

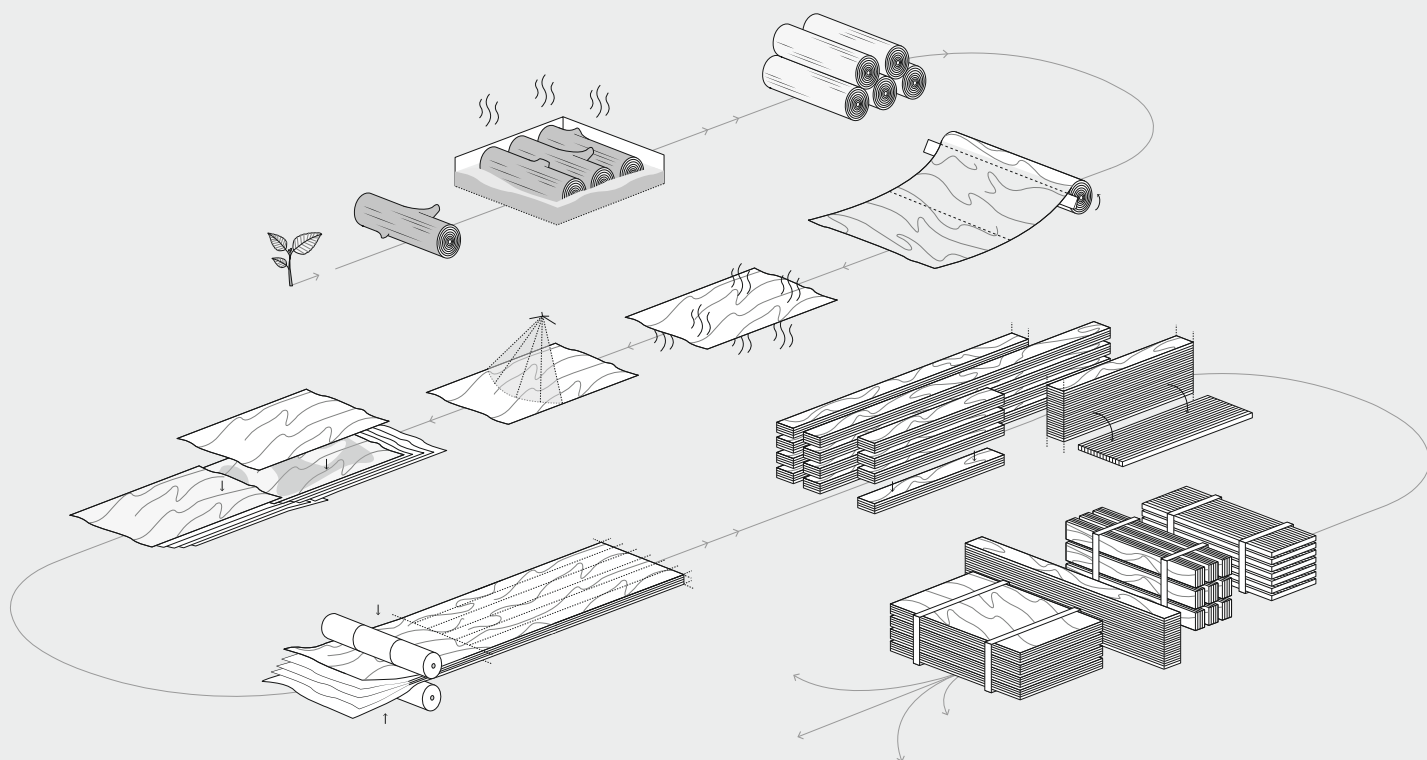
Ingenious hardwood

BauBuche Buchen-Furnierschichtholz

Bemessungshilfe für Entwurf und Berechnung nach Eurocode 5

3. überarbeitete Auflage

Hans Joachim Blaß, Johannes Streib



Dieses Handbuch soll dem Anwender als verständliche Bemessungshilfe beim Umgang mit dem neuen Werkstoff „Furnierschichtholz aus Buche“ dienen. Es werden die für die Bemessung von Bauteilen aus Buchen-Furnierschichtholz relevanten Grundlagen und Regelungen des Eurocode 5 aufgeführt und näher erläutert. Praxisnahe Bemessungsbeispiele sollen dem Ingenieur die Anwendung dieser Regelungen erleichtern.

Wir möchten darauf hinweisen, dass dieses Handbuch keinen Ersatz für die Bemessungsnormen und Zulassungen darstellt. Bei der Anwendung der in diesem Werk gegebenen Bemessungsregelungen ist stets deren Übereinstimmung mit den aktuellen Bemessungsnormen zu überprüfen. Weiter sind die hier angegebenen Festigkeits- und Steifigkeitswerte für Buchen-Furnierschichtholz (Platte BauBuche S/Q) und Brettschichtholz aus Buchen-Furnierschichtholz (Träger BauBuche GL75) stets mit den Werten aus der aktuellen Zulassung bzw. der Leistungserklärung des verwendeten Produkts zu vergleichen.

Grundlage für diese Bemessungshilfe ist der Eurocode 5 (DIN EN 1995-1:2010-12).

Nationale Regelungen werden im Anschluss an die entsprechenden Passagen aufgeführt und durch eine graue Hinterlegung gekennzeichnet.

Sie stehen dabei immer über den Regelungen des Hauptteils des Eurocode 5. Die Nummerierung der Formeln bezieht sich auf die des Eurocode 5 bzw. des Nationalen Anhangs, eigene Formeln werden nicht nummeriert.

Für die Anwendungsbeispiele und die tabellarischen Bemessungshilfen werden die Festigkeits- und Steifigkeitswerte von BauBuche nach den aktuellen Leistungserklärungen (PM-005-2018, PM-008-2018) bzw. der Europäischen Technischen Bewertung ETA-14/0354 (Stand 11.07.2018) verwendet.

Für Anregungen und die Durchsicht der 1. Auflage des Handbuchs danken wir dem Büro merz kley partner ZT GmbH.

INHALT

Seite

6	1 Produktlinie
	1.1 Platte BauBuche
	1.2 Träger BauBuche GL75
7	2 Grundlagen der Berechnung und Konstruktion
	2.1 Klasse der Lasteinwirkungsdauer
	2.2 Nutzungsklasse
	2.3 Modifizierung der Baustoffeigenschaften
	2.4 Nachweis nach der Methode der Teilsicherheitsbeiwerte
	2.5 Zusammenfassung
9	3 Baustoffeigenschaften
	3.1 Festigkeitswerte Platte BauBuche S/Q
	3.2 Festigkeitswerte Träger BauBuche GL75
	3.3 Schwinden und Quellen
	3.4 Wichte zur Berechnung des Eigengewichts
	3.5 Korrosivität
13	4 Grenzzustand der Tragfähigkeit
	4.1 Querschnittsnachweise
	4.2 Stabilität von Bauteilen
	4.3 Dachträger
	4.4 Ausgeklinkte Bauteile
	4.5 Versätze
22	5 Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit
	5.1 Allgemeines
	5.2 Durchbiegungen
	5.3 Schwingungen
27	6 Verbindungen mit stiftförmigen metallischen Verbindungsmitteln
	6.1 Tragfähigkeit bei Beanspruchung rechtwinklig zur Stiftachse (Abscheren)
	6.2 Verbindungen mit Nägeln
	6.3 Verbindungen mit Klammern
	6.4 Verbindungen mit Stabdübeln und Bolzen
	6.5 Verbindungen mit Holzschrauben
42	7 Geklebte, mehrteilige Querschnitte (starrer Verbund)
46	8 Aussteifende Scheiben
	8.1 Allgemeines
	8.2 Wandscheiben
48	9 Verstärkungen und Sanierungen
	9.1 Verstärkungen zur Aufnahme von Querkzugspannungen
	9.2 Verstärkungsarten
	9.3 Anwendungen
	9.4 Querschnittsverstärkungen
	9.5 Verstärkte Verbindung
59	10 Brandschutz
	10.1 Allgemeines
	10.2 Anforderungen
	10.3 Festigkeitswerte
	10.4 Einwirkungen
	10.5 Bemessungsverfahren
	10.6 Abbrand
	10.7 Verbindungen mit Seitenteilen aus Holz
64	11 Zitierte Quellen
65	12 Anwendungsbeispiele

1. PRODUKTLINIE

1.1 Platte BauBuche

Für die Herstellung von BauBuche als Furnierschichtholzplatten werden Furniere aus Buchenholz miteinander verklebt. Dabei können die Furniere entweder alle faserparallel in Haupttragrichtung (Platte BauBuche S) oder mit bis zu 30% querverlaufenden Furnieren (Platte BauBuche Q) verklebt werden. Die Platte BauBuche Q besitzt eine bessere Formstabilität unter wechselnden klimatischen Umgebungsbedingungen sowie eine höhere Festigkeit gegenüber Zugbeanspruchungen rechtwinklig zur Faserrichtung in Plattenebene. Dafür sinkt durch die Anordnung querverlaufender Furniere die Biegefestigkeit sowie die Druck- und Zugfestigkeit in Faserrichtung. Die Platte BauBuche S eignet sich daher für die Ausbildung stabförmiger Bauteile, Platte BauBuche Q vor allem für flächige Tragwerke (z. B. Wandscheiben). Durch das Mitwirken der Querlagen kann die Platte BauBuche Q auch als stabförmiges Bauteil in bestimmten Anwendungen eine höhere Tragfähigkeit als BauBuche-Produkte ohne Querlagen aufweisen.

Als Furniere werden ca. 3 mm dünne Holzblätter bezeichnet, die durch Rundschälen aus Buchenstämmen gewonnen werden. Durch Schäften

(Verklebung der abgeschrägten Enden) werden daraus endlos lange Furniere hergestellt. Zudem besteht dadurch die Möglichkeit, schadhafte Stellen auszuschneiden. Aufgrund der geringen Stärke der Furniere ist eine wirtschaftliche Ausnutzung des Buchenholzes möglich. Darüber hinaus reduzieren sich die Zeiten und damit die Kosten für die Trocknung des Holzes.

Nach der derzeitigen Leistungserklärung dürfen Platten aus BauBuche bis zu einer Länge von 35 m, bis zu einer Breite von 1,85 m und in Stärken von 21 mm bis 66 mm hergestellt werden. Die lieferbaren Plattenabmessungen sind vor der Planung mit dem Hersteller abzustimmen.

1.2 Träger BauBuche GL75

Für die Herstellung von Brettschichtholz Träger BauBuche GL75 werden mindestens zwei Lamellen aus Platte BauBuche S der Stärke 40 mm oder 50 mm miteinander verklebt. BauBuche GL75 darf mit Breiten zwischen 50 und 300 mm, Höhen zwischen 80 und 1.360 mm und Längen bis zu 18 m hergestellt werden. Eine Überhöhung des Trägers BauBuche GL75 bis zu L/100, größere Abmessungen (Höhe bis 2.500 mm, Breite bis 600 mm und Länge bis 36 m) sowie die Blockverklebung von Bauteilen sind durch die Zulassung geregelt, aber vor Planungsbeginn mit dem Hersteller abzustimmen.



Bild 1: Produkte aus Buchen-FSH:

Platte BauBuche S und Q; Träger BauBuche S; Träger BauBuche GL75 und BauBuche Paneel

2 GRUNDLAGEN DER BERECHNUNG UND KONSTRUKTION

DIN EN 1995-1-1, Kap. 2

2.1 Klasse der Lasteinwirkungsdauer

Die Festigkeit von Holz nimmt mit der Dauer der Belastung ab. Daher werden die einwirkenden Lasten in verschiedene Klassen der Lasteinwirkungsdauer (KLED) eingestuft. Die Einstufung erfolgt anhand der akkumulierten Belastungsdauer, bezogen auf die Lebensdauer des Bauwerks. Es werden fünf KLED unterschieden. Lasten aus Eigengewicht werden als KLED „ständig“ definiert. Veränderliche Lasten werden abgestuft in die KLED „lang“ (z. B. Lagergüter), „mittel“ (z. B. Verkehrslasten in Wohnräumen), „kurz“ (z. B. Schnee) und „sehr kurz“ (z. B. Erdbeben) eingestuft. Weitere Beispiele finden sich in Tabelle NA.1. In Fällen, in denen keine eindeutige Zuordnung möglich ist, sollte die Einstufung zusammen mit dem Architekten und Bauherrn erfolgen.

2.2 Nutzungsklasse

Der Feuchtegehalt hat einen signifikanten Einfluss auf die mechanische Festigkeit und das Kriechverhalten von Holz und ist daher bei der Bemessung von Holzbauteilen zu berücksichtigen. Entsprechend dem im Verlauf der Nutzung zu erwartenden Umgebungsklima des Bauteils erfolgt daher die Einstufung in eine von drei Nutzungsklassen (NKL). Die Verwendung von tragenden Bauteilen aus BauBuche ist nur in den NKL 1 und 2 zulässig. Eine Unterscheidung der mechanischen Festigkeitseigenschaften von BauBuche innerhalb der NKL 1 und 2 ist nicht erforderlich. Bei sichergestellter Verwendung von BauBuche in Nutzungsklasse 1 darf die charakteristische Druckfestigkeit erhöht werden (vgl. Kap. 3.1.2). Das stärkere Kriechverhalten von BauBuche in NKL 2 gegenüber NKL 1 muss dagegen beachtet werden.

Als NKL 1 ist ein Umgebungsklima mit einer Temperatur von 20 °C und einer relativen Luftfeuchte unter 65 % definiert. Bauteile in geschlossenen und klimatisierten Gebäuden sind in der Regel der NKL 1 zuzuordnen. In NKL 1 beträgt die mittlere Holzfeuchte meist weniger als 12 %.

Als NKL 2 ist ein Umgebungsklima mit einer Temperatur von 20 °C und einer relativen Luftfeuchte

bis zu 85 % definiert. Damit werden Bauteile in Gebäuden erfasst, die nicht klimatisiert werden können (keine allseitig geschlossene Hülle) aber witterungsgeschützt sind. Unter Umständen wird durch die geplante Nutzung auch bei geschlossenen Gebäuden eine Einstufung in NKL 2 erforderlich (z. B. Gewächshäuser). In NKL 2 beträgt die mittlere Holzfeuchte meist weniger als 20 %. Aufgrund der verzögerten Anpassung der Holzfeuchte an das Umgebungsklima durch den langsamen Feuchtetransport darf die relative Luftfeuchte für wenige Wochen innerhalb eines Jahres höhere Werte als oben angegeben aufweisen.

2.3 Modifizierung der Baustoffeigenschaften

2.3.1 Mechanische Festigkeit

In Abhängigkeit von der KLED sind die charakteristischen Festigkeiten für die Nachweise der Tragfähigkeit mit den Modifikationsbeiwerten k_{mod} nach Tabelle 1 anzupassen. Bei Verbindungen von Bauteilen mit unterschiedlichem zeitabhängigen Verhalten ist für k_{mod} die Wurzel aus dem Produkt der einzelnen k_{mod} -Werte zu verwenden.

$$k_{\text{mod}} = \sqrt{k_{\text{mod},1} \cdot k_{\text{mod},2}} \quad (2.6)$$

Setzt sich die Belastung aus Einwirkungen unterschiedlicher KLED zusammen, darf für die Ermittlung von k_{mod} die Einwirkung mit der kürzesten KLED verwendet werden. Es ist aber immer zu untersuchen, ob der Lastfall „nur ständige Lasten“ für die Bemessung maßgebend wird.

