

**Beulnachweise bei Beplankungen
von Tafелеlementen und bei
Verbundträgern mit Plattenstegen**

T 2776

T 2776

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

Im Originalmanuskript enthaltene Farbvorlagen, wie z.B. Farbfotos, können nur in Grautönen wiedergegeben werden. Liegen dem Fraunhofer IRB Verlag die Originalabbildungen vor, können gegen Berechnung Farbkopien angefertigt werden. Richten Sie Ihre Anfrage bitte an die untenstehende Adresse.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2001, ISBN 3-8167-5400-7

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00
Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

e-mail info@irb.fhg.de

URL <http://www.IRBbuch.de>

Beulnachweise bei Beplankungen von Tafелеlementen und bei Verbundträgern mit Plattenstegen

von

Hans Joachim Blaß und Volker Krämer

Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine

Abteilung Ingenieurholzbau

Universität Fridericiana Karlsruhe

Univ.-Professor Dr.-Ing. H.J. Blaß

1997

Beulnachweise bei Beplankungen von Tafелеlementen und bei Verbundträgern mit Plattenstegen

1 Einleitung

DIN 1052 bzw. Eurocode 5 enthalten Regeln zum Beulnachweis von auf Druck beanspruchten Beplankungen von Tafелеlementen bzw. durch Biegung und Schub beanspruchten Stegen von Vollwandträgern, die in der Form von Höchstwerten für das Verhältnis von ungestützter Plattenbreite zu Plattendicke (b/d) angegeben werden. Diese Regeln stellen Näherungen dar, die einen genaueren Beulnachweis entbehrlich machen.

Sind für eine Konstruktion genauere Beulnachweise erforderlich, wurden diese im System der DIN 1052 bisher so geführt, daß ein Sicherheitsabstand von 1,5 gegenüber der ideellen Beullast eingehalten wurde. Die Elastizitäts- und Schubmoduln der Plattenwerkstoffe wurden dabei mit ihren vollen Rechenwerten nach DIN 1052 angesetzt. Diese Vorgehensweise - Einhalten eines Sicherheitsabstandes gegenüber der ideellen Beullast - führt im System der Teilsicherheitsbeiwerte (EC 5) zu geringeren rechnerischen Tragfähigkeiten, da die Steifigkeitskennwerte Elastizitäts- und Schubmodul mit den jeweiligen Beiwerten k_{mod} und dem Teilsicherheitsbeiwert γ_M abgemindert werden. Dies kann dazu führen, daß die nach der bisher üblichen genaueren Nachweismethode ermittelten b/d - Werte geringer sind, als die in EC 5 angegebenen Näherungswerte.

Da die Tragfähigkeit beulgefährdeter Platten aus Holzwerkstoffen in der Regel wesentlich höher ist als die Last beim Auftreten der ersten Beule, stellt die Ermittlung der ideellen Beullast lediglich eine konservative Abschätzung der wirklichen Tragfähigkeit dar.

Zunächst wird die Vorgehensweise beim genaueren Beulnachweis nach DIN 1052 bzw. EC 5 dargestellt. Anschließend erfolgt eine Auswertung bestehender Literatur zum Plattenbeulen von Holzwerkstoffen, um die postkritische Tragfähigkeit beulgefährdeter Platten zu ermitteln. Die Ergebnisse werden mit der jeweiligen Beullast verglichen und abschließend wird ein Vorschlag für einen genaueren Beulnachweis für eine Bemessung nach EC 5 gemacht.

2 Genauerer Beulnachweis nach DIN 1052 bzw. EC 5

Neben den vereinfachten Beulnachweisen kann sowohl nach DIN 1052 als auch nach EC 5 ein genauerer Beulnachweis geführt werden. Grundlage für diesen genaueren Beulnachweis stellt die allgemeine Differentialgleichung für das Beulen dar.

Die allgemeine Differentialgleichung für das Beulen einer Platte lautet (z.B. aus [2]):

$$B_y \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} + 2B_{xy} \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + B_x \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} = p(x, y) - d \left(\sigma_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + 2\tau_{xy} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} + \sigma_y \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right)$$

