

Anhang D (normativ)

Verfahren zur Berechnung der Spannungen für Metall-Rolltore und Feuerschutzvorhänge

Die allgemeine Methodik zur Überprüfung der vorgeschlagenen Vorgaben basiert auf anerkannten ingenieurtechnischen Grundsätzen für die Berechnung von Spannungen und/oder Dehnbeanspruchungen.

Die Werte für Werkstoffeigenschaften, wie zum Beispiel den Elastizitätsmodul (E-Modul), sind bei S_a -Klassifizierung für Raumtemperatur oder bei S_{200} -Klassifizierung für 200 °C dem Werkstoffdatenblatt des Herstellers oder allgemeinen Quellen wie EN 1993-1-2 zu entnehmen.

ANMERKUNG Für eine Erläuterung der in diesen Berechnungen verwendeten Begriffe wird auf die Bilder A.135 und A.136 verwiesen.

Die Spannung in den verschiedenen tragenden Bauteilen des geprüften Rolltores bzw. Feuerschutzvorhangs einschließlich der Befestigungen kann unter Anwendung der grundlegenden ingenieurtechnischen Methodik, die in den in Anhang E angegebenen Beispielen dargestellt ist, wie jeweils zutreffend berechnet werden. Alternativ dürfen allgemein anerkannte Spannungsberechnungsverfahren wie z. B. numerische Verfahren wie die Finite-Elemente-Methode angewendet werden. Die berechneten Spannungen in den geprüften Bauteilen sind als Spannungsgrenzwerte für die gleichen Bauteile in allen Bemessungsberechnungen, die für dieselbe Parameteränderung durchgeführt werden, einzusetzen.

Anhang E (informativ)

Beispiele für Spannungsberechnungen für lasttragende Bauteile von Metall-Rolltoren und Feuerschutzvorhängen

E.1 Berechnungen für die Welle

Mittels Berechnung des Flächenträgheitsmoments (I_B) und des Widerstandsmoments (Z_B) der Welle kann die Biegespannung der Welle (σ_B) unter Annahme freier Durchbiegung berechnet werden.

$$\text{Masse des Torblatts} \quad (W_L) = \left[\left(\frac{\pi D_B \times L_L}{2} \right) + (L_L \times h_{SA}) \right] \times [\rho_L] \quad (\text{kg})$$

Dabei ist

D_B der Außendurchmesser der Welle (m);

L_L die Profillänge (Stablänge) (m);

h_{SA} die Höhe der Rolltor-/Feuerschutzvorhang-Öffnung (m);

ρ_L die flächenbezogene Masse des Profils (kg/m^2).

$$\text{Gewicht der Wellenbaugruppe} \quad (W_{BA})(N) = [(W_B + W_L) \times (9,81)]$$

Dabei ist

W_B die Masse der der Welle einschließlich Federn, Zapfen, Rohrmotor usw. (kg);

W_L die Gesamtmasse des Rollpanzers/Behangs einschließlich Unterschiene (kg).

$$\text{Flächenträgheitsmoment der Welle} \quad (I_B) = \left[\left(\frac{\pi D_B^4}{64} \right) - \left(\frac{\pi (D_B - 2t_B)^4}{64} \right) \right] \quad (\text{mm}^4)$$

Dabei ist

D_B der Außendurchmesser der Welle (mm);

t_B die Wanddicke der Welle (mm).

$$\text{Widerstandsmoment der Welle} \quad (Z_B) = \left[\frac{I_B}{D_B/2} \right] \quad (\text{mm}^3)$$

Dabei ist

I_B das Flächenträgheitsmoment der Welle (mm^4);

D_B der Außendurchmesser der Welle (mm).

$$\text{Wellenspannung } (\sigma_B) = \left[\frac{W_{BA} \times L_B}{8 \times Z_B} \right] \quad (\text{N/mm}^2)$$

Dabei ist

W_{BA} das Gewicht der Wellenbaugruppe (N);

L_B die Länge der Welle (mm);

Z_B das Widerstandsmoment der Welle (mm³).