2.3.2 Kriechverhalten

Bei Tragwerken, die aus Bauteilen mit unterschiedlichem Kriechverhalten bestehen, müssen für die Berechnung der Endverformungen die Endwerte der mittleren Elastizitäts-, Schub- und Verschiebungsmoduln verwendet werden. Dazu werden die Mittelwerte durch den Faktor $(1 + k_{\text{def}})$ dividiert. Die Werte für den Verformungsbeiwert k_{def} werden in Abhängigkeit der NKL der Tabelle 1 entnommen. Sind die Schnittgrößen dabei zudem abhängig von den Einzelsteifigkeiten (bei Berechnung nach Theorie II. Ordnung), sollten die mittleren Elastizitäts-, Schub- und Verschiebungsmoduln durch den Faktor $(1 + \psi_2 \cdot k_{\text{def}})$ dividiert werden.

Bei Verbindungen von Bauteilen mit gleichem zeitabhängigen Verhalten muss k_{def} verdoppelt werden. Bei Verbindungen von Bauteilen mit unterschiedlichem zeitabhängigen Verhalten beträgt k_{def}

$$k_{\text{def}} = 2 \cdot \sqrt{k_{\text{def},1} \cdot k_{\text{def},2}} \quad (2.13)$$

2.4 Nachweis nach der Methode der Teilsicherheitsbeiwerte

Für den Nachweis von Bauteilen und Verbindungen werden die Einwirkungen F_E den Widerständen F_R gegenübergestellt. Ziel ist es, die Wahrscheinlichkeit eines Versagens, also den Fall, dass die Einwirkungen größer als die Widerstände sind, zu minimieren, ohne dabei allzu unwirtschaftliche Konstruktionen zu erhalten. Dafür werden bei der Methode der Teilsicherheitsbeiwerte die Einwirkungen F_E mit den Teilsicherheitsbeiwerten γ nach Tabelle 2 multipliziert und die Widerstände F_R durch den Material Sicherheitsbeiwert γ_M dividiert und mit dem Modifikationsbeiwert k_{mod} multipliziert. Für den Material Sicherheitsbeiwert von BauBuche ist für die ständige und vorübergehende Bemessungssituation $\gamma_M = 1,2$ zu verwenden, für die außergewöhnliche Bemessungssituation (z. B. Brand) darf γ_M zu 1,0 gesetzt werden.

Für die ständige und vorübergehende Bemessungssituation ist $\gamma_M = 1,3$ zu verwenden.

Bemerkung: Für die nachfolgenden Anwendungsbeispiele wird $\gamma_M = 1,3$ aus dem nationalen Anhang für Deutschland verwendet.

Tabelle 1: Modifikationsbeiwert k_{mod} und Verformungsbeiwert k_{def} für BauBuche

NKL	k_{mod}					k_{def}
	Klasse der Lasteinwirkungsdauer					
	ständig	lang	mittel	kurz	sehr kurz	
1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10	0,60
2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10	0,80

$$F_{\text{Rd}} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{F_{\text{Rk}}}{\gamma_M} \quad (2.17)$$

Sowohl die Einwirkungen F_E als auch die Widerstände F_R sind in der Regel Verteilungsfunktionen von Zufallsvariablen. Eine weitere Erhöhung der Zuverlässigkeit wird erreicht, indem für die Bemessung nicht die Mittelwerte dieser Zufallsvariablen, sondern obere (E) und untere (R) Quantilwerte verwendet werden. Für die Widerstände werden üblicherweise die 5 %-Quantile verwendet.

Tabelle 2: Teilsicherheitsbeiwerte im Grenzzustand der Tragfähigkeit, * Empfehlung

	ständige Einwirkungen	veränderliche Einwirkungen
ungünstige Auswirkung	$\gamma_{\text{G,sup}} = 1,35$	$\gamma_Q = 1,50$
günstige Auswirkung	$\gamma_{\text{G,inf}} = 0,90^*$	–

2.5 Zusammenfassung

Tabelle 3 und Tabelle 4 geben eine Übersicht über die zu verwendenden Steifigkeitskennwerte im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG) und im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT). Für die Nachweise ganzer Systeme darf mit den Mittelwerten der Steifigkeit gerechnet werden, da innerhalb eines Systems Stäbe mit niedrigeren Steifigkeitseigenschaften von Stäben mit höheren Steifigkeitseigenschaften ausgeglichen werden. Das 5 %-Quantil der Steifigkeit von Verbindungen darf durch Abminderung des Mittelwerts K_{mean} im Verhältnis $E_{0,05}/E_{\text{mean}}$ bestimmt werden.

Tabelle 3: Steifigkeitskennwerte für Systeme

	GZG	GZT	
		$t = 0$	$t = \infty$
Bauteile	E_{mean}	$\frac{E_{\text{mean}}}{\gamma_M}$	$\frac{E_{\text{mean}}}{\gamma_M \cdot (1 + k_{\text{def}})}$
	G_{mean}	$\frac{G_{\text{mean}}}{\gamma_M}$	$\frac{G_{\text{mean}}}{\gamma_M \cdot (1 + k_{\text{def}})}$
Verbindungen	K_{mean}	$\frac{2 \cdot K_{\text{ser}}}{3 \cdot \gamma_M}$	$\frac{2 \cdot K_{\text{ser}}}{3 \cdot \gamma_M \cdot (1 + k_{\text{def}})}$

Tabelle 4: Steifigkeitskennwerte für einzelne Stäbe

	GZG	GZT	
		$t = 0$	$t = \infty$
Bauteile	E_{mean}	$\frac{E_{0,05}}{\gamma_M}$	$\frac{E_{0,05}}{\gamma_M \cdot (1 + k_{\text{def}})}$
	G_{mean}	$\frac{G_{0,05}}{\gamma_M}$	$\frac{G_{0,05}}{\gamma_M \cdot (1 + k_{\text{def}})}$
Verbindungen	K_{mean}	$\frac{2 \cdot K_{\text{ser}} \cdot E_{0,05}}{3 \cdot \gamma_M \cdot E_{\text{mean}}}$	$\frac{2 \cdot K_{\text{ser}} \cdot E_{0,05}}{3 \cdot \gamma_M \cdot (1 + k_{\text{def}}) \cdot E_{\text{mean}}}$

3 BAUSTOFFEIGENSCHAFTEN

Die Festigkeitswerte sind der aktuellen Zulassung bzw. den Leistungserklärungen für BauBuche zu entnehmen. Die Festigkeitswerte sind dabei abhängig vom Winkel zwischen Beanspruchungsrichtung und Faserrichtung der Decklage und von der Bauteilgeometrie.

3.1 Festigkeitswerte Platte BauBuche S/Q

Bei der Bemessung der Platte BauBuche muss daher die Richtung der Belastung und der Einbau des Querschnitts genau betrachtet werden. So unterscheiden sich z. B. die Werte für die Querdrukfestigkeit $f_{c,90,k}$ für eine Belastung der Deckfläche oder der Schmalfläche. Die nachfolgenden Betrachtungen basieren auf der Allgemeinen Bauartgenehmigung Z-9.1-838 vom 19. September 2018 und der Leistungserklärung PM-005-2018 vom 27.07.2018.

3.1.1 Biegefestigkeit

Der charakteristische Wert der Biegefestigkeit $f_{m,k}$ bei Scheibenbeanspruchung ist für Bauteile der Höhe h zwischen 300 mm und 1.000 mm mit dem Beiwert k_h abzumindern. Bauteile mit h größer 1.000 mm dürfen derzeit nicht auf Biegung beansprucht werden.

$$k_h = \left[\frac{300}{h} \right]^{0,12} \quad (3.3)$$

3.1.2 Druckfestigkeit

Die Werte für die Druckfestigkeiten $f_{c,o,k}$ und $f_{c,90,k}$ weisen eine signifikante negative Korrelation mit der Holzfeuchte auf. Sofern die Einstufung des Bauteils in die Nutzungsklasse 1 sichergestellt ist, dürfen die Druckfestigkeiten

Tabelle 6: Beiwert k_h

Höhe in mm	k_h
300	1,000
400	0,966
500	0,941
600	0,920
700	0,903
800	0,889
900	0,876
1.000	0,865

daher nach den

Tabelle 7: Beiwert k_ℓ

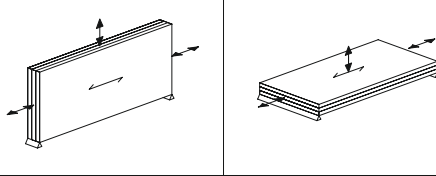
Angaben der Bauteillänge in mm	k_ℓ
Tabelle 8 bis 500	1,100
Tabelle 11 mit dem 1.000	1,068
Faktor 1,2 erhöht werden. 2.000	1,025
3.000	1,000
4.000	0,983
5.000	0,970
6.000	0,959
7.000	0,950
8.000	0,943
9.000	0,936
10.000	0,930
20.000	0,892
35.000	0,863

$$k_\ell = \min \left\{ \left[\frac{3000}{\ell} \right]^{s/2} \right\} \text{ mit } s = 0,12 \quad (3.4)$$

Tabelle 5: Definition der Festigkeitsbezeichnungen für BauBuche

	Scheibenbeanspruchung	Plattenbeanspruchung
$f_{m,k}$ Biegefestigkeit in Faserrichtung der Decklage		
$f_{m,90,k}$ Biegefestigkeit quer zur Faserrichtung der Decklage		
$f_{t,o,k}$ Zugfestigkeit in Faserrichtung der Decklage		
$f_{t,90,edge,k}$ Zugfestigkeit quer zur Faserrichtung der Decklage in Plattenebene		
$f_{c,o,k}$ Druckfestigkeit in Faserrichtung der Decklage		
$f_{c,90,edge,k}$ Druckfestigkeit quer zur Faserrichtung der Decklage in Plattenebene		
$f_{c,90,flat,k}$ Druckfestigkeit quer zur Faserrichtung der Decklage senkrecht zur Plattenebene		
$f_{v,k}$ Schubfestigkeit		
$f_{v,R,k}$ Rollschubfestigkeit		

Tabelle 8: Kennwerte für
Platte BauBuche S
mit der Nenndicke von
21 bis 66 mm in N/mm²



Festigkeitskennwerte in N/mm²

Biegung	$f_{m,k}$	(64,9) - 75,0 ^{a)}	80,0
Zug	$f_{t,o,k}$	(51,7) - 60,0 ^{b)} - (66,0)	
	$f_{t,90,edge,k}$	1,5	
Druck	$f_{c,o,k}$	57,5 ^{c)} - (69,0)	
	$f_{c,90,edge,k}$	(11,7) ^{c)} - 14,0	
	$f_{c,90,flat,k}$	10,0 ^{c)} - (12,0)	
Schub	$f_{v,k}$	8,0	

Steifigkeitskennwerte in N/mm²

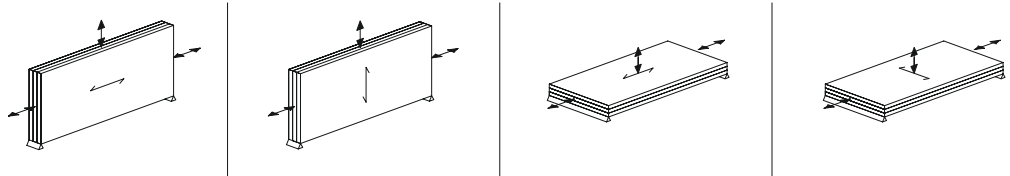
Elastizitäts- modul	$E_{o,mean}$	16.800	
	$E_{o,05}$	14.900	
	$E_{90,mean}$	470	
	$E_{90,05}$	400	
Schubmodul	G_{mean}	760	850
	G_{05}	630	760

Rohdichtekennwerte in kg/m³

ρ_k	730		
ρ_{mean}	800		

- *) Platte BauBuche Q mit einer Nenndicke von $B \leq 24$ mm darf nicht in Hochkantbiegung verwendet werden
- a) für $300 \text{ mm} < h \leq 1.000 \text{ mm}$ ist $f_{m,k}$ mit $k_h = (300/h)^{0,12}$ abzumindern
- b) $f_{t,o,k}$ ist mit $k_\ell = \min \{ (3.000/\ell)^{s/2}; 1,1 \}$ mit $s = 0,12$ zu multiplizieren
- c) $f_{c,o,k}$, $f_{c,90,edge,k}$ und $f_{c,90,flat,k}$ dürfen in NKL 1 mit dem Faktor 1,2 multipliziert werden
- d) $f_{m,k}$ darf mit $k_{h,m} = (600/h)^{0,10}$ multipliziert werden
- e) $f_{t,o,k}$ darf mit $k_{h,t} = (600/h)^{0,10}$ multipliziert werden; dabei ist h die größere Seitenlänge
- f) $f_{c,o,k}$ und $f_{c,90,k}$ dürfen in NKL 1 mit dem Faktor 1,2 multipliziert werden
- g) $f_{c,o,k}$ darf mit $k_{c,o} = \min (0,0009 \cdot h + 0,892; 1,18)$ multipliziert werden
- h) $f_{v,k}$ darf mit $k_{h,v} = (600/h)^{0,13}$ multipliziert werden

Tabelle 9: Kennwerte für Platte
BauBuche Q mit Nenndicke
 $B \leq 24$ mm *) in N/mm²



Festigkeitskennwerte in N/mm²

Biegung	$f_{m,o,k}$	*)		70,0	
	$f_{m,90,k}$		*)		32,0
Zug	$f_{t,o,k}$	(39,7) - 46,0 ^{b)} - (50,6)		(39,7) - 46,0 ^{b)} - (50,6)	
	$f_{t,90,edge,k}$		15,0		15,0
Druck	$f_{c,o,k}$	57 ^{c)} - (68,4)		57 ^{c)} - (68,4)	
	$f_{c,90,edge,k}$	40,0 ^{c)} - (48,0)	40,0 ^{c)} - (48,0)		40,0 ^{c)} - (48,0)
	$f_{c,90,flat,k}$			16,0 ^{c)} - (19,2)	16,0 ^{c)} - (19,2)
Schub	$f_{v,k}$	7,8	7,8	3,8	
Rollschub	$f_{vR,k}$				3,8

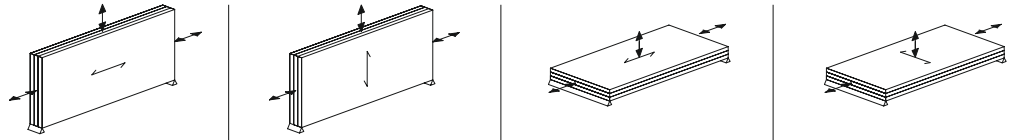
Steifigkeitskennwerte in N/mm²

Elastizitäts- modul	$E_{o,mean}$	11.800		11.800	
	$E_{o,05}$	10.900		10.900	
	$E_{90,edge,mean}$		3.500		3.500
	$E_{90,edge,05}$		3.200		3.200
	$E_{90,flat,mean}$			470	470
	$E_{90,flat,05}$			400	400
Schubmodul	G_{mean}	820	820	430	430
	G_{05}	540	540	360	360

