

Das Sicherheitskonzept

Im Zuge der Einführung der Eurocodes (EC) wurden grundsätzliche Vorgehensweisen bei der Bemessung von Bauwerken festgeschrieben und so ein einheitliches Sicherheitskonzept vorgegeben. Damit wurden europaweit Grundlagen geschaffen, wobei nationale Normen diese Eurocodes ergänzen können.

Im Folgenden sollen grundlegende Einflussfaktoren auf die Bemessung von Bauteilen beispielhaft erläutert werden. Bei dem angeschlossenen praxisbezogenen Beispiel für die Bemessung einer Holzbalkendecke werden durch zugeordnete Ziffern (X) Bezüge zum Text hergestellt. Dieses Beispiel wurde gewählt, da die Komplexität bei der Bemessung von Holzbauteilen besonders anschaulich gezeigt werden kann. Ein Anspruch auf umfassende Vollständigkeit wird dabei nicht erhoben.

1. Grenzzustände

Um die Entwurfsanforderungen von Tragwerken sicher zu erfüllen, wird bei der Bemessung sichergestellt, dass Grenzzustände, bei denen diese Anforderungen nicht mehr erfüllt sind, nicht überschritten werden.

$$E_d \leq R_d$$

E_d : Bemessungswert der Beanspruchung

R_d : Bemessungswert der Beanspruchbarkeit

1.1 Grenzzustände der Tragfähigkeit

Werden die Grenzzustände z.B. der Biegetragfähigkeit oder der Schubtragfähigkeit überschritten, ist die Standsicherheit der Konstruktion nicht mehr gewährleistet, wodurch Menschen und Tiere in Gefahr kommen können.

1.2 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit

Beim Überschreiten der Gebrauchstauglichkeit ist zwar die Standsicherheit nicht gefährdet, jedoch werden bestimmte Gebrauchsfunktionen eingeschränkt.

Durch Verformungen der Bauteile können z.B. große Glasfronten zu Bruch gehen oder Türen und Fenster lassen sich nicht mehr wie geplant öffnen oder schließen.

Für den Gebrauchstauglichkeitsnachweis werden die gewünschten Sicherheiten durch die Begrenzung der Durchbiegungen im Regelfall oder mit erhöhten Anforderungen berücksichtigt.

2. Einwirkungen auf Tragwerke

DIN EN 1991 regelt auf Grundlage des EC1 die Einwirkungen auf Tragwerke.

Charakteristische Werte für das Eigengewicht sind nach DIN EN 1991-1-1 zu ermitteln, sie entsprechen den für die statische Berechnung charakteristischen Werten g_k als gleichmäßig verteilte Lasten und G_k für Einzellasten.

Ebenfalls in DIN EN 1991-1-1 sind Nutzlasten in Nutzungskategorien eingeteilt, Werte sind für q_k und Q_k festgelegt.

Die Berechnungen von Schneelasten s_k nach DIN EN 1991-1-3 und Windlasten w_k nach DIN EN 1991-1-4 sind hauptsächlich für die Bemessung im Holzbau notwendig.

3. Teilsicherheitsbeiwerte

Um Unsicherheiten bei der Annahme von Einwirkungen auf Bauwerke zu berücksichtigen, werden Teilsicherheitsbeiwerte für ständige Einwirkungen γ_G und veränderliche Einwirkungen γ_Q festgelegt. Um den Eigenschaften der Baustoffe in eingebautem Zustand hinsichtlich Inhomogenität und Verarbeitungsungenauigkeiten Rechnung zu tragen, werden Teilsicherheitsbeiwerte γ_M berücksichtigt.

Teilsicherheitsbeiwerte, Beispiele	
Einwirkungen mit ungünstigen Auswirkungen	
-ständige	$\gamma_G = 1,35$
-veränderliche	$\gamma_Q = 1,50$
Holz und Holzwerkstoffe	$\gamma_M = 1,30$
Mauerwerk	$\gamma_M = 1,50$
Stahlbeton	
-Beton	$\gamma_C = 1,50$
-Betonstahl	$\gamma_S = 1,15$

4. Kombinationsbeiwerte

Abhängig von den Kategorien der veränderlichen Einwirkungen fließen Kombinationsbeiwerte in die Berechnung der Bemessungswerte für Biege- und Schubbeanspruchungen bzw. für die Gebrauchstauglichkeit ein.

Dies sind z.B. die Kombinationsbeiwerte ψ_0 und für Langzeitauswirkungen quasi-ständige Beiwerte ψ_2 .

