# Bemessungs- und Konstruktionshilfen für Holzbauteile nach DIN EN 1995-1-1:2010-12 (EC 5) + DIN EN 1995-1-1/NA:2010-12

Die aufgeführten Querschnittsnachweise gelten für tragende, gerade Holz- und Holzwerkstoffe mit konstantem Querschnitt und im Wesentlichen parallel zur Längsachse verlaufenden Holzfasern.

## 1. Grundlagen und Schnittgrößenermittlung

### Nachweisformat im Grenzzustand der Tragfähigkeit

$E_d$ Bemessungswert der Beanspruchung
$R_d$ Bemessungswert des Tragwiderstandes

$$E_d \leq R_d$$

### Einwirkungskombinationen für Grenzzustände der Tragfähigkeit nach DIN EN 1990 und NA

| Bemessungssituation der Einwirkungen für die: | Einwirkungskombinationen |
|---|---|
| ständige und vorübergehende Beanspruchung $E_d$ | $\sum_{j\geq 1} \gamma_{G,j} \cdot E_{Gk,j} + \gamma_{Q,1} \cdot E_{Qk,1} + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot E_{Qk,i}$ |
| außergewöhnliche Beanspruchung $E_{da}$ | $\sum_{j\geq 1} \gamma_{GA,j} \cdot E_{Gk,j} + E_{Ad} + \gamma_{QA,1} \cdot \psi_{1,1} \cdot E_{Qk,1} + \sum_{i>1} \gamma_{QA,i} \cdot \psi_{2,i} \cdot E_{Qk,i}$ |

### Nachweisformat im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

$E_d$ Bemessungswert der Beanspruchung
$C_d$ Bemessungswert der Gebrauchstauglichkeit

$$E_d \leq C_d$$

### Einwirkungskombinationen für Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit nach DIN EN 1990 und NA

| Bemessungssituation der Einwirkungen für die: | Einwirkungskombinationen |
|---|---|
| charakteristische Kombination $E_{d,char}$ | $\sum_{j\geq 1} E_{Gk,j} + E_{Qk,1} + \sum_{i>1} \psi_{0,i} \cdot E_{Qk,i}$ |
| häufige Kombination $E_{d,frequ}$ | $\sum_{j\geq 1} E_{Gk,j} + \psi_{1,1} \cdot E_{Qk,1} + \sum_{i>1} \psi_{2,i} \cdot E_{Qk,i}$ |
| quasi-ständige Kombination $E_{d,perm}$ | $\sum_{j\geq 1} E_{Gk,j} + \sum_{i\geq 1} \psi_{2,i} \cdot E_{Qk,i}$ |

### Bestimmung des Bemessungswertes der Baustoffeigenschaft

$X_d$ Bemessungswert einer Eigenschaft
$X_k$ charakteristischer Wert einer Eigenschaft
$k_{mod}$ Modifikationsbeiwert
$\gamma_M$ Teilsicherheitsbeiwert

$$X_d = k_{mod} \cdot \frac{X_k}{\gamma_M}$$

Bearbeitung:

HSW-Ingenieure
Tragwerksplanung und Bauphysik
Sonderkonstruktionen im Holzbau

Prof. Dipl.-Ing. Volker Schiermeyer
Dr.-Ing. Rainer Wiesner

Kirchstraße 8 32547 Bad Oeynhausen

Ingenieurgemeinschaft
Speich · Hinkes · Lindemann
Prof. Dr.-Ing. Martin Speich
Prof. Dr.-Ing. Franz-Josef Hinkes
Dipl.-Ing. Josef Lindemann

Lange Laube 19 30159 Hannover

Die technischen Informationen dieser Schrift entsprechen zum Zeitpunkt der Drucklegung den anerkannten Regeln der Technik. Eine Haftung für den Inhalt kann trotz sorgfältiger Bearbeitung und Korrektur nicht übernommen werden.

## KLED- und Kombinationsbeiwerte $\psi_i$ für Einwirkungen auf Hochbauten

| Veränderliche Einwirkungen | | KLED | $\psi_0$ | $\psi_1$ | $\psi_2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| **Nutzlasten $Q_{k,N}$:** | | | | | |
| Kategorie A: | Wohn- und Aufenthaltsräume, Spitzböden | mittel | 0,7 | 0,5 | 0,3 |
| Kategorie B: | Büro- und Arbeitsflächen, Flure | mittel | 0,7 | 0,5 | 0,3 |
| Kategorie C: | Versammlungsräume | kurz | 0,7 | 0,7 | 0,6 |
| Kategorie D: | Verkaufsräume | mittel | 0,7 | 0,7 | 0,6 |
| Kategorie E: | Fabriken, Werkstätten, Ställe, Lagerräume | lang | 1,0 | 0,9 | 0,8 |
| Kategorie H: | nicht begehbare Dächer (nur Reparatur) | kurz | 0 | 0 | 0 |
| Kategorie T: | Treppen und Treppenpodeste | kurz | wie Kategorie, in der eingebaut | | |
| Kategorie Z: | Zugänge und Balkone | kurz | wie Kategorie, in der eingebaut | | |
| **Schnee- und Eislasten $Q_{k,S}$:** | | | | | |
| | für Orte bis NN + 1000 m | kurz | 0,5 | 0,2 | 0 |
| | für Orte über NN + 1000 m | mittel | 0,7 | 0,5 | 0,2 |
| **Windlasten für Hochbauten $Q_{k,W}$** | | kurz/sehr kurz[a] | 0,6 | 0,2 | 0 |
| Baugrundsetzungen $Q_{k,\Delta}$ | | ständig | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| Anpralllasten nach DIN 1055-9 | | sehr kurz | - | - | - |

[a] Bei Wind darf für $k_{mod}$ das Mittel aus kurz und sehr kurz verwendet werden

## Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen auf Tragwerke

| | ständige Einwirkungen ($G_k$) | veränderliche Einwirkungen ($Q_k$) |
|---|---|---|
| | $\gamma_G$ | $\gamma_Q$ |
| günstige Auswirkung | 1,00 | 0 |
| ungünstige Auswirkung | 1,35 | 1,50 |

## Definition der Nutzungsklassen (NKL)

| Nutzungsklasse | Gleichgewichts-feuchte | umgebende Luft (bis auf einige Wochen im Jahr) | |
|---|---|---|---|
| 1 | 5 bis 15 %[a] | 20°C / 65 % rel. Luftfeuchte | z.B. allseitig geschlossene und beheizte Bauwerke |
| 2 | 10 bis 20 %[b] | 20°C / 85 % rel. Luftfeuchte | z.B. überdachte, offene Bauwerke |
| 3 | 12 bis 24 % | | z.B. Konstruktionen, die der Witterung ausgesetzt sind |

[a] In den meisten Nadelhölzern wird in der Nutzungsklasse 1 eine mittlere Ausgleichsfeuchte von 12 % nicht überschritten.

[b] In den meisten Nadelhölzern wird in der Nutzungsklasse 2 eine mittlere Ausgleichsfeuchte von 20 % nicht überschritten.

[c] Die Nutzungsklasse 3 schließt auch Bauwerke ein, in denen sich höhere Gleichgewichtsfeuchten einstellen.

## Teilsicherheitsbeiwerte $\gamma_M$ für Festigkeitseigenschaften in ständigen und vorübergehenden Bemessungssituationen

| Baustoff | $\gamma_M$ |
|---|---|
| Holz, Holz- und Gipswerkstoffe | 1,3 |
| Stahl in Verbindungen: | |
| auf Biegung beanspruchte stiftförmige Verbindungsmittel | 1,3 |
| auf Zug oder Scheren beanspruchte Teile beim Nachweis gegen die Streckgrenze im Nettoquerschnitt | 1,3 |

## 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 | kürzer als eine Minute |

Einwirkungen aus Temperatur- und Feuchteänderung sind der KLED „mittel" zuzuordnen.

