

Erdbebenbeanspruchte stehende zylindrische Flüssigkeitsbehälter aus Stahl Lastermittlung nach Gehrig

(Formular Flüssigkeit_Erdbeben_10-05-21.xmcd - geändert)

Quelle: Gehrig, Berechnung erdbebenbeanspruchter stehender zylindrischer Flüssigkeitsbehälter aus Stahlblech, TÜ Bd. 49 (2008) Nr. 6 - Juni

Allgemeines

<u>Tank:</u>	Durchmesser		$D := 11900\text{mm}$
	Radius	$R_B := \frac{D}{2}$	$R_B = 5950\text{mm}$
	Innendurchmesser eines 0,5 m breiten Randstreifens		
		$d := D - 2 \cdot 0.5\text{m}$	$d = 10900\text{mm}$
	Traufhöhe		$H := 19250\text{mm}$
	Füllhöhe - V_100		$H_{100} := 18927\text{mm}$
	Füllhöhe - V_95		$H_{95} := 17982\text{mm}$
	Volumen - V_100		$V_{Fzul} := 2105\text{m}^3$
	Volumen - V_95		$V_{Nenn} := 2000\text{m}^3$
	Wanddicke (6/8/10)		$t := 10\text{mm}$
	Werkstoff		1.4541
<u>Betrieb:</u>	Füllung		Irgendwas
	spezifisches Gewicht		$\gamma := 10.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$
	Dichte		$\rho := 1050 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
	ständig wirkender Innendruck	$p_i := 100\text{mbar}$	$p_i = 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$
	ständig wirkender Außendruck	$p_a := 0\text{mbar}$	$p_a = 0.0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Geometrische Kenngrößen

Querschnittsfläche Behälter $A_B := \frac{\pi \cdot D^2}{4}$ $A_B = 111.22 \text{ m}^2$

Querschnittsfläche eines 0,5 m breiten Randstreifens

$$A_{0.5} := \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} \quad A_{0.5} = 17.91 \text{ m}^2$$

Umfang des Behälters $U := \pi \cdot D$ $U = 37.38 \text{ m}$

Mantelfläche $O := U \cdot H$ $O = 719.7 \text{ m}^2$

Nennvolumen (berechnet) $V := A_B \cdot H_{95}$ $V = 2000.0 \text{ m}^3$

Volumen eines 0,5 m breiten Randstreifens

$$V_{0.5} := A_{0.5} \cdot H_{95} \quad V_{0.5} = 322.0 \text{ m}^3$$

Nenn-Füllgewicht $G_{\text{Nenn}} := V \cdot \gamma$ $G_{\text{Nenn}} = 21000 \text{ kN}$

Füllgewicht eines 0,5 m breiten Randstreifens (s. DIN 4119-2 Abs. 7.2.3 bzw. VdTÜV-960-2002 Abs. 20.4)

$$G_{0.5} := V_{0.5} \cdot \gamma \quad G_{0.5} = 3381 \text{ kN}$$

$$g_{0.5} := \frac{G_{0.5}}{U} \quad g_{0.5} = 90.4 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Werkstoffeigenschaften

Streckgrenze bei Betriebstemperatur
(nach Tabelle 1 DIN V 4133:2007-07)

$$f_{y,k} := 176 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

E-Modul bei Betriebstemperatur
(nach Tabelle 2 DIN V 4133:2007-07)

$$E := 1.64 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Wichte Stahl

$$\gamma_{\text{Stahl}} := 80 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

Lasten

Eigenlasten

Deckel
(pauschal)

$$g_D := 0.6 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$G_D := g_D \cdot A_B$$

$$G_D = 66.73 \text{ kN}$$

Mantel

$$g_M := t \cdot \gamma_{\text{Stahl}} \cdot 1.55$$

$$g_M = 1.24 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$G_M := g_M \cdot O$$

$$G_M = 892.4 \text{ kN}$$

Dacheckring
(pauschal)

$$g_{DE} := 0.6 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$G_{DE} := g_{DE} \cdot U$$

$$G_{DE} = 22.43 \text{ kN}$$

Hinweis:

Die Werte G_D , G_M und G_{DE} müssen sinnvoll belegt sein, da sie weiter unten auch einzeln weiterverwendet werden (MM,imop)

gesamt:

$$G_E := G_D + G_M + G_{DE}$$

$$G_E = 981.5 \text{ kN}$$

Einschließlich Tanktasse vom Kunden vorgegeben:

$$G_E := 970 \text{ kN}$$

Innendruck

$$P_i := A_B \cdot p_i$$

$$P_i = 1112.2 \text{ kN}$$

Berechnung der Erdbebenlasten

Parameter

(berücksichtigt, dass zum Zeitpunkt des Erdbebens das Nenn-Füllvolumen nur zu 80% ausgenutzt ist)

Höhenparameter

$$H_L := H_{95} \cdot 0.8$$

$$H_L = 14.39 \text{ m}$$

Massenparameter:

$$M_L := G_{\text{Nenn}} \cdot 0.8$$

$$M_L = 16800 \text{ kN}$$

Eingangswerte

$$\alpha := \frac{H_L}{D}$$

$$\alpha = 1.209$$

$$\beta := \frac{D}{H_L}$$

$$\beta = 0.827$$

$$\zeta := \frac{H_L}{R_B} \qquad \zeta = 2.42$$

Systemparameter

Gewicht des Impulsiven Massenanteils (Horizontalbewegung der Flüssigkeit)

$$\text{Faktor}_{\text{imp}} := \frac{\tanh(0.866 \cdot \beta)}{0.866 \cdot \beta} \qquad \text{Faktor}_{\text{imp}} = 0.858$$

$$M_{\text{imp}} := M_L \cdot \text{Faktor}_{\text{imp}} \qquad M_{\text{imp}} = 14414 \text{ kN}$$

Gewicht des Konvektiven Massenanteils (Schwappen)

$$\text{Faktor}_{\text{con}} := 0.23 \cdot \frac{\tanh(3.68 \cdot \alpha)}{\alpha} \qquad \text{Faktor}_{\text{con}} = 0.190$$

$$M_{\text{con}} := M_L \cdot \text{Faktor}_{\text{con}} \qquad M_{\text{con}} = 3195.4 \text{ kN}$$

Angriffshöhe des impulsiven Massenanteils

$$h_{\text{imp}} := \begin{cases} 0.375 \cdot H_L & \text{if } \alpha \leq 0.75 \\ \left(0.5 - \frac{0.09375}{\alpha}\right) \cdot H_L & \text{if } \alpha > 0.75 \end{cases}$$

$$h_{\text{imp}} = 6.08 \text{ m}$$

für das Kippmoment (UK-Bodenplatte) :

$$h_{\text{impstern}} := \begin{cases} \left[\left(\frac{M_L}{M_{\text{imp}}} \cdot 0.5 \right) - 0.125 \right] \cdot H_L & \text{if } \alpha \leq 1.33 \\ 0.45 \cdot H_L & \text{if } \alpha > 1.33 \end{cases}$$

$$h_{\text{impstern}} = 6.58 \text{ m}$$

Vergrößerungsfaktor
für Kippmoment

$$\varepsilon_{\text{imp}} := \frac{h_{\text{impstern}}}{h_{\text{imp}}}$$

$$\varepsilon_{\text{imp}} = 1.084$$

Angriffshöhe des konvektiven Massenanteils

$$h_{\text{con}} := H_L \cdot \left(1 - \frac{\cosh(3.68 \cdot \alpha) - 1}{3.68 \cdot \alpha \cdot \sinh(3.68 \cdot \alpha)} \right) \quad h_{\text{con}} = 11.23 \text{ m}$$

für das Kippmoment (UK-Bodenplatte):

$$h_{\text{constern}} := H_L \cdot \left(1 - \frac{\cosh(3.68 \cdot \alpha) - 2.01}{3.68 \cdot \alpha \cdot \sinh(3.68 \cdot \alpha)} \right) \quad h_{\text{constern}} = 11.30 \text{ m}$$

