

Die Formelsammlungen sind teilweise stark veraltet (Vorlesungsinhalte aus vergangenen Semestern, alte Normen...) und sollten lediglich als Hilfestellung zum Verfassen eigener Formelsammlungen dienen. Kontrolliert auf jeden Fall die Formeln, es haben sich auch Fehler eingeschlichen.

Grundlagen des Holzbaus

Formelsammlung

Jan Höffgen

3. März 2013

Diese Zusammenfassung wurde auf der Basis der Bachelor-Vorlesung
Grundlagen des Holzbaus
und der zugehörigen Übung im WS 2012/13 erstellt.

Verweise in *Schneider Bautabellen für Ingenieure* beziehen sich auf die 19. Auflage.

Kein Anspruch auf Vollständigkeit oder Fehlerfreiheit.
Wer einen Fehler findet, melde ihn mir bitte.

Inhaltsverzeichnis

1	Querschnittsnachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit	3
1.1	Beanspruchungen	3
1.2	Bauteilwiderstand	3
1.3	Zug parallel zur Faser	3
1.4	Zug unter einem Winkel α zur Faser	4
1.5	Druck parallel zur Faser	4
1.6	Druck rechtwinklig zur Faserrichtung (Auflagerpressung, Schwellendruck)	4
1.7	Druck unter einem Winkel α zur Faser	4
1.8	Biegung	4
1.9	Schubspannungsnachweise	5
1.9.1	Schub aus Querkraft	5
1.9.2	Schub aus Torsion	5
1.9.3	Schub aus Querkraft und Torsion	5
2	Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	5
3	Versätze	6
3.1	Nachweis auf Druck unter einem Winkel γ zur Faser (Stirnversatz)	7
3.2	Nachweis der Spannungen im Vorholz	7
4	Stiftförmige Verbindungsmittel	7
4.1	Tragfähigkeit auf Abscheren - genauer Nachweis	7
4.2	Vereinfachter Nachweis - Verbindungsmittel allgemein	9
4.3	VM-Abstände bei Anschlüssen unter Winkel γ	10
5	Nägeln	10
5.1	Allgemeines	10
5.2	Nagelabstände	11
5.2.1	Mindestabstände	11
5.2.2	Höchstabstände	11
5.3	Tragfähigkeit auf Abscheren - Vereinfachter Nachweis - Vereinfachung für Nägel	12
5.4	Tragfähigkeit bei Beanspruchung in Nagelachse (Herausziehen)	13
6	Stabdübel, Bolzen, Passbolzen und Gewindestangen	14
6.1	Charakteristische Festigkeitswerte	14
6.2	Anwendungsregeln	14
6.3	Beanspruchung rechtwinklig zur Stiftachse	15
6.4	Mindestabstände	15
7	Holzschrauben	16
7.1	Beanspruchbarkeit in Schraubenachse	16
7.2	Beanspruchbarkeit rechtwinklig zur Schraubenachse	17
7.3	Kombinierte Beanspruchung von Schrauben	17
8	Stabilitätsgefährdete Bauteile	18
8.1	Biegeknicke von Druckstäben - Ersatzstabverfahren	18
8.2	Biegedrillknicken (Kippen)	21
8.2.1	Auflagerkräfte durch Kippen - Schub aus Torsion	23
9	Schwinden und Quellen	23
10	Tabellen	24

1 Querschnittsnachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit

- $E_d \leq R_d$

1.1 Beanspruchungen

- Lastkombination: $E_d = \sum_j \gamma_{G,j} G_{k,j} \oplus \gamma_P P_k \oplus \gamma_{Q,1} Q_{k,1} \oplus \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$
- $\gamma_G = 1.35$, $\gamma_Q = 1.5$ (ungünstige Auswirkungen) (S9.4)
- $\psi_{0,Wind} = 0.6$, $\psi_{0,Schnee,<1000m} = 0.5$, $\psi_{0,Nutzlast} = 0.7$ (S3.5, 9.4)
- Grenzzustand der Gebrauchtauglichkeit: $\gamma_i = 1.0$
- Außergewöhnliche Kombination: $E_{d,A} = \sum_j G_{kj} \oplus P_k \oplus A_d \oplus \psi_{1,1} Q_{k,1} \oplus \sum_{i>1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$

1.2 Bauteilwiderstand

- Bemessungswert der Baustoffeigenschaft: $f_{i,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{i,k}}{\gamma_M}$

1. Bestimmung der Nutzungsklasse (NKL) [S9.5]

NKL	ϑ	Φ	Ausgleichsfeuchte ω_{gl}	mittl. Holzfeuchte (NH)	Beispiel
1	20°C	≤ 65%	5 ÷ 10%	< 12%	geschlossen, beheizt
2	20°C	≤ 85%	10 ÷ 20%	< 29%	offen, überdacht
3	sonst				Witterung

2. Bestimmung der Klasse der Lasteinwirkungsdauer (KLED) [S9.6]

KLED	akkumulierte Dauer	
ständig	länger als 10 Jahre	Eigenlasten, ungleichmäßige Setzungen (Temperatur-), Feuchteänderungen
lang	6 Monate - 10 Jahre	
mittel	1 Woche - 6 Monate	
kurz	kürzer als eine Woche	
sehr kurz		

3. Ablesen von k_{mod} [S9.5]

- bei Kombination von Einwirkungen: k_{mod} für die Einwirkung mit der kürzesten Dauer maßgebend

1	Baustoff	Norm	Nutzungs- klasse	4 Klasse der Lasteinwirkungsdauer				
				ständige Einwir- kung	lange Einwir- kung	mittlere Einwir- kung	kurze Einwir- kung	sehr kurze Einwir- kung
2	Balkenschichtholz, Brettspertholz, Massivholzplatten		1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
			2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
3	Gipsplatten (Typen GKB ^a , GKF ^a , GKBI und GKFI), Gipsfaserplatten	DIN 18180, DIN EN 15283-2	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
			2	0,15	0,30	0,45	0,60	0,80
4	Zementgebundene Spanplatten		1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
			2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80

^a Nur Nutzungsklasse 1

4. Ablesen von γ_M (Holz: 1.3) [S9.5]

1.3 Zug parallel zur Faser

- Mittige Zugkraft: $f_{t,0,d} \geq \sigma_{t,0,d} = \frac{F_{t,d}}{A_n}$

- Ausmittige Zugkraft (symmetrischer Anschluss): $f_{t,0,d} \geq \sigma_{t,0,d} = k_t \cdot \frac{F_{t,d}}{A_n}$
 - $k_t = 1.5$, falls letztes VM der Lasche ausziehfest, $k_t = 2.5$ sonst
- Keine Abminderung des Querschnitts bei Nägeln und Holzschrauben mit $d \leq 6mm$, die ohne Vorbohrung eingetrieben werden, sonst Abzug der Löcher
- Symmetrische Zuganschlüsse: Berechnung der Zugkraft in ausziehfesten VM siehe Abschnitt 4.2

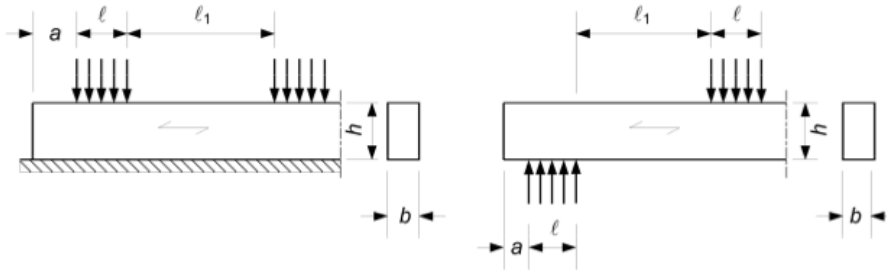
1.4 Zug unter einem Winkel α zur Faser

$$\bullet \sigma_{t,\alpha,d} \leq \frac{f_{t,0,d}}{\frac{f_{t,0,d}}{f_{t,90,d}} \sin^2 \alpha + \frac{f_{t,0,d}}{f_{v,d}} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha + \cos^2 \alpha}$$

1.5 Druck parallel zur Faser

- $f_{c,0,d} \geq \sigma_{c,0,d} = \frac{F_{c,d}}{A_n}$
- Keine Abminderung des Querschnitts bei Schwächungen im Druckbereich, die mit einem steiferen Material ausgefüllt werden

1.6 Druck rechtwinklig zur Faserrichtung (Auflagerpressung, Schwellendruck)



- $k_{c,90} \cdot f_{c,90,d} \geq \sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,90,d}}{A_{ef}}$
 - $k_{c,90}$ berücksichtigt die Art der Einwirkung, der Spaltgefahr und des Grades der Druckverformung
 - * $k_{c,90} = 1.0$ für VH aus Nadelholz und BSH mit $l_1 < 2h$ sowie Laubholz
 - * $k_{c,90} = 1.25$ für VH aus Nadelholz bei kontinuierlicher Lagerung mit $l_1 \geq 2h$
 - * $k_{c,90} = 1.5$ für BSH aus Nadelholz bei kontinuierlicher Lagerung mit $l_1 \geq 2h$ sowie für VH aus Nadelholz bei Einzellagerung mit $l_1 \geq 2h$ und bei Auflagerknoten von Stabwerken mit indirekten Verbindungen
 - * $k_{c,90} = 1.75$ für BSH mit $l_1 \geq 2h$ bei Einzellagerung
 - * Kontinuierliche Lagerung \equiv Schwellendruck (links); Einzellagerung \equiv Auflagerdruck (rechts)
 - A_{ef} : wirksame Kontaktfläche bei Druckbeanspruchung rechtwinklig zur Faserrichtung; tatsächliche Kontaktlänge l wird auf jeder Seite (wenn vorhanden) um $\min\{30mm, a, l, \frac{l_1}{2}\}$ erhöht

1.7 Druck unter einem Winkel α zur Faser

$$\bullet \sigma_{c,\alpha,d} = \frac{F_{c,\alpha,d}}{A} \leq \frac{f_{c,0,d}}{\frac{f_{c,0,d}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

1.8 Biegung

- Biegespannungsnachweis
 - einachsige Biegung: $\frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1$
 - zweiachsige Biegung: $\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$ und $k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$
 - * $k_m = 0.7$ für Rechteckquerschnitte aus Voll-, Brettschicht- und Furnierschichtholz; $k_m = 1.0$ bei anderen Querschnitten und anderen Holzwerkstoffen

- Biegung und Zug
 - einachsige Biegung und Zug: $\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1$
 - zweiachsige Biegung und Zug: $\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$ und $\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$
- Biegung und Druck
 - einachsige Biegung und Druck: $\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1$
 - zweiachsige Biegung und Druck:
 - $\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$ und $\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$
 - Zusätzliche Stabilitätsnachweise erforderlich (Abschnitt 8.1)

