

KTA 2201.2

Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische Einwirkungen Teil 2: Baugrund

Fassung 06/90

INHALT

	Seite
Grundlagen	2
1 Anwendungsbereich.....	2
2 Begriffe.....	2
3 Baugrunderkundung.....	2
4 Baugrunddynamische Kenndaten	2
5 Baugrundveränderung.....	2
6 Baugrundmodelle.....	2
7 Wechselwirkung zwischen Baugrund und Bauwerk	3
Anhang A: Anwendungsverfahren.....	4
Stichwortverzeichnis.....	7

Grundlagen

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

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

Teil 1: Grundsätze

Teil 3: Auslegung der baulichen Anlagen

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

Teil 5: Seismische Instrumentierung

Teil 6: Maßnahmen nach Erdbeben

1 Anwendungsbereich

Diese Regel ist auf Kernkraftwerke anzuwenden.

2 Begriffe

(1) Baugrunddämpfung

Die Baugrunddämpfung entspricht der Energie, die der Boden dem schwingenden System aus Baugrund und Bauwerk entzieht. Sie setzt sich aus der Abstrahldämpfung und der Materialdämpfung zusammen.

(2) Bodenverflüssigung

Die Bodenverflüssigung ist die Abminderung der Scherfestigkeit eines Bodens durch Ansteigen des Porenwasserdrucks infolge Verdichtung des Korngefüges bei dynamischer Beanspruchung.

3 Baugrunderkundung

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

(2) Die Ergebnisse aus den Baugrunduntersuchungen und den Gutachten sind in einem generalisierten Bodenprofil festzuhalten, das neben den Kenndaten der Schichten auch Angaben zum Grundwasserstand enthalten soll.

(3) Als Kenndaten der jeweiligen Bodenschicht sollen angegeben werden:

- Tiefe und Mächtigkeit (m)
- geologische Bezeichnung
- Bodenklassifikation
- Wichte des feuchten Bodens (kN/m^3)
- Steifemodul (kN/m^2)

f) innerer Reibungswinkel (Grad)

g) Kohäsion (kN/m^2)

4 Baugrunddynamische Kenndaten

(1) Für die Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische Einwirkungen sind an baugrunddynamischen Kenndaten die Poissonzahl, der Schubmodul und die Materialdämpfung zu ermitteln. Dabei sind obere und untere Grenzwerte in Abhängigkeit von der Tiefe und dem Spannungszustand des Bodens unter Bauwerklast anzugeben.

(2) Die Verfahren zur Bestimmung der baugrunddynamischen Kenndaten sind in Abhängigkeit von den Baugrundverhältnissen auszuwählen. Grundsätzlich sind in situ- und Laborverfahren durchzuführen. Abweichend davon darf nach Abschnitt (3) und (4) verfahren werden.

Hinweis:

Bestimmungsverfahren für baugrunddynamische Kenndaten sind im Abschnitt A1 von Anhang A als Beispiele angegeben.

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

(4) Für Kernkraftwerke an Standorten, für die die Maximalbeschleunigungen des Bemessungserdbebens zu weniger als $1,0 \text{ m/s}^2$ ermittelt wurden, dürfen die baugrunddynamischen Kenndaten abgeschätzt werden.

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

Hinweis:

Ein Verfahren zur Bestimmung von Schubmodul und Materialdämpfungen entweder aus in situ-Untersuchungen oder mittels Hilfsrechnungen ist im Abschnitt A2 von Anhang A als Beispiel angegeben.

5 Baugrundveränderung

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

- bleibende Verformungen durch Verdichtung oder durch andere Veränderungen des Korngefüges,
- Abminderung der Scherfestigkeit entweder durch Bodenverflüssigung oder durch andere Veränderungen des Korngefüges.

Hinweis:

Beurteilungsgrundlagen zur Bodenverflüssigung sind im Abschnitt A3 von Anhang A als Beispiel angegeben.