Beispiele:

ψ_0	ψ_2	Nutzlasten der Kategorie	
0,7	0,3	A und B	Wohn- und Aufenthaltsräume, Büro- und Arbeitsflächen, Flure, Spitzböden u.a.
0,7	0,6	C und D	Flächen mit Personenansammlungen (außer A, B, E), Verkaufsräume
1,0	0,8	E	Fabriken und Werkstätten, Lagerräume, Ställe u.a.
0,5	0	für Schneelasten bei $A \leq 1000$ m ü. NHN	
0,7	0,2	für Schneelasten bei $A > 1000$ m ü. NHN	
0,6	0	Windlasten	

5. Bemessungswerte für Beanspruchungen

Durch Multiplikation der ermittelten Schnittgrößen aus den charakteristischen Werten für ständige Einwirkungen und für veränderliche Einwirkungen mit den Teilsicherheitsbeiwerten und den Kombinationsbeiwerten erhält man die für die Bemessung notwendigen Werte.

$$M_d = 1,35 \times M_{Gk} + 1,50 \times M_{Qk,1} + 1,50 \times M_{Qk,2} \times \psi_{0,Q2}$$

$$V_d = 1,35 \times V_{Gk} + 1,50 \times V_{Qk,1} + 1,50 \times V_{Qk,2} \times \psi_{0,Q2}$$

6. Nutzungsklassen (NKL) bei Holzkonstruktionen

Holzkonstruktionen werden wegen der physikalischen Eigenschaften des Werkstoffes (Schwinden und Quellen) Nutzungsklassen (NKL) nach DIN EN 1995-1-1 zugeordnet. Dadurch werden die klimatischen Bedingungen, denen der Baustoff während seiner Nutzungsdauer ausgesetzt ist, berücksichtigt.

Beispiele für Nutzungsklassen, bei denen die Holzfeuchte und die Umgebungstemperatur Einfluss auf das Verformungsverhalten von Holz und Holzwerkstoffen haben:

NKL1: Bauteile in beheizten Räumen

NKL2: Bauteile, bei denen die Außenluft Zutritt hat, jedoch unter Dach

NKL3: Bauteile, die der Witterung ausgesetzt sind

Aus der Zuordnung von Holzkonstruktionen zu Nutzungsklassen resultieren Verformungsbeiwerte k_{def} , die in den Gebrauchstauglichkeitsnachweis einfließen:

$k_{\text{def}} = 0,6$ für NKL1, $k_{\text{def}} = 0,8$ für NKL2 und $k_{\text{def}} = 2,0$ für NKL3.

7. Klassen der Lasteinwirkungsdauer (KLED)

Die Festigkeitseigenschaften von Baustoffen sind abhängig von der Dauer der Lasteinwirkung. Z.B. besitzen Holz und Holzwerkstoffe bei kurzer Lasteinwirkungsdauer eine höhere Festigkeit als bei Langzeitbelastung.

DIN EN 1995-1-1 legt die Klassen der Lasteinwirkungsdauer fest.

8. Bemessungswerte der Festigkeiten f_d

Aus der KLED und der NKL ergeben sich Modifikationsbeiwerte k_{mod} , die zusammen mit den Sicherheitsbeiwerten γ_M in die Bestimmung der Bemessungswerte der Festigkeiten f_d von Baustoffen eingehen.

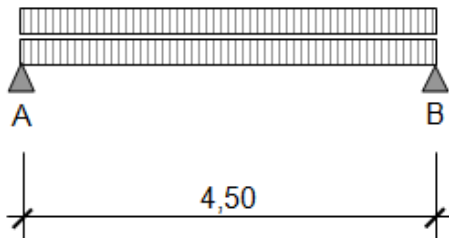
$$f_d = \frac{k_{\text{mod}} \cdot f_k}{\gamma_M} \quad f_k: \text{ charakteristische Werte der Festigkeiten für die jeweiligen Baustoffe}$$