Durch Ersetzen des Elastizitätsmoduls durch den Verformungsfaktor (E_B) ist es möglich, einen Wert für die theoretische Wellendurchbiegung zu berechnen.

$$\text{Freie Durchbiegung der Welle } (d_B) = \left[\left(\frac{5}{384} \right) \times \left(\frac{W_{BA} \times L_B^3}{E_B \times I_B} \right) \right] \quad (\text{mm})$$

Dabei ist

W_{BA} das Gewicht der Wellenbaugruppe (N);

L_B die Länge der Welle (mm);

E_B der Verformungsfaktor der Welle (N/mm²);

I_B das Flächenträgheitsmoment der Welle (mm⁴).

E.2 Berechnungen der Unterstützungsbügel für die Welle

Unterstützungsbügel sind möglicherweise notwendig, um Auswirkungen einer Wellendurchbiegung unter Prüfbedingungen zu begrenzen, zum Beispiel:

- a) für Metallrolltore bzw. Feuerschutzvorhänge ohne Rollkästen, wenn die berechnete Wellendurchbiegung zu einer Verringerung des Abstands zwischen der Wellenunterseite und der Sturzunterkante führt und dadurch dieser kleiner als der am Ende der Klassifizierungszeit beobachtete Abstand wird;
- b) für Metallrolltore bzw. Feuerschutzvorhänge mit Rollkästen, wenn die berechnete Wellendurchbiegung den Abstand zwischen der Wellenunterseite und der unteren Seite des Rollkastens überschreitet.

Die Methodik zur Berechnung der Wellenunterstützungsbügel nutzt den allgemeinen Grundsatz eines im Gleichgewicht befindlichen Systems, in dem die theoretische Wellendurchbiegung durch Unterstützung der Welle mittels eines oder mehrerer Wellenunterstützungsbügel auf ein annehmbares Niveau verringert wird.

Wenn Wellenunterstützungsbügel nur an einer Stelle eingesetzt werden, müssen die Unterstüzungsbügel an dieser Stelle in der Lage sein, mindestens 62,5 % des Gewichts der Wellenbaugruppe zu tragen. Werden Wellenunterstützungsbügel an zwei Stellen eingesetzt, müssen die Unterstüzungsbügel an jeder der Stellen mindestens 31,25 % des Gewichts der Wellenbaugruppe tragen können.

Die nachfolgenden Gleichungen berechnen die Höchstbelastung, die von einer gegebenen Anzahl Bügel aufgefangen werden kann. $W_r 1$ ist die theoretische Höchstlast, die getragen werden kann, $W_r 2$ ist das Eigengewicht des Bügels und $W_r 3$ ist die durch den Rollkasten aufgebrachte Last. Die maximale Gesamtlast, die folglich aufgefangen werden kann, ist $W_r \text{ Total}$. Es sollte beachtet werden, dass Bügel nicht an mehr als

zwei Stellen platziert werden dürfen. Wenn ein einziger Bügel erforderlich ist, muss dieser an der Stelle der größten Durchbiegung angeordnet werden. Sind an zwei Stellen Bügel erforderlich, dann darf ihr Abstand voneinander höchstens 20 % der Länge der Welle betragen, und sie müssen von der Stelle der größten Durchbiegung jeweils gleich weit entfernt sein.

Beanspruchung der Wellenunterstützung:

$$\text{Wr 1 (Tragfähigkeit des Bügels)} = \left[\frac{I_{\text{SB}} \times \sigma_{\text{SB}} \times n}{a \times y} \right] \quad (\text{N})$$

Dabei ist

I_{SB} das Flächenträgheitsmoment des Unterstützungsbügels (mm^4);

σ_{SB} die maximale Spannung im Unterstützungsbügel (N/mm^2);

n die Anzahl der Unterstützungsbügel;

a der Abstand zwischen der Mittellinie der Welle und dem Rücken des Wellenunterstützungsbügels (mm);

y der Abstand zwischen dem Schwerpunkt der Wellenunterstützung und der Stelle mit der höchsten Spannung (mm).

