

10 Biegestäbe

10.1 Gerade Biegestäbe mit konstantem Querschnitt

10.1.1 Einachsige Biegung

Bei biegebeanspruchten Stäben ohne ausreichende seitliche Abstützung besteht die Gefahr, dass der druckbeanspruchte Querschnittsteil seitlich ausweicht und sich verdreht (Kippen, siehe Bild 10.1). Beim Ersatzstabverfahren wird das Kippverhalten mit dem Kippbeiwert k_m berücksichtigt.

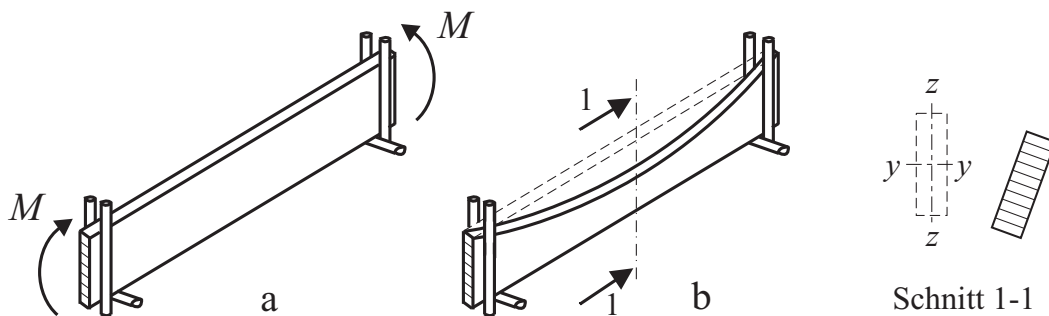


Bild 10.1 Kippen eines Biegeträgers mit konstantem Moment
a: Träger mit Belastung; b: gekippter Träger

Der vollständige Nachweis eines Stabes unter Biegebeanspruchung umfasst somit auch den Nachweis der Kippstabilität.

Biegung und Kippen

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} \leq 1$$

mit

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_d}{W_n}$$

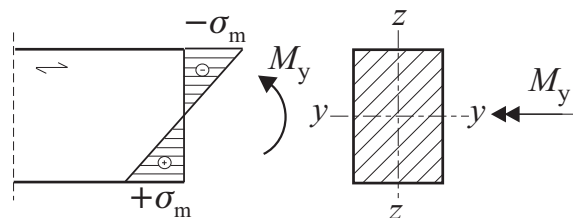
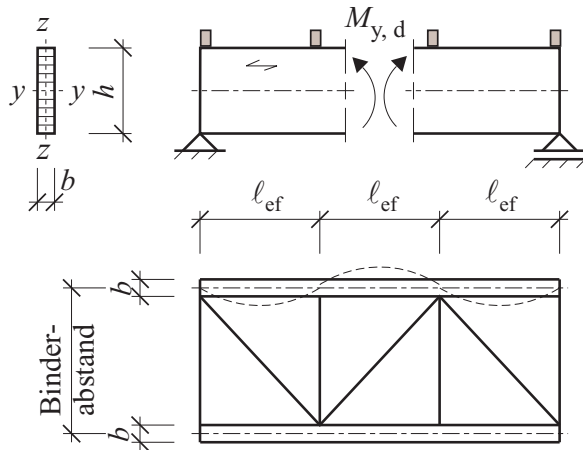


Bild 10.2 Biegespannungsverteilung

- $\sigma_{m,d}$ Bemessungswert der Biegerandspannung, siehe Bild 10.2
- M_d Bemessungswert des maximalen Biegemoments im Stab
- W_n Nettowiderstandsmoment an der Stelle des Moments M_d
- $f_{m,d}$ Bemessungswert der Biegefestigkeit
- k_m Kippbeiwert
- $k_m = 1,0$, wenn $\ell_{ef} \leq 140 b^2/h$
- ℓ_{ef} Ersatzstablänge für das Kippen (siehe Bild 10.3)



b/h	le _{ef} ≤	le _{ef} in m		
		für b in mm		
		60	80	100
1/2	70 · b	4,20	5,60	7,00
1/2,5	56 · b	3,36	4,48	5,60
1/3	47 · b	2,82	3,76	
1/4	35 · b	2,10		