1.9 Schubspannungsnachweise

1.9.1 Schub aus Querkraft

- Bemessungswert der Schubspannung (Rechteckquerschnitt): $\tau_d = 1.5 \cdot \frac{V_d}{A_{ef}}$
 - $A_{ef} = k_{cr} \cdot b \cdot h$
 - * $k_{cr} = \frac{2.0}{f_{v,k}}$ für VH und Balkenschichtholz aus Nadelholz
 - * $k_{cr} = \frac{2.5}{f_{v,k}}$ für Brettschichtholz
 - * $k_{cr} = 1.0$ sonst
 - * Bei Stäben aus Nadelschichtholz dürfen die Werte k_{cr} in Bereichen, die mindestens 1.50m vom Hirnholzende des Holzes entfernt liegen, um 30% erhöht werden
 - V_d : maßgebende Querkraft im Abstand h vom Auflagertrand (h : Trägerhöhe über Auflagermitte)
 - * Einfeldträger unter Gleichlast: $V_d = \frac{q_d}{2}(l - h)$
 - * Einzellasten, die auf der Oberseite des Biegestabes innerhalb eines Abstandes h angreifen, dürfen vernachlässigt werden
- Nachweis: $\tau_d \leq f_{v,d}$
- Bei Doppelbiegung in Rechteckquerschnitten: $\tau_{y,d}^2 + \tau_{z,d}^2 \leq f_{v,d}^2$

1.9.2 Schub aus Torsion

- $\tau_{tor,d} = \frac{M_T}{W_T} \leq k_{shape} \cdot f_{v,d}$
 - $k_{shape} = 1.2$ für runde Querschnitte, $k_{shape} = \min\{1 + 0.15 \frac{h}{b}, 2.0\}$ für Rechteckquerschnitte

1.9.3 Schub aus Querkraft und Torsion

- $\frac{\tau_{tor,d}}{k_{shape} \cdot f_{v,d}} + \left(\frac{\tau_{y,d}}{f_{v,d}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{z,d}}{f_{v,d}}\right)^2 \leq 1$

2 Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

1. Charakteristische (seltene) Bemessungssituation (Schäden an eingebauten Bauteilen) (S9.16)

- Einwirkungskombination: $E_d = \sum_j G_{k,j} \oplus Q_{k,1} \oplus \sum_{i>1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$ (ψ_0 aus S9.4)
- Sofortige Durchbiegung aus veränderlichen Lasten
 - $w_{inst} = w_{Q1,inst} + \sum_{i \geq 2} \psi_{0,i} \cdot w_{Qi,inst} \leq \frac{l}{500} \div \frac{l}{300}$
 - w_{inst} aus Tabellen; Einfeldträger unter Gleichlast: $w = \frac{5}{384} \cdot \frac{q l^4}{E_{mean} I}$
 - E_{mean} : gemittelter E-Modul

	w_{inst}	$w_{net,fin}$	w_{fin}
Beidseitig aufgelagerte Biegestäbe	ℓ/300 bis ℓ/500	ℓ/250 bis ℓ/350	ℓ/150 bis ℓ/300
Ausragende Biegestäbe	ℓ/150 bis ℓ/250	ℓ/125 bis ℓ/175	ℓ/75 bis ℓ/150

- Enddurchbiegung aus seltener Kombination: $w_{fin} = w_{G,fin} - w_{G,inst} + w_{Q,fin}$
 $= w_{G,inst} \cdot k_{def} + w_{Q1,inst} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def}) + \sum_{i \geq 2} w_{Qi,inst} \cdot (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} \cdot k_{def}) \leq \frac{l}{300} \div \frac{l}{150} (\psi_i$
 aus S9.4)

– Verformungsbeiwert k_{def}

1	Baustoff	2	3	
			Nutzungsstufe	
			1	2
2	Balkenschichtholz, Brettsperrholz, Massivholzplatten		0,60	0,80
3	Gipsplatten (Typen GKB ^a , GKF ^a , GKBI und GKFI), Gipsfaserplatten	DIN 18180, DIN EN 15283-2	3,00	4,00
4	Zementgebundene Spanplatten		2,25	3,00

^a Nur Nutzungsstufe 1

2. Quasi-ständige Bemessungssituation (optisches Erscheinungsbild) (S9.16)

- Einwirkungskombination: $E_d = \sum_j G_{k,j} \oplus \sum_i \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$
- Enddurchbiegung aus quasi-ständiger Kombination (alle Komponenten mit gleichem Kriechverhalten):

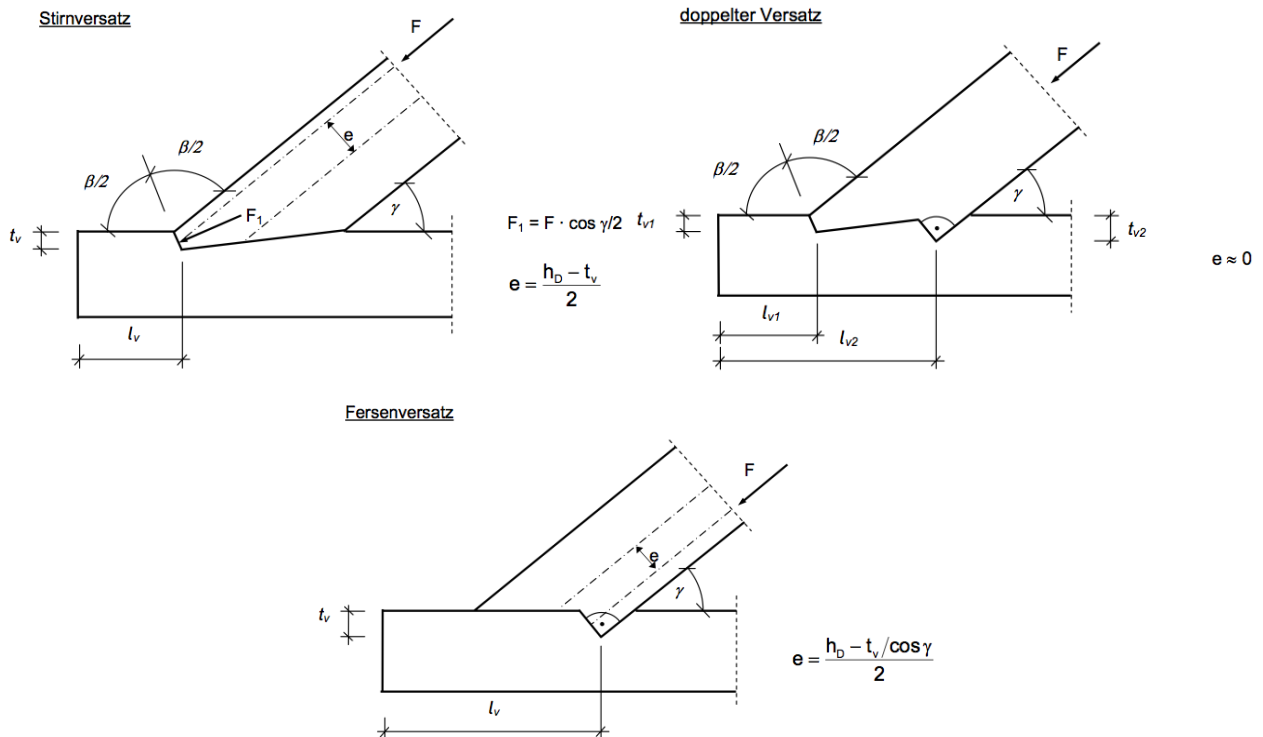
$$w_{fin,net} = (w_{G,inst} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot w_{Qi,inst}) \cdot (1 + k_{def}) - w_0 \leq \frac{l}{350} \div \frac{l}{250}$$

– w_0 : Überhöhung im lastfreien Zustand

– Komponenten mit unterschiedlichem Kriechverhalten: Berechnung der Endverformungen mit den Endwerten der Mittelwerte der entsprechenden Elastizitäts-, Schub- und Verschiebungsmoduln:

$$E_{mean,fin} = \frac{E_{mean}}{1+k_{def}}; G_{mean,fin}, K_{ser,fin} \text{ entsprechend}$$

3 Versätze



- Vorholzlänge $l_v \geq 200mm, l_v \leq 8 \cdot t_v$

- Versatztiefe t_v in Abhängigkeit vom Strebenneigungswinkel γ und der Balkenhöhe h

γ	t_v
$\leq 50^\circ$	$\leq h/4$
$50^\circ \leq \gamma \leq 60^\circ$	$\leq h \cdot (2/3 - \gamma/120^\circ)$
$\geq 60^\circ$	$\leq h/6$

3.1 Nachweis auf Druck unter einem Winkel γ zur Faser (Stirnversatz)

- NW: $\frac{\sigma_{c,\frac{\gamma}{2},d}}{f_{c,\frac{\gamma}{2},d}} \leq 1$

$$- \sigma_{c,\frac{\gamma}{2},d} = \frac{F_{c,\frac{\gamma}{2},d}}{A} = \frac{F_d \cdot \cos \frac{\gamma}{2}}{b \cdot t_v / \cos \frac{\gamma}{2}} = \frac{F_d \cdot \cos^2 \frac{\gamma}{2}}{b \cdot t_v}$$

$$- f_{c,\frac{\gamma}{2},d} = \frac{f_{c,0,d}}{\sqrt{\left(\frac{f_{c,0,d}}{2 \cdot f_{c,90,d}} \cdot \sin^2\left(\frac{\gamma}{2}\right)\right)^2 + \left(\frac{f_{c,0,d}}{2 \cdot f_{v,d}} \cdot \sin\left(\frac{\gamma}{2}\right) \cdot \cos\left(\frac{\gamma}{2}\right)\right)^2 + \cos^4\left(\frac{\gamma}{2}\right)}}$$

3.2 Nachweis der Spannungen im Vorholz

- Wenn l_v real nicht existiert, $l_v = 8 \cdot t_v$ ansetzen
- $\tau_d = \frac{H_d}{A_{ef}} = \frac{F_d \cdot \cos \gamma}{l_v \cdot b \cdot k_{cr}} \leq f_{v,d}$ (vgl. Abschnitt 1.9.1)

4 Stiftförmige Verbindungsmittel

4.1 Tragfähigkeit auf Abscheren - genauer Nachweis

- Lochleibungsfestigkeit $f_{h,k}$ für alle Holzarten in Verbindung

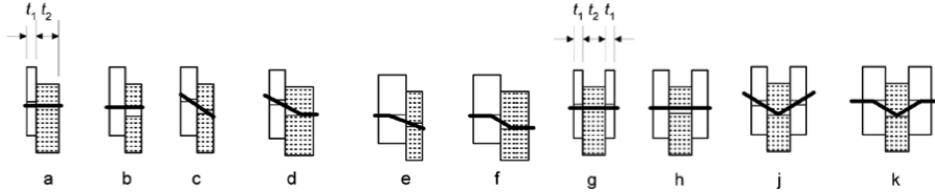
Werkstoff	$f_{h,k}$ [N/mm ²]
VH, BSH, Brettsper Holz (bei $d < 8\text{mm}$ für alle KFW)	
- nicht vorgebohrt	$0,082 \cdot \rho_k \cdot d^{-0,3}$
- vorgebohrt	$0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k$
Baufurniersper Holz	
- nicht vorgebohrt	$0,11 \cdot \rho_k \cdot d^{-0,3}$
- vorgebohrt	$0,11 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k$
OSB u. kunstharzgebundene Holzspanplatten	
- nicht vorgebohrt	$65 \cdot d^{-0,7} \cdot t^{0,1}$
- vorgebohrt	$50 \cdot d^{-0,6} \cdot t^{0,2}$
Holzfaserspanplatten (HFH20 nach DIN 68754-1 bzw. harte Faserspanplatten nach DIN EN 622-2)	$30 \cdot d^{-0,3} \cdot t^{0,6}$
Gipskartonplatten	$3,9 \cdot d^{-0,6} \cdot t^{0,7}$
Zementgebundene Spanplatten nach DIN EN 634-2	$(75 + 1,9 \cdot d) \cdot d^{-0,5} + \frac{d}{10}$