Bezeichnungen:

$$\alpha = a/b$$

d = Plattendicke

w = Durchbiegung rechtwinklig zur Platte

p = Belastung rechtwinklig zur Plattenebene

$$B_x = \frac{E_x d^3}{12(1 - \mu_x \mu_y)}$$

B_x = Biegesteifigkeit der Platte in x-Richtung
(Biegung um die y-Achse)

$$B_y = \frac{E_y d^3}{12(1 - \mu_x \mu_y)}$$

B_y = Biegesteifigkeit der Platte in y-Richtung (Biegung um die x-Achse)

$$B_{xy} = \frac{Gd^3}{6} + \frac{\mu_x B_y + \mu_y B_x}{2}$$

B_{xy} = Drillsteifigkeit der Platte

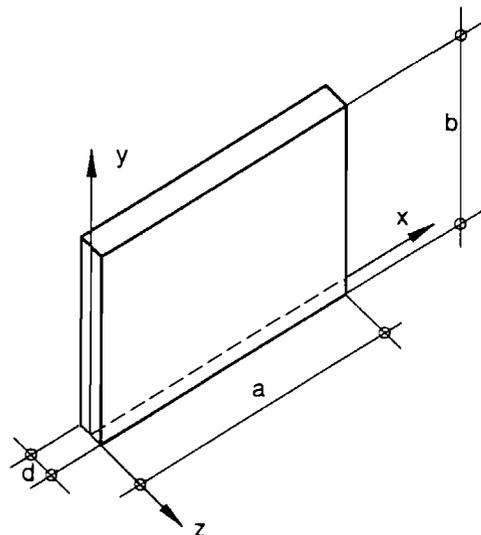
μ_x, μ_y = Querdehnzahlen

E_x, E_y = Biegeelastizitätsmodul in x- bzw. y-Richtung

Die Ränder der Platte sind als gelenkig gelagert angenommen.

Nachfolgend wird exemplarisch die Lösung der Differentialgleichung für das Druckbeulen gezeigt.

Für den Fall des Druckbeulens ist $p(x, y)$, τ_{xy} und σ_y gleich Null. Damit vereinfacht sich die Differentialgleichung zu:



$$B_y \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} + 2B_{xy} \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + B_x \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} = -\sigma_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} d \dots$$

Der Lösungsansatz lautet:

$$w = A_{nm} \sin\left(\frac{m\pi}{a} x\right) \sin\left(\frac{n\pi}{b} y\right)$$

m = Anzahl der Längsbeulen

n = Anzahl der Querbeulen

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} = A_{nm} \left(\frac{m\pi}{a}\right)^4 \sin\left(\frac{m\pi}{a} x\right) \sin\left(\frac{n\pi}{b} y\right)$$

$$\frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = A_{nm} \left(\frac{n\pi}{b}\right)^4 \sin\left(\frac{m\pi}{a} x\right) \sin\left(\frac{n\pi}{b} y\right)$$

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} = A_{nm} \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2 \sin\left(\frac{m\pi}{a} x\right) \sin\left(\frac{n\pi}{b} y\right)$$

$$\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = -A_{nm} \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 \sin\left(\frac{m\pi}{a} x\right) \sin\left(\frac{n\pi}{b} y\right)$$

Werden diese Ausdrücke in die Differentialgleichung eingesetzt, ergibt sich:

$$B_y \left(\frac{n\pi}{b}\right)^4 + 2B_{xy} \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2 + B_x \left(\frac{m\pi}{a}\right)^4 = d \sigma_x \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2$$

Wird diese Gleichung nach σ_x aufgelöst, ergibt sich die kritische Beulspannung

$\sigma_x = \sigma_{crit}$:

$$\sigma_x = \sigma_{crit} = \frac{a^2 \pi^4}{m^2 \pi^2 d} \left[B_y \left(\frac{n}{b}\right)^4 + 2B_{xy} \left(\frac{mn}{ab}\right)^2 + B_x \left(\frac{m}{a}\right)^4 \right]$$

für $n = 1$, d. h. eine Querbeule, folgt:

$$\sigma_x = \sigma_{crit} = \frac{a^2 \pi^4}{m^2 \pi^2 d} \left[B_y \left(\frac{1}{b}\right)^4 + 2B_{xy} \left(\frac{m}{ab}\right)^2 + B_x \left(\frac{m}{a}\right)^4 \right]$$

Durch weiteres Umformen ergibt sich:

$$\sigma_x = \sigma_{crit} = \underbrace{\frac{\pi^2 B_y}{db^2}}_{\sigma_e} \underbrace{\left[\frac{\alpha^2}{m^2} + 2 \frac{B_{xy}}{B_y} + \frac{B_x m^2}{B_y \alpha^2} \right]}_k = \sigma_e \cdot k$$

Hierin ist σ_b die Eulersche Knickspannung eines Plattenstreifens der Länge b und der Breite 1. Wird die kleinste kritische Beulspannung gesucht, muß das Minimum des Wertes k bestimmt werden:

$$\frac{dk}{d\alpha} = 0 = \frac{2\alpha}{m^2} + \frac{B_x - 2m^2}{B_y \alpha^3} = \frac{2\alpha}{m^2} - \frac{B_x - 2m^2}{B_y \alpha^3}$$

$$\frac{\alpha}{m^2} = \frac{B_x - 2m^2}{B_y \alpha^3} \Rightarrow \alpha^4 = \frac{B_x - 2m^2}{B_y} m^4 \Rightarrow \alpha = m \cdot \sqrt[4]{\frac{B_x - 2m^2}{B_y}}$$