Bild 10.3 Beispiel für die Ersatzstablänge

Der Kippbeiwert k_m ist abhängig vom Kippschlankheitsgrad, der für Rechteckquerschnitte lautet

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot G_{0,5}}}} \cdot \sqrt{\frac{l_{ef} \cdot h}{b^2}}$$

Tabelle 10.1 Kippbeiwert k_m

$\lambda_{rel,m}$	≤ 0,75	0,75 < $\lambda_{rel,m}$ ≤ 1,4	> 1,4
k_m	1	1,56 – 0,75 · $\lambda_{rel,m}$	1/ $\lambda_{rel,m}^2$

Der Kippbeiwert k_m für Rechteckquerschnitte ist von den Materialeigenschaften f_m , E_0 und G , den Querschnittsmaßen b und h sowie von der wirksamen Kipplänge l_{ef} (Ersatzstablänge für das Kippen) abhängig.

Ersatzstablänge für das Kippen l_{ef}

Die wirksame Kipplänge (Ersatzstablänge) l_{ef} wird mit den Kipplängenbeiwerten a_1 und a_2 nach Tabelle 10.2 berechnet zu

$$l_{ef} = \frac{l}{a_1 \cdot \left[1 - a_2 \frac{a_z}{l} \cdot \sqrt{\frac{B}{T}} \right]} \quad \text{mit}$$

l Länge des Trägers

$B = E \cdot I_z$ Biegesteifigkeit um die z-Achse (Rechteckquerschnitt: $B = \frac{E \cdot h \cdot b^3}{12}$)

$T = G \cdot I_t$ Torsionssteifigkeit (Rechteckquerschnitt: $T \cong \frac{G \cdot h \cdot b^3}{3}$)

a_z Abstand des Lastangriffes vom Schubmittelpunkt

Beim gabelgelagerten Einfeldträger dürfen die Einflüsse einer Nachgiebigkeit K_G der Torsionseinspannung am Auflager, einer elastischen Bettung K_y gegen Verschieben

und einer elastischen Bettung K_ϑ gegen Verdrehen durch Beiwerte α und β berücksichtigt werden:

$$\ell_{\text{ef}} = \frac{\ell}{a_1 \cdot \left[1 - a_2 \cdot \frac{a_z}{\ell} \cdot \sqrt{\frac{B}{T}} \right]} \cdot \frac{1}{\alpha \cdot \beta}$$

mit

$$\alpha = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{3,5 \cdot T}{K_G \cdot \ell}}} \quad \text{und} \quad \beta = \sqrt{\left(1 + \frac{K_y \cdot \ell^4}{B \cdot \pi^4} \right) \cdot \left(1 + \frac{(K_\vartheta + e^2 \cdot K_y) \cdot \ell^2}{T \cdot \pi^2} \right) + \frac{e \cdot K_y \cdot \ell^3}{\sqrt{B \cdot T \cdot \pi^3}}}$$

Bezeichnungen am Rechteckquerschnitt

Es bedeuten:

- M Schubmittelpunkt
- S Schwerpunkt
- K_ϑ elastische Bettung (Verdrehung) in N
- K_y elastische Bettung (Verschiebung) in N/mm^2
- K_G Drehfeder am Auflager in Nmm
- e Abstand Schubmittelpunkt/Bettung in mm
- ϑ Verdrehung um die z -Achse

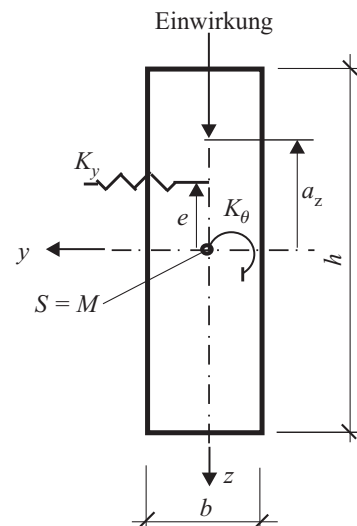


Bild 10.4

Für Biegestäbe ohne elastische Bettungen ($K_\vartheta = K_y = 0$), mit starrer Gabellagerung ($K_G \rightarrow \infty$) und Lastangriff im Schubmittelpunkt vereinfacht sich die Gleichung für die wirksame Kipplänge zu $\ell_{\text{ef}} = \ell / a_1$