Mit ρ_k in kg/m³, d in mm, t in mm

- Bei Lochleibung \perp zur Faserrichtung ($d \geq 8\text{mm}$): $f_{h,90,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90}}$ (Abschnitt 1.6, 6.3)

- Festigkeitsbeiwert $\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}}$
- Fliehkraftmoment $M_{y,Rk}$ abhängig von der Art des VM

• Holz-Holz und Holz-Holzwerkstoff Verbindungen



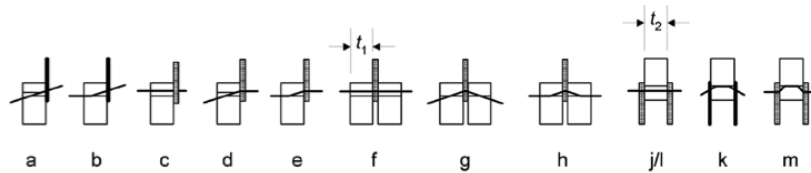
– Einschnittige Verbindungen:

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d & (a) \\ f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d & (b) \\ \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{1+\beta} \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1}\right)^2 \right] + \beta^3 \left(\frac{t_2}{t_1}\right)^2} - \beta \left(1 + \frac{t_2}{t_1}\right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (c) \\ 1.05 \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{2+\beta} \left[\sqrt{2\beta(1+\beta) + \frac{4\beta(2+\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (d) \\ 1.05 \frac{f_{h,1,k} \cdot t_2 \cdot d}{1+2\beta} \left[\sqrt{2\beta^2(1+\beta) + \frac{4\beta(1+2\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_2^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (e) \\ 1.15 \cdot \sqrt{\frac{2\beta}{1+\beta}} \cdot \sqrt{2M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (f) \end{cases}$$

– Zweischnittige Verbindungen:

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d & (g) \\ 0.5 f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d & (h) \\ 1.05 \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{2+\beta} \left[\sqrt{2\beta(1+\beta) + \frac{4\beta(2+\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (j) \\ 1.15 \cdot \sqrt{\frac{2\beta}{1+\beta}} \cdot \sqrt{2M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (k) \end{cases}$$

• Stahl-Holz Verbindungen



– Einschnittige Verbindung mit dünnem Stahlblech ($t \leq 0.5 \cdot d$):

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} 0.4 \cdot f_{h,k} \cdot t_1 \cdot d & (a) \\ 1.15 \cdot \sqrt{2M_{y,Rk} \cdot f_{h,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (b) \end{cases}$$

– Einschnittige Verbindung mit dickem Stahlblech ($t \geq d$, Toleranz des Lochdurchmessers $< 0.1 \cdot d$):

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,k} \cdot t_1 \cdot d & (c) \\ f_{h,k} \cdot t_1 \cdot d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,Rk}}{f_{h,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (d) \\ 2.3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (e) \end{cases}$$

– Zweischnittige Verbindung mit innenliegendem Stahlblech:

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d & (f) \\ f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (g) \\ 2.3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (h) \end{cases}$$

– Zweischnittige Verbindung mit dünnen Stahlblechen ($t \leq 0.5 \cdot d$):

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} 0.5 \cdot f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d & (j) \\ 1.15 \cdot \sqrt{2M_{y,Rk} \cdot f_{h,2,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (k) \end{cases}$$

– Zweischnittige Verbindung mit dicken Stahlblechen ($t \geq d$, Toleranz des Lochdurchmessers $< 0.1 \cdot d$):

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} 0.5 \cdot f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d & (l) \\ 2.3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,2,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (m) \end{cases}$$

– Bei Blechdicken zwischen $0.5 \cdot d$ und d darf geradlinig zwischen den entsprechenden Grenzwerten interpoliert werden.

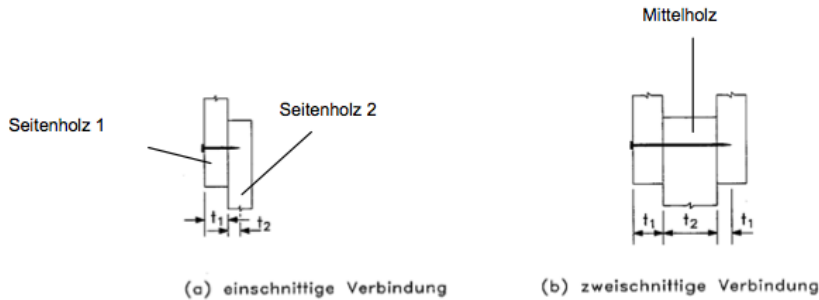
– Es sind Spannungsnachweise für die Stahlbleche zu führen

- Höchstwerte für Seileffekt (Auszieh Widerstand) $\frac{F_{ax,Rk}}{4} \leq k_{ax} \cdot F_{Rk, Johansen}$
 - $k_{ax} = 0.15$ für runde, glattschaftige Nägel (S9.50, i. d. R. vernachlässigbar)
 - $k_{ax} = 0.25$ für quadratische, glattschaftige Nägel
 - $k_{ax} = 0.5$ für profilierte Nägel
 - $k_{ax} = 1$ für Schrauben
 - $k_{ax} = 0.25$ für Bolzen und Passbolzen
 - $k_{ax} = 0$ für Stabdübel
- Bemessungswert der Tragfähigkeit je Scherfuge und Verbindungsmittel: $F_{v,Rd} = \frac{k_{mod} \cdot F_{v,Rk}}{\gamma_M}$

4.2 Vereinfachter Nachweis - Verbindungsmittel allgemein

- Gleichungen für $F_{v,Rk}$ des vereinfachter Nachweises sind unabhängig von der Art des Verbindungsmittels
- Holz-Holz- und Holzwerkstoff-Holz-Verbindungen

$$- F_{v,Rk} = \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d}$$



- Mindestdicke für das Seitenholz 1: $t_{1,req} = 1.15 \cdot \left(2 \cdot \sqrt{\frac{\beta}{1 + \beta}} + 2 \right) \cdot \sqrt{\frac{M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d}}$
- Mindestdicke (bzw. Einschlagtiefe) für das Seitenholz 2 einer einschnittigen Verbindung:
 $t_{2,req} = 1.15 \cdot \left(\frac{2}{\sqrt{1 + \beta}} + 2 \right) \cdot \sqrt{\frac{M_{y,Rk}}{f_{h,2,k} \cdot d}}$
- Mindestdicke von Mittelhölzern bei zweischnittigen Verbindungen: $t_{2,req} = 1.15 \cdot \left(\frac{4}{\sqrt{1 + \beta}} \right) \cdot \sqrt{\frac{M_{y,Rk}}{f_{h,2,k} \cdot d}}$
- Wird die Mindestholzdicke nicht eingehalten, ist die charakteristische Tragfähigkeit abzumindern, indem $F_{v,Rk}$ mit dem kleineren der Verhältnswerte $\frac{t_1}{t_{1,req}}$ und $\frac{t_2}{t_{2,req}}$ multipliziert wird.

- Stahl-Holz-Verbindungen

- Innen liegende Stahlbleche und außen liegende, dicke Stahlbleche ($t \geq d$)
 - * Tragfähigkeit pro Scherfläche: $F_{v,Rk} = \sqrt{2} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d}$
 - * Mindestholzdicke: $t_{req} = 1.15 \cdot 4 \cdot \sqrt{\frac{M_{y,Rk}}{f_{h,k} \cdot d}}$
- Außen liegende, dünne Stahlbleche ($t \leq 0.5 \cdot d$)
 - * Tragfähigkeit pro Scherfuge: $F_{v,Rk} = \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,k} \cdot d}$
 - * Mindestholzdicke für Mittelhölzer mit zweischnittig beanspruchten Verbindungsmitteln:
 $t_{req} = 1.15 \cdot 2\sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{M_{y,Rk}}{f_{h,k} \cdot d}}$ und für alle anderen Fälle
 $t_{req} = 1.15 \cdot (2 + \sqrt{2}) \cdot \sqrt{\frac{M_{y,Rk}}{f_{h,k} \cdot d}}$
 - Bei Blechdicken zwischen $0.5 \cdot d$ und d darf geradlinig zwischen den entsprechenden Grenzwerten interpoliert werden. Die Mindestholzdicken dürfen dann vereinfacht bestimmt werden zu:
 $t_{req} = 1.15 \cdot 4 \cdot \sqrt{\frac{M_{y,Rk}}{f_{h,k} \cdot d}}$ bzw.
 $t_{req} = 1.15 \cdot 2\sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{M_{y,Rk}}{f_{h,k} \cdot d}}$

* Ist die Holzdicke t kleiner als die Mindestholzdicke t_{req} , ist der charakteristische Wert der Tragfähigkeit $F_{v,Rk}$ mit dem Wert $\frac{t}{t_{req}}$ zu multiplizieren

- Bemessungswert der Tragfähigkeit je Scherfuge und Verbindungsmittel: $F_{v,Rd} = \frac{k_{mod} \cdot F_{v,Rk}}{\gamma_M}$ mit $\gamma_M = 1.1$
- Das erste Verbindungsmittel in einer Lasche muss ausziehfest sein
 - Bestimmung von $F_{ax,Rd}$ (Abschnitt 5.4)
 - In Richtung der Stiftachse wirkende Zugkraft: $F_{t,d} = \frac{F_d \cdot t}{2 \cdot n \cdot a}$
 - * F_d : Zugkraft in der einseitig beanspruchten Lasche ($\frac{N}{2}$)
 - * n : Anzahl der zur Übertragung der Scherkraft in Richtung der Kraft F_d hintereinander angeordneten VM, ohne die zusätzlichen ausziehfesten VM
 - * t : Dicke der Lasche
 - * a : Abstand der auf Herausziehen beanspruchten VM von der nächsten Verbindungsmittelreihe
 - Nachweis: $m \cdot F_{ax,Rd} \geq F_{t,d}$ (m ausziehfeste VM)
 - Querschnittsnachweis der Laschen: Abschnitt 1.3

4.3 VM-Abstände bei Anschlüssen unter Winkel γ

1. Bestimmung der Mindestabstände $a_{1,G/D}$ und $a_{2,G/D}$ im Gurt und der Diagonalen
2. Mindestabstand im Gurt senkrecht zur Faser: $a_{\perp,G} = \min\{a_{2,G}; a_{1,D} \cdot \sin \gamma\}$
3. Mindestabstand in der Diagonalen senkrecht zur Faser: $a_{\perp,D} = \min\{a_{2,D}; a_{1,G} \cdot \sin \gamma\}$
4. Bestimmung von $a_{3,c,GD}$, $a_{3,t,GD}$, $a_{4,c,GD}$, $a_{4,t,GD}$
5. Bestimmung der maximalen VM-Anzahl in $a_{\perp,D}$ - und $a_{\perp,G}$ -Richtung \rightarrow Parallelogramm

5 Nägel

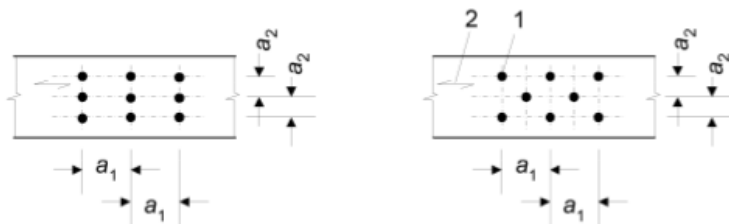
5.1 Allgemeines

- Bezeichnung: z.B. Na42x100 $\Rightarrow d = 4.2mm$; $l = 100mm$
- Nägel sollen so tief eingeschlagen werden, dass der Kopf bündig mit der Holzoberfläche abschließt. Bei Anschlüssen von Holzwerkstoffen an Holzbauteilen dürfen die Nägel nicht weiter als 2 mm versenkt werden. Ggf. sind die Mindestdicken anzupassen.
- Der Durchmesser von vorgebohrten Löchern sollte ca. $0,9d$ betragen, bei Stahlblech-Holz-Verbindungen darf der Lochdurchmesser im Stahlblech bis zu $1mm$ größer sein.
- Bei Holz mit einer charakteristischen Rohdichte von mehr als $500kg/m^3$ sind die Nagellöcher auf der gesamten Nagellänge vorzubohren.
- Ein Anschluss muss mindestens zwei Nägel enthalten. Nagelverbindungen ins Hirnholz (parallel zur Faser) dürfen rechnerisch nicht angesetzt werden.