(2) Für Kernkraftwerke an Standorten, für die entweder die Maximalbeschleunigungen des Bemessungserdbebens zu weniger als $1,0 \text{ m/s}^2$ ermittelt wurden oder der Baugrund aus steifen geologisch vorbelasteten Tonen oder gleichartigen bindigen Böden besteht, braucht kein Nachweis zur Bodenverflüssigung geführt zu werden.

6 Baugrundmodelle

(1) Die Abbildung des Baugrunds darf im System Bauwerk und Baugrund als Feder-Massen-, Finite Elemente-, Finite Differenzen-, Boundary-Element-Modell oder als Kombination aus diesen Modellen erfolgen.

(2) Kann das generalisierte Bodenprofil durch eine Schicht dargestellt werden (gleichmäßiger Baugrund), so darf auf ein gedämpftes Feder-Massen-Modell abgebildet werden. Die Parameter dieses Modells dürfen auf der Grundlage der Theorie des elastischen Halbraumes ermittelt werden. Sie dürfen vereinfacht als frequenzunabhängig angenommen werden, wenn eine angemessene Parametervariation erfolgt.

Hinweis:

Auf die Abbildung des Baugrundes wird in KTA 2201.3 (z. Zt. in Vorbereitung) näher eingegangen.

7 Wechselwirkung zwischen Baugrund und Bauwerk

(1) Der Einfluß baugrundrynamischer Kenndaten, insbesondere Schubmodul und Materialdämpfung, auf das Schwingungsverhalten des Bauwerks ist in den Berechnungen durch die Annahme eines Streubereiches dieser Kenndaten zu erfassen.

(2) Der Streubereich von Kenndaten des Schwingungssystems aus Baugrund und Bauwerk ist bei der Berechnung der Anlagenteile zu erfassen.

Anhang A:

Anwendungsverfahren

Inhalt:

- A 1 Untersuchungsverfahren zur Bestimmung baugrunddynamischer Kenndaten
- A 2 Bestimmung von Schubmodul und Materialdämpfung aus in situ-Untersuchungen oder mittels Hilfsrechnungen
- A 3 Beurteilungsgrundlagen zur Bodenverflüssigung
- A 4 Literatur

A 1 Untersuchungsverfahren zur Bestimmung baugrunddynamischer Kenndaten

Verfahren	Meßmethode	a) Meßgröße b) abgeleitete Größen	¹⁾ Schubverformungsbereich
in situ-Verfahren			
Aufzeit-Verfahren	Anregungen im Bohrloch, Messungen an der Oberfläche	a) Laufzeiten (P- und S-Wellengeschwindigkeiten) b) Schubmodul, Poissonzahl	etwa 10 ⁻⁷ bis 10 ⁻⁵
Abzeit-Verfahren	Anregungen an der Oberfläche, Messungen im Bohrloch		
Durchschallungs-Verfahren	Anregungen in einem Bohrloch, Messungen in einem oder mehreren benachbarten Bohrlöchern		
Vibroseis-Verfahren	Kontinuierliche Anregung und Messung an der Oberfläche	a) Laufzeiten (Oberflächenwellengeschwindigkeiten) b) Schubmodul	etwa 10 ⁻⁷ bis 10 ⁻⁵
Labor-Verfahren			
Resonanz-Versuch	Bestimmung der Geschwindigkeiten bei variabler Frequenz und variablen Amplituden	a) Frequenz, Wellenlänge (P- und S-Wellengeschwindigkeiten) b) Schubmodul, Poissonzahl, Materialdämpfung	etwa 10 ⁻⁶ bis 10 ⁻⁴
Dynamischer Triaxial-Versuch	Messung bei vertikaler und tangentialer Beanspruchung unter variablen Spannungszuständen	a) Bewegungen, Spannungen (Spannungs-Schubverformungs-Kennlinie) b) Schubmodul, Materialdämpfung, Poissonzahl	etwa 10 ⁻⁴
Dynamischer einfacher Scherversuch	Messung bei einfacher Scherung unter einaxialer Beanspruchung und behinderter Seitendehnung		bis 5 · 10 ⁻²
Dynamischer Torsionsversuch	Messung bei tangentialer Belastung und einaxialer Belastung		10 ⁻⁵ bis 5 · 10 ⁻²
¹⁾ Bei Erdbeben in der Bundesrepublik liegen die Schubverformungen nach bisherigen Erfahrungen im Schubverformungsbereich von 10 ⁻⁵ bis 10 ⁻³ .			