Vergrößerungsfaktor
für Kippmoment

$$\varepsilon_{\text{con}} := \frac{h_{\text{constern}}}{h_{\text{con}}} \quad \varepsilon_{\text{con}} = 1.007$$

Schwingzeitenbeiwerte

$$C_{\text{imp}} := \frac{1}{(0.46 - 0.3 \cdot \alpha + 0.067 \cdot \alpha^2) \cdot \sqrt{\alpha}} \quad C_{\text{imp}} = 4.66$$

$$C_{\text{con}} := \frac{2 \cdot \pi}{\sqrt{3.68 \cdot \tanh(3.68 \cdot \alpha)}} \quad C_{\text{con}} = 3.28$$

Schwingperioden

$$T_{\text{imp}} := C_{\text{imp}} \cdot \sqrt{\rho \cdot \frac{H_L^2}{\left(\frac{t}{D}\right) \cdot E}} \quad T_{\text{imp}} = 0.1850 \text{ s}$$

$$T_{\text{con}} := C_{\text{con}} \cdot \sqrt{\frac{D}{g}} \quad T_{\text{con}} = 3.609 \text{ s}$$

Die Berechnung des Bemessungswertes der Bodenbeschleunigung a.g und der Bemessungsbeschleunigungen S.d erfolgt in einem gesonderten Rechenblatt: siehe Anhang B1B

In oben erwähntem gesonderten Rechenblatt sind unter "Dynamisches Verhalten"/ "Alternative C" für T.calc folgende Werte (siehe oben) einzusetzen:

$$T_{\text{calc}_1} := T_{\text{imp}}$$

$$T_{\text{calc}_2} := T_{\text{con}}$$

☞ Verweis: C:\user-pra\Buero\Proj\V0941_HDT\seismo\Beispiele\Tank\B1B_10-11-07.xmcd(R)

Bemessungsbeschleunigungen

(nach DIN 4149, 5.4.3 (3), Gl. 6 bis 9)

Hinweis: Statt S_d wird hier die Beschleunigung a_d verwendet, diese enthält bereits den Bedeutungsbeiwert λ

$$a_{d,\text{hor}} := \begin{pmatrix} 1.88 \\ 0.12 \end{pmatrix} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$a_{d,\text{ver}} := \begin{pmatrix} 1.31 \\ 0.04 \end{pmatrix} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$S_{d,\text{imp}} := a_{d,\text{hor}_1}$$

$$S_{d,\text{imp}} = 1.880 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$S_{d,\text{con}} := a_{d,\text{hor}_2} \cdot 1.35$$

$$S_{d,\text{con}} = 0.162 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

(aufgrund der geringen Dämpfung von Wasser wird der konvektive Anteil (Schwappen) um 35% erhöht (Gehrig))

Die vertikale Beschleunigung wird aus den Anteilen der impulsiven und der konvektiven Vertikalbeschleunigung quadratisch überlagert. Dies deckt sich nicht mit dem Verfahren von Gehrig, da dort die Vertikalbeschleunigung ohne dynamische Überhöhung verwendet wird.

$$S_{d,\text{ver}} := \sqrt{(a_{d,\text{ver}_1})^2 + (1.35 \cdot a_{d,\text{ver}_2})^2}$$

$$S_{d,\text{ver}} = 1.31 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Dimensionslose Beschleunigungen

für die horizontale Schwingung: $f_{d,\text{imp}} := \frac{S_{d,\text{imp}}}{g}$

$$f_{d,\text{imp}} = 0.192$$

für das Schwappen $f_{d,\text{con}} := \frac{S_{d,\text{con}}}{g}$

$$f_{d,\text{con}} = 0.017$$

für die Vertikalbeschl. $f_{d,\text{ver}} := \frac{S_{d,\text{ver}}}{g}$

$$f_{d,\text{ver}} = 0.134$$

Momente am Schalenfuß

(Schnitt direkt oberhalb der Bodenplatte = UK Stahlbau)

aus horizontaler Schwingung $MM_{imp} := \left[M_{imp} \cdot h_{imp} + H \cdot \left(G_D + G_{DE} + \frac{G_M}{2} \right) \right] \cdot f_{d,imp}$