Damit wird

$$\sigma_x = \sigma_{crit} = \frac{\pi^2 B_y}{d b^2} \left[2 \sqrt{\frac{B_x - 2m^2}{B_y}} + 2 \frac{B_{xy}}{B_y} \right]$$

Werden die entsprechenden Werte der Plattensteifigkeit eingesetzt, ergibt sich:

$$\frac{b}{d} \leq \frac{\pi}{\sqrt{6}} \sqrt{\frac{\sqrt{E_x E_y} + 2G(1 - \mu_x \mu_y) + 0,5(\mu_x E_y + \mu_y E_x)}{\sigma_x (1 - \mu_x \mu_y)}}$$

Wird diese Bedingung für das Verhältnis b/d eingehalten, ist der Beulsicherheitsnachweis geführt. Hierbei ist zu beachten, daß sowohl für σ_x als auch für die Elastizitäts- und Schubmoduln der Bemessungswert einzusetzen ist. Für die Elastizitäts- und Schubmoduln sind die 5%-Fraktilwerte, multipliziert mit k_{mod} und geteilt durch γ_M zu verwenden, da es sich um einen Grenzzustand der Tragfähigkeit handelt. Diese kürzen sich in der Bedingung für b/d heraus, so daß folgt:

$$\frac{b}{d} \leq \frac{\pi}{\sqrt{6}} \sqrt{\frac{\sqrt{E_{x,m,05} E_{y,m,05}} + 2G_{05}(1 - \mu_x \mu_y) + 0,5(\mu_x E_{y,m,05} + \mu_y E_{x,m,05})}{f_{c,x,k} (1 - \mu_x \mu_y)}}$$

Aus dem Nationalen Anwendungsdokument (NAD) zum EC 5 können die charakteristischen Festigkeits- und Steifigkeitswerte entnommen werden. Die Querdehnraten zu Bau-Fumiersperrholz finden sich in [8] und für Flachpreßplatten in [9].

Die 5%-Fraktilwerte der Schub- und Elastizitätsmoduln berechnen sich für Bau-Fumiersperrholz durch Multiplikation der Mittelwerte mit dem Faktor 0,8 und für Flachpressplatten durch Multiplikation mit dem Faktor 0,9.

Wird für Bau-Furniersperrholz und Flachpreßplatten die obige Bedingung ausgewertet, ergibt sich:

Tabelle 1 Genauere Druckbeulnachweise nach EC 5

Plattenart	$E_{x,m,05}$	$E_{y,m,05}$	G_{05}	$\mu_x = \mu_y$	$f_{c,x,k}$	b/d
BFU 3-lagig parallel	6400	320	200	0,07	18	13,8
BFU 5-lagig parallel	4400	1200	200	0,07	18	16,3
BFU 3-lagig rechtw.	320	6400	200	0,07	9	19,5
BFU 5-lagig rechtw.	1200	4400	200	0,07	9	23,0
Flachpreßpl. $d \leq 13$	3375	3375	180	0,24	12	25,6
Flachpreßpl. $d \leq 20$	2970	2970	180	0,24	11	25,3
Flachpreßpl. $d \leq 25$	2520	2520	180	0,24	10	24,6
Flachpreßpl. $d \leq 32$	2295	2295	90	0,24	9	24,2
Flachpreßpl. $d \leq 40$	1710	1710	90	0,24	8	22,4
Flachpreßpl. $d \leq 50$	1260	1260	90	0,24	7	20,8

Die allgemeine Differentialgleichung für das Beulen einer Platte kann für das Biege- und Schubbeulen mit einigem Mehraufwand gelöst werden.

Die Lösung für das Biegebeulen lautet nach Ehlbeck in [10]:

$$\frac{b}{d} \leq \sqrt{\frac{1}{3} \min k \cdot \pi^2 \frac{\sqrt{E_{x,m,05} E_{y,m,05}}}{f_{m,x,k} (1 - \mu_x \mu_y)}}$$

Der Faktor $\min k$ ist abhängig von der Biege- und Drillsteifigkeit, der Geometrie und der Biegebeanspruchung der Platte. Halasz und Cziesielski geben in [1] Diagramme (Girlandenkurven) zur Ermittlung des Beulwertes $\min k$ für BFU- Platten. Diese Girlandenkurven sind in Bild 1 exemplarisch dargestellt.