## Rechenwerte für die Modifikationsbeiwerte $k_{mod}$

| Baustoff und Klasse der Lasteinwirkungsdauer | Nutzungsklasse 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|
| **Vollholz**<br>**Brettschichtholz**<br>**Balkenschichtholz**[2]<br>**Furnierschichtholz**<br>**Brettsperrholz**[2]<br>**Massivholzplatten**[2]<br>**Sperrholz** | | | |
| ständig | 0,60 | 0,60 | 0,50 |
| lang | 0,70 | 0,70 | 0,55 |
| mittel | 0,80 | 0,80 | 0,65 |
| kurz | 0,90 | 0,90 | 0,70 |
| sehr kurz | 1,10 | 1,10 | 0,90 |
| **OSB-Platten**<br>(Typen OSB/3 und OSB/4 nach DIN EN 300:2006-09) | | | |
| ständig | 0,40 | 0,30 | - |
| lang | 0,50 | 0,40 | - |
| mittel | 0,70 | 0,55 | - |
| kurz | 0,90 | 0,70 | - |
| sehr kurz | 1,10 | 0,90 | - |

| Baustoff und Klasse der Lasteinwirkungsdauer | Nutzungsklasse 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|
| **Kunstharzgebundene Spanplatten**<br>**Zementgebundene Spanplatten**<br>**Faserplatten - hart**<br>(Typ HB.HLA2 DIN EN 622-2:2004-07)<br>**OSB-Platten** (Typ OSB/2[1]) | | | |
| ständig | 0,30 | 0,20 | - |
| lang | 0,45 | 0,30 | - |
| mittel | 0,65 | 0,45 | - |
| kurz | 0,85 | 0,60 | - |
| sehr kurz | 1,10 | 0,80 | - |
| **Faserplatten**[1] **- mittelhart**<br>(Typ MBH.LA2 DIN EN 622-3:2004-07)<br>**Gipsplatten** (Typen GKB[1], GKF[1], GKBI und GKFI nach DIN 18180) | | | |
| ständig | 0,20 | 0,15 | - |
| lang | 0,40 | 0,30 | - |
| mittel | 0,60 | 0,45 | - |
| kurz | 0,80 | 0,60 | - |
| sehr kurz | 1,10 | 0,80 | - |

1) nur in Nutzungsklasse 1 2) nicht in Nutzungsklasse 3

## Rechenwerte für die Verformungsbeiwerte $k_{def}$ für Baustoffe und ihre Verbindungen bei ständiger und quasi-ständiger Lasteinwirkung

| Baustoff | Nutzungsklasse 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|
| **Vollholz**[1]<br>**Brettschichtholz**<br>**Balkenschichtholz**[4]<br>**Furnierschichtholz**[2]<br>**Brettsperrholz**[4]<br>**Massivholzplatten** | 0,60 | 0,80 | 2,00 |
| **Sperrholz**<br>**Furnierschichtholz**[3] | 0,80 | 1,00 | 2,50 |
| **OSB-Platten**<br>(Typen OSB/3 und OSB/4 nach DIN EN 300:2006-09) | 1,50 | 2,25 | - |

| Baustoff | Nutzungsklasse 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|
| **Kunstharzgebundene Spanplatten**<br>**Zementgebundene Spanplatten**<br>**Faserplatten - hart**<br>(Typ HB.HLA2 DIN EN 622-2:2004-07) | 2,25 | 3,00 | - |
| **OSB-Platten**<br>(Typ OSB/2[5]) | | | |
| **Faserplatten**[5] **- mittelhart**<br>(Typ MBH.LA2 DIN EN 622-3:2004-07)<br>**Gipsplatten** | 3,00 | 4,00 | - |

1) Die Werte für $k_{def}$ für Vollholz, dessen Feuchte beim Einbau im Fasersättigungsbereich oder darüber liegt und im eingebauten Zustand austrocknen kann, sind um 1,0 zu erhöhen.
2) mit allen Furnieren faserparallel
3) mit Querfurnieren
4) nicht in NKL 3 zugelassen
5) nur in NKL 1

## 2. Baustoffkennwerte

### Rechenwerte für die charakteristischen Festigkeits-, Steifigkeits- und Rohdichtekennwerte für maßgebende Nadelhölzer und Laubholz nach DIN EN 338:2010-02

| Festigkeitsklasse | | C 24 [7] | C 30 [7] | D 30 [8] | D 35 [9] | D 40 [10] | D 60 [11] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Sortierklasse nach DIN 4074-1, Güteklasse nach DIN 4074-2 bzw. DIN 4074-5 [3] [4] [5] [6] | | S10/C24 M II | S13/C30 M I | LS10 | LS10 | LS10/ LS13 | LS10 |
| **Festigkeitskennwerte in N/mm²** | | | | | | | |
| Biegung [12] | $f_{m,k}$ | 24,0 | 30,0 | 30,0 | 35,0 | 40,0 | 60,0 |
| Zug parallel [12] | $f_{t,0,k}$ | 14,0 | 18,0 | 18,0 | 21,0 | 24,0 | 36,0 |
| Zug rechtwinklig | $f_{t,90,k}$ | 0,4 | 0,4 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 |
| Druck parallel | $f_{c,0,k}$ | 21,0 | 23,0 | 23,0 | 25,0 | 26,0 | 32,0 |
| Druck rechtwinklig | $f_{c,90,k}$ | 2,5 | 2,7 | 8,0 | 8,1 | 8,3 | 10,5 |
| Schub und Torsion | $f_{v,k}$ | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,5 |
| Rollschub [2] | $f_{R,k}$ | 0,8 | 0,8 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 |
| **Steifigkeitskennwerte in N/mm²** | | | | | | | |
| Elastizitätsmodul parallel [1] | $E_{0,mean}$ | 11000 | 12000 | 11000 | 12000 | 13000 | 17000 |
| Elastizitätsmodul rechtwinklig [1] | $E_{90,mean}$ | 370 | 400 | 730 | 800 | 860 | 1130 |
| Schubmodul [1] [2] | $G_{mean}$ | 690 | 750 | 690 | 750 | 810 | 1060 |
| **Rohdichtekennwerte in kg/m³** | $\rho_k$ | 350 | 380 | 530 | 540 | 550 | 700 |

1) Für die charakteristischen Steifigkeitskennwerte $E_{0,05}$, $E_{90,05}$ und $G_{05}$ gelten die Rechenwerte:
für Nadelholz: nach DIN EN 338: $E_{0,05} = 0{,}67 \cdot E_{0,mean}$ nach DIN EN 1995-1-1/NA, 3.2: $G_{05} = 2/3 \cdot G_{mean}$
für Laubholz: nach DIN EN 338: $E_{0,05} = 0{,}84 \cdot E_{0,mean}$ nach DIN EN 1995-1-1/NA, 3.2: $G_{05} = 2/3 \cdot G_{mean}$
2) Die Rollschubfestigkeit beträgt gemäß DIN EN 1995-1-1, 6.1.7, näherungsweise das doppelte von $f_{t,90,k}$.
3) Diese Zuordnung gilt für trocken sortiertes Holz (TS).
4) Vorwiegend hochkant biegebeanspruchte Bretter sind wie Kanthölzer zu sortieren und entsprechend zu kennzeichnen (k).
5) Grundsätzlich kann Nadelholz maschinell in jede gewünschte Festigkeitsklasse sortiert werden.
6) Grundsätzlich kann Laubholz maschinell in jede gewünschte Festigkeitsklasse sortiert werden.
7) Holzarten: Fichte, Tanne, Kiefer, Lärche, Douglasie, Southern Pine, Western Hemlock, Yellow Cedar
8) Holzart: Eiche, Teak, Keruing 9) Holzart: Buche 10) Holzart: Buche, Afzelia, Merbau, Angelique (Basralocus)
11) Holzart: Azobé (Bongossi), Ipe (Rohdichte mindestens 1000 kg/m³)
12) Bei Vollholz mit Rechteckquerschnitt, $\rho_K \leq 700$kg/m³ und einer Querschnittsbreite bzw. -höhe ≤ 150mm darf der charakteristische Festigkeitswert mit dem Beiwert $k_h = (150/h)^{0,2} \leq 1{,}3$ multipliziert werden.