Zuordnung: Lasten ⇔ Klasse der Lasteinwirkungsdauer KLED ⇔ Modifikationsbeiwert k_{mod}					
1	Lasten			für Vollholz und BSH	
				NKL 1 und 2	NKL 3
			KLED	k_{mod}	k_{mod}
2	Eigenlasten		ständig	0,60	0,50
3	Nutzlasten für Decken, Balkone, Treppen				
4	A	Wohn- und Aufenthaltsräume, Spitzböden	mittel	0,80	0,65
5	B	Büroflächen, Arbeitsflächen, Flure			
6	C	Versammlungsräume und Flächen die der Ansammlung von Personen dienen können (mit Ausnahme von unter A, B, D und E festgelegten Kategorien)	kurz	0,90	0,70
7	D	Verkaufsräume	mittel	0,80	0,65
8	E	Fabriken und Werkstätten, Ställe, Lagerräume, Flächen und Zugänge mit erheblichen Menschenansammlungen	lang	0,70	0,55
9	T	Treppen und Treppenpodeste	kurz	0,90	0,70
10	Z	Balkone, Dachterrassen, Laubengänge, Zugänge u.ä.			
11	Windlasten		kurz	0,90	0,70
12	Schneelast und Eislast				
13	- Standorthöhe $A \leq 1000$ m ü. NHN		kurz	0,90	0,70
14	- Standorthöhe $A > 1000$ m ü. NHN		mittel	0,80	0,65

Beispiel:

Holzbalkendecke in einem Wohngebäude

Statisches System und Belastung:



$$q_k = 2,00 \text{ kN/m}^2 \text{ (Decke ohne ausreichende Querverteilung) } \textcircled{2}$$
$$g_k = 1,50 \text{ kN/m}^2 \textcircled{2}$$

Schnittgrößen:

$$A_{Gk} = B_{Gk} = 0,5 \cdot (1,50 \text{ kN/m}^2 \cdot 4,50 \text{ m}) = 3,38 \text{ kN/m}$$

$$M_{Gk} = \frac{1,50 \text{ kN/m}^2 \cdot (4,50 \text{ m})^2}{8} = 3,80 \text{ kNm/m}$$

$$A_{Qk} = B_{Qk} = 0,5 \cdot (2,00 \text{ kN/m}^2 \cdot 4,50 \text{ m}) = 4,50 \text{ kN/m}$$

$$M_{Qk} = \frac{2,00 \text{ kN/m}^2 \cdot (4,50 \text{ m})^2}{8} = 5,06 \text{ kNm/m}$$

Bemessung:

C24, $b = 10 \text{ cm}$, $a = 60 \text{ cm}$

NKL 1 $\Rightarrow k_{\text{def}} = 0,6 \textcircled{6}$

KLED \Rightarrow mittel $\Rightarrow k_{\text{mod}} = 0,80 \textcircled{7}$

- Biegung

$$M_d = 1,35 \cdot 3,80 \text{ kNm/m} + 1,50 \cdot 5,06 \text{ kNm/m} = 12,72 \text{ kNm/m} \textcircled{5}$$

Bei einer weiteren veränderlichen Einwirkung würde $\gamma_Q \cdot M_{Qk,2} \cdot \psi_{0,Q2} \textcircled{4}$ berücksichtigt, wobei durch ψ_0 als Kombinationsbeiwert nicht die volle Belastung angesetzt wird. Interessant sind solche Kombinationen z. B. auch bei Schnee- und Windlasten.

Aus der Forderung $E_d \leq R_d$ ① ergibt sich für die Biegebemessung

$$\text{erf } W = \frac{1000 \cdot M_d}{f_{m,d}} \cdot a = \frac{1000 \cdot 12,72 \text{ kNm/m}}{14,77 \text{ N/mm}^2} \cdot 0,60 \text{ m} = 517 \text{ cm}^3$$

$$\text{mit } f_{m,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot f_{m,k}}{\gamma_M} = \frac{0,80 \cdot 24 \text{ N/mm}^2}{1,30} = 14,77 \text{ N/mm}^2 \quad \textcircled{8}$$

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} \Rightarrow \text{erf } h = \sqrt{\frac{6 \cdot 517 \text{ cm}^3}{10 \text{ cm}}} = 17,6 \text{ cm}$$

- Schub

$$V_d = 1,35 \cdot 3,38 \text{ kN/m} + 1,50 \cdot 4,50 \text{ kN/m} = 11,31 \text{ kN/m} \quad \textcircled{5}$$

Bei einer weiteren veränderlichen Einwirkung würde $\gamma_Q \cdot V_{Qk,2} \cdot \psi_{0,Q2}$ ④ berücksichtigt.