Setzt man den Kipplängenbeiwert a_1 aus Tabelle 10.2 ein, erhält man für den Einfeldträger unter

konstanter Momentenbelastung: $\ell_{\text{ef}} = 1,0 \cdot \ell$

Gleichstreckenbelastung: $\ell_{\text{ef}} = 0,885 \cdot \ell$

Das kritische Kippmoment $M_{y,\text{crit}}^0$ und die kritische Biegespannung $\sigma_{m,\text{crit}}$ dürfen berechnet werden zu:

$$M_{y,\text{crit}}^0 = \frac{\pi}{\ell_{\text{ef}}} \cdot \sqrt{B \cdot T} \quad \text{und} \quad \sigma_{m,\text{crit}} = \frac{M_{y,\text{crit}}^0}{W_y}$$

Hierin bedeuten:

- B Biegesteifigkeit um die z -Achse mit $E_{0,05}$

T Torsionssteifigkeit mit G_{05}

W_y Widerstandsmoment für die Druckspannung bei Biegung um die y -Achse

Tabelle 10.2 Kipplängenbeiwerte a_1 und a_2

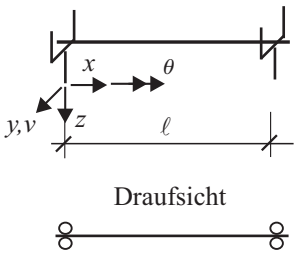
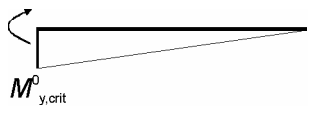
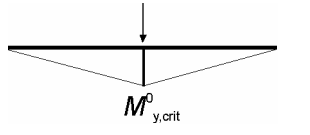
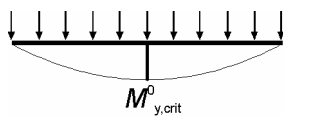
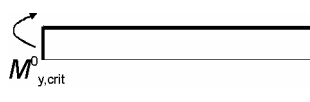
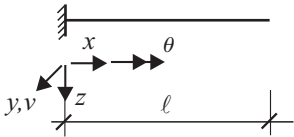
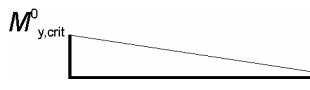
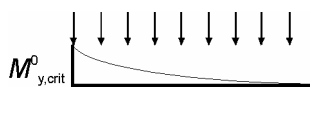
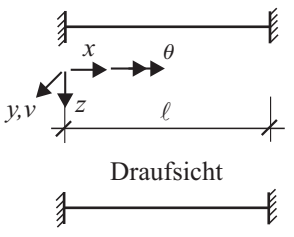
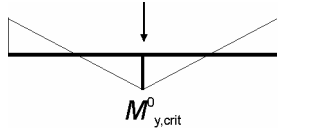
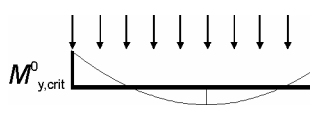
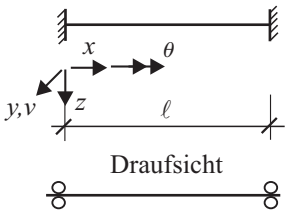
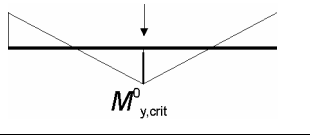
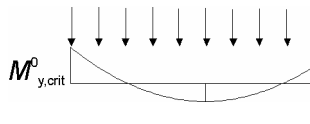
System	Momentenverlauf	a_1	a_2
Gabelgelagerter Einfeldträger $v = v' = 0 \quad \theta = 0$ 		1,77	0
		1,35	1,74
		1,13	1,44
		1	0
Kragarm $v = v' = 0 \quad \theta = 0$ 		1,27	1,03
		2,05	1,50
Beidseitig eingespannter Träger $v = v' = 0 \quad \theta = 0$ 		6,81	0,40
		5,12	0,40
Mittelfeld Durchlaufträger $v = v' = 0 \quad \theta = 0$ 		1,70	1,60
		1,30	1,60