Rohdichtekennwerte in kg/m³

ρ_k	730				
ρ_{mean}	800				

Tabelle 10: Kennwerte für Platte
BauBuche Q mit Nenndicke
27 mm ≤ B ≤ 66 mm in N/mm²



Festigkeitskennwerte in N/mm²

Biegung	$f_{m,o,k}$	(51,1) - 59,0 ^{a)}		81,0	
	$f_{m,go,k}$		(7,8) - 9,0 ^{a)}		20,0
Zug	$f_{t,o,k}$	(42,3) - 49,0 ^{b)} - (53,9)		(42,3) - 49,0 ^{b)} - (53,9)	
	$f_{t,go,edge,k}$	8,0	8,0		8,0
Druck	$f_{c,o,k}$	62,0 ^{c)} - (74,4)		62,0 ^{c)} - (74,4)	
	$f_{c,go,edge,k}$	22,0 ^{c)} - (26,4)	22,0 ^{c)} - (26,4)		22,0 ^{c)} - (26,4)
	$f_{c,go,flat,k}$			16,0 ^{c)} - (19,2)	16,0 ^{c)} - (19,2)
Schub	$f_{v,k}$	7,8	7,8	3,8	
Rollschub	$f_{vR,k}$				3,8

Steifigkeitskennwerte in N/mm²

Elastizitätsmodul	$E_{o,mean}$	12.800		12.800	
	$E_{o,05}$	11.800		11.800	
	$E_{go,edge,mean}$	2.000	2.000		2.000
	$E_{go,edge,05}$	1.800	1.800		1.800
	$E_{go,flat,mean}$			470	470
	$E_{go,flat,05}$			400	400
Schubmodul	G_{mean}	820	820	430	430
	G_{05}	540	540	360	360

Rohdichtekennwerte in kg/m³

ρ_k	730
ρ_{mean}	800

3.2 Festigkeitswerte Träger BauBuche GL75

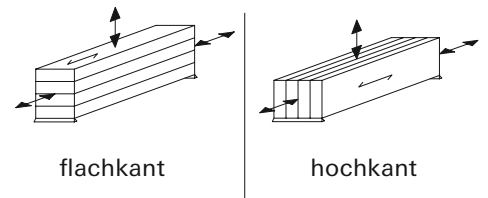
Die nachfolgenden Betrachtungen basieren auf der Europäisch technischen Zulassung ETA-14/0354 vom 11. Juli 2018 und der Leistungserklärung PM-008-2018 vom 11.07.2018. Für die Beanspruchung „Lamellen hochkant“ wurden die Materialeigenschaften des Grundmaterials Platte BauBuche S nach der Allgemeinen Bauartgenehmigung Z-9.1-838 vom 19. September 2018 und der Leistungserklärung PM-005-2018 vom 27.07.2018 angenommen.

3.2.1 Biegefestigkeit

Die charakteristischen Werte der Festigkeiten dürfen bei Biege- und Schubbeanspruchung sowie bei Zug- und Druckspannungen in Faserichtung modifiziert werden, wenn die Bauteilhöhe von 600 mm abweicht. Grund hierfür ist, dass die in den Zulassungen aufgeführten Festigkeitswerte an Prüfkörpern mit einer Höhe von 600 mm ermittelt wurden. Bei Bauteilhöhen größer 600 mm müssen die Beiwerte berücksichtigt werden. Für Flachkant-Biegebeanspruchungen der Lamellen darf der charakteristische Wert der Biegefestigkeit $f_{m,k}$ mit dem Beiwert $k_{h,m}$ multipliziert werden.

$$k_{h,m} = \left[\frac{600}{h} \right]^{0,1} \quad h = \text{Bauteilhöhe in mm}$$

Tabelle 11: Kennwerte für
Träger BauBuche GL75
in N/mm²



Lamellen

flachkant

hochkant

Festigkeitskennwerte in N/mm²

Biegung	$f_{m,k}$	(65,0) ^{d)} - (75,0) ^{d)} - (91,7)	75,0
Zug	$f_{t,o,k}$	(52,0) - 60,0 ^{b)e)} - (73,0)	
	$f_{t,go,k}$	0,6	1,5
Druck	$f_{c,o,k}$	NKL 1: 59,4 ^{f)g)} - (70,0) NKL 2: 49,5 ^{f)g)} - (58,4)	
	$f_{c,go,k}$	NKL 1: 14,8 ^{f)} NKL 2: 12,3	NKL 1: 14,0 NKL 2: 11,7
Schub	$f_{v,k}$	4,5 ^{h)} - (5,8)	8,0

Steifigkeitskennwerte in N/mm²

Elastizitätsmodul	$E_{o,mean}$	16.800	
	$E_{o,05}$	15.300	
	$E_{go,mean}$	470	
	$E_{go,05}$	400	
Schubmodul	G_{mean}	850	760
	G_{05}	760	630

Rohdichtekennwerte in kg/m³

ρ_k	730
ρ_{mean}	800

3.2.2 Zugfestigkeit

Für die Zugfestigkeit gilt, dass der charakteristische Wert $f_{t,o,k}$ parallel zur Faserrichtung abhängig von der größeren Seitenlänge h mit dem Beiwert $k_{h,t}$ erhöht werden darf.

$$k_{h,t} = \left(\frac{600}{h} \right)^{0,1} \quad h = \text{größere Seitenlänge in mm}$$

Für die Anpassung der Zugfestigkeit in Abhängigkeit der Bauteillänge gilt Abschnitt 3.1.3 sinngemäß.

3.2.3 Schubfestigkeit

Der charakteristische Wert der Schubfestigkeit $f_{v,k}$ darf mit dem Beiwert $k_{h,v}$ erhöht werden.

$$k_{h,v} = \left(\frac{600}{h} \right)^{0,13} \quad h = \text{Bauteilhöhe in mm}$$

3.2.4 Druckfestigkeit

Bei sichergestellter Verwendung des Produkts in Nutzungsklasse 1 darf der charakteristische Wert der Druckfestigkeit um 20 % erhöht werden. Des Weiteren darf ab vier miteinander verklebten Lamellen der Wert $f_{c,o,k}$ mit dem Systembeiwert $k_{c,o}$ multipliziert werden.

$$k_{c,o} = \min (0,0009 \cdot h + 0,892; 1,18)$$

mit der Bauteilhöhe h in mm.

Tabelle 12: Beiwerte

Höhe	Biegung	Zug	Schub	Druck
h in mm	$k_{h,m}$	$k_{h,t}$	$k_{h,v}$	$k_{c,o}$
80	1,22	1,22	1,30	1,00
120	1,17	1,17	1,23	1,00
160	1,14	1,14	1,19	1,04
200	1,12	1,12	1,15	1,07
240	1,10	1,10	1,13	1,11
280	1,08	1,08	1,10	1,14
320	1,06	1,06	1,09	1,18
360	1,05	1,05	1,07	1,18
400	1,04	1,04	1,05	1,18
440	1,03	1,03	1,04	1,18
480	1,02	1,02	1,03	1,18
520	1,01	1,01	1,02	1,18
560	1,01	1,01	1,01	1,18
600	1,00	1,00	1,00	1,18
...	...	...	...	...
1360	0,92	0,92	0,90	1,18

3.3 Schwinden und Quellen

Die Werte in Tabelle 13 beschreiben das Verformungsverhalten jeweils in Plattenebene bzw. in Richtung der Plattendicke/Bauteilhöhe.

Die Werte sind Empfehlungen des Herstellers.

Tabelle 13: Schwind- und Quellmaße für BauBuche

Schwind-/Quellmaß in % je 1 % Feuchteänderung unterhalb des Fasersättigungspunktes (ca. 35 %)

Platte S, GL75

in Faserrichtung des Deckfurniers	0,01
quer zur Faserrichtung des Deckfurniers	0,40
in Richtung der Plattendicke/Bauteilhöhe	0,45

Platte Q

in Faserrichtung des Deckfurniers	0,01
quer zur Faserrichtung des Deckfurniers	0,03
in Richtung der Plattendicke	0,45

Generell sind Einwirkungen, die durch Feuchtewechsel im Holz ausgelöst werden, zu berücksichtigen. BauBuche wird mit einer Holzfeuchte von 6 % ($\pm 2\%$) ausgeliefert und weist ein hohes Schwind- und Quellmaß auf. Um insbesondere im Montagezustand Holzfeuchteänderungen und damit ggf. verbundene Feuchteschäden zu vermeiden, ist ein ausreichender Witterungs-/Feuchteschutz für die Bauteile und den Verbindungsbereich vorzusehen. Nähere Informationen hierzu finden Sie in der Broschüre 03 »Bauphysik« und 09 »Holzschutz & Oberflächenbehandlung«.

3.4 Wichte zur Berechnung des Eigengewichts

DIN EN 1991-1-1 gibt keinen Wert für die Wichte von Furnierschichtholz aus Buchenfurnieren an. Es wird daher empfohlen, den Wert aus DIN 1055-1 zu verwenden. Demnach sollte das Eigengewicht von Bauteilen aus BauBuche mit einer Wichte von $8,5 \text{ kN/m}^3$ berechnet werden.

3.5 Korrosivität

Die Korrosionsgefahr metallischer Verbindungsmittel wird neben den äußeren Umgebungsbedingungen auch durch die verwendete Holzart beeinflusst. Maßgebend dafür sind der Gerbstoffgehalt und der pH-Wert des Holzes. Buchenholz kann als „gering korrosiv“ betrachtet werden. Die Gefahr von Korrosion durch Buchenholz ist höher als die durch Fichtenholz, aber deutlich geringer als die durch Eichenholz. Es wird empfohlen, metallische Verbindungsmittel mit einer Mindestzinkschichtdicke entsprechend Tabelle 4.1 des Eurocode 5 oder einem gleichwertigen Korrosionsschutz zu verwenden. Falls die Zulassung des verwendeten Verbindungsmittels eine geringere Zinkschichtdicke oder einen alternativen Korrosionsschutz für den Einbau in Buchenholz erlaubt, darf von der oben gemachten Empfehlung abgewichen werden.

4 GRENZZUSTAND DER TRAGFÄHIGKEIT

DIN EN 1995-1-1, Kap. 6

DIN EN 1995-1-1/NA, NCI NA 6

Die Einwirkungen für die Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit sind für die ständige und für die vorübergehende Bemessungssituation zu ermitteln. Die Festigkeitswerte sind mit dem Teilsicherheitsbeiwert γ_M und dem Modifikationsbeiwert k_{mod} abzumindern.

4.1 Querschnittsnachweise

4.1.1 Allgemeines

Die Festigkeitseigenschaften von Holz unterscheiden sich signifikant bei Belastung in Richtung des Faserverlaufs oder rechtwinklig dazu. Bei der Bemessung von BauBuche muss daher die Richtung der Belastung und der Einbau des Querschnitts genau betrachtet werden. So unterscheiden sich z. B. die Werte für $f_{c,90,k}$ für eine Belastung der Deckfläche oder der Schmalfläche. Die Festigkeitswerte sind der aktuellen Zulassung bzw. Leistungserklärung zu entnehmen. Die Festigkeitswerte sind dabei abhängig von der Ausrichtung des Bauteils gegenüber der Belastung und der Bauteilgeometrie.

4.1.2 Zug in Faserrichtung

Der Nachweis der Zugspannungen ist mit dem Nettoquerschnitt zu führen. Das heißt, dass Schwächungen z. B. durch Verbindungsmittel berücksichtigt werden müssen. Bei exzentrischer Einleitung von Zugkräften entstehen Zusatzmomente, die berücksichtigt werden müssen.

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d} \quad (6.1)$$

Beispiel 1: Zugstab aus BauBuche GL75

Einwirkung: $F_{Ed} = 350 \text{ kN}$, $k_{mod} = 0,8$

Kennwerte: $80/120 \text{ mm}$, $\ell = 5 \text{ m}$

Die Zugspannung beträgt

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{350 \cdot 10^3 \text{ N}}{120 \text{ mm} \cdot 80 \text{ mm}} = 36,5 \text{ N/mm}^2$$

Der Bemessungswert der Zugfestigkeit darf mit dem Beiwert $k_{h,t}$ erhöht werden, da die Bauteilhöhe kleiner ist als 600 mm. Des Weiteren ist der Beiwert k_ℓ zu berücksichtigen, da die Bauteillänge größer ist als 3,0 m.

$$k_{h,t} = \left[\frac{600}{h} \right]^{0,10} = \left[\frac{600}{120} \right]^{0,10} = 1,17$$

$$k_\ell = \min \left\{ \left[\frac{3.000}{\ell} \right]^{s/2} = \left[\frac{3.000}{5.000} \right]^{0,12/2} = 0,97 \right\} = 0,97$$

$$f_{t,0,d} = 1,17 \cdot 0,97 \cdot \frac{0,8}{1,3} \cdot 60 \text{ N/mm}^2 = 41,9 \text{ N/mm}^2$$

$$\eta = \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} = \frac{36,5}{41,9} = 0,87 \leq 1,0$$

Zug unter einem Winkel α

Für die Platte BauBuche Q mit Querlagen ist für eine Beanspruchung unter einem Winkel α zur Faserrichtung der Decklagen ein gesonderter Nachweis zu führen.

$$\sigma_{t,\alpha,d} \leq k_\alpha \cdot f_{t,0,d} \quad (\text{NA.58})$$

mit:

$$k_\alpha = \frac{1}{\frac{f_{t,0,d}}{f_{t,90,d}} \sin^2 \alpha + \frac{f_{t,0,d}}{f_{v,d}} \sin \alpha \cdot \cos \alpha + \cos^2 \alpha} \quad (\text{NA.59})$$

4.1.3 Druck in Faserrichtung

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d} \quad (6.2)$$

Stabilitätsgefährdete Bauteile sind nach Kapitel 4.2.1 zu bemessen.