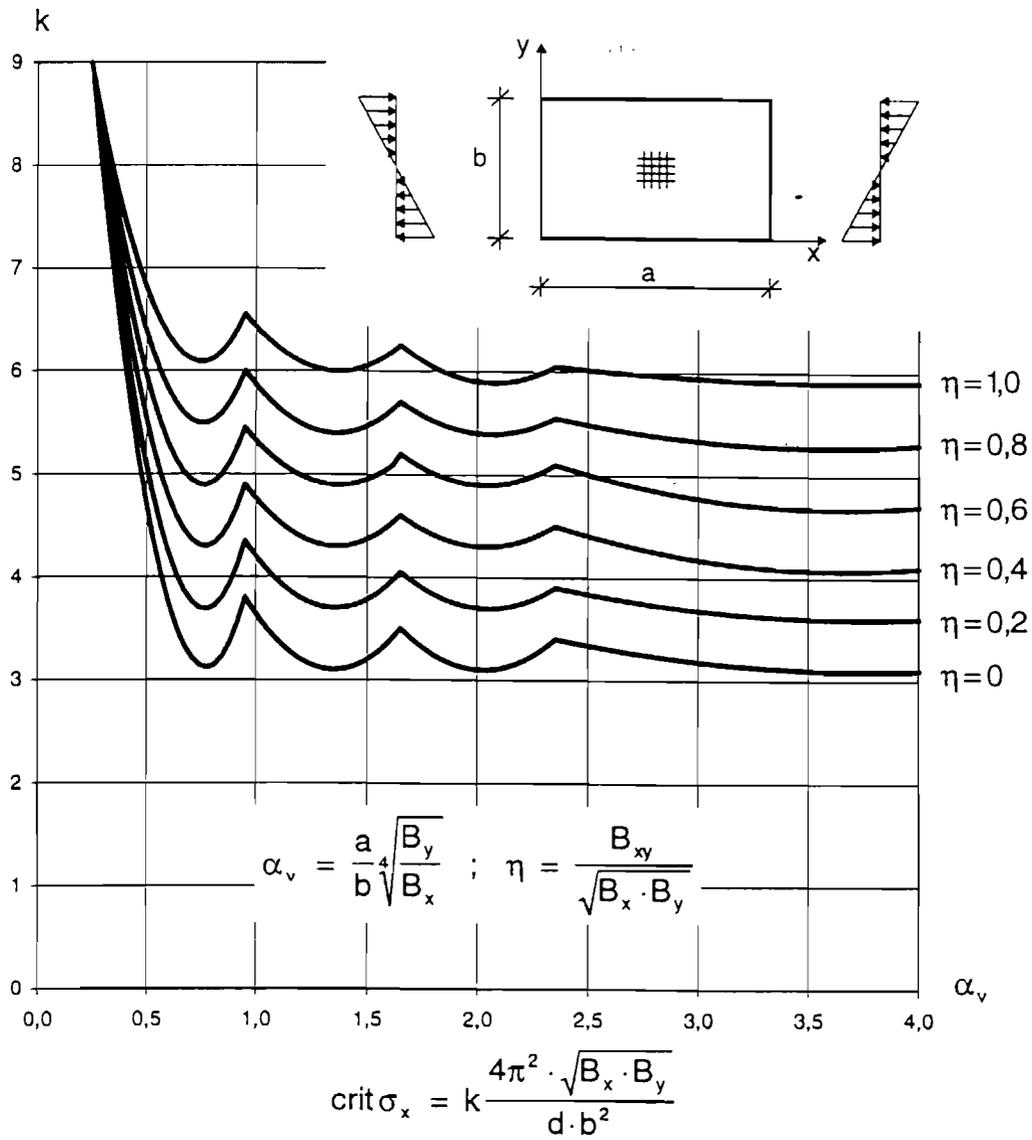


Bild 1 Girlandenkurven für Biegebeulnachweis nach Halasz u. Cziesielski

Die Lösung für das Schubbeulen lautet nach Ehlbeck in [10]:

$$\frac{b}{d} \leq \sqrt{\frac{1}{3} \min k \cdot \pi^2} \sqrt{\frac{\sqrt[4]{E_x^3 \cdot E_y} \cdot E_{y,m,05}}{f_{v,x,k} (1 - \mu_x \mu_y)}}$$

Der Faktor min k ist abhängig von der Biege- und Drillsteifigkeit und der Geometrie der Platte. Halasz und Cziesielski geben in [1] Diagramme (Girlandenkurven) zur Ermittlung des Beulwertes min k für BFU- Platten. Diese Girlandenkurven sind in Bild 2 exemplarisch dargestellt.

