


Stahlbetontheorie - Ermüdungs- / Schwingnachweis

Seite aktualisiert Mai 2010

zur Auswahl der Hintergrundinformationen Infos auf dieser Seite als pdf 

Die Eurocode-nahen Normen DIN 1045-1, DIN-Fb 102, ÖN B 4700 und EC 2 sind bis auf wenige Unterschiede identisch. Im Folgenden wird sich auf DIN 1045-1 bezogen, Unterschiede zum DIN-Fachbericht, zur ÖN B 4700 und zum EC 2 sind besonders gekennzeichnet.

Eine Zusammenstellung der korrespondierenden Kapitel, Gleichungen und Tabellen ist hier zu finden. 

Anmerkungen zur DIN 1045-1 Die neueste Ausgabe der Norm (August 2008) kann in den *pcae*-Programmen zur Bemessung herangezogen werden.

Unterschiede gegenüber der Ausgabe Juli 2001 sind besonders gekennzeichnet.

Anmerkungen zum Eurocode Die Eurocode-Normen sind nur in Verbindung mit ihren **nationalen Anhängen** gültig, welche für eine Auswahl an Parametern nationale Festlegungen treffen.

Im Folgenden wird sich nur auf den Original-Code bezogen.

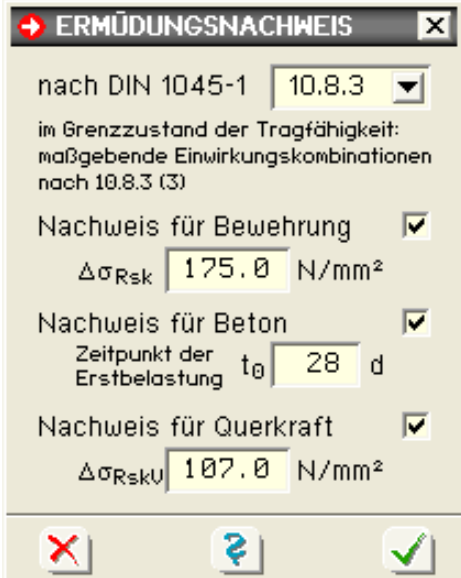
Der Ermüdungsnachweis ist in der ÖN B 4700 nicht geregelt und wird daher auch nicht unterstützt.

Tragende Bauteile, die einer hohen Anzahl von Lastwechseln unterworfen sind (nicht ruhende Belastung), können infolge Ermüdung versagen, auch wenn die Beanspruchung die für die statischen Nachweise (ruhende Belastung) maßgebenden Materialfestigkeiten nicht erreicht.

Für Tragwerke des üblichen Hochbaus braucht i. A. kein Nachweis gegen Ermüdung geführt werden.

• DIN 1045-1, 10.8

Der Ermüdungsnachweis ist i.A. für den Beton und Betonstahl unter Biegung, Längs- und Querkraft zu führen.



ERMÜDUNGSNACHWEIS

nach DIN 1045-1 **10.8.3**

im Grenzzustand der Tragfähigkeit:
maßgebende Einwirkungskombinationen
nach 10.8.3 (3)

Nachweis für Bewehrung

$\Delta\sigma_{Rsk}$ **175.0** N/mm²

Nachweis für Beton

Zeitpunkt der
Erstbelastung t_0 **28** d

Nachweis für Querkraft

$\Delta\sigma_{RskV}$ **107.0** N/mm²




  

Abbildung: Eigenschaftsblatt aus 4H-BETON

In *pcae*-Programmen werden - je nach Ausbaustufe - folgende Nachweisverfahren angeboten

- 10.8.3: Nachweis über schädigungsäquivalente Schwingbreiten (Stufe 2, Grenzzustand der Tragfähigkeit)
- 10.8.4: Vereinfachter Nachweis (Stufe 1, Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit), incl. Nachweis für Querkraft

Bei beiden Verfahren erfolgt der Nachweis zunächst für die Bewehrung (Eingabe der Spannungsschwingbreite zu $\Delta\sigma$). Dazu wird der vorhandene Bewehrungsquerschnitt solange iterativ erhöht bis für jede Bewehrungsgruppe die zulässige Schwingbreite eingehalten ist.

Anschließend wird überprüft, ob der Beton unter Druckbeanspruchung trägt (Eingabe des Zeitpunkts der Erstbelastung des Betons t_0).

Falls der Nachweis für Beton nicht erfüllt ist, erfolgt keine weitere Bewehrungserhöhung, sondern es wird eine Fehlermeldung ausgegeben.

Für den Nachweis sind zwei Schnittgrößenkombinationen der maßgebenden ermüdungswirksamen Einwirkungskombination im Lasteingenschaftsblatt vorzugeben.