Beispiel 2: Druckstab aus BauBuche GL75

Einwirkung: $F_{Ed} = 850 \text{ kN}$, $k_{mod} = 0,8$, NKL 1

Kennwerte: $160/160 \text{ mm}$

Die Druckspannung beträgt

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{850 \cdot 10^3 \text{ N}}{160 \text{ mm} \cdot 160 \text{ mm}} = 33,2 \text{ N/mm}^2$$

Der Bemessungswert der Druckfestigkeit darf in Nutzungsklasse 1 mit dem Faktor 1,2 erhöht werden. Des Weiteren darf eine Erhöhung mit dem Beiwert $k_{c,0}$ erfolgen.

$$\begin{aligned} k_{c,0} &= \min(0,0009 \cdot h + 0,892; 1,18) \\ &= \min(0,0009 \cdot 160 + 0,892; 1,18) \\ &= \min(1,04; 1,18) = 1,04 \end{aligned}$$

$$f_{c,0,d} = 1,2 \cdot 1,04 \cdot \frac{0,8}{1,3} \cdot 49,5 \text{ N/mm}^2 = 38,0 \text{ N/mm}^2$$

$$\eta = \frac{33,2}{38,0} = 0,87 \leq 1,0$$

4.1.4 Druck rechtwinklig zur Faserrichtung

Der Nachweis von Druckkräften auf den Deck- oder Schmalflächen bei BauBuche darf mit einer wirksamen Kontaktfläche geführt werden. Dabei darf die Kontaktfläche beidseits maximal um 30 mm in Faserrichtung vergrößert werden, um den Anteil der benachbarten Fasern an der Tragwirkung zu berücksichtigen (s. Bild 2). Eine Erhöhung der Querdrucktragfähigkeit mit dem Faktor $k_{c,90}$ gemäß DIN EN 1995-1-1, Kap. 6.1.5 ist bei Bauteilen aus BauBuche nicht möglich. Bei Platten aus BauBuche muss zwischen Belastung der Deckflächen und der Schmalflächen unterschieden werden. Bei Belastung der Schmalflächen ist die Festigkeit etwas höher. Der Nachweis der Druckspannungen rechtwinklig zur Faserrichtung lautet

$$\sigma_{c,90,d} \leq f_{c,90,d} \quad (6.3)$$

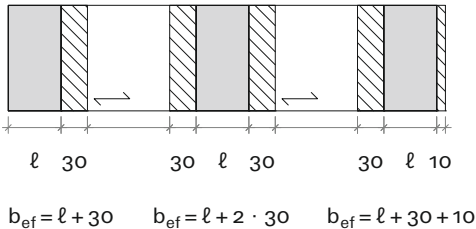


Bild 2: Wirksame Kontaktfläche; Maße in mm

4.1.5 Druck unter einem Winkel zur Faserrichtung

Bei Druckspannungen unter einem Winkel zur Faserrichtung tritt eine Kombination von Spannungen in und rechtwinklig zur Faserrichtung auf. Nach (6.16) beträgt die Druckfestigkeit für einen Winkel α zwischen Kraft und Faserrichtung

$$f_{c,\alpha,k} = \frac{f_{c,0,k}}{(f_{c,0,k}/f_{c,90,k}) \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

Der Nachweis der Druckspannungen unter einem Winkel zur Faserrichtung lautet

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

Bild 3 zeigt die Abnahme der Druckfestigkeit mit steigendem Winkel α . Für Nutzungsklasse 1 sind die Werte aus Bild 3 leicht konservativ, da die Druckfestigkeit $f_{c,0,k}$ mit dem Faktor 1,2 erhöht werden darf. Aufgrund der höheren Festigkeit $f_{c,90,k}$ bei Belastung der Schmalflächen nimmt hier auch die Festigkeit $f_{c,\alpha,k}$ langsamer ab. Der Beiwert $k_{c,0}$ ist in Bild 3 nicht berücksichtigt.

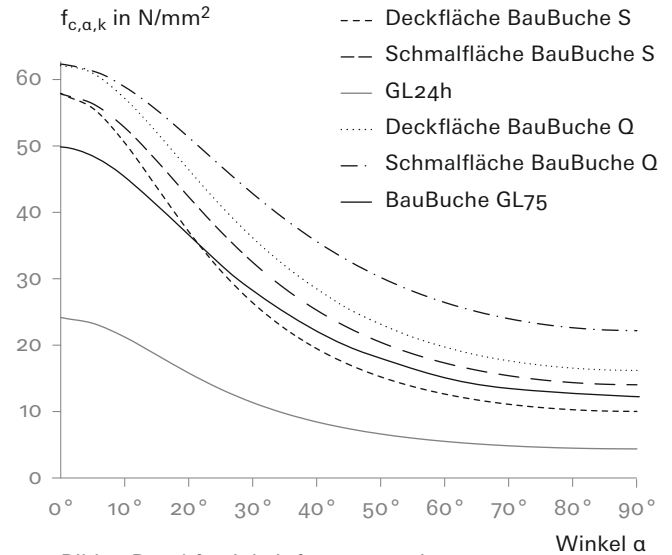


Bild 3: Druckfestigkeit $f_{c,\alpha,k}$ unter einem Winkel α zur Faserrichtung

4.1.6 Biegung

Bei zweiachsiger Biegung ist der Nachweis durch lineare Interaktion der Biegespannungen nach Gleichung (6.11) und (6.12) zu führen. Durch den Faktor $k_m = 0,7$ wird dabei die geringe hochbeanspruchte Querschnittsfläche bei Rechteckquerschnitten positiv berücksichtigt. Bei anderen Querschnittsformen ist k_m zu 1,0 zu setzen.

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (6.11)$$

$$k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (6.12)$$

Beispiel 3: Vergleich Biegestab aus Träger BauBuche GL75 mit Platte BauBuche S als Scheibe

Einwirkung: $M_{Ed} = 85 \text{ kNm}$, $k_{mod} = 0,8$
 Kennwerte: 80/400 mm

Die Biegespannung beträgt

$$\sigma_{m,d} = \frac{85 \cdot 10^6 \text{ Nmm} \cdot 6}{80 \text{ mm} \cdot (400 \text{ mm})^2} = 39,8 \text{ N/mm}^2$$

Der Bemessungswert der Biegefestigkeit von BauBuche GL75 darf mit dem Beiwert $k_{h,m}$ erhöht werden, da die Bauteilhöhe kleiner ist als 600 mm.

$$k_{h,m} = \left(\frac{600}{h} \right)^{0,10} = \left(\frac{600}{400} \right)^{0,10} = 1,04$$

$$f_{m,d} = 1,04 \cdot \frac{0,8}{1,3} \cdot 75 \text{ N/mm}^2 = 48,1 \text{ N/mm}^2$$

$$\eta = \frac{39,8}{48,1} = 0,83 \leq 1,0$$

Der Bemessungswert der Biegefestigkeit von Platte BauBuche S als Scheibe muss mit dem Beiwert $k_{h,m}$ reduziert werden, da die Bauteilhöhe zwischen 300 mm und 1000 mm liegt.

$$k_{h,m} = \left(\frac{300}{h} \right)^{0,12} = \left(\frac{300}{400} \right)^{0,12} = 0,97$$

$$f_{m,d} = k_{h,m} \cdot \frac{0,8}{1,3} \cdot 75 \text{ N/mm}^2 = 44,8 \text{ N/mm}^2$$

$$\eta = \frac{39,8}{44,8} = 0,89 \leq 1,0$$

4.1.7 Schub

Die Schubfestigkeit von Querschnitten aus Voll- und Brettschichtholz wird stark von den vorhandenen Risstiefen beeinflusst. BauBuche darf als rissfrei angesehen werden, eine Abminderung der Schubfestigkeit ist somit nicht erforderlich und der Faktor k_{cr} in (6.13a) kann zu 1,0 gesetzt werden.

Schubspannungen aus auflagnahen Einzellasten dürfen, aufgrund des positiven Einflusses durch gleichzeitig wirkende Druckspannungen in Querrichtung, unberücksichtigt bleiben. Als auflagnah gelten Lasten innerhalb eines Abstands h (Trägerhöhe über Auflagermitte) vom Auflagerand.

$$\tau_d \leq f_{v,d} \quad (6.13)$$

Beispiel 4: Schubnachweis bei BauBuche GL75

Einwirkung: $V_{Ed} = 60 \text{ kN}$, $k_{mod} = 0,8$

Kennwerte: 140/240 mm

Die Schubspannung beträgt

$$\begin{aligned} \tau_d &= 1,5 \cdot \frac{V_d}{h \cdot b \cdot k_{cr}} \\ &= 1,5 \cdot \frac{60 \cdot 10^3 \text{ N}}{140 \text{ mm} \cdot 240 \text{ mm} \cdot 1,0} = 2,68 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Der Bemessungswert der Schubfestigkeit darf mit dem Beiwert $k_{h,v}$ erhöht werden, da die Bauteilhöhe kleiner ist als 600 mm.

$$k_{h,v} = \left(\frac{600}{h} \right)^{0,13} = \left(\frac{600}{240} \right)^{0,13} = 1,13$$

$$f_{v,d} = 1,13 \cdot \frac{0,8}{1,3} \cdot 4,5 \text{ N/mm}^2 = 3,12 \text{ N/mm}^2$$

$$\eta = \frac{2,68}{3,12} = 0,86 \leq 1,0$$

Bei Doppelbiegung ist der Nachweis der Schubspannungen durch quadratische Interaktion zu führen

$$\left(\frac{\tau_{y,d}}{f_{v,d}} \right)^2 + \left(\frac{\tau_{z,d}}{f_{v,d}} \right)^2 \leq 1 \quad (\text{NA.55})$$

4.1.8 Torsion

Torsionsspannungen sind nach Gleichung (6.14) nachzuweisen. Bei der Ausbildung der Auflager muss die Torsionsbeanspruchung ebenfalls berücksichtigt werden.

$$\tau_{tor,d} \leq k_{shape} \cdot f_{v,d} \quad (6.14)$$

Bei Rechteckquerschnitten betragen die Torsionsspannungen

$$\tau_{tor,d} = 3 \cdot \left[1 + 0,6 \cdot \frac{b}{h} \right] \cdot \frac{M_{tor,d}}{h \cdot b^2}$$

Der Beiwert k_{shape} kann bei Rechteckquerschnitten nach (6.15) berechnet oder aus Bild 4 abgelesen werden.

$$k_{shape} = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 + 0,05 \cdot \frac{h}{b} \\ 1,3 \end{array} \right. \quad (6.15)$$

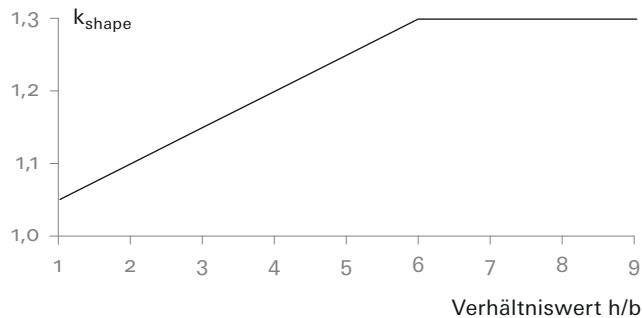


Bild 4: Beiwert k_{shape} für Rechteckquerschnitte

Bei Einwirkungskombinationen aus Querkraft und Torsion ist folgende Bedingung zu erfüllen

$$\left(\frac{\tau_{tor,d}}{k_{shape} \cdot f_{v,d}} \right) + \left(\frac{\tau_{y,d}}{f_{v,d}} \right)^2 + \left(\frac{\tau_{z,d}}{f_{v,d}} \right)^2 \leq 1 \quad (\text{NA.56})$$

4.2 Stabilität von Bauteilen

4.2.1 Biegeknicken

Geometrische und materielle Imperfektionen sind in statischen Systemen unvermeidbar, reine (zentrische) Druckbelastungen sind daher nie vorhanden. Imperfektionen führen zu einer Ausmitte der angreifenden Druckkräfte gegenüber der Systemlinie und somit zu zusätzlichen Biegebeanspruchungen. Bei Nachweisen mit Schnittgrößenermittlung nach Theorie I. Ordnung wird diese durch eine

rechnerische Abminderung der Druckfestigkeit berücksichtigt (Ersatzstabverfahren).

Bei Schnittgrößenermittlung nach Theorie II. Ordnung oder bei nicht knickgefährdeten Querschnitten (gedrungene und kontinuierlich gehaltene Querschnitte) darf $k_{c,y}$ und $k_{c,z}$ in (6.23) und (6.24) zu 1,0 gesetzt werden. Als gedungen gelten Querschnitte mit einem bezogenen Schlankheitsgrad $\lambda_{rel,y}$ und $\lambda_{rel,z}$ kleiner oder gleich 0,3.

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,o,k}}{E_{0,05}}}; \lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,o,k}}{E_{0,05}}} \quad (6.21) \quad (6.22)$$

mit

$$\lambda_{y/z} = \ell_{ef} / i_{y/z}$$

$$i_y = \frac{h}{\sqrt{12}}; i_z = \frac{b}{\sqrt{12}} \quad \text{für Rechteckquerschnitte}$$

$$\ell_{ef} = \beta \cdot \ell$$

Nachweis Biegeknicken

$$\frac{\sigma_{c,o,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,o,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (6.23)$$

$$\frac{\sigma_{c,o,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,o,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (6.24)$$

mit

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} \quad (6.25)$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} \quad (6.26)$$

mit

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2) \quad (6.27)$$

$$k_z = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2) \quad (6.28)$$

mit $\beta_c = 0,1$ für Brettschichtholz und Furnierschichtholz nach (6.29).

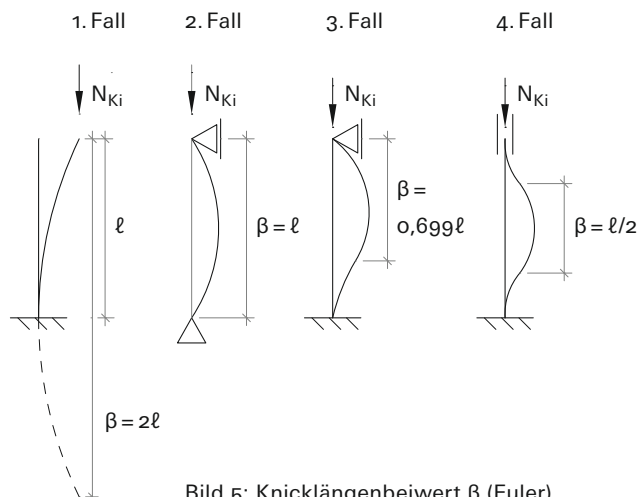


Bild 5: Knicklängenbeiwert β (Euler)

Tabelle 14: Beiwert $k_{c,y/z}$ in Abhängigkeit von $\lambda_{y/z}$ für Platte BauBuche und Träger BauBuche GL70

$\lambda_{y/z}$	$k_{c,y/z}$					
	NKL 1			NKL 2		
	GL75	Platte S	Platte Q*	GL75	Platte S	Platte Q*
15	1,000	0,997	0,991	1,000	1,000	0,995
20	0,989	0,984	0,973	0,993	0,989	0,980
25	0,975	0,967	0,949	0,981	0,975	0,961
30	0,957	0,945	0,912	0,967	0,958	0,934
35	0,933	0,912	0,851	0,949	0,934	0,892
40	0,898	0,862	0,759	0,924	0,899	0,826
45	0,846	0,788	0,652	0,889	0,848	0,736
50	0,775	0,698	0,552	0,838	0,777	0,638
55	0,691	0,607	0,468	0,772	0,694	0,548
60	0,608	0,526	0,400	0,695	0,611	0,471
65	0,534	0,457	0,344	0,619	0,536	0,408
70	0,469	0,400	0,299	0,549	0,471	0,356
75	0,414	0,352	0,262	0,488	0,416	0,312
80	0,368	0,311	0,232	0,435	0,370	0,276
85	0,328	0,278	0,206	0,389	0,330	0,246
90	0,294	0,249	0,185	0,350	0,296	0,220
95	0,266	0,224	0,166	0,316	0,267	0,198
100	0,241	0,203	0,150	0,287	0,242	0,180
105	0,219	0,185	0,137	0,261	0,220	0,163
110	0,200	0,169	0,125	0,239	0,201	0,149
115	0,184	0,155	0,114	0,219	0,185	0,137
120	0,169	0,142	0,105	0,202	0,170	0,126
125	0,156	0,131	0,097	0,186	0,157	0,116
130	0,145	0,122	0,090	0,173	0,145	0,108
135	0,134	0,113	0,083	0,161	0,135	0,100
140	0,125	0,105	0,078	0,150	0,126	0,093
145	0,117	0,098	0,072	0,140	0,117	0,087
150	0,109	0,092	0,068	0,131	0,110	0,081
155	0,102	0,086	0,064	0,123	0,103	0,076
160	0,096	0,081	0,060	0,115	0,097	0,071
165	0,091	0,076	0,056	0,108	0,091	0,067
170	0,085	0,072	0,053	0,102	0,086	0,063
175	0,081	0,068	0,050	0,097	0,081	0,060
180	0,076	0,064	0,047	0,091	0,077	0,057
185	0,072	0,061	0,045	0,087	0,073	0,054
190	0,069	0,058	0,042	0,082	0,069	0,051
195	0,065	0,055	0,040	0,078	0,066	0,048
200	0,062	0,052	0,038	0,074	0,062	0,046
205	0,059	0,050	0,037	0,071	0,059	0,044
210	0,056	0,047	0,035	0,067	0,057	0,042
215	0,054	0,045	0,033	0,064	0,054	0,040
220	0,051	0,043	0,032	0,062	0,052	0,038
225	0,049	0,041	0,030	0,059	0,049	0,036
230	0,047	0,040	0,029	0,056	0,047	0,035

* Werte gelten sowohl für Platte BauBuche Q mit einer Nenndicke $B \leq 24 \text{ mm}$ als auch für Platte BauBuche Q mit einer Nenndicke $27 \text{ mm} < B < 66 \text{ mm}$.