$$MM_{imp} = 18769 \text{ kNm}$$

aus Schwappen $MM_{con} := M_{con} \cdot h_{con} \cdot f_{d,con}$

$$MM_{con} = 593 \text{ kNm}$$

Resultierendes Bemessungsmoment am Fuß

$$MM_d := \sqrt{MM_{imp}^2 + MM_{con}^2}$$

$$MM_d = 18778 \text{ kNm}$$

Querkraft am Schalenfuß

(Schnitt direkt oberhalb Bodenplatte = UK Stahlbau)

aus horizontaler Schwingung $V_{imp} := (M_{imp} + G_E) \cdot f_{d,imp}$

$$V_{imp} = 2949 \text{ kN}$$

aus Schwappen $V_{con} := M_{con} \cdot f_{d,con}$

$$V_{con} = 53 \text{ kN}$$

Resultierende Querkraft am Fuß

$$V_d := \sqrt{V_{imp}^2 + V_{con}^2}$$

$$V_d = 2950 \text{ kN}$$

Horizontale Zusatzwanddrücke

Resultierende Linienlasten am Schalenfuß

aus horizontaler Schwingung $q_{imp} := f_{d,imp} \cdot \frac{M_{imp}}{\pi \cdot R_B}$ $q_{imp} = 147.83 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

aus Schwappen $q_{con} := f_{d,con} \cdot \frac{M_{con}}{\pi \cdot R_B}$ $q_{con} = 2.824 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Ersatzdrücke am Schalenfuß

aus horizontaler Schwingung

$$a_{\text{imp}} := \left(\frac{q_{\text{imp}}}{H_L^2} \right) \cdot (4 \cdot H_L - 6 \cdot h_{\text{imp}}) \quad a_{\text{imp}} = 15.058 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

aus Schwappen

$$a_{\text{con}} := \left(\frac{q_{\text{con}}}{H_L^2} \right) \cdot (4 \cdot H_L - 6 \cdot h_{\text{con}}) \quad a_{\text{con}} = -0.134 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Ersatzdrücke am Schalenkopf

(Höhe des ruhenden Flüssigkeitsspiegels)

aus horizontaler Schwingung

$$b_{\text{imp}} := \left(\frac{q_{\text{imp}}}{H_L^2} \right) \cdot (6 \cdot h_{\text{imp}} - 2 \cdot H_L) \quad b_{\text{imp}} = 5.49 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

aus Schwappen

$$b_{\text{con}} := \left(\frac{q_{\text{con}}}{H_L^2} \right) \cdot (6 \cdot h_{\text{con}} - 2 \cdot H_L) \quad b_{\text{con}} = 0.527 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Summe horizontaler Wanddruck am Schalenfuß

$$p_{\text{a.hor}} := \sqrt{a_{\text{imp}}^2 + a_{\text{con}}^2} \quad p_{\text{a.hor}} = 15.059 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Summe horizontaler Wanddruck am Schalenkopf

$$p_{\text{b.hor}} := \sqrt{b_{\text{imp}}^2 + b_{\text{con}}^2} \quad p_{\text{b.hor}} = 5.52 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Zusatzwanddruck am Schalenfuß aus vertikalen Beschleunigungen

$$\Delta p_{\text{a.ver}} := f_{\text{d.ver}} \cdot \gamma \cdot H_L \quad \Delta p_{\text{a.ver}} = 20.2 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Resultierender Wanddruck

am Schalenfuß

$$p_{\text{dyn.a}} := \sqrt{a_{\text{imp}}^2 + a_{\text{con}}^2 + \Delta p_{\text{a.ver}}^2} \quad p_{\text{dyn.a}} = 25.2 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

am Schalenkopf

$$p_{\text{dyn.b}} := \sqrt{b_{\text{imp}}^2 + b_{\text{con}}^2}$$

$$p_{\text{dyn.b}} = 5.52 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Erdbebenlasten nach DIN 4149:2005

Abschnitts- und Gleichungsnummern verweisen auf diese Norm

(Formular Erdbeben_10-01-03.mcd)