Ist ein Wert (entweder $\Delta\sigma_s$ oder t_0) mit Null eingegeben, wird der Nachweis für diese Materialgruppe nicht geführt.

Die Spannungen werden auf Gebrauchslastniveau $\gamma_c = \gamma_s = 1$ mit den gewählten Spannungsdehnungslinien (s. **Materialeigenschaften**) ermittelt.

• Nachweis nach Abschnitt 10.8.4 (Stufe 1, GZG)

Der vereinfachte Nachweis ist mit der häufigen Einwirkungskombination im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG) zu führen.

Bewehrung

$$\Delta\sigma_s \leq \text{zul } \Delta\sigma_s \quad \dots \text{ mit } \dots \text{ zul } \Delta\sigma_s = 70 \text{ N/mm}^2$$

gilt auch für die Querkraftbewehrung (s. Querkraftbemessung) mit

$$\tan\Theta_{\text{fat}} = \sqrt{\tan\Theta} \quad \dots \text{ für } \dots \tan\Theta < 1 \quad \dots \text{ und } \dots \tan\Theta_{\text{fat}} = \tan\Theta \quad \dots \text{ für } \dots \tan\Theta > 1$$

Beton

$$\frac{|\sigma_{\text{cd,max}}|}{f_{\text{cd,fat}}} \leq 0,5 + 0,45 \cdot \frac{|\sigma_{\text{cd,min}}|}{f_{\text{cd,fat}}} \quad \left\{ \begin{array}{l} \leq 0,9 \dots \text{ bis C50/60 } \dots \text{ oder LC50/55} \\ \leq 0,8 \dots \text{ ab C55/67 } \dots \text{ oder LC55/60} \end{array} \right\} \quad \dots \text{ mit } \dots$$

$$f_{\text{cd,fat}} = \beta_{\text{cc}}(t_0) \cdot f_{\text{cd}} \cdot \left(1 - \frac{f_{\text{ck}}}{250}\right)$$

f_{ck} charakteristische Zylinderdruckfestigkeit des Betons nach 28 Tagen

$\sigma_{\text{cd,max}}$ Bemessungswert der maximalen Druckspannung

$\sigma_{\text{cd,min}} < 0$ Bemessungswert der minimalen Druckspannung am Ort von $\sigma_{\text{cd,max}}$

$\beta_{\text{cc}}(t_0) = e^{0,2 \cdot (1 - \sqrt{28/t_0})}$ Beiwert für die Nacherhärtung

t_0 Zeitpunkt der Erstbelastung des Betons in Tagen

Gilt auch für die Druckstreben von querkraftbeanspruchten Bauteilen mit Querkraftbewehrung, wobei

$$f_{\text{cd,fat,V}} = \alpha_c \cdot f_{\text{cd,fat}} \quad \dots \text{ mit } \dots \alpha_c = 0,75 \cdot \eta_1$$

Bauteile ohne Querkraftbewehrung

$$\text{... wenn } \frac{V_{Ed,min}}{V_{Ed,max}} \geq 0,0 \text{ ... } \frac{|V_{Ed,max}|}{|V_{Rd,ct}|} \leq 0,5 + 0,45 \cdot \frac{|V_{Ed,min}|}{|V_{Rd,ct}|} \left\{ \begin{array}{l} \leq 0,9 \text{ ... bis C50/60 ... oder LC50/55} \\ \leq 0,8 \text{ ... ab C55/67 ... oder LC55/60} \end{array} \right.$$

$$\text{... wenn } \frac{V_{Ed,min}}{V_{Ed,max}} < 0,0 \text{ ... } \frac{|V_{Ed,max}|}{|V_{Rd,ct}|} \leq 0,5 - \frac{|V_{Ed,min}|}{|V_{Rd,ct}|}$$

$V_{Ed,max}$ Bemessungswert der maximalen Querkraft

$V_{Ed,min}$ minimalen Querkraft am Ort von $V_{Ed,max}$

$V_{Rd,ct}$ aufnehmbaren Querkraft (s. Querkraftbemessung)

• Nachweis nach Abschnitt 10.8.3 (Stufe 2, GZT)

Falls der vereinfachte Nachweis versagt, kann anstelle eines expliziten Betriebsfestigkeitsnachweises der Nachweis gegen Ermüdung über schädigungsäquivalente Spannungsschwingbreiten für die Bewehrung und schädigungsäquivalente Druckspannungen für den Beton geführt werden.

Im allgemeinen Hochbau sind nach 10.8.3(3) die folgenden Einwirkungskombinationen zu berücksichtigen:

- ständige Einwirkungen,
- wahrscheinlicher Wert der Setzungen, sofern ungünstig wirkend,
- häufiger Wert der Temperatureinwirkung, sofern ungünstig wirkend,
- Einwirkungen aus Nutzlasten.



