

EC5 - Holzbau

	Seite		Seite
Formelzeichen im EC 5	9.2	3.1.9 Torsion.....	9.17
Zusätzliche Abkürzungen	9.2	3.2 Einteilige Druckstäbe	9.18
1 Bemessungsgrundlagen		3.3 Einteilige Biegeträger	9.18
1.1 Sicherheitskonzept	9.3	3.3.1 Gerade Träger mit konstantem Querschnitt.....	9.18
1.2 Grenzzustände	9.3	3.3.2 Pultdachträger	9.19
1.3 Teilsicherheitsbeiwerte	9.3	3.3.3 Satteldachträger mit geradem Untergurt	9.20
1.4 Baustoffeigenschaften	9.4	3.3.4 Gekrümmte Träger	9.20
1.4.1 Vollholz	9.6	3.3.5 Satteldachträger mit gekrümmtem Untergurt	9.20
1.4.2 Brettschichtholz	9.6	3.4 Zusammengesetzte Bauteile	9.22
1.4.3 Holzwerkstoffe	9.7	3.4.1 Geleimte, dünnstegige Träger	9.22
1.5 Querschnittsermittlung.....	9.9	3.4.2 Geleimte Tafелеlemente	9.23
1.6 Verschiebungsmoduln K_{ser}	9.9	3.4.3 Zusammengesetzte Träger mit nachgiebigem Verbund	9.24
1.7 Knicklängen l_{ef}	9.10	3.4.4 Zusammengesetzte Druckstäbe mit nachgiebigen und geleimten Verbindungen.....	9.26
1.8 Knickzahlen k_c	9.11	3.5 Fachwerke	9.28
2 Nachweis der Gebrauchstauglichkeit		3.6 Aussteifungen.....	9.28
2.1 Grenzwerte der Durchbiegung	9.12	3.7 Beispiele	9.29
2.2 Berechnung der Bauteildurchbiegung	9.12	4 Verbindungen	
2.3 Berechnung der Verschiebung von Verbindungen	9.14	4.1 Einfacher und doppelter Versatz	9.35
2.4 Schwingungen	9.14	4.2 Verbindungen mit stiftförmigen Verbindungsmitteln.....	9.36
3 Nachweis der Tragfähigkeit		4.3 Nagelverbindungen	9.43
3.1 Allgemeine Querschnittsnachweise...	9.15	4.4 Klammerverbindungen.....	9.45
3.1.1 Zug parallel zur Faser	9.15	4.5 Bolzenverbindungen.....	9.46
3.1.2 Zug rechtwinklig zur Faser.....	9.15	4.6 Stabdübelverbindungen	9.46
3.1.3 Druck parallel zur Faser	9.15	4.7 Holzschraubenverbindungen.....	9.47
3.1.4 Druck unter Winkel α zur Faser.....	9.15	4.8 Dübelverbindungen	9.47
3.1.5 Biegung.....	9.16		
3.1.6 Biegung und Zug.....	9.16		
3.1.7 Biegung und Druck	9.16		
3.1.8 Schub	9.16		

Vorbemerkungen

Der Eurocode 5 (kurz: EC 5) ist als DIN V EN V 1995 Teil 1-1 zusammen mit der Richtlinie zur Anwendung von DIN V EN V 1995 Teil 1-1 (Nationales Anwendungsdokument (NAD)) alternativ zur DIN 1052 in der Praxis anwendbar.

Der Text des EC 5 mit bereits eingearbeitetem NAD steht in der Veröffentlichungsreihe STEP (Structural Timber Education Programme) des Fachverlages Holz der Arbeitsgemeinschaft Holz e.V. als STEP 4 [9.22] zur Verfügung.

Formelzeichen im EC 5

Zu den Formelzeichen, die in Kap. V B, S. 5.1 abgedruckt sind, werden im EC 5 damit übereinstimmend und auch zusätzlich folgende wesentliche Formelzeichen definiert:

Hauptzeiger

A	Fläche	a	Abstand
E	Elastizitätsmodul	b	Breite
I	Flächenmoment 2. Grades	d	Durchmesser
K	Verschiebungsmodul	f	Festigkeit (eines Baustoffes)
M	Biegemoment	h	Höhe
N	Normalkraft, Längskraft	i	Trägheitsradius
V	Querkraft	r	Radius
V	Volumen	s	Abstand
W	Widerstandsmoment	t	Dicke
X	Wert einer Baustoffeigenschaft	u, v, w	Komponenten der Verschiebung eines Punktes
α	Winkel; Verhältnis	ρ	Rohdichte
β	Winkel; Verhältnis	σ	Normalspannung; Längsspannung
γ	Teilsicherheitsbeiwerte	τ	Schubspannung
γ_G	für ständige Einwirkungen	ψ	Beiwerte
γ_M	für Baustoffeigenschaften	ψ_0	für Kombinationswerte
γ_Q	für veränderliche Einwirkungen	ψ_1	für häufige Werte
λ	Schlankheitsgrad	ψ_2	für quasi-ständige Werte

Fußzeiger

ap	First	mean	Mittelwert
c	Druck	req	Erforderlich
cr (crit)	Kritisch	ser	Gebrauchstauglichkeit
d	Bemessungswert	t	Zug-
def	Deformation, Verformung	tor	Torsion
dis	Verteilung	v	Scher-, Schub-
ef	Wirksam, effektiv	w	Steg
f	Gurt, Flansch	α	Winkel zwischen Kraft- (oder Spannungs-) und Faserrichtung
fin	End-	0 ; 90	Entsprechende Richtungen im Bezug zur Faserrichtung
h	Lochleibung	05	5%-Fraktil eines charakteristischen Wertes
inst	Anfangs-		
in	Innerer		
m	Material; Biegung		

Zusätzliche Abkürzungen

A_n	Nettoquerschnitt	NAD	Nationales Anwendungsdokument
Bo	Bolzen	NH	Nadelholz
BSH	Brettschichtholz	OSB	OSB-Platte (oriented strand board)
EC 5	Eurocode 5	PB	Paßbolzen
Fa	Faser, Faserrichtung	Ri	Richtung
HW	Holzwerkstoff	RNa	Rillennagel
I_{req}	Erforderliches Flächenmoment 2. Grades	SDü	Stabdübel
Kl	Klammer	SNa	Schraubnagel
KLED	Klasse der Lasteinwirkungsdauer	Sr	Holzschraube
K_r	Drehfederkonstante	vb	Vorgebohrt
KVH	Konstruktionsvollholz	W_{req}	Erforderliches Widerstandsmoment
MS	Sortierklasse für maschin. Sortierung	\emptyset	Durchmesser
Na	Nagel	\curvearrowright	Faserrichtung des Holzes

1 Bemessungsgrundlagen

1.1 Sicherheitskonzept

Grundlage für den Nachweis der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit nach EC 5 sollte die wahr-scheinlichkeitsorientierte Betrachtung von Grenzzuständen bilden. Diese Grundlage ist im EC 1 festgelegt. Für praktikable Nachweisverfahren wird das probabilistische Konzept zu dem semiprobabilistischen Ver-fahren mit Hilfe von charakteristischen Werten und von Teilsicherheitsbeiwerten vereinfacht. Dadurch unterscheidet sich die Nachweismethode nach EC 5 formal nur unwesentlich vom Prinzip der zulässigen Spannungen der DIN 1052. Die Vorteile des neuen Konzeptes sind die Verwendung der wesentlichen Einflußgrößen als Zufallsvariablen, die getrennte Erfassung der Veränderlichkeit dieser Zufallsvariablen und der Versuch, den Nachweis der Bauteil- und Bauwerkssicherheit auf ein baustoffübergreifendes Maß der „Sicherheit“, d.h. der Zuverlässigkeit zu gründen.

1.2 Grenzzustände

Grenzzustände sind Zustände, bei denen ein Tragwerk die vorgesehenen Entwurfsanforderungen gerade noch erfüllt. Es werden Grenzzustände der Tragfähigkeit (siehe Abschnitte 3 und 4) und der Gebrauchs-tauglichkeit (siehe Abschnitt 2) unterschieden. Diese Grenzzustände werden für den Punkt (Bemessungs-punkt) zwischen Einwirkung S und Widerstand R formuliert, in dem die geforderte Zuverlässigkeit eingehalten wird.

Im Grenzzustand der Tragfähigkeit gilt:

$$S_d \leq R_d \quad \text{mit} \quad S_d = \gamma_G G_k + \gamma_Q (Q_{k,1} + \sum_{i>1} \psi_i Q_{k,i}) \quad \text{und} \quad R_d = R(f_{1,d}, f_{2,d}, \dots, E_{1,d}, E_{2,d}, \dots, a_{1,d}, a_{2,d}, \dots)$$

wobei

γ_G, γ_Q Teilsicherheitsbeiwerte nach Abschnitt 1.3 G_k siehe Formelzeichen im EC 5
 ψ_i Kombinationsbeiwerte nach Kap. V B, S. 5.5 $Q_{k,i}$ siehe Formelzeichen im EC 5

$$f_{i,d} = \frac{k_{\text{mod}} f_{i,k}}{\gamma_M} \quad \text{Bemessungswert der Baustoffeigenschaft}$$

$f_{i,k}$ charakteristischer Wert der Baustoffeigenschaft nach Abschnitt 1.4 bzw. 4
 k_{mod} Modifikationsfaktor nach Seite 9.5
 γ_M Teilsicherheitsbeiwert für die Baustoffeigenschaft nach Abschnitt 1.3
 $E_{i,d}$ Bemessungswert des E -Moduls, G -Moduls usw.
 $a_{i,d}$ geometrische Größe in der Bemessungsgleichung (ist im allgemeinen der Nennwert)

Im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit gilt: $E_d \leq C_d$

$$E_d \quad \text{Bemessungswert der Lasteinwirkungen der Kombination} \quad \sum G_{k,i} + Q_{k,1} + \sum_{i>1} \psi_{1,i} Q_{k,i}$$

C_d für die Bemessung maßgebender Nennwert, z.B. Grenzwert der Durchbiegung

1.3 Teilsicherheitsbeiwerte

Teilsicherheitsbeiwerte γ_F für Einwirkungen in Hochbauten

Normale Teilsicherheitsbeiwerte	Ständige Einwir-kungen	Führende verän-derliche Einwirkung	Begleitende verän-derliche Einwirkung
günstige Auswirkung ($\gamma_{F,\text{inf}}$)	$\gamma_G = 1,0$	*)	*)
ungünstige Auswirkung	$\gamma_G = 1,35$	$\gamma_Q = 1,5$	$\gamma_Q = 1,5$

*) Im Normalfall für Hochbautragwerke $\gamma_{Q,\text{inf}} = 0$.

Teilsicherheitsbeiwerte γ_M für Baustoffeigenschaften

Grenzzustände der	Tragfähigkeit		Gebrauchstauglichkeit
	Grund-kombinationen	Außergewöhnliche Kombinationen	
Holz und Holzwerkstoffe	$\gamma_M = 1,3$	$\gamma_M = 1,0$	$\gamma_M = 1,0$
Stahl in Verbindungen	$\gamma_M = 1,1$		

1.4 Baustoffeigenschaften

Für die Beschreibung der Baustoffeigenschaften benötigt man die Definition der Nutzungsklassen und der Klassen der Lasteinwirkungsdauer.

Klassen der Lasteinwirkungsdauer (KLED)

Klasse der Lasteinwirkungsdauer	Größenordnung der akkumulierten Dauer der charakteristischen Lasteinwirkung
ständig	länger als 10 Jahre
lang	6 Monate bis 10 Jahre
mittel	1 Woche bis 6 Monate
kurz	kürzer als eine Woche
sehr kurz	

Nutzungsklassen

Nutzungsklasse	mittlerer Holzfeuchtegehalt in NH
1	$\leq 12\%$
2	$\leq 20\%$
3	$> 20\%$

Einteilung der Lasten in Klassen der Lasteinwirkungsdauer (nach NAD)

Einwirkung	KLED
Eigenlasten nach DIN 1055-1	ständig
Lotrechte Verkehrslasten nach DIN 1055-3	
Lotrechte, gleichmäßig verteilte Lasten für Dächer, Decken und Treppen (falls nicht die nachfolgenden Ausnahmen zutreffen)	mittel
- waagerechte oder bis zu 1:20 geneigte Dächer bei zeitweiligem Aufenthalt von Personen	kurz
- Fertigteildecken mit geringer Tragfähigkeit während des Einbauzustandes, die mit Transportgefäßen für Beton befahren werden	kurz
- Spitzböden, die aufgrund ihrer Querschnittsmaße nur bedingt begehbar sind	lang
- Lagerräume	lang
- Werkstätten und Fabriken mit schwerem Betrieb	im Einzelfall zu entscheiden
Lotrechte Einzelverkehrslasten für Dächer	kurz
Lotrechte Verkehrslasten für befahrbare Decken	kurz
Hubschrauberlandeplätze auf Dachdecken	mittel
Lotrechte Pendelkräfte	mittel
Waagerechte Verkehrslasten nach DIN 1055-3	
Horizontallast an Brüstungen und Geländern in Holmhöhe	kurz
Horizontallasten zur Erzielung einer ausreichenden Längs- und Quersteifigkeit	1)
Bremskräfte und Horizontallasten von Kranen und Kranbahnen	kurz
Horizontalstöße auf Stützen und Wände	sehr kurz
Waagerechte Pendelkräfte	mittel
Horizontallasten für Hubschrauberlandeplätze auf Dachdecken	sehr kurz
- für den Überrollschutz	kurz
- übrige Horizontallasten	
Windlasten bei nicht schwingungsanfälligen Bauwerken nach DIN 1055-4	kurz
Schneelast und Eislast nach DIN 1055-5	
- Regelschneelast $s_0 \leq 2,0 \text{ kN/m}^2$	kurz
- Regelschneelast $s_0 > 2,0 \text{ kN/m}^2$	mittel
1) Entsprechend den zugehörigen lotrechten Lasten.	

Werte des Modifikationsfaktors k_{mod}

Baustoff und Klasse der Lasteinwirkungsdauer	Nutzungsklasse			Baustoff und Klasse der Lasteinwirkungsdauer	Nutzungs-klasse	
	1	2	3		1	2
Vollholz, BSH, Bausperrholz				Spanplatten (DIN EN 312-4*) u. -5) OSB (DIN EN 300, Klasse 2*) Harte Faserplatten (prEN 622-2)		
ständig	0,60	0,60	0,50	ständig	0,30	0,20
lang	0,70	0,70	0,55	lang	0,45	0,30
mittel	0,80	0,80	0,65	mittel	0,65	0,45
kurz	0,90	0,90	0,70	kurz	0,85	0,60
sehr kurz	1,10	1,10	0,90	sehr kurz	1,10	0,80
Spanplatten (DIN EN 312-6*) u. -7) OSB (DIN EN 300, Klasse 3 u. -4)				Harte und mittelharte Faserplatten (prEN 622-2 u. -3)		
ständig	0,40	0,30	-	ständig	0,20	-
lang	0,50	0,40	-	lang	0,40	-
mittel	0,70	0,55	-	mittel	0,60	-
kurz	0,90	0,70	-	kurz	0,80	-
sehr kurz	1,10	0,90	-	sehr kurz	1,10	-
*) Nicht zu verwenden in Nutzungsklasse 2.						
Nach NAD gelten für die Werte des Modifikationsfaktors die Zuordnungen:						
Flachpreßplatten nach DIN 68 763 ↔ Spanplatten nach DIN EN 312-4 und -5						
Holzfaserplatten nach DIN 68 754-1 ↔ Faserplatten nach prEN 622-2 und -3						

Werte des Deformationsfaktors k_{def} für Baustoffe und Verbindungen

Baustoff und Klasse der Lasteinwirkungsdauer	Nutzungsklasse			Baustoff und Klasse der Lasteinwirkungsdauer	Nutzungs-klasse	
	1	2	3		1	2
Vollholz*), BSH				Spanplatten (DIN EN 312-4**) u.-5) OSB (DIN EN 300, Klasse 2**) Harte Faserplatten (prEN 622-2)		
ständig	0,60	0,80	2,00	ständig	2,25	3,00
lang	0,50	0,50	1,50	lang	1,50	2,00
mittel	0,25	0,25	0,75	mittel	0,75	1,00
kurz	0,00	0,00	0,30	kurz	0,00	0,40
Bausperrholz				Harte und mittelharte Faserplatten (prEN 622-2 und -3)		
ständig	0,80	1,00	2,50	ständig	3,00	-
lang	0,50	0,60	1,80	lang	2,00	-
mittel	0,25	0,30	0,90	mittel	1,00	-
kurz	0,00	0,00	0,40	kurz	0,35	-
Spanplatten (DIN EN 312-6**) u. -7) OSB (DIN EN 300, Klasse 3 u. 4)				*) Die Werte k_{def} für Vollholz, dessen Feuchte beim Einbau im Fasersättigungsbereich oder darüber liegt und im eingebauten Zustand austrocknen kann, sind um 1,0 zu erhöhen. **) Nicht zu verwenden in Nutzungsklasse 2.		
ständig	1,50	2,25	-			
lang	1,00	1,50	-			
mittel	0,50	0,75	-			
kurz	0,00	0,30	-			
Nach NAD gelten für die Werte des Deformationsfaktors die Zuordnungen:						
Flachpreßplatten nach DIN 68 763 ↔ Spanplatten nach DIN EN 312-4 und -5						
Holzfaserplatten nach DIN 68 754-1 ↔ Faserplatten nach prEN 622-2 und -3						

1.4.1 Vollholz

Charakteristische Festigkeits- und Steifigkeitskennwerte in N/mm^2 und charakteristische Rohdichtekennwerte in kg/m^3 für Vollholz³⁾ (nach NAD)

Sortierklasse nach DIN 4074-1		S 7/MS 7	S 10/MS 10	S 13	MS 13	MS 17
Festigkeitseigenschaften						
Biegung	$f_{m,k}$	16	24	30	35	40
Zug parallel	$f_{t,0,k}$	0 ¹⁾	14	18	21	24
Zug rechtwinklig	$f_{t,90,k}$	0 ²⁾	0,2	0,2	0,3	0,2
Druck parallel	$f_{c,0,k}$	17	21	23	25	26
Druck rechtwinklig	$f_{c,90,k}$	4	5	5	5	6
Schub und Torsion	$f_{v,k}$	1,8	2,5	2,5	3,0	3,5
Steifigkeitseigenschaften						
Mittlerer E -Modul parallel	$E_{0,mean}$	8000	11000	12000	13000	14000
Mindest- E -Modul parallel	$E_{0,05}$	5400	7400	8000	8700	9400
Mittlerer E -Modul \perp	$E_{90,mean}$	270	370	400	430	470
Mindest- E -Modul \perp	$E_{90,05}$	180	250	270	290	310
Mittlerer Schubmodul	G_{mean}	500	690	750	810	880
Mindest- G -Modul	G_{05}	330	460	500	540	590
Rohdichte	ρ_k	350	380	380	400	420
Die Werte dieser Tabelle gelten für Bauholz aus den Holzarten Fichte, Kiefer, Tanne, Lärche, Douglasie, Southern Pine, Western Hemlock, Yellow Cedar.						
1) Für MS 7 gilt 10 N/mm^2 .						
2) Für MS 7 gilt $0,2 \text{ N/mm}^2$.						
3) Auch für Konstruktionsvollholz (KVH) aus NH S 10, siehe [9.12].						

1.4.2 Brettschichtholz

Charakteristische Festigkeits- und Steifigkeitskennwerte in N/mm^2 und charakteristische Rohdichtekennwerte in kg/m^3 für Brettschichtholz (nach NAD)

Festigkeitsklasse		BS 11	BS 14 k ¹⁾ h ²⁾	BS 16 k ¹⁾ h ²⁾	BS 18 k ¹⁾ h ²⁾
Festigkeitseigenschaften					
Biegung	$f_{m,g,k}$	24	28	32	36
Zug parallel	$f_{t,0,g,k}$	17	17,5 20,5	18,5 23	23,5 25
Zug rechtwinklig	$f_{t,90,g,k}$	0,45	0,45	0,45	0,45
Druck parallel	$f_{c,0,g,k}$	24	27,5 29	28 31	30,5 32
Druck rechtwinklig	$f_{c,90,g,k}$	5,5	5,5	5,5	6,5
Schub und Torsion	$f_{v,g,k}$	2,7	2,7	2,7	3,2
Steifigkeitseigenschaften					
Mittlerer E -Modul parallel	$E_{0,g,mean}$	11500	12500	13500	14500
Mindest- E -Modul parallel	$E_{0,g,05}$	9200	10000	10800	11600
Mittlerer E -Modul \perp	$E_{90,g,mean}$	380	420	450	480
Mittlerer Schubmodul	$G_{g,mean}$	720	780	840	900
Mindest- G -Modul	$G_{g,05}$	580	620	670	720
Rohdichte	$\rho_{g,k}$	410	410	410 430	430 450
1) Kombiniertes BSH unter Verwendung von Lamellen aus zwei unterschiedlichen Sortier- bzw. Festigkeitsklassen.					
2) Homogenes BSH unter Verwendung von Lamellen einer Sortier- bzw. Festigkeitsklasse.					
Auf den Index g („glulam“) wird in den Beispielen verzichtet, wenn keine Verwechslungsgefahr besteht.					

1.4.3 Holzwerkstoffe

Charakteristische Festigkeits- und Steifigkeitskennwerte in N/mm² und charakteristischer Rohdichtekennwert in kg/m³ für Bau-Furniersperrholz nach DIN 68 705-3 (nach NAD)

		Bau-Furniersperrholz nach DIN 68 705-3 parallel rechtwinklig zur Faserrichtung der Deckfurniere	
Plattenbeanspruchung			
Biegung	$f_{m, k}$	32	12
Abscheren ³⁾	$f_{v, k}$ ⁴⁾	2,5	2,5
Biege- <i>E</i> -Modul	$E_{m, mean}$	5500 (8000) ²⁾	1500 (400) ²⁾
Schubmodul	G_{mean}	250	250
Scheibenbeanspruchung			
Biegung	$f_{m, k}$	22	14
Zug (Druck)	$f_{t(c), k}$	18	9
Abscheren	$f_{v, k}$ ⁵⁾	8 (5) ²⁾	8 (5) ²⁾
Biege- (Zug/Druck)- <i>E</i> -Modul	$E_{m(t/c), mean}$	4500	2500 (1000) ²⁾
Schubmodul	G_{mean}	500	500
Rohdichte	ρ_k	400	
Fußnoten siehe nachfolgende Tabelle			

Charakteristische Festigkeits- und Steifigkeitskennwerte in N/mm² und charakteristische Rohdichtekennwerte in kg/m³ für Bau-Furniersperrholz nach DIN 68 705-5 (nach NAD)

		Bau-Furniersperrholz nach DIN 68 705-5 ¹⁾ parallel rechtwinklig zur Faserrichtung der Deckfurniere									
Klasse		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Plattenbeanspruchung											
Biegung	$f_{m, k}$	40	45	51	58	66	38	33	27	18	11
Abscheren ³⁾	$f_{v, k}$ ⁴⁾	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
Biege- <i>E</i> -Modul	$E_{m, mean}$	5900	6600	7400	8700	9600	4000	3800	2850	1500	650
Schubmodul	G_{mean}	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
Scheibenbeanspruchung											
Biegung / Zug	$f_{m, k} / f_{t, k}$	29	36	36	43	36	31	29	24	20	24
Druck	$f_{c, k}$	21	26	26	31	26	22	21	17	14	17
Abscheren ²⁾	$f_{v, k}$ ⁵⁾	11(8)	11(8)	11(8)	11(8)	11(8)	11(8)	11(8)	11(8)	11(8)	11(8)
Biege- <i>E</i> -Modul	$E_{m, mean}$	4400	5500	5500	6600	5500	4700	4400	3650	3000	3700
Zug/Druck- <i>E</i> -Modul	$E_{t(c), mean}$	4400	5500	5500	6600	5500	4700	4400	3650	3000	3700
Schubmodul	G_{mean}	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700
Rohdichte	ρ_k	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600

¹⁾ Die charakteristischen Festigkeitskennwerte (5%-Fraktilwert) und Steifigkeitskennwerte (50%-Fraktilwerte) von beliebig aufgebautem Bau-Furniersperrholz aus Buche nach DIN 68 705-5 dürfen für Beanspruchungen auf Biegung, Zug und Druck auch nach Beiblatt 1 zu DIN 68 705 -5 mit den dort angegebenen Aufbau-faktoren (Abschnitt 1) und Berechnungsformeln (Tabelle 1) bestimmt werden. Anstelle der in Abschnitt 2 und Tabelle 1 angegebenen Mindestbasiswerte sind dabei jedoch folgende Werte zu verwenden:
Für die Biege- und Zugfestigkeit: 77 N/mm²; für die Druckfestigkeit: 58 N/mm²;
für den Elastizitätsmodul bei Biegung, Zug und Druck: 11 000 N/mm².

²⁾ Die Werte in Klammern () gelten für Furniersperrholz mit nur 3 Lagen.

³⁾ Die Scher- bzw. Schubbeanspruchung || zur Plattenebene wird auch als „rolling shear“ bezeichnet.

⁴⁾ In EC 5 wird der zugehörige Bemessungswert mit $f_{v, 90, d}$ bezeichnet.

⁵⁾ In EC 5 wird der zugehörige Bemessungswert mit $f_{v, 0, d}$ bezeichnet.

Charakteristische Festigkeits- und Steifigkeitskennwerte in N/mm² und charakteristische Rohdichtekennwerte in kg/m³ für Flachpreßplatten nach DIN 68 763 (nach NAD)

		Flachpreßplatten nach DIN 68 763					
		Plattendicke in mm					
		≤ 13	>13-20	>20-25	>25-32	>32-40	>40-50
Plattenbeanspruchung							
Biegung	$f_{m,k}$	15,0	13,3	11,7	10,0	8,3	6,7
Abscheren ¹⁾	$f_{r,k}$ ²⁾	1,6	1,6	1,6	1,2	1,2	1,2
Biege- <i>E</i> -Modul	$E_{m,mean}$	3750	3300	2800	2550	1900	1400
Schubmodul	G_{mean}	200	200	200	100	100	100
Scheibenbeanspruchung							
Biegung	$f_{m,k}$	11,4	10,0	8,4	7,0	6,0	5,0
Zug	$f_{t,k}$	10,0	9,0	8,0	7,0	6,0	5,0
Druck	$f_{c,k}$	12,0	11,0	10,0	9,0	8,0	7,0
Abscheren	$f_{v,k}$ ³⁾	7,2	7,2	7,2	4,8	4,8	4,8
Biege- <i>E</i> -Modul	$E_{m,mean}$	2200	1900	1600	1300	1000	800
Zug(Druck)- <i>E</i> -Modul	$E_{t(c),mean}$	2200	2000	1700	1400	1100	900
Schubmodul	G_{mean}	1100	1000	850	700	550	450
Rohdichte	ρ_k	650	600	550	550	500	500
¹⁾ Die Scher- bzw. Schubbeanspruchung parallel zur Plattenebene wird auch als "rolling shear" bezeichnet. ²⁾ In EC 5 wird der zugehörige Bemessungswert mit $f_{v,90,d}$ bezeichnet. ³⁾ In EC 5 wird der zugehörige Bemessungswert mit $f_{v,0,d}$ bezeichnet.							

