ist in jedem Fall nicht signifikant und kann vernachlässigt werden.

(11) Zur Abschätzung des Widerstands gegen Verflüssigung sollen empirische Verfahren auf Grundlage von Sondierungsergebnissen am Standort den Vorzug gegenüber labor-basierenden Methoden erhalten. Letztere sind sehr aufwendig und verlangen hohe Qualifikation des bodenmechanischen Labors, um im Versuch die In-situ-Bedingungen richtig abzubilden.

(12) Verfahren auf Grundlage der Drucksondierung CPT gelten als zuverlässiger im Vergleich zu SPT-Verfahren (Standard Penetration Test) oder Scherwellenmessungen, sodass nachfolgend nur das CPT-basierte Verfahren nach [3] und [4] beschrieben wird.

(13) Die CPT Messung und Auswertung muss nach EN ISO 22476-1 erfolgen.

A 3.2 Verfahren zur Beurteilung der Bodenverflüssigung

Schritt 1:

Berechnung des zyklischen Schubspannungsverhältnisses CSR (Cyclic Stress Ratio):

$$CSR = 0,65 \frac{\tau_{\max}}{\sigma'_v} \quad (\text{A-7})$$

wobei τ_{\max} die durch die seismische Beanspruchung induzierte maximale Schubspannung und σ'_v die vertikale effektive Überlagerungsspannung in der Tiefe z (Spannung aus Gewicht des Bodens unter Auftrieb) sind. τ_{\max} wird aus der folgenden Gleichung berechnet:

$$\tau_{\max} = \frac{a_{\max}}{g} \cdot r_d \cdot \sigma_v \quad (\text{A-8})$$

wobei a_{\max} die relevante maximale horizontale Bodenbeschleunigung gemäß KTA 2201.1, g die Erdbeschleunigung, r_d ein tiefenabhängiger Spannungsreduktionsfaktor und σ_v die totale Überlagerungsspannung in der Tiefe z (Spannung aus Gewicht des wassergesättigten Bodens) sind.

Der Reduktionsfaktor r_d kann aus der folgenden Gleichung (für Tiefen $z \leq 30$ m) bestimmt werden:

$$r_d = \exp[\alpha(z) + M_w \beta(z)]$$

$$\alpha(z) = -1,01 - 1,13 \cdot \sin\left(\frac{z}{11,73} + 5,13\right) \quad (\text{A-9})$$

$$\beta(z) = 0,11 + 0,12 \cdot \sin\left(\frac{z}{11,28} + 5,14\right)$$

Die Tiefe z ist in m und der Winkel in Bogenmaß einzusetzen.

Die maximale Schubspannung τ_{\max} kann auch aus einer standortspezifischen Berechnung der seismischen Baugrundantwort ermittelt werden. Bei stark inhomogenen Baugrundverhältnissen ist eine solche Berechnung erforderlich. Diese Berechnung kann durch Ansatz von vertikal propagierenden Scherwellen erfolgen.

Als stark inhomogen kann ein geschichtetes Profil mit zwei aufeinanderfolgenden Schichten mit einem Steifigkeitsverhältnis größer als 3 betrachtet werden.

Schritt 2:

Berechnung des zyklischen Widerstandsverhältnisses CRR (Cyclic Resistance Ratio) aus dem gemessenen Spitzendruckwiderstand q_c der maßgebenden CPT-Sondierungen am Standort und Anwendung von Korrekturfaktoren zur Berücksichtigung der Momenten-Magnitude M_w , der vertikalen effektiven Überlagerungsspannung σ'_v und des Feinkornanteils FC des anstehenden Bodens in der betrachteten Tiefe.

$$CRR_{M_w, \sigma'_v} = CRR_{M_w=7,5, \sigma'_v=p_a} \cdot MSF \cdot K_\sigma \quad (\text{A-10})$$

MSF ist ein Magnituden-Skalierungsfaktor, K_σ ein Spannungs-Korrekturfaktor.

Die einzelnen Komponenten obiger Gleichung werden wie folgt bestimmt.