Geometrie

Laufvariable für die Richtung im Grundriß

$j := 1..2$

$j = 1$... Längsrichtung, Richtung x

$j = 2$... Querrichtung, Richtung y

Dynamisches Verhalten

Alternative C

Für die weitere Rechnung gewählt:

$$T_{\text{calc}_1} := 0.184\text{s}$$

$$T_{\text{calc}_2} := 3.61\text{s}$$

Geotechnische Einstufung, Bauwerkseigenschaften

Erdbebenzone nach Bild 2

EBZ := 2

Untergrundklasse nach Bild 3

UGK := T

Baugrundklasse nach Abs. 5.2.3

BGK := C

ungünstig kann in C eingestuft werden, aber Achtung
bei locker gelagerten Sanden oder Schluff

Bedeutungsbeiwert aus Tab. 3

Parkhäuser werden in Kategorie II eingestuft mit einem Bedeutungsbeiwert von 1,0.

$\gamma_I := 1.0$

Einwirkung

Bemessungswert der Bodenbeschleunigung

$$a_g := (EBZ + 1) \cdot 0.2 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$a_g = 0.60 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Tabelle 4 — Werte der Parameter zur Beschreibung des elastischen horizontalen Antwortspektrums

Untergrundverhältnisse	S	T_B s	T_C s	T_D s
A-R	1,00	0,05	0,20	2,0
B-R	1,25	0,05	0,25	2,0
C-R	1,50	0,05	0,30	2,0
B-T	1,00	0,1	0,30	2,0
C-T	1,25	0,1	0,40	2,0
C-S	0,75	0,1	0,50	2,0

Tabelle 5 — Werte der Parameter zur Beschreibung des elastischen vertikalen Antwortspektrums

Untergrundverhältnisse	S	T_B s	T_C s	T_D s
A-R	1,00	0,05	0,20	2,0
B-R	1,25	0,05	0,20	2,0
C-R	1,50	0,05	0,20	2,0
B-T	1,00	0,1	0,20	2,0
C-T	1,25	0,1	0,20	2,0
C-S	0,75	0,1	0,20	2,0

bild1

Laufvariable für die Richtung der Einwirkung
 $k = 1$... horizontal (jeweils obere Zeile)
 $k = 2$... vertikal (jeweils untere Zeile)

$$k := 1..2$$

Werte aus Tabellen 4 und 5 abgelesen:

Untergrundparameter

$$S := \begin{pmatrix} 1.25 \\ 1.25 \end{pmatrix}$$

Bereichsgrenzen des Antwortspektrums (Gl. 1, Tab. 4 und 5)

$$T_A := \begin{pmatrix} 0.04 \\ 0.04 \end{pmatrix} \cdot s \quad T_B := \begin{pmatrix} 0.1 \\ 0.1 \end{pmatrix} \cdot s \quad T_C := \begin{pmatrix} 0.4 \\ 0.2 \end{pmatrix} \cdot s \quad T_D := \begin{pmatrix} 2.0 \\ 2.0 \end{pmatrix} \cdot s$$

Bauwerksdämpfung in Prozent
in DIN 4149 wird "5 % viskose Dämpfung" als Standard angesehen
für Stahlschornsteine siehe DIN 4133 Tab. A.4
sonst siehe z.B. Petersen Dynamik Tafel 3.1

$$\xi := 5$$

Dämpfungs-Korrekturbeiwert

$$\eta := \max\left(\sqrt{\frac{10}{5 + \xi}}, 0.55\right)$$

$$\eta = 1.00$$

Verstärkungsbeiwert

$$\beta_0 := 2.5$$

Verhaltensbeiwert
nach Abs. 8.3.3.2 für Beton-, 9.3.3 für Stahl-,
10.2 für Holz- und 11.7.3 für Mauerwerksbauten
Für Holzbauten gilt nach den Duktilitätsklassen:
 $q_{hor} = 1,5 / 2,5 / 4,0$

$$q_{hor} := \begin{pmatrix} 1.0 \\ 1.0 \end{pmatrix}$$

Für Stahl- und Holzbauten ist $q_{ver} = 1,0$
(Abs. 9.3.3.2 bzw. 10.2 (6))