Tabelle 10.3 Kippbeiwert k_m in Abhängigkeit von $\ell_{ef} \cdot h / b^2$ für NH, LH und BSH

$\frac{\ell_{ef} \cdot h}{b^2}$	NH	LH	BSH			
	C24	D 30	GL 24h	GL 24c	GL 36h	GL 36c
100	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
140	0,988	0,953	1,000	1,000	1,000	1,000
180	0,911	0,872	0,993	0,964	0,943	0,932
220	0,843	0,799	0,933	0,901	0,878	0,866
260	0,780	0,733	0,879	0,844	0,818	0,806
300	0,722	0,671	0,828	0,791	0,763	0,750
340	0,668	0,614	0,781	0,741	0,712	0,697
380	0,617	0,560	0,737	0,695	0,664	0,648
420	0,569	0,509	0,694	0,650	0,618	0,601
460	0,523	0,465	0,654	0,608	0,574	0,557
500	0,481	0,428	0,615	0,567	0,532	0,514
540	0,445	0,396	0,578	0,528	0,493	0,476
580	0,415	0,369	0,543	0,492	0,459	0,443
620	0,388	0,345	0,508	0,460	0,429	0,415
660	0,364	0,324	0,478	0,432	0,403	0,389
700	0,343	0,305	0,450	0,408	0,380	0,367
740	0,325	0,289	0,426	0,386	0,359	0,347
780	0,308	0,274	0,404	0,366	0,341	0,330
820	0,293	0,261	0,384	0,348	0,324	0,313
860	0,280	0,249	0,367	0,332	0,309	0,299
900	0,267	0,238	0,350	0,317	0,296	0,286

Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden.

Schubspannungsnachweis

Die Schubspannungen berechnen sich allgemein zu

$$\tau = \frac{V \cdot S}{I \cdot b}$$

mit

- V Querkraft
- S Statisches Moment (Flächenmoment 1. Grades)
- I Flächenmoment 2. Grades

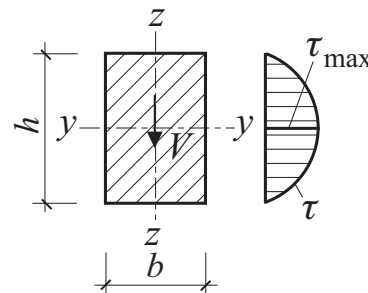


Bild 10.5

b Querschnittsbreite an der Stelle, an der τ ermittelt wird

Die maximale Schubspannung infolge Querkraft in der Spannungsnulllinie eines Rechteckquerschnitts berechnet sich zu:

$$\tau_{\max} = \frac{V \cdot S}{I \cdot b} = \frac{V \cdot b \cdot h^2 / 8}{\frac{b \cdot h^3}{12} \cdot b} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V}{b \cdot h}$$

Nachweis: $\frac{1,5 \cdot V_d / A}{f_{v,d}} \leq 1$

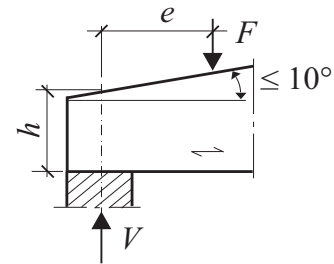


Bild 10.6

V_d Bemessungswert der Querkraft im Stab

$f_{v,d}$ Bemessungswert der Schubfestigkeit des Baustoffs

A Querschnittsfläche an der Stelle V_d

Träger mit Auflagerung am unteren Rand und Lastangriff am oberen Rand (siehe Bild 10.6) dürfen mit der Querkraft im Abstand h vom Auflager des End- oder Zwischenauflagers nachgewiesen werden.

Auflagernde ($e \leq 2,5 \cdot h$) Einzellasten gemäß Bild 10.5 dürfen mit $V_{\text{red}} = V \cdot e / (2,5 \cdot h)$ nachgewiesen werden.

