Untersuchung zu wirbelerregten Querschwingungen nach DIN EN 1991-1-4:2010-12

Athanasios Gakis, M.Sc., Team-Ing GS (www.team-ing-gs.de)

1. Kriterien wirbelerregten Querschwingungen

Nach Anhang E [DIN EN 1991-1-4:2010-12] muss untersucht werden und nachgewiesen der Fall Wirblerregte Querschwingungen. Wirbelinduzierte Querschwingungen brauchen nicht untersucht werden, wenn:

$$v_{crit,i} > 1{,}25 \cdot v_m \qquad \text{(E.1)}$$

Dabei ist

$v_{crit,i}$ die kritische Windgeschwindigkeit gemäß E.1.3.1 für die i. Eigenform

v_m die mittlere 10-Minuten Windgeschwindigkeit nach 4.3.1 (1) am Qurschnittsbereich, an dem Wirbelerregung auftritt (siehe Bild E.3)

In diesem Fall sind:

$v_{b,0} = 22{,}5\ \mathrm{m/sec}$ (WZ 1)

$$v_m = 1{,}18 \cdot v_{b,0} \cdot \left(\frac{h}{10}\right)^{0{,}12} = 1{,}18 \cdot 22{,}5\ \mathrm{m/sec} \cdot \left(\frac{90\mathrm{m}}{10\mathrm{m}}\right)^{0{,}12} = 34{,}6\ \mathrm{m/sec}$$

1.1 Bestimmung der kritischen Windgeschwindigkeit

Querschnittsabmessungen:

b = 3,50 m

d = 2,50 m

Bestimmung der Stroutonzahl[1] nach Bild 1.

d / b = 2,50 / 3,50 = 0,714

---

[1] Die **Strouhalzahl** ist proportional zur Ablösefrequenz der Wirbel und der charakteristischen Länge (in diesem Fall die Breite des Hindernisses oder des Nachlaufs) und umgekehrt proportional zur Anströmgeschwindigkeit. Wie alle Kennzahlen ist sie dimensionslos.

Strouhalzahl nach Bild 1, St = 0,12

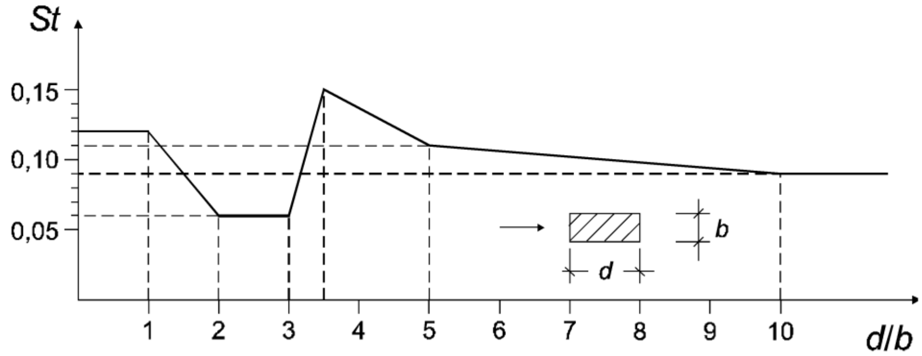

Bild 1: Strouhalzahl (St) für Rechteckquerschnitte mit scharfen Kanten

Bestimmung der 1. Eigenfrequenz für Schwingungen quer zur Windrichtung:

Die 1. Eigenfrequenz für vertikale Schwingungen wird mit dem Programm Dlubal RFEM bestimmt. Für den Eishubzustand mit maximalem Kragarm über Pfeilerachse 1 der Wert beträgt:

$\mathrm{n_{i,y}} = 0{,}57\ \mathrm{Hz}$

Bestimmung der kritischen Windgeschwindigkeit:

$\mathrm{v_{crit,i}} = \frac{\mathrm{b \cdot n_{i,y}}}{\mathrm{St}} = \frac{3{,}50 \cdot 0{,}57}{0{,}120} = 16{,}625\ \mathrm{m/sec}$

1.2 Nachweis Kriterium wirbelerregter Querschwingungen

Nach E.1.2 [DIN EN 1991-1-4:2010-12], wirbelerregten Querschwingungen brauchen nicht untersucht werden, wenn:

$$\mathrm{v_{crit,i}} > 1{,}25 \cdot \mathrm{v_m}$$

$$16{,}625\ \mathrm{m/sec} \not> 1{,}25 \cdot 22{,}5\ \mathrm{m/\,sec} = 28{,}125\ \mathrm{m/sec}$$

Das heißt in diesem Fall wirbelerregten Querschwingungen brauchen untersucht zu werden.

Äquivalente Masse nach Abschnitt F.4:

Die äquivalente Masse wird nach Absatz (2) für auskragende Tragwerke mit veränderlicher Massenverteilung näherungsweise mit dem Mittelwert der Massenverteilung im vorderen Drittel des Kragarms (inkl. 15m Vorbauschnabel) abgeschätzt.