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

Die Bestimmung von Schubmodul (G) und der Materialdämpfung (D) darf in Anlehnung an [1] nach der in **Bild A 1** dargestellten Gleichung A 1 und Gleichung A 2 erfolgen.

$$G = \frac{1}{1 + \gamma_h} G_{\max} \tag{A 1}$$

$$D = \frac{\gamma_h}{1 + \gamma_h} D_{\max} \tag{A 2}$$

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

$$\gamma_r = \frac{\max \tau}{G_{\max}} \tag{A 4}$$

- γ_h = hyperbolische Schubverformung
- G_{\max} = Schubmodul bei kleinsten Schubverformungen
- D_{\max} = Materialdämpfung bei größten Schubverformungen
- γ = Schubverformung
- γ_r = Referenzschubverformung
- $\max \tau$ = maximale Schubspannung

Die maximale Materialdämpfung D_{\max} und die Größen a und b können für verschiedene Bodenarten mit Hilfe der bei [1] angegebenen Bemessungsgleichungen ermittelt werden. Wichtigste Einflußgrößen sind Zahl und Frequenz der Lastwechsel sowie der im Boden herrschende Spannungs-

zustand. G_{\max} ist im allgemeinen durch in situ-Messungen zu bestimmen. Für die Abschätzung dürfen der Literatur z.B. [1] entnommene empirisch abgeleitete Näherungsgleichungen verwendet werden, die die Form

$$G_{\max} = \alpha \cdot \frac{(\beta - e)^2}{1 + e} \cdot \sigma'_m{}^\delta \cdot (\text{OCR})^K \quad (\text{A } 5)$$

haben.

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

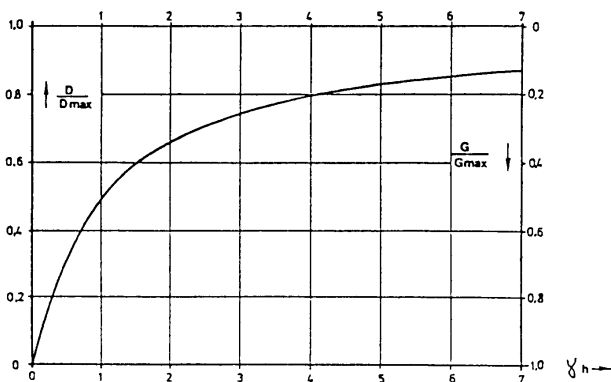


Bild A 1: Beziehung zwischen Schubmodul, Materialdämpfung und hyperbolischer Schubverformung

A 3 Beurteilungsgrundlagen zur Bodenverflüssigung

A 3.1 Verflüssigungspotential

Gleichförmige und feine Sande 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.

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.

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.

Stife, geologisch vorbelastete Tone und gleichartige bindige Böden reagieren unempfindlich auf Erschütterungen. Sie neigen nicht zur Verflüssigung.

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 Schubverformungen auftreten. Die Dauer der Verflüssigung ist von den Entwässerungsbedingungen abhängig.

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 an der ungünstigen Schicht zu beurteilen.

Zur Beurteilung der Gefahr einer Bodenverflüssigung sollten

- a) Bohrungen unter und neben dem geplanten Bauwerk bis in 25 m Tiefe unter Geländeoberfläche,
- b) Ramm- oder Drucksondierungen,
- c) Erkundung des höchsten Grundwasserstandes,
- d) im Bedarfsfall dynamische Scherversuche durchgeführt werden.