5.2 Nagelabstände

5.2.1 Mindestabstände

Abstände (siehe Bild 8.7)	Winkel α	Mindestabstände		
		ohne Vorbohrung		mit Vorbohrung
		$\rho_k \leq 420 \text{ kg/m}^3$	$420 \text{ kg/m}^3 < \rho_k \leq 500 \text{ kg/m}^3$	
Abstand a_1 (in Faserrichtung)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$d < 5 \text{ mm}$: $(5 + 5 \text{ lcos } \alpha) d$ $d \geq 5 \text{ mm}$: $(5 + 7 \text{ lcos } \alpha) d$	$(7 + 8 \text{ lcos } \alpha) d$	$(4 + \text{lcos } \alpha) d$
Abstand a_2 (rechtwinklig zur Faserrichtung)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$5 d$	$7 d$	$(3 + \text{l sin } \alpha) d$
Abstand $a_{3,t}$ (beanspruchtes Hirnholzende)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$(10 + 5 \text{ cos } \alpha) d$	$(15 + 5 \text{ cos } \alpha) d$	$(7 + 5 \text{ cos } \alpha) d$
Abstand $a_{3,c}$ (unbeanspruchtes Hirnholzende)	$90^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$10 d$	$15 d$	$7 d$
Abstand $a_{4,t}$ (beanspruchter Rand)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$d < 5 \text{ mm}$: $(5 + 2 \text{ sin } \alpha) d$ $d \geq 5 \text{ mm}$: $(5 + 5 \text{ sin } \alpha) d$	$d < 5 \text{ mm}$: $(7 + 2 \text{ sin } \alpha) d$ $d \geq 5 \text{ mm}$: $(7 + 5 \text{ sin } \alpha) d$	$d < 5 \text{ mm}$: $(3 + 2 \text{ sin } \alpha) d$ $d \geq 5 \text{ mm}$: $(3 + 4 \text{ sin } \alpha) d$
Abstand $a_{4,c}$ (unbeanspruchter Rand)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$5 d$	$7 d$	$3 d$



- Bauteile aus Sperrholz: Mindestabstände zum Hirnholz und zu den Rändern: $3d$ bei unbeanspruchtem Holzrand, $(3 + 4 \text{ sin } \alpha)$ bei belastetem Holzrand (α : Winkel zwischen Krafrichtung und belastetem Rand)
- Baufurniersperrholz-Holzverbindungen: Abminderung von a_1, a_2 mit Faktor 0.85
- Stahlblech-Holz-Verbindungen: Abminderung von a_1, a_2 mit Faktor 0.7

5.2.2 Höchstabstände

- Holz-Holz: Bei tragenden Nägeln und Heftnägeln parallel zur Faser max. $40d$, rechtwinklig max. $20d$
- Verbindungen mit HW oder Gipskarton: max. $40d$
- Gipskarton-Holz: max. $60d$

5.3 Tragfähigkeit auf Abscheren - Vereinfachter Nachweis - Vereinfachung für Nägel

- Fliehkmoment $M_{y,Rk}$ i. d. R. mit Nägelmindestzugfestigkeit $f_u = 600^N/mm^2$

Art des Nagels	$M_{y,Rk}$ [Nmm]
runder Nagel	$0,3 \cdot f_u \cdot d^{2,6}$
Quadratischer / rechteckiger Nagel	$0,45 \cdot f_u \cdot d^{2,6}$

d Durchmesser in mm

- Lochleibungsfestigkeit $f_{h,1,k}$: siehe Abschnitt 4.1
- Mindestholzdicken (Spaltgefahr) bei Nagelverbindungen ohne Vorbohren: $t \geq \max \left\{ 14 \cdot d; (13 \cdot d - 30) \frac{\rho_k}{200} \right\}$
 - Halbierung des Wertes für NH bei Randabständen rechtwinklig zur Faser von min. $10d$ für $\rho_k \leq 420 \frac{kg}{m^3}$ bzw. min $14d$ für $420 \frac{kg}{m^3} \leq \rho_k \leq 500 \frac{kg}{m^3}$ und für Kiefernholz
- Mindestdicke t_2 des Mittelteils bei sich übergreifenden Nägeln (gegenüberliegende Nagellung) ohne vorgebohrte Nagellöcher: $t_2 > 4 \cdot d + l$ (l : Einschlagtiefe im Mittelholz)
- Bei unterschiedlichen k_{mod} für Holz und Holzwerkstoff in einer Verbindung: $k_{mod} = \sqrt{k_{mod,1} \cdot k_{mod,2}}$
- Holz-Holz-Verbindungen: $F_{v,Rk} = \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d}$
 - Mindest-Einschlagtiefe $t_{req} = 9 \cdot d$
 - * Bei Einschlagtiefen $9 \cdot d < t_{vorh} \leq 4 \cdot d$ muss die Tragfähigkeit um den Faktor $\frac{t_{vorh}}{t_{req}}$ abgemindert werden.
 - * Bei Einschlagtiefen $t_{vorh} < 4 \cdot d$ darf die der Nagelspitze nächstliegende Scherfuge nicht in Rechnung gestellt werden.
- Holzwerkstoff-Holz- und Gipswerkstoff-Holz-Verbindungen: $F_{v,Rk} = A \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d}$

	1	2	3	4
1	Holzwerkstoff	Faktor A in Gleichung (NA.116)	Erforderliche Dicke t_{req} für außen liegende Holzwerkstoff- oder Gipswerkstoffplatten (einschnittige Verbindung)	Erforderliche Dicke t_{req} für innen liegende Holzwerkstoff- oder Gipswerkstoffplatten (zweischmittige Verbindung)
2	Sperrholz der Biegefestigkeits- (F) und Biege-Elastizitätsmodul-Klassen (E) F20/10 E40/20 und F20/15 E30/25 nach DIN EN 13986 in Verbindung mit DIN EN 636:2003-11 mit einer charakteristischen Rohdichte von mindestens 350 kg/m^3	0,9	$7 \cdot d$	$6 \cdot d$
3	Sperrholz der Biegefestigkeits- (F) und Biege-Elastizitätsmodul-Klassen (E) F40/30 E60/40, F50/25 E70/25 und F60/10 E90/10 nach DIN EN 13986 in Verbindung mit DIN EN 636:2003-11 mit einer charakteristischen Rohdichte von mindestens 600 kg/m^3	0,8	$6 \cdot d$	$4 \cdot d$
4	OSB-Platten der technischen Klassen OSB/2, OSB/3 und OSB/4 nach DIN EN 13986	0,8	$7 \cdot d$	$6 \cdot d$
5	Kunstharzgebundene Spanplatten der technischen Klassen P4, P5, P6 und P7 nach DIN EN 13986	0,9	$4 \cdot d$	$4 \cdot d$
6	Zementgebundene Spanplatten der technischen Klassen 1 und 2 nach DIN EN 13986	0,9	$4 \cdot d$	$4 \cdot d$
7	Faserplatten der technischen Klasse HB.HLA2 nach DIN EN 13986	0,7	$6 \cdot d$	$4 \cdot d$
8	Gipsplatten nach DIN 18180	1,1	$10 \cdot d$	—

- Bei einschnittigen HW-H-Verbindungen mit profilierten Nägeln, nicht jedoch bei Gipsplatten-Holz-Verbindungen, darf $F_{v,Rk}$ um einen Anteil $\Delta F_{v,Rk} = \min\{0.5 \cdot F_{v,Rk}; 0.25 \cdot F_{ax,Rk}\}$ erhöht werden.

- Stahlblech-Holz-Verbindungen: $F_{v,Rk} = A \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d}$

	1	2	3	4
1	Stahlblech (vorgebohrt)	Faktor A in Gleichung (NA.121)	Erforderliche Mittelholzdicke t_{req} (zweischrittige Verbindung)	Erforderliche Dicke t_{req} in allen anderen Fällen
2	innen liegend oder dick und außen liegend	1,4	$10 \cdot d$	$10 \cdot d$
3	dünn und außen liegend	1,0	$7 \cdot d$	$9 \cdot d$

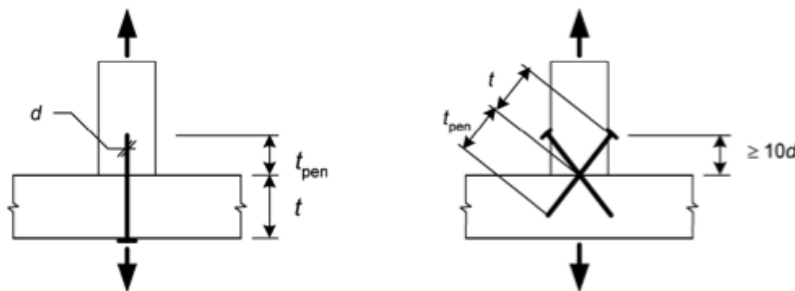
- Bei einschnittigen HW-H-Verbindungen mit profilierten Nägeln darf $F_{v,Rk}$ um einen Anteil $\Delta F_{v,Rk} = \min\{0.5 \cdot F_{v,Rk}; 0.25 \cdot F_{ax,Rk}\}$ erhöht werden.

- Erforderliche Nagelanzahl: $n_{erf} = \frac{F_{t,Ed}}{F_{v,Rd}}$
- Effektive Nagelanzahl n_{ef} in einer Reihe mit n Nägeln in Faserrichtung:
 - Falls Nägel um mind. $1d$ senkrecht zur Faserrichtung versetzt angeordnet: $n_{ef} = n$
 - Sonst: $n_{ef} = \left[\min \left\{ n; n^{0.9} \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}} \right\} \right] \cdot \frac{90^\circ - \alpha}{90^\circ} + n \cdot \frac{\alpha}{90^\circ}$

5.4 Tragfähigkeit bei Beanspruchung in Nagelachse (Herausziehen)

- Einschlagtiefe t_{pen} einschließlich Nagelspitze (rechtwinklig zur Faserrichtung und Schrägnagelung)

Klasse	Mindesteinschlagtiefe	Reduzierung von $F_{ax,Rk}$
glattschaftige Nägel u. Sondernägel Tragfähigkeitsklasse 1	$8 \cdot d$	Bei $t_{pen} < 12d$ ist $F_{ax,Rk}$ mit $(t_{pen}/4d - 2)$ zu multiplizieren
Sondernägel der Tragfähigkeitsklassen 2 und 3	$6 \cdot d$	Bei $t_{pen} < 8d$ ist $F_{ax,Rk}$ mit $(t_{pen}/2d - 3)$ zu multiplizieren



- Mindestabstände analog Abscheren (5.2.1), bei Schrägnagelung muss der Mindestabstand zum beanspruchten Rand mindestens $10d$ betragen.

