

## KTA 2201.2

### Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische Einwirkungen

#### Teil 2: Baugrund

##### Fassung 2012-11

Frühere Fassungen der Regel: 1990-06 (Banz. Nr. 20a vom 30. Januar 1991)  
1982-11 (Banz. Nr. 64a vom 6. April 1983)

##### Inhalt

	Seite
Grundlagen .....	2
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 .....	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 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) 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 Baugrunderkundungsdynamische 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 baugrunderkundungsdynamische Kenndaten für die jeweiligen Bodenschichten anzugeben:

- Der dynamische Schubmodul  $G_0$  bei kleinen Schubverzerrungen.
- Die Poissonzahl  $\nu$ .
- Die Materialdämpfung in Form des Dämpfungsgrades  $D$ .
- Die Dichte  $\rho$ .
- 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 baugrunderkundungsdynamische 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 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 baugruddynamischer Kenndaten

Verfahren	Messmethode	a) Messgrößen b) abgeleitete Größen	1) Schubver- zerrungs- bereich
<b>In-situ-Verfahren</b>			
Bohrlochverfahren			
Uphole- Verfahren	Anregungen im Bohrloch, Mes- sungen an der Oberfläche	a) Laufzeiten (P- und S-Wellen- geschwindigkeiten) 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 Untersu- chungsgebietes durch Anord- nung eines Netzes von Sendern und Empfängern in Bohrlöchern		
Oberflächenverfahren			
Schwinger	Kontinuierliche Anregung und Messung an der Oberfläche	a) Laufzeiten (Oberflächenwellen- geschwindigkeiten) b) Schubmodul	etwa $10^{-7}$ bis $10^{-5}$
SASW (Spectral Analysis of Sur- face Waves)	Stoßanregung und Messung an der Oberfläche		
<b>Labor-Verfahren</b>			
Resonant- Column- Versuch	Bestimmung der Geschwindig- keiten bei variabler Frequenz und variablen Amplituden	a) Frequenz, Wellenlänge (P- und S-Wellengeschwindigkeiten) b) Schubmodul, Poissonzahl, Material- dämpfung	etwa $10^{-7}$ bis $5 \cdot 10^{-4}$
Ultraschall- messungen	Bestimmung der Geschwindig- keiten infolge der Ultraschall- pulse	a) Laufzeiten (P- und S-Wellen- geschwindigkeiten) b) Schubmodul, Poissonzahl	etwa $10^{-7}$ bis $10^{-5}$
Zyklischer Scherversuch	Messung bei einfacher Sche- rung unter einaxialer Beanspru- chung und behinderter Seiten- dehnung	a) Verformungen, Spannungen (Span- nungs-Schubverzerrungs-Kennlinie) b) Schubmodul, Materialdämpfung, Poissonzahl	etwa $5 \cdot 10^{-5}$ bis $10^{-1}$
Zyklischer Triaxialversuch	Messung bei vertikaler und tan- gentialer Beanspruchung unter variablen Spannungszuständen	a) Verformungen, Spannungen (Span- nungs-Schubverzerrungs-Kennlinie)	
Zyklischer Torsionsversuch	Messung bei tangentialer Belas- tung und einaxialer Belastung	b) Schubmodul, Materialdämpfung, Pois- sonzahl, Festigkeitseigenschaften	
1) Bei Erdbeben in Deutschland liegen die Schubverzerrungen im Bereich von $10^{-5}$ bis $10^{-3}$ .			

Tabelle A-1: Untersuchungsverfahren zur Bestimmung baugruddynamischer 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.

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

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

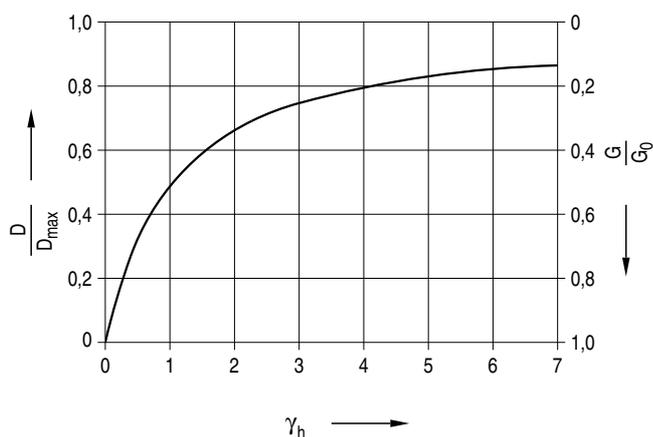
mit

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

und

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

$\gamma_h$ :	hyperbolische Schubverzerrung
$G_0$ :	dynamischer Schubmodul bei kleinsten Schubverzerrungen ( $\gamma \leq 10^{-5}$ )
$D_{\max}$ :	Dämpfungsgrad bei größten Schubverzerrungen (Materialdämpfung)
$\gamma$ :	Schubverzerrung
$\gamma_r$ :	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  $\rho$  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
$\sigma'_m$ :	mittlere effektive Hauptspannung im Boden
$\delta$ :	Exponent, näherungsweise 0,5
$\alpha, \beta$ :	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  $\gamma_{\text{eff}}$  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  $\gamma_{\text{eff}}$  den Schwellenwert  $\gamma_S$ , so darf die seismische Verdichtung der entsprechenden Schichten vernachlässigt werden. Der Schwellenwert liegt in Sandschichten bei  $\gamma_S$  gleich 0,01 % und in bindigen Bodenschichten bei  $\gamma_S$  gleich 0,01 % bis 0,04 %.

