

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 und in der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) festgelegten sowie in den „Sicherheitskriterien“ und den „Störfall-Leitlinien“ weiter konkretisierten Schutzziele zu erreichen.

(2) Nach den „Sicherheitskriterien“ Kriterium 2.6 sind Schutzmaßnahmen, soweit sie in Betracht zu ziehen sind, gegen Einwirkungen von Erdbeben vorzusehen. Nach Tabelle I der „Störfall-Leitlinien“ gehören Erdbeben 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) Dynamischer Schubmodul

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) 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.

(4) Materialdämpfung

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

(5) 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.

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/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 .
- Die Scherwellengeschwindigkeit v_s und 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 A1 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 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 zu Sackungen sind im Abschnitt A 3 und zur Bodenverflüssigung im Abschnitt A 4 als Beispiel angegeben.

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

(2) Für Kernkraftwerke an Standorten, für die entweder die resultierende horizontale maximale Bodenbeschleunigung zu weniger als $1,0 \text{ m/s}^2$ 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) Messgröße b) abgeleitete Größen | ¹⁾ Schubverzerrungsbereich |
|---|---|--|---------------------------------------|
| 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 | a) Verformungen, Spannungen (Spannungs-Schubverzerrungs-Kennlinie) b) Schubmodul, Materialdämpfung, Poissonzahl, Festigkeitseigenschaften | |
| 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

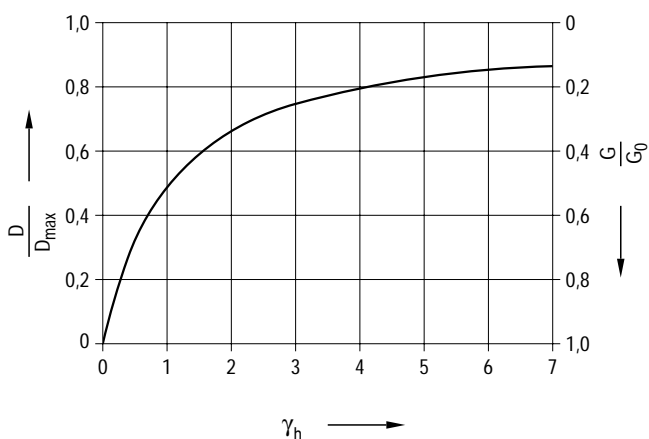


Bild A 1: Beziehung zwischen dynamischer Schubmodul, Materialdämpfung und hyperbolischer Schubverzerrung

(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

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

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 Seismische Bodenverdichtung

A 3.1 Verdichtungspotenzial

Infolge seismisch induzierter Schubverzerrungen kann es in Lockersedimenten zu einer Verdichtung des Korngefüges kommen, die zu bleibenden vertikalen Sackungen des Baugrundes führt. Die Neigung zur seismischen Verdichtung nimmt mit abnehmender Lagerungsdichte des Bodens zu. Bei bindigen Böden hängt das Verdichtungspotenzial darüber hinaus vom Sättigungsgrad S ab.

A 3.2 Verfahren zur Abschätzung der vertikalen Sackungen (in Anlehnung an [2])

Schritt 1: Standortanalyse (Site-Response Analysis)

Für den untersuchten Standort ist ein horizontal geschichtetes Baugrundmodell zu erstellen, dessen Anzahl an Bodenschichten ausreichend groß zu wählen ist, um die tiefenabhängige Schubspannungsverteilung in den verdichtungsempfindlichen Schichten sowie die Variationen in der Bodenart und den Bodenparametern hinreichend genau zu erfassen.

Unter Verwendung standortspezifischer Erdbebenzeitverläufe sind die effektiven Schubverzerrungen γ_{eff} in der Mitte jeder Bodenschicht zu ermitteln, siehe [2]. Abdeckend darf

$$\gamma_{\text{eff}} = 0,65 \cdot \gamma_{\max} \quad (\text{A-7})$$

angesetzt werden. Unterschreiten die effektiven Schubverzerrungen γ_{eff} den Schwellenwert γ_s , so darf die seismische Verdichtung der entsprechenden Schichten vernachlässigt werden. Der Schwellenwert liegt in Sandschichten bei γ_s gleich 0,01 % und in bindigen Bodenschichten bei γ_s gleich 0,01 % bis 0,04 %.