- Charakteristischer Wert des Ausziehwidestands

– Sondernägeln: $F_{ax,Rk} = \min \{ f_{ax,k} \cdot d \cdot t_{pen}; f_{head,k} \cdot d_h^2 \}$

1	Nageltyp	$f_{ax,k}$	Nageltyp	$f_{head,k}$
2	profilierter Nägel der Tragfähigkeitsklasse		profilierter Nägel der Tragfähigkeitsklasse	
3	1	$30 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$	A	$60 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$
4	2	$40 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$	B	$80 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$
5	3	$50 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$	C	$100 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$
6	-	-	D	$120 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$
7	-	-	E	$140 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$
8	-	-	F	$160 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$

Charakteristische Rohdichte ρ_k in kg/m^3 , jedoch höchstens 500 kg/m^3 .

– glattschaftige Nägel: $F_{ax,Rk} = \min \{ f_{ax,k} \cdot d \cdot t_{pen}; f_{ax,k} \cdot d \cdot t + f_{head,k} \cdot d_h^2 \}$

* für $t_{pen} \geq 12d$: $f_{ax,k} = 20 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$, $f_{head,k} = 70 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$

- Bemessungswert: $F_{ax,d} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot F_{ax,Rk}$ ($\gamma_M = 1.3$)

6 Stabdübel, Bolzen, Passbolzen und Gewindestangen

6.1 Charakteristische Festigkeitswerte

- Stabdübel

1	Stahlsorte nach DIN EN 10025:2005-02	Charakteristische Festigkeit $f_{u,k}$ N/mm ²
2	S 235	360
3	S 275	430
4	S 355	510

- Bolzen und Passbolzen

1	Festigkeitsklasse nach DIN EN ISO 898-1:1999-11	Charakteristische Festigkeit $f_{u,k}$ N/mm ²	Charakteristische Streckgrenze $f_{y,k}$ N/mm ²
2	3.6	300	180
3	4.6 bzw. 4.8	400	240 bzw. 320
4	5.6 bzw. 5.8	500	300 bzw. 400
5	8.8	800	640

- Gewindestangen

1	Festigkeitsklasse nach DIN EN ISO 898-1:1999-11	Charakteristische Festigkeit $f_{u,k}$ N/mm ²	Charakteristische Streckgrenze $f_{y,k}$ N/mm ²
2	4.8	400	320
3	5.8	500	400
4	8.8	800	640

6.2 Anwendungsregeln

- Bohrlochdurchmesser im Holz: $d_l = d$
Bohrlochdurchmesser im Stahl: $d_l \leq d + 1\text{mm}$
- Bei außen liegenden Stahllaschen sind statt Stabdübeln Passbolzen einzusetzen
- In einer Verbindung sind mindestens 4 Scherflächen bei mindestens 2 SDü anzuordnen. Bei nur einem Stabdübel darf nur 50% der Tragfähigkeit angesetzt werden.

- Bei n Verbindungsmitteln mit $d \geq 6\text{mm}$ in Krafrichtung hintereinander ist die zu übertragende Kraft rechnerisch von $n_{ef} = \min \left\{ n; n^{0.9} \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}} \right\}$ VM aufzunehmen
 - Wird das Spalten durch Verstärkungen rechtwinklig zur Faser verhindert, darf $n_{ef} = n$ gesetzt werden.
 - In biegesteifen Verbindungen mit einem Stabdübelkreis gilt $n_{ef} = n$. Bei mehreren Stabdübelkreisen gilt $n_{ef} = 0,85 \cdot n$.
- Unter dem Kopf des Passbolzens und unter der Mutter sind Unterlegscheiben mit einem Mindestdurchmesser von $3 \cdot d$ und einer Mindestdicke von $0,3 \cdot d$ anzuordnen.
- Die Tragfähigkeit eines außenliegenden Stahlbleches sollte auf diejenige einer kreisrunden Unterlegscheibe mit dem kleineren Wert von $12t$ (mit t als Stahlblechdicke) und $4d$ (mit d als Bolzendurchmesser) als Durchmesser begrenzt werden.

6.3 Beanspruchung rechtwinklig zur Stiftachse

- Nachweis analog 4.1 bzw. 4.2 (vereinfacht)
- Charakteristisches Fließmoment: $M_{y,Rk} = 0.3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6}$
- Charakteristischer Wert der Lochleibungsfestigkeit
 - Holz-Holz, Stahlblech-Holz: $f_{h,0,k} = 0.082 \cdot (1 - 0.01 \cdot d) \cdot \rho_k$
 - * $f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$
 - $k_{90} = 1.35 + 0.015 \cdot d$ für NH
 - $k_{90} = 1.30 + 0.015 \cdot d$ für Furnierschnittholz LVL
 - $k_{90} = 0.90 + 0.015 \cdot d$ für LH
 - Baufurniersperrholz: $f_{h,k} = 0.11 \cdot (1 - 0.01 \cdot d) \cdot \rho_k$
 - OSB-Platten und Spanplatten: $f_{h,k} = 50 \cdot d^{-0.6} \cdot t^{0.2}$
 - f_h in $\frac{N}{\text{mm}^2}$, d in mm , ρ in $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
- Bei Verbindungen mit Bolzen und Passbolzen darf der nach den vereinfachten Regeln berechnete Wert der Tragfähigkeit $F_{v,Rk}$ um einen Anteil $\Delta F_{v,Rk} = \min\{0.25 \cdot F_{v,Rk}; 0.25 \cdot F_{ax,Rk}\}$ erhöht werden
 - $0.25 \cdot F_{v,Rk}$ maßgebend ab Verbindungsmittelabstand $a_1 \geq 5 \cdot d$
(Bolzen zusätzlich $d_{Loch} \leq d_{Bo} + 1\text{mm}$)
 - Stahlversagen $\rightarrow F_{ax,Rd}$: Schneider S. 8.55
 - Querdruck unter Stahlplatte/Unterlegscheibe: $F_{ax,Head,k} = f_{c,90,k} \cdot A_{ef}$
 - * A_{ef} : Unterlegscheibenfläche oder maßgebender Anteil an Stahlblech (Annahme konstanter Spannungsverteilung), vgl. oben
 - Für $F_{ax,Rk}$ Minimum maßgebend

6.4 Mindestabstände

- Stabdübel und Passbolzen

Abstände (siehe Bild 8.7)	Winkel	Mindestabstände
a_1 (in Faserrichtung)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(3 + 2 \cos \alpha) d$
a_2 (rechtwinklig zur Faserrichtung)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3 d$
$a_{3,t}$ (beanspruchtes Hirnholzende)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$\max(7 d; 80 \text{ mm})$
$a_{3,c}$ (unbeanspruchtes Hirnholzende)	$90^\circ \leq \alpha < 150^\circ$	$\max(a_{3,t} \sin \alpha d; 3 d)$
	$150^\circ \leq \alpha < 210^\circ$	$3 d$
	$210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$\max(a_{3,t} \sin \alpha d; 3 d)$
$a_{4,t}$ (beanspruchter Rand)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$\max[(2 + 2 \sin \alpha) d; 3 d]$
$a_{4,c}$ (unbeanspruchter Rand)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3 d$

- Bolzen und Gewindestangen

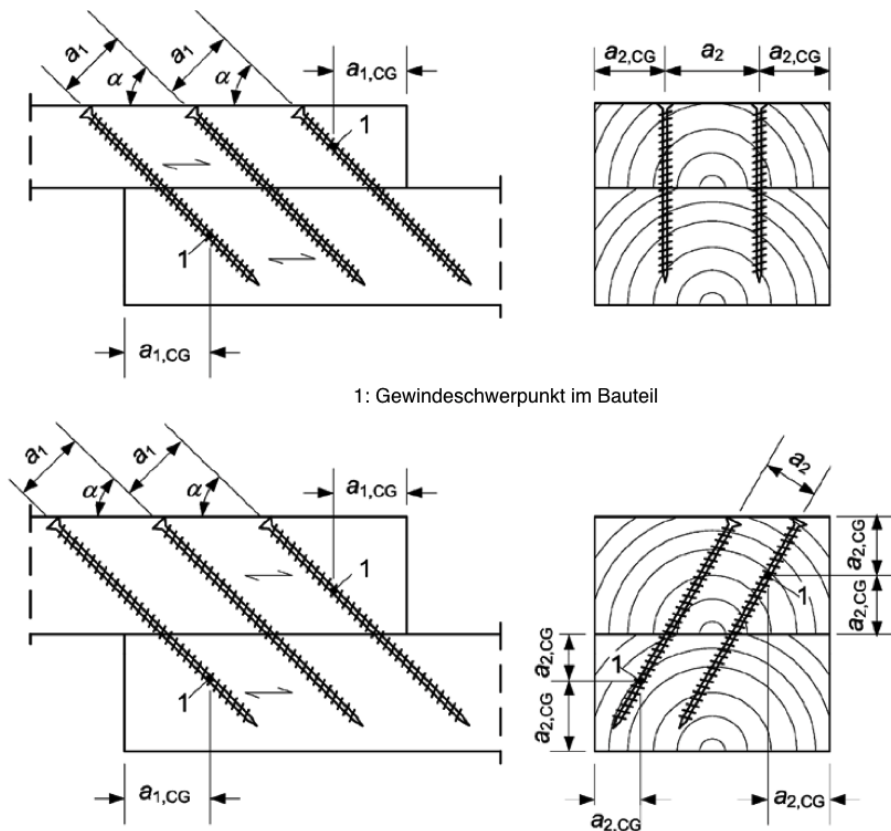
Abstände (siehe Bild 8.7)	Winkel	Mindestabstände
a_1 (in Faserrichtung)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(4 + \cos \alpha) d$
a_2 (rechtwinklig zur Faserrichtung)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$4 d$
$a_{3,t}$ (beanspruchtes Hirnholzende)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$\max(7 d; 80 \text{ mm})$
$a_{3,c}$ (unbeanspruchtes Hirnholzende)	$90^\circ \leq \alpha < 150^\circ$	$\lceil \frac{a_1}{2} \rceil (1 + 6 \sin \alpha) d$
	$150^\circ \leq \alpha < 210^\circ$	$4 d$
	$210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$(1 + 6 \sin \alpha) d \lceil \frac{a_1}{2} \rceil$
$a_{4,t}$ (beanspruchter Rand)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$\max[(2 + 2 \sin \alpha) d; 3d]$
$a_{4,c}$ (unbeanspruchter Rand)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3 d$

7 Holzschrauben

- Laubholz immer, Nadelholz mit Schraubendurchmesser $d > 6 \text{ mm}$ vorbohren
- Auf der Schaftlänge mit Schaftdurchmesser, im Gewindebereich mit $0.7 \cdot d$ bohren
- Bei selbstbohrenden Schrauben muss der Bohrlochdurchmesser kleiner als der Innendurchmesser d_1 der Schraube sein.