$$\text{Wr 2 (Bügel)} = \left[\frac{b \times A_{\text{SB}} \times 7,85 \times g \times n}{10^6} \right] \quad (\text{N})$$

Dabei ist

b die Länge der Wellenunterstützung (mm);

A_{SB} die Querschnittsfläche des Unterstützungsbügels (mm^2);

n die Anzahl der Unterstützungsbügel;

$g = 9,81 \text{ (ms}^{-2}\text{)}$.

$$\text{Wr 3 (Rollkasten)} = \left[\frac{t_{\text{CH}} \times L_{\text{CH}} \times b \times 7,85 \times g}{10^6} \right] \quad (\text{N})$$

Dabei ist

t_{CH} die Rollkastendicke (mm);

L_{CH} die Rollkastenlänge (mm);

b die Rollkasten-Sturzlänge (mm);

$g = 9,81 \text{ (ms}^{-2}\text{)}$;

$\text{Wr}_{\text{Total}} = \text{Wr 1} - \text{Wr 2} - \text{Wr 3 (N)}$.

„Wr_{Total}“ ist gleich 0, wenn keine Unterstützungen erforderlich sind. Wenn Unterstützungen erforderlich sind, entspricht „Wr_{Total}“ der Summe aus Wr 1, Wr 2 und Wr 3.

Wenn Wellenunterstützungsbügel erforderlich sind, muss Folgendes gelten:

$$Wr_{\text{Total}} \geq (W_{\text{BA}} \times 0,625)/n$$

Dabei ist

W_{BA} das Gewicht der Wellenbaugruppe (N);

n die Anzahl der Wellenunterstützungsbügel.

E.3 Berechnungen für Wellenzapfen

Die resultierende Last auf jeden Zapfen wird wie folgt berechnet:

$$\text{Widerstandsmoment des Zapfens } (Z_A) = \left[\frac{D_A^3 \times \pi}{32} \right] \quad (\text{mm}^3)$$

Dabei ist

D_A der Zapfendurchmesser (mm).

Daraus kann die resultierende Biege- und Scherspannung in dem vorgeschlagenen Zapfen berechnet werden.

$$\text{Biegespannung im Zapfen } (\sigma_{A1}) = \left[\frac{(W_A + (g \times W_{\text{AL}})) \times L_A}{Z_A} \right] \quad (\text{N/mm}^2)$$

Dabei ist

W_A 50 % des Gewichts der Wellenbaugruppe (N);

W_{AL} die Masse des Antriebs (kg);

L_A die Zapfenlänge (mm);

Z_A das Widerstandsmoment des Zapfens (mm³);

$g = 9,81 \text{ (ms}^{-2}\text{)}.$

$$\text{Scherspannung im Zapfen } (\sigma_{A2}) = \left[\frac{4 \times (W_A + (g \times W_{\text{AL}}))}{D_A^2 \times \pi} \right] \quad (\text{N/mm}^2)$$

Dabei ist

W_A 50 % des Gewichts der Wellenbaugruppe (N);

W_{AL} die Masse des Antriebs (kg);

D_A der Zapfendurchmesser (mm).

Wegen der Wärmedehnung und der Durchbiegung der Welle muss die Ausführung des Zapfenlagers ausreichend Spiel für die Bewegung des Zapfenendes bieten.

E.4 Berechnungen für Lagerplatten

Da für ein Rolltor bzw. einen Feuerschutzvorhang vor einem Versagen aufgrund von Scherung ein Versagen der Standsicherheit durch übermäßige Biegung der Lagerplatten auftreten würde, wird ausschließlich die in den Lagerplatten auftretende Biegespannung berücksichtigt. Die Biegespannungen werden wie folgt berechnet:

$$\text{Gewicht des Befestigungswinkels} \quad (W_{\text{EEL}}) = \left[\frac{h_E \times A_{\text{FA}} \times \rho_{\text{Stahl}} \times g}{1 \times 10^9} \right] \quad (\text{N})$$