Die Bemessungswerte der Schubfestigkeit in Bereichen, die mindestens 1,5 m vom Hirnholz entfernt liegen, dürfen um 30 % erhöht werden.

Für Biegestäbe ist in den meisten Fällen auch der **Nachweis der Gebrauchstauglichkeit** nach Kapitel 13 zu führen.

Werden die Auflagerkräfte über Pressung am unteren Rand der Biegeträgers eingeleitet, sind die **Nachweise der Auflagerpressung** nach Abschnitt 12.5.1 zu führen.

10.1.2 Zweiachsige Biegung

Biegung und Kippen

$M_{y,d}$ Biegemoment um die y-Achse

$M_{z,d}$ Biegemoment um die z-Achse

$W_{y,n}$ Netto-Widerstandsmoment um die y-Achse

$W_{z,n}$ Netto-Widerstandsmoment um die z-Achse

k_m Kippbeiwert für -Querschnitte

$$\sigma_{m,y,d} = M_{y,d} / W_{y,n} \quad \sigma_{m,z,d} = M_{z,d} / W_{z,n}$$

Rechteckquerschnitte aus VH mit $h/b \leq 4$

$$\frac{\sigma_{m,y,d} / k_m + 0,7 \cdot \sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \quad \text{und} \quad \frac{0,7 \cdot \sigma_{m,y,d} / k_m + \sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

Rechteckquerschnitte aus homogenem BSH

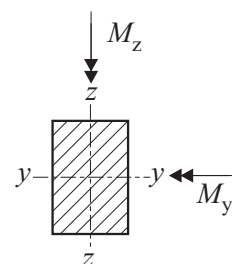


Bild 10.7 Zweiachsige Biegung

$$\frac{\sigma_{m,y,d} / k_m + k_{red} \cdot \sigma_{m,z,d} / k_\ell}{f_{m,d}} \leq 1 \quad \text{und} \quad \frac{k_{red} \cdot \sigma_{m,y,d} / k_m + \sigma_{m,z,d} / k_\ell}{f_{m,d}} \leq 1$$

Rechteckquerschnitte aus kombiniertem BSH, FSH, BASH, SPH, BSPH

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,y,d}} + \frac{k_{red} \cdot \sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad \text{und} \quad \frac{k_{red} \cdot \sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

mit

$k_{red} = 0,7$ für Rechteckquerschnitte mit $h/b \leq 4$

$k_{red} = 1,0$ für $h/b > 4$ und sonstige Querschnitte

$k_\ell = 1,2$ für ≥ 4 Lamellen

$k_\ell = 1,0$ für < 4 Lamellen

10.1.3 Biegung und Zug

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,y,d}} + \frac{k_{red} \cdot \sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad \text{und}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{k_{red} \cdot \sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

k_ℓ darf gegebenenfalls berücksichtigt werden.

Bezeichnungen siehe Kapitel 8 und Abschnitt 10.1.2.

10.1.4 Biegung und Druck

Nachweis der Querschnittstragfähigkeit ohne Knick- und Kippgefahr ($k_c = k_m = 1$):

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{k_{red} \cdot \sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

und

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{k_{red} \cdot \sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

Nachweis des Biegedrillknickens:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,y,d}} + \frac{k_{red} \cdot \sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad \text{und} \quad \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} + \frac{k_{red} \cdot \sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

Bezeichnungen siehe Kapitel 9 und Abschnitt 10.1.2.

k_ℓ darf gegebenenfalls berücksichtigt werden.