A 3.2 Verfahren zur Abschätzung der Möglichkeit einer Bodenverflüssigung (in Anlehnung an [2])

Schritt 1:

Es ist die Kornverteilungskurve des zu untersuchenden Bodens in ein Diagramm nach **Bild A 2** einzutragen.

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 3** die Grenzlinie Z_1 für die weitere Prüfung maßgebend.

Liegt der wesentliche Anteil der Kornverteilungskurve innerhalb der Zone 2, so ist in **Bild A 3** die Grenzlinie Z_2 für die weitere Prüfung maßgebend.

Schritt 2:

Es ist das dynamische Schubspannungsverhältnis τ/σ'_0 aus σ'_0 und der Beziehung

$$\max \tau = \sigma'_0 \frac{\max a}{g} r_d$$

zu errechnen, wobei $\max a$ die Maximalbeschleunigung, g die Erdbeschleunigung sowie

σ'_0 die wirksame vertikale Spannung im Boden in der Tiefe t (Spannung aus der Bauwerkslast und Gewicht des Bodens nach Abzug des Auftriebs bei höchstem Grundwasserstand)

σ_0 die totale vertikale Spannung im Boden in der Tiefe t (Spannung aus Bauwerkslast und Gewicht des wassergesättigten Bodens bei höchstem Grundwasserstand)

r_d den Reduktionsfaktor in Abhängigkeit von der Tiefe nach **Bild A 4**

darstellen.

Schritt 3:

Liegt der Schnittpunkt aus dem Schubspannungsverhältnis $\max \tau/\sigma'_0$ und der relativen Lagerungsdichte I_D des Bodens unterhalb den in **Bild A 3** dargestellten maßgebenden Grenzlinien Z_1 und Z_2 , so besteht keine Gefahr der Bodenverflüssigung.