### Rechenwerte für die charakteristischen Festigkeits-, Steifigkeits- und Rohdichtekennwerte für homogenes (h) und kombiniertes (c) Brettschichtholz nach DIN 1052:2008-12 (Ausnahme $f_{v,k} = 3{,}5$ N/mm²)

| Festigkeitsklasse | | GL 24 | | GL 28 | | GL 32 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| frühere Bezeichnung | | BS 11 | | BS 11 | | BS 16 | |
| homogenes (h) / kombiniertes (c) | | h | c | h | c | h | c |
| **Festigkeitskennwerte in N/mm²** | | | | | | | |
| Biegung [1] [2] | $f_{m,g,k}$ | 24,0 | | 28,0 | | 32,0 | |
| Zug parallel [2] | $f_{t,0,g,k}$ | 16,5 | 14,0 | 19,5 | 16,5 | 22,5 | 19,5 |
| Zug rechtwinklig | $f_{t,90,g,k}$ | 0,5 | | | | | |
| Druck parallel | $f_{c,0,g,k}$ | 24,0 | 21,0 | 26,5 | 24,0 | 29,0 | 26,5 |
| Druck rechtwinklig | $f_{c,90,g,k}$ | 2,7 | 2,4 | 3,0 | 2,7 | 3,3 | 3,0 |
| Schub und Torsion | $f_{v,g,k}$ | 3,5 | | | | | |
| Rollschub | $f_{R,g,k}$ | 1,0 | | | | | |
| **Steifigkeitskennwerte in N/mm²** | | | | | | | |
| Elastizitätsmodul parallel [3] | $E_{0,g,mean}$ | 11600 | 11600 | 12600 | 12600 | 13700 | 13700 |
| Elastizitätsmodul rechtwinklig [3] | $E_{90,g,mean}$ | 390 | 320 | 420 | 390 | 460 | 420 |
| Schubmodul [3] [4] | $G_{g,mean}$ | 720 | 590 | 780 | 720 | 850 | 780 |
| **Rohdichtekennwerte in kg/m³** | $\rho_{g,k}$ | 380 | 350 | 410 | 380 | 430 | 410 |

1) Bei Brettschichtholzträgern mit einer Querschnitthöhe bzw. –breite ≤ 600 mm darf der charakteristische Festigkeitswert mit dem Beiwert $k_h = (600/h)^{0,10} \leq 1{,}1$ multipliziert werden.
2) Bei Hochkant-Biegebeanspruchung der Lamellen von homogenem Brettschichtholz aus mindestens vier nebeneinander liegenden Lamellen darf der charakteristische Festigkeitswert mit dem Systembeiwert $k_l = 1{,}2$ multipliziert werden.
3) Für die charakteristischen Steifigkeitskennwerte $E_{0,05}$, $E_{90,05}$ und $G_{05}$ gelten die Rechenwerte:
für Brettschichtholz: nach DIN 1052: $E_{0,05} = 5/6 \cdot E_{0,mean}$ $E_{90,05} = 5/6 \cdot E_{90,mean}$ $G_{05} = 5/6 \cdot G_{mean}$
4) Der zur Rollschubbeanspruchung gehörende Schubmodul darf mit $G_{R,mean} = 0{,}10 \cdot G_{mean}$ angenommen werden.

### Rechenwerte für das Schwind- und Quellmaß rechtwinklig zur Faserrichtung [1) 2)]

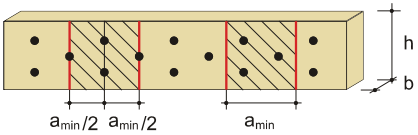
| Baustoff | Fichte, Kiefer, Tanne, Lärche, Eiche | Buche | Teak, Yellow Cedar | Azobé (Bongossi) |
|---|---|---|---|---|
| Schwind- und Quellmaß in % für Änderungen der Holzfeuchte um 1 % unterhalb des Fasersättigungsbereiches | 0,25 | 0,30 | 0,20 | 0,36 |

1) In Faserrichtung des Holzes gilt ein Rechenwert von 0,01 %.
2) Die Fasersättigung darf für alle Holzarten rechnerisch bei 30 % Holzfeuchte angenommen werden.

## 3. Nachweise der Querschnittstragfähigkeit

### Querschnittsschwächungen

Querschnittsschwächungen sind rechnerisch zu berücksichtigen. Nicht vorgebohrte Nagellöcher mit $d \leq 6$ mm und nicht vorgebohrte Holzschrauben mit $d \leq 6$ mm stellen keine Querschnittsschwächung dar. Nicht zu berücksichtigen sind Löcher in der Druckzone von Bauteilen, die mit einem Material ausgefüllt sind, dessen Steifigkeit größer ist als die des Holzes.
Bei der Bestimmung des wirksamen Querschnitts bei Verbindungen mit mehreren Verbindungsmittelreihen sind alle Löcher, die weniger als der **halbe Mindestabstand der Verbindungsmittel in Faserrichtung** vom betrachteten Querschnitt entfernt liegen, zu berücksichtigen.




### Zug und Druck parallel zur Faser

Zug parallel zur Faser:

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d}$ | $\sigma_{t,0,d} = \frac{F_{t,0,d}}{A_n}$ | $f_{t,0,d}$<br>$F_{t,0,d}$<br>$A_n$ | Bemessungswert der Zugfestigkeit II zur Faser<br>Bemessungswert der mittigen Zugkraft<br>Nettoquerschnittsfläche |

Druck parallel zur Faser:

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d}$ | $\sigma_{c,0,d} = \frac{F_{c,0,d}}{A_n}$ | $f_{c,0,d}$<br>$F_{c,0,d}$<br>$A_n$ | Bemessungswert der Druckfestigkeit II zur Faser<br>Bemessungswert der mittigen Druckkraft<br>Nettoquerschnittsfläche |

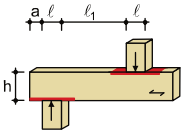
### Zug unter einem Winkel $\alpha$ zur Faser ($\alpha \neq 0°$)
### Für Sperrholz, Brettsperrholz, Massivholz- und OSB-Platten und Furnierschichtholz mit Querlagen

| | | |
|---|---|---|
| $\frac{\sigma_{t,\alpha,d}}{k_\alpha \cdot f_{t,0,d}} \leq 1$ | $\sigma_{t,\alpha,d} = \frac{F_{t,\alpha,d}}{A_n}$ | $k_\alpha = \frac{1}{\frac{f_{t,0,d}}{f_{t,90,d}} \cdot \sin^2\alpha + \frac{f_{t,0,d}}{f_{v,d}} \cdot \sin\alpha \cdot \cos\alpha + \cos^2\alpha}$ |

| | |
|---|---|
| $\alpha$ | Winkel zwischen Beanspruchungsrichtung und Faserrichtung bzw. Spanrichtung der Decklagen ($0° < \alpha < 90°$) |
| $f_{t,0,d}$ | Bemessungswert der Zugfestigkeit parallel zur Faserrichtung |
| $f_{t,90,d}$ | Bemessungswert der Zugfestigkeit rechtwinklig zur Faserrichtung |
| $f_{v,d}$ | Bemessungswert der Schubfestigkeit |
| $F_{t,\alpha,d}$ | Bemessungswert der Zugkraft unter dem Winkel $\alpha$ zur Faser |
| $A_n$ | Nettoquerschnittsfläche |

## Druck rechtwinklig zur Faser ($\alpha = 90°$)

**Einzellagerung**
**(entspricht Auflagerdruck)**

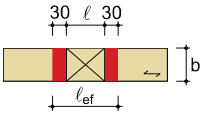



$$\sigma_{c,90,d} \le k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}$$

$f_{c,90,d}$ Bemessungswert der Druckfestigkeit ⊥ zur Faser

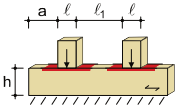
$F_{c,90,d}$ Bemessungswert der Druckkraft ⊥ zur Faser

$A_{ef}$ wirksame Querdruckfläche




An jedem Rand in Faserrichtung des Holzes darf die Aufstandsfläche $\ell$ um bis zu 30 mm verlängert werden, aber um nicht mehr als a, $\ell$ oder $\ell_1/2$.