Schritt 2: Äquivalente Anzahl gleichförmiger Schubverzerrungszyklen

Für die Ermittlung der volumetrischen Dehnungen ε_v in Schritt 3 ist der transiente Schubverzerrungszeitverlauf infolge eines Erdbebens durch eine äquivalente Anzahl von Sinusschwingungen mit konstanter Amplitude γ_{eff} zu ersetzen. Diese äquivalente Zyklenzahl N ergibt sich in Abhängigkeit von der Momentmagnitude M_w des Erdbebens und der kürzesten Herdentfernung r (km) nach [3] näherungsweise zu:

$$N = \frac{10^{0.5M_w}}{70 \cdot \exp\left[\frac{1}{3}(b_1 + b_2(M_w - 5.8))\right]} + c_1 \cdot S_m + c_2 \cdot r \quad (\text{A-8})$$

Der Parameter S_m berücksichtigt die Untergrundsituation am Standort und nimmt die Werte S_m gleich 0 für Fels mit geringer Sedimentauflage (kleiner als 20 m) und S_m gleich 1 für Sedimentmächtigkeiten größer als 20 m an. Die Koeffizienten b_1 , b_2 , c_1 und c_2 wurden in [3] ermittelt zu:

- $b_1 = 1,53 \pm 0,15,$
- $b_2 = 1,51 \pm 0,12,$
- $c_1 = 0,75 \pm 0,42,$
- $c_2 = 0,095 \pm 0,014.$

In Bild A-2 ist Gleichung (A-8) grafisch dargestellt.

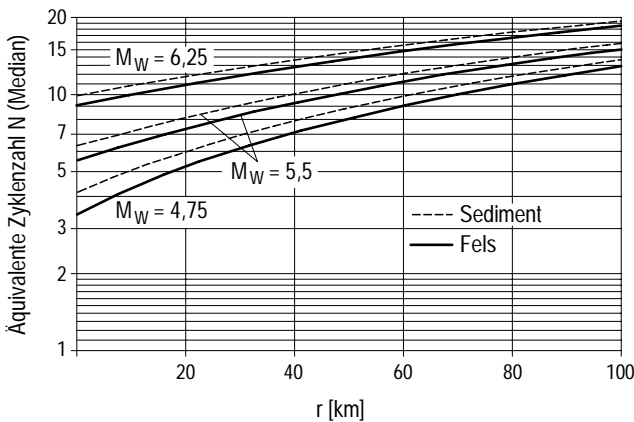


Bild A-2: Äquivalente Zyklenzahl N in Abhängigkeit von der Momentenmagnitude M_w und der kürzesten Herdentfernung r

Schritt 3: Volumetrische Dehnungen

Für die Abschätzung der volumetrischen Kompression des Baugrundes ist für alle verdichtungsempfindlichen Bodenschichten die quantitative Abhängigkeit der volumetrischen Dehnungen ε_V von der effektiven Schubverzerrungsamplitude γ_{eff} und der äquivalenten Zyklenzahl N durch Laborversuche (zyklische Scherversuche) zu bestimmen. Folgendes Materialmodell wird hierfür empfohlen, [2]:

$$\gamma_{eff} > \gamma_S : \varepsilon_{V,N=15} = c \cdot (\gamma_{eff} - \gamma_S)^d \quad (\text{A-9})$$

$$\gamma_{eff} \leq \gamma_S : \varepsilon_{V,N=15} = 0$$

$$\frac{\varepsilon_{V,N}}{\varepsilon_{V,N=15}} = R \cdot \ln(N/15) + 1 \quad (\text{A-10})$$

In Gleichung A-9 sind $\varepsilon_{V,N=15}$ die volumetrische Dehnung nach 15 gleichförmigen Zyklen und γ_S der in Schritt 1 genannte Schwellenwert. Die Koeffizienten c und d sind in Abhängigkeit von der bezogenen Lagerungsdichte I_D und - bei bindigen Böden - dem Sättigungsgrad S in der betrachteten Bodenschicht zu bestimmen. Gleichung A-10 dient der Umrechnung der volumetrischen Dehnungen $\varepsilon_{V,N=15}$ nach 15 Zyklen auf abweichende N -Werte. Der Koeffizient R ist ebenfalls durch Laborversuche zu bestimmen.

Für feinkornfreie Sande darf näherungsweise das Materialmodell aus Bild A-3 verwendet werden unter Ansatz von $R = 0,33$.

Schritt 4: Ermittlung der Gesamtsackung s

$$s = 2 \int_0^z \varepsilon_V dz \approx 2 \sum_k \varepsilon_{V,k} \cdot h_k \quad (\text{A-11})$$

Die Gesamtsackung s ergibt sich näherungsweise als Summe der Einzelbeträge aller verdichtungsempfindlichen Schichten, wobei $\varepsilon_{V,k}$ die volumetrische Dehnung in Schicht k ist (siehe Schritt 3) und h_k die zugeordnete Schichtdicke. Der Faktor 2 in Gleichung A-11 berücksichtigt die Erregung durch die vertikale und zwei horizontale Erdbebenkomponenten, [4].

