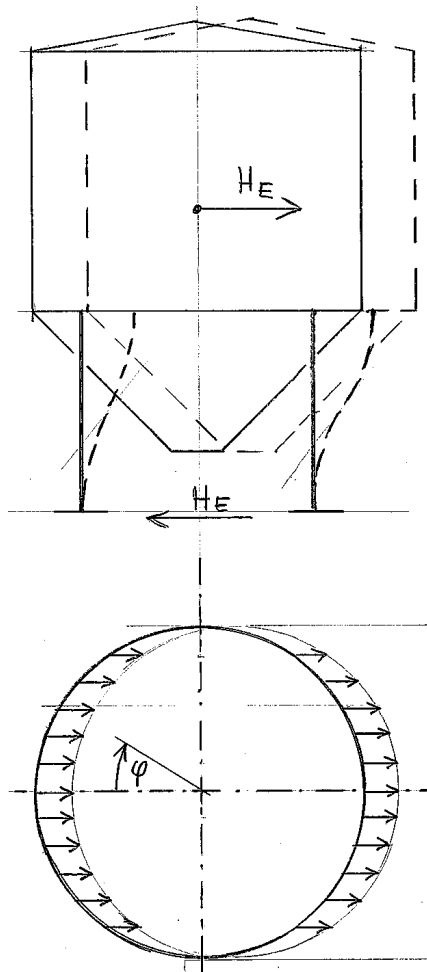


## Lasten aus Erdbeben



Skizze schematisch – Erdbebenlasten an einem aufgeständerten Behälter:  
unten: Druckverteilung entlang des Umfangs; oben: Schwingungsfigur

### 1. Lastverteilung entlang des Umfangs

Erdbebenlasten resultieren aus einer Horizontalbeschleunigung des Bodens, der das Bauwerk aufgrund seiner Massenträgheit nicht folgen will.

Zur Berechnung stellt man sich veranschaulichend vor, die Bauwerksmasse würde in folge einer äußeren Last horizontal beschleunigt werden.

Die ungünstigste Bodenbeschleunigung beträgt  $a_g = 0,8 \text{ m/s}^2$  in Erdbebenzone 3 nach Tabelle 2.

Gewöhnliche Bauten haben einen Bedeutungsbeiwert  $\gamma I = 1,0$  nach Tabelle 3 (kann für wichtige Gebäude, z.B. Krankenhäuser, den Wert 1,4 annehmen).

Der höchste Untergrundparameter  $S = 1,50$  ergibt sich bei einer Kombination der geologischen Untergrundklasse R (felsig) mit der Baugrundklasse C.

Der Verstärkungsbeiwert beträgt  $\beta,0 = 2,5$  für eine Dämpfung von 5 %.

Der ungünstigste Verhaltensbeiwert  $q = 1,0$  (steht im Nenner) ergibt sich bei Stahlbauten für die Duktilitätsklasse 1 (kann auch 1,5 sein).

Die maximale Querbeschleunigung beträgt nach Gleichung 7:

$$S_{d} = a_{g} * \gamma I * S * \beta,0 / q$$

mit ungünstigsten Zahlenwerten erhält man für Erdbebenzone 3:

$$S_{d} = 0,8 \text{ m/s}^2 * 1,0 * 1,50 * 2,5 / 1,0 = 3,0 \text{ m/s}^2 \quad \text{entspr. 30 \% g}$$

für Erdbebenzone 1 erhält man im ungünstigsten Fall

$$S_{d} = 0,4 \text{ m/s}^2 * 1,0 * 1,50 * 2,5 / 1,0 = 1,5 \text{ m/s}^2 \quad \text{entspr. 15 \% g}$$

Zur Bemessung der Verbände oder Wandscheiben ist diese Beschleunigung noch mindestens mit  $\delta = 1,3$  nach Gl. (16) zu multiplizieren, damit wird unplanmäßige Torsionswirkung berücksichtigt.

Die rechnerische Horizontalbeschleunigung kann daher

$$1,3 * 30 \% g = \text{ca. } 40 \% g$$

betragen (bei Krankenhäusern liegt sie noch höher).

Dies bedeutet zwar eine Auslenkung des Gewichtspfeiles "nur" um

$$\arctan(0,40) = \text{ca. } 22^\circ$$

aber bei einem Wasserbehälter mit

$$D = 10 \text{ m};$$

$$H = 10 \text{ m};$$

$$V = 785 \text{ m}^3$$

$$G = 7850 \text{ kN}$$

beträgt die resultierende Erdbeben-Horizontalkraft

$$HE = \text{ca. } 3100 \text{ kN}$$

In der Draufsicht (siehe obige Skizze) stellt man sich vor, die Füllung sei in Richtung des Erdbeben-Angriffes in gleichdicke Scheiben geschnitten. Jede Scheibe bewirkt dann entsprechend ihrer

Länge eine Horizontallast, gedacht als "Sog" auf die "Luvseite" und Druck auf die "Leeseite". Insgesamt entsteht eine Belastung, die nach der Beziehung

$$p(\varphi) = p_0 * \cos(\varphi)$$

entlang des Umfanges verteilt ist.