**Kontinuierliche Lagerung**
**(entspricht Schwellendruck)**




$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,90,d}}{A_{ef}}$$

$$A_{ef} = b \cdot \ell_{ef}$$

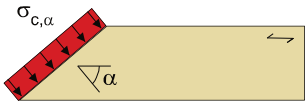
$k_{c,90} = 1,0$ für NVH und BSH $\ell_1 < 2 \cdot h$ sowie für LH

$k_{c,90} = 1,25$ für NVH mit $\ell_1 \ge 2 \cdot h$ bei Schwellendruck

$k_{c,90} = 1,5$ für BSH mit $\ell_1 \ge 2 \cdot h$ bei Schwellendruck, für NVH mit $\ell_1 \ge 2 \cdot h$ bei Auflagerdruck und bei Auflagerdruck bei Auflagerknoten von Stabwerken mit indirekten Verbindungen

$k_{c,90} = 1,75$ für BSH mit $\ell_1 \ge 2 \cdot h$ bei Auflagerdruck

## Druck unter einem Winkel $\alpha$ zur Faser ($\alpha \neq 0°$) nach DIN EN 1995-1-1 und NA




$$\sigma_{c,\alpha,d} \le f_{c,\alpha,d}$$

$$\sigma_{c,\alpha,d} = \frac{F_{c,\alpha,d}}{A_{ef}}$$

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

$\alpha$ Winkel zwischen Beanspruchung und Faserrichtung des Holzes bzw. Spanrichtung der Decklagen ($0° < \alpha < 90°$)

$F_{c,\alpha,d}$ Bemessungswert der Druckkraft im Winkel $\alpha$ zur Faserrichtung

$A_{ef}$ wirksame Druckfläche

$f_{c,0,d}$ Bemessungswert der Druckfestigkeit II zur Faser

$f_{c,90,d}$ Bemessungswert der Druckfestigkeit ⊥ zur Faser

$k_{c,90}$ Beiwert siehe Druck rechtwinklig zur Faser

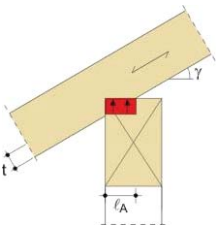
Abminderungsbeiwert $k_{c,\alpha}$ für verschiedene Hölzer und Winkel mit:

$$k_{c,\alpha} = \frac{1}{\frac{f_{c,0,d}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} \cdot \sin^2\alpha + \cos^2\alpha}$$

Werte siehe nachfolgende Tabelle

**Charakteristische Beanspruchbarkeit $F_k$** eines Sparrenauflagers in kN

Sparren und Pfette bestehen aus NH C24 mit jeweils $k_{c,90} = 1,50$



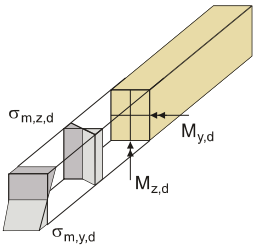

| Sparrenbreite b [mm] | Kerventiefe t [mm] | Dachneigung γ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 25° | 30° | 35° | 40° | 45° | 50° |
| 60 | 25 | 15,60 | 14,16 | 13,44 | 13,25 | 13,50 | 14,18 |
| | 30 | 18,72 | 16,99 | 16,13 | 15,90 | 16,20 | 17,01 |
| | 40 | 24,96 | 22,65 | 21,50 | 21,19 | 21,60 | 22,68 |
| 80 | 25 | 20,80 | 18,88 | 17,92 | 17,66 | 18,00 | 17,13 |
| | 30 | 24,96 | 22,65 | 21,50 | 21,19 | 21,60 | 20,56 |
| | 40 | 33,28 | 30,20 | 28,67 | 28,26 | 28,80 | 27,41 |

Beiwerte $k_{c,\alpha}$ für **Nadelholz, Laubholz und Brettschichtholz**

| | NH C24 $k_{c,90}$ = | | | Laubholz $k_{c,90}$ = 1,0 | | | | Beiwert $f_{c,\alpha}$ für **Brettschichtholz** $k_{c,90}$ = 1,0 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| α | 1,0 | 1,25 | 1,50 | D30 | D35 | D40 | D60 | GL 24h | GL 24c | GL 28h | GL 28c | GL 32h | GL 32c | α |
| 0° | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0° |
| 10° | 0,818 | 0,853 | 0,878 | 0,946 | 0,941 | 0,940 | 0,942 | 0,808 | 0,795 | 0,809 | 0,808 | 0,810 | 0,809 | 10° |
| 20° | 0,536 | 0,599 | 0,650 | 0,820 | 0,804 | 0,800 | 0,807 | 0,520 | 0,500 | 0,522 | 0,520 | 0,523 | 0,522 | 20° |
| 25° | 0,431 | 0,495 | 0,549 | 0,749 | 0,729 | 0,724 | 0,732 | 0,415 | 0,396 | 0,417 | 0,415 | 0,418 | 0,417 | 25° |
| 30° | 0,351 | 0,412 | 0,465 | 0,681 | 0,657 | 0,652 | 0,661 | 0,336 | 0,319 | 0,338 | 0,336 | 0,339 | 0,338 | 30° |
| 32° | 0,325 | 0,384 | 0,436 | 0,655 | 0,631 | 0,625 | 0,635 | 0,311 | 0,294 | 0,313 | 0,311 | 0,314 | 0,313 | 32° |
| 34° | 0,302 | 0,359 | 0,410 | 0,630 | 0,605 | 0,600 | 0,610 | 0,288 | 0,272 | 0,290 | 0,288 | 0,291 | 0,290 | 34° |
| 35° | 0,291 | 0,347 | 0,398 | 0,618 | 0,593 | 0,588 | 0,597 | 0,278 | 0,262 | 0,280 | 0,278 | 0,281 | 0,280 | 35° |
| 36° | 0,281 | 0,336 | 0,386 | 0,607 | 0,581 | 0,576 | 0,586 | 0,268 | 0,253 | 0,270 | 0,268 | 0,271 | 0,270 | 36° |
| 38° | 0,263 | 0,316 | 0,364 | 0,585 | 0,558 | 0,553 | 0,563 | 0,251 | 0,236 | 0,252 | 0,251 | 0,253 | 0,252 | 38° |
| 40° | 0,246 | 0,297 | 0,345 | 0,563 | 0,537 | 0,532 | 0,542 | 0,235 | 0,221 | 0,236 | 0,235 | 0,237 | 0,236 | 40° |
| 42° | 0,232 | 0,281 | 0,327 | 0,544 | 0,517 | 0,512 | 0,522 | 0,221 | 0,207 | 0,222 | 0,221 | 0,223 | 0,222 | 42° |
| 44° | 0,219 | 0,266 | 0,311 | 0,525 | 0,498 | 0,493 | 0,503 | 0,208 | 0,195 | 0,209 | 0,208 | 0,210 | 0,209 | 44° |
| 45° | 0,213 | 0,259 | 0,303 | 0,516 | 0,489 | 0,484 | 0,494 | 0,202 | 0,190 | 0,203 | 0,202 | 0,204 | 0,203 | 45° |
| 46° | 0,207 | 0,253 | 0,296 | 0,508 | 0,481 | 0,475 | 0,486 | 0,197 | 0,184 | 0,198 | 0,197 | 0,199 | 0,198 | 46° |
| 48° | 0,197 | 0,240 | 0,282 | 0,491 | 0,465 | 0,459 | 0,469 | 0,187 | 0,175 | 0,188 | 0,187 | 0,189 | 0,188 | 48° |
| 50° | 0,187 | 0,230 | 0,270 | 0,476 | 0,450 | 0,444 | 0,454 | 0,178 | 0,166 | 0,179 | 0,178 | 0,180 | 0,179 | 50° |
| 52° | 0,179 | 0,220 | 0,259 | 0,462 | 0,436 | 0,430 | 0,440 | 0,170 | 0,159 | 0,171 | 0,170 | 0,171 | 0,171 | 52° |
| 54° | 0,171 | 0,211 | 0,249 | 0,449 | 0,423 | 0,417 | 0,427 | 0,162 | 0,152 | 0,163 | 0,162 | 0,164 | 0,163 | 54° |
| 56° | 0,164 | 0,203 | 0,240 | 0,437 | 0,411 | 0,406 | 0,415 | 0,156 | 0,145 | 0,157 | 0,156 | 0,157 | 0,157 | 56° |
| 58° | 0,158 | 0,196 | 0,232 | 0,426 | 0,400 | 0,395 | 0,404 | 0,150 | 0,140 | 0,151 | 0,150 | 0,151 | 0,151 | 58° |
| 60° | 0,153 | 0,189 | 0,225 | 0,416 | 0,390 | 0,385 | 0,394 | 0,145 | 0,135 | 0,145 | 0,145 | 0,146 | 0,145 | 60° |
| 70° | 0,133 | 0,165 | 0,198 | 0,377 | 0,352 | 0,347 | 0,356 | 0,126 | 0,117 | 0,126 | 0,126 | 0,127 | 0,126 | 70° |
| 80° | 0,122 | 0,153 | 0,183 | 0,355 | 0,331 | 0,326 | 0,335 | 0,116 | 0,108 | 0,116 | 0,116 | 0,117 | 0,116 | 80° |
| 90° | 0,119 | 0,149 | 0,179 | 0,348 | 0,324 | 0,319 | 0,328 | 0,113 | 0,105 | 0,113 | 0,113 | 0,114 | 0,113 | 90° |