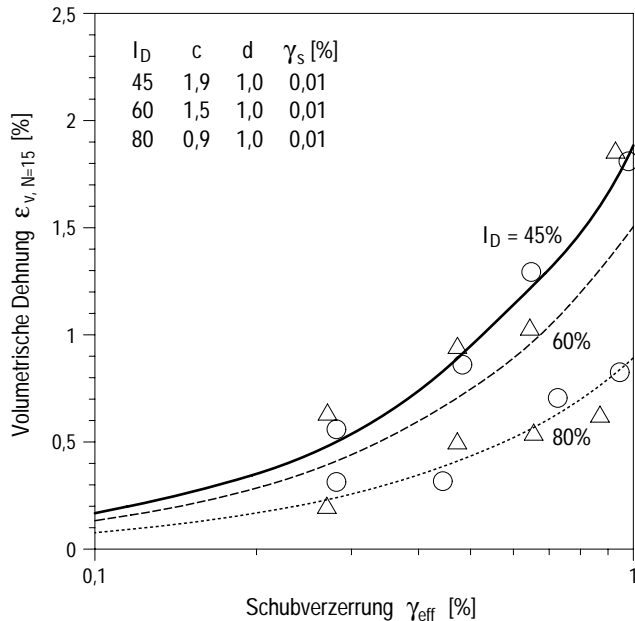


Bild A 3: Materialmodell - feinkornfreier Sand, $I_D = 45\%$, 60% und 80% , [2]

A 4 Beurteilungsgrundlagen zur Bodenverflüssigung

A 4.1 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, um so 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) 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 um so 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:

- a) Kornverteilungsanalysen,
- b) Ramm- oder Drucksondierungen,
- c) Grundwasserstandsmessungen (höchster Grundwasserstand mit einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von $10^{-2}/a$) und
- d) zyklische Scherversuche, wenn eine Bodenverflüssigung nach Abschätzung gemäß Bild A-5 nicht auszuschließen ist.

A 4.2 Verfahren zur Abschätzung der Möglichkeit einer Bodenverflüssigung (in Anlehnung an [5])

Schritt 1:

Es ist die Kornverteilungskurve des zu untersuchenden Bodens in ein Diagramm nach Bild A-4 einzutragen.

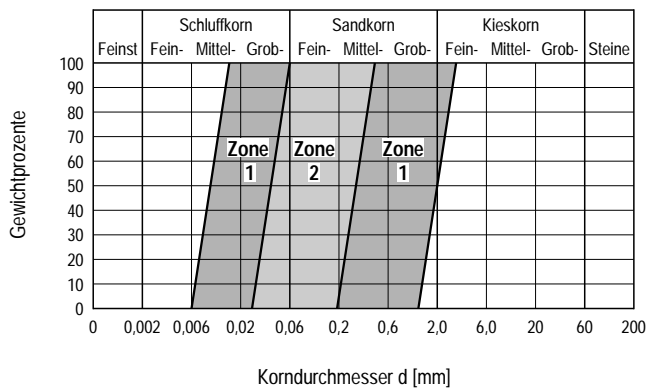


Bild A-4: Verflüssigungsgefährdete Kornverteilungsbereiche

Liegt die Kornverteilungskurve außerhalb der angegebenen Zonen 1 und 2, ist keine Verflüssigung anzunehmen.

Liegt der wesentliche Anteil der Kornverteilungskurve innerhalb der Zone 1, so ist in Bild A-5 die Grenzlinie Z_1 für die weitere Prüfung maßgebend.

Liegt der wesentliche Anteil der Kornverteilungskurve innerhalb der Zone 2, so ist in Bild A-5 die Grenzlinie Z_2 für die weitere Prüfung maßgebend.

Schritt 2:

Es ist das dynamische Schubspannungsverhältnis $\max \tau / \sigma'_0$ zu bestimmen. Dieses darf aus σ'_0 und der Beziehung

$$\max \tau = \sigma'_0 \frac{\max a}{g} r_d \tag{A-12}$$

mit

- max a: maximale Bodenbeschleunigung,
- g: Erdbeschleunigung,
- σ'_0 : wirksame vertikale Spannung im Boden in der Tiefe t (Spannung aus der Bauwerkslast und Gewicht des Bodens nach Abzug des Auftriebs bei höchstem Grundwasserstand mit einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von $10^{-2}/a$),
- σ_0 : totale vertikale Spannung im Boden in der Tiefe t (Spannung aus Bauwerkslast und Gewicht des wassergesättigten Bodens bei höchstem Grundwasserstand mit einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von $10^{-2}/a$),
- r_d : Reduktionsfaktor in Abhängigkeit von der Tiefe nach Bild A-6

errechnet werden.