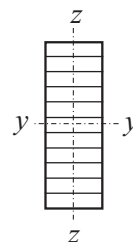


Bild 10.8 Beispiel: BSH mit 11 Lamellen

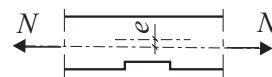


Bild 10.9 Beispiel: exzentrischer Zug mit $M_y = N \cdot e$

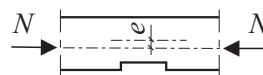


Bild 10.10 Beispiel: exzentrischer Druck mit $M_y = N \cdot e$

10.2 Pultdachträger

Für den üblichen Fall des Einfeldträgers unter Gleichstreckenlast ergibt sich die maximale Biegerandspannung an der Stelle

$$x = \frac{\ell}{1 + h_{ap}/h_s} \quad \text{siehe Bild 10.11.}$$

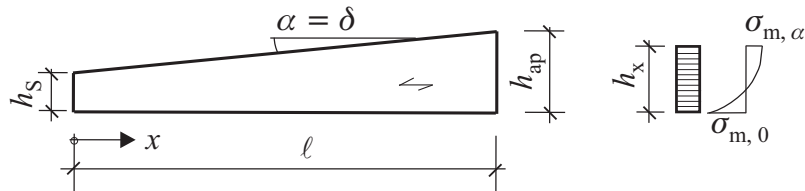


Bild 10.11 Pultdachträger

Die Biegespannungen im Pultdachträger sind nicht geradlinig verteilt wie beim Träger mit konstanter Höhe (siehe Bild 10.11).

$$\sigma_{m,\alpha,d} = \frac{M_d}{W} \leq k_{\alpha,t(c)} \cdot f_{m,d} \quad \sigma_{m,0,d} = k_{\ell,0} \cdot \frac{M_d}{W} \leq f_{m,d}$$

$$k_{\alpha,t} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{f_{m,d} \cdot \sin^2 \alpha}{f_{t,90,d}}\right)^2 + \left(\frac{f_{m,d} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha}{f_{v,d}}\right)^2 + \cos^4 \alpha}} \quad \text{für den Biegezugrand}$$

Für VH, BSH, BASH, FSH ohne Querlagen: $f_{v,d}$ mit 0,75 multiplizieren

$$k_{\alpha,c} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{f_{m,d} \cdot \sin^2 \alpha}{f_{c,90,d}}\right)^2 + \left(\frac{f_{m,d} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha}{f_{v,d}}\right)^2 + \cos^4 \alpha}} \quad \text{für den Biegedruckrand}$$

Für VH, BSH, BASH, FSH ohne Querlagen: $f_{v,d}$ mit 1,5 multiplizieren

$$k_{\ell,0} = 1 + 4 \cdot \tan^2 \alpha, \text{ siehe auch Tabelle 10.4.}$$

Tabelle 10.4 Beiwert $k_{\ell,0}$

α	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°
$k_{\ell,0}$	1	1,01	1,01	1,02	1,03	1,04	1,06	1,08	1,10	1,12

Der Nachweis am Rand schräg zur Faserrichtung der Holzes wird maßgebend, wenn

$$k_{\ell,0} < 1/k_{\alpha,t(c)} \quad \text{bzw.} \quad k_{\ell,0} \cdot k_{\alpha,t(c)} < 1$$

Im Biegespannungsnachweis am Rand schräg zur Faserrichtung ist der Nachweis der Spannungscombination über die Beiwerte $k_{\alpha,t}$ nach Tabelle 10.5 und $k_{\alpha,c}$ nach Tabelle 10.6 enthalten.

Tabelle 10.5 Beiwert $k_{\alpha,t}$

α	GL 24	GL 28	GL 32	GL 36
0°	1	1	1	1
1°	0,976	0,968	0,959	0,948
2°	0,913	0,886	0,858	0,829
3°	0,828	0,784	0,741	0,700
4°	0,738	0,683	0,633	0,587
5°	0,652	0,593	0,541	0,496
6°	0,575	0,516	0,465	0,423
7°	0,508	0,451	0,404	0,365
8°	0,450	0,396	0,353	0,318
9°	0,400	0,350	0,311	0,279
10°	0,357	0,311	0,275	0,247

Tabelle 10.6 Beiwert $k_{\alpha,c}$

α	GL 24	GL 28	GL 32	GL 36
0°	1	1	1	1
1°	0,994	0,992	0,989	0,987
2°	0,977	0,969	0,959	0,949
3°	0,950	0,933	0,915	0,895
4°	0,916	0,890	0,862	0,834
5°	0,877	0,842	0,806	0,770
6°	0,835	0,792	0,750	0,709
7°	0,793	0,743	0,697	0,653
8°	0,750	0,697	0,647	0,602
9°	0,709	0,653	0,602	0,557
10°	0,670	0,612	0,561	0,517