Charakteristische Festigkeits- und Steifigkeitskennwerte in N/mm² und charakteristische Rohdichtekennwerte in kg/m³ für Holzfaslerplatten nach DIN 68 754-1 (nach NAD)

		Holzfaslerplatten nach DIN 68 754-1		
		hart	mittelhart	
		Plattendicke in mm		
		≤ 4	> 4	5 - 16
Plattenbeanspruchung				
Biegung	$f_{m,k}$	33	25	10
Abscheren ¹⁾	$f_{v,k}$ ²⁾	2	2	1,5
Biege- <i>E</i> -Modul	$E_{m,mean}$	4700	4100	1750
Schubmodul	G_{mean}	200	200	100
Scheibenbeanspruchung				
Biegung	$f_{m,k}$	22	16	8
Zug	$f_{t,k}$	20	16	8
Druck	$f_{c,k}$	20	16	8
Abscheren	$f_{v,k}$ ³⁾	7,5	7,5	4
Biege- <i>E</i> -Modul	$E_{m,mean}$	2500	2000	1000
Zug(Druck)- <i>E</i> -Modul	$E_{t(c),mean}$	2500	2000	1000
Schubmodul	G_{mean}	1250	1000	500
Rohdichte	ρ_k	900	850	600
¹⁾ Die Scher- bzw. Schubbeanspruchung parallel zur Plattenebene wird auch als „rolling shear“ bezeichnet. ²⁾ In EC 5 wird der zugehörige Bemessungswert mit $f_{v,90,d}$ bezeichnet. ³⁾ In EC 5 wird der zugehörige Bemessungswert mit $f_{v,0,d}$ bezeichnet.				

1.5 Querschnittsermittlung

Nennmaße

- Bauholz: Nennmaß $a_{\text{nom}} = a$ bei einer Bezugsholzfeuchte von 20 % (EC 5)
 BSH: Nennmaß $a_{\text{nom}} = a$ bei einer Bezugsholzfeuchte von 12 % (DIN EN 390)
 KVH: Nennmaß $a_{\text{nom}} = a$ bei einer Bezugsholzfeuchte von 15 % ([9.12])

Nach NAD ist für die Maßhaltigkeit von Bauholz DIN 4074-1 maßgebend, nach der sich der Sollquerschnitt auf eine mittlere Holzfeuchte von 30 % bezieht.

Querschnittsschwächungen

Querschnittsschwächungen sind rechnerisch zu berücksichtigen.

- Ausnahmen:
- nicht vorgebohrte Nagellöcher mit $d \leq 6$ mm,
 - in Druckstäben symmetrisch angeordnete Bo-, SDü-, Sr- und Nagellöcher,
 - Löcher in der Druckzone von Bauteilen, wenn die Löcher mit einem Material ausgefüllt sind, dessen Steifigkeit größer ist als die des Holzes.

Bei der Bestimmung des wirksamen Querschnitts bei Verbindungen mit mehreren Verbindungsmitteln sollten alle Löcher als in diesem Querschnitt vorhanden angesehen werden, die innerhalb eines Bereiches um diesen Querschnitt mit einem Abstand von weniger als dem halben Mindestabstand in Holzfaserrichtung auftreten.

Mindestquerschnitte sind gemäß NAD nach DIN 1052-1 einzuhalten (siehe Kap. 9 A, S. 9.6)

Querschnittstabellen siehe Kap. 9 A, Seite 9.46 bis 9.48

Standardquerschnitte für Konstruktionsvollholz nach [9.12]

Dicke in mm	Breite in mm					
	120	140	160	180	200	240
60						
80						
100						
120						

1.6 Verschiebungsmodul K_{ser}

Anfangsverschiebungsmodul K_{ser} pro Scherfläche in N/mm für Holz-Holz-, HW-Holz- und Stahl-Holz-Verbindungen

mit SDü, Sr, Nä(vb): $K_{\text{ser}} = \frac{\rho_k^{1,5}}{20} d$	mit Nä: $K_{\text{ser}} = \frac{\rho_k^{1,5}}{25} d^{0,8}$	mit Kl: $K_{\text{ser}} = \frac{\rho_k^{1,5}}{60} d^{0,8}$
---	--	--

- ρ_k charakteristische Rohdichte der miteinander verbundenen Bauteile in kg/m^3
 $\rho_k = \sqrt{\rho_{k,1} \rho_{k,2}}$ bei unterschiedlichen Werten $\rho_{k,1}$ und $\rho_{k,2}$ der charakteristischen Rohdichte der beiden miteinander verbundenen Teile
 $\rho_k = \rho_{k,\text{Holz}}$ bei Stahl-Holz-Verbindungen
 d Stift- \varnothing in mm

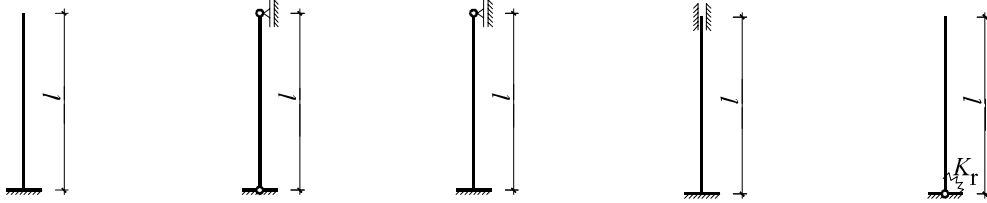
Anfangsverschiebungsmodul K_{ser} in N/mm pro Scherfläche für $\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$ *)

Stift- \varnothing d in mm	1,0	1,5	2,0	2,5	3,4	3,8	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	24,0
SDü Sr Nä(vb)	–	–	740	925	1260	1405	1480	1850	2220	2960	3700	4440	5920	7410	8890
Nä	–	–	515	615	790	860	900	1075	1240	1560	–	–	–	–	–
Kl	120	170	215	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

*) Für $\rho_k \neq 380 \text{ kg/m}^3$ gilt: $K_{\text{ser}} = (\rho_k / 380)^{1,5} \times \text{Tabellenwert}$.

1.7 Knicklängen l_{ef}

Die Knicklängen gelten für Knicken in der dargestellten Tragwerksebene.



$l_{ef} = 2l$

$l_{ef} = l$

$l_{ef} = 0,71l$

$l_{ef} = 0,5l$

$l_{ef} = l \sqrt{4 + \frac{\pi^2 EI}{l K_r}}$

I

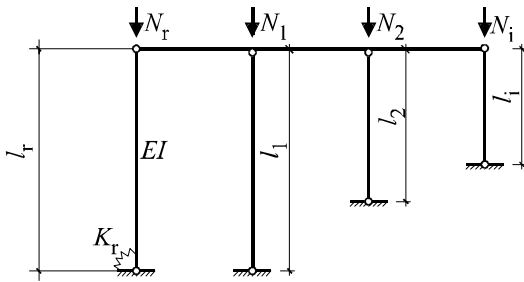
II

Eulerfälle

III

IV

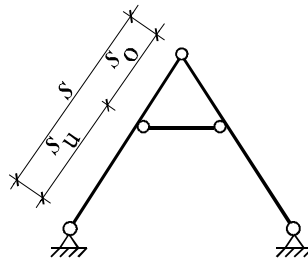
Nachgiebig eingespannte Stütze



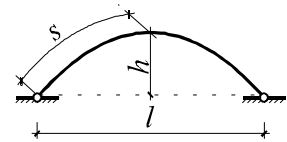
$\alpha = \frac{l_r}{N_r} \sum \frac{N_i}{l_i}$

$l_{ef} = l_r \pi \sqrt{\frac{5 + 4\alpha}{12} + \frac{(1 + \alpha)EI}{l_r K_r}}$

Stützenreihe



verschieblich:		
s_u	$< 0,7s$	$\geq 0,7s$
l_{ef}	$0,8s$	s
unverschieblich:		
$l_{ef} = s_u$ bzw. s_o		

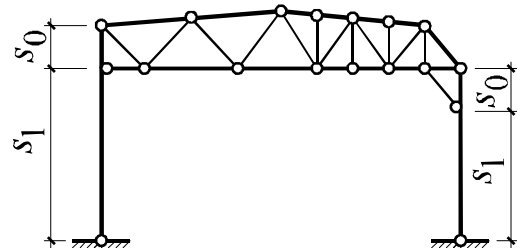
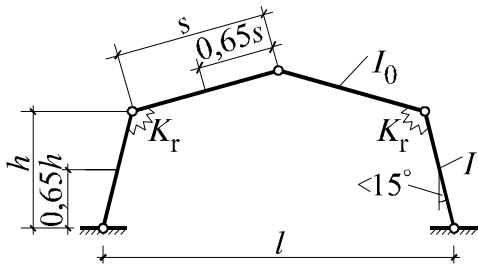


$0,15 \leq h/l \leq 0,5$
Querschnitt ist \approx konstant

$l_{ef} = 1,25s$

Kehlbalkendach

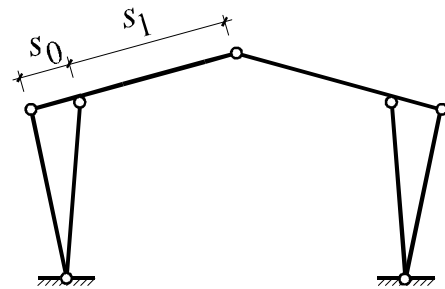
Bogen



Stiel: $l_{ef} = h \sqrt{4 + 3,2 \frac{I_s}{I_0 h} + 10 \frac{EI}{h K_r}}$

Riegel: $l_{ef} = h \sqrt{4 + 3,2 \frac{I_s}{I_0 h} + 10 \frac{EI}{h K_r} \sqrt{\frac{I_0 N}{I N_0}}}$

N ist die Längskraft im Stiel
 N_0 ist die Längskraft im Riegel



$l_{ef} = 2s_1 + 0,7s_0$

Zwei- und Dreigelenrahmen (B7 in [9.19])

Rahmen mit Fachwerkriegeln und V-Stützen

Weitere Knicklängen siehe [9.1] oder [9.27].

Fachwerkträger

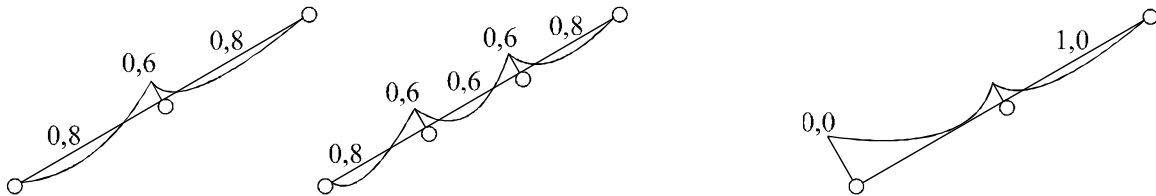
Beim vereinfachten Nachweis dürfen bei Knicken in der Fachwerksebene die folgenden Werte der wirk-
samen Knicklängen angenommen werden:

für querbelastete, durchlaufende Stäbe mit nur unwesentlichen Endmomenten:

- im Endfeld: das 0,8fache der Länge der Systemlinie
- im Innenfeld: das 0,6fache der Länge der Systemlinie
- im Knoten: das 0,6fache der größeren Länge der anschließenden Systemlinien

für querbelastete, durchlaufende Stäbe mit wesentlichen Endmomenten:

- im Feld mit Endmoment: 0 (d.h. kein Ausknicken)
- im vorletzten Feld: das 1,0fache der Länge der Systemlinie
- übrige Felder und Knoten: wie für Stäbe mit nur unwesentlichen Endmomenten



l_{ef}/l für Stäbe mit unwesentlichen Endmomenten

l_{ef}/l für Stäbe mit wesentlichen Endmomenten

1.8 Knickzahlen k_c

Schlankheitsgrad $\lambda = l_{ef}/i$

l_{ef} Knicklänge nach Abschnitt 1.7

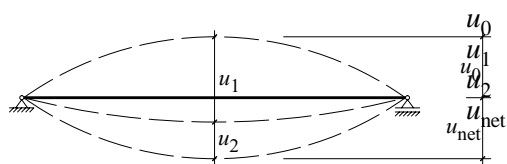
i Trägheitsradius

Knickzahlen k_c

λ	S 10 MS 10	S 13 MS 13	MS 13	MS 17	BS 11	BS 14 k	BS 14 h	BS 16 k	BS 16 h	BS 18 k	BS 18 h
30	0,998	0,997	0,997	0,999	1,000	1,000	0,998	1,000	0,998	1,000	1,000
40	0,941	0,939	0,939	0,944	0,975	0,971	0,967	0,975	0,968	0,975	0,971
50	0,849	0,845	0,845	0,856	0,925	0,915	0,904	0,927	0,906	0,924	0,915
60	0,715	0,709	0,710	0,726	0,821	0,799	0,774	0,824	0,779	0,818	0,797
70	0,577	0,571	0,571	0,588	0,671	0,644	0,616	0,675	0,622	0,667	0,642
80	0,463	0,458	0,458	0,473	0,536	0,512	0,488	0,539	0,492	0,533	0,510
90	0,376	0,372	0,372	0,385	0,433	0,412	0,392	0,435	0,396	0,430	0,411
100	0,310	0,307	0,307	0,318	0,355	0,338	0,321	0,357	0,324	0,352	0,337
110	0,260	0,257	0,257	0,266	0,296	0,281	0,267	0,298	0,270	0,294	0,280
120	0,221	0,218	0,218	0,226	0,250	0,238	0,226	0,252	0,228	0,248	0,237
130	0,189	0,187	0,187	0,194	0,214	0,203	0,193	0,215	0,195	0,212	0,203
140	0,164	0,162	0,162	0,168	0,185	0,176	0,167	0,186	0,169	0,184	0,175
150	0,144	0,142	0,142	0,148	0,162	0,154	0,146	0,163	0,147	0,161	0,153
160	0,127	0,126	0,126	0,130	0,143	0,135	0,129	0,143	0,130	0,142	0,135
170	0,113	0,112	0,112	0,116	0,127	0,120	0,114	0,127	0,115	0,126	0,120
180	0,101	0,100	0,100	0,104	0,113	0,107	0,102	0,114	0,103	0,112	0,107
190	0,091	0,090	0,090	0,093	0,102	0,097	0,092	0,102	0,093	0,101	0,096
200	0,082	0,081	0,081	0,085	0,092	0,087	0,083	0,093	0,084	0,091	0,087
210	0,075	0,074	0,074	0,077	0,084	0,079	0,075	0,084	0,076	0,083	0,079
220	0,068	0,068	0,068	0,070	0,076	0,072	0,069	0,077	0,069	0,076	0,072
230	0,063	0,062	0,062	0,064	0,070	0,066	0,063	0,070	0,063	0,069	0,066
240	0,058	0,057	0,057	0,059	0,064	0,061	0,058	0,065	0,058	0,064	0,061
250	0,053	0,053	0,053	0,055	0,059	0,056	0,053	0,060	0,054	0,059	0,056

2 Nachweis der Gebrauchstauglichkeit

2.1 Grenzwerte der Durchbiegung



u_0 Überhöhung im lastfreien Zustand
 u_1 Durchbiegung infolge ständiger Einwirkungen
 u_2 Durchbiegung infolge veränderlicher Einwirkungen
 u_{net} Gesamtdurchbiegung, bezogen auf eine die Auflager verbindende Gerade

Falls keine besonderen Anforderungen (z.B. bei Glasfassaden) an die Durchbiegung von Biegeträgern bestehen, werden im EC 5 folgende Grenzwerte empfohlen:

elastische Anfangsdurchbiegung
 infolge veränderlicher Einwirkungen $u_{2, \text{inst}} \leq l/300$ bzw. $u_{2, \text{inst}} \leq l/150$ bei Kragträgern

Enddurchbiegung
 infolge veränderlicher Einwirkungen $u_{2, \text{fin}} \leq l/200$ bzw. $u_{2, \text{fin}} \leq l/100$ bei Kragträgern

Gesamtdurchbiegung $u_{\text{net, fin}} \leq l/200$ bzw. $u_{\text{net, fin}} \leq l/100$ bei Kragträgern

mit l Spannweite bzw. Kraglänge

Träger, die überhöht werden können, sollten mit parabelförmiger Überhöhung hergestellt werden. Das Maß der Überhöhung richtet sich nach dem gewünschten Erscheinungsbild des Trägers bzw. der Einhaltung des Grenzwertes $u_{\text{net, fin}}$.

Für Fachwerkträger beziehen sich die Grenzwerte der Durchbiegung für Biegeträger sowohl auf die gesamte Spannweite als auch auf die Stäbe zwischen den Knoten. Wird die Durchbiegung von Fachwerkträgern näherungsweise nur aus der elastischen Verformung der Gurtstäbe ermittelt, dann sollten - der bisherigen Bemessungspraxis entsprechend - die Grenzwerte

$$\begin{aligned}
 u_{2, \text{inst}} &\leq l/600 \\
 u_{2, \text{fin}} &\leq l/400 \\
 u_{\text{net, fin}} &\leq l/400 \quad \text{eingehalten werden.}
 \end{aligned}$$

2.2 Berechnung der Bauteildurchbiegung

Anfangsdurchbiegungen $u_{1, \text{inst}}$ mit Einwirkung $\Sigma G_{k, j}$
 mittlerer E -Modul $E_{0, \text{mean}}$ nach Seite 9.6f.
 mittlerer Schubmodul G_{mean} nach Seite 9.6f.

$u_{2, \text{inst}}$ mit Einwirkungskombination $Q_{k, 1} + \Sigma \psi_{1, i} Q_{k, i}$
 mittlerer E -Modul $E_{0, \text{mean}}$ nach Seite 9.6f.
 mittlerer Schubmodul G_{mean} nach Seite 9.6f.
 $\psi_{1, i}$ nach Kapitel V B, S. 5.5

Enddurchbiegungen $u_{1, \text{fin}} = u_{1, \text{inst}}(1 + k_{\text{def}, 1})$
 $u_{2, \text{fin}} = u_{2, \text{inst}}(1 + k_{\text{def}, 2})$
 $u_{\text{net, fin}} = u_{1, \text{fin}} + u_{2, \text{fin}} - u_0$

mit k_{def} nach Seite 9.5 zur Berücksichtigung der Zunahme der Verformung mit der Zeit infolge Kriech- und Feuchteinflüsse.

Besteht eine Lastkombination aus Einwirkungen, die zu verschiedenen Klassen der Lasteinwirkungsdauer gehören, dann sind die Durchbiegungsanteile aus den verschiedenen Einwirkungen mit den jeweils entsprechenden Werten für k_{def} zu berechnen.

2.2.1 Biegeträger mit konstanter Höhe

Einachsige Biegung $u_{\text{inst}} = n M_{\text{max}} l^2 \frac{10^4}{E_{0, \text{mean}} I}$

Zweiachsige Biegung $u_{y, \text{inst}} = n M_{z, \text{max}} l_z^2 \frac{10^4}{E_{0, \text{mean}} I_z}$ $u_{z, \text{inst}} = n M_{y, \text{max}} l_y^2 \frac{10^4}{E_{0, \text{mean}} I_y}$

$$u_{m, \text{inst}} = \sqrt{u_{y, \text{inst}}^2 + u_{z, \text{inst}}^2} \quad E_{0, \text{mean}} \text{ in N/mm}^2$$

n -Werte und Einheiten von M_{\max} , l , I siehe Kap. 4, Seite 4.27

Schubverformung
$$u_{v,inst} = \frac{M_{\max}}{G_{\text{mean}} A_v}$$

G_{mean} mittlerer Schubmodul

$A_v = A_{\text{Steg}}$ bei Stegträgern
 $= A/1,2$ bei Trägern mit Rechteckquerschnitt

Gesamte Anfangsverformung
$$u_{inst} = u_{m,inst} + u_{v,inst}$$

2.2.2 Sattel- und Pultdachträger mit Rechteckquerschnitt

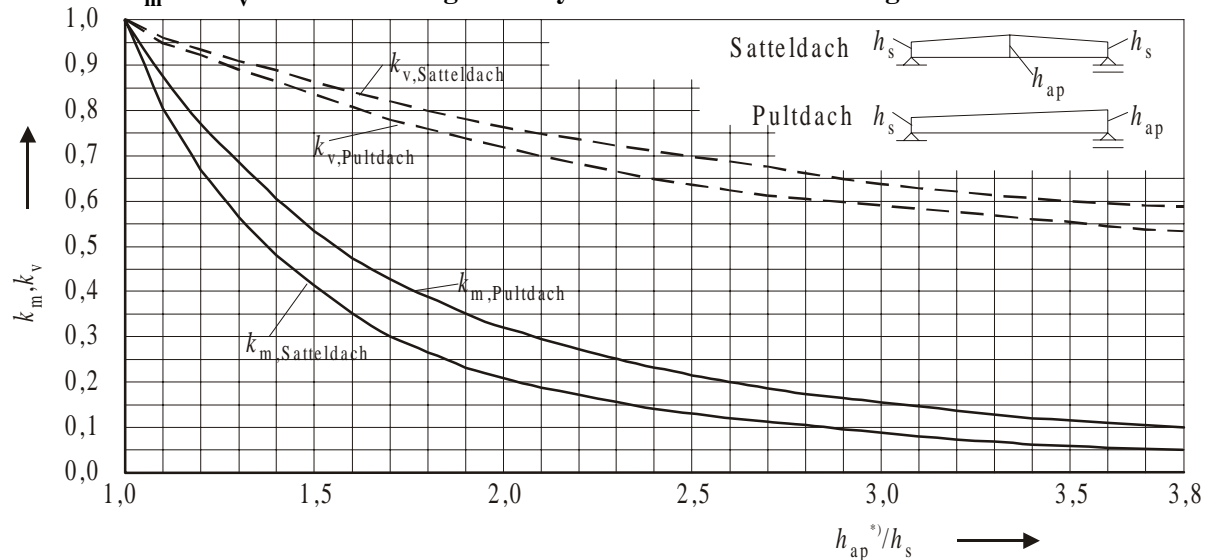
Biegeverformung mit $I_s = b h_s^3 / 12$

Schubverformung mit $A_s = b h_s$

$$u_{m,inst} = \frac{M_{\max} l^2}{9,6 E_{0,mean} I_s} k_m$$

$$u_{v,inst} = \frac{1,2 M_{\max}}{G_{\text{mean}} A_s} k_v$$

Faktoren k_m und k_v für Pultdachträger und symmetrische Satteldachträger



*) Bei gekrümmtem Untergurt hier h_1 nach Abschnitt 3.3.5 einsetzen.

Für symmetrische Satteldachträger können k_m und k_v folgendermaßen berechnet werden:

$$k_m = \frac{(h_s / h_{ap})^3}{0,15 + 0,85 h_s / h_{ap}} \quad k_v = \frac{2}{1 + (h_{ap} / h_s)^{2/3}}$$

Für Satteldachträger mit gekrümmtem Untergurt und zum Auflager hin konisch zulaufendem Querschnitt können die Durchbiegungen z.B. nach [9.2] ermittelt werden.

2.2.3 Zusammengesetzte Träger mit konstanter Höhe

In die Gleichungen in Kap. 4, Seite 4.27 für die Berechnung der Durchbiegung $\max f (= u_{inst})$ ist als Biegesteifigkeit EI einzusetzen:

für geleitete Stegträger EI nach Gl. (1) auf Seite 9.22

für zusammengesetzte Träger mit nachgiebigem Verbund $(EI)_{ef}$ nach Gl. (1) auf Seite 9.24

2.2.4 Rahmentragwerke und Fachwerke

Gesamte Anfangsverformung
$$\delta = \delta_{el} + \delta_j$$

Elastische Verformung
$$\delta_{el} = \int \frac{M \bar{M}}{E_{0,mean} I} ds + \int \frac{V \bar{V}}{G_{\text{mean}} A_v} ds + \int \frac{S \bar{S}}{E_{0,mean} A} ds$$

siehe auch Kap. 4, Seite 4.40 und 4.46

Verformung in den Verbindungen

$$\delta_j = \sum \frac{M_E \bar{M}_E}{K_r} + \sum \frac{S_k \bar{S}_k}{K_j} + \sum \bar{S}_i \Delta u_i$$

siehe auch Abschnitt 2.3

Es bedeuten

M_E	in Nmm ;	\bar{M}_E	in mm	Biegemomente in Rahmenecken oder Einspannungen
S_k	in N	\bar{S}_k	in -	Anschlußkräfte in Knoten
S_i	in N	\bar{S}_i	in -	Stabkräfte
K_r	in Nmm			Drehfedersteifigkeit
K_j	in N/mm			Federsteifigkeit
Δu_i	in mm			Schlupf

Die Endverformung eines Tragwerks, das aus Bauteilen mit unterschiedlichen Kriecheigenschaften besteht, sollte mit abgeänderten Steifigkeitsmoduln berechnet werden, die bestimmt werden, indem der Steifigkeitsmodul für jedes Bauteil durch den entsprechenden Wert von $(1 + k_{def})$ geteilt wird.

Verformungen aus Temperaturänderungen können bei Holzkonstruktionen im allgemeinen vernachlässigt werden.