Schritt 3:

Liegt der Schnittpunkt aus dem Schubspannungsverhältnis $\max \tau / \sigma'_0$ und der relativen Lagerungsdichte I_D des Bodens unterhalb der in Bild A-5 dargestellten maßgebenden Grenzlinien Z_1 und Z_2 , so besteht keine Gefahr der Bodenverflüssigung.

Liegt der Schnittpunkt oberhalb der maßgebenden Grenzlinie, so ist eine Bodenverflüssigung nicht auszuschließen, und es sind genauere Untersuchungen erforderlich.

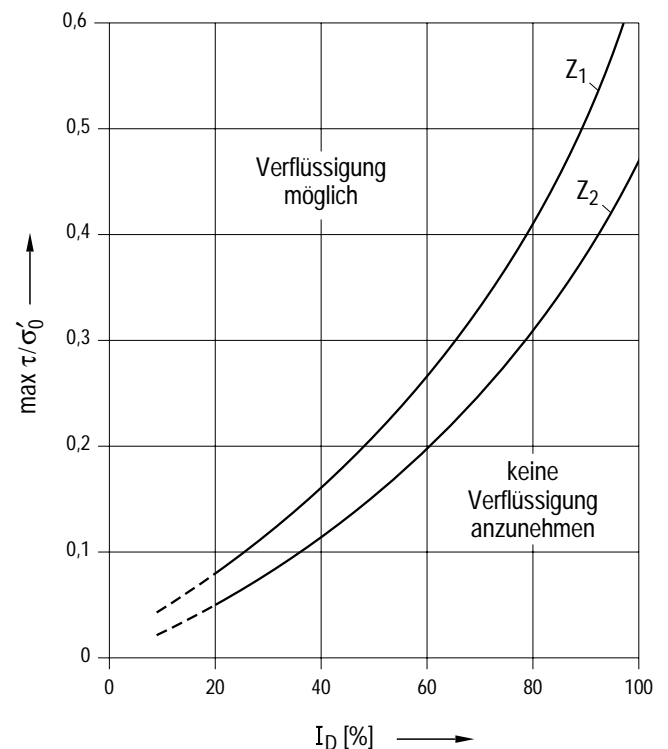


Bild A-5: Diagramm zur Abschätzung der Möglichkeiten einer Bodenverflüssigung

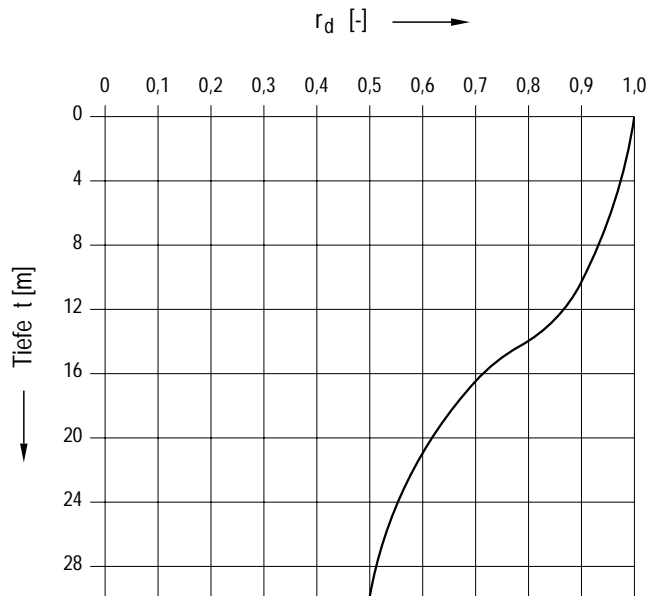


Bild A-6: Reduktionsfaktor r_d in Abhängigkeit von der Tiefe t

A 5 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] STEWART, J. P., WHANG, D.H., MOYNER, M., DUKU, P.: Seismic compression of as-compacted fill soils with variable levels of fines content and fines plasticity. CUREE Publication No. EDA-05, July 2004, www.curee.org
- [3] LIU, A.H., STEWART, J.P., ABRAHAMSON, N.A., MORIWAKI, Y.: Equivalent number of uniform stress cycles for soil liquefaction analysis. J. Geot. and Geoenv. Eng., ASCE, 127(12), 2001, 1017-1026
- [4] PYKE, R., SEED, H.B., CHAN, C.K.: Settlement of sands under multidirectional shaking. J. Geotech. Eng., ASCE, 101(4), 1975, 379-398
- [5] SEED, H. B. and IDRISSE, I. M.: Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential. Soil Mech. and Found. Div. ASCE, 1971, Vol. 97, SM 9, S. 1249-1273