Bezogener Spitzendruckwiderstand

$$q_{c1N} = C_N \frac{q_c}{p_a} \quad (\text{A-11})$$

wobei p_a der atmosphärische Druck und

$$C_N = \left(\frac{p_a}{\sigma'_v}\right)^m \leq 1,7 \quad (\text{A-12})$$

$$m = 1,338 - 0,249(q_{c1N,cs})^{0,264} \quad (\text{A-13})$$

sind. Die Bestimmung des Exponenten m erfordert eine Iteration. Es darf gemäß DIN EN ISO 22476-1 $m = 0,5$ angesetzt werden [2].

Äquivalenter Spitzendruckwiderstand für reine Sande $q_{c1N,cs}$

$$q_{c1N,cs} = q_{c1N} + \Delta q_{c1N} \quad (\text{A-14})$$

$$\Delta q_{c1N} = \left(11,9 + \frac{q_{c1N}}{14,6}\right) \exp\left(1,63 - \frac{9,7}{FC+2} - \left(\frac{15,7}{FC+2}\right)^2\right) \quad (\text{A-15})$$

FC wird aus der Kornverteilungskurve ermittelt.

CRR für Magnitude $M_w = 7,5$ und $\sigma'_v = p_a$

$$CRR_{M_w=7,5, \sigma'_v=p_a} = \exp\left(\frac{q_{c1N,cs}}{113} + \left(\frac{q_{c1N,cs}}{1000}\right)^2 - \left(\frac{q_{c1N,cs}}{140}\right)^3 + \left(\frac{q_{c1N,cs}}{137}\right)^4 - 2,80\right) \quad (\text{A-16})$$

Magnituden-Skalierungsfaktor

$$MSF = 1 + (MSF_{max} - 1) \left(8,64 \exp\left(-\frac{M_w}{4}\right) - 1,325\right) \quad (\text{A-17})$$

$$MSF_{max} = 1,09 + \left(\frac{q_{c1N,cs}}{180}\right)^3 \leq 2,2 \quad (\text{A-18})$$

Korrekturfaktor für die Überlagerungsspannung

$$K_\sigma = 1 - \frac{1}{37,3 - 8,27(q_{c1N,cs})^{0,264}} \ln\left(\frac{\sigma'_v}{p_a}\right) \leq 1,1 \quad (\text{A-19})$$

Es darf $K_\sigma = 1$ angesetzt werden.

Schritt 3:

Der Nachweis ist erfüllt, wenn gilt:

$$\frac{CRR_{M_w, \sigma'_v}}{CSR} \geq 1,25 \quad (\text{A-20})$$

A 4 Literatur

- [1] IAEA Safety Standards: Geotechnical Aspects of Site Evaluation and Foundations for Nuclear Power Plants. Safety Guide No. NS-G-3.6, 2004, S. 22-26
- [2] Vrettos, C. (2018). Geotechnisches Erdbebeningenieurwesen. Grundbau-Taschenbuch, Teil 2: Geotechnische Verfahren, 8. Auflage, Ernst & Sohn, Berlin, 863-914.
- [3] Boulanger, R.W., Idriss, I.M. (2016). CPT-based liquefaction triggering procedure. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering 142(2): 04015065.
- [4] DIN EN 1998-5: 2022-10 - Entwurf Eurocode 8 - Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben - Teil 5: Geotechnische Aspekte, Gründungen, Stütz- und Untertagebauwerke; Deutsche und Englische Fassung prEN 1998-5: 2022

Anhang B

Bestimmungen, auf die in dieser Regel verwiesen wird

(Die Verweise beziehen sich nur auf die in diesem Anhang angegebene Fassung. Darin enthaltene Zitate von Bestimmungen beziehen sich jeweils auf die Fassung, die vorlag, als die verweisende Bestimmung aufgestellt oder ausgegeben wurde.)