$$q_{ver} := 1.0$$

Vorwerte für die graphische Darstellung des Antwortspektrums

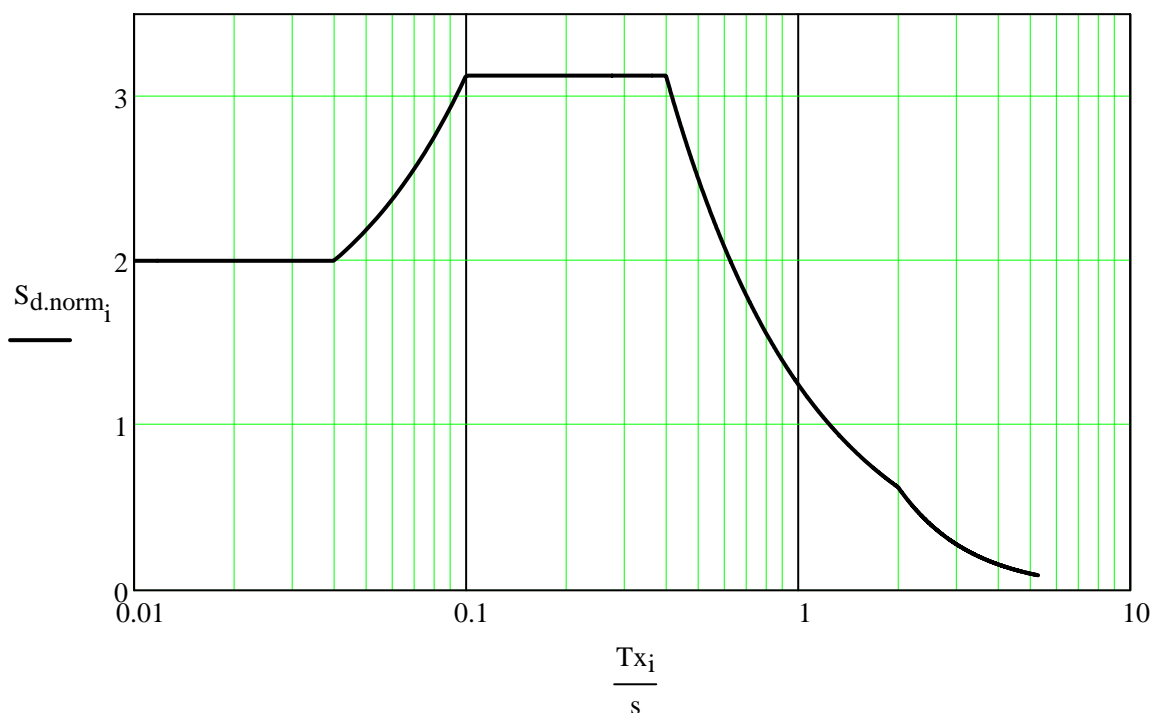
$$\begin{aligned} \text{start} &:= \frac{1}{100} \text{s} & \text{end} &:= T_{\text{calc}_1} \cdot 2 & \text{Npts} &:= 100 & i &:= 1 \dots \text{Npts} \cdot 30 \\ \text{step} &:= \frac{T_{\text{calc}_1} - \text{start}}{\text{Npts} - 1} & \text{Tx}_i &:= \text{start} + \text{step} \cdot (i - 1) \end{aligned}$$

Allgemeine Funktionen für das Bemessungs-Antwortspektrum der Beschleunigungen:
Gleichungen 6-9

$$SD(T, TA, TB, TC, TD, \beta, q) := \begin{cases} 1 + \frac{TA}{TB} \cdot \left(\frac{\beta}{q} - 1 \right) & \text{if } 0 \leq T \leq TA \\ 1 + \frac{T}{TB} \cdot \left(\frac{\beta}{q} - 1 \right) & \text{if } TA < T \leq TB \\ \frac{\beta}{q} & \text{if } TB < T \leq TC \\ \frac{\beta}{q} \cdot \frac{TC}{T} & \text{if } TC < T \leq TD \\ \frac{\beta}{q} \cdot \frac{TC \cdot TD}{T^2} & \text{if } T > TD \end{cases}$$