7.1 Beanspruchbarkeit in Schraubenachse

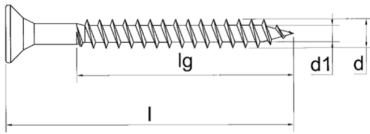
- Anwendungsregeln
 - Mindestholzdicke $t \geq 12 \cdot d$
 - Mindesteinbindetiefe auf der Seite der Schraubenspitze: $t \geq 6 \cdot d$
- Mindestabstände



- $a_1 \geq 7 \cdot d$
- $a_2 \geq 5 \cdot d$
- $a_{1,CG} \geq 10 \cdot d$
- $a_{2,CG} \geq 4 \cdot d$

- Wirksame Schraubenzahl bei Schraubengruppen: $n_{ef} = n^{0.9}$
- Ausziehtragfähigkeit des Gewindes je Schraube
 - $F_{ax,\alpha,Rk} = \frac{f_{ax,k} \cdot d \cdot l_{ef}}{1.2 \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} \cdot k_d$ für Schrauben mit $6mm \leq d \leq 12mm$ und $0.6 \leq \frac{d_1}{d} \leq 0.75$
 - * $f_{ax,k} = 0.52 \cdot d^{-0.5} \cdot l_{ef}^{-0.1} \cdot \rho_k^{0.8}$: char. Wert der Ausziehfestigkeit [N/mm] (ETA/geg.)
 - * l_{ef} : Eindringtiefe des Gewindeteils (bei Holz-Holz: kleinerer Wert maßgebend)
 - * $\alpha \geq 30^\circ$: Winkel zwischen Schraubenachse und Faserrichtung (sonst in $f_{ax,k}$ berücksichtigt)
 - * $k_d = \min\{\frac{d}{8}; 1\}$
 - $F_{ax,\alpha,Rk} = \frac{f_{ax,k} \cdot d \cdot l_{ef}}{1.2 \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} \cdot \left(\frac{\rho_k}{\rho_s}\right)^{0.8}$ in allen anderen Fällen
 - * ρ_a : zugehörige Rohdichte für $f_{ax,k}$ (ETA/geg.)
- Durchziehtragfähigkeit eines Schraubenkopfes: $F_{ax,Rk} = f_{head,k} \cdot d_h^2 \cdot \left(\frac{\rho_k}{\rho_s}\right)^{0.8}$
 - $f_{head,k}$: char. Wert der Durchziehfestigkeit für die zugehörige Rohdichte ρ_a
 - d_h : Durchmesser des Schraubenkopfes (ETA/geg.)
 - nicht relevant für Stahlblech-Holz-Verbindungen und Vollgewindeschrauben (VG)
- Zugtragfähigkeit je Schraube: $F_{t,Rk} = f_{tens,k}$ (ETA/geg.)
- $F_{ax,Rd,ges} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot n_{ef} \cdot F_{ax,Rk,min}$

7.2 Beanspruchbarkeit rechtwinklig zur Schraubenachse



- Effektiver Durchmesser für die Berechnung der Lochleibungsfestigkeit, des Fließmoments und der Mindestabstände für Schrauben mit teilweise glattem Schaft und Gewindeaußendurchmesser = Schaftdurchmesser bei einer Eindringtiefe des Schaftes in das Holz mit der Schraubenspitze von mind. $4 \cdot d$: $d_{ef} = d$
 - Sonst $d_{ef} = 1.1 \cdot d_1$
- Für Verbindungen mit Schrauben mit $d \leq 6mm$: Nachweis für Nägel (Abschnitt 5.3), sonst Nachweis für Bolzenverbindungen (Abschnitt 6.3)
 - Schrauben mit einem Gewinde nach DIN 7998: $M_{y,k} = 0.3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2.6}$ (sonst: Versuche)
- Bei Verbindungen mit Holzschrauben darf der nach den vereinfachten Regeln berechnete Wert der Tragfähigkeit $F_{v,Rk}$ um einen Anteil $\Delta F_{v,Rk} = \min\{F_{v,Rk}; 0.25 \cdot F_{ax,Rk}\}$ erhöht werden
- Bei um α zur Lastrichtung geneigten Schrauben lässt sich die Beanspruchbarkeit berechnen zu $F_v = F_{ax} \cdot \cos \alpha$
- Bei kleinem α ist der Abschnachweis irrelevant, da die axiale Tragfähigkeit aufgrund der höheren Steifigkeit früher aktiviert wird.

7.3 Kombinierte Beanspruchung von Schrauben

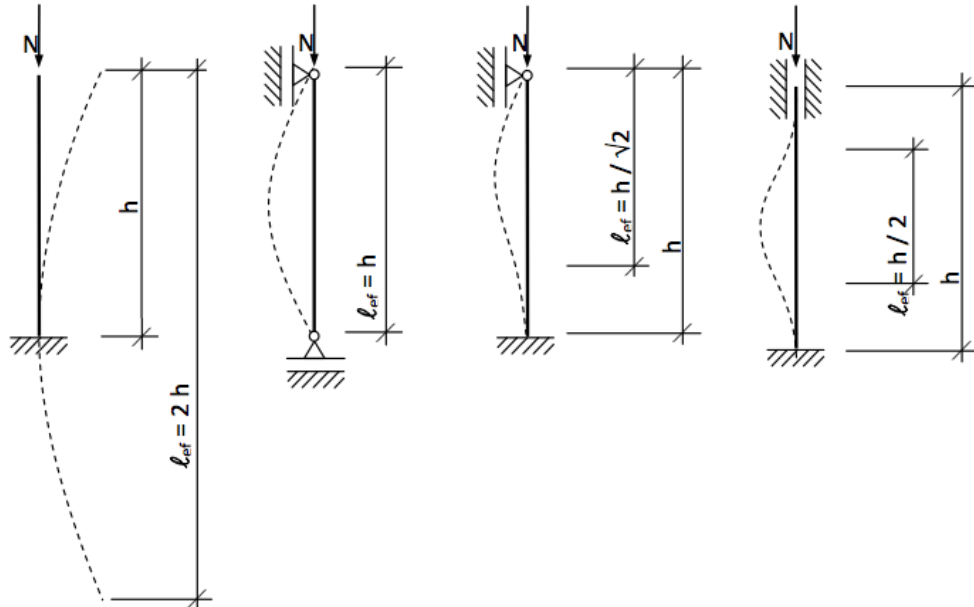
- $\left(\frac{F_{ax,Ed}}{F_{ax,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}}\right)^2 \leq 1$
- Berechnung der $F_{i,Rd}$ für die jeweiligen $n_{i,ef}$ (getrennt zu ermitteln für Abscheren und Herausziehen)

8 Stabilitätsgefährdete Bauteile

8.1 Biegeknicen von Druckstäben - Ersatzstabverfahren

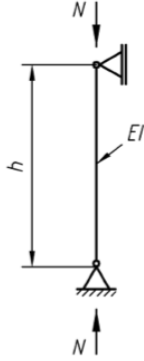
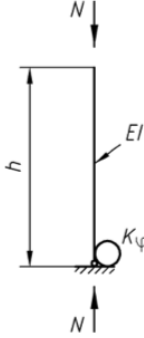
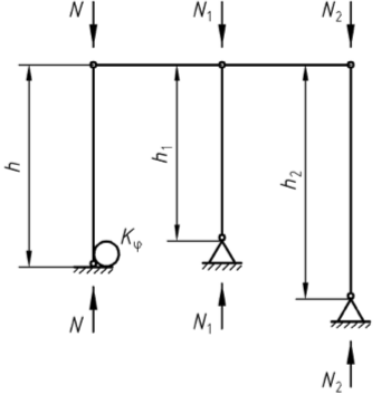
1. Festlegung der zu untersuchenden Achse(n): Knicken um $y \equiv$ Ausweichen in z
2. Bestimmung der effektiven Knicklänge $l_{ef} = \beta \cdot l$

- allgemein



- Einfluss der Nachgiebigkeit: Bestimmung über $K_\varphi = \sum_{i=1}^n K \cdot r_i^2 = K \cdot \sum_{i=1}^n (x_i^2 + y_i^2)$
 - R_i : Abstand des VM i vom Rotationszentrum
 - K : Verschiebungsmodul eines VM je Scherfuge [N/mm]
 - * $K = K_{ser}$ für den Gebrauchstauglichkeitsnachweis
 - * $K = \frac{K_{u,mean}}{\gamma_M} = \frac{2}{3} \frac{K_{ser}}{\gamma_M}$ für den Tragfähigkeitsnachweis
 - Stabdübel, Passbolzen, Bolzen und Gewindestangen¹,
Holzschrauben und Nägel in vorgebohrten Löchern: $K_{ser} = \rho_m^{1.5} \cdot \frac{d}{23}$
 - Nägel (nicht vorgebohrt): $K_{ser} = \rho_m^{1.5} \cdot \frac{d^{0.8}}{30}$
 - Klammern: $K_{ser} = \rho_m^{1.5} \cdot \frac{d^{0.8}}{80}$
 - Ringdübel Typ A und Scheibendübel Typ B: $K_{ser} = \rho_m \cdot \frac{d_c}{2}$
 - Scheibendübel mit Zähnen Typ C1 bis C9: $K_{ser} = 1.5 \cdot \rho_m \cdot \frac{d_c}{4}$
 - Scheibendübel mit Dornen Typ C10, C11: $K_{ser} = \rho_m \cdot \frac{d_c}{2}$
 - Da die Norm für BSH noch nicht offiziell ist, dürfen für ρ_m entsprechende Werte von Vollholzklassen eingesetzt werden
 - Bei Stahlblech-Holz-Verbindungen sollte K_{ser} verdoppelt werden.
 - Zur Ermittlung der Knicklängenbeiwerte ist $E = \frac{E_{mean}}{\gamma_M}$ zu verwenden.

¹Bei Bolzen und Gewindestangen ist mit einem zusätzlichen Schlupf von $1mm$ zu rechnen, der zu den mit Verschiebungsmoduln ermittelten Verschiebungen hinzuzurechnen ist.