Schritt 2: Äquivalente Anzahl gleichförmiger Schubverzerrungszyklen

Für die Ermittlung der volumetrischen Dehnungen  $\varepsilon_V$  in Schritt 3 ist der transiente Schubverzerrungszeitverlauf infolge eines Erdbebens durch eine äquivalente Anzahl von Sinusschwingungen mit konstanter Amplitude  $\gamma_{\text{eff}}$  zu ersetzen. Diese äquivalente Zyklenzahl  $N$  ergibt sich in Abhängigkeit von der Momentmagnitude  $M_w$  des Bemessungserdbebens 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:

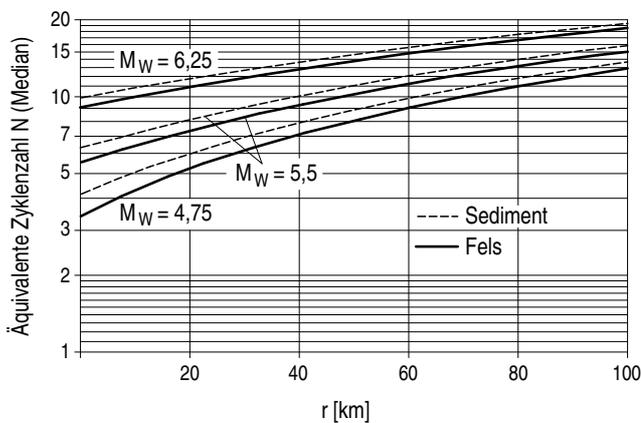
$$b_1 = 1,53 \pm 0,15,$$

$$b_2 = 1,51 \pm 0,12,$$

$$c_1 = 0,75 \pm 0,42,$$

$$c_2 = 0,095 \pm 0,014.$$

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  $\varepsilon_V$  von der effektiven Schubverzerrungsamplitude  $\gamma_{\text{eff}}$  und der äquivalenten Zyklenzahl  $N$  durch Laborversuche (zyklische Scherversuche) zu bestimmen. Folgendes Materialmodell wird hierfür empfohlen, [2]:

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

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

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

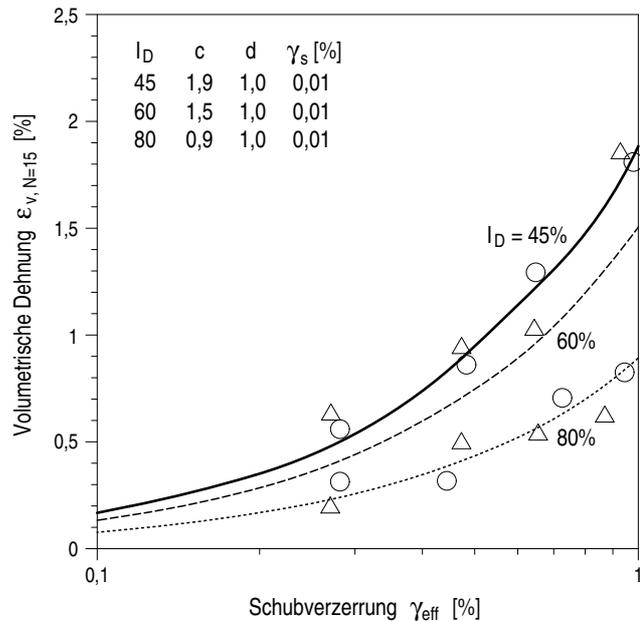
In Gleichung A-9 sind  $\varepsilon_{V,N=15}$  die volumetrische Dehnung nach 15 gleichförmigen Zyklen und  $\gamma_S$  der in Schritt 1 genannte Schwellenwert. Die Koeffizienten  $c$  und  $d$  sind in Abhängigkeit von der bezogenen Lagerungsdichte  $I_D$  und - bei bindigen Böden - dem Sättigungsgrad  $S$  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 Einzelbeiträge 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.