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 - AtG) vom 23. Dezember 1959, in der Fassung der Bekanntmachung vom 15. Juli 1985 (BGBl. I S. 1565), das durch Artikel 1 des Gesetzes vom 31. Juli 2011 (BGBl. I S. 1704) geändert worden ist |
| StrlSchV | | Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung – StrlSchV) vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S. 1714; 2002 I S. 1459), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 4. Oktober 2011 (BGBl. I S. 2000) geändert worden ist |
| Sicherheitskriterien | (1977-10) | Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke vom 21. Oktober 1977 (BAnz. Nr. 206 vom 3. November 1977) |
| Störfall-Leitlinien | (1983-10) | 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) |
| DIN 1054 | (2010-12) | 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 | (2009-09) | Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 1: Allgemeine Regeln; Deutsche Fassung EN 1997-1:2004 + AC:2009 |
| 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 |

Dokumentationsunterlage zur Regeländerung

KTA 2201.2

Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische Einwirkungen; Teil 2: Baugrund

(Fassung 2011-11)

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 59. Sitzung am 22. November 2005 beschlossen, die Regel

KTA 2201.2 Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische Einwirkungen;
 Teil 2: Baugrund
 (Fassung 1990-06)

zu ändern.

Der Unterausschuss ANLAGEN- UND BAUTECHNIK (UA-AB) wird beauftragt, den Entwurfsvorschlag zur Änderung der Regel KTA 2201.2 zu prüfen und eine Beschlussvorlage für den KTA zu erarbeiten.

2 Beteiligte an der Regelerstellung

2.1 Arbeitsgremium

| | |
|----------------------------|---|
| Dipl.-Ing. K. Borowski | RWE, Essen |
| Dr.-Ing. R. Borsutzky | HOCHTIEF Solutions AG, Frankfurt |
| Dipl.-Ing. R. Danisch | AREVA NP, Erlangen |
| Dr.-Ing. P. Foros | TÜV SÜD Industrie Service, München |
| Dr.-Ing. Q. Laumans | Grundbauingenieure Steinfeld und Partner GBR, Hamburg |
| Dr.-Ing. R. Meiswinkel | E.ON Kernkraft, Hannover |
| Dipl.-Ing. D. Papandreou | AREVA NP, Offenbach |
| Prof. Dr.-Ing. D. Placzek | ELE Beratende Ingenieure GmbH, Essen |
| Prof. Dr.-Ing. B. Plaßmann | Fachhochschule Mainz |
| Dr.-Ing. P. Rangelow | AREVA NP, Offenbach |
| Dr.-Ing. J. Röhner | Wölfel Beratende Ingenieure, Höchberg |
| Dr. K. Schiffer | RWE Power AG; Essen |
| Dr. R. Zinn | Stangenberg und Partner Ingenieur-GmbH, Bochum |

Weitere mitwirkende Fachleute bei der Regelerstellung:

| | |
|----------------------|--------------------------|
| Dipl.-Ing. W. Schütz | AREVA NP GmbH, Offenbach |
|----------------------|--------------------------|

2.2 KTA-Unterausschuss ANLAGEN- und BAUTECHNIK (Stand März 2011)

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.-Ing. R. Meiswinkel, E.ON Kernkraft GmbH, Hannover)

Vertreter des Bundes und der Länder:

NN (für: BMU) Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bonn
 (Stellvertreter: WDir Dr. J. Wolf, BMU, Bonn)

MinR Dr.-Ing. G. Scheuermann Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg, Stuttgart
 (Stellvertreter: BDir Dr.-Ing. H. Schneider, Wirtschaftsministerium 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 Solutions AG, Frankfurt
 (Stellvertreter: Dr.-Ing. Sadegh-Azar (für: DIN), HOCHTIEF Solutions AG, Frankfurt)

F. Hennig (für: DGB) E.ON Kernkraft GmbH, Kernkraftwerk Stade
 (Stellvertreter: W. Pecher (für: DGB), E.ON Kernkraft GmbH, Kernkraftwerk Würgassen)

2.3 Zuständige Mitarbeiter der KTA-Geschäftsstelle

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

3 Erarbeitung der Regeländerung

3.1 Erarbeitung der Regeländerungsentwurfsvorlage

(1) Der Kerntechnische Ausschuss (KTA) hat auf seiner 59. Sitzung am 22. November 2005 beschlossen, die Regel KTA 2201.2 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.