2.3 Berechnung der Verschiebung von Verbindungen

Elastische Anfangsverschiebung $u_{inst} = F/K_{ser}$ mit K_{ser} nach Abschnitt 1.6

Endverschiebung $u_{fin} = u_{inst} (1 + k_{def})$

$$u_{fin} = u_{inst} \sqrt{(1 + k_{def,1})(1 + k_{def,2})}$$

bei einer Verbindung zwischen Bauteilen mit unterschiedlichen Kriecheigenschaften

Bolzenverbindung

$$u_{inst} = 1 \text{ mm} + F/K_{ser} \quad \text{mit } K_{ser} \text{ für SDü}$$

$$u_{fin} = 1 \text{ mm} + u_{inst} (1 + k_{def}) \quad \text{mit } u_{inst} \text{ für SDü-Verbindung}$$

Beispiel:

Stoß eines einteiligen Zugstabes (NH S 10) mit beidseitigen Laschen (NH S 10) und vorgebohrten Nägeln mit $\varnothing 6,0 \text{ mm}$

Kraft je Scherfläche $N = 1,33 \text{ kN}$

$$K_{ser} = \frac{380^{1,5}}{20} 6,0 = 2220 \text{ N/mm}$$

$$\text{Anfangsverschiebung der Verbindung (Stoßaufweitung)} = 2 \frac{N}{K_{ser}} = \frac{1330}{2220} = 1,2 \text{ mm}$$

2.4 Schwingungen

Bei Wohnungsdecken: Eigenfrequenz $f_1 = \frac{\pi}{2l^2} \sqrt{\frac{(EI)_1}{m}}$ in Hz

m Masse pro Flächeneinheit in kg/m^2

l Deckenspannweite in m

$(EI)_1$ äquivalente Plattenbiegesteifigkeit um eine Achse rechtwinklig zur Richtung der Balken in Nm^2/m

$f_1 \leq 8 \text{ Hz}$: besondere Untersuchung ist erforderlich, siehe z. B. [9.23]

$f_1 > 8 \text{ Hz}$: $u/F \leq 1,5 \text{ mm/kN}$ und $v \leq 100^{(f_1 \zeta - 1)}$

mit u größte vertikale Durchbiegung infolge einer konzentrierten vertikalen stat. Last F

ζ Dämpfungsgrad ($= 0,01$)

$v = 4(0,4 + 0,6n_{40})/(m b l + 200)$ in $\text{m}/(\text{Ns}^2)$

b Abmessung der Holzbalkendecke rechtwinklig zur Spannrichtung der Balken

$$n_{40} = \sqrt[4]{\left[(40/f_1)^2 - 1 \right] (b/l)^4 \frac{(EI)_1}{(EI)_b}}$$

$(EI)_b$ äquivalente Biegesteifigkeit in Nm^2/m um eine Achse in Richtung der Balken, wobei $(EI)_b < (EI)_1$

3 Nachweis der Tragfähigkeit

3.1 Allgemeine Querschnittsnachweise

Ermittlung der Bemessungswerte der Schnittgrößen und der Baustoffeigenschaften wird nach den Angaben in den Abschnitten 1.2 bis 1.4 vorgenommen.

3.1.1 Zug parallel zur Faser

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1 \quad \sigma_{t,0,d} = F_d / A_n \quad f_{t,0,d} \text{ Bemessungswert der Zugfestigkeit}$$

$$A_n \text{ Nettoquerschnittsfläche} \quad F_d \text{ Bemessungswert der mittigen Zugkraft}$$

3.1.2 Zug rechtwinklig zur Faser

Für Vollholz $\frac{\sigma_{t,90,d}}{f_{t,90,d}} \leq 1$ für BSH $\frac{\sigma_{t,90,d}}{f_{t,90,d} (V_0 / V)^{0,2}} \leq 1$

$f_{t,90,d}$ Bemessungswert der Zugfestigkeit \perp Faser
 $V_0 = 0,01 \text{ m}^3$
 V mit gleichmäßig verteilter Spannung $\sigma_{t,90}$ beanspruchtes Volumen in m^3

3.1.3 Druck parallel zur Faser

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \leq 1 \quad \sigma_{c,0,d} = F_d / A_n \quad f_{c,0,d} \text{ Bemessungswert der Druckfestigkeit}$$

$$A_n \text{ Nettoquerschnittsfläche} \quad F_d \text{ Bemessungswert der mittigen Druckkraft}$$

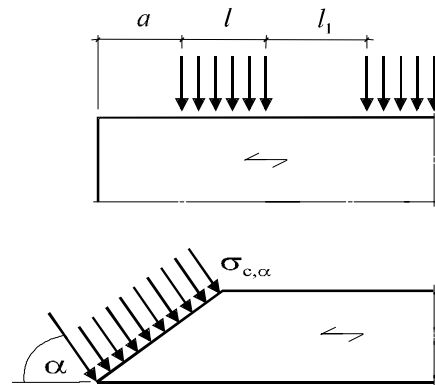
Bei Knickgefahr siehe Abschnitt 3.2.

3.1.4 Druck unter Winkel α zur Faser ($\alpha \neq 0^\circ$)

Für $\alpha = 90^\circ$ $\frac{\sigma_{c,90,d}}{k_{c,90} f_{c,90,d}} \leq 1$

Faktor $k_{c,90}$

	$l_1 \leq 150 \text{ mm}$	$l_1 > 150 \text{ mm}$	
		$a \geq 100 \text{ mm}$	$a < 100 \text{ mm}$
$l \geq 150 \text{ mm}$	1	1	1
$l \begin{cases} < 150 \text{ mm} \\ \geq 15 \text{ mm} \end{cases}$	1	$1 + \frac{150-l}{170}$	$1 + \frac{a(150-l)}{17000}$
$15 \text{ mm} > l$	1	1,8	$1 + a/125$



Für $0^\circ < \alpha < 90^\circ$ $\frac{\sigma_{c,\alpha,d}}{k_{c,\alpha} f_{c,0,d}} \leq 1$ mit $k_{c,\alpha} = \frac{1}{\frac{f_{c,0,d}}{f_{c,90,d}} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$

Beispiel:

Auflagerkraft $F_d = 200 \text{ kN}$

Auflagerfläche $A = 160 \cdot 200 = 32 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$

Material: BSH BS 11

$f_{c,0,d} = 14,7 \text{ N/mm}^2$

Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung $\alpha = 25^\circ$

Aus Tabelle auf Seite 9.16: $k_{c,\alpha} = 0,718 - 0,5(0,718 - 0,543) = 0,63$

$$\sigma_{c,\alpha,d} = \frac{200 \cdot 10^3}{32 \cdot 10^3} = 6,25 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Nachweis: } \frac{\sigma_{c,\alpha,d}}{k_{c,\alpha} f_{c,0,d}} = \frac{6,25}{0,63 \cdot 14,7} = 0,68 < 1$$

Faktor $k_{c,\alpha}$

Material	$f_{c,0,k}/f_{c,90,k}$	Winkel α zwischen Kraft- und Faserrichtung									
		0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
S 7/MS 7	4,25	1,000	0,911	0,725	0,552	0,427	0,344	0,291	0,258	0,241	0,235
S 10/MS 10	4,20	1,000	0,912	0,728	0,556	0,431	0,347	0,294	0,261	0,244	0,238
S 13	4,60	1,000	0,902	0,704	0,526	0,402	0,321	0,270	0,239	0,223	0,217
MS 13	5,00	1,000	0,892	0,681	0,500	0,377	0,299	0,250	0,221	0,205	0,200
MS 17	4,33	1,000	0,909	0,720	0,546	0,421	0,339	0,286	0,254	0,236	0,231
BS 11	4,36	1,000	0,908	0,718	0,543	0,418	0,336	0,284	0,252	0,235	0,229
BS 14k	5,00	1,000	0,892	0,681	0,500	0,377	0,299	0,250	0,221	0,205	0,200
BS 14h	5,27	1,000	0,886	0,667	0,484	0,362	0,285	0,238	0,210	0,194	0,190
BS 16k	5,09	1,000	0,890	0,676	0,494	0,372	0,294	0,246	0,217	0,201	0,196
BS 16h	5,37	1,000	0,884	0,662	0,478	0,357	0,281	0,234	0,206	0,191	0,186
BS 18k	4,69	1,000	0,900	0,698	0,520	0,396	0,316	0,265	0,235	0,218	0,213
BS 18h	4,92	1,000	0,894	0,685	0,505	0,382	0,303	0,254	0,224	0,208	0,203

Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden.

3.1.5 Biegung

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

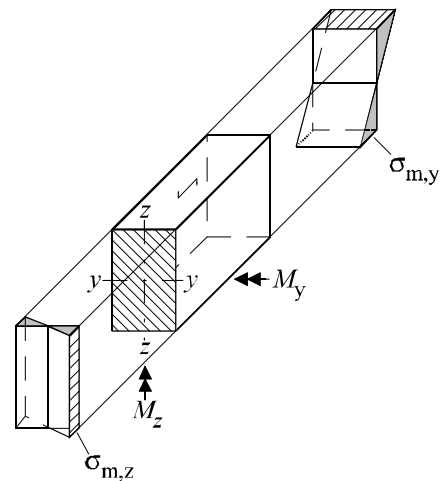
$$\sigma_{m,y,d} = M_{y,d} / W_{y,n}$$

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

$f_{m,y,d}; f_{m,z,d}$ Bemessungswerte der Biegefestigkeit

$$k_m = 0,7 \quad \text{für Rechteckquerschnitte}$$

$$k_m = 1,0 \quad \text{für andere Querschnitte}$$



3.1.6 Biegung und Zug

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

Bezeichnungen siehe Abschnitte 3.1.1 und 3.1.5.

3.1.7 Biegung und Druck

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad \text{und} \quad \left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

Bezeichnungen siehe Abschnitte 3.1.3 und 3.1.5.

3.1.8 Schub

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1 \quad f_{v,d} \quad \text{Bemessungswert der Schubfestigkeit}$$

$$\text{Schub aus Querkraft} \quad \tau_d = \frac{V_d S}{I b}$$

V_d Bemessungswert der Querkraft (mögliche Abminderung siehe V_{red})

S Flächenmoment 1. Grades (Statisches Moment)

I Flächenmoment 2. Grades

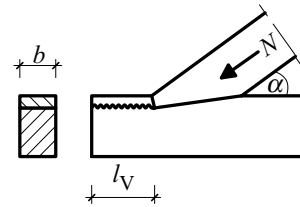
b Querschnittsbreite an der Stelle, an der τ wirkt

A Querschnittsfläche

$$\tau_d = 1,5 \frac{V_d}{A} \quad \text{für Rechteckquerschnitte}; \quad \tau_d = \frac{4}{3} \frac{V_d}{A} \quad \text{für Kreisquerschnitte}$$

Abscheren

$$\tau_d = \frac{N_d \cos \alpha}{b l_v}$$



Abgeminderte Querkraft V_{red}

Träger, die am unteren Rand aufgelagert und am oberen Rand belastet werden, können mit einer abgeminderten Querkraft V_{red} nachgewiesen werden.

$$V_{red} = k_F V \quad \text{bei Einzellasten mit } e \leq 2h$$

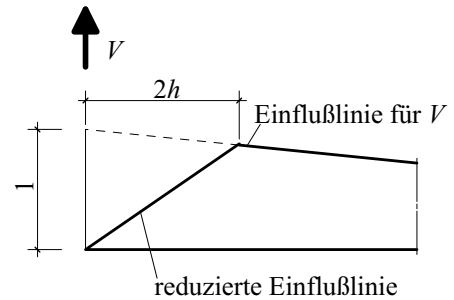
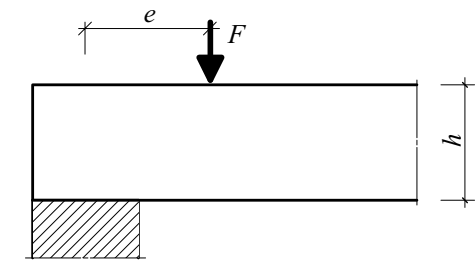
$$V_{red} = k_q V \quad \text{bei Gleichstreckenlast}$$

Für Einfeldträger ist $k_F = (0,5 - h/l)e/h$

$$\text{und } k_q = 1 - 2 \frac{h}{l}$$

Faktoren k_q und k_F für Einfeldträger

Faktor k_q		Faktor k_F						
		$e/h =$	0,25	0,50	1,00	1,50	1,75	
h/l		h/l						
0,04	0,92	0,04	0,12	0,23	0,46	0,69	0,81	
0,05	0,90	0,05	0,11	0,23	0,45	0,68	0,79	
0,06	0,88	0,06	0,11	0,22	0,44	0,66	0,77	
0,07	0,86	0,07	0,11	0,22	0,43	0,65	0,75	



Ausklinkungen am Endauflager von Trägern

$$\frac{1,5 \frac{V_d}{b h_e}}{k_v f_{v,d}} \leq 1$$

für oben ausgeklinkte Träger: $k_v = 1$

für unten ausgeklinkte Träger:

$$k_v = \frac{k_n \left[1 + \frac{1,1(\tan \varepsilon)^{-1,5}}{\sqrt{h}} \right]}{\sqrt{h} \left[\sqrt{\alpha(1-\alpha)} + 0,8 \frac{x}{h} \sqrt{\frac{1}{\alpha} - \alpha^2} \right]} \leq 1$$

wobei nach NAD einzuhalten ist: $\alpha \geq 0,5$ und $x/h \leq 0,4$

h Trägerhöhe in mm

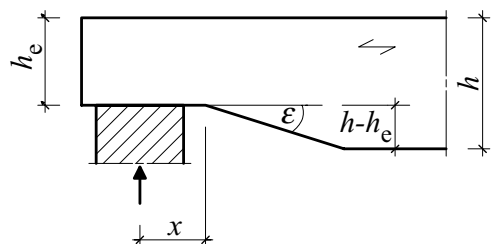
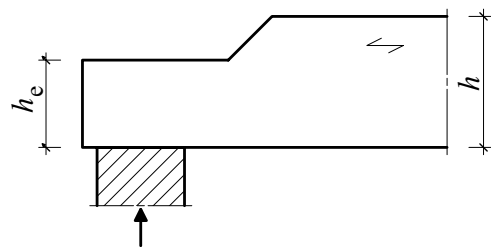
x Abstand zwischen Kraftwirkungsline und Ausklinkungsecke in mm

$\alpha = h_e/h$

$k_n = 5$ für Vollholz

ε Steigungswinkel des Anschnitts

$k_n = 6,5$ für BSH



3.1.9 Torsion

$$\frac{\tau_{tor,d}}{f_{v,d}} \leq 1 \quad \tau_{tor,d} = \frac{3T_d}{h b^2} \eta \quad \text{für Rechteckquerschnitte}$$

$f_{v,d}$ Bemessungswert der Schubfestigkeit

T_d Bemessungswert des Torsionsmomentes

$\eta = 1 + 0,6b/h$ nach Larsen/Riberholt [9.24], wobei $h \geq b$

η -Werte

h/b	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
η	1,60	1,30	1,20	1,15	1,12	1,10	1,09	1,08	1,07	1,06	1,05	1,05

3.2 Einteilige Druckstäbe

Knicknachweis für Druckstab mit

Knicklängen $l_{ef,y}; l_{ef,z}$ (Knicklängen verschiedener Systeme siehe Abschnitt 1.7)
 Trägheitsradien $i_y; i_z$

Querschnittsfläche A (wenn im mittleren Drittel der Knicklänge Querschnitt geschwächt: $A = A_n$)
 Materialeigenschaften $f_{c,0,k}; f_{c,0,d}; f_{m,d}; E_{0,05}$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{l_{ef,y}}{i_y} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\pi^2 E_{0,05}}} = \lambda_y \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\pi^2 E_{0,05}}} \quad \lambda_{rel,z} = \frac{l_{ef,z}}{i_z} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\pi^2 E_{0,05}}} = \lambda_z \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\pi^2 E_{0,05}}}$$

$$k_y = 0,5(1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2) \quad k_z = 0,5(1 + \beta_c (\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2)$$

mit $\beta_c = 0,2$ für Vollholz und $\beta_c = 0,1$ für BSH

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} \quad k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}}$$

Tabelle für k_c in Abhängigkeit von λ siehe Abschnitt 1.8.

Wenn $\lambda_{rel,y(z)} \leq 0,5$ bzw. $\lambda_{y(z)} \leq 30$, ist der Spannungsnachweis nach Abschnitt 3.1.7 zu führen.

Wenn $\lambda_{rel,y(z)} > 0,5$ bzw. $\lambda_{y(z)} > 30$, ist nachzuweisen, daß

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

mit $\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A}$ $\sigma_{m,y(z),d} = \frac{M_{y(z),d}}{W_{y(z)}}$ $k_m = 0,7$ für Rechteckquerschnitte
 $k_m = 1,0$ für andere Querschnitte

Nach NAD ist auch Kippen zu berücksichtigen, indem die Bemessungswerte $f_{m,y(z),d}$ mit dem zugehörigen k_{crit} nach Abschnitt 3.3.1 (siehe unten) multipliziert werden.

3.3 Einteilige Biegeträger

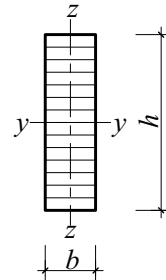
3.3.1 Gerade Träger mit konstantem Querschnitt

Die allgemeinen Querschnittsnachweise für Biegung, Schub und gegebenenfalls Querdruck am Auflager sind zu führen.

Kippnachweis für Träger mit Rechteckquerschnitt

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} f_{m,d}} \leq 1$$

$$k_{crit} = \begin{cases} 1 & \text{für } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75 \lambda_{rel,m} & \text{für } 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \\ 1 / \lambda_{rel,m}^2 & \text{für } 1,4 < \lambda_{rel,m} \end{cases}$$



$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} \quad \sigma_{m,crit} = \frac{\pi b^2 E_{0,05}}{l_{ef} h} \sqrt{\frac{G_{mean}}{E_{0,mean}}} \quad \text{nach NAD}$$

Verhältnis l_{ef}/l nach [9.25]

Lastangriff in der Mitte		Lastangriff oben	Lastangriff in der Mitte	Lastangriff unten	
1		0,95	0,90	0,85	
2		$0,80/\alpha$	$0,75/\alpha$	$0,70/\alpha$	
1,2		mit $\alpha = 1,35 - 1,4 \frac{x}{l} (1 - x/l)$			
1,7		0,40	0,40	0,35	
0,25		bezeichnet einen Bereich, in dem eine seitliche Verschiebung des oberen Balkenrandes (aber nicht eine vertikale Verschiebung oder Verdrehung) behindert wird.			

Beispiel:

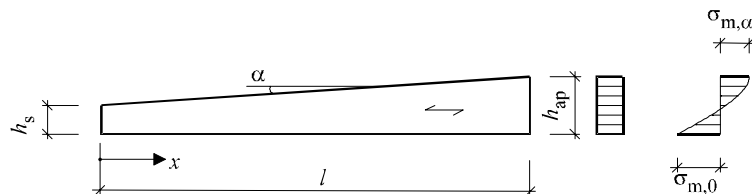
Einfeldträger 120×480 mm BS 11 mit Stützweite $l = 6,5$ m unter Gleichstreckenlast (Lastangriff oben)

$$\begin{aligned} \sigma_{m,d} &= 12,0 \text{ N/mm}^2 & E_{0, \text{mean}} &= 11500 \text{ N/mm}^2 \\ f_{m,k} &= 24,0 \text{ N/mm}^2 & E_{0,05} &= 9200 \text{ N/mm}^2 \\ f_{m,d} &= 14,7 \text{ N/mm}^2 & G_{\text{mean}} &= 720 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\sigma_{m,\text{crit}} = \frac{\pi \cdot 0,12^2 \cdot 9200}{0,95 \cdot 6,5 \cdot 0,48} \sqrt{\frac{720}{11500}} = 35,1 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda_{\text{rel,m}} = \sqrt{\frac{24,0}{35,1}} = 0,827 \rightarrow k_{\text{crit}} = 1,56 - 0,75 \cdot 0,827 = 0,94 \rightarrow \text{Kippnachweis: } \frac{12,0}{0,94 \cdot 14,7} = 0,87 < 1$$

3.3.2 Pultdachträger



Für eine Gleichstreckenlast liegt die Stelle der maximalen Biegespannung bei $x = \frac{lh_s}{h_s + h_{ap}}$

Nachweise für die Randspannungen am

Rand Fa: $\frac{\sigma_{m,0,d}}{f_{m,d}} \leq 1$ (1)	Rand schräg zur Fa: $\frac{\sigma_{m,\alpha,d}}{f_{m,\alpha,d}} \leq 1$ (2)
---	---

wobei am

Rand Fa: $\sigma_{m,0,d} = (1 + 4 \tan^2 \alpha) \frac{6M_d}{bh^2}$ (3)	Rand schräg zur Fa: $\sigma_{m,\alpha,d} = (1 - 4 \tan^2 \alpha) \frac{6M_d}{bh^2}$ (4)
--	---

In Gl. (2) ist einzusetzen

beim Rand schräg zur Fa im Biegezugbereich $f_{m,\alpha,d} = \frac{f_{m,d}}{\frac{f_{m,d}}{f_{t,90,d}} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$ (5)	beim Rand schräg zur Fa im Biegedruckbereich $f_{m,\alpha,d} = \frac{f_{m,d}}{\frac{f_{m,d}}{f_{c,90,d}} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$ (6)
---	---

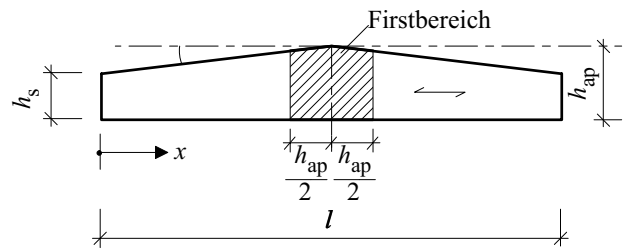
3.3.3 Satteldachträger mit geradem Untergurt

Für die Ränder schräg und parallel zur Faser sind die Nachweise des Pultdachträgers mit den Gln. (1) bis (6) des Abschnitts 3.3.2 zu führen. Für eine Gleichstreckenlast liegt die Stelle der maximalen Biegespannung bei $x = \frac{lh_s}{2h_{ap}}$.

Im Firstquerschnitt muß erfüllt sein:

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

$$h_{ap}/r = 0$$



$$\sigma_{m,d} = (1 + 1,4 \tan \alpha + 5,4 \tan^2 \alpha) \frac{6M_{ap,d}}{bh_{ap}^2} \quad (\text{siehe auch Diagramm für } k_l\text{-Werte im Abschnitt 3.3.5})$$

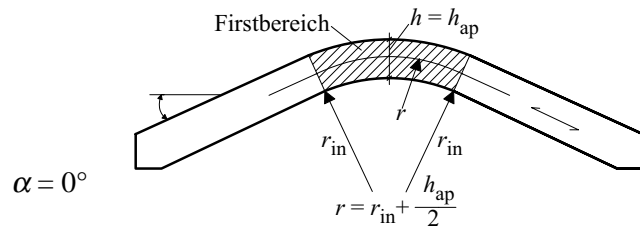
sowie

$$\frac{\sigma_{t,90,d}}{1,4 (0,01/V)^{0,2} f_{t,90,d}} \leq 1 \quad \text{mit} \quad \sigma_{t,90,d} = 0,2 \tan \alpha \frac{6M_{ap,d}}{bh_{ap}^2}$$

$$V = bh_{ap}^2 \left(1 - \frac{\tan \alpha}{4}\right) \quad \text{Volumen des Firstbereiches in m}^3 \quad (\text{siehe obige Abb.})$$

($V \leq 2/3$ des Gesamtvolumens des Trägers)

3.3.4 Gekrümmte Träger



Im Firstquerschnitt müssen die nachfolgenden Nachweise gemäß Gl. (1) und (2) erfüllt sein:

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_r f_{m,d}} \leq 1 \quad (1) \quad \text{mit} \quad k_r = 1 \quad \text{für } r_{in}/t \geq 240$$

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

t ist die Lamellendicke

$$\sigma_{m,d} = (1 + 0,35k_{ap} + 0,6k_{ap}^2) \frac{6M_{ap,d}}{bh_{ap}^2} \quad \text{mit} \quad k_{ap} = h_{ap}/r$$

(siehe auch Diagramm für k_l -Werte im Abschnitt 3.3.5)

$$\frac{\sigma_{t,90,d}}{1,4 (0,01/V)^{0,2} f_{t,90,d}} \leq 1 \quad (2) \quad \text{mit} \quad \sigma_{t,90,d} = 0,25 k_{ap} \frac{6M_{ap,d}}{bh_{ap}^2}$$

(siehe auch Diagramm für k_p -Werte im Abschnitt 3.3.5)

$$V = \frac{\delta \pi}{180} b (h_{ap}^2 + 2r_{in} h_{ap}) \quad \text{Volumen des Firstbereiches in m}^3 \quad (\text{siehe obige Abb.})$$

($V \leq 2/3$ des Gesamtvolumens des Trägers)

3.3.5 Satteldachträger mit gekrümmtem Untergurt

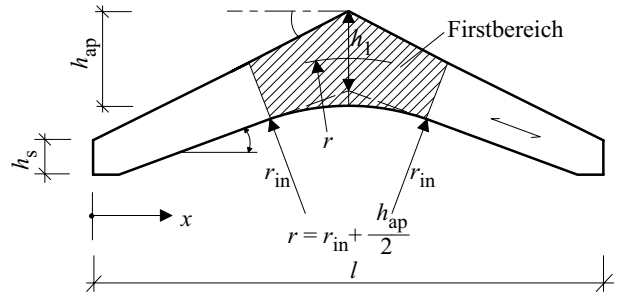
Für die Ränder schräg und parallel zur Faser sind die Nachweise des Pultdachträgers mit den Gln. (1) bis (6) des Abschnitts 3.3.2 zu führen. Für eine Gleichstreckenlast liegt die Stelle der maximalen Biegespannung bei $x = \frac{lh_s}{2h_1}$.