	1	2
	System	Knicklängenbeiwert
1		$\beta = 1$
2		$\beta = \sqrt{4 + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{h \cdot K_\varphi}}$ <p>K_φ: Federkonstante der elastischen Einspannung (Kraft · Länge/Winkel)</p>
3		$\beta = \sqrt{\left(4 + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{h \cdot K_\varphi}\right) \cdot (1 + \alpha)}$ <p>für eingespannte Stütze, mit:</p> $\alpha = \frac{h}{N} \cdot \sum \frac{N_i}{h_i}$

	1	2
	System	Knicklängenbeiwert
4		für $0,15 \leq \frac{h}{l} \leq 0,5$ und $\ell_{ef} = \beta \cdot s$: $\beta = 1,25$ (für antisymmetrisches Knicken)
5		Stiel: $\ell_{ef} = \beta_S \cdot h$ ($\alpha_S \leq 15^\circ$) $\beta_S = \sqrt{4 + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_S}{h} \cdot \left(\frac{1}{K_\phi} + \frac{s}{3 \cdot E \cdot I_R} \right) + \frac{E \cdot I_S \cdot N_R \cdot s^2}{E \cdot I_R \cdot N_S \cdot h^2}}$ Riegel: $\ell_{ef} = \beta_R \cdot s$ ($\alpha_R \leq 20^\circ$) $\beta_R = \beta_S \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_R \cdot N_S}{E \cdot I_S \cdot N_R} \cdot \frac{h}{s}}$ (für antisymmetrisches Knicken)
6		für $s_1 < 0,7 \cdot s$: $\beta = 0,8$ für $s_1 \geq 0,7 \cdot s$: $\beta = 1,0$ (für antisymmetrisches Knicken)
7		bei gelenkiger Lagerung ($K_\phi \approx 0$): $\beta = 1,0$ bei nachgiebiger Einspannung ($K_\phi \gg 0$): $\beta = 0,8$

3. Bestimmung des Schlankheitsgrads $\lambda = \frac{\ell_{ef}}{i}$

- Trägheitsradius $i = \sqrt{\frac{I}{A}}$
- Rechteckquerschnitte: $i_y = \frac{h}{\sqrt{12}} \approx 0,289 \cdot h$, $i_z = \frac{b}{\sqrt{12}} \approx 0,289 \cdot b$
- Kreisquerschnitte: $i = \frac{d}{4}$

4. Bezogene Schlankheit $\lambda_{rel,c} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}} = \frac{\lambda}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}$

- $\sigma_{c,crit} = \frac{\pi^2 \cdot E_{0,05}}{\lambda^2}$: Ideelle Knickspannung nach Euler
- $f_{c,0,k}$: char. Druckfestigkeit
- $E_{0,05}$: char. E-Modul

	GL 24 h/c	GL 28 h/c	GL 32 h/c	GL 36 h/c		
• $\lambda_{rel} = \lambda \cdot$	0.01608/0.01504	0.01622/0.01544	0.01627/0.01555	0.01625/0.01571		
• $\lambda_{rel} = \lambda \cdot$	C14	C16	C18	C20	C22	C24
	0.01857	0.01786	0.01743	0.01734	0.01739	0.01696
	C27	C30	C35	C40	C45	C50
$\lambda_{rel} = \lambda \cdot$	0.01701	0.01707	0.01706	0.01674	0.01654	0.01657

$$5. \text{ Knickbeiwert } k_c = \min \left\{ \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel,c}^2}}; 1 \right\}$$

- $k = 0.5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel} - 0.3) + \lambda_{rel}^2]$
- $\beta_c = 0.2$ für VH und Balkenschichtholz, $\beta_c = 0.1$ für BSH und Furnierholz
- Für $\lambda_{rel} \leq 0.3$ ist $k_c = 1$ und der Stab ist nicht knickgefährdet
- Alternativ: Für C24, C30, GL24÷36 k_c in Abhängigkeit von λ aus S9.25 ablesen

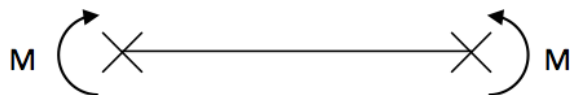
6. Nachweis

- Reine Druckbeanspruchung: $\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} \leq 1$ (größerer Schlankheitsgrad λ ist maßgebend)
- Druck und Biegung
 - Knicken um y : $\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$
 - Knicken um z : $\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$
 - * $k_m = 0.7$ für Rechteckquerschnitte aus Voll-, Brettschicht- und Furnierschichtholz;
 - $k_m = 1.0$ bei anderen Querschnitten und anderen Holzwerkstoffen
 - Für Biegestäbe mit Rechteckquerschnitt und $l_{ef} \cdot \frac{h}{b^2} > 140$ Kippnachweis führen

7. Wenn Stab nicht knickgefährdet: Nachweise nach Abschnitt 1.8

8.2 Biegedrillknicken (Kippen)

- Keine Kippgefährdung, wenn Bauteilhöhe gering ist oder seitliche Abstützungen angebracht sind
- Kritisches Moment: $M_{crit} = \frac{\pi}{l_{ef}} \cdot \sqrt{\frac{EI_z \cdot GI_T \cdot I_y}{I_y - I_z}} \cdot \sqrt{1 + \frac{EA_{ww}}{GI_T} \cdot \frac{\pi^2}{l_{ef}^2}}$ (A_{ww} : Wölbwiderstand)
- Bemessung: Kippstabilitätsnachweis für Biegestäbe
 1. Bestimmung der Einwirkungen
 2. Berechnung von $M_{[y/z],d}$
 3. Berechnung von $\sigma_{m,[y/z],d} = \frac{M_{[y/z],d}}{W_{[y/z]}}$
 4. Bemessungswert der Festigkeit: $f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M}$
 5. Effektive Kiplänge
 - Für gabelgelagerten Einfeldträger mit konst. Momentenbelastung gilt: $l_{ef} = l$



$$- \text{ Ansonsten gilt: } l_{ef} = \frac{l}{a_1 \cdot [1 - a_2 \cdot \frac{a_z}{l} \cdot \sqrt{\frac{B}{T}}]} [\leq l]$$

* a_z = Abstand des Lastangriffspunktes zum Schwerpunkt (unten Minus, oben Plus)

* $B = E \cdot I_z = E \cdot \frac{b^3 \cdot h}{12}$

* $T = G \cdot I_T = G \cdot \frac{b^3 \cdot h}{3}$

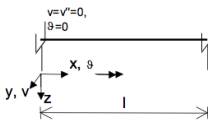
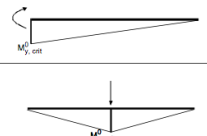
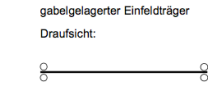
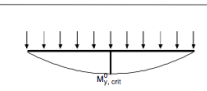

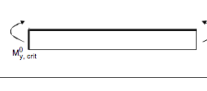
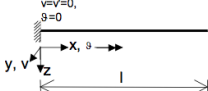
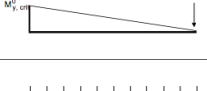
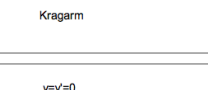
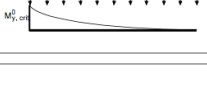
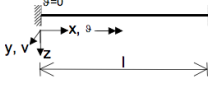
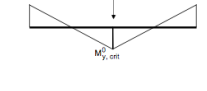
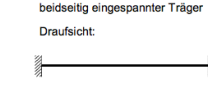
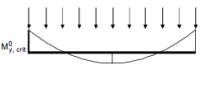
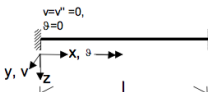
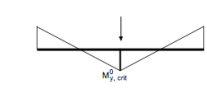
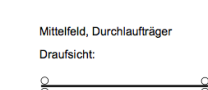
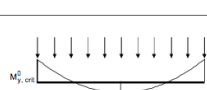
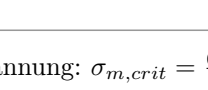
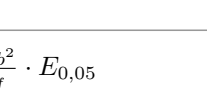
	GL 24 h/c	GL 28 h/c	GL 32 h/c	GL 36 h/c
* $\sqrt{\frac{B}{T}} = \sqrt{\frac{E}{4 \cdot G}}$	2.007/2.217	2.010/2.092	2.007/2.095	2.010/2.079

	C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40
* $\sqrt{\frac{B}{T}}$	1.994	2.000	2.004	2.006	1.992	1.996	1.998	2.000	2.003	1.994

J.H.

Seite 21

* $a_1; a_2$ aus Tabelle

	System	Momentenverlauf	a_1	a_2
1.1			1,77	0
1.2			1,35	1,74
1.3	gabelgelagerter Einfeldträger Draufsicht: 		1,13	1,44
1.4			1	0
2.1			1,27	1,03
2.2	Kragarm 		2,05	1,50
3.1			6,81	0,40
3.2	beidseitig eingespannter Träger Draufsicht: 		5,12	0,40
4.1			1,70	1,60
4.2	Mittelfeld, Durchlaufträger Draufsicht: 		1,30	1,60

6. Kritische Spannung: $\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05}$

– Für Brettschichtholz darf $E_{0,05}$ mit $\sqrt{1,4}$ multipliziert werden

7. Bezogener Kippschlankheitsgrad: $\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}}$

8. Kippbeiwert: $k_{crit} = \begin{cases} 1,0 & \text{für } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m} & \text{für } 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} & \text{für } \lambda_{rel,m} > 1,4 \end{cases}$

– Für Biegestäbe mit Rechteckquerschnitt und $l_{ef} \cdot \frac{h}{b^2} \leq 140$ gilt $k_{crit} = 1,0$

– Alternativ: Für C24, C30, GL24÷36 k_{crit} in Abhängigkeit von λ aus S9.26 ablesen

9. Nachweis

– Für Biegestäbe ohne Druckkraft: $\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \leq 1$

– Für Biegestäbe mit Druckkraft: $\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1$

– Für zweiachsige Biegung:

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

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

8.2.1 Auflagerkräfte durch Kippen - Schub aus Torsion

- Das durch Imperfektion entstandene Moment $M_{Tor,d} = \frac{M_d}{80}$ muss durch die Gabellagerung aufgenommen werden können.
- Kein gesonderter Nachweis, wenn die mit der Ersatzstablänge l_{ef} ermittelte Kippschlankheit $\lambda_{rel,m} = \frac{l_{ef} \cdot h}{b^2} \leq 225$ ist und die Stabilisierungskräfte im Bereich der Auflagergabel abgeleitet werden
- Sonst: Nachweis der Schubspannungen
 - Einwirkung: $\tau_{Tor} = \frac{M_{Tor}}{W_{Tor}}$ mit $M_{Tor} = \frac{M_d}{80}$ und $W_{Tor} = \beta \cdot h \cdot b^2$ (Rechteckquerschnitte)
 - * β in Abhängigkeit von $\frac{h}{b}$ aus S4.29
 - Maßgebende Querkraft am Auflager (Abstand h vom Auflagerrand): $V_{Ed} = q_d \cdot (\frac{l}{2} - h - \frac{a}{2})$ (Einfeldträger mit Auflagerbreite a)
 - $\tau_{[y/z]} = 1.5 \cdot \frac{V_{[y/z]}}{k_{cr} \cdot b \cdot h}$ mit $k_{cr} = \frac{2.0}{f_{v,k}}$ für VH und $k_{cr} = \frac{2.5}{f_{v,k}}$ für Brettschichtholz
 - NW: $\frac{\tau_{Tor,d}}{k_{shape} \cdot f_{v,d}} + \left(\frac{\tau_{y,d}}{f_{v,d}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{z,d}}{f_{v,d}}\right)^2 \leq 1$ (Siehe Abschnitt 1.9.1)
 - * $k_{shape} = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 + 0.15 \cdot \frac{h}{b} \\ 2.0 \end{array} \right.$

9 Schwinden und Quellen

- Quell-/Schwinddehnung: $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = \alpha \cdot \Delta \omega$
 - α : Quell-/Schwindmaß

Holzart	Schwind- & Quellmaße in % pro % $\Delta \omega$		
	α_{tan}	α_{rad}	α nach EC 5 / NA (rechtwinklig zur Faser & unbehindertes Quellen & Schwinden)
Fichte, Tanne, Kiefer, Eiche, BSH,	0,32	0,16	0,25
Buche	0,4	0,2	0,3

Längs zur Faser darf mit $\alpha_{\ell} = 0,01$ gerechnet werden.