Auszug aus dem Sitzungsprotokoll: „Mit Schreiben vom 10.11.2005 an die KTA-Geschäftsstelle hat die RSK ihre sicherheitstechnischen Bedenken gegen die unveränderte Gültigkeit der Regel KTA 2201.2 (6/90) mitgeteilt. Es bestehe im Hinblick auf die

derzeit in Überarbeitung befindliche Regel KTA 2201.1 Überarbeitungs- und Anpassungsbedarf. So sei z. B. der genannte Grenzwert von 1 m/s^2 , unter dem Bodenkennwerte abgeschätzt werden dürfen, nicht mehr zeitgemäß.“

(2) Der UA-AB hat auf seiner 97. Sitzung am 30. März 2006 über den KTA-Auftrag zur Änderung der Regel KTA 2201.2 (Fassung 6/90) beraten. Zur Vorbereitung des Entwurfs zur Änderung der genannten Regel wird ein Arbeitsgremium vorgeschlagen. In diesem Arbeitsgremium sollen alle Gruppen des KTA sowie weitere Fachleute aus dem Gebiet Erdbebenauslegung und Baugrund mitwirken. Die Obmannschaft des Arbeitsgremiums KTA 2201.2 wird an Meiswinkel (E.ON Kernkraft GmbH, Hannover) übertragen.

Bei der Überarbeitung der o. g. Regel sollen die Beratungsergebnisse der zurzeit in 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 2201.2 fand am 15. November 2006 statt. In dieser Sitzung hat Meiswinkel einen Beitrag zum Thema „Aktueller Stand der Normen und das Arbeitsprogramm - KTA 2201.2“ präsentiert. Ein Arbeitsplan zur weiteren Vorgehensweise sowie eine vorläufige Gliederung der neuen Fassung der Regel KTA 2201.1 wurde diskutiert. Bei der Überarbeitung der Regel soll die Nachweisführung nach dem Teilsicherheitskonzept berücksichtigt werden. Das Arbeitsgremium stellte aber fest, dass sich die Regel in der Praxis bewährt hat und deshalb hier keine großen konzeptionellen Änderungen vorgenommen werden sollen. Die Ergebnisse der laufenden Beratungen in anderen Arbeitsgremien zur Überarbeitung der KTA-Erdbebenregeln sollen hier berücksichtigt werden.

(4) Bis Mai 2010 haben folgende weitere Sitzungen stattgefunden:

2. Sitzung am 10. Juli 2007 bei E.ON Kernkraft in Hannover,
3. Sitzung am 10. Dezember 2007 bei SPI in Bochum,
4. Sitzung am 28. April 2008 bei RWE Power AG in Essen,
5. Sitzung am 2. Dezember 2008 bei HOCHTIEF Construction in Frankfurt,
6. Sitzung am 21. April 2009 bei SPI in Bochum,
7. Sitzung am 15. September 2009 bei der E.ON Kernkraft in Hannover.
8. Sitzung am 26. Januar 2010 bei AREVA NP in Offenbach
9. Sitzung am 26. Mai 2010 bei RWE in Essen

(5) Das Arbeitsgremium hat zahlreiche Präsentationen angehört, z. B. zu den Themen:

- Baugrundgutachten,
- wichtige Baugrundkennwerte aus der Sicht des Traglastplaners,
- Setzungen infolge von Erdbeben,
- Pfahlgrundbauten,
- Baugrundsynamische Kenndaten (Einfluss der Tiefe),
- Baugrundmodelle,
- Wechselwirkung zwischen Baugrund und Bauwerk,
- Setzungen infolge Erdbeben und
- Berechnung von Spektren für kerntechnische Anlagen.

Aufgrund der Präsentationen wurden die Anforderungen überprüft und sofern erforderlich überarbeitet bzw. präzisiert.

(6) Der UA-AB hat auf seiner 97. Sitzung am 30. März 2006, 98. Sitzung am 30. Mai 2007, 99. Sitzung am 25. April 2008, 100. Sitzung am 9. April 2009 und 102. Sitzung am 4. März 2010 jeweils den Stand der Beratungen im Arbeitsgremium verfolgt.

(7) Nach der 64. Sitzung des KTA hat das Arbeitsgremium KTA 2201.2 in der 9. Sitzung bei RWE in Essen den Regeländerungsentwurfsvorschlag (ÄEV) mit dem Beratungsstand vom 26. Mai 2010 erarbeitet:

(8) Der Regeländerungsentwurfsvorschlag (ÄEV) wurde dem KTA Unterausschuss ANLAGEN- und BAUTECHNIK (UA-AB) in seiner 103. Sitzung am 1. September 2010 zur Prüfung vorgelegt.

(9) Der UA-AB hat auf seiner 103. Sitzung am 1. September 2010 den Regeländerungsentwurfsvorschlag geprüft und die Regeländerungsentwurfsvorlage KTA 2201.2 verabschiedet. Diese wurde einstimmig für den Fraktionsumlauf freigegeben.

3.2 Erarbeitung der Regeländerungsvorlage

(10) Die Regeländerungsentwurfsvorlage lag den Gruppen des KTA im Rahmen des Fraktionsumlaufs vom 15. September 2010 bis 15. Dezember 2010 zur Kommentierung vor.