Biegelängsspannung im Firstquerschnitt

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_r f_{m,d}} \leq 1 \quad (1) \quad \text{mit} \quad \sigma_{m,d} = k_l \frac{6M_{ap,d}}{b h_{ap}^2}$$

wobei

$$\begin{aligned} k_{ap} &= h_{ap}/r \\ k_l &= k_1 + k_2 k_{ap} + k_3 k_{ap}^2 + k_4 k_{ap}^3 \quad \text{mit} \\ k_1 &= 1 + 1,4 \tan \alpha + 5,4 \tan^2 \alpha \\ k_2 &= 0,35 - 8 \tan \alpha \\ k_3 &= 0,6 + 8,3 \tan \alpha - 7,8 \tan^2 \alpha \\ k_4 &= 6 \tan^2 \alpha \\ k_r &= 1 \quad \text{für } r_{in}/t \geq 240 \\ k_r &= 0,76 + 0,001 r_{in}/t \quad \text{für } r_{in}/t < 240 \end{aligned}$$



Zugspannung rechtwinklig zur Faserrichtung im Firstquerschnitt

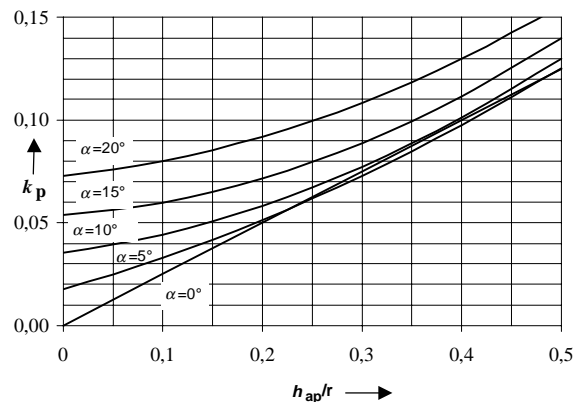
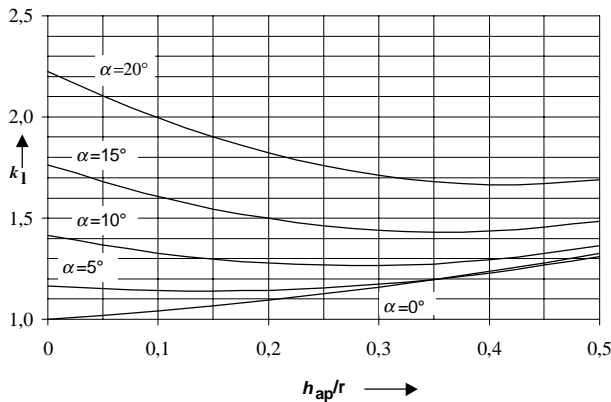
$$\frac{\sigma_{t,90,d}}{1,7(0,01/V)^{0,2} f_{t,90,d}} \leq 1 \quad (2) \quad \text{mit} \quad \sigma_{t,90,d} = k_p \frac{6M_{ap,d}}{b h_{ap}^2}$$

V ist das Volumen des Firstbereiches in m³ (siehe obige Abb.) und ergibt sich nach [9.26] zu

$$V = b \left[(r_{in} + h_{ap})^2 \frac{\sin \beta \cos \alpha}{\cos(\alpha - \beta)} - r_{in}^2 \frac{\pi \beta}{180} \right] \leq 2/3 \text{ des Gesamtvolumens des Trägers}$$

$$\begin{aligned} k_{ap} &= h_{ap}/r \\ k_p &= k_5 + k_6 k_{ap} + k_7 k_{ap}^2 \quad \text{mit} \\ k_5 &= 0,2 \tan \alpha \\ k_6 &= 0,25 - 1,5 \tan \alpha + 2,6 \tan^2 \alpha \\ k_7 &= 2,1 \tan \alpha - 4 \tan^2 \alpha \end{aligned}$$

k_l- und k_p-Werte



Für gekrümmte Träger: $\alpha = 0^\circ$

Für Satteldachträger mit geradem Untergurt ($k_{ap} = 0$) wird

$$\begin{aligned} k_l &= 1 + 1,4 \tan \alpha + 5,4 \tan^2 \alpha \\ k_p &= 0,2 \tan \alpha \end{aligned}$$

3.4 Zusammengesetzte Bauteile

3.4.1 Geleimte, dünnstegige Träger

Für Steg und Gurte werden Baustoffe verwendet, die unterschiedliches elastisches Verhalten aufweisen (Verbundquerschnitt). Für symmetrische Querschnitte (siehe Abbildung rechts) gilt:

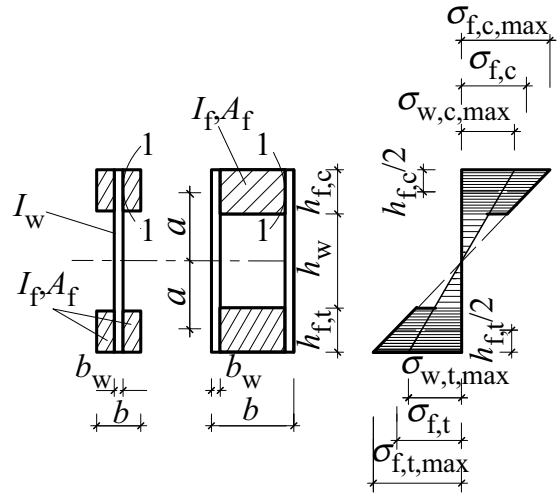
$$EI = E_w I_w + 2E_f I_f + 2E_f A_f a^2 \quad (1)$$

Es sind die Spannungsverteilungen bei der Anfangsverformung und bei der Endverformung zu unterscheiden. Für Querschnittsteile mit den kleineren k_{def} -Werten sind die Spannungen bei der Endverformung maßgebend. Für Querschnittsteile mit den größeren k_{def} -Werten sind die Spannungen bei der Anfangsverformung maßgebend.

Bei Beanspruchungen mit nur einer Lasteinwirkungsdauer ist für die Ermittlung der Spannungen bei der Endverformung einzusetzen

$$E_w = \frac{E_{0,\text{mean}}}{1 + k_{\text{def}}} \text{ des Stegmaterials} \quad \text{und} \quad E_f = \frac{E_{0,\text{mean}}}{1 + k_{\text{def}}} \text{ des Gurtmaterials.}$$

Bei Kombinationen von Beanspruchungen mit unterschiedlicher Lasteinwirkungsdauer siehe [9.19] (B9) und Beispiel auf Seite 9.31f. Für unsymmetrische Querschnitte ist die Biegesteifigkeit EI nach den Gleichungen des Abschnittes 3.4.3 mit dem Faktor $\gamma_i = 1$ zu berechnen.



Nachweise für Gurtquerschnitte

$$\frac{\sigma_{f,c,\text{max,d}}}{f_{m,d}} \leq 1; \quad \frac{\sigma_{f,t,\text{max,d}}}{f_{m,d}} \leq 1; \quad \frac{\sigma_{f,c,d}}{k_c f_{c,0,d}} \leq 1; \quad \frac{\sigma_{f,t,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1$$

$$\text{mit} \quad \sigma_{f,c(t),\text{max,d}} = \frac{M_d}{EI} (a + h_{f,c(t)}/2) E_f \quad \text{und} \quad \sigma_{f,c(t),d} = \frac{M_d}{EI} a E_f$$

k_c Knickzahl nach Abschnitt 1.8 und 3.2 für einen Schlankheitsgrad $\lambda_z = \sqrt{12} l_c / b$

l_c Abstand zwischen denjenigen Querschnitten, bei denen ein seitliches Ausweichen des Druckgurtes verhindert wird

$f_{m,d}, f_{c,0,d}, f_{t,0,d}$ Bemessungswerte der Festigkeiten der Gurte

Spannungsnachweise für Stegquerschnitt

$$\frac{\sigma_{w,c(t),\text{max,d}}}{f_{w,c(t),d}} \leq 1 \quad \text{mit} \quad \sigma_{w,c(t),\text{max,d}} = \frac{M_d}{EI} (a + h_{f,c(t)}/2) E_w$$

$f_{w,c(t),d}$ Bemessungswert der Druck-(Zug-)Biegefestigkeit des Steges für Beanspruchung in Plattenebene (Scheibenbeanspruchung)

$$\frac{\tau_{w,d}}{f_{w,v,0,d}} \leq 1 \quad \text{mit} \quad \tau_{w,d} = \frac{V_d (E_w n b_w h^2 / 8 + E_f A_f a)}{E I n b}$$

$f_{w,v,0,d}$ Bemessungswert der Schubfestigkeit

n Anzahl der Stege mit jeweils der Stegdicke b_w

Beulnachweis für den Steg

Falls kein genauere Nachweis geführt wird, sind folgende Bedingungen einzuhalten:

$$h_w \leq 70 b_w \quad \text{und}$$

$$V_d \leq \begin{cases} n b_w h_w (1 + 0,5 (h_{f,t} + h_{f,c}) / h_w) f_{v,0,d} & \text{für } h_w \leq 35 b_w \\ n 35 b_w^2 (1 + 0,5 (h_{f,t} + h_{f,c}) / h_w) f_{v,0,d} & \text{für } 35 b_w < h_w \leq 70 b_w \end{cases}$$

$h_w, h_{f,c}, h_{f,t}, b_w$ siehe obige Abb.

$f_{v,0,d}$ Bemessungswert der Schubfestigkeit bei Beanspruchung rechtwinklig zur Plattenebene

V_d Bemessungswert der Schubkraft

n Anzahl der Stege mit jeweils der Stegdicke b_w

Nachweis der Leimfugenspannung

Für die Leimfuge zwischen Steg und Gurt (Schnitte 1-1 der obigen Abb.) sollte nachgewiesen werden, daß

$$\tau_{\text{mean, d}} \leq \begin{cases} f_{v,90,d} & \text{für } h_{f,c(t)} \leq 4b_w \\ f_{v,90,d} (4b_w / h_{f,c(t)})^{0,8} & \text{für } h_{f,c(t)} > 4b_w \end{cases}$$

mit

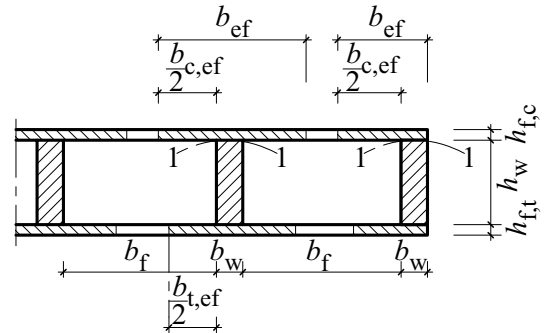
$\tau_{\text{mean, d}}$ Bemessungswert der Schubspannung, die als über die Gurthöhe $h_{f,c(t)}$ gleichmäßig verteilt angenommen wird

$f_{v,90,d}$ Bemessungswert der Schubfestigkeit des Gurtes bzw. des Steges bei Abscheren in Plattenebene

Beispiel: siehe Abschnitt 3.7.2

3.4.2 Geleimte Tafелеlemente

Sofern kein genauere Nachweis geführt wird, kann das Tafелеlement als nebeneinanderliegende I- bzw. [-Träger (siehe Abb. rechts) mit einer wirksamen Beplankungsbreite b_{ef} betrachtet werden.



Wirksame Beplankungsbreite

I-Querschnitt: $b_{ef} = b_{c(t),ef} + b_w$

[-Querschnitt: $b_{ef} = 0,5b_{c(t),ef} + b_w$

wobei $b_{c(t),ef}$ die nachfolgenden Größtwerte nicht überschreiten darf.

Größtwerte der wirksamen Beplankungsbreite $b_{c(t),ef}$

Beplankung	$b_{c,ef}$ und $b_{t,ef}$ (unter Berücksichtigung der Schubverformung)	$b_{c,ef}$ (unter Berücksichtigung des Ausbeulens)
Bausperrholz mit Fa-Ri der Deckfu. zu den Stegen (= Rippen)	0,1 l	20 $h_{f,c}$
⊥ zu den Stegen (= Rippen)	0,1 l	25 $h_{f,c}$
OSB-Platten	0,15 l	25 $h_{f,c}$
Spanplatten oder Faserplatten	0,2 l	30 $h_{f,c}$

l ist die Spannweite des Tafелеlementes.

Nachweis der Normalspannungen

In der Beplankung: $\frac{\sigma_{f,c(t),d}}{f_{f,c(t),d}} \leq 1$

$\sigma_{f,c(t),d} = \frac{M_d}{E I} a E_f$ Bemessungswert der mittleren Druck-(Zug-)Spannung in der Beplankung

$f_{f,c(t),d}$ Bemessungswert der Druckfestigkeit (Zugfestigkeit) der Beplankung

In der Rippe: $\frac{\sigma_{w,c(t),max,d}}{f_{w,c(t),d}} \leq 1$

Bezeichnungen und Berechnung der Bemessungsspannungen siehe Abschnitt 3.4.1.

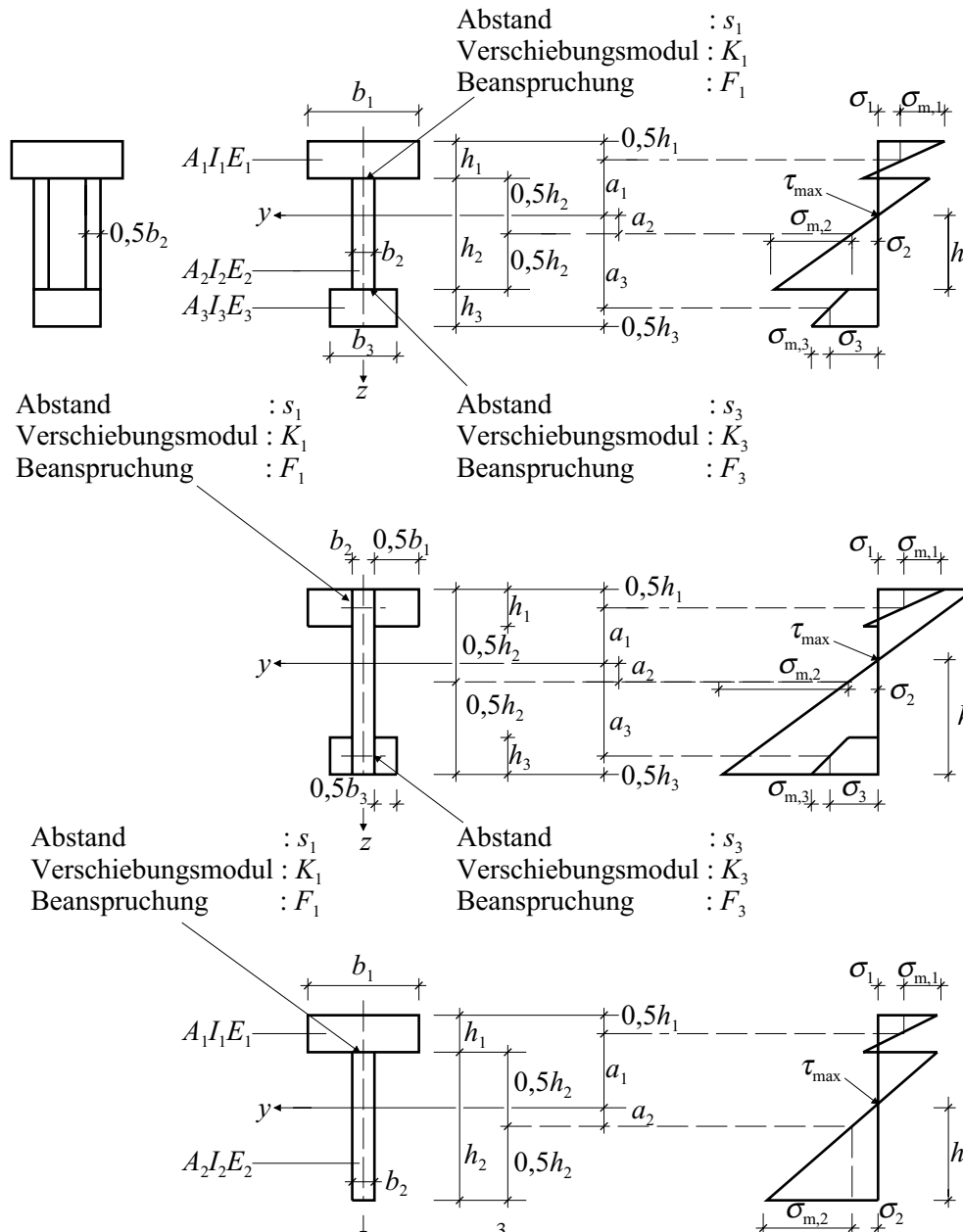
Nachweis der Leimfugenspannung

$$\frac{\tau_{\text{mean,d}}}{f_{v,90,d}} \leq 1$$

Bezeichnungen und Berechnung der Bemessungsspannungen siehe Abschnitt 3.4.1.

3.4.3 Zusammengesetzte Träger mit nachgiebigem Verbund

Querschnittstypen und Biegespannungsverteilungen



Wirksame Biegesteifigkeit $(EI)_{ef} = \sum_{i=1}^3 (E_i I_i + \gamma_i E_i A_i a_i^2)$ (1)

mit $E_i = E_{mean, i}$ für die Spannungsverteilung bei der Anfangsverformung
 mit $E_i = \frac{E_{mean, i}}{1 + k_{def, i}}$ für die Spannungsverteilung bei der Endverformung

Bei Kombinationen von Beanspruchungen mit unterschiedlicher Lasteinwirkungsdauer siehe [9.19] (B9).

$A_i = b_i h_i$; $I_i = b_i h_i^3 / 12$; $\gamma_2 = 1$; $\gamma_i = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 E_i A_i s_i}{K_i l^2}}$ für $i = 1$ und $i = 3$

- $E_{1(3)} A_{1(3)}$ Dehnsteifigkeit des Querschnittsteils 1 (3), das an das Querschnittsteil 2 nachgiebig ($\gamma_{1(3)} < 1$) angeschlossen ist
- $K_{1(3)} / s_{1(3)}$ Fugensteifigkeit der Fuge(n), über die Querschnittsteil 1 (3) an das Querschnittsteil 2 angeschlossen ist
- $K_{1(3)} = \frac{2}{3} K_{1(3), ser}$ siehe Abschnitt 1.6

$s_{1(3)}$ Abstand der in eine Reihe geschoben gedachten Verbindungsmittel der Fuge(n), über die Querschnittsteil 1 (3) an das Querschnittsteil 2 angeschlossen ist.
 Bei konstantem Verbindungsmittelabstand s ergibt sich bei z. B. zwei Reihen von Verbindungsmitteln: $s_{1(3)} = s/2$
 Bei entsprechend der Querkraftlinie zwischen s_{\min} und $s_{\max} (\leq 4s_{\min})$ abgestuften Verbindungsmittelabständen ergibt sich bei z. B. zwei Reihen von Verbindungsmitteln

$$s_{1(3)} = \frac{1}{2}(0,75 s_{\min} + 0,25 s_{\max})$$

l ist bei Einfeldträgern gleich der Stützweite l
 $l = 0,8 l_i$ für das Feld i (mit der Stützweite l_i) eines Durchlaufträgers
 $l = 2 l_k$ für Kragträger mit der Kraglänge l_k

Lage der y-Achse

$$a_2 = \frac{\gamma_1 E_1 A_1 (h_1 + h_2) - \gamma_3 E_3 A_3 (h_2 + h_3)}{2 \sum_{i=1}^3 \gamma_i E_i A_i}$$

Für zweiteilige Querschnittstypen ist $h_3 = 0$.

Nachweis der Normalspannungen

In den Schwerpunkten der Querschnittsteile 1 bis 3 $\frac{\sigma_{i,d}}{f_{i,c(t),d}} \leq 1$

mit $\sigma_{i,d} = \frac{M_d}{(EI)_{ef}} \gamma_i a_i E_i$ und $f_{i,c(t),d}$ Bemessungswert der Druck-(Zug-)Festigkeit

Nachweis der maximalen Randspannungen

$$\frac{\sigma_{i,m,d}}{f_{i,m,d}} \leq 1 \quad \text{mit} \quad \sigma_{i,m,d} = \sigma_{i,d} + \sigma_{m,i,d} = \sigma_{i,d} + \frac{M_d}{(EI)_{ef}} \frac{h_i}{2} E_i$$

$f_{i,m,d}$ Bemessungswert der Biegefestigkeit des Querschnittsteiles i

Örtliche Spannungserhöhungen infolge von Querschnittsschwächungen können näherungsweise ermittelt werden, indem

- die Normalspannungen σ_i in den Schwerpunkten mit $A_i/A_{i,n}$
- die Biegerandspannungen $\sigma_{m,i}$ mit $I_i/I_{i,n}$

multipliziert werden.

$A_{i,n}$ Netto-Querschnittsfläche des Querschnittsteiles i

$I_{i,n}$ Flächenmoment 2. Grades des geschwächten Querschnittsteiles i , bezogen auf die Achse des ungeschwächten Querschnittsteiles i

Nachweis der Schubspannungen

In der y-Achse $\frac{\tau_{2,max,d}}{f_{2,v,d}} \leq 1$ mit $\tau_{2,max,d} = \frac{V_{max,d} (\gamma_3 E_3 A_3 a_3 + 0,5 E_2 b_2 h^2)}{(EI)_{ef} b_2}$

$f_{2,v,d}$ Bemessungswert der Schubfestigkeit des Querschnittsteiles 2

Nachweis der Verbindungsmittel

$$\frac{F_{1(3),d}}{R_{1(3),d}} \leq 1$$

Die Beanspruchung eines Verbindungsmittels in der Fuge 1 (3) berechnet sich zu

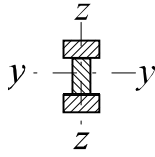
$$F_{1(3),d} = \frac{V_{max,d} \gamma_{1(3)} E_{1(3)} A_{1(3)} a_{1(3)} s_{1(3)}}{(EI)_{ef}}$$

$R_{1(3),d}$ Bemessungswert der Tragfähigkeit des Verbindungsmittels in der Fuge 1 (3)

3.4.4 Zusammengesetzte Druckstäbe mit nachgiebigen und geleimten Verbindungen

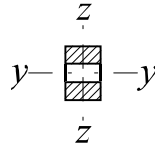
Beispiele für Querschnitte von

zusammengesetzten, nicht gespreizten Stäben



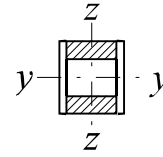
Rahmenstäben

(siehe auch Abb. Seite 9.26/27)



Gitterstäben

(siehe auch Abb. Seite 9.27)



Knicknachweis

Nachweis für Ausknicken in y-Richtung (Knicken um die z-Achse)

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} \leq 1 \quad \text{mit} \quad \sigma_{c,0,d} = \frac{F_{c,d}}{A_{\text{tot}}}$$

$F_{c,d}$ Bemessungswert der zentrischen Normalkraft

A_{tot} Gesamtquerschnittsfläche der über die Stablänge laufenden Einzelteile

$k_{c,z}$ Knickzahl nach Abschnitt 3.2 mit einem Schlankheitsgrad $\lambda_z = l_z / i_z$ ermittelt

$$i_z = \sqrt{\sum I_{i,z} / A_{\text{tot}}}$$

Nachweis für Ausknicken in z-Richtung (Knicken um die y-Achse)

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} \leq 1$$

$k_{c,y}$ Knickzahl nach Abschnitt 3.2 mit einem wirksamen Schlankheitsgrad λ_{ef} ermittelt

λ_{ef} siehe nachfolgende Stabtypen

Zusammengesetzte, nicht gespreizte Stäbe mit kontinuierlicher Verbindung

Querschnittsteile aus Vollholz oder BSH: $E_1 = E_2 = E = E_{0,\text{mean}}$

Ausknicken in z-Richtung

$$\lambda_{\text{ef}} = l_z / \sqrt{I_{\text{ef}} / A_{\text{tot}}}$$

$$I_{\text{ef}} = (EI)_{\text{ef}} / E$$

nach Abschnitt 3.4.3, Gl. (1)

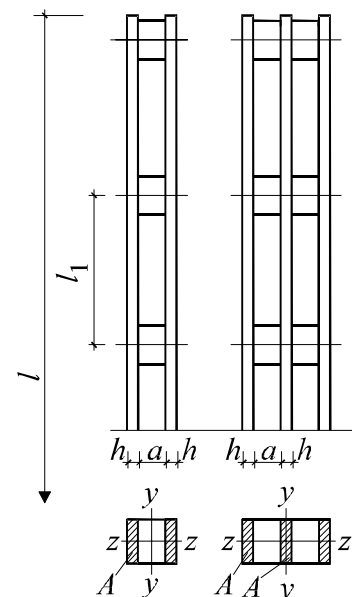
Der Nachweis der Verbindungsmittel ist nach Abschnitt 3.4.3 zu führen, wobei als Querkraft einzusetzen ist:

$$V_d = \begin{cases} F_{c,d} / (120k_c) & \text{für} \quad \lambda_{\text{ef}} \leq 30 \\ F_{c,d} \lambda_{\text{ef}} / (3600k_c) & \text{für} \quad 30 < \lambda_{\text{ef}} < 60 \\ F_{c,d} / (60k_c) & \text{für} \quad 60 \leq \lambda_{\text{ef}} \end{cases}$$

Mehrteilige gespreizte Stäbe (Rahmenstäbe)

Konstruktive Hinweise

- Verbindungsmittel in der Fuge Querverbindung/Stab: Leim, Nägel, Dübel
- Einzelstäbe eines Rahmenstabes haben gleichen Querschnitt.
- Die Querschnitte sind doppelsymmetrisch.
- Ungerade Felderanzahl ≥ 3
- $a/h \leq 3$ und $l_2/a \geq 1,5$ im Rahmenstab mit Zwischenhölzern
- $a/h \leq 6$ und $l_2/a \geq 2$ im Rahmenstab mit Bindehölzern



- In jeder Fuge Querverbindung/Stab ≥ 2 Dübel bzw. ≥ 4 Nägel
- An den Stabenden in jeder Fuge Querverbindung/Stab ≥ 4 Nägel in einer Reihe hintereinander.