| | Beiwert $k_{c,\alpha}$ für **Brettschichtholz** $k_{c,90}$ = 1,50 | | | | | | Beiwert $k_{c,\alpha}$ für **Brettschichtholz** $k_{c,90}$ = 1,75 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| α | GL 24h | GL 24c | GL 28h | GL 28c | GL 32h | GL 32c | GL 24h | GL 24c | GL 28h | GL 28c | GL 32h | GL 32c | α |
| 0° | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0° |
| 10° | 0,871 | 0,861 | 0,872 | 0,871 | 0,872 | 0,872 | 0,890 | 0,882 | 0,891 | 0,890 | 0,892 | 0,891 | 10° |
| 20° | 0,634 | 0,614 | 0,636 | 0,634 | 0,638 | 0,636 | 0,677 | 0,657 | 0,679 | 0,677 | 0,680 | 0,679 | 20° |
| 25° | 0,532 | 0,511 | 0,534 | 0,532 | 0,535 | 0,534 | 0,579 | 0,557 | 0,580 | 0,579 | 0,582 | 0,580 | 25° |
| 30° | 0,448 | 0,427 | 0,450 | 0,448 | 0,452 | 0,450 | 0,495 | 0,473 | 0,497 | 0,495 | 0,499 | 0,497 | 30° |
| 32° | 0,420 | 0,399 | 0,421 | 0,420 | 0,423 | 0,421 | 0,466 | 0,444 | 0,468 | 0,466 | 0,470 | 0,468 | 32° |
| 34° | 0,394 | 0,374 | 0,395 | 0,394 | 0,397 | 0,395 | 0,439 | 0,418 | 0,441 | 0,439 | 0,443 | 0,441 | 34° |
| 35° | 0,382 | 0,362 | 0,383 | 0,382 | 0,385 | 0,383 | 0,427 | 0,406 | 0,429 | 0,427 | 0,430 | 0,429 | 35° |
| 36° | 0,370 | 0,350 | 0,372 | 0,370 | 0,373 | 0,372 | 0,415 | 0,394 | 0,417 | 0,415 | 0,419 | 0,417 | 36° |
| 38° | 0,349 | 0,330 | 0,350 | 0,349 | 0,352 | 0,350 | 0,393 | 0,372 | 0,395 | 0,393 | 0,396 | 0,395 | 38° |
| 40° | 0,329 | 0,311 | 0,331 | 0,329 | 0,333 | 0,331 | 0,372 | 0,352 | 0,374 | 0,372 | 0,376 | 0,374 | 40° |
| 42° | 0,312 | 0,294 | 0,314 | 0,312 | 0,315 | 0,314 | 0,354 | 0,334 | 0,356 | 0,354 | 0,357 | 0,356 | 42° |
| 44° | 0,296 | 0,279 | 0,298 | 0,296 | 0,299 | 0,298 | 0,337 | 0,318 | 0,339 | 0,337 | 0,340 | 0,339 | 44° |
| 45° | 0,289 | 0,272 | 0,290 | 0,289 | 0,292 | 0,290 | 0,329 | 0,310 | 0,331 | 0,329 | 0,332 | 0,331 | 45° |
| 46° | 0,282 | 0,265 | 0,283 | 0,282 | 0,285 | 0,283 | 0,321 | 0,303 | 0,323 | 0,321 | 0,325 | 0,323 | 46° |
| 48° | 0,269 | 0,252 | 0,270 | 0,269 | 0,272 | 0,270 | 0,307 | 0,289 | 0,309 | 0,307 | 0,310 | 0,309 | 48° |
| 50° | 0,257 | 0,241 | 0,258 | 0,257 | 0,260 | 0,258 | 0,295 | 0,277 | 0,296 | 0,295 | 0,298 | 0,296 | 50° |
| 52° | 0,246 | 0,231 | 0,248 | 0,246 | 0,249 | 0,248 | 0,283 | 0,266 | 0,285 | 0,283 | 0,286 | 0,285 | 52° |
| 54° | 0,237 | 0,222 | 0,238 | 0,237 | 0,239 | 0,238 | 0,272 | 0,255 | 0,274 | 0,272 | 0,275 | 0,274 | 54° |
| 56° | 0,228 | 0,213 | 0,229 | 0,228 | 0,230 | 0,229 | 0,263 | 0,246 | 0,264 | 0,263 | 0,266 | 0,264 | 56° |
| 58° | 0,220 | 0,206 | 0,221 | 0,220 | 0,223 | 0,221 | 0,254 | 0,238 | 0,256 | 0,254 | 0,257 | 0,256 | 58° |
| 60° | 0,213 | 0,199 | 0,214 | 0,213 | 0,215 | 0,214 | 0,246 | 0,230 | 0,248 | 0,246 | 0,249 | 0,248 | 60° |
| 70° | 0,187 | 0,174 | 0,188 | 0,187 | 0,189 | 0,188 | 0,217 | 0,203 | 0,219 | 0,217 | 0,220 | 0,219 | 70° |
| 80° | 0,173 | 0,161 | 0,174 | 0,173 | 0,175 | 0,174 | 0,202 | 0,188 | 0,203 | 0,202 | 0,204 | 0,203 | 80° |
| 90° | 0,169 | 0,157 | 0,170 | 0,169 | 0,171 | 0,170 | 0,197 | 0,183 | 0,198 | 0,197 | 0,199 | 0,198 | 90° |

## Biegung




$$k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \le 1$$

und

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \le 1$$

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

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

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

$k_m = 0{,}7$ für Rechteckquerschnitte von VH, BSH und Furnierschichtholz

$k_m = 1{,}0$ für andere Querschnitte und andere tragende Holzwerkstoffe

## Biegung und Zug

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

## Biegung und Druck

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

## Erhöhung der Zug- und Biegefestigkeit bei Brettschichtholz

Bei Brettschichtholzträgern mit einer Querschnittshöhe bzw. -breite ≤ 600 mm darf der charakteristische Festigkeitswert mit dem Beiwert $k_h = (600 / h)^{0,10} \le 1{,}1$ multipliziert werden.

| h | < 230 | 240 | 280 | 320 | 360 | 400 | 440 | 480 | 520 | 560 | 600 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $k_h$ | 1,10 | 1,096 | 1,079 | 1,065 | 1,052 | 1,041 | 1,032 | 1,023 | 1,014 | 1,007 | 1,00 |

| $k_h$ | 1,10 | 1,09 | 1,08 | 1,07 | 1,06 | 1,05 | 1,04 | 1,03 | 1,02 | 1,01 | 1,00 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| h | 231 | 253 | 278 | 305 | 335 | 368 | 405 | 446 | 492 | 543 | 600 |

Bei Hochkant-Biegebeanspruchung der Lamellen von homogenem Brettschichtholz mit mindestens vier Lamellen darf der charakteristische Wert der Biegefestigkeit um 20% vergrößert werden.

## Erhöhung der Zug- und Biegefestigkeit bei Vollholz

Bei Vollholz mit Rechteckquerschnitt, $\rho_K \le 700 kg/m^3$ und einer Querschnittshöhe bzw. –breite ≤ 150mm darf der charakteristische Festigkeitswert mit dem Beiwert $k_h = (150/h)^{0,2} \le 1{,}3$ multipliziert werden.

| h | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | 130 | 140 | 150 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $k_h$ | 1,246 | 1,201 | 1,165 | 1,134 | 1,108 | 1,085 | 1,064 | 1,046 | 1,029 | 1,014 | 1,00 |

| $k_h$ | 1,30 | 1,27 | 1,24 | 1,21 | 1,18 | 1,15 | 1,12 | 1,09 | 1,06 | 1,03 | 1,0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| h | 40 | 45 | 51 | 57 | 65 | 74 | 85 | 97 | 112 | 129 | 150 |

## Schub

Schubnachweis bei einachsiger Biegung: $\tau_d \le f_{v,d}$

Schubspannung aus Querkraft (allgemein): $\tau_d = \frac{V_d \cdot S}{I \cdot b_{ef}}$