Mit der Bodenbeschleunigung normiertes Bemessungs-Antwortspektrum
Auswertung mit der Laufvariablen T_x zur graphischen Darstellung - Längsrichtung

$$\begin{aligned} TA &:= T_{A_1} & TB &:= T_{B_1} & TC &:= T_{C_1} & TD &:= T_{D_1} & q &:= q_{hor_1} \\ S_{d, \text{norm}_1} &:= SD\left(\frac{T_{x_i}}{s}, \frac{TA}{s}, \frac{TB}{s}, \frac{TC}{s}, \frac{TD}{s}, \beta_0, q\right) \cdot \gamma_I S_1 \end{aligned}$$



Horizontallasten

Gesamterdbebenkraft (Abs. 6.2.2.2 Gl. 14)

Korrekturfaktor für Gebäude mit mehr als
2 Geschossen und $T_1 \leq 2 \cdot T_c$
 $\lambda = 0,85$, sonst $\lambda = 1,0$

$$\lambda := 1.0$$

Auswertung für die Horizontallasten in beiden Richtungen

$$T_A := T_{A_1} \quad T_B := T_{B_1} \quad T_C := T_{C_1} \quad T_D := T_{D_1}$$

Längsrichtung x: $T := T_{\text{calc}_1}$

$$q := q_{\text{hor}_1}$$

$$S_d := SD\left(\frac{T}{s}, \frac{T_A}{s}, \frac{T_B}{s}, \frac{T_C}{s}, \frac{T_D}{s}, \beta_0, q\right)$$

$$S_{d,\text{norm.hor}_1} := S_d \cdot \gamma_I \cdot S_1$$

Querrichtung y: $T := T_{\text{calc}_2}$

$$q := q_{\text{hor}_2}$$

$$S_d := SD\left(\frac{T}{s}, \frac{T_A}{s}, \frac{T_B}{s}, \frac{T_C}{s}, \frac{T_D}{s}, \beta_0, q\right)$$

$$S_{d,\text{norm.hor}_2} := S_d \cdot \gamma_I \cdot S_1$$

Normierte Beschleunigung:

$$S_{d,\text{norm.hor}} = \begin{pmatrix} 3.13 \\ 0.19 \end{pmatrix}$$

Effektive Beschleunigung: $a_{hor_j} := S_{d,norm,hor_j} \cdot a_g \cdot \lambda$ $a_{hor} = \begin{pmatrix} 1.88 \\ 0.12 \end{pmatrix} \frac{m}{s^2}$

Vertikallasten

Gesamterdbebenkraft (Abs. 6.2.2.2 Gl. 14)

Auswertung für die Vertikallasten zu beiden Richtungen

$T_A := T_{A_2}$ $T_B := T_{B_2}$ $T_C := T_{C_2}$ $T_D := T_{D_2}$ $q := q_{ver}$

Längsrichtung x: $T := T_{calc_1}$

$$S_d := SD\left(\frac{T}{s}, \frac{T_A}{s}, \frac{T_B}{s}, \frac{T_C}{s}, \frac{T_D}{s}, \beta_0, q\right)$$

$$S_{d,norm,ver_1} := S_d \cdot \gamma_I \cdot S_2$$

Querrichtung y: $T := T_{calc_2}$

$$S_d := SD\left(\frac{T}{s}, \frac{T_A}{s}, \frac{T_B}{s}, \frac{T_C}{s}, \frac{T_D}{s}, \beta_0, q\right)$$

$$S_{d,norm,ver_2} := S_d \cdot \gamma_I \cdot S_2$$

Normierte Beschleunigung:

$$S_{d,norm,ver} = \begin{pmatrix} 3.13 \\ 0.10 \end{pmatrix}$$

Effektive Vertikalbeschleunigung (Abs. 5.4.1 (4))

$$a_{ver_j} := S_{d,norm,ver_j} \cdot 0.7 a_g \cdot \lambda$$

$$a_{ver} = \begin{pmatrix} 1.31 \\ 0.04 \end{pmatrix} \frac{m}{s^2}$$