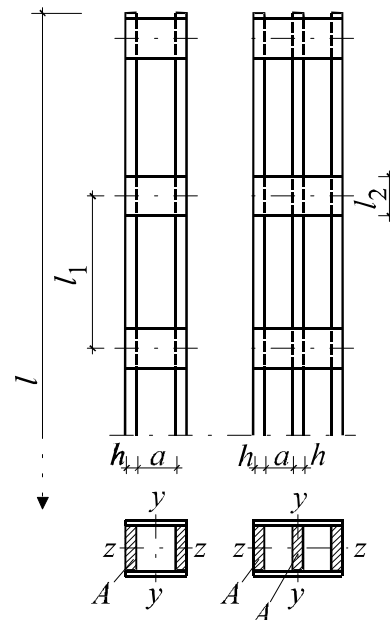
Ausknicken in z-Richtung $\lambda_{ef} = \sqrt{\lambda^2 + \eta \frac{n}{2} \lambda_1^2}$ (1)

$\lambda = \frac{l_y}{0,289\sqrt{h^2 + 3a_1^2}}$ für zweiteilige Rahmenstäbe

$\lambda = \frac{l_y}{0,289\sqrt{h^2 + 8a_1^2}}$ für dreiteilige Rahmenstäbe

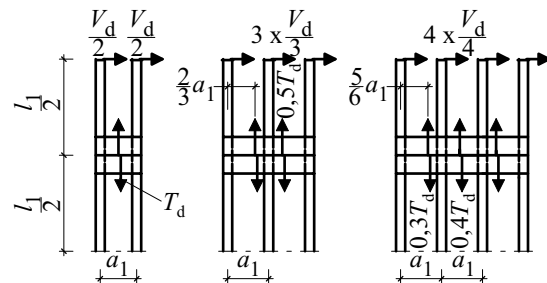
$\lambda_1 = \frac{l_1}{0,289h}$ in Gl. (1) mindestens $\lambda_1 = 30$ einsetzen

n Anzahl der Einzelstäbe; η siehe nachfolgende Tabelle
 l_y Knicklänge für Ausknicken in z-Richtung (Knicken um y-y)



Faktor η für Rahmenstäbe

	Zwischenhölzer			Bindehölzer	
	Leim	Nägel	Dübel	Leim	Nägel
ständige/lang andauernde Belastung	1	4	3,5	3	6
mittellange/kurz andauernde Belastung	1	3	2,5	2	4,5



Nachweis der Querverbindungen und deren Verbindungsmittel (siehe obige Abb.) mit V_d nach obigen Gleichungen

Gitterstäbe

Konstruktive Hinweise:

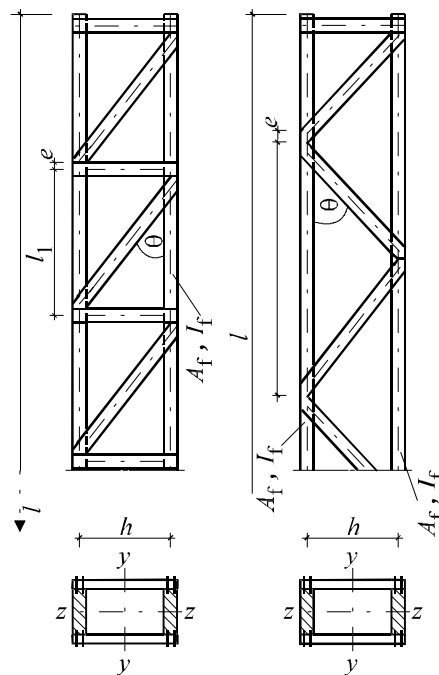
- Verbindungsmittel: Nägel oder Leim
- Gitterstab ist symmetrisch zur y- und z-Achse
- Felderanzahl ≥ 3
- In jeder Scherfuge des Strebenanschlusses ≥ 4 Nägel
- $\lambda_1 = l_1 / i_{\min} \leq 60$
- Nagelanzahl im Pfostenanschluß (N-Vergitterung) $> n \sin\theta$
- n Nagelanzahl im Strebenanschluß

Ausknicken in z-Richtung $\lambda_{ef} = \max \left\{ \frac{2l}{h} \sqrt{1 + \mu}, 2,1 \frac{l}{h} \right\}$

Faktor μ

	V-Vergitterung	N-Vergitterung
geleimt	$4 \frac{e^2 A_f}{I_f} \left(\frac{h}{l}\right)^2$	$\frac{e^2 A_f}{I_f} \left(\frac{h}{l}\right)^2$
genagelt	$25 \frac{h E A_f}{l^2 n K \sin 2\theta}$	$50 \frac{h E A_f}{l^2 n K \sin 2\theta}$

e Ausmitte in der Verbindung (siehe Abb.)
 K Verschiebungsmodul eines Nagels
 $E = E_{\text{mean}}$



3.5 Fachwerke

3.5.1 Ausführliche Berechnung

Fachwerkträger sind als Rahmentragwerke zu berechnen, wobei die Verformungen der Stäbe und Verbindungen, der Einfluß von Auflagerausmittigkeiten sowie die Steifigkeit der Unterkonstruktion bei der Ermittlung der Stabkräfte und -momente zu berücksichtigen sind. Falls die Systemlinien der Füllstäbe nicht mit den Stabachsen übereinstimmen, ist der Einfluß der Ausmitte bei der Bemessung dieser Stäbe zu berücksichtigen. Bei der Berechnung sind die Steifigkeitswerte der Bauteile entsprechend Abschnitt 1.4 und die Verschiebungen der Verbindungen entsprechend Abschnitt 2.3 zugrunde zu legen.

Wird ein Tragsicherheitsnachweis nach der Spannungstheorie II. Ordnung geführt, sollten die Steifigkeitswerte der Stäbe durch den Teilsicherheitsbeiwert γ_M geteilt werden.

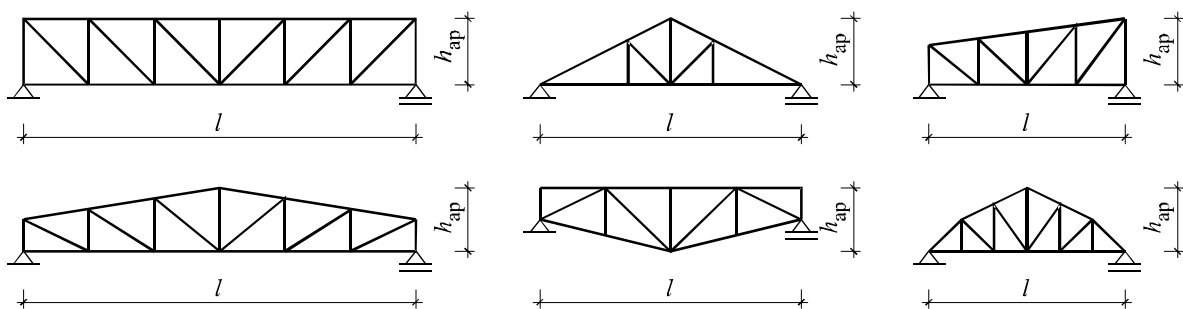
Verbindungen dürfen im allgemeinen als gelenkig angenommen werden.

Verschiebungen in Verbindungen dürfen bei der Bemessung vernachlässigt werden, wenn dadurch die Verteilung der Stabkräfte und Stabmomente nicht wesentlich beeinflusst wird. Verbindungen dürfen als drehsteif betrachtet werden, wenn eine Verdrehung in der Verbindung die Verteilung der Stabkräfte und Stabmomente nicht wesentlich beeinflussen würde.

3.5.2 Vereinfachter Nachweis

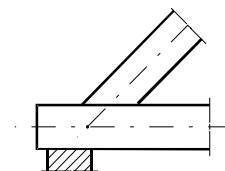
Für Fachwerke anwendbar, die ausschließlich aus Dreiecken aufgebaut sind und für die gilt:

- Der äußere Winkel zwischen zwei Randstäben beträgt stets $\geq 180^\circ$.



- Ein Teil der Auflagerfläche liegt vertikal unterhalb des Auflagerknotenpunktes.

$$- h_{ap} > 0,15l \quad \text{und} \quad h_{ap} > 10h_{\text{Gurt, max}}$$

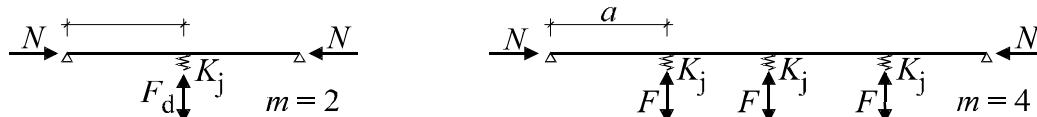


Die Stabnormalkräfte sollten mit einem Fachwerkmodell mit gelenkigen Verbindungen bestimmt werden. Die Biegemomente in Einfeldstäben sollten ebenfalls unter der Annahme gelenkiger Auflager ermittelt werden. Die Biegemomente von durchlaufenden Stäben sollten bestimmt werden, indem der durchlaufende Stab als Durchlaufträger mit unverschieblichen, gelenkigen Auflagern betrachtet wird. Einflüsse der Durchbiegung in den Knotenpunkten sowie die teilweise Einspannung in den Verbindungen sollten durch eine Verringerung der Biegemomente in den Knoten um 10 % berücksichtigt werden. Feldmomente sollten unter Berücksichtigung der reduzierten Auflagermomente bestimmt werden.

Das Ausknicken in Fachwerkebene ist unter Annahme der Knicklängen nach Abschnitt 1.7 zu untersuchen. Das Ausknicken aus der Fachwerkebene ist ebenfalls zu überprüfen.

3.6 Aussteifungen

3.6.1 Aussteifung von Druckstäben



Vorkrümmung: $\leq a/300$ für Vollholzstäbe

und $\leq a/500$ für BSH-Stäbe

Federsteifigkeit der Einzelabstützung: $K_j \geq K_{j,\min} = \frac{2\pi^2 E_{0,05} k_{\text{mod}} I}{\gamma_M a^3}$ für $m = 2$

$K_j \geq K_{j,\min} = \frac{2(1 + \cos \pi/m)\pi^2 E_{0,05} k_{\text{mod}} I}{\gamma_M a^3}$ für $m > 2$

$E_{0,05} I$ Biegesteifigkeit des Druckstabes bei Durchbiegung in Richtung der Einzelabstützung

k_{mod} Modifikationsfaktor des Druckstabes

$\gamma_M = 1,3$

a Abstand zwischen zwei Abstützungen

Bemessungswert der Abstützeinzellast: $F_d = N_d/50$ für Vollholz

$F_d = N_d/80$ für BSH

mit N_d Bemessungswert der mittleren Normalkraft im Druckstab

3.6.2 Aussteifung von Biegeträgern und Fachwerkträgern

Die Aussteifungskonstruktion ist zusätzlich zu etwaigen horizontalen Einwirkungen (z.B. Wind) für eine gleichmäßig verteilte Seitenlast

$q_d = k_l \frac{nN_d}{30l}$ zu bemessen mit $k_l = \sqrt{15/l} \leq 1$

n Anzahl der auszusteifenden Biegeträger oder Fachwerkträger

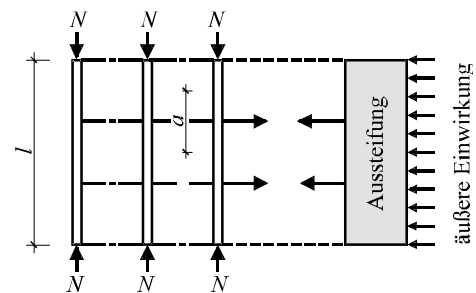
$N_d = (1 - k_{\text{crit}}) M_d / h$ Bemessungswert der mittleren Druckkraft im Bauteil

Nach NAD darf bei Balken zur Berechnung der Seitenlast q_d die Druckkraft N_d eingesetzt werden

M_d Bemessungswert des größten Biegemoments im Träger

h Höhe des Trägers

k_{crit} nach Seite 9.18 für den nicht ausgesteiften Biegeträger



Nachweis der rechnerischen horizontalen Ausbiegung der Aussteifungskonstruktion:

u (aus q_d) $\leq l/700$

und

u (aus q_d und anderen äußeren Einwirkungen) $\leq l/500$

3.7 Beispiele

3.7.1 Gerader Träger mit konstanter Höhe für die Nutzungsklasse 1

(Berechnung nach DIN 1052 siehe Kap. 9A, S.9.21f.)

Charakteristische Werte der Einwirkungen

sind nach NAD der DIN 1055 zu entnehmen:

Dachhaut mit Dämmung	0,50 kN/m ²
Sparrenpfetten	0,10 kN/m ²
Dachbinder	0,15 kN/m ²

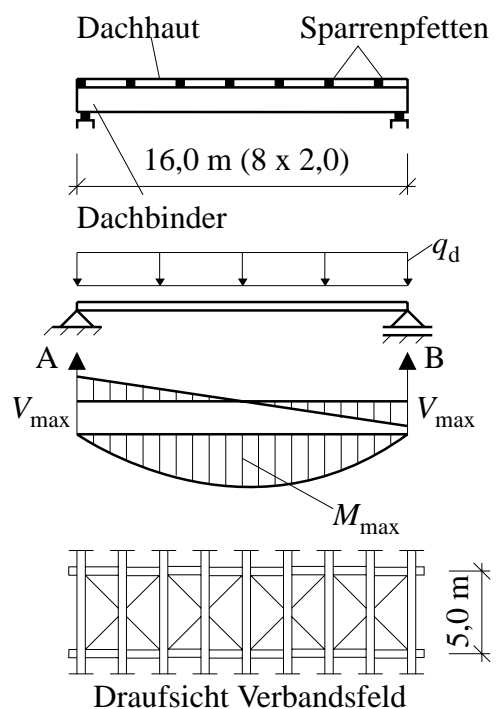
Ständige Lasten 0,75 kN/m²

Schneelast 0,75 kN/m²

Windlast wirkt entlastend

Einwirkungen je Binder: $g_k = 0,75 \cdot 5,0 = 3,75$ kN/m

$s_k = 0,75 \cdot 5,0 = 3,75$ kN/m



Bemessungswerte der Einwirkungen

Nach Seite 9.3 :

Lastfall ständige Lasten (g)

$$g_d = \gamma_G g_k = 1,35 \cdot 3,75 = 5,06 \text{ kN/m}$$

Lastfall ständige Lasten + Schneelast (g + s)

$$r_d = \gamma_G g_k + \gamma_Q s_k = 5,06 + 1,5 \cdot 3,75 = 10,7 \text{ kN/m}$$

Auflagerkräfte und Schnittgrößen

Lastfall g

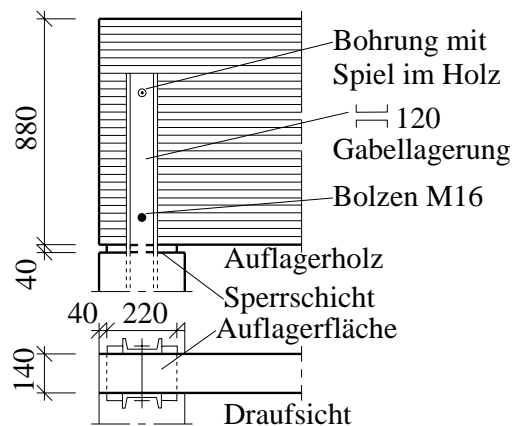
$$A_d = B_d = V_{\max, d} = 5,06 \cdot 16/2 = 40,5 \text{ kN}$$

$$M_{\max, d} = 5,06 \cdot 16^2/8 = 162 \text{ kNm}$$

Lastfall g + s

$$A_d = B_d = V_{\max, d} = 40,5 \cdot 10,7/5,06 = 85,6 \text{ kN}$$

$$M_{\max, d} = 162 \cdot 10,7/5,06 = 342,6 \text{ kNm}$$



Baustoffeigenschaften

Gewählt: Homogenes BSH der Festigkeitsklasse BS 14h (homogen) nach Tabelle auf Seite 9.6

Charakteristische Festigkeitskennwerte

Biegung $f_{m, k} = 28,0 \text{ N/mm}^2$

Druck \perp Fa $f_{c, 90, k} = 5,5 \text{ N/mm}^2$

Schub $f_{v, k} = 2,7 \text{ N/mm}^2$

Charakteristische Steifigkeitskennwerte

mittlerer E -Modul \parallel Fa $E_{0, \text{mean}} = 12\,500 \text{ N/mm}^2$

Mindest- E -Modul \parallel Fa $E_{0, 05} = 10\,000 \text{ N/mm}^2$

mittlerer G -Modul $G_{\text{mean}} = 780 \text{ N/mm}^2$

Bemessungswerte der Festigkeit

Allgemein: $f_d = k_{\text{mod}} f_k / \gamma_M$

Lastfall g

$$f_{m, d} = 0,6 \cdot 28,0/1,3 = 12,9 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c, 90, d} = 0,6 \cdot 5,5/1,3 = 2,5 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v, d} = 0,6 \cdot 2,7/1,3 = 1,25 \text{ N/mm}^2$$

Lastfall g + s

$$f_{m, d} = 0,9 \cdot 28,0/1,3 = 19,4 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c, 90, d} = 0,9 \cdot 5,5/1,3 = 3,8 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v, d} = 0,9 \cdot 2,7/1,3 = 1,85 \text{ N/mm}^2$$

Querschnittswahl

$$W_{y, \text{req}} = \frac{342,6 \cdot 10^{-3}}{19,4} = 17,66 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

Aus $u_{2, \text{inst}} \leq l/300$ nach Seite 9.12 mit der Anfangsdurchbiegung $u_{2, \text{inst}}$ infolge der veränderlichen

Einwirkung $q_k = 3,75 \text{ kN/m}$ ergibt sich

$$M_{\max} = 3,75 \cdot 16^2/8 = 120 \text{ kNm}$$

und somit

$$I_{y, \text{req}} \approx 313 \cdot 120 \cdot 16,0 \cdot \frac{10^4}{12\,500} \cdot 10^{-8} = 4,81 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4 \text{ nach Kap. 4, Seite 4.27}$$

gewählt: 0,14×0,88 m BS 14h (homogen)

$$W_y = 0,0181 \text{ m}^3 = 18,1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$I_y = 7,95 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$A = 0,1232 \text{ m}^2$$

Nachweise der Tragfähigkeit

Lastfall g + s ist maßgebend, weil $10,7/5,06 = 2,11 > 0,9/0,6 = 1,5$

Biegung $\frac{342,6 \cdot 10^{-3}}{18,1 \cdot 10^{-3}} = 0,98 < 1$

Schub $\frac{1,5 \cdot 85,6 \cdot 10^{-3}}{0,1232} = 0,56 < 1$

Auflagerpressung

$$\left. \begin{array}{l} a = 40 \text{ mm} < 100 \text{ mm} \\ l = 220 \text{ mm} > 150 \text{ mm} \end{array} \right\} k_{c, 90} = 1,0$$

$$\frac{85,6 \cdot 10^{-3}}{0,14 \cdot 0,22} = 0,73 < 1$$

Auflagervariante mit Ausklinkung unten

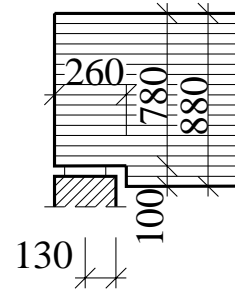
Ermittlung von k_v nach Seite 9.17:

$$h = 880 \text{ mm}; x = 130 \text{ mm}; \varepsilon = 90^\circ$$

$$\alpha = 780/880 = 0,886 \quad k_n = 6,5$$

$$k_v = \frac{6,5(1+0)}{\sqrt{880} \left[\sqrt{0,886(1-0,886)} + 0,8 \frac{130}{880} \sqrt{\frac{1}{0,886} - 0,886^2} \right]} = 0,566$$

$$\frac{1,5 \frac{85,6 \cdot 10^{-3}}{0,14 \cdot 0,78}}{0,566 \cdot 1,85} = 1,12 > 1 \quad \text{unzulässig!}$$



Kippen (siehe Seite 9.18)

$$l_{ef} = 0,95 \cdot 4,0 = 3,8 \text{ m}$$

$$\sigma_{m, \text{crit}} = \frac{\pi \cdot 0,14^2 \cdot 10000}{3,8 \cdot 0,88} \sqrt{\frac{1}{16}} = 46,0 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda_{\text{rel}, m} = \sqrt{\frac{28,0}{46,0}} = 0,78 \quad \rightarrow \quad k_{\text{crit}} = 1,56 - 0,75 \cdot 0,78 = 0,975$$

Nachweis: $\frac{0,98}{0,975} \approx 1$

Nachweis der Gebrauchstauglichkeit

Anfangsdurchbiegungen infolge $g_k = q_k = 3,75 \text{ kN/m}$ nach Seite 9.12f.

$$u_{1, \text{inst}} = u_{2, \text{inst}} = 104 \frac{3,75 \cdot 16^2}{8} \frac{10^4}{12500 \cdot 7,95 \cdot 10^5} 10 + \frac{3,75 \cdot 16^2}{8} \frac{1,2}{780 \cdot 0,1232} = 32 + 1,5 = 33,5 \text{ mm}$$

$$= l / 478 < l / 300$$

Nutzungsklasse 1: Ständige Einwirkung

$$\rightarrow k_{\text{def}, 1} = 0,6$$

Schneelast ($s_0 < 2,0 \text{ kN/m}^2$ und somit nach NAD kurze Lasteinwirkungsdauer)

$$\rightarrow k_{\text{def}, 2} = 0$$

$$u_{2, \text{fin}} = u_{2, \text{inst}} = l / 478 < l / 200$$

Gewählt: parabolförmige Überhöhung mit Stichmaß $u_0 \approx 50 \text{ mm}$

$$u_{\text{net}, \text{fin}} = u_{1, \text{fin}} + u_{2, \text{fin}} - u_0 = 33,5(1 + 0,6) + 33,5 - 50 = 37,1 \text{ mm} = l / 431 < l / 200$$

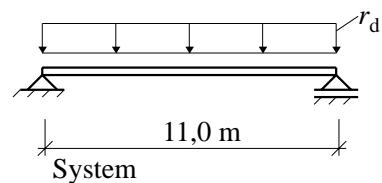
3.7.2 Geleimter Stegträger für die Nkl 1

Charakteristische Werte der Einwirkungen

sind nach NAD der DIN 1055 zu entnehmen:

Ständige Last $g_k = 6,5 \text{ kN/m}$

Verkehrslast (KLED mittel) $q_k = 4,8 \text{ kN/m}$



Bemessungswerte der Einwirkungen

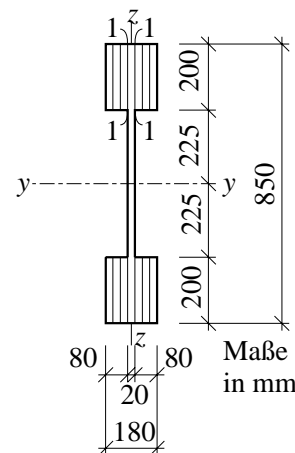
Es wird nur der Lastfall $g + q$ untersucht.

$$r_d = \gamma_G g_k + \gamma_Q q_k = 1,35 \cdot 6,5 + 1,5 \cdot 4,8 = 16,0 \text{ kN/m}$$

Schnittgrößen

$$M_{\text{max}, d} = 16,0 \cdot 11,0^2 / 8 = 242,0 \text{ kNm}$$

$$V_{\text{max}, d} = 16,0 \cdot 11,0 / 2 = 88,0 \text{ kN}$$



Querschnitt

Baustoffeigenschaften

Gewählt: Steg aus BFU-BU100 - 20 mm, Klasse 1

Fa-Ri der Deckfurniere || Trägerachse

Gurte aus BSH BS 11

Steg und Gurte resorcinharzverleimt

	Charakteristische Festigkeitskennwerte in N/mm ²			Bemessungswerte der Festigkeit in N/mm ²		
		Steg	Gurte		Steg	Gurte
Biegung	$f_{m,k}$	29,0	24,0	$f_{m,d}$	17,8	14,7
Zug Fa	$f_{t,0,k}$	29,0	17,0	$f_{t,0,d}$	17,8	10,4
Druck Fa	$f_{c,0,k}$	21,0	24,0	$f_{c,0,d}$	12,9	14,7
Schub	$f_{v,0,k}$	11,0	2,7	$f_{v,0,d}$	6,75	1,65
Schub	$f_{v,90,k}$	3,5		$f_{v,90,d}$	2,15	
Druck ⊥ Faser	$f_{c,90,k}$		5,5	$f_{c,0,d}$		3,4
Charakteristische Steifigkeitskennwerte in N/mm ²			Charakteristische Rohdichtekennwerte in kg/m ³			
$E_{0,mean}$		4400	11 500	ρ_k	600	410
$E_{0,05} = 0,8E_{0,mean}$		3520	9200			
G_{mean}		700	720			

Querschnittswerte bei der Anfangsverformung

$$(EI)_{ef,y} = 4400 \cdot 20 \cdot 850^3 / 12 + 4 \cdot 11\,500 \cdot 80 \cdot 200^3 / 12 + 4 \cdot 11\,500 \cdot 80 \cdot 200 \cdot 325^2 = (4,504 + 2,453 + 77,74) 10^{12}$$

$$= 84,7 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

$$(ES)_{ef,f} = 2 \cdot 11\,500 \cdot 80 \cdot 200 \cdot 325 = 119,6 \cdot 10^9 \text{ Nmm}$$

$$(ES)_{ef,y} = 4400 \cdot 20 \frac{850}{2} \frac{850}{4} + 119,6 \cdot 10^9 = 127,5 \cdot 10^9 \text{ Nmm}$$

Querschnittswerte bei der Endverformung

Lastfall g: $k_{def,f} = 0,6$ $k_{def,w} = 0,8$ $g_d/r_d = 8,78/16,0 = 0,55$

Lastfall q: $k_{def,f} = 0,25$ $k_{def,w} = 0,25$ $q_d/r_d = 7,22/16,0 = 0,45$

$$(EI)_{ef,y} = 4,504 \cdot 10^{12} \left(\frac{0,55}{1+0,8} + \frac{0,45}{1+0,25} \right) + 2,453 \cdot 10^{12} \left(\frac{0,55}{1+0,6} + \frac{0,45}{1+0,25} \right) + 77,74 \cdot 10^{12} \left(\frac{0,55}{1+0,6} + \frac{0,45}{1+0,25} \right) =$$

$$= 59,4 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

$$(ES)_{ef,f} = 2 \cdot 11\,500 \cdot 80 \cdot 200 \cdot 325 \left(\frac{0,55}{1+0,6} + \frac{0,45}{1+0,25} \right) = 84,2 \cdot 10^9 \text{ Nmm}$$

Tragfähigkeitsnachweise für die Gurte

(σ - und f -Werte ohne Index f, da keine Verwechslungsgefahr)

Randspannung bei der Endverformung

$$\sigma_{t,max,d} = \frac{242,0 \cdot 10^6}{59,4 \cdot 10^{12}} 425 \cdot 11\,500 \left(\frac{0,55}{1+0,6} + \frac{0,45}{1+0,25} \right) = 14,0 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{m,d} = 14,7 \text{ N/mm}^2 \text{ (siehe obige Tabelle)}$$

$$\text{Nachweis: } 14,0/14,7 = 0,95 < 1$$

Schwerpunktsspannung bei der Endverformung

$$\sigma_{t,d} = \frac{242,0 \cdot 10^6}{59,4 \cdot 10^{12}} 325 \cdot 11\,500 \left(\frac{0,55}{1+0,6} + \frac{0,45}{1+0,25} \right) = 10,7 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{t,0,d} = 10,4 \text{ N/mm}^2 \text{ (siehe obige Tabelle)}$$

$$\text{Nachweis: } 10,7/10,4 = 1,03 > 1$$

(Überschreitung um 3 % am Ende der Nutzungsdauer noch vertretbar)