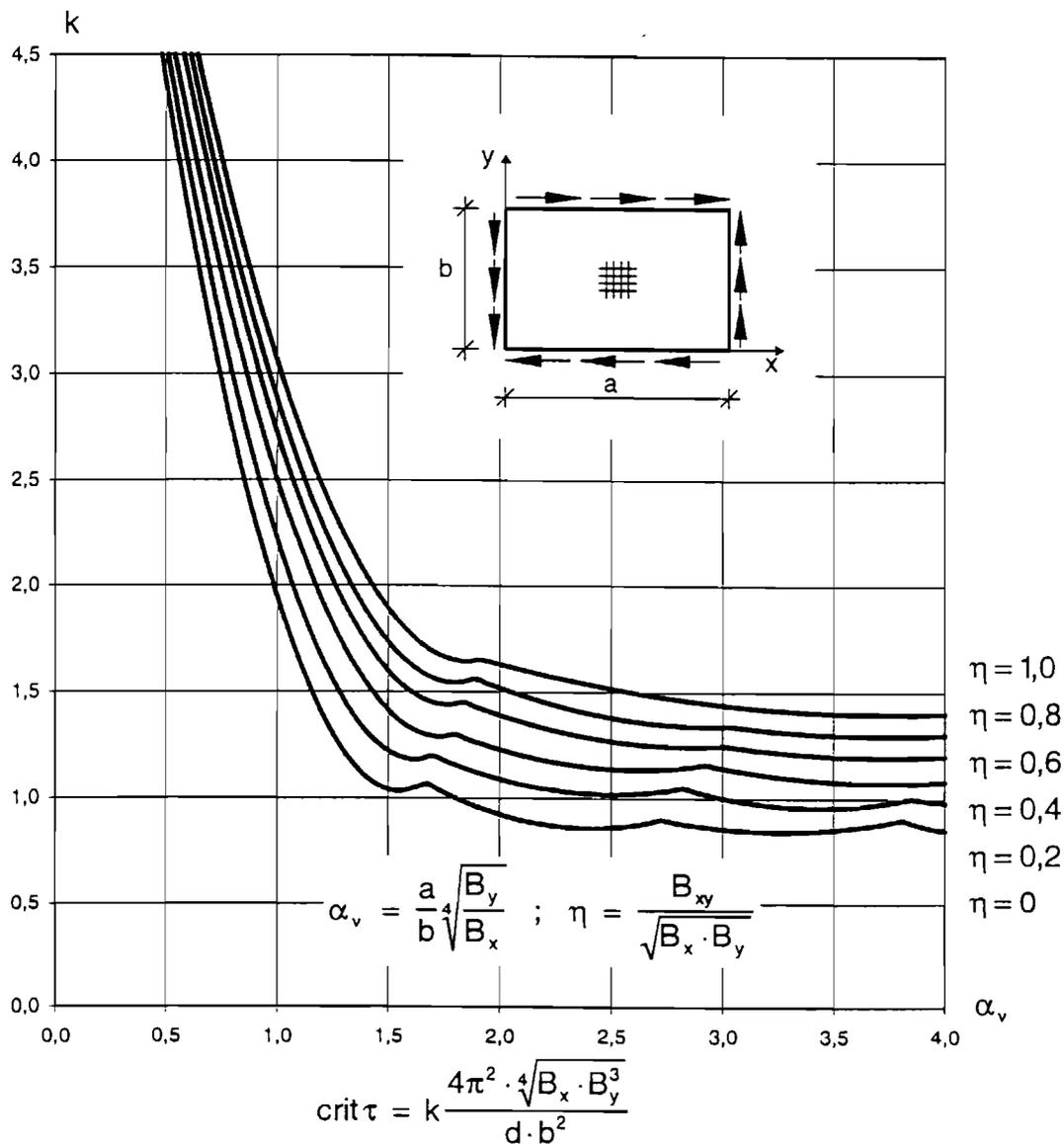


Bild 2 Girlandenkurven für Schubbeulnachweis nach Halasz u. Cziesielski

3 Vergleichsrechnung der Beulnachweise nach EC 5

Wie eingangs erwähnt, werden bei dem genaueren Beulnachweis geringere b/d -Werte ermittelt als die im EC 5 angegebenen Näherungswerte.

Für die Nachweise nach EC 5 wurde angenommen, daß der Anteil der ständigen Lasten an der Gesamtlast 40% beträgt und die veränderlichen Lasten (Wind) eine kurze Lasteinwirkungsdauer haben. Als Nutzungsklasse ist die Nutzungsklasse 1 gewählt worden ($k_{\text{mod}} = 0,9$; $\gamma_M = 1,3$).

Die im EC 5 angegebenen Näherungswerte für das Druckbeulen lauten wie folgt (vgl. Tab. 2):

Tabelle 2 Näherungswerte für Druckbeulnachweise nach EC 5

Sperrholz mit der Faserrichtung der Deckfurniere:	
- parallel zu den Stegen	$25h_f$
- rechtwinklig zu den Stegen	$20h_f$
OSB- Platten	$25h_f$
Span- o. Faserplatten mit beliebiger Faserorientierung	$30h_f$

Zu dieser Tabelle gibt der EC 5 einen Zusatz an (5.3.2 (5)):

Falls kein genauere Beulnachweis geführt wird, sollte die ungestützte Beplankungsbreite nicht größer sein als die doppelte, unter Berücksichtigung des Ausbeulens der Beplankung ermittelte Breite.