AtG		Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz) Atomgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 15. Juli 1985 (BGBl. I S. 1565), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 4. Dezember 2022 (BGBl. I S. 2153) geändert worden ist
StrlSchG		Gesetz zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzgesetz) Strahlenschutzgesetz vom 27. Juni 2017 (BGBl. I S. 1966), das zuletzt durch Artikel 4 des Gesetzes vom 23. Oktober 2024 (BGBl. 2024 I Nr. 324) geändert worden ist
StrlSchV		Verordnung zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzverordnung) Strahlenschutzverordnung vom 29. November 2018 (BGBl. I S. 2034, 2036), die zuletzt durch Artikel 10 des Gesetzes vom 23. Oktober 2024 (BGBl. 2024 I Nr. 324) geändert worden ist
SiAnf	(2022-02)	Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke in der Fassung der Bekanntmachung vom 3. März 2015 (BAnz AT 30.03.2015 B2) vom 22. November 2012, Neufassung vom 3. März 2015 (BAnz AT 30.03.2015 B2), die zuletzt mit Bekanntmachung des BMUV vom 25. Februar 2022 (BAnz AT 15.03.2022 B3) geändert worden ist
Interpretationen	(2015-03)	Interpretationen zu den Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke vom 22. November 2012, geändert am 3. März 2015 (BAnz AT 30.03.2015 B3)
KTA 2201.1	(2011-11)	KTA 2201.1 Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische Einwirkungen; Teil 1: Grundsätze
DIN 1054	(2021-04)	Baugrund - Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau - Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1
DIN 4020	(2010-12)	Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke - Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-2
DIN EN 1997-1	(2014-03)	Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 1: Allgemeine Regeln; Deutsche Fassung EN 1997-1:2004 + AC:2009 + A1:2013
DIN EN 1997-1/NA	(2010-12)	Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 1: Allgemeine Regeln
DIN EN 1997-2	(2010-10)	Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds; Deutsche Fassung EN 1997-2:2007 + AC:2010
DIN EN 1997-2/NA	(2010-12)	Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds
DIN EN ISO 22476-1	(2023-04)	Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Felduntersuchungen - Teil 1: Drucksondierungen mit elektrischen Messwertaufnehmern und Messeinrichtungen für den Porenwasserdruck (ISO 22476-1:2022); Deutsche Fassung EN ISO 22476-1:2023.

Dokumentationsunterlage zur Regeländerung

KTA 2201.2

Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische Einwirkungen

Teil 2: Baugrund

Fassung 2024-12

Inhalt:

- 1 Auftrag des KTA
- 2 Beteiligte an der Regeländerung
- 3 Erstellung des Regeländerungsentwurfs
- 4 Berücksichtigte Unterlagen
- 5 Ausführungen zum Regeländerungsentwurf

1 Auftrag des KTA

1.1 Vorbemerkungen

(1) Aufgrund der nach Abschnitt 5.2 der Verfahrensordnung nach längstens 5 Jahren erforderlichen Überprüfung auf Änderungsbedürftigkeit hat der Unterausschuss ANLAGEN- und BAUTECHNIK (UA-AB) auf seiner 121. Sitzung am 9. März 2022 über die Regel KTA 2201.2 beraten.

(2) Der UA-AB stellte fest, dass die Regel an den aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik angepasst werden muss. Der Änderungsbedarf besteht darin,

- das Verfahren in Anhang A 3 zu überprüfen und ggf. zu aktualisieren,
- das Verfahren in Anhang A 4 zu aktualisieren,
- eine Anpassung an den aktuellen Stand der Normen vorzunehmen.

(3) Im Rahmen der ISO Arbeit (ISO 4917 Teil 2) lief die Erstellung von Normungstexten für aktuelle Verfahren. Deshalb sollte die Überarbeitung nach Vorliegen der entsprechenden Anforderungen in ISO 4917 Teil 2 beginnen.

(4) Aufgrund der bisher fehlenden Zustimmung zu dem ISO Projekt 4917 Teil 2 beauftragte der Unterausschuss ANLAGEN- und BAUTECHNIK (UA-AB) in seiner 122. Sitzung am 5. Juli 2024 eine Arbeitsgruppe basierend auf einem ersten Entwurf von Prof. Vrettos (RPTU Kaiserslautern), die Anhänge und Bezüge zu prüfen, zu aktualisieren und kurzfristig einen Entwurf zur Änderung der Regel mit einer Dokumentationsunterlage zu erarbeiten.