L = $\frac{1}{3} \cdot l_i$ = $\frac{1}{3} \cdot 80\mathrm{m} = 27\mathrm{m}$

$\mathrm{m_e} = 2730\ \mathrm{kg/m}$ (auf einen Hohlkasten)

Scrutonzahl (auch Massendämpfungsparameter genannt), nach E.1.3.3, E.4

$$\mathrm{Sc} = \frac{2 \cdot \delta \cdot \mathrm{m_e}}{\rho \cdot \mathrm{b}^2}$$

Das logarithmische Dämfungsdekrement nach F.5 [DIN EN 1991-1-4:2010-12]

Das logarithmische Dämfungsdekrement δ_s für die Grundeigenform kann mittles Gleichnug (F.15) abgeschätzt werden.

$$\delta = \delta_s + \delta_a + \delta_d \qquad \text{(F.15)}$$

Dabei ist:

δ_s das logarithmische Dämfungsdekrement der Struktur

δ_a das logarithmische Dekrement der aerodynamischen Dämpfung für die Grundeigenform

δ_d das logarithmische Dekrement der Dämpfung infolge besonderer Maßnahmen (Schwingungsdämfer, Flüssigkeitsdämfer)

Bild 2 zeigt näherungswerte für das logarithmische Dämpfungsdekrement δ_s

Das logarithmische Dekrement der aerodynamischen Dämpfung $\delta_a$für Schwingungen in windrichtung kann mittles folgener Gleichung bestimmt werden (F.16):

$$\delta_a = \frac{\mathrm{c_f} \cdot \rho \cdot \mathrm{v_m}\,(\mathrm{z_s})}{2 \cdot \mathrm{n_1} \cdot \mu_e}$$

Dabei sind:

$\mathrm{c_f}$ der Kraftbeiwert in windrichtung wie in Abschnitt 7 bezeichnet

μ_e die äquivalente Masse je Flächeneinheit des Bauwerks, für rechteckige Fläche kann die Gleichung F.17 benuztz werden.

Bauwerkstyp		Bauwerksdämpfung δ_s
Gebäude in Stahlbetonbauweise		0,10
Gebäude in Stahlbauweise		0,05
Gebäude in gemischter Bauweise (Stahl und Beton)		0,08
Türme und Schornsteine aus Stahlbeton		0,03
geschweißte Stahlschornsteine ohne außenliegende Wärmedämmung		0,012
geschweißte Stahlschornsteine mit außenliegender Wärmedämmung		0,020
Stahlschornsteine mit einem Innenrohr und mit außenliegender Wärmedämmung [a]	$h/b < 18$	0,020
	$20 \leq h/b < 24$	0,040
	$h/b \geq 26$	0,014
Stahlschornsteine mit zwei oder mehr Innenrohren und mit außenliegender Wärmedämmung [a]	$h/b < 18$	0,020
	$20 \leq h/b < 24$	0,040
	$h/b \geq 26$	0,025
Stahlschornsteine mit innenliegender Mauerwerksschale		0,070
Stahlschornsteine mit innenliegender Spritzbetonschale		0,030
gekoppelte einschalige Stahlschornsteine		0,015
abgespannte einschalige Stahlschornsteine		0,04
Stahlbrücken und Türme in Stahlfachwerkbauweise	geschweißt	0,02
	Vorgespannte Schrauben	0,03
	rohe Schrauben	0,05
Verbundbrücken		0,04
Massivbrücken	vorgespannt ohne Risse	0,04
	mit Rissen	0,10
Holzbrücken		0,06 bis 0,12
Brücken aus Aluminiumlegierungen		0,02
Brücken, (glas-) faserverstärkt		0,04 bis 0,08
Seile	Paralleldrahtbündel	0,006
	spiralförmig angeordnete Drähte	0,020

[AC] ANMERKUNG [AC] Die Werte für Holz und Kunststoffverbundbauweisen sind nur Hinweise; Wenn die aerodynamischen Einwirkungen für die Bemessung signifikant sind, sind exaktere Schwingungsformen in Sonderuntersuchungen zu bestimmen.

[AC] gestrichener Text [AC]

[a] Bei Zwischenwerten h/b darf linear interpoliert werden

Bild 2: Näherungswerte für das logarithmische Dämpfungsdekrement δ_s von Bauwerken für die Grundschwingungsform

In den meisten Fällen sind die modalen Auslenkungen Φ(x,y) konstant für jeden Höhenpunkt z und statt die folgende Gleichung (F.16), kann Gleichung F.18 verwendet werden:

$$\delta_a = \frac{c_f \cdot \rho \cdot b \cdot v_m\,(z_s)}{2 \cdot n_1 \cdot m_e}$$

$$= \frac{2{,}40 \cdot 1{,}25 \cdot 3{,}5 \cdot 22{,}5}{2 \cdot 0{,}57 \cdot 2730}$$

$$\Rightarrow \delta_a = 0{,}076$$

Das logarithmische Dämfungsdekrement $\delta_s$ist insgesamt:

$$\delta = \delta_s + \delta_a + \delta_d = 0{,}02 + 0{,}076 + 0{,}00 = 0{,}096$$

Scrutonzahl (auch Massendämpfungsparameter genannt), nach E.1.3.3, E.4

$$Sc = \frac{2 \cdot \delta \cdot m_e}{\rho \cdot b^2}$$

$$Sc = \frac{2 \cdot 0{,}096 \cdot 2730}{1{,}25 \cdot 3{,}5^2}$$

$$\Rightarrow Sc = 34{,}23$$

Querschwingungsamplitude nach Gleichung E.7:

$$\frac{y_{F,max}}{b} = \frac{1}{St^2} \cdot \frac{1}{Sc} \cdot K \cdot K_{w} \cdot c_{lat}$$

$$= \frac{y_{F,max}}{3{,}50} = \frac{1}{0{,}120^2} \cdot \frac{1}{34{,}23} \cdot 0{,}13 \cdot 0{,}89 \,.\, 1{,}10$$

$$\Rightarrow y_{F,max} = 0{,}90m$$