Beispiel 5: Stütze aus BauBuche GL75

Einwirkung: $F_{Ed} = 50 \text{ kN}$, $k_{mod} = 0,9$, NKL 2

Kennwerte: $100/120 \text{ mm}$, $\ell = 4 \text{ m}$

Die Druckspannung beträgt

$$\sigma_{c,o,d} = \frac{50 \cdot 10^3 \text{ N}}{100 \text{ mm} \cdot 120 \text{ mm}} = 4,17 \text{ N/mm}^2$$

Mit

$$\lambda_z = \frac{4,00 \text{ m}}{0,10 \text{ m} / \sqrt{12}} = 139$$

kann aus Tabelle 14 für $k_{c,z}$ ca. 0,152 abgelesen werden.

Der Stabilitätsnachweis ist eingehalten mit

$$\eta = \frac{\sigma_{c,o,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,o,d} \cdot k_{c,o}} = \frac{4,17 \text{ N/mm}^2}{0,152 \cdot 34,3 \text{ N/mm}^2 \cdot 1,0} = 0,80 \leq 1$$

4.2.2 Biegedrillknicken (Kippen)

Ähnlich wie beim Knicken von Druckstäben neigen schlanke Biegeträger unter vertikaler Belastung zum seitlichen Ausweichen am Druckrand und somit zu einer Verdrehung des Querschnitts. Beim Ersatzstabverfahren werden die Biegespannungen mit einer in Abhängigkeit vom Material und der Geometrie des Biegeträgers abgeminderten Biegefestigkeit verglichen.

Der bezogene Kippschlankheitsgrad beträgt

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{\ell_{ef} \cdot W_y}{\sqrt{I_z \cdot I_{tor}}}} \cdot \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\pi \sqrt{E_{0,05} \cdot G_{0,05}}}} \quad (6.30) \quad (6.31)$$

Bei Biegeträgern aus BauBuche GL75 darf darin das Produkt der 5%-Quantilen der Steifigkeitskennwerte $E_{0,05} \cdot G_{0,05}$ mit dem Faktor 1,2 multipliziert werden.

Dabei ist eine Unterteilung in einen Geometrie- und in einen Materialbeiwert möglich.

$$\text{Der Materialbeiwert } \kappa_m = \sqrt{f_{m,k} / (\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot G_{0,05}})}$$

beträgt so z. B. $\sqrt{75 / (\pi \cdot \sqrt{15.300 \cdot 760 \cdot 1,2})} = 0,08$.

Der Geometriebeiwert $\kappa_g = \sqrt{W_y / \sqrt{I_z \cdot I_{tor}}}$ kann, in Abhängigkeit vom Verhältnis h zu b , aus Bild 6 abgelesen werden. Damit vereinfacht sich der Ausdruck zu

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\ell_{ef} \cdot \kappa_m \cdot \kappa_g} \quad (\ell_{ef} \text{ in mm})$$

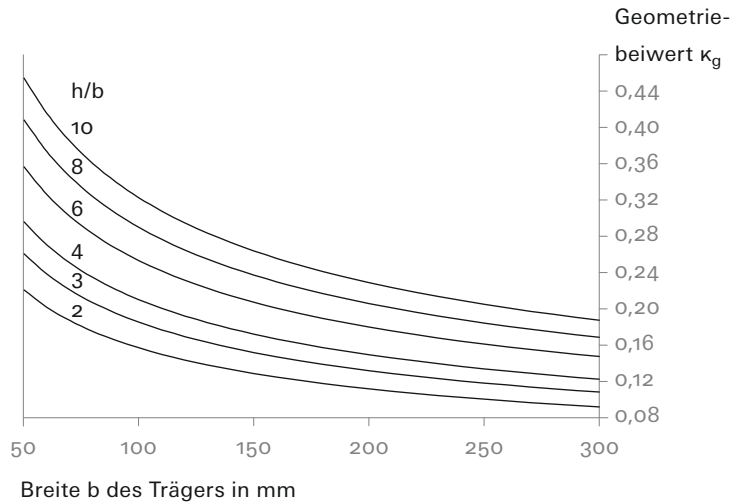


Bild 6: Geometriebeiwert κ_g für unterschiedliche Verhältnisse h/b in Abhängigkeit der Trägerbreite b

Die wirksamen Längen von Biegeträgern mit Lasteinleitung in der Schwerachse berechnen sich dabei nach Tabelle 15 aus der Trägerlänge bzw. dem Abstand der aussteifenden Elemente. Für Belastungen am Druckrand muss ℓ_{ef} um 2 h erhöht werden, bei Belastungen am Zugrand darf ℓ_{ef} um 0,5 h reduziert werden. Voraussetzung ist in jedem Fall eine ausreichende Sicherung des Biegeträgers gegenüber Verdrehen durch Gabellager.

Tabelle 15: Wirksame Länge für kippgefährdete Bauteile

Art	Belastung	ℓ_{ef}/ℓ
Einfeldträger	konstantes Biegemoment	1,0
	gleichmäßig verteilte Belastung	0,9
	Einzellast in Feldmitte	0,8
Kragträger	gleichmäßig verteilte Belastung	0,5
	Einzellast am freien Kragende	0,8

Der Beiwert zur Abminderung der Biegefestigkeit zur Berücksichtigung der zusätzlichen Spannungen infolge des seitlichen Ausweichens beträgt damit

$$\kappa_{crit} = \begin{cases} 1,0 & \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m} & 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \\ 1/\lambda_{rel,m}^2 & 1,4 < \lambda_{rel,m} \end{cases} \quad (6.34)$$

Bei reiner Biegebeanspruchung muss folgender Nachweis erfüllt sein

$$\sigma_{m,d} \leq \kappa_{crit} \cdot f_{m,d} \quad (6.33)$$

Bei einer kombinierten Biege- und Druckbeanspruchung gilt

$$\left[\frac{\sigma_{m,d}}{\kappa_{crit} \cdot f_{m,d}} \right]^2 + \frac{\sigma_{c,o,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,o,d}} \leq 1 \quad (6.35)$$

Beispiel 6: Kippgefährdeter Träger aus BauBuche GL75

Einwirkung: $M_{Ed} = 156 \text{ kNm}$, $k_{mod} = 0,9$, NKL 1
Kennwerte: $140/560 \text{ mm}$, $\ell = 10 \text{ m}$

Die Biegespannung beträgt

$$\sigma_{m,d} = \frac{156 \cdot 10^6 \text{ Nmm} \cdot 6}{140 \text{ mm} \cdot (560 \text{ mm})^2} = 21,3 \text{ N/mm}^2$$

Der Geometriebeiwert κ_g kann nach Bild 6 zu ca. 0,175 abgelesen werden. Damit beträgt der bezogene Schlankheitsgrad

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{0,9 \cdot 10 \cdot 10^3} \cdot 0,175 \cdot 0,08 = 1,33$$

und

$$k_{crit} = 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m} = 0,56 \text{ für } 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4$$

Der Stabilitätsnachweis ist eingehalten mit

$$\eta = \frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot k_{mod} \cdot k_{h,m} \cdot \frac{f_{m,k}}{Y_M}}$$

$$= \frac{21,3}{0,56 \cdot 0,9 \cdot 1,01 \cdot \frac{75}{1,3}} = 0,73 \leq 1,0$$

Bei zweiachsiger Biegung und Querschnittsverhältnissen von $h/b \leq 4$ ist der Nachweis wie folgt zu führen

$$\frac{\sigma_{c,o,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,o,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,y,d}} + \left(\frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \right)^2 \leq 1 \quad (\text{NA.60})$$

$$\frac{\sigma_{c,o,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,o,d}} + \left(\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,y,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (\text{NA.61})$$

4.3 Dachträger

4.3.1 Pulldachträger

Bei Pulldachträgern aus Platte BauBuche (hochkant) mit angeschnittenen Holzfasern ist der Nachweis der Biegespannungen an der Stelle $x_{\sigma,max}$ mit der maximalen Spannung zu führen.

Entlang des angeschnittenen Randes entstehen zusätzliche Quer- und Schubspannungen. Diese Spannungsinteraktion wird mit der Abminderung der Biegefestigkeit $f_{m,k}$ mit dem Faktor $k_{m,a}$ berücksichtigt. Dabei wird unterschieden zwischen Zug- und Druckspannungen am angeschnittenen Rand.

$$\sigma_{m,a,d} \leq k_{m,a} \cdot f_{m,d} \quad (6.38)$$

mit $k_{m,a}$ für Zugspannungen am angeschnittenen Rand für Platte BauBuche S

$$k_{m,a} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{m,d}}{0,75 \cdot f_{v,d}} \tan \alpha \right)^2 + \left(\frac{f_{m,d}}{f_{t,90,d}} \tan^2 \alpha \right)^2}} \quad (6.39)$$

und für Platte BauBuche Q

$$k_{m,a} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{m,d}}{f_{v,d}} \tan \alpha \right)^2 + \left(\frac{f_{m,d}}{f_{t,90,d}} \tan^2 \alpha \right)^2}}$$

bzw. Druckspannungen am angeschnittenen Rand für Platte BauBuche S

$$k_{m,a} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{m,d}}{1,5 \cdot f_{v,d}} \tan \alpha \right)^2 + \left(\frac{f_{m,d}}{f_{c,90,d}} \tan^2 \alpha \right)^2}} \quad (6.40)$$

und für Platte BauBuche Q

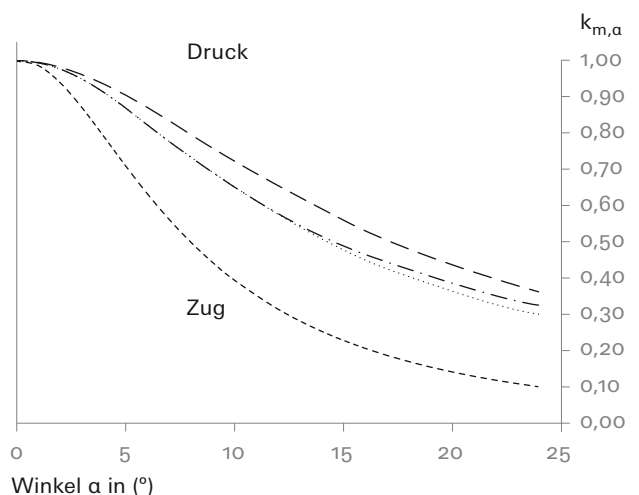
$$k_{m,a} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{m,d}}{f_{v,d}} \tan \alpha \right)^2 + \left(\frac{f_{m,d}}{f_{c,90,d}} \tan^2 \alpha \right)^2}}$$

Der Winkel α des Faseranschnitts ist auf 24° zu begrenzen.

Die maßgebende Stelle $x_{\sigma,max}$ für einen Träger mit konstanter Streckenlast liegt bei

$$x_{\sigma,max} = \frac{\ell}{1 + h_{ap} / h_s}$$

wobei h_{ap} die maximale Trägerhöhe und h_s die minimale Trägerhöhe angibt.



--- Zug BauBuche S Zug BauBuche Q
— Druck BauBuche S — Druck BauBuche Q

Bild 7: Beiwert $k_{m,a}$ für zug- und druckbeanspruchten Rand bei Trägern aus Platte BauBuche (hochkant) S und Q ($B \geq 27 \text{ mm}$); die Biegefestigkeit ist bereits für eine Höhe $h = 1.000 \text{ mm}$ nach (3.3) abgemindert.

4.3.2 Satteldachträger mit geradem Untergurt

Die Trägerhälften von Satteldachträgern mit geradem Untergurt können als Pultdachträger betrachtet werden und im Hinblick auf die Spannungsinteraktion nach Kapitel 4.3.1 nachgewiesen werden. Durch die veränderliche Trägerhöhe entsteht eine nichtlineare Verteilung der Biegespannung. Die Biegespannung für den Nachweis im Firstbereich wird daher mit dem Beiwert k_ℓ nach (6.43) bestimmt.

$$\sigma_{m,d} = k_\ell \cdot \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot h_{ap}^2} \leq f_{m,d} \quad (6.41) \quad (6.42)$$

mit

$$k_\ell = k_1 = 1 + 1,4 \cdot \tan \alpha_{ap} + 5,4 \cdot \tan^2 \alpha_{ap} \quad (6.43) \quad (6.44)$$

wobei h_{ap} die Trägerhöhe im First und α_{ap} den Anschnittwinkel des Trägers im Firstbereich angibt. Durch den Knick der Trägerachse im First entstehen Umlenkkräfte, die zu Querkzugspannungen führen. Folgende Bedingung muss erfüllt werden

$$\sigma_{t,90,d} \leq k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d} \quad (6.50)$$

$$\text{mit } k_{dis} = 1,4 \quad (6.52)$$

$$k_{vol} = \left[\frac{0,01 \text{ m}^3}{V} \right]^{0,2} = \left[\frac{0,01 \text{ m}^3}{h_{ap}^2 \cdot b \cdot (1 - 0,25 \cdot \tan \alpha_{ap})} \right]^{0,2} \quad (6.51)$$

Die größte Zugspannung rechtwinklig zur Faserichtung infolge Momentenbeanspruchung beträgt

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \cdot \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot h_{ap}^2} \quad (6.54)$$

mit

$$k_p = 0,2 \cdot \tan \alpha_{ap} \quad (6.56)$$

4.4 Ausgeklinkte Bauteile

Ausklinkungen an Auflagern werden vorwiegend ausgeführt, um Bauteile auf ein geringeres Höhenniveau zu bringen. Dabei entstehen hohe Querkzug- und Schubspannungen, die zu Rissen ausgehend von der Ausklinkungsecke führen können. Der schnellere Feuchtwechsel über die Hirnholzflächen verstärkt die Gefahr der Rissbildung noch. Durch Verwendung von Platte BauBuche Q (hochkant) kann in der Regel eine Rissbildung vermieden werden, da die Querlagen als Bewehrung für die Aufnahme von Querkzugkräften wirken.