Aus der Forderung $E_d \leq R_d$ ① ergibt sich für die Schubbemessung

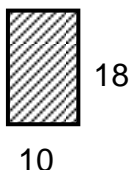
$$f_{v,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot f_{v,k}}{\gamma_M \cdot 2,0} = \frac{0,80 \cdot 4,0 \text{ N/mm}^2}{1,30 \cdot 2,0} = 1,23 \text{ N/mm}^2 \quad \textcircled{8}$$

$$\text{erf } h = \frac{15 \cdot V_d}{f_{v,d} \cdot b} \cdot a = \frac{15 \cdot 11,31 \text{ kN/m}}{1,23 \text{ N/mm}^2 \cdot 10 \text{ cm}} \cdot 0,60 \text{ m} = 8,3 \text{ cm}$$

Bei biegebeanspruchten Bauteilen, die auf Schub beansprucht werden, muss nach DIN1995-1-1 der Einfluss von Rissen mit der wirksamen Breite des Bauteils

$$b_{\text{ef}} = k_{\text{cr}} \cdot b \text{ mit } k_{\text{cr}} = \frac{2,0}{f_{v,k}} \text{ für Nadelholz berücksichtigt werden, für BSH mit } k_{\text{cr}} = \frac{2,5}{f_{v,k}}.$$

- Durchbiegung ①.2



$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{10 \text{ cm} \cdot (18 \text{ cm})^3}{12} = 4860 \text{ cm}^4$$

Anfangsdurchbiegung

$$w_{G,\text{inst}} = \frac{5 \cdot g_k \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I} \cdot a = \frac{5 \cdot 1,50 \cdot 4,50^4 \cdot 10^7}{384 \cdot 11000 \cdot 4860} \cdot 0,60 = 0,90 \text{ cm}$$

$$w_{Q,\text{inst}} = \frac{5 \cdot 2,00 \cdot 4,50^4 \cdot 10^7}{384 \cdot 11000 \cdot 4860} \cdot 0,60 = 1,20 \text{ cm}$$

g_k und q_k in kN/m^2

l in m

E in N/mm^2

I in cm^4

a in m

$$w_{\text{inst}} = w_{G,\text{inst}} + w_{Q,\text{inst}} = 0,90 \text{ cm} + 1,20 \text{ cm} = 2,10 \text{ cm} > \text{zul } w_{\text{inst}} \frac{l}{300} = 1,50 \text{ cm}$$

Bei einer weiteren veränderlichen Einwirkung würde $w_{Q,\text{inst},2} \cdot \Psi_{0,Q2}$ (4) berücksichtigt, wobei durch Ψ_0 als Kombinationsbeiwert nicht die volle Belastung angesetzt wird. Interessant sind solche Kombinationen z. B. auch bei Schnee- und Windlasten.

Neue erforderliche Querschnittshöhe

$$\text{erf } h = \sqrt[3]{\frac{w_{\text{inst}} \cdot h_{\text{alt}}^3}{\text{zul } w_{\text{inst}}}} = \sqrt[3]{\frac{2,10 \text{ cm} \cdot (18 \text{ cm})^3}{1,50 \text{ cm}}} = 20,1 \text{ cm}$$

Enddurchbiegung unter Langzeiteinwirkung (Kriechen)

$$\begin{aligned} w_{\text{fin}} &= w_{\text{inst}} + w_{G,\text{inst}} \cdot k_{\text{def}} + w_{Q,\text{inst}} \cdot k_{\text{def}} \cdot \Psi_2 \quad (4) \\ &= 2,10 \text{ cm} + 0,90 \text{ cm} \cdot 0,60 + 1,20 \text{ cm} \cdot 0,60 \cdot 0,30 \\ &= 2,86 \text{ cm} < \text{zul } w_{\text{fin}} = \frac{l}{150} = 3,00 \text{ cm} \quad \text{Nachweis erfüllt} \end{aligned}$$

Bei einer weiteren veränderlichen Einwirkung würde $w_{Q,\text{inst},2} \cdot k_{\text{def}} \cdot \Psi_{2,Q2}$ berücksichtigt.

Gesamte Enddurchbiegung (Berücksichtigung einer Überhöhung w_c)

$$w_{\text{net,fin}} = w_{\text{fin}} - w_c = 2,86 \text{ cm} > \text{zul } w_{\text{net,fin}} = \frac{l}{250} = 1,80 \text{ cm}$$

Neue erforderliche Querschnittshöhe

$$\text{erf } h = \sqrt[3]{\frac{w_{\text{net,fin}} \cdot h_{\text{alt}}^3}{\text{zul } w_{\text{net,fin}}}} = \sqrt[3]{\frac{2,86 \text{ cm} \cdot (18 \text{ cm})^3}{1,80 \text{ cm}}} = 21,0 \text{ cm}$$

→ Holzbalken gewählt 10/22, $a = 60 \text{ cm}$