Kippnachweis bei der Endverformung

Obergurt in a, b und in den Viertelpunkten seitlich gehalten

$$l_{ef} = 2,75 \text{ m} \quad i_{f,z} = 0,289 \cdot 180 = 52 \text{ mm} \quad \lambda_z = 2,75 \cdot 10^3 / 52 = 52,9 \quad \rightarrow k_c = 0,895 \text{ (Tab. Seite 9.11)}$$

$$\sigma_{c,d} = \sigma_{t,d} = 10,7 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,0,d} = 14,7 \text{ N/mm}^2 \text{ (siehe obige Tabelle)}$$

$$\text{Nachweis: } \frac{\sigma_{c,d}}{k_c f_{c,0,d}} = \frac{10,7}{0,895 \cdot 14,7} = 0,81 < 1$$

Tragfähigkeitsnachweise für den Steg

(σ - und f -Werte ohne Index w, da keine Verwechslungsgefahr)

Randspannung bei der Anfangsverformung

$$\sigma_{t, \max, d} = \frac{242,0 \cdot 10^6}{84,7 \cdot 10^{12}} 425 \cdot 4400 = 5,3 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{m, d} = 17,8 \text{ N/mm}^2 \text{ (siehe Tabelle auf Seite 9.32)}$$

$$\text{Nachweis: } 5,3/17,8 = 0,3 < 1$$

Schubspannung bei der Anfangsverformung

$$\tau_d = \frac{88,0 \cdot 10^3 \cdot 127,5 \cdot 10^9}{84,7 \cdot 10^{12} \cdot 20} = 6,6 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v, d} = 6,75 \text{ N/mm}^2 \text{ (siehe Tabelle auf Seite 9.32)}$$

$$\text{Nachweis: } 6,6/6,75 = 0,98 < 1$$

Beulnachweis

$$h_w = 450 \text{ mm} < 70 \cdot 20 = 1400 \text{ mm} \quad \text{und} \quad h_w = 22,5 b_w < 35 b_w$$

$$V_d = 88,0 \text{ kN} \approx 20 \cdot 450 (1 + 0,5 (200 + 200)/450) 6,75 \cdot 10^{-3} = 87,8 \text{ kN}$$

Leimfugenspannung bei der Endverformung

$$h_f = 200 \text{ mm} > 4 b_w = 80 \text{ mm}$$

$$\tau_{\text{mean}, d} = \frac{V_d (ES)_{\text{ef}, f}}{2 h_f (EI)_{\text{ef}, y}} = \frac{88,0 \cdot 10^3 \cdot 84,2 \cdot 10^9}{2 \cdot 200 \cdot 59,4 \cdot 10^{12}} = 0,31 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v, d} = 1,65 \text{ N/mm}^2 \text{ für BSH BS 11}$$

Nachweis:

$$\frac{\tau_{\text{mean}, d}}{f_{v, d} (4 b_w / h_f)^{0,8}} = \frac{0,31}{1,65 (4 \cdot 20 / 200)^{0,8}} = 0,39 < 1$$

Gebrauchstauglichkeitsnachweis

$$M_{g, d} = \frac{6,5 \cdot 11^2}{8} = 98,3 \text{ kNm} \quad M_{q, d} = \frac{4,8 \cdot 11^2}{8} = 72,6 \text{ kNm}$$

Anfangsdurchbiegungen einschließlich Schubdurchsenkung

$$u_{1, \text{inst}} = 104 \cdot 98,3 \cdot 11^2 \frac{10^4}{84,7 \cdot 10^8} 10 + \frac{98,3 \cdot 10^6}{700 \cdot 20 \cdot 850} = 14,6 + 8,3 = 22,9 \approx 23 \text{ mm}$$

$$u_{2, \text{inst}} = 23 \frac{72,6}{98,3} = 17 \text{ mm} = l/647 < l/300$$

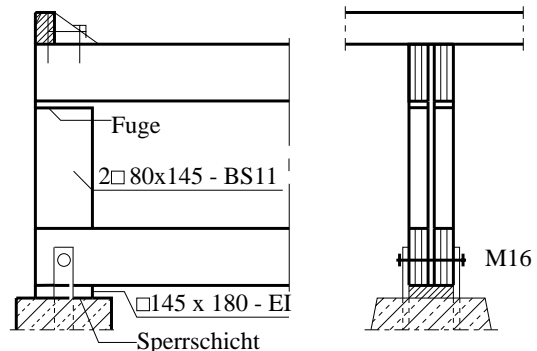
Enddurchbiegungen einschließlich Schubdurchsenkung

$$u_{1, \text{fin}} + u_{2, \text{fin}} = (23 + 17) \frac{84,7}{59,4} = 40 \cdot 1,43 = 57 \text{ mm}$$

gewählt: $u_0 = 20 \text{ mm}$

$$u_{\text{net fin}} = 57 - 20 = 37 \text{ mm} = l/297 < l/200$$

$$u_{2, \text{fin}} = 17 \cdot 1,43 = 24 \text{ mm} = l/458 < l/200$$



Auflager

$$\text{Erforderliche Auflagerlänge } l_{s, \text{req}} = \frac{V_d}{b_f f_{c, 90, d}} = \frac{88,0 \cdot 10^3}{180 \cdot 3,4} = 144 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad \text{Gewählt: } l_s = 145 \text{ mm}$$

3.7.3 Zusammengesetzter Druckstab mit nachgiebigem Verbund für die Nutzungsklasse 1 (Berechnung nach DIN 1052 siehe Kapitel 9 A, Seite 9.28)

Bemessungswert der Einwirkung

$$N_d = 135 \text{ kN} \quad \text{Lasteinwirkungsdauer: mittel}$$

Baustoffeigenschaften

Gewählt NH S10 nach Tabelle auf Seite 9.6

Charakteristische Festigkeitskennwerte

Biegung	$f_{m,k}$	=	24,0 N/mm ²
Zug Fa	$f_{t,0,k}$	=	14,0 N/mm ²
Druck Fa	$f_{c,0,k}$	=	21,0 N/mm ²
Schub	$f_{v,k}$	=	2,5 N/mm ²

Bemessungswerte der Festigkeit

$f_{m,d}$	=	0,8 · 24,0/1,3 = 14,7 N/mm ²
$f_{t,0,d}$	=	0,8 · 14,0/1,3 = 8,6 N/mm ²
$f_{c,0,d}$	=	0,8 · 21,0/1,3 = 12,9 N/mm ²
$f_{v,d}$	=	0,8 · 2,5/1,3 = 1,5 N/mm ²

Charakteristische Steifigkeitswerte

mittlerer E -Modul Fa	$E_{0,mean}$	=	11000 N/mm ²
Mindest- E -Modul Fa	$E_{0,05}$	=	7400 N/mm ²

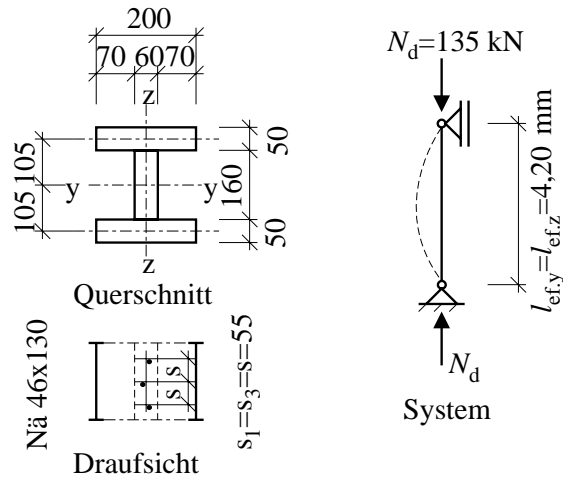
Querschnittswerte

$E_1 = E_2 = E_3 = E_{0,mean}$	=	11000 N/mm ²
$A_1 = A_3 = 50 \cdot 200$	=	10000 mm ²
$A_2 = 60 \cdot 160$	=	9600 mm ²
$s_1 = s_3 = 55$		

$$K_1 = K_3 = \frac{2 \cdot 380^{1,5}}{3 \cdot 25} \cdot 4,6^{0,8} = 670 \text{ N/mm}$$

$$\gamma_1 = \gamma_3 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \cdot 11000 \cdot 10000 \cdot 55}{670 \cdot 4200^2}} = 0,165 ; \quad \gamma_2 = 1$$

$$(EI)_{ef,y} = 1,1 \cdot 10^4 \left(2 \cdot \frac{200 \cdot 50^3}{12} + \frac{60 \cdot 160^3}{12} + 2 \cdot 0,165 \cdot 10^4 \cdot 105^2 \right) = 67,1 \cdot 10^{10} \text{ Nmm}^2$$



Knicken um z-z

$$i_z = \sqrt{\frac{2 \cdot 50 \cdot 200^3}{12} + \frac{160 \cdot 60^3}{12}} = 48,5 \text{ mm} \quad \lambda_z = 4200/48,5 = 86,6$$

Knicken um y-y

$$i_{ef} = \sqrt{\frac{(EI)_{ef}}{E A_{tot}}} = \sqrt{\frac{67,1 \cdot 10^{10}}{1,1 \cdot 10^4 \cdot 29600}} = 45,4 \text{ mm} \quad \lambda_{ef} = 4200/45,4 = 92,5 \text{ maßgebend}$$

→ $k_c = 0,360$ nach Tabelle der Knickzahlen auf Seite 9.11

$$\text{Nachweis: } \frac{135 \cdot 10^3}{0,360 \cdot 12,9} = 0,98 < 1$$

Nachweis der Nägel 46×130 DIN 1151, s = 55 mm

$$\text{Querkraft } V_d = \frac{135}{60 \cdot 0,360} = 6,3 \text{ kN} \quad \text{Schubfluß } t_d = \frac{6300 \cdot 0,165 \cdot 1,1 \cdot 10^4 \cdot 50 \cdot 200 \cdot 105}{67,1 \cdot 10^{10}} = 17,9 \text{ N/mm}$$

$$\text{Schubkraft } T_d = 17,9 \cdot 55 = 985 \text{ N}$$

Berechnung des Bemessungswertes für einen einschnittigen Na 46×130 nach Abschnitt 4.2.1a auf Seite 9.37

$$M_{y,d} = \frac{180 \cdot 4,6^{2,6}}{1,1} = 8650 \text{ Nmm} \quad f_{h,d} = \frac{0,8 \cdot 0,082 \cdot 380 \cdot 4,6^{-0,3}}{1,3} = 12,1 \text{ N/mm}^2$$

Mit $k_M = \frac{50}{\sqrt{\frac{8650}{12,1 \cdot 4,6}}} = 4,0$ und $k_t = 80/50 = 1,6$ ergibt sich aus dem Möller-Diagramm auf Seite 9.37,

daß der Bemessungswert nach Gl. (f) maßgebend wird:

$$R_d = 1,556 \cdot 12,1 \cdot 50 \cdot 4,6/4,0 = 1080 \text{ N} \quad \rightarrow \text{Nachweis: } 985/1080 = 0,91 < 1$$

4 Verbindungen

In den einzelnen Abschnitten für die verschiedenen Verbindungen werden zu den Ausführungsregeln nach EC 5 konstruktive Regeln angegeben, die nicht im EC 5 enthalten sind, die sich aber in der bisherigen Konstruktionspraxis bewährt haben.

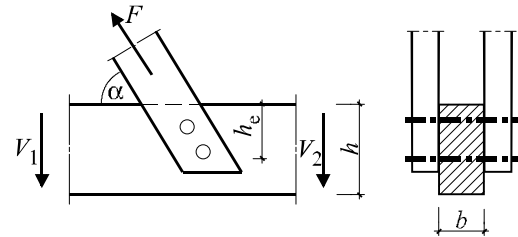
Vereinfachter Querkzugspannungsnachweis für das Holz im Bereich von Queranschlüssen:

$$V_{1,d} + V_{2,d} = F_d \sin \alpha$$

$$\frac{V_{1(2),d}}{2f_{v,d} h_e b / 3} \leq 1$$

Voraussetzung: $h_e > 0,5 h$

Empfehlung für einen genaueren Nachweis siehe [9.19] (C2).



4.1 Einfacher und doppelter Versatz

Gemäß NAD gilt für die Ausführung von Versätzen DIN 1052-2, Abschnitt 12. Die erforderliche Lage-sicherung erfolgt z. B. durch seitlich aufgenagelte Laschen oder durch Bolzen oder Sondernägeln zur Verbindung von Strebe und Schwelle.

Strebenneigungswinkel α	$\leq 50^\circ$	$50^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\geq 60^\circ$	Bei zweiseitigem Versatz-einschnitt: $t_V \leq h/6$ Bei doppeltem Versatz: $t_{V,1} = 0,8t_{V,2} \leq t_{V,2} - 10 \text{ mm}$
Versatztiefe t_V	$\leq h/4$	$\leq h \left(\frac{2}{3} - \frac{\alpha^\circ}{120^\circ} \right)$	$\leq h/6$	
Im Nachweis anrechenbare Vorholzlänge $l_V \leq 8 t_V$			Auszuführende Mindest-Vorholzlänge: 200 mm	

Stirnversatz (S)	Fersenversatz (F)	Doppelter Versatz (D)
$R_{S,d} = b t_V f_{c,0,d} k_S$	$R_{F,d} = b t_V f_{c,0,d} k_F$	$R_{D,d} = R_{S,d} + R_{F,d}$
$k_S = \frac{4}{\frac{f_{c,0,d}}{f_{c,90,d}} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha + 2 \cos \alpha + 1}$	$k_F = \frac{1}{\frac{f_{c,0,d}}{f_{c,90,d}} \sin^2 \alpha \cos \alpha + \cos^3 \alpha}$	
$l_V \geq \frac{N_d \cos \alpha}{b f_{v,d}}$	$l_V \geq \frac{N_d \cos \alpha}{b f_{v,d}}$	$l_{V,1} \geq \frac{N_{S,d} \cos \alpha}{b f_{v,d}}; l_{V,2} \geq \frac{N_d \cos \alpha}{b f_{v,d}}$
Näherungswerte für NH und für BSH BS 11 nach Abschnitt 1.4		
$R_{S,d} \approx 0,7 b t_V f_{c,0,d}$	$R_{F,d} \approx 0,5 b t_V f_{c,0,d}$	$R_{D,d} \approx 1,06 b t_{V,2} f_{c,0,d}$

Näherungswerte der Faktoren k_S und k_F

	α	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°
NH und	$k_S =$	0,959	0,930	0,898	0,864	0,829	0,797	0,767	0,741	0,719	0,702
BSH BS 11	$k_F =$	0,834	0,749	0,672	0,608	0,559	0,525	0,505	0,500	0,510	0,541

Tragfähigkeitsnachweis $\frac{\text{Bemessungswert der Strebenkraft } N_d}{\text{Bemessungswert der Tragfähigkeit } R_d \text{ des Versatzes}} \leq 1$

Aus dem Nachweis der Abscherbeanspruchung in der Schwelle $\frac{N_d \cos \alpha / (b l_V)}{f_{v,d}} \leq 1$ wird die erforderliche Vorholzlänge l_V berechnet.

Beispiel: Stirnversatz für eine Strebenkraft $N_d = 63,0 \text{ kN}$; $N_{kl} 1$; $k_{mod} = 0,8$

Bemessungswerte der Festigkeit für NH S 13:

$$f_{c,0,d} = 0,8 \cdot 23,0/1,3 = 14,1 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,90,d} = 0,8 \cdot 5,0/1,3 = 3,1 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,d} = 0,8 \cdot 2,5/1,3 = 1,54 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswert der Tragfähigkeit:

Näherung:

$$R_{S,d} \approx 0,7 \cdot 140 \cdot 45 \cdot 14,1 \cdot 10^{-3} = 62,2 \text{ kN}$$

Mit k_S :

$$R_{S,d} = 140 \cdot 45 \cdot 14,1 \cdot 0,767 \cdot 10^{-3} = 68,1 \text{ kN}$$

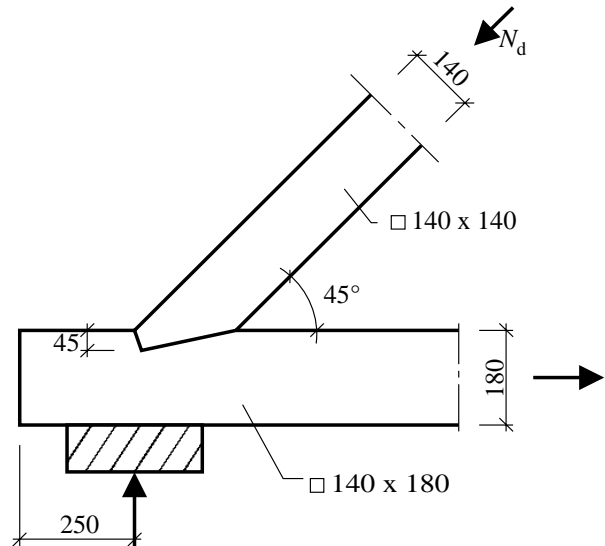
Genauere Berechnung:

$$f_{c,\alpha/2,d} = \frac{14,1}{\frac{23,0}{5,0} \sin^2 22,5^\circ + \cos^2 22,5^\circ} = 9,23 \text{ N/mm}^2$$

$$R_{S,d} = 9,23 \frac{45 \cdot 140}{\cos^2 22,5^\circ} 10^{-3} = 68,1 \text{ kN}$$

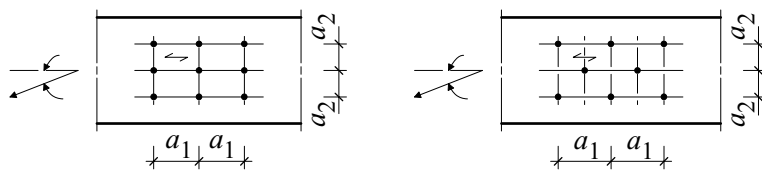
Nachweis: $63,0/68,1 = 0,93 < 1$

Vorholzlänge: $l_{V,req} \geq \frac{63,0 \cdot \cos 45^\circ \cdot 10^3}{140 \cdot 1,54} = 207 \text{ mm} < \text{vorh } l_V = 250 \text{ mm} < 8t_V = 360 \text{ mm}$

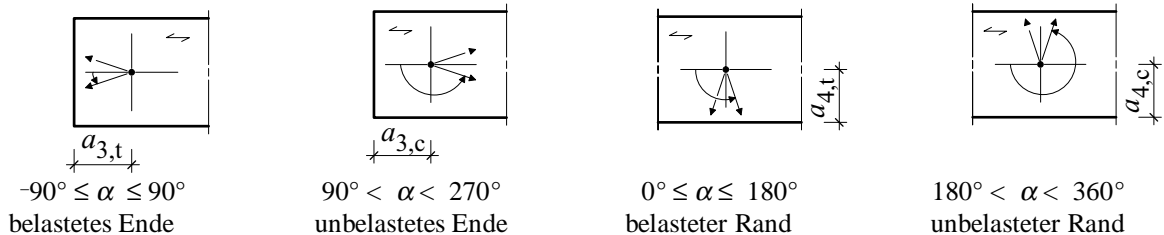


4.2 Verbindungen mit stiftförmigen Verbindungsmitteln

Abstände stiftförmiger Verbindungsmittel (SDü, Bo, Nä, Sr, Kl)



Abstände in Faserrichtung (a_1) und rechtwinklig dazu (a_2)



Endabstände (a_3) und Randabstände (a_4)

Definitionen

R_d

Bemessungswert der Tragfähigkeit pro Scherfuge und Verbindungsmittel

t_1 und t_2

Holz- bzw. HW-Dicken oder Eindringtiefe des Verbindungsmittels

d

Durchmesser des Verbindungsmittels

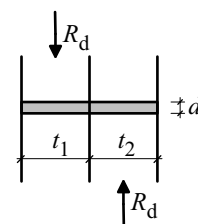
$$f_{h,1(2),d} = \frac{k_{mod,1(2)} f_{h,1(2),k}}{\gamma_M}$$

Bemessungswert der Lochleibungsfestigkeiten in Teil 1(2)

$$\beta = f_{h,2,d} / f_{h,1,d}$$

$$M_{y,d} = \frac{M_{y,k}}{\gamma_M}$$

Bemessungswert des Fließmoments des Verbindungsmittels



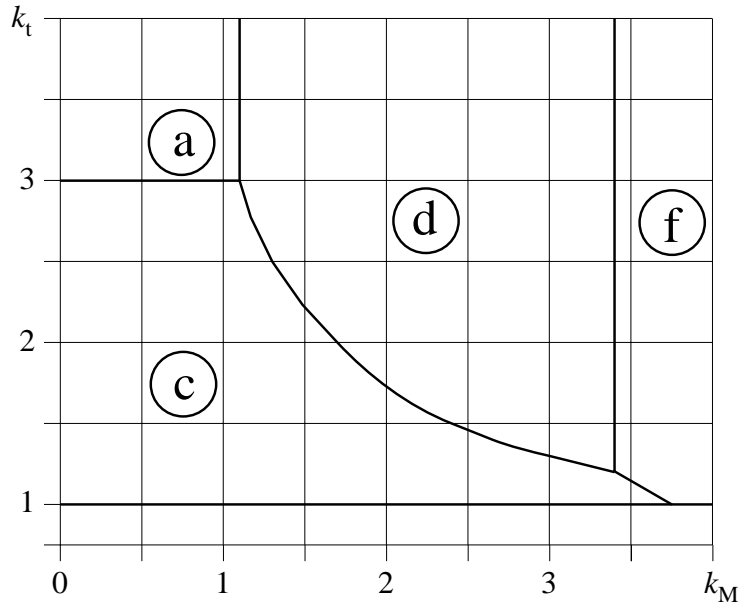
4.2.1 Einschnittige Holz-Holz- und Holz-HW-Verbindungen

a) Die verbundenen Teile haben gleiche Lochleibungsfestigkeiten ($\beta = 1$):

Mit den Parametern $k_t = t_2/t_1$ und $k_M = t_1 / \sqrt{M_{y,d} / (f_{h,d} d)}$ ist ein Punkt im nebenstehenden modifizierten Möller-Diagramm (C3 in [9.19]) festgelegt und damit der maßgebende Bemessungswert der Tragfähigkeit. Ohne Benutzung des Diagramms ist der kleinste Bemessungswert der Tragfähigkeit erst aus den verschiedenen Fällen zu ermitteln.

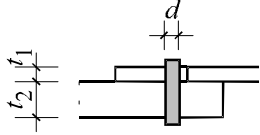
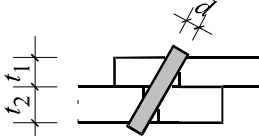
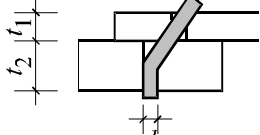
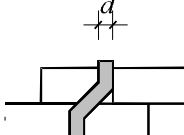
Beispiel zum modifizierten Möller-Diagramm:

$k_t = 2$; $k_M = 2,5 \rightarrow R_d$ nach Gl. (d) der nachfolgenden Tabelle ist maßgebend.



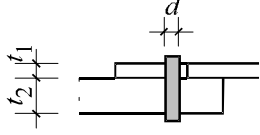
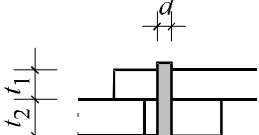
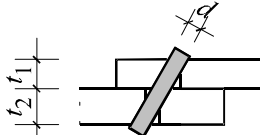
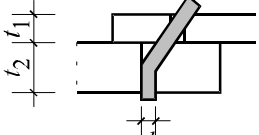
Modifiziertes Möller-Diagramm für einschnittige Holz-Holz-Verbindungen ($\beta = 1$)

Bemessungswert R_d für $\beta = 1$

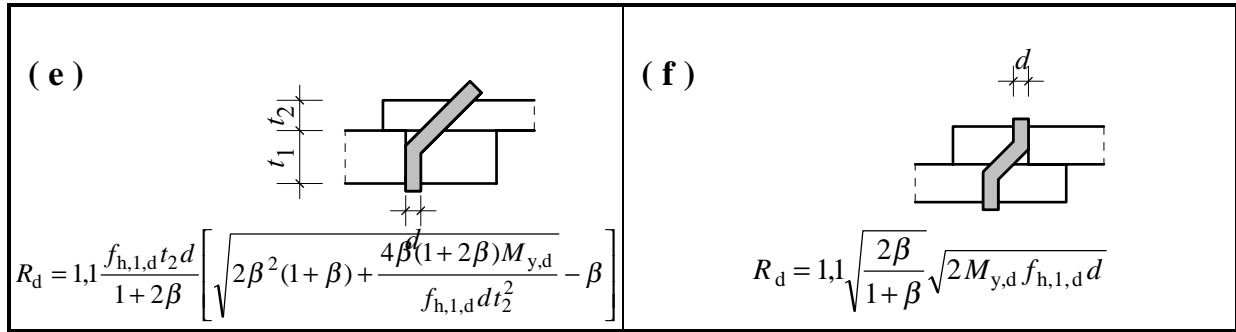
<p>(a) </p> $R_d = f_{h,1,d} t_1 d$ <p style="text-align: right;">$t_1 \leq t_2$</p>	<p>(c) </p> $R_d = 0,5 f_{h,1,d} t_1 d (\sqrt{3k_t^2 + 2k_t + 3 - k_t} - 1)$
<p>(d) </p> $R_d = 0,367 f_{h,1,d} t_1 d (2\sqrt{1 + 3/k_M^2} - 1)$	<p>(f) </p> $R_d = 1,556 f_{h,1,d} t_1 d / k_M$

b) Die verbundenen Teile haben verschiedene Lochleibungsfestigkeiten ($\beta \neq 1$):

Bemessungswert R_d für $\beta \neq 1$ – der kleinste Wert ist maßgebend.

<p>(a) </p> $R_d = f_{h,1,d} t_1 d$	<p>(b) </p> $R_d = f_{h,1,d} t_2 d \beta$
<p>(c) </p> $R_d = \frac{f_{h,1,d} t_1 d}{1 + \beta} \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right]$	<p>(d) </p> $R_d = 1,1 \frac{f_{h,1,d} t_1 d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta) M_{y,d}}{f_{h,1,d} d t_1^2}} - \beta \right]$

Bemessungswert R_d für $\beta \neq 1$ – der kleinste Wert ist maßgebend (Fortsetzung).