1.2 Beschlüsse

(1) Der Kerntechnische Ausschuss (KTA) hat auf seiner 74. Sitzung am 22. November 2022 folgende Beschlüsse bezüglich der Regel KTA 2201.2 gefasst:

(2) Beschluss-Nr.: 74/8.1.6 vom 22. November 2022

Nach Anhörung seines Unterausschusses ANLAGEN- und BAUTECHNIK (UA-AB) stellt der Kerntechnische Ausschuss fest, dass für die Regel

KTA 2201.2 Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische Einwirkungen;
Teil 2: Baugrund
(Fassung 2012-11)

ein Änderungsverfahren eingeleitet wird. Die Geschäftsstelle wird beauftragt, diesen Beschluss zur Regel KTA 2201.2 dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) zur Veröffentlichung im BAnz zuzuleiten.

2 Beteiligte Personen

2.1 Zusammensetzung des KTA-Unterausschuss ANLAGEN- und BAUTECHNIK (UA-AB)

Obfrau: Dipl.-Ing. K. Borowski, RWE Nuclear GmbH, Essen

Vertreter der Hersteller und Ersteller von Atomanlagen

Dipl.-Ing. A. Fila	Framatome GmbH, Karlstein am Main (Stellvertreter: B. Radmanovic, Framatome GmbH, Karlstein am Main)
Dipl.-Ing. A. Oberste-Schemmann	Westinghouse Electric Germany GmbH, Mannheim (Stellvertreter: U. Ricklefs, Westinghouse Electric Germany GmbH, Mannheim)

Vertreter der Betreiber von Atomanlagen

Dipl.-Ing. K. Borowski	RWE Nuclear GmbH, Essen (Stellvertreter: Dr. S. Kranz, EnBW Kernkraft GmbH, Kernkraftwerk Philippsburg)
Dipl.-Ing. T. Ziehlke	Vattenfall Europe Nuclear Energy GmbH, Kernkraftwerk Krümmel (Stellvertreter: H. Peters, Kernkraftwerk Brunsbüttel GmbH & Co. oHG)
Dr. S. Kranz	EnBW Kernkraft GmbH, Kernkraftwerk Philippsburg

Vertreter des Bundes und der Länder

RR D. Krönung	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz, Bonn (Stellvertreterin: RDir'in Dr. C. Schmidt, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz, Bonn)
ChemD Dr. S. Reimann	Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz, Hannover (Stellvertreter: MinR Dr. U. Hoffmann, Ministerium für Energiewende, Klimaschutz, Umwelt und Natur des Landes Schleswig-Holstein, Kiel)
BD Dipl.-Ing. A. Frintz	Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz, München

Vertreter der Gutachter und Beratungsorganisationen

Dipl.-Ing. G. Fischer	TÜV SÜD Industrie Service GmbH, München
M. Falkenhagen (für: RSK)	TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG, Hamburg
Dr. G. Thuma	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (gGRS) mbH, Köln (Stellvertreter: Dipl.-Phys. C. Strack, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (gGRS) mbH, Köln)

Vertreter sonst. Behörden, Organisationen und Stellen

Prof. Dr.-Ing. B. Elsche	Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften, Suderburg
D. Ukena (für: DGB)	PreussenElektra GmbH, Kernkraftwerk Brokdorf (Stellvertreter: M. Borst (für: DGB) PreussenElektra GmbH, Kernkraftwerk Grafenrheinfeld)
Dr.-Ing. J. Meyer (für: DIN)	HOCHTIEF Solutions AG, Frankfurt (Stellvertreter: Prof. Dr.-Ing. H. Sadegh-Azar (für: DIN), Technische Universität Kaiserslautern)
MinR Dr.-Ing. H. Schneider (für: ARGEBAU)	Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, Stuttgart (Stellvertreter: TOR Dr.-Ing. A. Rieg (für: ARGEBAU), Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, Stuttgart)

2.2 Zusammensetzung der Arbeitsgruppe

Dipl.-Ing. K. Borowski	RWE Nuclear GmbH, Essen
Dipl.-Ing. M. Falkenhagen	TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG, Hamburg
Prof. H. Sadegh-Azar	TU Kaiserslautern
Dr. T. Schmitt	TÜV SÜD Industrie Service GmbH, München
Prof. Ch. Vrettos	TU Kaiserslautern

2.3 Zuständiger Mitarbeiter der KTA-Geschäftsstelle

Dr.-Ing. R. Gersinska	KTA-Geschäftsstelle (beim Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung), Salzgitter
-----------------------	--

3 Erstellung des Regeländerungsentwurfs

(1) Der UA-AB hat die Anhänge und Bezüge in der Regel KTA 2201.2 unter Einbeziehung von weiteren Fachleuten überprüft und aktualisiert. Der UA-AB beschloss auf seiner 123. Sitzung am 24. September 2024 einstimmig, die aktualisierte Fassung der KTA 2201.2 dem KTA zur Verabschiedung als Regeländerungsentwurf (Grün-Weißdruck) gemäß Abschnitt 5.3 der Verfahrensordnung des KTA vorzuschlagen.