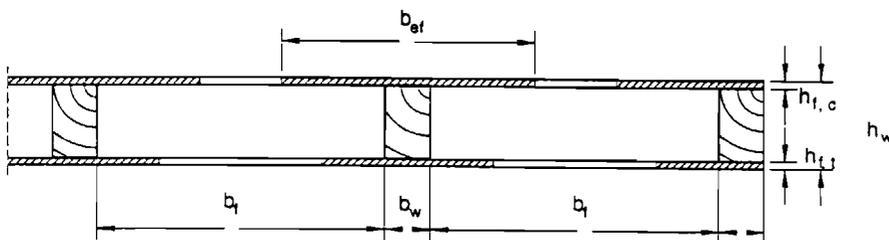


Bild 3 Beulfeldgeometrie nach EC 5 für Druckbeulen

Bei dem vereinfachten Schubbeulnachweis nach EC 5 muß eine Umrechnung der b/d -Werte erfolgen, da hier neben den pauschalen b/d -Werten noch der Bemessungswert der Querkraft (V_d) verglichen wird.

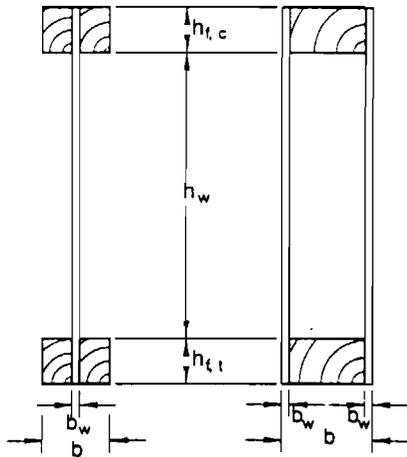


Bild 4 Beulfeldgeometrie nach EC 5 für Biege- und Schubbeulen

Vereinfachter Nachweis für das Biegebeulen nach EC 5:

$$h_w \leq 70 b_w$$

Vereinfachter Nachweis für das Schubbeulen nach EC 5:

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

Tabelle 3 Festigkeits- und Steifigkeitskennwerte der Plattenwerkstoffe

Plattenart	$E_{x,m,05}$	$E_{y,m,05}$	G_{05}	$\mu_x = \mu_y$	$f_{c,k}$	$f_{v,k}$	$f_{m,k}$
BFU 3-lagig parallel	6400	320	200	0,07	18	5	22
BFU 5-lagig parallel	4400	1200	200	0,07	18	8	22
BFU 3-lagig rechth.	320	6400	200	0,07	9	5	14
BFU 5-lagig rechth.	1200	4400	200	0,07	9	8	14
Flachpreßpl. $d \leq 13\text{mm}$	3375	3375	180	0,24	12	7,2	11,4
Flachpreßpl. $d \leq 32\text{mm}$	2295	2295	90	0,24	9	4,8	7

Zur Vergleichsrechnung werden folgende Beulgleichungen verwendet:

Druckbeulen

$$\frac{b}{d} \leq \frac{\pi}{\sqrt{6}} \sqrt{\frac{\sqrt{E_{x,m,05} E_{y,m,05}} + 2 G_{05} (1 - \mu_x \mu_y) + 0,5 (\mu_x E_{y,m,05} + \mu_y E_{x,m,05})}{f_{c,x,k} (1 - \mu_x \mu_y)}}$$

Biegebeulen

$$\frac{b}{d} \leq \sqrt{\frac{1}{3}} \min k \cdot \pi^2 \sqrt{\frac{\sqrt{E_{x,m,05} E_{y,m,05}}}{f_{m,x,k} (1 - \mu_x \mu_y)}}$$

Schubbeulen

$$\frac{b}{d} \leq \sqrt{\frac{1}{3}} \min k \cdot \pi^2 \sqrt{\frac{\sqrt[4]{E_{x,m,05} E_{y,m,05}^3}}{f_{v,x,k} (1 - \mu_x \mu_y)}}$$

Tabelle 4 b/d- Werte nach EC 5

Plattenart	vereinfachter Nachweis			genauerer Nachweis		
	Druck	Biegung	Schub	Druck	Biegung	Schub
BFU 3-lagig parallel	50	70	70 ⁽¹⁾	13,8	31,1	21,9
BFU 5-lagig parallel	50	70	70 ⁽¹⁾	16,3	37,7	25,7
BFU 3-lagig rechth.	40	70	70 ⁽¹⁾	19,5	39,0	46,3
BFU 5-lagig rechth.	40	70	70 ⁽¹⁾	23,0	46,9	35,5
Flachpreßpl. d≤13mm	60	70	70 ⁽¹⁾	25,6	66,3	40,9
Flachpreßpl. d≤32mm	60	70	70 ⁽¹⁾	24,2	68,9	40,9