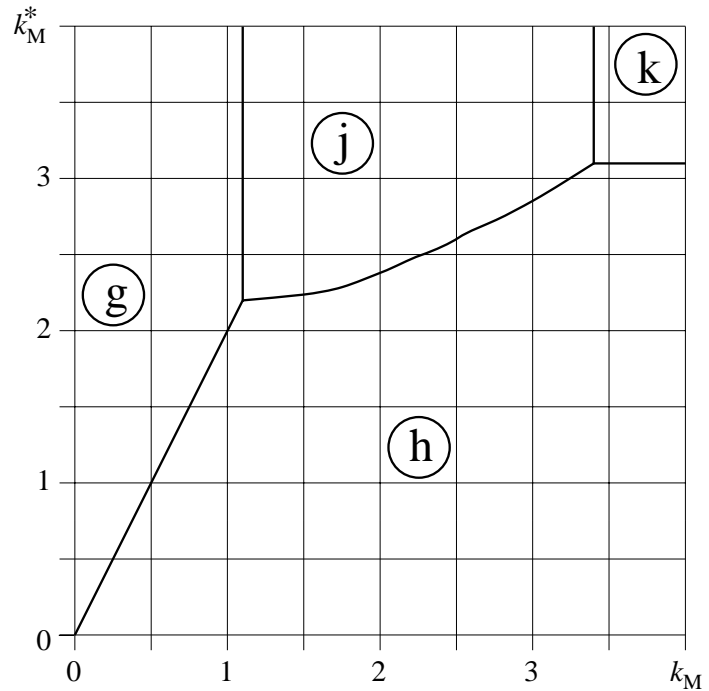


4.2.2 Zweischnittige Holz-Holz- und Holz-HW-Verbindungen

a) Die verbundenen Teile haben gleiche Lochleibungsfestigkeiten ($\beta = 1$):

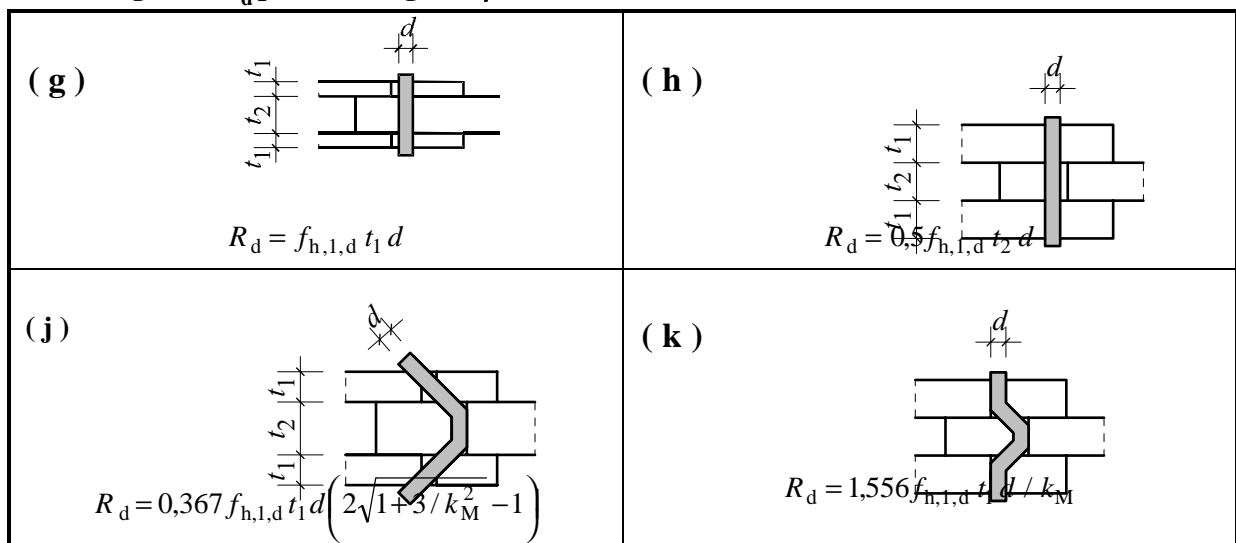
Mit den Parametern $k_M^* = k_M t_2 / t_1$ und $k_M = t_1 / \sqrt{M_{y,d} / (f_{h,d} d)}$ ist ein Punkt im nebenstehenden modifizierten Möller-Diagramm festgelegt und damit der maßgebende Bemessungswert der Tragfähigkeit. Ohne Benutzung des Diagramms ist der kleinste Bemessungswert der Tragfähigkeit erst aus den verschiedenen Fällen zu ermitteln.

Beispiel zum modifizierten Möller-Diagramm: $k_M = 2,5$; $t_2 / t_1 = 2 \rightarrow k_M^* = 2,5 \cdot 2 = 5,0 \rightarrow R_d$ nach Gl. (j) der nachfolgenden Tabelle ist maßgebend.



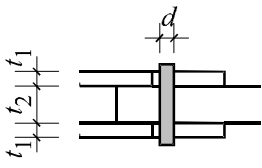
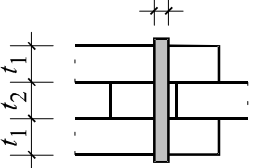
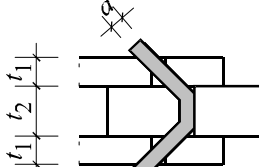
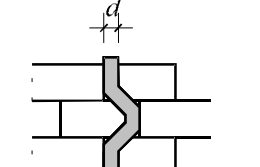
Modifiziertes Möller-Diagramm für zweischnittige Holz-Holz-Verbindungen ($\beta = 1$)

Bemessungswert R_d pro Scherfuge für $\beta = 1$



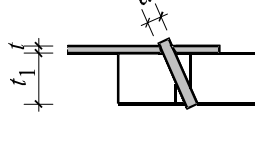
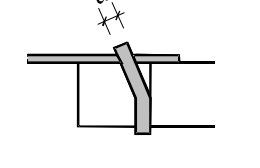
b) Die verbundenen Teile haben verschiedene Lochleibungsfestigkeiten ($\beta \neq 1$):

Bemessungswert R_d pro Scherfuge für $\beta \neq 1$ – der kleinste Wert ist maßgebend.

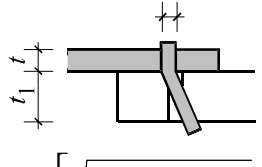
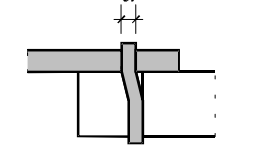
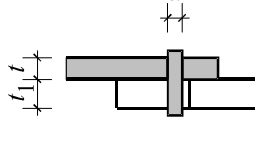
<p>(g)</p>  $R_d = f_{h,1,d} t_1 d$	<p>(h)</p>  $R_d = 0,5 f_{h,1,d} t_2 d \beta$
<p>(j)</p>  $R_d = 1,1 \frac{f_{h,1,d} t_1 d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta) M_{y,d}}{f_{h,1,d} d t_1^2}} - \beta \right]$	<p>(k)</p>  $R_d = 1,1 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2 M_{y,d} f_{h,1,d} d}$

4.2.3 Einschnittige Stahlblech-Holz-Verbindungen

Bemessungswert R_d für Blechdicke $t \leq 0,5d$ – der kleinere Wert ist maßgebend.

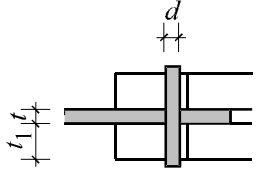
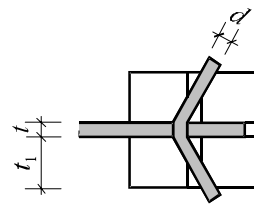
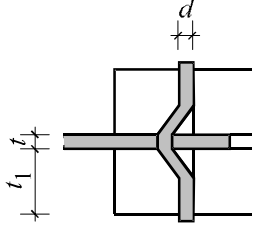
<p>(a)</p>  $R_d = (\sqrt{2} - 1) f_{h,1,d} t_1 d$	<p>(b)</p>  $R_d = 1,1 \sqrt{2 M_{y,d} f_{h,1,d} d}$
---	---

Bemessungswert R_d für Blechdicke $t \geq d$ – der kleinste Wert ist maßgebend.

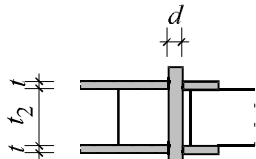
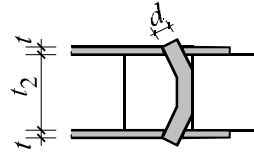
<p>(c)</p>  $R_d = 1,1 f_{h,1,d} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4 M_{y,d}}{f_{h,1,d} d t_1^2}} - 1 \right]$	<p>(d)</p>  $R_d = 1,5 \sqrt{2 M_{y,d} f_{h,1,d} d}$
<p>(a)</p>  $R_d = f_{h,1,d} t_1 d$	<p>Für $0,5d < t < d$ darf geradlinig interpoliert werden.</p>

4.2.4 Zweischnittige Stahlblech-Holz-Verbindungen

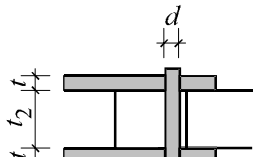
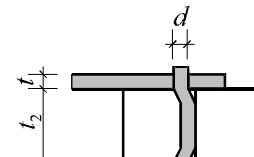
Bemessungswert R_d pro Scherfuge für Mittelteil aus Stahlblech – der kleinste Wert ist maßgebend.

<p>(e)</p>  $R_d = f_{h,1,d} t_1 d$	<p>(f)</p>  $R_d = 1,1 f_{h,1,d} t_1 d \left(\sqrt{2 + \frac{4 M_{y,d}}{f_{h,1,d} d t_1^2}} - 1 \right)$
<p>(g)</p>  $R_d = 1,5 \sqrt{2 M_{y,d} f_{h,1,d} d}$	

Bemessungswert R_d pro Scherfuge für Seitenteile aus dünnem Stahlblech ($t \leq 0,5d$) – der kleinere Wert ist maßgebend.

<p>(h)</p>  $R_d = 0,5 f_{h,2,d} t_2 d$	<p>(j)</p>  $R_d = 1,1 \sqrt{2 M_{y,d} f_{h,2,d} d}$
---	--

Bemessungswert R_d pro Scherfuge für Seitenteile aus dickem Stahlblech ($t \geq d$) – der kleinere Wert ist maßgebend.

<p>(k)</p>  $R_d = 0,5 f_{h,2,d} t_2 d$	<p>(l)</p>  $R_d = 1,5 \sqrt{2 M_{y,d} f_{h,2,d} d}$
--	---

Für $0,5 d < t < d$ darf geradlinig interpoliert werden.

Die Tragfähigkeit der Stahlbleche ist nach EC 3 mit NAD, alternativ nach DIN 18 800-1 nachzuweisen.

4.2.5 Mehrschnittige Verbindungen

Beispiel einer vierschnittigen Holz-Holz-Verbindung

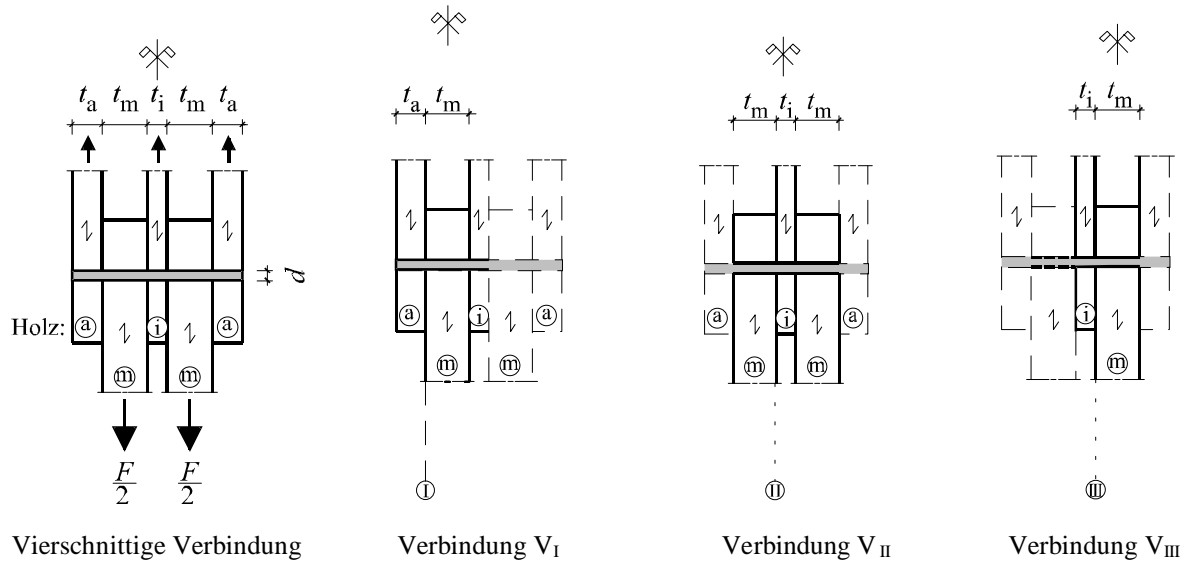
Alle Stäbe aus gleichem Material $\rightarrow \beta = 1$; Kraftrichtung \parallel Faserrichtung.

Der dargestellte Anschluß eines zweiteiligen Stabes an einen dreiteiligen Stab enthält vierschnittige stiftförmige Verbindungsmittel.

Berechnungsgang:

- Aufteilung der vierschnittigen Verbindung in zweischnittige Verbindungen V_I, V_{II}, V_{III} .
- Bei den zweischnittigen Verbindungen V_I bis V_{III} gehen jeweils nur die an die betrachtete Scherfuge anschließenden Teile in die Berechnung von R_d ein.

- Die Versagensart j kann bei den innenliegenden Scherfugen II und III nicht auftreten.
- Ermittlung der Bemessungswerte der Tragfähigkeit R_d
- Bemessungswert der Tragfähigkeit des Stiftes $R_{\text{Stift},d} = 2R_{\text{I},\text{min},d} + 2R_{\text{II(III),\text{min},d}}$



Verbindung V_I

Scherfuge I: $t_1 = t_a$; $t_2 = t_m$; $k_M = t_a / \sqrt{M_{y,d} / (f_{h,d}d)}$

Maßgebender Bemessungswert der Tragfähigkeit des Stiftes in der Scherfuge I ist der kleinste Wert aus:

- | | |
|---|--|
| (g) $R_{\text{I},d} = f_{h,d} t_a d$ | (h) $R_{\text{I},d} = 0,5 f_{h,d} t_m d$ |
| (j) $R_{\text{I},d} = 0,367 f_{h,d} t_a d \left(2\sqrt{1+3/k_M^2} - 1 \right)$ | (k) $R_{\text{I},d} = 1,556 f_{h,d} t_a d / k_M$ |

Verbindung V_{II}

Scherfuge II: $t_1 = t_m$; $t_2 = t_i$; $k_M = t_m / \sqrt{M_{y,d} / (f_{h,d}d)}$

Maßgebender Bemessungswert der Tragfähigkeit des Stiftes in der Scherfuge II ist der kleinste Wert aus:

- | | |
|---------------------------------------|---|
| (g) $R_{\text{II},d} = f_{h,d} t_m d$ | (h) $R_{\text{II},d} = 0,5 f_{h,d} t_i d$ |
| (j) kann sich hier nicht einstellen | (k) $R_{\text{II},d} = 1,556 f_{h,d} t_m d / k_M$ |

Verbindung V_{III}

Scherfuge III: $t_1 = t_i$; $t_2 = t_m$; $k_M = t_i / \sqrt{M_{y,d} / (f_{h,d}d)}$

Maßgebender Bemessungswert der Tragfähigkeit des Stiftes in der Scherfuge III ist der kleinste Wert aus:

- | | |
|--|--|
| (g) $R_{\text{III},d} = f_{h,d} t_i d$ | (h) $R_{\text{III},d} = 0,5 f_{h,d} t_m d$ |
| (j) kann sich hier nicht einstellen | (k) $R_{\text{III},d} = 1,556 f_{h,d} t_i d / k_M$ |

Maßgebender Bemessungswert der Tragfähigkeit des Stiftes $R_{\text{Stift},d} = 2R_{\text{I},\text{min},d} + 2R_{\text{II(III),\text{min},d}$

Nachweis des Verbindungsmittels: $\frac{F_{\text{Stift},d}}{R_{\text{Stift},d}} \leq 1$

Beispiel: Siehe z. B. D1 in [9.20] und *Hilson* in [9.21]

Beispiel einer vierschnittigen Stahlblech-Holz-Verbindung

Der dargestellte Anschluß eines Holzstabes an zwei innenliegende Stahlbleche enthält vierschnittige stiftförmige Verbindungsmittel.

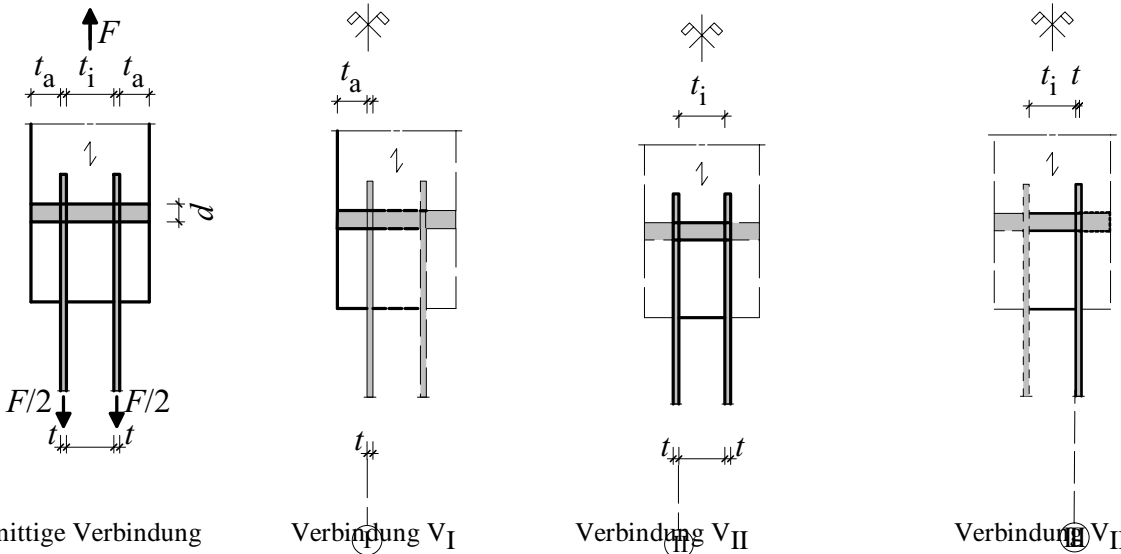
Verbindung V_I

Scherfuge I: Holzdicke $t_1 = t_a$; Blechdicke t

Maßgebender Bemessungswert der Tragfähigkeit des Stiftes in der Scherfuge I ist der kleinste Wert aus:

(e) $R_{I,d} = f_{h,d} t_a d$ (f) $R_{I,d} = 1,1 f_{h,d} t_a d \sqrt{2 + \frac{4 M_{y,d}}{f_{h,d} d t_a^2} - 1}$

(g) $R_{I,d} = 1,5 \sqrt{2 M_{y,d} f_{h,d} d}$



Verbindung V II

Scherfuge II: Holzdicke $t_2 = t_1$; Blechdicke t ist als dick anzunehmen, da sich die Verformung an dieser Stelle (innen) nicht wie bei einem dünnen Blech einstellen kann.

Maßgebender Bemessungswert der Tragfähigkeit des Stiftes in der Scherfuge II ist der kleinere Wert aus:

(k) $R_{II,d} = 0,5 f_{h,d} t_1 d$ (l) $R_{II,d} = 1,5 \sqrt{2 M_{y,d} f_{h,d} d}$

Verbindung V III

Scherfuge II: Holzdicke $t_1 = t_1$; Blechdicke t

Maßgebender Bemessungswert der Tragfähigkeit des Stiftes in der Scherfuge III ist der kleinere Wert aus:

(e) $R_{III,d} = f_{h,d} t_1 d$ (f) kann sich hier nicht einstellen

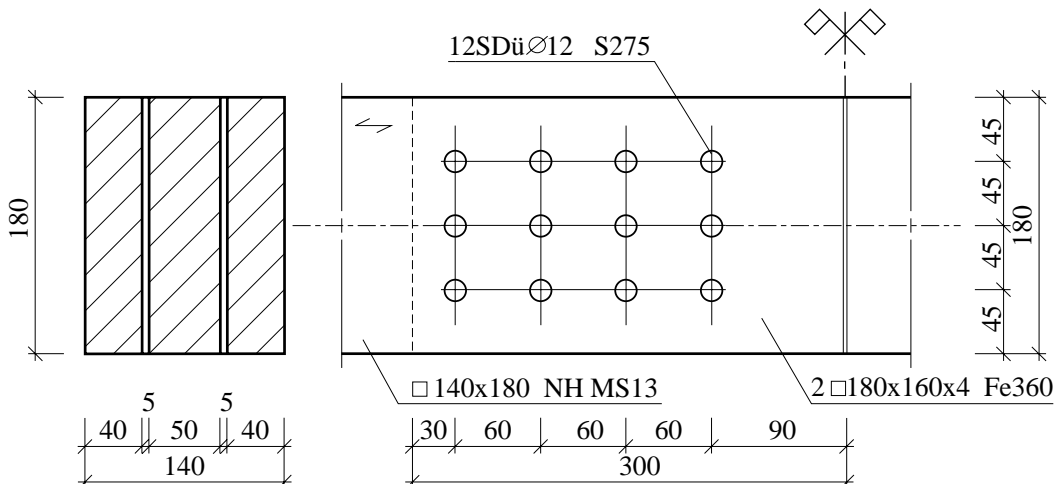
(g) $R_{III,d} = 1,5 \sqrt{2 M_{y,d} f_{h,d} d}$

Maßgebender Bemessungswert der Tragfähigkeit des Stiftes $R_{Stift,d} = 2R_{I,min,d} + 2R_{II(III),min,d}$

Nachweis des Verbindungsmittels: $\frac{F_{Stift,d}}{R_{Stift,d}} \leq 1$

Beispiel: Zugstoß NKI: 1 KLED: mittel Stabkraft: $F_d = 240$ kN
 Zugstab 140x180 mm NH MS 13 VM: SDü Ø12 mm S 275
 Stoßblaschen: 2 Schlitzbleche $t = 4$ mm in 5 mm breiten Schlitzn

Reduzierter SDü-Abstand: $a_1 = 60$ mm $= 5d < 7d \rightarrow k_a = \sqrt{5d / (3 + 4|\cos 0^\circ|)} d = \sqrt{5/7} = 0,845$



Bemessungswerte:

Mit $k_{\text{mod}}/\gamma_M = 0,8/1,3 = 0,615$ für Holz und

$\gamma_M = 1,1$ für Stahl (des SDÜ):

$$f_{h,0,d} = 0,845 \cdot 0,615 \cdot 0,082 (1 - 0,01 \cdot 12) 400 = 15,0 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{y,d} = \frac{1}{1,1} 0,8 \cdot 430 \cdot 12^3 / 6 = 90065 \text{ Nmm}$$

Vierschnittige Stahlblech-Holz-Verbindung

$t = 4 \text{ mm} < d/2 = 6 \text{ mm} \rightarrow$ dünnes Stahlblech

In $V_{\text{II(III)}}$ ist das Blech als dick anzunehmen.

Verbindung V_I

(e) $R_{I,d} = 15,0 \cdot 40 \cdot 12 = 7200 \text{ N}$

(f) $R_{I,d} = 1,1 \cdot 15,0 \cdot 40 \cdot 12 \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot 90065}{15,0 \cdot 12 \cdot 40^2}} - 1 \right] = 6360 \text{ N}$

(g) $R_{I,d} = 1,5 \sqrt{2 \cdot 90065 \cdot 15,0 \cdot 12} = 8540 \text{ N}$

Verbindung V_{II}

(k) $R_{\text{II},d} = 0,5 \cdot 15,0 \cdot 50 \cdot 12 = 4500 \text{ N}$

(l) $R_{\text{II},d} = 1,5 \sqrt{2 \cdot 90065 \cdot 15,0 \cdot 12} = 8540 \text{ N}$

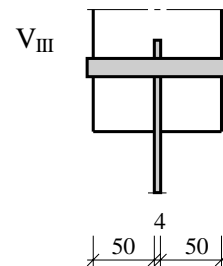
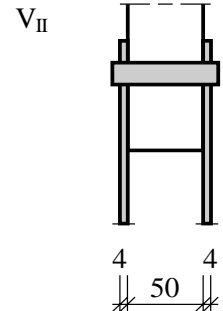
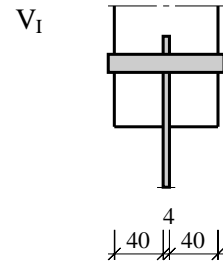
Verbindung V_{III}

(e) $R_{\text{III},d} = 15,0 \cdot 50 \cdot 12 = 9000 \text{ N}$

(g) $R_{\text{III},d} = 1,5 \sqrt{2 \cdot 90065 \cdot 15,0 \cdot 12} = 8540 \text{ N}$

R_d je SDü = $2 \cdot 6,36 + 2 \cdot 4,5 = 21,7 \text{ kN}$

Nachweis: $\frac{240,0}{12 \cdot 21,7} = 0,92 < 1$



4.3 Nagelverbindungen

4.3.1 Allgemeines und Ausführungsregeln nach EC 5

Die Regeln gelten für gewöhnliche Nägel, deren Köpfe einen Durchmesser von mindestens $2d$ aufweisen. Nach NAD sind die Regeln auch gültig für Nägel entsprechend DIN 1052-2 (siehe Tafel Nagelarten in Kapitel 9 A, S. 9.35). Bei kleineren Nagelköpfen sollte eine verringerte Tragfähigkeit angenommen werden. Für Stifte ohne Kopf oder Nägel mit ovaler Kopfform sollten beispielsweise die Bemessungswerte der Tragfähigkeit für Verbindungen mit Spanplatten und Faserplatten auf die Hälfte abgemindert werden. In Schaftrichtung beanspruchte glattschaftige Nägel sollten nicht für ständige oder langandauernde Lasteinwirkungen verwendet werden. Eine Nagelverbindung sollte aus mindestens zwei Nägeln bestehen.

d Nageldurchmesser (NaØ) bzw. die Seitenlänge des Nagels bei quadratischen Nägeln

$d_{\text{max}} = 8 \text{ mm}$

BohrlochØ von vorgebohrten Nagellöchern $\leq 0,8d$;

Vorbohren stets erforderlich in Hölzern mit $\rho_k \geq 500 \text{ kg/m}^3$ und nach NAD in Douglasienholz

Bei Nagelverbindungen ohne Vorbohren gilt:

Mindestholzdicke $b_{\text{min}} = \max \left\{ \begin{array}{l} 7d \\ (13d - 30)\rho_k / 400 \end{array} \right.$

ρ_k in kg/m^3 und d in mm

Bei sich übergreifenden Nägeln in nicht vorgebohrten

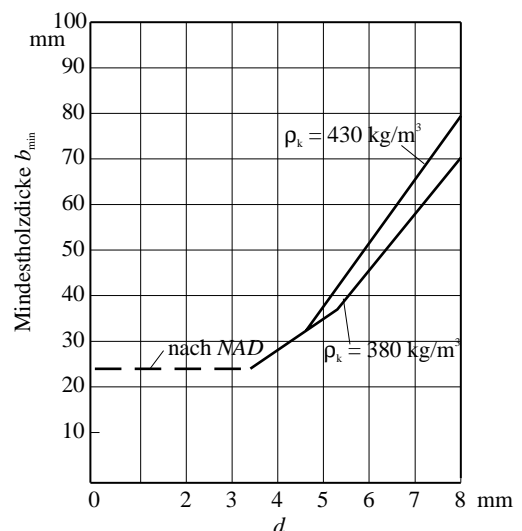
Nagellöchern muß gelten: $(t_2 - l) > 4d$

Mindestwerte für die Einschlagtiefe l

Beanspruchung auf	„Abscheren“	Herausziehen ^{*)}
Glattschaftige Nägel	$l \geq 8d$	$l \geq 12d$
RNä und SNä	$l \geq 6d$	$l \geq 8d$

^{*)} Bei RNä und SNä trägt nur der profilierte Schaft zur Kraftübertragung bei.