10.3 Satteldachträger mit geradem unteren Rand

Längsspannungen an der Stelle x

Der Nachweis der maximalen Biegespannung unter Gleichstreckenlast ist an der Stelle

$$x = \frac{\ell \cdot h_s}{2 \cdot h_{ap}} \quad \text{wie für einen Pultdachträger zu führen.}$$

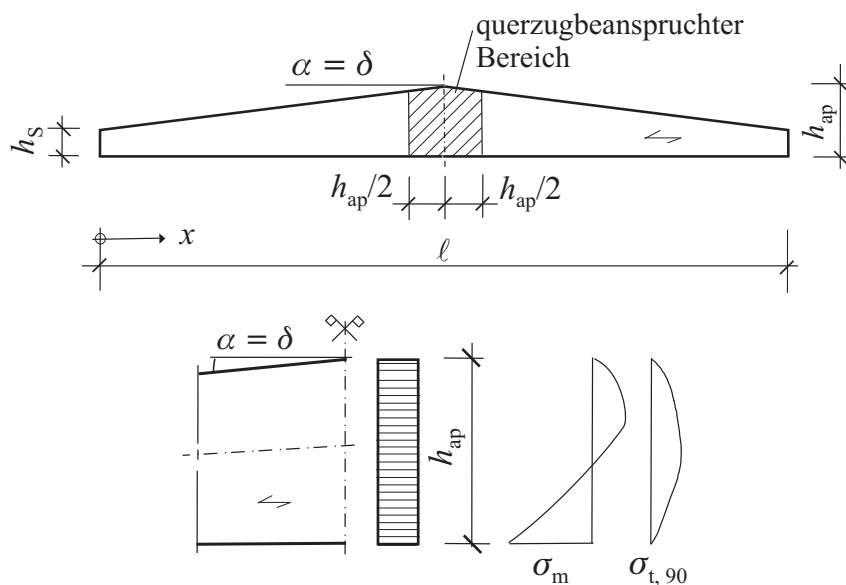


Bild 10.12 Satteldachträger mit geradem unteren Rand

Längsspannung im Firstquerschnitt

Grenzzustandsgleichung: $\frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1$

$\sigma_{m,d} = k_\ell \cdot \frac{M_{ap,d}}{W_{ap}}$ mit $k_\ell = 1 + 1,4 \cdot \tan \alpha + 5,5 \cdot \tan^2 \alpha$ nach *Tabelle 10.7*

Tabelle 10.7 Beiwerte k_ℓ und k_p für Satteldachträger mit geradem unteren Rand

α	0°	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°
k_ℓ	1,000	1,026	1,056	1,088	1,125	1,165	1,208	1,255	1,305	1,360	1,418
k_p	0,000	0,003	0,007	0,010	0,014	0,017	0,021	0,025	0,028	0,032	0,035

Querspannung im Firstquerschnitt

Grenzzustandsgleichung: $\frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{dis} \cdot (h_0 / h_{ap})^{0,3} \cdot f_{t,90,d}} + \left(\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \right)^2 \leq 1$

$\sigma_{t,90,d} = k_p \cdot \frac{M_{ap,d}}{W_{ap}}$

$k_{dis} = 1,3$ $h_0 = 600 \text{ mm}$ $k_p = 0,2 \cdot \tan \alpha$ nach *Tabelle 10.7*

Definiert man für BSH im Standardfall

$f_{t,90,d}^S = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot k_{dis} \cdot \left(\frac{h_0}{h_{ap}} \right)^{0,3} \cdot f_{t,90,k} = \frac{0,8}{1,3} \cdot 1,3 \cdot \left(\frac{600}{h_{ap}} \right)^{0,3} \cdot 0,5 = 0,4 \cdot \left(\frac{600}{h_{ap}} \right)^{0,3}$

lautet der Nachweis der Querspannung im Firstbereich

$\frac{\sigma_{t,90,d}}{f_{t,90,d}^S} + \left(\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \right)^2 \leq 1$ mit $f_{t,90,d}^S$ nach *Tabelle 10.8*.