Dabei ist

h_E die Höhe der Lagerplatte (mm);

A_{FA} die Querschnittsfläche des Befestigungswinkels (mm²);

ρ_{Stahl} die Dichte von Stahl = 7 850 kg/m³;

g = 9,81 (ms⁻²).

$$\text{Horizontale Querschnittsfläche der Lagerplatte} \quad (A_E) = [w_E \times t_E] \quad (\text{mm}^2)$$

Dabei ist

w_E die Breite der Lagerplatte (mm);

t_E die Dicke der Lagerplatte (mm).

Der Flächen- und der Längenkorrekturfaktor ergeben einen Wert, der das Verhältnis zwischen dem Lagerplattenbefestigungswinkel und der Lagerplatte beschreibt.

$$\text{Flächenkorrekturfaktor} \quad (\phi) = \left[\frac{A_{\text{FA}}}{A_E} \right] \quad (\text{dimensionslos})$$

Dabei ist

A_{FA} die Querschnittsfläche des Befestigungswinkels (mm²);

A_E die Querschnittsfläche der Lagerplatte (mm²).

$$\text{Längenkorrekturfaktor} \quad (\varphi) = \left[\frac{L_{\text{FA}}}{w_E} \right] \quad (\text{dimensionslos})$$

Dabei ist

L_{FA} die Schenkellänge des Befestigungswinkels (befestigt an der Lagerplatte) (mm);

w_E die Breite der Lagerplatte (mm).

Biegespannung in der Lagerplatte $(\sigma_{EB}) = \left[\frac{(W_E \times L_E) + (W_M \times L_M)}{\gamma \times w_E \times \frac{t_E^2}{6}} \right] \quad (\text{N/mm}^2)$

Dabei ist

- W_E 50 % des Gewichts der Wellenbaugruppe (N);
- L_E die Länge des gelagerten Zapfens (mm);
- W_M die Last auf die Lagerplatte aufgrund des Antriebs (N);
- L_M die tragende Länge des Rohrs des Antriebs (mm);
- γ $[1 + \phi + \varphi]$ (dimensionslos);
- t_E die Dicke der Lagerplatte (mm).

Eigengewicht der Lagerplatte $(W_{ESL}) = \left[\frac{h_E \times w_E \times t_E \times \rho_{\text{Stahl}} \times g}{1 \times 10^9} \right] \quad (\text{N})$

Dabei ist

- h_E die Höhe der Lagerplatte (mm);
- w_E die Breite der Lagerplatte (mm);
- t_E die Dicke der Lagerplatte (mm);
- ρ_{Stahl} die Dichte von Stahl = 7 850 kg/m³;
- $g = 9,81$ (ms⁻²).

Exzentrische Belastung $(W_{EL}) = [W_A + W_{AL}] \quad (\text{N})$

Dabei ist

- W_A 50 % des Gewichts der Wellenbaugruppe (N);
- W_{AL} das Gewicht auf die Lagerplatte vom Antrieb (N).

Gesamte Lagerplattenbelastung $(W_T) = [W_{EL} + W_{ESL} + W_{EEL}] \quad (\text{N})$

Dabei ist

- W_{EL} die exzentrische Belastung (N);
- W_{ESL} das Eigengewicht der Lagerplatte (N);
- W_{EEL} das Gewicht des Befestigungswinkels (N).

Scherbeanspruchung in allen Lager-Befestigungsschrauben $(\tau_{\text{EFB}}) = \left[\frac{W_{\text{T}}}{n_{\text{B}} \times a_{\text{B}}} \right]$ (N/mm²)

Dabei ist

W_{T} das Lagerplatten-Gesamtgewicht (N);

n_{B} die Anzahl der Schrauben;

a_{B} die Schraubenfläche, aus dem Kerndurchmesser ermittelt (mm²).