Nachweis der Schubspannungen in der Ausklinkung

$$\tau_d = \frac{1,5 \cdot V_d}{b \cdot h_{ef}} \leq k_v \cdot f_{v,d} \quad (6.60)$$

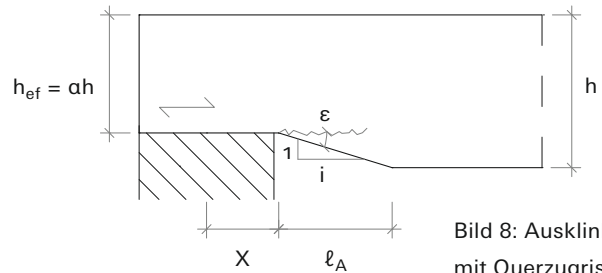


Bild 8: Ausklinkung mit Querschnitt

Für Träger mit der Ausklinkung auf der Gegenseite des Auflagers darf mit $k_v = 1,0$ gerechnet werden. Für an der Auflagerseite ausgeklinkte Träger gilt

$$k_v = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,0 \\ k_n \left[1 + \frac{1,1 \cdot i^{1,5}}{\sqrt{h}} \right] \end{array} \right\} \quad (6.62)$$

mit

i Neigung der Ausklinkung

$$i = \cot \epsilon = \frac{l_A}{h - h_{ef}}$$

(i = 0 für rechth. Ausklinkungen)

$$k_n = 4,5 \quad \text{für Furnierschichtholz} \quad (6.63)$$

$$\alpha = \frac{h_{ef}}{h} \quad \begin{array}{l} \text{Höhe } h \text{ des Biegestabes, reduzierte} \\ \text{Höhe } h_{ef} \text{ am ausgeklinkten Auflager} \end{array}$$

x Abstand zw. Ausklinkungsecke und Auflagerkraft

Für Träger mit Ausklinkungen auf der Gegenseite des Auflagers ist $k_v = 1$. Falls $x < h_{ef}$ ist, darf k_v nach Gleichung (NA.62) bestimmt werden

$$k_v = \left[\frac{h}{h_{ef}} \right] \cdot \left[1 - \frac{(h - h_{ef}) \cdot x}{h \cdot h_{ef}} \right] \quad (NA.62)$$

Beispiel 7: Vergleich rechtwinkliger Ausklinkung bei BauBuche GL75-Träger und BauBuche Q-Platte

Einwirkung: maßgeb. Querkraft $V_d = 6,0 \text{ kN}$,
 $k_{mod} = 0,8$

Kennwerte: Träger 50/200 mm
Höhe am Auflager $h_{ef} = 120 \text{ mm}$
Abstand zur Auskl. $x = 75 \text{ mm}$

BauBuche GL75-Träger:

Schubspannung an der Ausklinkung

$$\tau_d = \frac{1,5 \cdot V_d}{b \cdot h_{ef}} = \frac{1,5 \cdot 6,0 \cdot 10^3 \text{ N}}{50 \text{ mm} \cdot 120 \text{ mm}} = 1,50 \text{ N/mm}^2$$

Abminderungsbeiwert k_v

$$k_v = \min \left\{ \begin{array}{c} 1,0 \\ 4,5 \\ \sqrt{200 \left[\sqrt{0,6 \cdot (1 - 0,6)} + 0,8 \frac{75}{200} \sqrt{\frac{1}{0,6} - 0,6^2} \right]} \end{array} \right\}$$

$$= 0,382$$

mit

$$f_{v,d} = k_v \cdot \frac{k_{mod}}{Y_M} \cdot k_{h,v} \cdot f_{v,k}$$

$$= 0,382 \cdot \frac{0,8}{1,3} \cdot 1,15 \cdot 4,5 \text{ N/mm}^2 = 1,22 \text{ N/mm}^2$$

lautet der Nachweis

$$\eta = \frac{1,50}{1,22} = 1,23 > 1,0$$

BauBuche Q:

Die Querlagen werden als Verstärkungselemente betrachtet.

Die Berechnung der aufzunehmenden Zugkraft erfolgt nach Kapitel 9.3.2.

$$F_{t,90,d} = 1,3 \cdot V_d \cdot [3 \cdot (1 - \alpha)^2 - 2 \cdot (1 - \alpha)^3]$$

$$= 1,3 \cdot 6,0 \cdot [3 \cdot (1 - 0,6)^2 - 2 \cdot (1 - 0,6)^3] = 2,75 \text{ kN}$$

(NA.77)

Nach (NA.84) dürfen die Querlagen für den Nachweis nur innerhalb von

$$\ell_r \leq 0,5 \cdot (h - h_{ef}) = 0,5 \cdot 80 = 40,0 \text{ mm}$$

in Rechnung gestellt werden.

Damit lautet der Nachweis der Querzugspannungen

$$2,0 \cdot \frac{\sigma_{t,d}}{f_{t,d}} = 2,0 \cdot \frac{1,38 \text{ N/mm}^2}{4,9 \text{ N/mm}^2} = 0,56 \leq 1,0 \quad (\text{NA.82})$$

mit

$$\sigma_{t,d} = \frac{F_{t,90,d}}{t_r \cdot \ell_r} = \frac{2,75 \cdot 10^3 \text{ N}}{50 \text{ mm} \cdot 40 \text{ mm}} = 1,38 \text{ N/mm}^2$$

(NA.83)

$$f_{t,90,d} = 0,8 \cdot \frac{8 \text{ N/mm}^2}{1,3} = 4,9 \text{ N/mm}^2$$

Bemerkung: Als Dicke der Verstärkungsplatte t_r wird die gesamte Trägerbreite angesetzt. Dafür wird mit der Querkzugfestigkeit $f_{t,90,d}$ gerechnet. Aufgrund der Verstärkung durch die Querlagen darf der Nachweis der Schubspannungen ohne Berücksichtigung von k_v geführt werden

$$\eta = \frac{1,50}{4,80} = 0,31 \leq 1,0$$

mit dem Bemessungswert der Schubfestigkeit bei Scheibenbeanspruchung

$$f_{v,d} = \frac{0,8}{1,3} \cdot 7,8 \text{ N/mm}^2 = 4,8 \text{ N/mm}^2$$

Durch den Querlagenanteil kann die Tragfähigkeit des Auflagerdetails deutlich gesteigert werden.

4.5 Versätze

Versätze sind „zimmermannsmäßige“ Verbindungen zum Anschluss geneigter Stäbe, z. B. von Streben an Gurthölzer. Die Druckkraft wird dabei durch Kontaktpressung übertragen und über eine Scherbeanspruchung weitergeleitet. Klassische Varianten sind der Stirnversatz und der Fersenversatz sowie der doppelte Versatz als Kombination der beiden Varianten. Des Weiteren wurde eine Variante mehrerer, aneinandergereihter Fersenversätze untersucht („Treppenversatz“). Vorteile dieser Form sind u. a. geringe Einschnitttiefen, eine zentrische Druckkraft in der Strebe, kurze erforderliche Vorholzlängen sowie eine hohe Anschlusssteifigkeit. Die Bemessung von Treppenversätzen kann nach Enders-Comberg und Blaß (2014) erfolgen. Nähere Informationen hierzu finden Sie in der Broschüre 05 »Verbindungsmittel«. Bemerkung: Versätze werden im Eurocode 5 nicht behandelt. In diesem Dokument werden daher die Berechnungsgrundlagen des NA – Deutschland aufgeführt. Deren Anwendbarkeit außerhalb Deutschlands ist gegebenenfalls zu überprüfen.

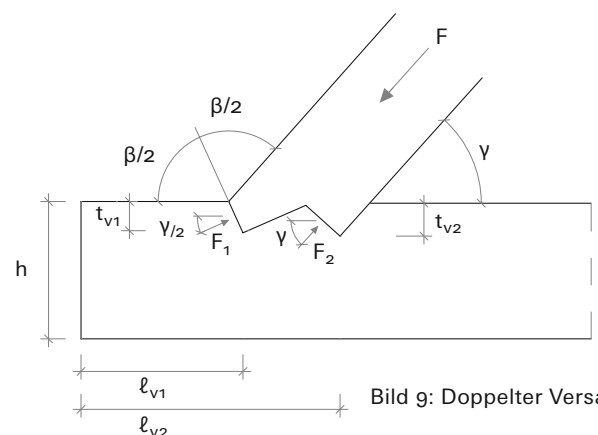


Bild 9: Doppelter Versatz

Nachweis der Druckspannungen in den Versatzflächen:

$$\frac{\sigma_{c,a,d}}{f_{c,a,d}} \leq 1 \quad (\text{NA.161})$$

mit

$$\sigma_{c,a,d} = \frac{F_{c,a,d}}{A} \quad (\text{NA.162})$$

$$f_{c,a,d} = \frac{f_{c,o,d}}{\sqrt{\left[\frac{f_{c,o,d}}{2 \cdot f_{c,90,d}} \sin^2 \alpha \right]^2 + \left[\frac{f_{c,o,d}}{2 \cdot f_{v,d}} \sin \alpha \cdot \cos \alpha \right]^2 + \cos^4 \alpha}} \quad (\text{NA.163})$$

Bemerkung: Bei Träger BauBuche GL75 (Lamellen hochkant) darf als Schubfestigkeit $f_{v,k} = 8,0 \text{ N/mm}^2$ als Wert des Grundmaterials (Platte BauBuche S) verwendet werden. Bei Verwendung von $8,0 \text{ N/mm}^2$ als charakteristischer Wert der Schubfestigkeit darf der Beiwert $k_{h,v} > 1$ nicht berücksichtigt werden.

Damit kann die aufnehmbare Kraft je Versatzfläche bestimmt werden

$$F_{R1,d} = \frac{f_{c,\gamma/2,d} \cdot b \cdot t_{v,1}}{\cos^2(\gamma/2)} \quad (\text{Stirnversatz})$$

$$F_{R2,d} = \frac{f_{c,\gamma,d} \cdot b \cdot t_{v,2}}{\cos \gamma} \quad (\text{Fersenversatz})$$

$$F_{R1,d} + F_{R2,d} \geq F_d$$

Nachweis der Scherkräfte in den Vorholzflächen

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1 \quad \text{mit} \quad \tau_d = \frac{F_d \cdot \cos \gamma}{b \cdot \ell_v}$$

Die erforderlichen Vorholzlängen sind damit

$$\ell_{v,1} = \frac{F_{R1,d} \cdot F_d \cdot \cos \gamma}{(F_{R1,d} + F_{R2,d}) \cdot b \cdot f_{v,d}} \quad (\text{Stirnversatz})$$

$$\ell_{v,2} = \frac{F_{R2,d} \cdot F_d \cdot \cos \gamma}{(F_{R1,d} + F_{R2,d}) \cdot b \cdot f_{v,d}} \quad (\text{Fersenversatz})$$

Bei erforderlichen Vorholzlängen ℓ_v größer $8 \cdot t_v$ ist der Nachweis als nicht eingehalten anzusehen. Die Einschnitttiefe t_v sollte folgende Bedingungen erfüllen

$$t_v \leq \begin{cases} h/4 & \text{für } \gamma \leq 50^\circ \\ h/6 & \text{für } \gamma > 60^\circ \text{ bzw. zweiseitiger Einschnitt} \end{cases} \quad (\text{NA.160})$$

Bei doppelten Versätzen sollte die Einschnitttiefe t_v größer als die des Stirnversatzes gewählt werden, um zwei getrennte Scherflächen im Gurtholz zu erhalten.

Beispiel 8:

Doppelter Versatz bei BauBuche GL75-Träger

Einwirkung:

Strebenkraft $F_d = 140 \text{ kN}$
 $k_{\text{mod}} = 0,9, \text{ NKL } 1$

Kennwerte:

Strebe 120/120 mm
 Gurt (hochkant) 120/200 mm
 Anschlusswinkel $\gamma = 35^\circ$
 Einschnitttiefe $t_{v,1} = 20 \text{ mm}$
 $t_{v,2} = 25 \text{ mm}$

Bemessungswerte für BauBuche GL75-Träger:

$$f_{c,o,d} = 1,2 \cdot \frac{0,9}{1,3} \cdot 49,5 \text{ N/mm}^2 = 41,1 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,90,d} = \frac{0,9}{1,3} \cdot 14,0 \text{ N/mm}^2 = 9,69 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,d} = \frac{0,9}{1,3} \cdot 8,0 \text{ N/mm}^2 = 5,54 \text{ N/mm}^2$$

Damit ergibt sich nach (NA.163)

$$f_{c,17,5^\circ,d} = 29,1 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,35^\circ,d} = 20,6 \text{ N/mm}^2$$

Die aufnehmbare Kraft der Stirnversatzfläche beträgt

$$F_{R1,d} = \frac{29,1 \cdot 120 \cdot 20 \cdot 10^{-3}}{\cos^2(17,5^\circ)} = 76,8 \text{ kN}$$

die der Fersenversatzfläche

$$F_{R2,d} = \frac{20,6 \cdot 120 \cdot 25 \cdot 10^{-3}}{\cos 35^\circ} = 75,5 \text{ kN}$$

$$\eta = \frac{F_d}{F_{R1,d} + F_{R2,d}} = \frac{140}{76,8 + 75,5} = 0,92 \leq 1,0$$

Die erforderlichen Vorholzlängen betragen

$$\ell_{v,1} = \frac{76,8 \cdot 140 \cdot 10^3 \cdot \cos 35^\circ}{(76,8 + 75,5) \cdot 120 \cdot 5,54} = 87,0 \text{ mm} \leq 8 \cdot t_{v,1} = 160 \text{ mm}$$

$$\ell_{v,2} = \frac{75,5 \cdot 140 \cdot 10^3 \cdot \cos 35^\circ}{(76,8 + 75,5) \cdot 120 \cdot 5,54} = 85,5 \text{ mm} \leq 8 \cdot t_{v,2} = 200 \text{ mm}$$

Durch die Verwendung des Treppenversatzes kann in diesem Beispiel rechnerisch die Tragfähigkeit um 12 % gesteigert werden, bei einer gleichzeitig reduzierten Vorholzlänge und Einbindetiefe. Auf einen passgenauen Abbund ist zu achten.