Wirkt im Firstbereich zusätzlich eine Querkraft, so darf der Anteil der Schubbeanspruchung am Ausnutzungsgrad der Spannungscombination quadriert werden.

Tabelle 10.8 Bemessungswert der Quersugfestigkeit $f_{t,90,d}^S$ in N/mm^2 im Firstquerschnitt von Satteldachträgern aus BSH mit geradem und gekrümmtem unteren Rand im Standardfall

h_{ap} in mm	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1200	1400	1600	1800	2000
$f_{t,90,d}^S$	0,556	0,492	0,452	0,422	0,400	0,382	0,367	0,354	0,343	0,325	0,310	0,298	0,288	0,279

Für $\sigma_{t,90,d} \geq 0,6 \cdot f_{t,90,d}^S$ ist eine konstruktive Verstärkung im querzugbeanspruchten Bereich zur Aufnahme zusätzlicher klimatisch bedingter Querkzugspannungen erforderlich. Die Verstärkungselemente sind in diesem Fall für eine Zugkraft

$$F_{t,90,d} = \frac{1}{4} \cdot \frac{\sigma_{t,90,d} \cdot b \cdot a_1}{n} \cdot \frac{b}{160} = \frac{\sigma_{t,90,d} \cdot b^2 \cdot a_1}{640 \cdot n}$$

nachzuweisen. Nachweise siehe Abschnitt 10.6.

a_1 Abstand der Verstärkungen in Trägerlängsrichtung in Höhe der Trägerachse in mm

b Trägerbreite in mm

n Anzahl der Verstärkungselemente innerhalb der Länge a_1

Bauteile mit querzugbeanspruchten Bereichen in NKL 3 oder bei $\sigma_{t,90,d} / f_{t,90,d}^S > 1$ sind immer nach Abschnitt 10.6 zu verstärken. Es sollte zunächst versucht werden durch konstruktive Schutzmaßnahmen zu erreichen, dass das Bauteil nicht in NKL 3 eingestuft werden muss. Bei vollständiger Aufnahme der Zugkräfte rechtwinklig zur Faserrichtung des Holzes wird das Holz rechnerisch nicht mehr auf Querkzug beansprucht. Dann kann der Nachweis der Querkzugbeanspruchung im Holz entfallen.

10.4 Gekrümmte Träger

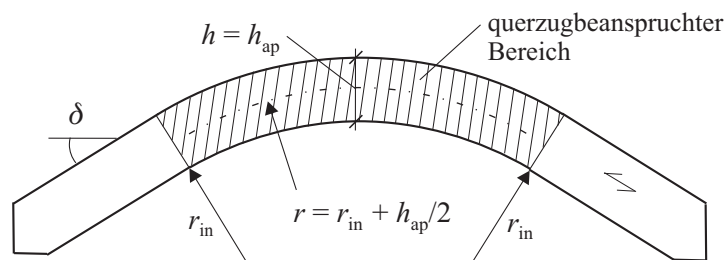


Bild 10.13 Gekrümmter Träger konstanter Höhe

Längsspannung am konkaven Rand

Grenzzustandsgleichung: $\frac{\sigma_{m,d}}{k_r \cdot f_{m,d}} \leq 1$

mit

$$\sigma_{m,d} = k_\ell \cdot \frac{M_{ap,d}}{W_{ap}}$$

$$k_\ell = 1 + 0,35 \cdot k_{ap} + 0,6 \cdot k_{ap}^2 \quad \text{nach Tabelle 10.10}$$

$$k_{ap} = h_{ap} / r$$

$$k_r = 1 \quad \text{für} \quad r_{in} / t \geq 240$$

$$k_r = 0,76 + 0,001 \cdot r_{in} / t \quad \text{für} \quad r_{in} / t < 240$$

t Lamellendicke

Tabelle 10.9 Beiwert k_r

$\frac{r-h/2}{t}$	240	200	160	120	80
k_r	1,00	0,96	0,92	0,88	0,84