Rechteckquerschnitte: $\tau_d = 1{,}5 \cdot \frac{V_d}{A_{ef}}$

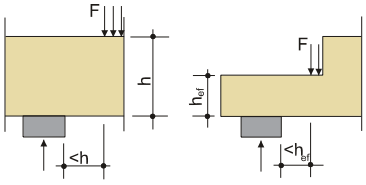
Kreisquerschnitte: $\tau_d = \frac{4}{3} \cdot \frac{V_d}{A_{ef}}$

| | |
|---|---|
| $f_{v,d}$ | Bemessungswert der Schubfestigkeit |
| $V_d$ | Bemessungswert der Querkraft |
| $S$ | Flächenmoment 1. Grades (Statisches Moment) |
| $I$ | Flächenmoment 2. Grades (Trägheitsmoment) |
| $b$ | Querschnittsbreite an der Stelle, an der $\tau$ wirkt |
| $h$ | Querschnittshöhe |
| $A_{ef} = b_{ef} \cdot h$ | effektive Querschnittsfläche |
| $b_{ef} = k_{cr} \cdot b$ | effektive Querschnittsbreite |

Nach DIN EN 1995-1-1/NA gilt:

| | |
|---|---|
| $k_{cr} = 0{,}67$ | Vollholz aus Laubholz |
| $k_{cr} = \frac{2{,}0}{f_{v,k}}$ | Vollholz und Balkenschichtholz aus NH<br>Erhöhung von $k_{cr}$ bei NH um 30% in Bereichen zulässig, die mindestens 1,50 m vom Hirnholzende entfernt liegen. |
| $k_{cr} = \frac{2{,}5}{f_{v,g,k}}$ | Brettschichtholz |
| $k_{cr} = 1{,}0$ | andere holzbasierte Produkte |

Maßgebende Querkraft $V_{red}$ bei End- und Zwischenauflagern von Biegeträgern (ohne Ausklinkungen und Durchbrüche) mit Lastangriff am oberen Trägerrand:




Der Anteil einer Einzellast darf bei der gesamten Querkraft vernachlässigt werden, wenn sie im Bereich h oder $h_{ef}$ angreift. Gilt sinngemäß auch für Querkraft aus Linienlast.

Für Biegeträger ohne Ausklinkung darf die maßgebende Querkraft in Abstand h vom Auflager angenommen werden.

h Trägerhöhe über der Auflagermitte

V Auflagerkraft infolge F

Schubnachweis bei Doppelbiegung: $\left(\frac{\tau_{y,d}}{f_{v,d}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{z,d}}{f_{v,d}}\right)^2 \le 1$

Schubnachweis bei Torsion: $\tau_{tor,d} \le k_{shape} \cdot f_{v,d}$

Schubnachweis bei Querkraft und Torsion: $\frac{\tau_{tor,d}}{k_{shape} \cdot f_{v,d}} + \left(\frac{\tau_{y,d}}{f_{v,d}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{z,d}}{f_{v,d}}\right)^2 \le 1$

Bemessungswert der Schubspannung aus Torsion (für Rechteckquerschnitte): $\tau_{tor,d} = \frac{3 \cdot T_d}{h \cdot b^2} \cdot \eta$

mit $\eta$ (nach Larsen/ Riberholt 1994) für $h \ge b$: $\eta = 1 + 0{,}6 \cdot b/h$

| h / b | 1,00 | 1,25 | 1,50 | 2,00 | 3,00 | 4,00 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $\eta$ | 1,60 | 1,48 | 1,40 | 1,30 | 1,20 | 1,15 |

$k_{shape} = \min\left\{1 + 0{,}15 \cdot \frac{h}{b}; 2{,}0\right\}$ rechteckige Querschnitte

$k_{shape} = 1{,}2$ runde Querschnitte

h für die größere Querschnittsabmessung

b für die kleinere Querschnittsabmessung

## 4. Stabilität von Bauteilen

### Biegeknicken von Druckstäben

um die y-Achse

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

um die z-Achse

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

| | |
|---|---|
| $f_{c,0,d}$ | Bemessungswert der Druckfestigkeit in Faserrichtung |
| $k_{c,y(z)}$ | Knickbeiwert für Rechteckquerschnitte |
| $\sigma_{c,0,d}$ | Bemessungswert der Druckspannung in Faserrichtung |
| $k_m$ | Beiwert, siehe Nachweis Biegung |

Schlankheitsgrad (λ)

$$\lambda=\frac{\ell_{ef}}{i}\quad\text{mit}\quad\ell_{ef}=\beta\cdot s\quad\text{und}\quad i=\sqrt{\frac{I}{A}}$$

| | |
|---|---|
| $\ell_{ef}$ | Ersatzstablänge (Knicklänge) der Tragsysteme für das Ausknicken um die y- bzw. z-Achse |
| i | Trägheitsradius |
| β | Knicklängenbeiwert, siehe folgende Seite |
| s | Stablänge des Druckstabes |
| I | Flächenmoment 2. Grades (Trägheitsmoment) |
| A | Querschnittsfläche |

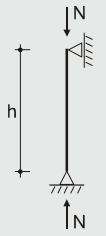
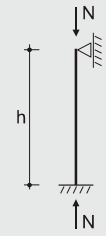
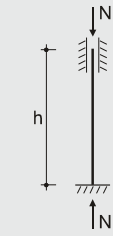
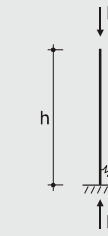
Knickbeiwert $k_c$ in Abhängigkeit von der Schlankheit λ

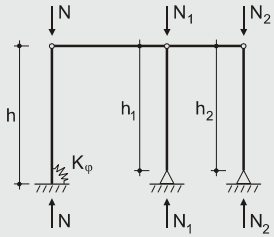
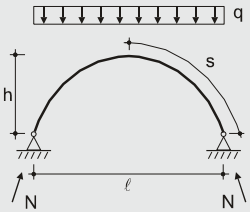
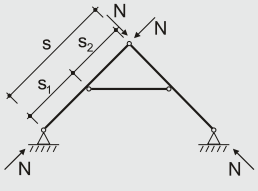
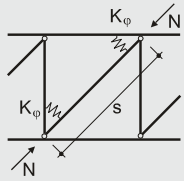
| | C 24 | C 30 | D 30 | D 35 | D 40 | D 60 | GL 24 h | GL 24 c | GL 28 h | GL 28 c | GL 32 h | GL 32 c |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $f_{c,0,k}$ | 21,0 | 23,0 | 23,0 | 25,0 | 26,0 | 32,0 | | | | | | |
| $f_{c,0,g,k}$ | | | | | | | 24,0 | 21,0 | 26,5 | 24,0 | 29,0 | 26,5 |
| $E_{0,mean}$ | 11000 | 12000 | 11000 | 12000 | 13000 | 17000 | 11600 | 11600 | 12600 | 12600 | 13700 | 13700 |
| $E_{0,05}$ | 7400 | 8000 | 9200 | 10100 | 10900 | 14300 | 9667 | 9667 | 10500 | 10500 | 11417 | 11417 |
| λ = 50 | 0,796 | 0,793 | 0,828 | 0,830 | 0,838 | 0,851 | 0,898 | 0,918 | 0,895 | 0,911 | 0,894 | 0,909 |
| λ = 60 | 0,676 | 0,671 | 0,723 | 0,726 | 0,739 | 0,759 | 0,806 | 0,848 | 0,800 | 0,833 | 0,798 | 0,828 |
| 70 | 0,554 | 0,548 | 0,605 | 0,609 | 0,624 | 0,649 | 0,675 | 0,736 | 0,667 | 0,713 | 0,664 | 0,706 |
| 80 | 0,450 | 0,445 | 0,498 | 0,502 | 0,516 | 0,542 | 0,548 | 0,611 | 0,541 | 0,587 | 0,538 | 0,580 |
| 90 | 0,368 | 0,364 | 0,411 | 0,414 | 0,427 | 0,450 | 0,446 | 0,502 | 0,440 | 0,480 | 0,437 | 0,474 |
| 100 | 0,305 | 0,302 | 0,342 | 0,345 | 0,356 | 0,377 | 0,368 | 0,416 | 0,362 | 0,397 | 0,360 | 0,391 |
| 110 | 0,256 | 0,253 | 0,288 | 0,291 | 0,301 | 0,318 | 0,307 | 0,349 | 0,303 | 0,332 | 0,301 | 0,328 |
| 120 | 0,218 | 0,216 | 0,245 | 0,248 | 0,256 | 0,272 | 0,260 | 0,296 | 0,256 | 0,282 | 0,255 | 0,278 |
| 130 | 0,188 | 0,185 | 0,211 | 0,213 | 0,221 | 0,234 | 0,223 | 0,254 | 0,220 | 0,242 | 0,218 | 0,238 |
| 140 | 0,163 | 0,161 | 0,184 | 0,186 | 0,192 | 0,204 | 0,193 | 0,220 | 0,190 | 0,210 | 0,189 | 0,207 |
| 150 | 0,143 | 0,141 | 0,161 | 0,163 | 0,169 | 0,179 | 0,169 | 0,193 | 0,167 | 0,183 | 0,165 | 0,181 |
| 160 | 0,126 | 0,125 | 0,143 | 0,144 | 0,149 | 0,159 | 0,149 | 0,170 | 0,147 | 0,162 | 0,146 | 0,159 |
| 170 | 0,112 | 0,111 | 0,127 | 0,128 | 0,133 | 0,141 | 0,133 | 0,151 | 0,130 | 0,144 | 0,130 | 0,142 |
| 180 | 0,101 | 0,099 | 0,114 | 0,115 | 0,119 | 0,127 | 0,118 | 0,135 | 0,117 | 0,128 | 0,116 | 0,127 |
| 190 | 0,091 | 0,090 | 0,103 | 0,104 | 0,107 | 0,114 | 0,107 | 0,121 | 0,105 | 0,116 | 0,104 | 0,114 |
| 200 | 0,082 | 0,081 | 0,093 | 0,094 | 0,097 | 0,103 | 0,096 | 0,110 | 0,095 | 0,104 | 0,094 | 0,103 |