⁽¹⁾ Mit zusätzlichem Vergleich des Bemessungswertes der Einwirkung V_d

4 Vorschlag für einen genaueren Beulnachweis

Um eine bessere Ausnutzung der Bauteile bezüglich des Beulens zu erreichen, wird das Konzept der wirksamen Breite vorgeschlagen. Grundlage dieses Konzeptes ist, daß eine Platte im ausgebeulten Zustand keine konstante mittlere Spannungsverteilung mehr aufweist (vgl. Bild 3). Der mittlere, ausgebeulte Bereich der Platte wird nicht zur Bestimmung der postkritischen Plattentragfähigkeit angesetzt. Die Normalspannung in den beiden Randstreifen der Platte kann die Druckfestigkeit des Plattenwerkstoffes erreichen, da sie seitlich gehalten sind und somit nicht ausweichen können.

Die mitwirkende Breite b_m kann über das Verhältnis von mittlerer Versagensspannung zur charakteristischen Festigkeit (f_k) bestimmt werden:

$$\frac{b_m}{b} = \frac{\sigma_{\text{Versagen}}}{f_k}$$

σ_{Versagen} = Spannung bei Plattenversagen, nicht die kritische Beulspannung

$f_{c,k}$ = charakteristische Druckfestigkeit des Plattenwerkstoffes

Dieser Ansatz setzt jedoch voraus, daß die Versagensspannung der zu berechnenden Platte bekannt ist. Die hier benötigte Versagensspannung muß experimentell, d.h. über Versuche ermittelt werden. Denkbar ist auch ein pauschaler Ansatz der mitwirkenden Breite mit z.B. $b_m = p \cdot d$, wobei p ein durch Versuche zu bestimmender Beiwert ist.

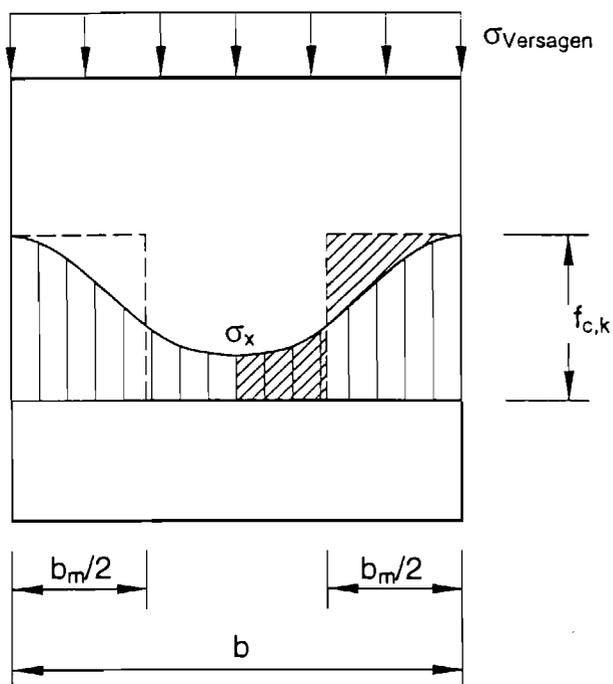


Bild 5

Mit den in [1] gegebenen Abmessungen und Versagensspannungen verschiedener Platten kann das Konzept der mitwirkenden Plattenbreite beispielhaft gezeigt werden. Die charakteristische Druckfestigkeit $f_{c,k}$ ist dem NAD (BFU- BU) entnommen.

Platte A1, 400/400/4mm

$$b_m = b \cdot \frac{\sigma_{\text{Versagen}}}{f_{c,k}} = 400 \text{ mm} \cdot \frac{10,65 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{26 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 163,8 \text{ mm} \Rightarrow p = 41,0$$

Platte A2, 400/400/4mm

$$\sigma_{\text{Versagen}} = 11,0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \Rightarrow p = 42,3$$

Platte B1, 400/400/10mm

$$b_m = b \cdot \frac{\sigma_{\text{Versagen}}}{f_{c,k}} = 400 \text{ mm} \cdot \frac{23,0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{26,0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 353,8 \text{ mm} \Rightarrow p = 35,4$$

Platte B2, 400/400/10mm

$$\sigma_{\text{Versagen}} = 22,0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \Rightarrow p = 33,8$$

Platte C1, 400/800/4mm

$$b_m = b \cdot \frac{\sigma_{\text{Versagen}}}{f_{c,k}} = 400 \text{ mm} \cdot \frac{10,70 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{26 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 164,6 \text{ mm} \Rightarrow p = 41,2$$

Platte C2, 400/800/4mm

$$\sigma_{\text{Versagen}} = 9,15 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \Rightarrow p = 35,2$$