Es gab insgesamt 12 Einwendungen von folgenden 2 Einwendern:

1. Verband der deutschen TÜV
2. DIN

(11) Das Arbeitsgremium KTA 2201.2 bearbeitete die eingegangenen Stellungnahmen auf seiner 10. Sitzung am 16. Februar 2011 bei E.ON Kernkraft in Hannover

und beschloss einstimmig die Vorlage an den Unterausschuss ANLAGEN- UND BAUTECHNIK (UA-AB).

(12) Der UA-AB hat auf seiner 104. Sitzung am 3. März 2011 den neuesten Stand der KTA 2201.2 beraten und einstimmig beschlossen, diesen dem KTA mit dem Beschlussvorschlag zur Verabschiedung als Regeländerungsentwurfsvorlage vorzulegen.

(13) 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.

4 Berücksichtigte Regeln und Unterlagen

4.1 Nationale Regeln und Unterlagen

- RSK-Schreiben vom 10.11.2005
- KTA 2201.1 Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische Einwirkungen, Teil 1: Grundsätze, Regeländerungsentwurfsvorlage (2010-11)
- KTA 2201.3 Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische Einwirkungen, Teil 3: Bauliche Anlagen, Derzeitiger Regelentwurfsvorschlag (Beratungsstand 2010)

4.2 Internationale Regeln und Unterlagen

- 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

5 Ausführungen zur Regeländerung

5.1 Regeländerungsentwurfsvorlage

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. Dabei wurde die Gliederung der Regel zwecks systematischer und detaillierter Erfassung der Anforderungen geändert. In Abschnitt 3 „Baugrunderkundung“ wurden die Anforderungen an den Baugrund zusammengefasst. Der Abschnitt 4 „Baugrunderkundung“ wurde begrifflich an den Stand von W & T angepasst. Der Abschnitt 5 „Baugrunderkundung“ wurde ebenfalls an den Stand von W & T angepasst. Die Abschnitte 6 „Modellbildung Baugrund und Bauwerk“ und 7 „Wechselwirkung zwischen Baugrund und Bauwerk“ sind entfallen, da hinreichende Regelungen in KTA 2201.1 Fassung 2010-11 enthalten sind.

Die unten genannten Abschnitte bzw. Absätze beziehen sich auf die vorliegende Fassung der Regeländerungsentwurfsvorlage. Aufgrund der neuen Gestaltung von Abschnitten und Fassung der Regeltexte gegenüber KTA 2201.2 Fassung 6/90 wurde die vorliegende Fassung der Regeländerungsentwurfsvorlage nicht wie sonst üblich im Änderungsmodus wiedergegeben. Änderungen gegenüber der letzten Fassung sind mit Randstrichen gekennzeichnet.

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 wurde der Titel beibehalten.

Zu Grundlagen:

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

Zu Abschnitt 1 „Anwendungsbereich“:

Der Anwendungsbereich wurde an die KTA 2201.1 Fassung 2010-11 angepasst.

Zu Abschnitt 2 „Begriffe“

Als neue Begriffe wurden dynamischer Schubmodul, Schwerwellengeschwindigkeit, Kompressionswellengeschwindigkeit und Materialdämpfung aufgenommen. Der alte Begriff Freifeld entfällt, da er im Regeltext nicht mehr vorkommt.

Zu Abschnitt 3 (3) „Baugrunderkundung“

Die Erfordernis der Kenntnis der bodendynamischen Kenngrößen bis zu einer Tiefe von mindestens dem zweifachen Gebäudedurchmesser bzw. Ersatzdurchmesser $2 \cdot \sqrt{A/\pi}$ (A: Fundamentfläche des Gebäudes) wurde aus Untersuchungen von AG-Mitgliedern und Literaturvergleichen abgeleitet, wobei es sich zeigte, dass sich erst ab größeren Tiefen kein signifikanter Einfluss von Impedanzsprüngen auf die Boden-Bauwerk-Wechselwirkung mehr ergeben kann.

Zu Abschnitt 4 „Baugrunderkundung“

Das Verhalten von Böden und möglichen Einflussfaktoren wurde ergänzt. Das Arbeitsgremium hat die Anregung der RSK (siehe Abschnitt 3.1 (1) der Dokumentationsunterlage) beraten und den Grenzwert von 1 m/s^2 für die Abschätzung der Bodenkennwer-

te bei der Überarbeitung der Regel herausgenommen. Für die Beurteilung der Bodenverflüssigung wird jedoch ein Grenzwert von 1 m/s^2 weiterhin als sinnvoll erachtet.

Zu Abschnitt 5: „Baugrundveränderung“

Zu Abschnitt 5.1 a): Vertikale Verformungen wurden an Stelle von Setzungen aufgeführt. Es wird hiermit ein anerkanntes Berechnungsverfahren zur Ermittlung der vertikalen Verformungen zur Verfügung gestellt.