Zugkraft in der obersten Lagerplatten-Befestigungsschraube (F_{EFB})

$$= \left[\frac{[(W_{\text{AL}} \times y_{\text{AL}}) + (W_{\text{A}} \times y_{\text{A}}) + (W_{\text{ESL}} \times y_{\text{ESL}}) + (W_{\text{EEL}} \times y_{\text{EEL}}) \times y_{\text{EFBN}}]}{(y_{\text{EFB1}}^2 + y_{\text{EFB2}}^2 + \dots + y_{\text{EFBN}}^2)} \right] \quad (\text{N})$$

Dabei ist

W_{AL} das Gewicht des Antriebs (N);

y_{AL} der Abstand von der Wand zur Mittellinie des Antriebs (mm);

W_{A} 50 % des Gewichts der Wellenbaugruppe (N);

y_{A} der Abstand von der Wand zur Mittellinie des Zapfens (mm);

W_{ESL} das Eigengewicht der Lagerplatte (N);

y_{ESL} der Abstand von der Wand zur Mittellinie der Lagerplatte (mm);

W_{EEL} das Gewicht des Befestigungswinkels (N);

y_{EEL} der Abstand von der Wand zur Mittellinie des Lagerplatten-Befestigungswinkels (mm);

$y_{\text{EFB1 bis N}}$ der Abstand von der Unterseite der Lagerplatte zu jeder Befestigungsschraube, wobei N die Gesamtanzahl der Schrauben, gezählt von unten nach oben, ist (mm).

Zugspannung in der obersten Lagerplatten-Befestigungsschraube $(\sigma_{\text{EFB}}) = \left[\frac{F_{\text{EFB}}}{a_{\text{EFB}}} \right]$ (N/mm²)

Dabei ist

F_{EFB} die Zugkraft in der obersten Lagerplatten-Befestigungsschraube (N);

a_{EFB} die Fläche der obersten Lagerplatten-Befestigungsschraube (mm²).

Die maximalen Hauptspannungen in den Schrauben, die sich aus den überlagerten Spannungen ergeben, können dann berechnet werden.

Maximale Haupt-Zugspannung in der obersten Lagerplatten-Befestigungsschraube

$$(\sigma_{\text{EFB}_{\text{max}}}) = \left[\frac{\sigma_{\text{EFB}}}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{\sigma_{\text{EFB}}^2 + 4\tau_{\text{EFB}}^2} \right] \quad (\text{N/mm}^2)$$

Maximale Haupt-Scherspannung in der obersten Lagerplatten-Befestigungsschraube

$$(\tau_{\text{EFB}_{\text{max}}}) = \frac{1}{2} \sqrt{\sigma_{\text{EFB}}^2 + 4\tau_{\text{EFB}}^2} \quad (\text{N/mm}^2)$$

Dabei ist

τ_{EFB} die Scherspannung in allen Lagerplatten-Befestigungsschrauben; und

σ_{EFB} die Zugspannung in der obersten Lagerplatten-Befestigungsschraube.

Literaturhinweise

- [1] EN 1634-2, *Feuerwiderstandsprüfungen und Rauchschutzprüfungen für Türen, Tore, Abschlüsse, Fenster und Baubeschläge — Teil 2: Charakterisierungsprüfung zum Feuerwiderstand von Baubeschlägen*
- [2] EN 12433-1, *Tore — Terminologie — Teil 1: Bauarten von Toren*
- [3] EN 12433-2, *Tore — Terminologie — Teil 2: Bauteile von Toren*
- [4] EN 12519, *Fenster und Türen — Terminologie*
- [5] EN 13381 (alle Teile), *Prüfverfahren zur Bestimmung des Beitrages zum Feuerwiderstand von tragenden Bauteilen*
- [6] EN 15254-4:2008, *Erweiterter Anwendungsbereich der Ergebnisse von Feuerwiderstandsprüfungen — Nichttragende Wände — Teil 4: Verglaste Konstruktionen*
- [7] EN 16034, *Türen, Tore und Fenster — Produktnorm, Leistungseigenschaften — Feuer- und/oder Rauchschutzeigenschaften*