Charakteristische Tragfähigkeit $F_{c,0,k}$ quadratischer Pendelstützen ($M_{y,k} = M_{z,k} = 0$) in kN für Nadelholz C24

| Maße [cm] | Ersatzstabverfahren Knicklänge $\ell_{ef}$ [m] 2,50 | 3,00 | 3,50 | 4,00 | 4,50 | 5,00 | 5,50 | Theorie II. Ordnung |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 10/10 | 82,8 | 59,9 | 45,0 | 35,0 | 28,0 | 22,8 | 19,0 | Vergleichende Nachweise mit Theorie II. Ordnung verhalten sich in Abhängigkeit von $k_{mod}$ wie folgt: |
| 12/12 | 160,3 | 119,2 | 90,8 | 71,0 | 57,0 | 46,6 | 38,9 | $k_{mod} = 1,0$ etwa gleiche Ergebnisse |
| 14/14 | 269,1 | 209,0 | 162,2 | 128,2 | 103,4 | 85,0 | 71,0 | $k_{mod} = 0,9$ bei großer Schlankheit geringere Ausnutzung |
| 16/16 | 403,1 | 330,6 | 264,3 | 211,9 | 172,3 | 142,3 | 119,2 | |
| 18/18 | 555,5 | 480,2 | 398,5 | 326,2 | 268,2 | 222,9 | 187,6 | $k_{mod} \le 0,8$ deutlich geringere Ausnutzung |
| 20/20 | 723,2 | 651,0 | 562,3 | 472,8 | 394,8 | 331,1 | 280,2 | |
| 22/22 | 906,3 | 838,6 | 750,1 | 650,1 | 553,7 | 470,0 | 400,7 | |

## Ersatzstablängen (Knicklängen) gemäß nationalem Anhang

| Eingespannter Stab (Eulerfall 1) | Pendelstab (Eulerfall 2) | Unten eingespannter Stab mit gelenkiger Lagerung oben (Eulerfall 3) | Beidseitig eingespannter Stab (Eulerfall 4) | Nachgiebig eingespannter Stab |
|---|---|---|---|---|
|  |  |  |  |  |
| $\beta = 2$ | $\beta = 1$ | $\beta = 0{,}707$ | $\beta = 0{,}5$ | $\beta = \sqrt{4 + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{h \cdot K_\varphi}}$ |

| Stützenreihe mit nachgiebig eingespannter Stütze | Zwei- und Dreigelenkbogen | Kehlbalkendach | Fachwerkbinder |
|---|---|---|---|
|  |  |  |  |
| $K_\varphi$: Drehfederkonstante<br>$\varphi$ nach DIN 1052, 8.5.3<br>$\alpha = \frac{h}{N} \cdot \sum \frac{N_i}{h_i}$ | für $0{,}15 \le h / \ell \le 0{,}50$<br>antimetrisches Knicken | | |
| $\beta = \sqrt{\left(4 + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{h \cdot K_\varphi}\right) \cdot (1 + \alpha)}$ | $\beta = 1{,}25$ | für $s_1 < 0{,}7 \cdot s$: $\beta = 0{,}8$<br>für $s_1 \ge 0{,}7 \cdot s$: $\beta = 1{,}0$ | Bei gelenkiger Lagerung:<br>$K_\varphi \approx 0 \rightarrow \beta = 1{,}0$<br>$K_\varphi >> 0 \rightarrow \beta = 0{,}8$ |

## Stabilitätsversagen von Biegestäbe (Biegeknicken und Biegedrillknicken)

Biegung um die starke Achse ohne Normalkraft

$$\sigma_{m,d} \le k_{crit} \cdot f_{m,d}$$

$k_{crit}$ Beiwert für zusätzliche Spannungen infolge Kippen, Bestimmung siehe übernächste Seite

Biegung um die starke Achse und Normalkraft

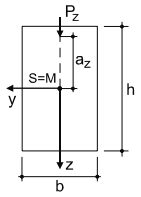
$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} \le 1$$

Zusätzlich sollten nach nationalem Anhang noch folgende Gleichungen erfüllt sein

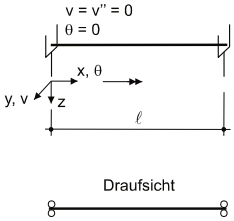
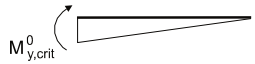
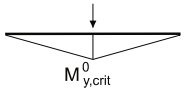
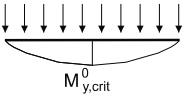
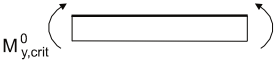
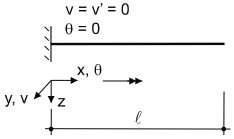
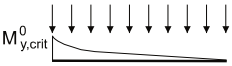
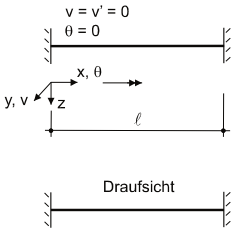
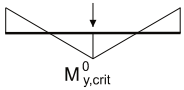
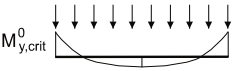
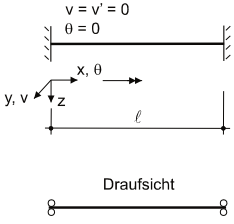
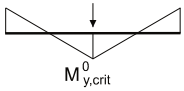
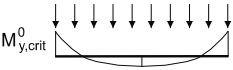
$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,y,d}} + \left(\frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}}\right)^2 \le 1 \quad \text{und} \quad \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + \left(\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,y,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}}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

Die Ersatzstablänge $\ell_{ef}$ wird mit den Kipplängenbeiwerten $a_1$ und $a_2$ berechnet: [nationaler Anhang]

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




| | |
|---|---|
| $\ell$ | Länge des Trägers |
| $a_z$ | Abstand des Lastangriffes vom Schubmittelpunkt |
| $B = E \cdot I_z$ | Biegesteifigkeit um die z-Achse: $B = \frac{E \cdot b^3 \cdot h}{12}$ |
| $T = G \cdot I_t$ | Torsionssteifigkeit: $T \cong \frac{G \cdot b^3 \cdot h}{3}$ |

| System | Momentenverlauf | $a_1$ | $a_2$ |
|---|---|---|---|
| gabelgelagerter Einfeldträger<br> |  | 1,77 | 0 |
| |  | 1,35 | 1,74 |
| |  | 1,13 | 1,44 |
| |  | 1,00 | 0 |
| Kragarm<br> |  | 1,27 | 1,03 |
| |  | 2,05 | 1,50 |
| beidseitig eingespannter Träger<br> |  | 6,81 | 0,40 |
| |  | 5,12 | 0,40 |
| Mittelfeld, Durchlaufträger<br> |  | 1,70 | 1,60 |
| |  | 1,30 | 1,60 |

$k_{crit} = 1$ für $\lambda_{rel,m} \le 0{,}75$

$k_{crit} = 1{,}56 - 0{,}75 \cdot \lambda_{rel,m}$ für $0{,}75 < \lambda_{rel,m} \le 1{,}40$ mit $\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{\ell_{ef} \cdot h}{\pi \cdot b^2}} \cdot \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sqrt{E_{0,05} \cdot G_{05}}}} = \kappa_m \cdot \sqrt{\frac{\ell_{ef} \cdot h}{\pi \cdot b^2}}$