Zu Abschnitt 6 und Abschnitt 7:

Die Abschnitte 6 und 7 wurden gestrichen, da sowohl Baugrundmodelle als auch die Wechselwirkung zwischen Baugrund und Bauwerk in KTA 2201.1 und in KTA 2201.3 hinreichend erläutert werden.

Zu Anhang A1 Untersuchungsverfahren zur Bestimmung baugrunddynamischer Kenndaten:

Es wurden neuere Untersuchungsverfahren zur Bestimmung baugrunddynamischer Kenndaten aufgenommen. In der neuen Fassung des Anhangs A 1 wird das In-situ-Verfahren zwischen Bohrlochverfahren und Oberflächenverfahren unterschieden. Entsprechend des Praxis-Standes wurden Änderungen und Ergänzungen in den Spalten Verfahren, Messmethode, Messgröße und abgeleitete Größen sowie Schubverzerrungsbereich vorgenommen.

Zu Anhang A 2 Bestimmung von Schubmodul und Materialdämpfung aus In-Situ-Untersuchungen oder mittels Hilfsrechnungen:

Der Anhang wurde an den Stand der Wissenschaft und Technik zur Bestimmung von Schubmodul G und Materialdämpfung D angepasst.

Zu Anhang A 3 Seismische Bodenverdichtung:

Der Anhang wurde an den Stand von Wissenschaft und Technik angepasst.

Zu Anhang A 4 Bodenverflüssigung:

Als konservative Annahme wurde ein höchster Grundwasserstand mit der Überschreitenswahrscheinlichkeit von $10^{-2}/a$ zu Grunde gelegt. Zum Vergleich: nach KTA 2207 [D1] ist dieser höchste Grundwasserstand für Gebäude, die nicht gegen Erdbeben ausgelegt sind, nur mit dem 0,4-fachen Bemessungserdbeben zu überlagern.

Nach Untersuchungen von Seed und Idriss, 1982, [D2] kann aufgrund von Messungen an verschiedenen Standorten, für die die maximale Bodenbeschleunigung und das Verflüssigungsverhalten während früherer Erdbeben ermittelt wurden, mit Hilfe des zugehörigen dynamischen Schubspannungsverhältnisses und des Eindringwiderstandes SPT das Verflüssigungsverhalten anhand der extrapolierten Kurven für verschiedene Erdbebenmagnituden nach Bild D-1 abgeschätzt werden. Die extrapolierten Kurven gelten ausnahmslos für gleichförmige Sande.

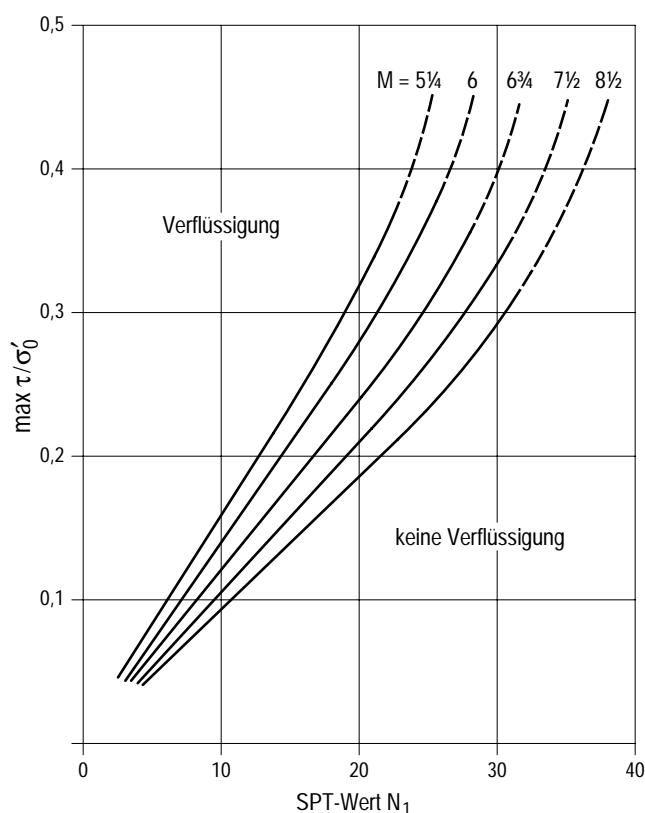


Bild D-1: Extrapolierte Kurven für verschiedene Magnituden (SPT = Standard Penetration Test)

[D1] KTA 2207 (2004-11) Schutz von Kernkraftwerken gegen Hochwasser

[D2] SEED, H. B. and IDRIS, I.M.: Ground motions and soil liquefaction during earthquakes. Engineering monograph on earthquake criteria. Structural design and strong motion records, EERC, 1982