5 GRENZZUSTAND DER GEBRAUCHSTAUGLICHKEIT

DIN EN 1995-1-1, Kap. 2.2

DIN EN 1995-1-1, Kap. 7

5.1 Allgemeines

Im Zusammenhang mit den Nachweisen der Gebrauchstauglichkeit spricht der Eurocode 5 meist von „sollte“. Um eine dauerhafte und störungsfreie Nutzung einer Konstruktion zu gewährleisten, müssen einzelne Bauteile neben Anforderungen an die Tragfähigkeit (Begrenzung von Spannungen) auch Anforderungen hinsichtlich ihrer Verformung und ihres Schwingungsverhaltens erfüllen. Daher sind Durchbiegungs- und Schwingungsuntersuchungen in den statischen Berechnungen erforderlich. Die einzuhaltenden Grenzwerte sollten dabei mit der Bauherrschaft abgestimmt werden.

5.2 Durchbiegungen

Die Anfangsverformung u_{inst} kann dabei mit Hilfe einschlägiger Bemessungstabellen in Abhängigkeit des Systems und der charakteristischen Belastung berechnet werden. Dabei sollte für die Elastizitäts-, Schub- und Verschiebungsmoduln stets der Mittelwert verwendet werden ($E_{o(g0),mean}$, G_{mean}). Durch Kriechen des Holzes vergrößert sich die Verformung des Bauteils über die Dauer der Belastung. Dies wird durch den Beiwert k_{def} berücksichtigt. Die Anfangsverformung u_{inst} beträgt:

$$u_{inst} = u_{inst,G} + \sum u_{inst,Q,i}$$

Die Endverformung u_{fin} beträgt:

$$u_{fin} = u_{fin,G} + u_{fin,Q,1} + \sum u_{fin,Q,i} \quad (2.2)$$

mit

$$u_{fin,G} = u_{inst,G} \cdot (1 + k_{def}) \quad (2.3)$$

$$u_{fin,Q,1} = u_{inst,Q,1} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def}) \quad (2.4)$$

$$u_{fin,Q,i} = u_{inst,Q,i} \cdot (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} \cdot k_{def}); i > 1 \quad (2.5)$$

Die Anfangsverformung für einen Einfeldträger unter konstanter Streckenlast berechnet sich mit

$$u_{inst} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_k \cdot \ell^4}{E_{o,mean} \cdot I}$$

und für einen Kragträger mit

$$u_{inst} = \frac{q_k \cdot \ell^4}{8 \cdot E_{o,mean} \cdot I}$$

Die gesamte Endverformung $u_{net,fin}$ beträgt:

$$u_{net,fin} = u_{net,fin,G} + \sum u_{net,fin,Q,i} - u_c \quad (NA.1)$$

mit

$$u_{net,fin,G} = u_{inst,G} \cdot (1 + k_{def})$$

$$u_{net,fin,Q,i} = u_{inst,Q,i} \cdot \psi_{2,i} \cdot (1 + k_{def})$$

u_c = Überhöhung

Im Eurocode 5, NA-NDP zu 7.2(2), Tab. NA.13 werden Grenzwerte für die einzuhaltenden Durchbiegungen angegeben.

Tabelle 16: Empfohlene Grenzwerte der Durchbiegungen von Biegestäben

	u_{inst}	u_{fin}	$u_{net,fin}$
Einfeldträger	$\ell/300$	$\ell/200$	$\ell/300$
Kragträger	$\ell/150$	$\ell/100$	$\ell/150$

Für überhöhte und untergeordnete Bauteile gilt Tab. NA.13, Zeile 2.

Beispiel 9: Durchbiegungsnachweis für einen Einfeldträger

Gleichstreckenlast,
BauBuche GL75-Träger, 120/240 mm

Einwirkung:	Eigengewicht	$g_k = 1,40 \text{ kN/m}^2$
	Nutzlast (Kat. A)	$p_k = 2,80 \text{ kN/m}^2$
Kennwerte:	Spannweite	$\ell = 6 \text{ m}$
	Flächenmoment	$I_y = 1,38 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$
	Balkenabstand	$e = 0,625 \text{ m}$
	$k_{def} = 0,6; \psi_2 = 0,3; \text{ NKL } 1$	

Nachweis der elastischen Anfangsverformung:

$$u_{\text{inst}} = u_{\text{inst,G}} + u_{\text{inst,Q}} = 6,37 + 12,7 \leq l/300 \\ = 19,1 \text{ mm} \leq 20 \text{ mm}$$

mit

$$u_{\text{inst,G}} = \frac{5}{384} \cdot \frac{g_k \cdot \ell^4}{E_{0,\text{mean}} \cdot I} \\ = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,875 \cdot 6.000^4}{16.800 \cdot 1,38 \cdot 10^8} = 6,37 \text{ mm}$$

$$u_{\text{inst,Q}} = \frac{5}{384} \cdot \frac{p_k \cdot \ell^4}{E_{0,\text{mean}} \cdot I} \\ = \frac{5}{384} \cdot \frac{1,75 \cdot 6.000^4}{16.800 \cdot 1,38 \cdot 10^8} = 12,7 \text{ mm}$$

Nachweis der Endverformung:

$$u_{\text{fin}} = u_{\text{fin,G}} + u_{\text{fin,Q,1}} \leq l/200 \\ = 10,2 + 15,0 = 25,2 \text{ mm} \leq 30 \text{ mm}$$

mit

$$u_{\text{fin,G}} = u_{\text{inst,G}} \cdot (1 + k_{\text{def}}) = 6,37 \cdot (1 + 0,6) = 10,2 \text{ mm}$$

$$u_{\text{fin,Q}} = u_{\text{inst,Q}} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{\text{def}}) \\ = 12,7 \cdot (1 + 0,3 \cdot 0,6) = 15,0 \text{ mm}$$

Nachweis der gesamten Endverformung:

$$u_{\text{net,fin}} = u_{\text{net,fin,G}} + u_{\text{net,fin,Q}} \leq l/300 \\ = 10,2 + 6,10 = 16,3 \text{ mm} \leq 20 \text{ mm}$$

mit

$$u_{\text{net,fin,G}} = u_{\text{inst,G}} \cdot (1 + k_{\text{def}}) = 6,37 \cdot (1 + 0,6) = 10,2 \text{ mm}$$

$$u_{\text{net,fin,Q}} = u_{\text{inst,Q}} \cdot \psi_{2,1} \cdot (1 + k_{\text{def}}) \\ = 12,7 \cdot 0,3 \cdot (1 + 0,6) = 6,10 \text{ mm}$$

Tabelle 17 zeigt, dass die Durchbiegungen eines Brettschichtholzquerschnitts aus Nadelholz bei gleichen Abmessungen und Lasten um etwa 50 % über den oben berechneten Werten liegen.

Tabelle 17: Vergleich der Verformungen von BauBuche GL75-Träger und BSH aus Nadelholz in mm

	u_{inst}	u_{fin}	$u_{\text{net,fin}}$
BauBuche GL75	19,1	25,2	16,3
BSH GL 24h	27,7	36,5	23,6

5.3 Schwingungen

5.3.1 Allgemeines

Gerade bei den im Holzbau üblichen leichten Deckenkonstruktionen können störende Schwingungen auftreten.

Im Folgenden werden zwei Verfahren zur rechnerischen Beurteilung des Schwingverhaltens von Wohnungsdecken vorgestellt.

Zum Nachweis der Gebrauchstauglichkeit von Decken sind je nach Frequenzbereich verschiedene Untersuchungen erforderlich.

Die Eigenfrequenz der Decke kann vereinfacht über die Biegesteifigkeit der Deckenbalken (ohne Platte) bestimmt werden. Die Biegesteifigkeit von Estrichen darf, im Allgemeinen ohne Angabe der Verbundwirkung, in der Berechnung berücksichtigt werden.

$$f_1 = k_f \cdot \frac{\pi}{2 \cdot \ell^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I}{m \cdot e}}$$

mit

m Masse unter quasi-ständiger Einwirkung ($g + \psi_2 \cdot p$) in kg/m^2

ℓ Deckenspannweite in m

$E \cdot I$ Biegesteifigkeit Deckenbalken in Nm^2

e Balkenabstand in m

k_f Beiwert nach Tabelle 19

Durch Betrachtung der Balken mit einem mitwirkenden Plattenstreifen der Beplankung als nachgiebig verbundener Biegebalken (s. Kap. 9.4.2 γ -Verfahren) kann ein verbessertes rechnerisches Schwingverhalten erzielt werden.

Tabelle 18: Dämpfungsgrad nach SIA 265 bzw. ÖNORM B 1995-1-1:2015 + NA

Deckenaufbau	ξ
Decken ohne schwimmenden Estrich bzw. mit leichtem Fußbodenaufbau	0,01
Decken mit schwimmendem Estrich	0,02
Holzbalkendecken und mechanisch verbundene Brettstapeldecken mit schwimmendem Estrich	0,03

Wenn keine genauen Werte über den modalen Dämpfungsgrad ξ vorliegen, wird der Wert $\xi = 0,01$ empfohlen.

5.3.2 Verfahren nach Blaß et al. (2005)

Bei Decken mit Eigenfrequenzen über 8 Hz sind folgende Lastsituationen näher zu untersuchen:

- (1) Durchbiegung infolge Einzellast F
- (2) Geschwindigkeit infolge Einheitsimpuls

Bei Decken mit Eigenfrequenzen kleiner 8 Hz sind besondere Untersuchungen erforderlich. Es werden die Untersuchungen (3) und (4) nach Blaß et al. (2005) empfohlen.

- (3) Untersuchung der Schwinggeschwindigkeit für den Lastfall „Fersenauftritt“
- (4) Beschleunigung; Resonanzuntersuchung

Im Folgenden werden die Untersuchungen des Schwingverhaltens anhand von zwei Beispielen vorgestellt.

Beispiel 10: Schwingungsnachweis für eine Holzbalkendecke ($f_1 < 8$ Hz)

Einfeldträger aus BauBuche GL75 120/240 mm

Einwirkung:

Eigengewicht	$g_k = 1,40 \text{ kN/m}^2$
Nutzlast (Kat. A)	$p_k = 2,80 \text{ kN/m}^2$
	$\psi_2 = 0,3$

quasi-ständige

Kombination	$q_k = 1,40 + 0,3 \cdot 2,80$ $= 2,24 \text{ kN/m}^2$
-------------	--

Kennwerte:

Masse	$m = 2,24 / 9,81 \cdot 1000$ $= 228 \text{ kg/m}^2$
Balkenlänge	$\ell = 6 \text{ m}$
Deckenfeldbreite	$B = 8 \text{ m}$
Balkenabstand	$e = 0,625 \text{ m}$
Flächenmoment	$I_y = 1,38 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$
Dämpfungsgrad	$\xi = 0,01$ (Tabelle 18)

Ermittlung der Eigenfrequenz

$$f_1 = k_f \cdot \frac{\pi}{2 \cdot \ell^2} \cdot \sqrt{\frac{EI_{\text{Balken}}}{m \cdot e}}$$

$$= 1,0 \cdot \frac{\pi}{2 \cdot (6 \text{ m})^2} \cdot \sqrt{\frac{1,68 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2 \cdot 1,38 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4}{228 \cdot 0,625 \text{ m}}}$$

$$= 5,56 \text{ Hz} < 8 \text{ Hz}$$

mit

$k_f = 1,0$ da Einfeldträger

Die Eigenfrequenz ist kleiner 8 Hz, somit sind die Untersuchungen (3) und (4) erforderlich.

Anfangsdurchbiegung infolge einer vertikalen statischen Einzellast F (1 kN):

$$u = \frac{F \cdot \ell^3}{48 \cdot EI} = \frac{1 \cdot 10^3 \text{ N} \cdot (6.000 \text{ mm})^3}{48 \cdot 1,68 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2 \cdot 1,38 \cdot 10^8 \text{ mm}^4}$$

$$= 1,94 \text{ mm}$$

Mit Tabelle 21 ergibt sich b zu 80 unter Ansatz von a zu:

$$a \geq \frac{u}{F} = \frac{1,94 \text{ mm}}{1 \text{ kN}} = 1,94 \text{ mm/kN}$$

Damit lässt sich die Schwinggeschwindigkeit v bestimmen:

$$v \approx \frac{55}{m \cdot e \cdot \ell / 2 \cdot \gamma + 50}$$

$$\approx \frac{55}{228 \text{ kg/m}^2 \cdot 0,625 \text{ m} \cdot 6 \text{ m} / 2 \cdot 1,0 + 50} = 0,115 \text{ m/s}$$

mit

$\gamma = 1,0$ da Einfeldträger

Folgender Grenzwert sollte eingehalten werden:

$$v_{\text{grenz}} = 6 \cdot b^{(f_1 \cdot \xi - 1)} = 6 \cdot 80^{(5,56 \cdot 0,01 - 1)} = 0,096 \text{ m/s}$$

Die Schwinggeschwindigkeit liegt somit leicht über dem Grenzwert. Durch Betrachtung der Decke als nachgiebig verbundener Biegebalken kann der Nachweis ggf. erfüllt werden.

(4) Beschleunigung; Resonanzuntersuchung

Berechnung der vorherrschenden Vertikalbeschleunigung

$$a \approx \frac{56}{m \cdot B \cdot \ell \cdot \gamma} \cdot \frac{1}{\xi} = \frac{56}{228 \text{ kg/m}^2 \cdot 8 \text{ m} \cdot 6 \text{ m} \cdot 1,0} \cdot \frac{1}{0,01}$$

$$= 0,51 \text{ m/s}^2$$

Nach Blaß et al. (2005) gelten folgende Grenzwerte:

$a < 0,1 \text{ m/s}^2$	Wohlbefinden
$a < 0,35 - 0,7 \text{ m/s}^2$	spürbar, aber nicht störend
$a > 0,7 \text{ m/s}^2$	störend

Tabelle 19: Beiwert k_f zur Berücksichtigung der Durchlaufträgerwirkung nach Blaß et al. (2005); mit ℓ_1 für die Balkenlänge des kleineren Feldes und ℓ für die Balkenlänge des größeren Feldes

ℓ_1/ℓ	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0
k_f	1,00	1,09	1,15	1,20	1,24	1,27	1,30	1,33	1,38	1,42	1,56

Tabelle 20: Beiwert γ abhängig vom Längenverhältnis zum benachbarten Feld nach Blaß et al. (2005); mit ℓ_1 für die Balkenlänge des kleineren Feldes und ℓ für die Balkenlänge des größeren Feldes

ℓ_1/ℓ	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0
γ	2,00	1,40	1,15	1,05	1,00	0,969	0,951	0,934	0,927	0,918	0,912

Bei Einfeldträger sind die Beiwerte k_f und γ zu 1,0 zu setzen.

Tabelle 21: Tabellarische Ermittlung des Beiwerts b nach Bild 7.2 DIN EN 1995-1-1

a	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0
b	150	144	138	132	126	120	112	104	96	88	80	77	74	71	68	65	62	59	56	53	50

Dabei stehen kleinere Werte von a für ein besseres Schwingungsverhalten. Werden hohe Anforderungen an das Bauteil gestellt (z. B. öffentliche Bauten), sollte a den Wert 1,0 nicht überschreiten.