Platte D1, 400/800/10mm

$$b_m = b \cdot \frac{\sigma_{\text{Versagen}}}{f_{c,k}} = 400 \text{ mm} \cdot \frac{20,35 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{26 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 313,1 \text{ mm} \Rightarrow p = 31,3$$

Platte D2, 400/800/10mm

$$\sigma_{\text{Versagen}} = 20,91 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \Rightarrow p = 32,2$$

Platte E1, 400/800/4mm

$$b_m = b \cdot \frac{\sigma_{\text{Versagen}}}{f_{c,k}} = 800 \text{ mm} \cdot \frac{2,80 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{26 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 86,2 \text{ mm} \Rightarrow p = 21,6$$

σ_{Versagen} = Mindestwert aus Diagramm

Platte E2, 400/800/10mm

$$\sigma_{\text{Versagen}} = 9,35 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \Rightarrow p = 28,8$$

Über die mitwirkende Plattenbreite b_m kann ein oberer Betrag für den Bemessungswert der Einwirkung berechnet werden. Den beiden Plattenstreifen wird der ganze Betrag der Einwirkungen zugewiesen und der mittlere Plattenstreifen wird nicht in Rechnung gestellt.

Um dieses Nachweisverfahren weiter verfolgen zu können, müssen noch umfangreiche Untersuchungen durchgeführt werden. Die zur Berechnung erforderlichen Bruchspannungen müßten in Abhängigkeit von

- Plattenmaterial
- Plattenaufbau
- Richtung der Deckfurniere
- Plattengeometrie
- Plattenbeanspruchung

ermittelt werden.

5 Zusammenfassung

Die genaueren Beulnachweise nach EC 5 liefern geringere b/d -Werte als die angegebenen Näherungswerte. Um günstigere Ergebnisse bei dem genaueren Beulnachweis zu erhalten, sollte die postkritische Tragfähigkeit einer Platte bei dem Beulnachweis berücksichtigt werden. In der Literatur ist nur an einer Stelle eine systematische Untersuchung zu Plattenbeulen von Holzwerkstoffen zu finden. Die in diesen Untersuchungen ermittelten Elastizitätsmoduln sind weit höher als die im NAD angegebenen Elastizitätsmoduln. Die dort dokumentierten Versuche geben Grund zur Annahme, daß ein großes Potential beim Beulnachweis verschenkt wird, wenn die postkritische Tragfähigkeit der Platten nicht berücksichtigt wird.

Der angegebene Verbesserungsvorschlag zum genaueren Beulnachweis basiert auf diesen Untersuchungen. Es wird ein Konzept der "mitwirkenden Plattenbreite" vorgeschlagen. Um aber die mitwirkende Plattenbreite berechnen zu können, müssen noch umfangreiche experimentelle Untersuchungen auf dem Gebiet des Plattenbeulens von Holzwerkstoffplatten durchgeführt werden.

Der jetzige genauere Beulnachweis nach EC 5 ist zu konservativ und muß neu überarbeitet werden. Die in der Literatur dokumentierten Forschungsergebnisse zeigen Tendenzen und Richtungen für effizientere Beulnachweise nach EC 5 auf, reichen jedoch noch nicht aus, um Vorschläge für wirklichkeitsnähere Nachweise machen zu können.

6 Literatur

- [1] v. Halasz/Cziesielski (1966)
Berechnung und Konstruktion geleimter Träger mit Stegen aus Furnierplatten.
In: Berichte aus der Bauforschung, Heft 47
- [2] Kollbrunner/Meister (1958)
Ausbeulen; Springer- Verlag
- [3] Ozarska-Bergandy/Ganowicz (1985)
Postbuckling behaviour of hardboard under shear
In: Wood Science and Technology; Springer- Verlag
- [4] Seydel, E. (1933)
Über das Ausbeulen von rechteckigen isotropen oder orthogonal-anisotropen Platten bei Schubbelastung.
In: Ingenieurarchiv, Band 4
- [5] Petersen, Ch. (1982)
Statik und Stabilität der Baukonstruktionen; Vieweg Verlagsgesellschaft
- [6] Petersen, Ch. (1994)
Stahlbau; Vieweg Verlagsgesellschaft
- [7] EUROCODE 5 (1994)
In: Informationsdienst Holz, STEP 4; EUROCODE 5, NATIONALES ANWENDUNGSDOKUMENT
- [8] Bau- Furniersperrholz aus Buche (1988)
In: Informationsdienst Holz, Herausgeber Entwicklungsgemeinschaft Holzbau (EGH)
- [9] Albers, Karsten (1970)
Querdehnungs- und Gleitzahlen sowie Schub- und Scherfestigkeiten von Holzwerkstoffen; Dissertationsschrift
- [10] Ehlbeck, Jürgen
Skript zur Vorlesung "Ingenieurholzbau II"