- $\omega = \frac{G_N - G_T}{G_T} \cdot 100$: Holzfeuchte in %
 - * In Berechnung maximal 30% ansetzen (danach Fasersättigung erreicht, Wasser in den Zellohräumen und kein Quellen mehr)
- Temperaturdehnung bei Holzbauwerken darf vernachlässigt werden, da Dehnen und Schwinden entgegengesetzt sind.
- Eigenspannungen durch Schwinden: $\sigma = E \cdot \varepsilon$ (E entsprechend Schwindrichtung)

10 Tabellen

DIN EN 338:2010-02
EN 338:2009 (D)

NormCD - Stand 2012-08

Tabelle 1 — Festigkeitsklassen — Charakteristische Werte

	Nadelholz											Laubholz									
	C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50	D18	D24	D30	D35	D40	D50	D60	D70	
Festigkeitseigenschaften (in N/mm²)																					
Biegung	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50	18	24	30	35	40	50	60	70	
Zug in Faserrichtung	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30	11	14	18	21	24	30	36	42	
Zug rechtwinklig zur Faserrichtung	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	
Druck in Faserrichtung	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29	18	21	23	25	26	29	32	34	
Druck rechtwinklig zur Faserrichtung	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2	7,5	7,8	8,0	8,1	8,3	9,3	10,5	13,5	
Schub	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,4	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,5	5,0	
StEIFigkeitseigenschaften (in kN/mm²)																					
Mittelwert des Elastizitätsmoduls in Faserrichtung	7	8	9	9,5	10	11	11,5	12	13	14	15	16	9,5	10	11	12	13	14	17	20	
5 %-Quantil des Elastizitätsmoduls in Faserrichtung	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4	10,0	10,7	8	8,5	9,2	10,1	10,9	11,8	14,3	16,8	
Mittelwert des Elastizitätsmoduls rechtwinklig zur Faserrichtung	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53	0,63	0,67	0,73	0,80	0,86	0,93	1,13	1,33	
Mittelwert des Schubmoduls	0,44	0,5	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00	0,59	0,62	0,69	0,75	0,81	0,88	1,06	1,25	
Rohdichte (in kg/m³)																					
Rohdichte	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460	475	485	530	540	550	620	700	900	
Mittelwert der Rohdichte	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550	570	580	640	650	660	750	840	1 080	
<p>ANMERKUNG 1 Die oben angegebenen Werte für die Zug-, Druck- und Schubfestigkeit, das 5 %-Quantil des Elastizitätsmoduls, der Mittelwert des Elastizitätsmoduls rechtwinklig zur Faserrichtung und der Mittelwert des Schubmoduls wurden mit den in Anhang A angegebenen Gleichungen berechnet.</p> <p>ANMERKUNG 2 Die tabellierten Eigenschaften gelten für Holz mit einem bei 20 °C und 65 % relativer Luftfeuchte üblichen Feuchtegehalt.</p> <p>ANMERKUNG 3 Es kann sein, dass Bauholz der Klasse C45 und C50 nicht immer zur Verfügung steht.</p> <p>ANMERKUNG 4 Die charakteristischen Werte für die Schubfestigkeit werden entsprechend EN 408 für Holz ohne Risse angegeben. Die Auswirkung von Rissen sollte in Bemessungsnormen behandelt werden.</p>																					

Tabelle 12: Rechenwerte für die charakteristischen Materialkennwerte für Brettschichtholz, DIN EN 1194, Tabelle 1 und Tabelle 2

Festigkeitsklasse des Brettschichtholzes		GL 24h	GL 28h	GL 32h	GL 36h
Biegefestigkeit	$f_{m,g,k}$	24	28	32	36
Zugfestigkeit	$f_{t,0,g,k}$	16,5	19,5	22,5	26
	$f_{t,90,g,k}$	0,4	0,45	0,5	0,6
Druckfestigkeit	$f_{c,0,g,k}$	24	26,5	29	31
	$f_{c,90,g,k}$	2,7	3,0	3,3	3,6
Schubfestigkeit	$f_{v,g,k}$	2,7	3,2	3,8	4,3
Elastizitätsmodul	$E_{0,g,mean}$	11 600	12 600	13 700	14 700
	$E_{0,g,05}$	9 400	10 200	11 100	11 900
	$E_{90,g,mean}$	390	420	460	490
Schubmodul	$G_{g,mean}$	720	780	850	910
Rohdichte	$\rho_{g,k}$	380	410	430	450

Festigkeitsklasse des Brettschichtholzes		GL 24c	GL 28c	GL 32c	GL 36c
Biegefestigkeit	$f_{m,g,k}$	24	28	32	36
Zugfestigkeit	$f_{t,0,g,k}$	14	16,5	19,5	22,5
	$f_{t,90,g,k}$	0,35	0,4	0,45	0,5
Druckfestigkeit	$f_{c,0,g,k}$	21	24	26,5	29
	$f_{c,90,g,k}$	2,4	2,7	3,0	3,3
Schubfestigkeit	$f_{v,g,k}$	2,2	2,7	3,2	3,8
Elastizitätsmodul	$E_{0,g,mean}$	11 600	12 600	13 700	14 700
	$E_{0,g,05}$	9 400	10 200	11 100	11 900
	$E_{90,g,mean}$	320	390	420	460
Schubmodul	$G_{g,mean}$	590	720	780	850
Rohdichte	$\rho_{g,k}$	350	380	410	430

DIN EN 1995-1-1/NA:2010-12

Tabelle NA.1 — Einteilung der Einwirkungen nach DIN 1055-1, DIN 1055-3, DIN 1055-4, DIN 1055-5, DIN 1055-9, DIN 1055-10 und DIN 1055-100 in Klassen der Lasteinwirkungsdauer (KLED)

	1	2
1	Einwirkung	KLED
2	Wichten- und Flächenlasten nach DIN 1055-1	ständig
3	Lotrechte Nutzlasten nach DIN 1055-3	
	A Spitzböden, Wohn- und Aufenthaltsräume	mittel
	B Büroflächen, Arbeitsflächen, Flure	mittel
	C Räume, Versammlungsräume und Flächen, die der Ansammlung von Personen dienen können (mit Ausnahme von unter A, B, D und E festgelegten Kategorien)	kurz
	D Verkaufsräume	mittel
	E Fabriken und Werkstätten, Ställe, Lagerräume und Zugänge, Flächen mit erheblichen Menschenansammlungen	lang
	F Verkehrs- und Parkflächen für leichte Fahrzeuge (Gesamtlast ≤ 25 kN), Zufahrtsrampen zu diesen Flächen	mittel kurz
	G Flächen für den Betrieb mit Gegengewichtsstaplern	mittel
	H nicht begehbare Dächer, außer für übliche Erhaltungsmaßnahmen, Reparaturen	kurz
	K Hubschrauber Regellasten	kurz
	T Treppen und Treppenpodeste	kurz
	Z Zugänge, Balkone und Ähnliches	kurz
4	Horizontale Nutzlasten nach DIN 1055-3	
	Horizontale Nutzlasten infolge von Personen auf Brüstungen, Geländern und anderen Konstruktionen, die als Absperrung dienen	kurz
	Horizontallasten zur Erzielung einer ausreichenden Längs- und Quersteifigkeit	^a
	Horizontallasten für Hubschrauberlandeplätze auf Dachdecken — für horizontale Nutzlasten — für den Überrollschutz	kurz sehr kurz
5	Windlasten nach DIN 1055-4	kurz / sehr kurz ^b
6	Schneelast und Eislast nach DIN 1055-5	
	Geländehöhe des Bauwerkstandortes über NN $\leq 1\,000$ m	kurz
	Geländehöhe des Bauwerkstandortes über NN $> 1\,000$ m	mittel
7	Anpralllasten nach DIN 1055-9	sehr kurz
8	Horizontallasten aus Kran- und Maschinenbetrieb nach DIN 1055-10	kurz
^a	Entsprechend den zugehörigen Lasten.	
^b	Bei Wind darf für k_{mod} das Mittel aus kurz und sehr kurz verwendet werden.	

NCI Zu 2.3.1.2 „Klassen der Lasteinwirkungsdauer“

(NA.3) Einwirkungen der Klasse der Lasteinwirkungsdauer „sehr kurz“ wirken weniger als eine Minute auf die Bauteile und Verbindungen ein.

DIN 1052:2008-12

G.3.3 Gewindestangen

Gewindestangen im Sinne dieser Norm sind Gewindestangen nach DIN 976-1. Die charakteristischen Festigkeitskennwerte $f_{t,k}$ und f_{yk} sind in Tabelle G.12 angegeben.

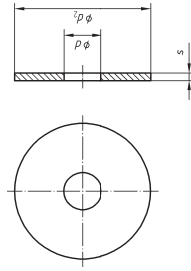
Tabelle G.12 — Charakteristische Festigkeitskennwerte für Gewindestangen

1	2	3
Festigkeitsklasse nach DIN EN ISO 898-1:1999-11	Charakteristische Festigkeit $f_{t,k}$ N/mm ²	Charakteristische Streckgrenze f_{yk} N/mm ²
4.8	400	320
5.8	500	400
8.8	800	640

G.3.4 Scheiben

Vorzugsmaße für Scheiben aus Stahl für die Verwendung als Unterlegscheiben in Bolzen- und Passbolzenverbindungen sind in Tabelle G.13 angegeben.

Tabelle G.13 — Vorzugsmaße für Scheiben für Bolzen und Passbolzen



1	2	3	4
Innendurchmesser d mm	Außendurchmesser d_2 mm	Scheibendicke s mm	Zu verwenden für Schraubenbolzen
14	58	6	M12
18	68	6	M16
22	80	8	M20
25	92	8	M22
27	105	8	M24

Seite 3
EN ISO 7094:2000

3 Maße
Siehe Bild 1 und Tabellen 1 und 2.

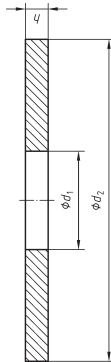


Bild 1 — Maße

Tabelle 1 — Maße (Vorzugsgrößen)

Nenngröße (Gewinde-Nenndurchmesser d)	Lochdurchmesser d_1		Außendurchmesser d_2		Dicke h	
	min. Nennmaß	max. Nennmaß	min. Nennmaß	max. Nennmaß	min. Nennmaß	max. Nennmaß
5	5,5	5,8	18,0	16,9	2	2,3
6	6,0	6,96	22,0	20,7	2	2,3
8	9,00	9,36	28,0	26,7	3	3,6
10	11,00	11,43	34,0	32,4	3	3,6
12	13,50	13,93	44,0	42,4	4	4,6
16	17,5	18,2	56,0	54,1	5	6
20	22,00	22,84	72,0	70,1	6	7
24	26,00	26,84	85,0	82,8	6	7
30	33	34	105,0	102,8	6	7
36	39	40	125,0	122,5	8	9,2

Tabelle 2 — Maße (Zu vermeidende Größen)

Nenngröße (Gewinde-Nenndurchmesser d)	Lochdurchmesser d_1		Außendurchmesser d_2		Dicke h	
	min. Nennmaß	max. Nennmaß	min. Nennmaß	max. Nennmaß	min. Nennmaß	max. Nennmaß
14	15,50	15,93	50,0	48,1	4	4,6
18	20,00	20,84 (N1)	60,0	58,1	5	6
22	24,00	24,84	80,0	78,1	6	7
27	30,00	30,84	98,0	95,8	6	7
33	36	37	115,0	112,8	8	9,2

(N1) Nationale Fußnote: Siehe nationales Vorwort