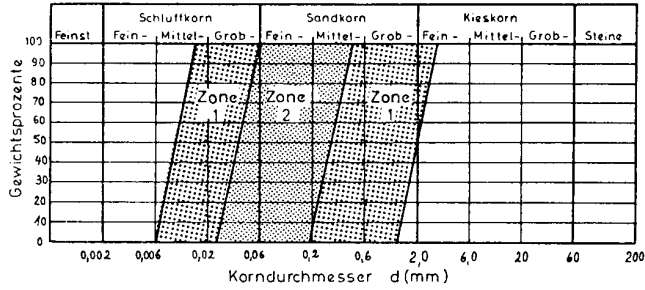


Bild A 2: Verflüssigungsgefährdete Kornverteilungsbe-
reiche

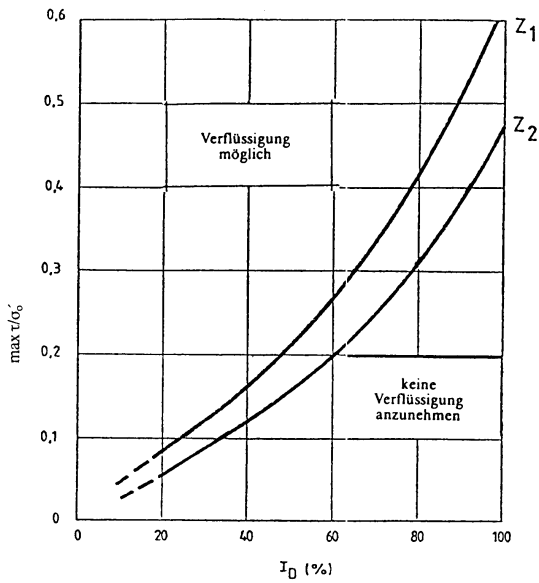


Bild A 3: Diagramm zur Abschätzung der Möglichkei-
ten einer Bodenverflüssigung

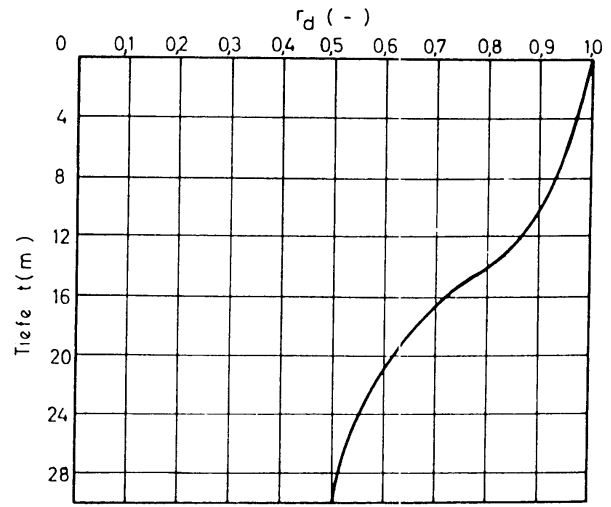


Bild A 4: Reduktionsfaktor r_d in Abhängigkeit von der
Tiefe t

Liegt der Schnittpunkt oberhalb der Grenzlinie, so ist eine Bodenverflüssigung nicht auszuschließen. Dann sind ge-
nauere Untersuchungen erforderlich.

A 4 Literatur

- [1] HARDIN, B. O. and DRNEVICH, V. P.: Shear modulus and Damping in Soils: Design Equations and Curves. Soil Mech. and Found. Div. ASCE, 1972, Vol. 98, SM 7, S. 667-692
- [2] SEED, H. B. and IDRISS, I. M.: Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential. Soil Mech. and Found. Div. ASCE, 1971, Vol. 97, SM 9, S. 1249-1273

Stichwortverzeichnis

Abstrahldämpfung	2 (1)	Kenndaten (der Bodenschicht)	3 (2), (3)
Anwendungsverfahren	Anhang A 1-A 4	Kenndaten, baugrunddynamische	4; 7 (1)
Auslegung	4 (1)	-, Bestimmungsverfahren	Anhang A 1
Baugrund	2 (1); 3 (1); 4 (3); 5 (1), (2); 6 (1), (2); 7 (2)	Kohäsion	3 (3) g)
Baugrunddämpfung	2 (1)	Korngefüge	2 (2); 5 (1) a), b)
Baugrunderkundung	3	Laborverfahren	4 (2)
Baugrundmodelle	6	Materialbekämpfung	2 (1); 4 (1), (5); 7 (1)
Baugrunduntersuchung(en)	3 (2)	-, Bestimmungsverfahren	Anhang A 2
Baugrundverdichtung (s. Verdichtung)		Maximalbeschleunigung(en)	4 (4); 5 (2)
Baugrundverhältnisse	3 (1); 4 (2)	Poissonsahl	4 (1)
Baugrundveränderung	5	Porenwasserdruck	2 (2)
Baugrundverflüssigung (s. a. Boden-)		Scherfestigkeit	2 (2); 5 (1) b)
Bauwerk	2 (1); 6; 7 (1), (2)	Schubmodul	4 (1), (5); 7 (1)
Bemessungserdbeben	4 (4); 5 (2)	-, Bestimmungsverfahren	Anhang A 2
Boden	2 (1), (2); 4 (1), (5); 5 (2)	Schubverformung	4 (5)
Bodenprofil	3 (2); 6 (2)	Standort	3 (1); 4 (3), (4); 5 (2)
Bodenverflüssigung	2 (2); 5 (1) b), (2)	Steifemodul	3 (3) e)
-, Beurteilungsunterlagen	Anhang A 3	Verdichtung	2 (2); 5 (1) a)
Grundwasserstand	3 (2)	Wechselwirkung (Baugrund/Bauwerk)	7
Gutachten (zum Baugrund)	3 (1), (2)		
in situ-Verfahren	4 (2), (5) Hinweis		