$k_{crit} = 1 / \lambda^2_{rel,m}$ für $1{,}40 < \lambda_{rel,m}$

Allgemein gilt: $\sigma_{m,crit} = \frac{M_{y,crit}}{W_y} = \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_z \cdot G_{0,05} \cdot I_{tor}}}{\ell_{ef} \cdot W_y}$

Bei Biegestäben aus BSH darf $E_{0,05} \cdot G_{05}$ mit dem Faktor 1,4 multipliziert werden.

für NH mit vollem Querschnitt gilt: $\sigma_{m,crit} = \frac{0{,}78 \cdot b^2}{h \cdot \ell_{ef}} \cdot E_{0,05}$

Beiwert $\kappa_m = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sqrt{E_{0,05} \cdot G_{05}}}}$

| Holzart | GL 24h | GL 24c | GL 28h | GL 28c | GL 32h | GL 32c |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $f_{m,k}$ [N/mm²] | 24,0 | 24,0 | 28,0 | 28,0 | 32,0 | 32,0 |
| $E_{0,05}$ [N/mm²] | 9667 | 9667 | 10500 | 10500 | 11417 | 11417 |
| $G_{05}$ [N/mm²] | 600 | 492 | 650 | 600 | 708 | 650 |
| $\kappa_m$ [-] | 0,09177 | 0,09646 | 0,09517 | 0,09710 | 0,09752 | 0,09964 |

Der Beiwert $\kappa_m$ ist unter Ansatz der Erhöhung der Steifigkeit um 40 % ermittelt

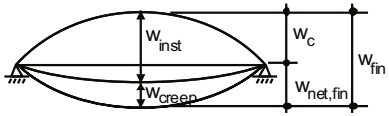
Für den **gabelgelagerten Einfeldträger** mit konstantem Moment entspricht die Ersatzstablänge $\ell_{ef}$ der Stützweite des Trägers. Die Gabellagerung ist dabei für ein Torsionsmoment zu bemessen von:

$M_{tor,d} = M_d / 80$ $M_d$ Bemessungswert des größten Biegemoments im Stab

## 5. Nachweise der Gebrauchstauglichkeit

### Durchbiegungsnachweis

Die Verformung (Durchbiegung) setzt sich wie folgt zusammen:




$w_c$ Überhöhung im lastfreien Zustand
$w_{inst}$ Anfangsdurchbiegung
$w_{creep}$ Durchbiegung infolge Kriechen
$w_{fin}$ Enddurchbiegung
$w_{net,fin}$ Enddurchbiegung abzüglich Überhöhung

$w_{net,fin} = w_{inst} + w_{creep} - w_c = w_{fin} - w_c$

### Grenzwerte der Verformung

Die **Anfangsverformung** $u_{inst}$ sollte mit der **charakteristischen Kombination** nach DIN EN 1990 bestimmt werden, unter Verwendung von Mittelwerten der Steifigkeitskennwerte

$E_d = \sum G_{k,j} + Q_{k.1} + \sum_{i \ge 2} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$ $u_{inst}$ wird nach den Regeln der Statik bestimmt

Die **Endverformung** $u_{fin}$ sollte mit der **quasi-ständigen Kombination** nach DIN EN 1990 bestimmt werden

$E_d = \sum G_{k,j} + \sum_{i \ge 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$ $u_{fin} = u_{inst} \cdot (1 + k_{def})$

### Bestimmung der Durchbiegung

Anfangsverformung $w_{inst} = w_{G,inst} + w_{Q,1,inst} + \sum_{i>1} \psi_0 \cdot w_{Q,i,inst}$

Endverformung $w_{fin} = w_{G,inst} \cdot (1 + k_{def}) + \sum_{i \ge 1} \psi_2 \cdot w_{Q,i,inst} \cdot (1 + k_{def})$

### Empfohlene Werte der Durchbiegung

| | $w_{inst}$ | $w_{net,fin}$ | $w_{fin}$ |
|---|---|---|---|
| Beidseitig aufgelagerter Biegestab | $\ell$/300 bis $\ell$/500 | $\ell$/250 bis $\ell$/350 | $\ell$/150 bis $\ell$/300 |
| Auskragende Biegestäbe | $\ell$/150 bis $\ell$/250 | $\ell$/125 bis $\ell$/175 | $\ell$/75 bis $\ell$/150 |

## Schwingungsnachweis

Der Schwingungsnachweis gilt für Wohnungsdecken mit einer Eigenfrequenz größer als 8 Hz und ist auf Ein-Feld-Systeme beschränkt.

### Bestimmung der Eigenfrequenz $f_1$

$$f_1 = \frac{\pi}{2 \cdot \ell^2} \sqrt{\frac{(EI)_\ell}{m}}$$

| | |
|---|---|
| $\ell$ | Deckenspannweite in m |
| $(EI)_\ell$ | äquivalente Plattenbiegesteifigkeit der Decke um eine Achse rechtwinklig zur Balkenrichtung in $Nm^2/m$ |
| m | Masse der Decke je Flächeneinheit in $kg/m^2$ |

### Definition der Forderungen

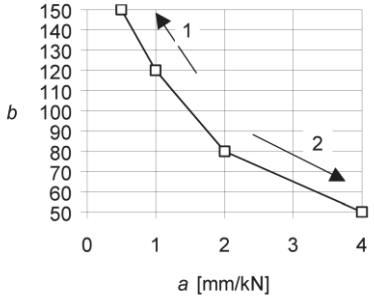
$$\frac{w}{F} \le a \quad \text{in} \quad mm/kN$$

$$v \le b^{(f_1 \cdot \zeta - 1)} \quad \text{in} \quad m/(Ns^2)$$

| | |
|---|---|
| w | größte vertikale Anfangsverformung einer konzentrierten Einzellast F in mm |
| F | konzentrierte Einzellast in kN |
| v | Einheitsimpulsgeschwindigkeitsreaktion in m/s |
| $\zeta$ | modaler Dämpfungsgrad (0,01 wenn nicht anders definiert) |

Für die Werte a und b sind Grenzen und Zusammenhänge in DIN EN 1995-1-1 angegeben.

für $0{,}50 \le a < 1{,}0$ gilt: $b = 100 - 60 \cdot a$
für $1{,}0 \le a < 2{,}0$ gilt: $b = 160 - 40 \cdot a$
für $2{,}0 \le a < 4{,}0$ gilt: $b = 110 - 15 \cdot a$




$$v = \frac{4 \cdot (0{,}4 + 0{,}60 \cdot n_{40})}{m \cdot b \cdot \ell + 200} \quad \text{in} \quad mm/kN$$

| | |
|---|---|
| $\ell$ | Deckenspannweite in m |
| b | Deckenbreite in m |
| m | Masse der Decke je Flächeneinheit in $kg/m^2$ |
| $n_{40}$ | Anzahl der Schwingungen 1. Ordnung mit einer Resonanzfrequenz bis zu 40 Hz |

mit: $$n_{40} = \left\{ \left( \left( \frac{40}{f_1} \right)^2 - 1 \right) \cdot \left( \frac{b}{\ell} \right)^4 \cdot \frac{(EI)_\ell}{(EI)_b} \right\}^{0,25}$$

$(EI)_b$ äquivalente Plattenbiegesteifigkeit der Decke um eine Achse in Richtung der Balken mit $(EI)_b < (EI)_\ell$

# Änderungsvermerke:

- **Erstellungsdatum 04.06.2012**
- **Anpassung am 26.06.2012 an den Einführungserlass des EC5 in NRW vom 20.06.2012. Geändert wurden Tabellen auf Seite 4, 6, 7, 10 und 13, auf die die Festigkeiten von Brettschichtholz Einfluss haben (jetzt Festigkeitswerte nach DIN EN 1194:1999-05).**
- **$k_c$-Werte für Brettschichthölzer auf Seite 10 angepasst**
- **Anpassung am 15.08.2012 auf die Festigkeitswerte für BSH nach DIN 1052:2008-12 mit Ausnahme von $f_{v,k} = 3{,}5\ N/mm^2$ für alle BSH (untere Tabelle auf Seite 4), Anpassung der $k_c$-Werte für BSH in der Tabelle auf Seite 10, Anpassung der $\kappa_m$ –Werte in der Tabelle auf Seite 13.**