Den Maximalwert  $p_0$  erhält man aus der Beziehung

$$p_0 = HE / (\pi * R)$$

Der Maximalwert ist damit genau doppelt so groß, als hätte man die Erdbebenlast gleichmäßig auf den ganzen Umfang verteilt.

$$p_{\text{mittel}} = HE / (2\pi * R)$$

Das Schwappen der Flüssigkeit braucht in kleinen bis mittleren Behältern nicht berücksichtigt zu werden.

## **2. Schnittgrößen**

Bei kleinen und mittleren Behältern werden die Schnittgrößen aus Erdbeben in der Behälterwand selbst üblicherweise nicht nachgewiesen:

Die  $\cos(\varphi)$ -förmige Flächenlast ist eine schalengerechte Belastung, die im Aufstandskreis eine  $\cos(\varphi)$ -förmige Längskraft  $n_x$  hervorruft, deren Maximalwerte genügend genau mittels

$$\sigma_x = M_x / W(\text{Kreisring})$$

bestimmt werden können.

Für dünnwandige Kreisringquerschnitte (auch für die Abmessungen von Beton-Behältern) gilt:

$$W = \pi * R^2 * T$$

Bei Behältern auf Einzelstützen muß man besonders aufpassen (siehe Verformungsfigur in der obigen Skizze):

Ideal sind Kreuzverbände (oder eine drucksteife Diagonale).

Falls dies nicht möglich ist – z.B. wegen der erforderlichen Durchfahrt von Fahrzeugen – muß man möglichst steife Rahmen bauen. Hier ist nicht nur auf die Festigkeitsbemessung zu achten, sondern auch darauf, daß die Horizontalverformungen nicht zu groß sind.

### **3. Literatur**

- [1] DIN 4149:2005-04 Bauten in deutschen Erdbebengebieten. Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten.  
(In LTB 2005 (Nov. 05) Baden-Württemberg aufgeführt Stand 25.02.06 www.im...)
- [2] Karte der Erdbebenzonen und geologischen Untergrundklassen für Baden-Württemberg. Herausgegeben vom Innenministerium Baden-Württemberg, 1. Aufl. 2005.
- [3] DIN V ENV 1998 (EC8): Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben.  
Teil 1-1:1997-06: Grundlagen; Erdbebeneinwirkungen und allgemeine Anforderungen an Bauwerke.  
Teil 1-2:1997-06: Grundlagen; Allgemeine Regeln für Hochbauten.  
Teil 1-3:1997-06: Grundlagen; Baustoffspezifische Regeln für Hochbauten.  
Teil 1-4:1999-09: Grundlagen; Verstärkung und Reparatur von Hochbauten.  
Teil 2:1998-07: Brücken.  
Teil 3:1999-09: Türme, Maste und Schornsteine.  
Teil 4:2001-07: Silos, Tankbauwerke und Rohrleitungen.  
Teil 5:1997-06: Gründungen, Stützbauwerke.
- [4] Bachmann, H.: Erdbebensicherung von Bauwerken. Birkhäuser, 2. Auflage, Basel 2002.
- [5] Gehrig, H.: Vereinfachte Berechnung flüssigkeitsgefüllter verankerter Kreiszylinderschalen unter Erdbebenbelastung. Stahlbau 73 (2004), Heft 1, S. 37-45.
- [6] Knödel, P.: Bauen von Holzhäusern in Erdbebengebieten Deutschlands. Eintägiges Seminar mit Prof. Steinmetz, Technische Akademie Südwest, Kaiserslautern, 05.04.06. Vortragsskript unter [www.peterknoedel.de](http://www.peterknoedel.de).
- [7] Meskouris, K., Hinzen, K.-G.: Bauwerke und Erdbeben. Grundlagen – Anwendung – Beispiele. Vieweg, Wiesbaden 2003.

Nicht mehr gültig !!!

- [8] DIN 4149: Bauten in deutschen Erdbebengebieten.  
Teil 1: Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten. April 1981.  
Teil 1 A1: Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten. Änderung 1, Karte der Erdbebenzonen.  
Beiblatt 1: Zuordnung von Verwaltungsgebieten zu den Erdbebenzonen. April 1981.
- [9] Karte der Erdbebenzonen für Baden-Württemberg. Landesvermessungsamt Baden-Württemberg 1972, III. Aufl. 1988, im Auftrag des Innenministeriums.