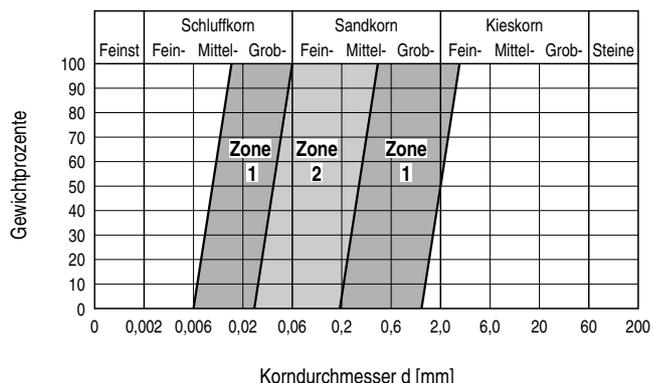
(7) Zur Beurteilung der Gefahr einer Bodenverflüssigung sind folgende Untersuchungen durchzuführen:

- a) Kornverteilungsanalysen,
- b) Ramm- oder Drucksondierungen,
- c) Grundwasserstandsmessungen (höchster Grundwasserstand mit einer Überschreitenswahrscheinlichkeit 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 Kornverteilungsbe-  
reiche

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  $\sigma'_0$  und der Beziehung

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

mit

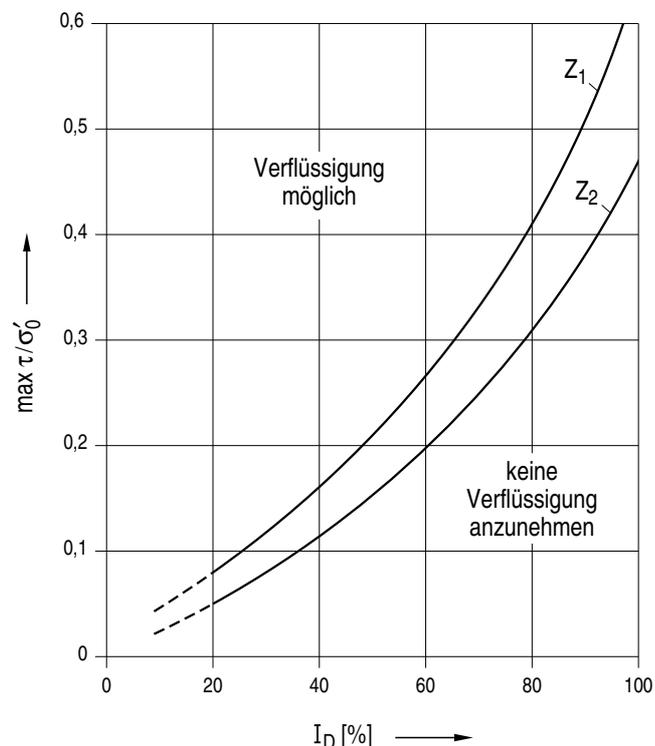
- max a: maximale Bodenbeschleunigung,
- g: Erdbeschleunigung,
- $\sigma'_0$ : wirksame vertikale Spannung im Boden in der Tiefe t (Spannung aus der Bauwerkslast und Gewicht des Bodens nach Abzug des Auftriebs bei höchstem Grundwasserstand mit einer Überschreitenswahrscheinlichkeit von  $10^{-2}/a$ ),
- $\sigma_0$ : totale vertikale Spannung im Boden in der Tiefe t (Spannung aus Bauwerkslast und Gewicht des wassergesättigten Bodens bei höchstem Grundwasserstand mit einer Überschreitenswahrscheinlichkeit von  $10^{-2}/a$ ),
- $r_d$ : Reduktionsfaktor in Abhängigkeit von der Tiefe nach **Bild A-6**

errechnet werden.

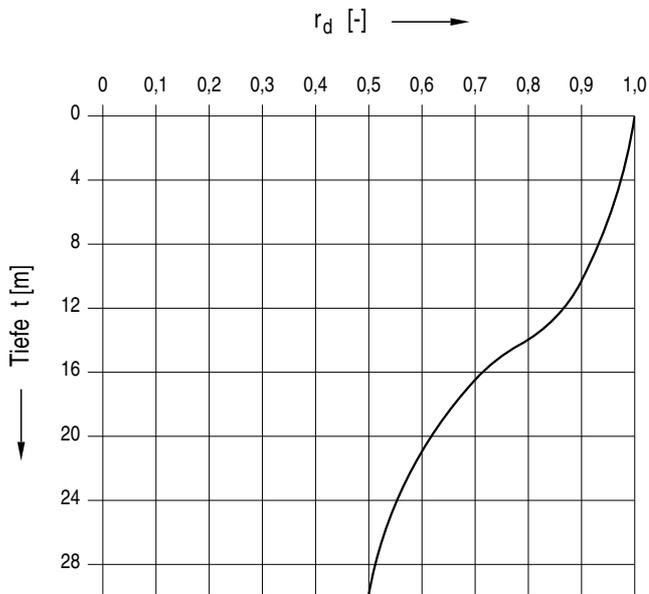
Schritt 3:

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](http://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 IDRIS, 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 zuletzt durch Artikel 5 Absatz 6 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212) 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 5 Absatz 7 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212) 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)
KTA 2201.1	(2011-11)	KTA 2201.1 Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische Einwirkungen, Teil 1: Grundsätze
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