BohrlochØ nach NAD etwa $0,9d$



Mindestholzdicke ohne Vorbohren

Mindestnagelabstände

Abstände	Nicht vorgebohrte Nagellöcher		Vorgebohrte Nagellöcher
	$\rho_k \leq 420 \text{ kg/m}^3$	$420 < \rho_k < 500 \text{ kg/m}^3$	
a_1 (untereinander in Fa-Ri)	wenn $d < 5 \text{ mm}$: $(5 + 5 \cos \alpha) d$ wenn $d \geq 5 \text{ mm}$: $(5 + 7 \cos \alpha) d$	$(7 + 8 \cos \alpha) d$	$(4 + 3 \cos \alpha) d^*$
a_2 (untereinander \perp Fa-Ri)	$5d$	$7d$	$(3 + \sin \alpha) d$
$a_{3,t}$ (vom belast. Hirnholzende)	$(10 + 5\cos \alpha) d$	$(15 + 5\cos \alpha) d$	$(7 + 5\cos \alpha) d$
$a_{3,c}$ (vom unbelast. Hirnholzende)	$10d$	$15d$	$7d$
$a_{4,t}$ (vom belasteten Rand)	$(5 + 5\sin \alpha) d$	$(7 + 5\sin \alpha) d$	$(3 + 4\sin \alpha) d$
$a_{4,c}$ (vom unbelasteten Rand)	$5d$	$7d$	$3d$

*) Der Mindestabstand a_1 darf gemäß NAD weiter bis auf $(4 + |\cos \alpha|) d$ verringert werden, wenn die charakteristische Lochleibungsfestigkeit $f_{h,k}$ mit dem Faktor $k_a = \sqrt{a_1 / (4 + 3|\cos \alpha|) d}$ abgemindert wird.

Das NAD gestattet, daß bei BSH für die Bestimmung der Nagelabstände eine Rohdichte $\rho_k = 420 \text{ kg/m}^3$ zugrunde gelegt werden darf.

Bei Stahlblech-Holz-Verbindungen dürfen die angegebenen Mindestnagelabstände mit 0,7 multipliziert werden. Für Bausperrholz dürfen die angegebenen Werte mit 0,85 multipliziert werden.

Für die Randabstände im Bausperrholz gilt:

beanspruchter Rand	$a_{4,t} \geq (3 + 4\sin \alpha) d$
unbeanspruchter Rand	$a_{4,c} \geq 3d$

4.3.2 Konstruktive Regeln

Bei nicht vorgebohrten Nagellöchern sollten die Nägel in Faserrichtung um $d/2$ gegenüber der Rißlinie versetzt werden.

Empfohlene Größtabstände der Nägel

im Holz || Fa.: $40d$; \perp Fa.: $20d$ in HW-Platten: $40d$ (bei nur aussteifender Funktion: $80d$)

4.3.3 Tragfähigkeit bei Beanspruchung rechtwinklig zur Nagelachse

Holz-Holz-Nagelverbindungen

Die Bemessungswerte der Tragfähigkeit eines Nagels sind nach Abschnitt 4.2 zu ermitteln, wobei für Hölzer mit nicht vorgebohrten Nagellöchern

$$f_{h,k} = 0,082 \rho_k d^{-0,3} \quad \text{in N/mm}^2$$

Hölzer mit vorgebohrten Nagellöchern

$$f_{h,k} = 0,082 (1 - 0,01d) \rho_k \quad \text{in N/mm}^2$$

mit ρ_k in kg/m^3 und d in mm einzusetzen ist.

Charakteristisches Fließmoment für runde Nä $M_{y,k} = 180 d^{2,6}$ in Nmm

(mit d in mm) quadratische Nä $M_{y,k} = 270 d^{2,6}$ in Nmm

Holzwerkstoff-Holz-Nagelverbindungen

Die Regeln für Holz-Holz-Verbindungen gelten sinngemäß.

Für Bausperrholz ist $f_{h,k} = 0,11 \rho_k d^{-0,3}$ in N/mm^2 einzusetzen.

Stahlblech-Holz-Nagelverbindungen

Die Bemessungswerte der Tragfähigkeit eines Nagels sind nach Abschnitt 4.2 zu ermitteln.

4.3.4 Tragfähigkeit bei Beanspruchung in Schaftrichtung (Herausziehen)

$$R_d = \min \begin{cases} f_{1,d} d l & \text{für alle Nä} & (1) \\ f_{1,d} d h + f_{2,d} d^2 & \text{für glattschaftige Nä} & (2)^*) \\ f_{2,d} d^2 & \text{für RNä und SNä} & (3) \end{cases}$$

*) Nach NAD können Nägel mit einem Mindestdurchmesser des Kopfes von $1,8 d$ verwendet werden, wenn die Gl. (2) unberücksichtigt bleibt.

$$f_{1,k} = 18 \cdot 10^{-6} \rho_k^2 \quad \text{in N/mm}^2$$

$$f_{2,k} = 300 \cdot 10^{-6} \rho_k^2 \quad \text{in N/mm}^2$$

$$\rho_k \quad \text{in kg/m}^3$$

$f_{1,k}$ und $f_{2,k}$ sind für Vollholz mit einer Holzfeuchte von ca. 30 % beim Einbau und der Möglichkeit auszutrocknen mit 0,67 zu multiplizieren.

Charakteristische Werte $f_{1,k}$ und $f_{2,k}$ in N/mm² für Sondernägel (nach NAD)

Tragfähigkeitsklasse	$f_{1,k}$	$f_{2,k}$
I	$28 \cdot 10^{-6} \rho_k^2$	$600 \cdot 10^{-6} \rho_k^2$
II	$40 \cdot 10^{-6} \rho_k^2$	
III	$50 \cdot 10^{-6} \rho_k^2$	
Charakteristische Rohdichte ρ_k in kg/m ³ einsetzen		

4.3.5 Kombinierte Beanspruchung

Für glattschaftige Nägel: $\frac{F_{ax,d}}{R_{ax,d}} + \frac{F_{la,d}}{R_{la,d}} \leq 1$ **Für RNä und SNä:** $\left(\frac{F_{ax,d}}{R_{ax,d}}\right)^2 + \left(\frac{F_{la,d}}{R_{la,d}}\right)^2 \leq 1$

$F_{ax,d}$ bzw. $R_{ax,d}$ Bemessungswert der Einwirkung bzw. Tragfähigkeit in Schaftrichtung des Nagels

$F_{la,d}$ bzw. $R_{la,d}$ Bemessungswert der Einwirkung bzw. Tragfähigkeit rechtwinklig zur Nagelachse

Beispiel:

Befestigung Dachschalung ($b = 28$ mm) auf Sparren mit RNä 4,0x75 -II

Bemessungswerte der Einwirkung je Nagel: aus Windsog $F_{ax,d} = 550$ N

aus Dachschub $F_{la,d} = 450$ N

Material: NH S10

KLED: kurz $\rightarrow k_{mod}/\gamma_M = 0,9/1,3 = 0,692$

Tragfähigkeit auf Abscheren

$$M_{y,d} = 180 \cdot 4^{2,6}/1,1 = 6015 \text{ Nmm}$$

$$f_{h,0,d} = 0,082 \cdot 380 \cdot 4^{-0,3} \cdot 0,692 = 14,2 \text{ N/mm}^2$$

$$k_t = t_2/t_1 = 47/28 = 1,68$$

$$k_M = 28/\sqrt{6015/(14,2 \cdot 4)} = 2,72$$

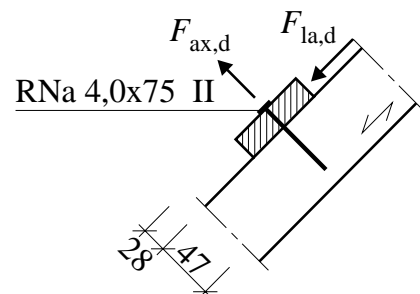
Nach modifiziertem Möller-Diagramm auf Seite 9.37 ist der Versagensfall d maßgebend.

$$R_d = 0,367 \cdot 14,2 \cdot 28 \cdot 4 \left(2\sqrt{1 + 3/2,72^2} - 1 \right) = 800 \text{ N}$$

Tragfähigkeit auf Herausziehen

$$R_d = \min \begin{cases} 40 \cdot 10^{-6} \cdot 380^2 \cdot 0,692 \cdot 4 \cdot 47 = 752 \text{ N} \\ 600 \cdot 10^{-6} \cdot 380^2 \cdot 0,692 \cdot 4^2 = 959 \text{ N} \end{cases}$$

Nachweis: $\left(\frac{550}{752}\right)^2 + \left(\frac{450}{800}\right)^2 = 0,535 + 0,316 = 0,85 < 1$



4.4 Klammerverbindungen

Die Bestimmungen für Nagelverbindungen sind anzunehmen.

$R_{Kl,d} = 2R_{Na,d}$, wenn der Winkel zwischen Klammerrücken und der Fa-Ri des Holzes unter dem Klammerrücken mehr als 30° beträgt. $R_{Kl,d}$ ist mit 0,7 zu multiplizieren, wenn dieser Winkel $\leq 30^\circ$ beträgt.

4.5 Bolzenverbindungen

4.5.1 Allgemeines und Ausführungsregeln nach EC 5

d Bolzendurchmesser (Bo \emptyset)
 d_{\max} = 30 mm
 Bohrloch \emptyset $\leq d + 1$ mm
 n Bolzenanzahl in Kraftrichtung hintereinander
 n_{ef} = $6 + 2(n - 6)/3$, wenn $n > 6$
 Bolzen so anziehen, daß die verbundenen Teile eng aneinanderliegen. Unterlegscheiben unter Bolzenkopf und Mutter.

*) Der Mindestabstand a_1 darf gemäß NAD bis auf $(4 + |\cos \alpha|) d$ verringert werden, wenn die Lochleibungsfestigkeit $f_{h,0,k}$ mit dem Faktor

$$k_a = \sqrt{a_1 / (4 + 3 |\cos \alpha|) d} \text{ abgemindert wird.}$$

Mindestabstände von Bolzen

a_1	zur Fa-Ri	$(4 + 3 \cos \alpha) d$ *)
a_2	⊥ zur Fa-Ri	$4d$
$a_{3,t}$	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$7d (\geq 80 \text{ mm})$
$a_{3,c}$	$150^\circ \leq \alpha \leq 210^\circ$	$4d$
$a_{3,c}$	$90^\circ < \alpha < 150^\circ$ $210^\circ < \alpha < 270^\circ$	$(1 + 6 \sin \alpha) d$ (jedoch $\geq 4d$)
$a_{4,t}$	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$(2 + 2 \sin \alpha) d$ (jedoch $\geq 3d$)
$a_{4,c}$	alle anderen α	$3d$

4.5.2 Konstruktive Regeln

- In einer Verbindung mindestens zwei Bolzen.
- Bolzenverbindungen nicht in Dauerbauten, bei denen es auf Steifigkeit und Formbeständigkeit ankommt.

4.5.3 Tragfähigkeit bei Beanspruchung rechtwinklig zur Bolzenachse

Die Bemessungswerte der Tragfähigkeit eines Bolzens sind nach Abschnitt 4.2 zu ermitteln, wobei sich die charakteristische Lochleibungsfestigkeit bei einem Winkel α zwischen Kraft- und Faserrichtung ergibt zu

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad \text{mit} \quad f_{h,0,k} = 0,082 (1 - 0,01d) \rho_k \text{ in N/mm}^2$$

$$k_{90} = 1,35 + 0,015d \text{ für NH} \quad \text{und} \quad k_{90} = 0,90 + 0,015d \text{ für LH}$$

Für Bausperrholz gilt unabhängig vom Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung der Deckfurniere

$$f_{h,k} = 0,11 (1 - 0,01d) \rho_k$$

mit ρ_k in kg/m^3 und d in mm

$$M_{y,k} = 0,8 f_{u,k} d^3 / 6 \text{ in Nmm}$$

Festigkeitsklasse	Charakteristische Festigkeit $f_{u,k}$ in N/mm^2
3.6	300
4.6 und 4.8	400
5.6 und 5.8	500

4.5.4 Tragfähigkeit bei Beanspruchung in Bolzenschaftrichtung

Die Zugfestigkeit des Bolzenmaterials ist nachzuweisen, siehe Abschnitt Stahlbau.

Zwischen Holzoberfläche und Unterlegscheibe ist einzuhalten: $\sigma_{c,90,d} / (1,8 f_{c,90,d}) \leq 1$

4.6 Stabdübelverbindungen

4.6.1 Allgemeines und Ausführungsregeln nach EC 5

d Stabdübeldurchmesser (SDü \emptyset) $d_{\min} = 6$ mm
 \emptyset -Toleranzen $-0,0/+0,1$ mm Bohrloch \emptyset (im Holz) $\leq d$
 n Stabdübelanzahl in Kraftrichtung hintereinander
 $n_{\text{ef}} = 6 + 2(n - 6)/3$, wenn $n > 6$

Mindestabstände von Stabdübeln

a_1	(untereinander in Faserrichtung)	zur Fa-Ri	$(3 + 4 \cos \alpha) d$ *)
a_2	(untereinander ⊥ zur Faserrichtung)	⊥ zur Fa-Ri	$3d$
$a_{3,t}$	(vom belasteten Hirnholzende)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$7d (\geq 80 \text{ mm})$
$a_{3,c}$	(vom unbelasteten Hirnholzende)	$150^\circ \leq \alpha \leq 210^\circ$	$3d$
		$90^\circ < \alpha < 150^\circ$ $210^\circ < \alpha < 270^\circ$	$a_{3,t} \sin \alpha $ (jedoch $\geq 3d$)
$a_{4,t}$	(vom belasteten Rand)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$(2 + 2 \sin \alpha) d$ (jedoch $\geq 3d$)
$a_{4,c}$	(vom unbelasteten Rand)	alle anderen α	$3d$

*) Der Mindestabstand a_1 darf gemäß NAD weiter bis auf $(3 + 2 |\cos \alpha|) d$ verringert werden, wenn die Lochleibungsfestigkeit $f_{h,0,k}$ mit dem Faktor $k_a = \sqrt{a_1 / (3 + 4 |\cos \alpha|) d}$ abgemindert wird.

4.6.2 Konstruktive Regeln

- Paßbolzen (PB), das sind Bolzen mit Bohrl Lochdurchmesser $\leq d$, können wie SDü eingesetzt werden; bei außenliegenden Stahlteilen immer zu verwenden.
- in einer Verbindung mindestens zwei SDü
- Bohrl Lochdurchmesser im Stahl $\leq (d + 1 \text{ mm})$.

4.6.3 Tragfähigkeit auf Abscheren

Wie bei Bolzenverbindungen.

Charakteristische Festigkeitskennwerte nach nebenstehender Tabelle:

Nennstahlgüte	Charakteristische Festigkeit $f_{u,k}$ in N/mm ²
S 235	360
S 275	430
S 355	510

4.7 Holzschraubenverbindungen

4.7.1 Ausführungsregeln nach EC 5

Vorbohren erforderlich, wenn $d > 5 \text{ mm}$

Mindesteinschraubtiefe $l_{\min} = 4d$

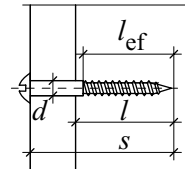
d Schraubenschaft \varnothing

Bohrloch \varnothing = d auf die Länge des glatten Schaftes

Bohrloch \varnothing = $0,7d$ auf die Länge des Gewindeteils

Wenn $d < 8 \text{ mm}$: Bestimmungen für Nägel auf „Abscheren“ anwenden.

Wenn $d \geq 8 \text{ mm}$: Bestimmungen für Bolzen anwenden.



4.7.2 Konstruktive Regeln

- Verwendung von Holzschrauben meist in einschnittigen Stahlblech-Holz(HW)-Verbindungen
- Anwendung der Bemessungsregeln des EC 5 auf Schrauben nach DIN 96, DIN 97 und DIN 571 und somit Kern $\varnothing \approx 0,7d$ sowie Gewindelänge $l_{ef} \geq 0,6l_s$ (siehe Abb.).

4.7.3 Tragfähigkeit bei Beanspruchung rechtwinklig zur Schraubenachse

Wenn $d < 8 \text{ mm}$: Bestimmungen für Nägel auf „Abscheren“ anwenden.

Wenn $d \geq 8 \text{ mm}$: Bestimmungen für Bolzen anwenden.

Berechnung von $M_{y,k}$ mit $d_{ef} = 0,9d$

mit $d_{ef} = d$, wenn $l \geq (l_{ef} + 4d)$ (siehe Abbildung oben)

$M_{y,k}$ siehe Abschnitt 4.5.3 mit $f_{u,k} = 300 \text{ N/mm}^2$ nach NAD

4.7.4 Tragfähigkeit bei Beanspruchung in Schraubenachse (Herausziehen)

Bemessungswert der Tragfähigkeit $R_d = f_{3,d}(l_{ef} - d)$ in N mit $f_{3,d} = \frac{k_{\text{mod}} f_{3,k}}{\gamma_M}$

$f_{3,k} = (1,5 + 0,6d)\sqrt{\rho_k}$ in N/mm; l_{ef} und d in mm (siehe Abb.) ρ_k in kg/m³

4.7.5 Kombinierte Beanspruchung wie für RNä und SNä in Abschnitt 4.3.5 angegeben.

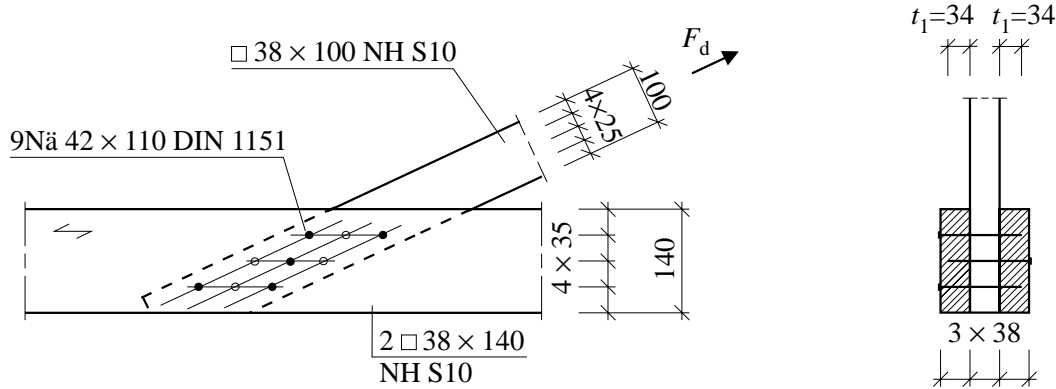
4.8 Dübelverbindungen

Gemäß NAD gelten für die Dübelverbindungen mit Einlaß- und Einpreßdübeln die Regelungen nach der DIN 1052-2, Abschnitt 4.

Beim Nachweis der Tragfähigkeit sind die nach EC 5 ermittelten Dübelkräfte durch $\gamma_F = 1,4$ zu dividieren, um sie mit den zulässigen Werten zur $N_{\text{Dübel}}$ der Dübeltabelle im Kapitel 9 A Holzbau (DIN 1052) vergleichen zu können. Hierbei sind gegebenenfalls die entsprechenden Fußnoten zu beachten.

Nachweis der Dübeltragfähigkeit: $\frac{F_d/1,4}{\text{zul } N_{\text{Dübel}}} \leq 1$

Beispiel: NK1 1 KLED: mittel $F_d = 14,6 \text{ kN}$
 Anschluß einer Zugdiagonale (38×100 mm NH S 10) an den zweiteiligen Untergurt (2 38×140 mm NH S 10) mit Nä 42×110 DIN 1151



Nageleinschlagtiefe $l = 110 - 2 \cdot 38 = 34 \text{ mm} > 8 \cdot 4,2 = 33,6 \text{ mm} \rightarrow$ zweischnittige Verbindung

$$f_{h,d} = \frac{0,8}{1,3} 0,082 \cdot 380 \cdot 4,2^{-0,3} = 12,5 \text{ N/mm}^2 \quad M_{y,d} = 180 \cdot 4,2^{2,6} / 1,1 = 6830 \text{ Nmm}$$

$\beta = 1$, da gleiches Material und der Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung in Nagelverbindungen unberücksichtigt bleibt.

Modifiziertes Möller-Diagramm nach Seite 9.38 mit $t_1 / t_2 = 38 / 34 = 1,12$:

$$k_M = 34 / \sqrt{6830 / (12,5 \cdot 4,2)} = 2,98; \quad k_M^* = 1,12 \cdot 2,98 = 3,33 \rightarrow \text{Gl. (j) ist maßgebend}$$

$$R_d = 0,367 \cdot 12,5 \cdot 34 \cdot 4,2 \left(2 \sqrt{1 + 3 / 2,98^2} - 1 \right) = 860 \text{ N je Scherfuge}$$

$$R_d = 2 \cdot 860 \cdot 10^{-3} = 1,72 \text{ kN je Nagel}$$

$$n_{\text{req}} = 14,6 / 1,72 = 8,5 \rightarrow \text{gewählt}$$

9 Nä 42×110 DIN 1151

Beispiel NK1 1 KLED: mittel $F_d = 40 \text{ kN}$

Anschluß eines Trägers (80×180 mm NH S 10) an zweiteiligen Pfosten (2 60×120 mm NH S 10) mit SDü Ø 12 mm S 235

$$M_{y,d} = \frac{0,8 \cdot 360 \cdot 12^3}{6 \cdot 1,1} = 75400 \text{ Nmm}$$

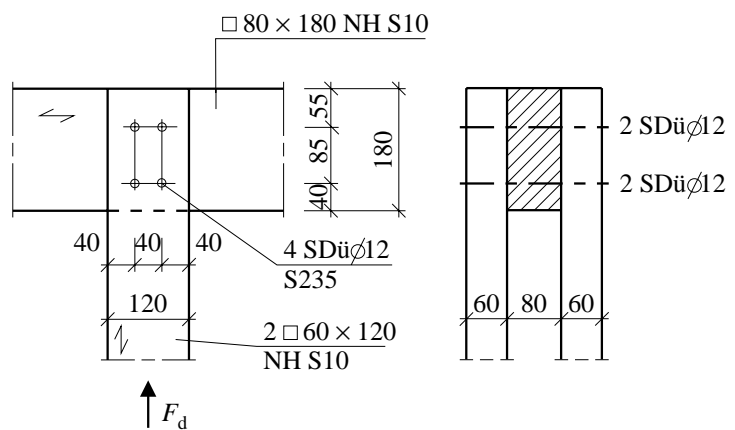
Pfosten:

$$f_{h,1,d} = \frac{0,8}{1,3} 0,082 (1 - 0,01 \cdot 12) 380 = 16,9 \text{ N/mm}^2$$

Träger:

$$k_{90} = 1,35 + 0,015 \cdot 12 = 1,53$$

$$f_{h,2,d} = \frac{0,8}{1,3} \frac{0,082 (1 - 0,01 \cdot 12) 380}{1,53 \cdot \sin^2 90^\circ + \cos^2 90^\circ} = 11,0 \text{ N/mm}^2$$



$$\beta = 11,0 / 16,9 = 0,651$$

Bemessungswert R_d nach Seite 9.39:

$$(g) \quad R_d = 16,9 \cdot 60 \cdot 12 = 12170 \text{ N} \quad (h) \quad R_d = 0,5 \cdot 16,9 \cdot 80 \cdot 12 \cdot 0,651 = 5280 \text{ N}$$

$$(j) \quad R_d = 1,1 \frac{16,9 \cdot 60 \cdot 12}{2 + 0,651} \left(\sqrt{2 \cdot 0,651 (1 + 0,651) + \frac{4 \cdot 0,651 (2 + 0,651) 75400}{16,9 \cdot 12 \cdot 60^2}} - 0,651 \right) = 5255 \text{ N}$$

$$(k) \quad R_d = 1,1 \sqrt{\frac{2 \cdot 0,651}{1 + 0,651}} \sqrt{2 \cdot 75400 \cdot 16,9 \cdot 12} = 5400 \text{ N} \rightarrow R_d = 2 \cdot 5255 \cdot 10^{-3} = 10,5 \text{ kN je}$$

SDü

$$n_{\text{req}} = 40,0 / 10,5 = 3,8 \quad \text{gewählt}$$

4 SDü Ø 12 mm S 235 $l = 200 \text{ mm}$