Ständige Lasten, Setzungen und Temperatureinwirkungen verändern i. A. nicht die Spannungsschwingbreiten, sondern beeinflussen lediglich das Nachweisniveau.

Soll dagegen ein Industriebauwerk erstellt werden, ist natürlich die maßgebende ermüdungswirksame Einwirkung (z.B. aus Kranbahn- oder Gabelstaplerbelastung) zusätzlich anzusetzen.

Bewehrung

$$\gamma_{F,fat} \cdot \gamma_{Ed,fat} \cdot \Delta\sigma_{s,equ} \leq \Delta\sigma_{Rsk}(N^*) / \gamma_{s,fat} \text{ ... mit ...}$$

$$\gamma_{F,fat} = \gamma_{Ed,fat} = 1,0$$

$$\gamma_{s,fat} = \gamma_s$$

$\Delta\sigma_{Rsk}(N^*)$ Spannungsschwingbreite für N^* Lastzyklen

DIN 1045-1 (7.01)

$$\text{... für } N^* = 10^6 \text{ ... } \Delta\sigma_{Rsk} = \xi_I \cdot \xi \cdot 195 \text{ N/mm}^2 \text{ (gerade und gebogene Stäbe)}$$

$$\text{... für } N^* = 10^7 \text{ ... } \Delta\sigma_{Rsk} = \xi_I \cdot 58 \text{ N/mm}^2 \text{ (geschweißte Stäbe einschl. Heft- und Stumpfstoßverbindungen)}$$

$$\xi = 0,35 + 0,026 \cdot d_{br} / d_s \leq 1,0$$

d_{br} Biegerollendurchmesser

d_s Stabdurchmesser

$$\xi_I = 1,0 \text{ ... für } d_s \leq 28 \text{ mm ... und ... } \xi_I = 0,8 \text{ ... für } d_s > 28 \text{ mm}$$

DIN 1045-1 (8.08)

... für ... $N^* = 10^6$... $\Delta\sigma_{Rsk} = \xi_I \cdot 175 \text{ N/mm}^2$ (gerade und gebogene Stäbe)

$$\xi_I = 0.35 + 0.026 \cdot d_{br}/d_s \leq 1.0$$

d_{br} Biegerollendurchmesser

d_s Stabdurchmesser

... für Stäbe mit ... $d_s > 28 \text{ mm}$... $\Delta\sigma_{Rsk} = 145 \text{ N/mm}^2$ (nur hochduktile Betonstähle)

... für ... $N^* = 10^6$... $\Delta\sigma_{Rsk} = 85 \text{ N/mm}^2$ (geschweißte Stäbe und Betonstahlmatten
einschl. Heft- und Stumpfstoßverbindungen)

$\Delta\sigma_{s, equ}$ schädigungsäquivalente Spannungsschwingbreite (i. A. $\Delta\sigma_{s, equ} = \max \Delta\sigma_s$)

$\max \Delta\sigma_s$ maximale Spannungsamplitude

Beton

$$E_{cd, max, equ} = \frac{|\sigma_{cd, max, equ}|}{f_{cd, fat}} \quad \dots \text{ mit } \dots$$

$$E_{cd, max, equ} + 0.43 \cdot \sqrt{1 - R_{equ}} \leq 1.0$$

$$R_{equ} = \frac{\sigma_{cd, min, equ}}{\sigma_{cd, max, equ}}$$

$\sigma_{cd, max, equ} \cdot \sigma_{cd, min, equ}$ obere bzw. untere Spannung der schädigungsäquivalenten Spannungsschwingbreite

• DIN 1045, 17.8

Der Schwingnachweis ist nur für den Betonstahl zu führen.

Abbildung: Eigenschaftsblatt aus 4H-BETON

Schwingbreite $\Delta\sigma$ N/mm²
DIN 1045, 17.8

Die Spannungsdifferenz aus Ober- und Unterlast

$$\Delta\sigma_s = \sigma_{s0} - \sigma_{su}$$

darf die eingegebene Schwingbreite zu $\Delta\sigma_s$ nicht überschreiten.

Die Spannungen werden mit dem Parabel-Rechteck-Diagramm für Beton und der bilinearen Spannungsdehnungslinie für die Bewehrung ermittelt (s. [Materialeigenschaften](#)).

Der Schwingbreitennachweis wird folgendermaßen durchgeführt:

der vorhandene Bewehrungsquerschnitt wird iterativ erhöht bis die zulässige Schwingbreite eingehalten ist.

Kann keine Lösung gefunden werden, wird eine Fehlermeldung ausgegeben.

• Literatur