(2) Der KTA entsprach der Empfehlung des UA-AB und hat den Regeländerungsentwurf KTA 2201.2 in der Fassung 2024-12 im schriftlichen Verfahren mit Datum vom 6. Dezember 2024 beschlossen. Gleichzeitig wurde gemäß Abschnitt 5.3 der Verfahrensordnung des KTA beschlossen, dass der Regeländerungsentwurf ohne weitere Beschlussfassung des KTA als Regel aufgestellt wird, sofern innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung des Regeländerungsentwurfs bei der KTA-GS keine inhaltlichen Änderungsvorschläge eingehen. Die Bekanntmachung des BMUV erfolgte im Bundesanzeiger am 17. Januar 2025.

4 Berücksichtigte Unterlagen

DIN EN 1998-5:2022-10: Entwurf Eurocode 8 - Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben - Teil 5: Geotechnische Aspekte, Gründungen, Stütz- und Untertagebauwerke; Deutsche und Englische Fassung prEN 1998-5:2022

5 Ausführungen zum Regeländerungsentwurf

(1) Zur Anpassung an die neue Strahlenschutzgesetzgebung und die neuen Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke wurde die Regel im Grundlagenabschnitt überarbeitet. Die Verweise auf die Strahlenschutzgesetzgebung wurden aktualisiert.

(2) In Abschnitt 5 (2) wird der Grenzwert für die Nachweisführung zur Bodenverflüssigung von der Resultierenden auf die Komponente der horizontalen Bodenbeschleunigung geändert, um Konsistenz mit den Berechnungsformeln der Bodenverflüssigung in Anhang A3 (neu) herzustellen. Der Resultierendenwert von $1,0 \text{ m/s}^2$ wird entsprechend KTA 2201.1 mit $1,2$ auf den Komponentenwert von $0,8 \text{ m/s}^2$ reduziert.

(3) Der alte Anhang A3 zur Bodenverdichtung wurde gelöscht: Die Bestimmung der seismischen Bodenverdichtung hat den Forschungscharakter nicht verlassen und ist weder international noch national in die Normungen eingeflossen oder anderweitig etabliert. Das im alten Anhang A 3 beschriebene Verfahren hat sich nicht etabliert und wird von Fachleuten nicht für erforderlich gehalten.

(4) Der alte Anhang 4 zur Bodenverflüssigung wurde überarbeitet und zum neuen Anhang A 3: Es erfolgte eine Beschreibung des Verfahrens in Anlehnung an das neue Verfahren in der zukünftigen DIN EN 1998-5 (Eurocode 8).

(5) Die im neuen Anhang A 3 aufgezeigten Verfahren und dazugehörigen Formeln entsprechen dem Entwurf des Eurocodes 8 und den derzeit gängigen Verfahren zur Abschätzung der Bodenverflüssigung.

(6) Der gemäß DIN 4020 geforderte Nachweis bis zu 15 m bedeutet, dass Bohrungen bis 25 m erforderlich sind, um abgesicherte Erkenntnisse über den Untergrund zu erhalten.

(7) Rammsondierungen werden weiterhin bei Untergrunduntersuchungen angewandt. Sie entsprechen nicht dem aktuellen Stand der Technik zur Abschätzung der Bodenverflüssigung. Eine Umrechnung der Werte aus Rammsondierungen in Werte von Drucksondierungen (CPT) werden zum Ergebnisvergleich erlaubt.

(8) Im Bedarfsfall sind bei unklaren Baugrundverhältnissen dynamische Scherversuche erforderlich.

(9) Abschließend wurden die restlichen Bezüge überprüft und aktualisiert.