Beispiel 11: Schwingungsnachweis für eine Holzbalkendecke (> 8 Hz)

Zweifeldträger aus BauBuche GL75 160/280 mm

Einwirkung:

Eigengewicht $g_k = 1,50 \text{ kN/m}^2$

Nutzlast (Kat. A) $p_k = 2,80 \text{ kN/m}^2$

$\psi_2 = 0,3$

quasi-ständige Kombination $q_k = 1,50 + 0,3 \cdot 2,80 = 2,34 \text{ kN/m}^2$

Kennwerte:

Masse $m = 2,34/9,81 \cdot 1000 = 239 \text{ kg/m}^2$

Balkenlänge (großes Feld) $\ell = 6,25 \text{ m}$

Balkenlänge (kleines Feld) $\ell_1 = 4 \text{ m}$

Deckenfeldbreite $B = 9 \text{ m}$

Balkenabstand $e = 0,625 \text{ m}$

Flächenmoment $I_y = 2,93 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$

Dämpfungswert $\xi = 0,01$ (Tabelle 18)

$k_f = 1,224$ aus Tabelle 19 (interpoliert) für

$\ell_1/\ell = 4/6,25 = 0,64$

Bei Frequenzen über 8 Hz müssen die oben genannten Anforderungen (1) und (2) erfüllt sein:

(1) Durchbiegung infolge Einzellast $F = 1 \text{ kN}$

$$u = \frac{F \cdot \ell^3}{48 \cdot EI} = \frac{1 \cdot 10^3 \text{ N} \cdot (6.250 \text{ mm})^3}{48 \cdot 1,68 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2 \cdot 2,93 \cdot 10^8 \text{ mm}^4} = 1,03 \text{ mm}$$

Die Durchbiegung liegt im Bereich zwischen 0,5 und 4,0 mm. Die Anforderung (1) ist damit eingehalten.

(2) Einheitsimpulsgeschwindigkeit

$$v \approx \frac{1}{m \cdot e \cdot \ell / 2 \cdot \gamma + 50}$$

$$\approx \frac{1}{239 \text{ kg/m}^2 \cdot 0,625 \text{ m} \cdot 6,25 \text{ m} / 2 \cdot 1,02 + 50} = 0,0019 \text{ m/s}$$

Ermittlung der Eigenfrequenz unter Berücksichtigung der Durchlaufträgerwirkung

$$f_1 = k_f \cdot \frac{\pi}{2 \cdot \ell^2} \cdot \sqrt{\frac{EI_{\text{Balken}}}{m \cdot e}} = 1,224 \cdot \frac{\pi}{2 \cdot (6,25 \text{ m})^2} \cdot \sqrt{\frac{1,68 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2 \cdot 2,93 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4}{239 \cdot 0,625 \text{ m}}} = 8,93 \text{ Hz} > 8 \text{ Hz}$$

mit

mit

$\gamma = 1,02$ aus Tabelle 20 (interpoliert)

$$a \geq \frac{u}{F} = \frac{1,04 \text{ mm}}{1 \text{ kN}} = 1,04 \text{ mm/kN}$$

ergibt nach Tabelle 21 einen Wert für $b = 120$

$$v_{\text{grenz}} = b^{(f_1 \cdot \xi - 1)} = 120^{(8,93 \cdot 0,01 - 1)} = 0,013 \text{ m/s} > v$$

5.3.3 Verfahren nach ÖNORM B 1995-1-1:2015 + NA

Die nachfolgenden Regelungen sind anwendbar für Decken, welche sich in die Deckenklassen nach Tabelle 22 einordnen lassen. Für Decken mit geringer Flächenmasse ($< 50 \text{ kg/m}^2$) bzw. spezieller Nutzungen sind gesonderte Untersuchungen erforderlich.

Tabelle 22: Typische Anwendungsfälle und konstruktive Anforderungen der Deckenklassen nach ÖNORM B 1995-1-1:2015, Tab NA.7.2.-E1

		Deckenklasse 1	Deckenklasse 2	Deckenklasse 3
Typische Anwendungsfälle				
		_ Decken zwischen unterschiedlichen Nutzungseinheiten (auch durchlaufend) _ Nutzung als Wohnungstrenndecken in Mehrfamilienhäusern, _ Decken in Büros mit PC-Nutzung oder Besprechungsräumen _ Flure mit kurzen Spannweiten	_ Decken innerhalb einer Nutzungseinheit, _ Decken in Einfamilienwohnhäusern mit üblicher Nutzung	_ Decken unter nicht zu Wohnzwecken genutzten Räumen oder unter nicht ausgebauten Dachräumen, _ Decken ohne Schwingungsanforderungen
Konstruktive Anforderungen				
Holzbalkendecke	mit Nass-estrich	Aufbau schwimmend auf schwerer Schüttung ^b	Aufbau schwimmend (auch ohne Schüttung)	
	mit Trocken-estrich	spezieller Nachweis erforderlich	Aufbau schwimmend auf schwerer Schüttung ^b	
Flächige Massivholzdecken	mit Nass-estrich	Aufbau schwimmend auf schwerer und leichter Schüttung ^b	Aufbau schwimmend (auch ohne Schüttung)	
	mit Trocken-estrich	Aufbau schwimmend auf schwerer Schüttung ^b	Aufbau schwimmend auf schwerer Schüttung ^b	

^b Als schwere Schüttung wird eine Schüttung mit einer Flächenmasse von mindestens 60 kg/m^2 bezeichnet.

	Deckenklasse 1	Deckenklasse 2	Deckenklasse 3
Grenzwert für das Frequenzkriterium	$f_1 \geq f_{gr} = 8 \text{ Hz}$	$f_1 \geq f_{gr} = 6 \text{ Hz}$	–
Grenzwert für das Steifigkeitskriterium	$w_{stat} \leq w_{gr} = 0,25 \text{ mm}$	$w_{stat} \leq w_{gr} = 0,5 \text{ mm}$	–
Für Deckenkonstruktionen mit	$4,5 \text{ Hz} \leq f_1 \leq 8 \text{ Hz}$	$4,5 \text{ Hz} \leq f_1 \leq 6 \text{ Hz}$	–
Grenzwert für die Schwingbeschleunigung	$a_{rms} \leq a_{gr} = 0,05 \text{ m/s}^2$	$a_{rms} \leq a_{gr} = 0,10 \text{ m/s}^2$	–

Tabelle 23: Grenzwerte des Frequenz- und Steifigkeitskriteriums und der Schwingbeschleunigung nach ÖNORM B 1995-1-1:2015, Tab NA.7.2.-E4 und Tab NA.7.2.-E6

Zur Überprüfung des Frequenzkriteriums ist im Allgemeinen die erste Eigenfrequenz f_1 des betrachteten Bauteils heranzuziehen, vgl. Kap. 5.3.1. Ergänzende Angaben zu Decken mit Querverteilungswirkung sind ÖNORM B 1995-1-1:2015 zu entnehmen.

Liegt für die betrachtete Decke eine andere als gelenkige Lagerung vor, darf die ermittelte Eigenfrequenz f_1 mit dem Beiwert $k_{e,1}$ aus Tabelle 24 multipliziert werden.

Tabelle 24: Beiwerte $k_{e,1}$ zur Berücksichtigung unterschiedlicher Lagerungsbedingungen

Lagerungsarten (ohne Querverteilung)	$k_{e,1}$
gelenkig – gelenkig	1,000
eingespannt – gelenkig	1,562
eingespannt – eingespannt	2,268
eingespannt – frei (Kragträger)	0,356

Bei einer zweifeldrigen Decke darf die Eigenfrequenz f_1 näherungsweise mit dem Beiwert k_f nach Tabelle 19 multipliziert werden.

Nachweisführung

Für Deckenklassen I und II nach Tabelle 22 ist ein Mindestwert der ersten Eigenfrequenz von $f_{1,min} \geq 4,5 \text{ Hz}$ einzuhalten.

Der Schwingungsnachweis für Deckenklassen I bis III nach Tabelle 22 gilt als erbracht, wenn die Grenzwerte für das Frequenzkriterium und das Steifigkeitskriterium nach Tabelle 23 eingehalten sind. Für Deckenkonstruktionen mit $f_{1,\min} \leq f_1 \leq f_{gr}$ ist zusätzlich der Grenzwert der Schwingbeschleunigung einzuhalten.

Zur Überprüfung des Steifigkeitskriteriums ist die größte vertikale Anfangsdurchbiegung w_{stat} infolge einer vertikal an ungünstigster Stelle wirkenden statischen Einzellast $F = 1 \text{ kN}$ unter Berücksichtigung der mitwirkenden Breite b_f zu ermitteln. Bei durchlaufenden Deckensystemen darf vereinfacht mit der größten Feldweite am gelenkig gelagerten (Ersatz-)Einfeldträger geführt werden.

$$w_{\text{stat}} = \frac{F \cdot \ell^3}{48 \cdot (E \cdot I)_\ell \cdot b_F} \quad \text{NA.7.2-E2}$$

mit

w_{stat} Vertikale Anfangsdurchbiegung infolge $F = 1 \text{ kN}$, in m
 F Statische Einzellast $F = 1 \text{ kN}$, in N
 $(E \cdot I)_\ell$ Biegesteifigkeit der Decke in Deckenspannungsrichtung, in Nm^2/m

Mitwirkende Breite, in m

$$b_F = \min \left\{ \frac{\ell}{1,1} \cdot 4 \sqrt{\frac{(E \cdot I)_b}{(E \cdot I)_\ell}}, \text{ Deckenbreite } b \right\}$$

Der Effektivwert der Schwingbeschleunigung für einfeldrige, an allen Rändern gelenkig gelagerte Decken darf wie folgt ermittelt werden:

$$a_{\text{rms}} = \frac{0,4 \cdot \alpha \cdot F_0}{2 \cdot \xi \cdot M^*} \quad \text{NA.7.2-E4}$$

mit

a_{rms} Effektivwert der Schwingbeschleunigung, in m/s^2
 α Fourierkoeffizient in Abhängigkeit von der 1. Eigenfrequenz, mit $\alpha = e^{-0,4 \cdot f_1}$
 F_0 Gewichtskraft einer auf der betrachteten Decke gehenden Person (i. d. R.: $F_0 = 700 \text{ N}$), in N
 ξ Modaler Dämpfungsgrad (Lehr'sches Dämpfungsmaß) gemäß Tabelle 18
 M^* Modale Masse in kg unter Berücksichtigung der mitwirkenden Breite b_f in m

$$M^* = m \cdot \frac{\ell}{2} \cdot b_f$$

Alternativ zur Berechnung darf der Schwingnachweis von Deckenkonstruktionen auch durch Messungen am Bauwerk erbracht werden.

6 VERBINDUNGEN MIT STIFTFÖRMIGEN METALLISCHEN VERBINDUNGSMITTELN

DIN EN 1995-1-1, Kap. 8

6.1 Tragfähigkeit bei Beanspruchung rechtwinklig zur Stiftachse (Abscheren)

In Abhängigkeit der Geometrie und des Biege- und Widerstands von Verbindungsmitteln sowie der Lochleibungsfestigkeit (Widerstand gegenüber dem Eindringen des Verbindungsmittels) des Holzes kann die laterale Tragfähigkeit (Abscheren) von Verbindungen mit stiftförmigen Verbindungsmitteln unter der Voraussetzung einer duktilen Versagensform auf Grundlage der Fließgelenktheorie von Johansen bestimmt werden. Dabei wird ein plastisches Versagen sowohl des Holzes unter Lochleibungsbeanspruchung als auch des Verbindungsmittels unter Biegebeanspruchung vorausgesetzt. Durch die Beachtung nachfolgender Punkte bei der Planung kann ein plötzliches, sprödes Versagen vermieden werden

- Verwendung schlanker Verbindungsmittel
- Verwendung niedriger Stahlfestigkeiten
- Vermeidung geringer Verbindungsmittelabstände und Randabstände

In Kapitel 8.2.2 und 8.2.3 des Eurocode 5 sind Gleichungen für die Ermittlung der charakteristischen Tragfähigkeiten von Holz-Holz-Verbindungen und Stahlblech-Holz-Verbindungen angegeben. Die darin berücksichtigten Versagensformen sind in Bild 10 und Bild 11 dargestellt.

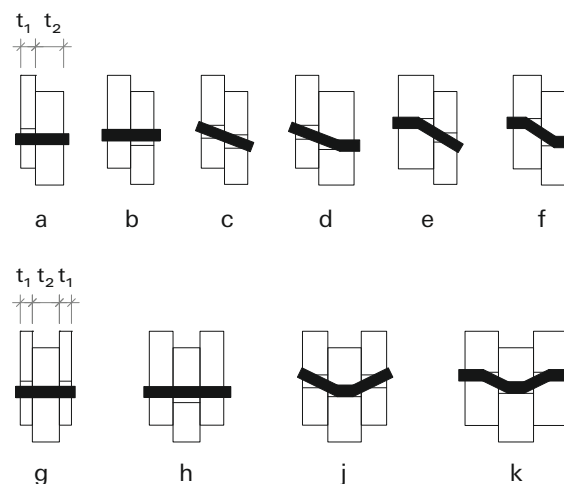


Bild 10: Versagensmechanismen für Holz-Holz-Verbindungen

Die Gleichungen zur Bestimmung der Tragfähigkeit von Stahl-Holz-Verbindungen sind abhängig von der Dicke des Stahlblechs t im Vergleich zum Verbindungsmitteldurchmesser d . Es wird unterschieden zwischen dünnen ($t < 0,5 \cdot d$) und dicken ($t \geq d$) Stahlblechen. Bei Zwischenwerten darf geradlinig interpoliert werden. Grundlage für diese Differenzierung ist die unterschiedliche Lagerung der Verbindungsmittel im Blech. Dicke Bleche werden als Einspannung, dünne Bleche als Gelenk betrachtet. Innen liegende Bleche werden unabhängig von ihrer Materialstärke als dicke Bleche angesehen, da eine Verdrehung der Stifte im Blech nicht möglich ist.

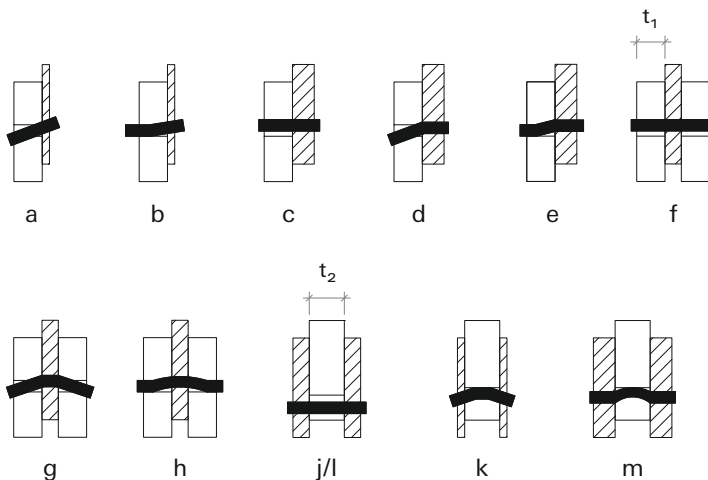


Bild 11: Versagensmechanismen für Stahl-Holz-Verbindungen

Verbindungsmittel mit einem Widerstand gegen Herausziehen weisen höhere laterale Tragfähigkeiten auf (Seil- oder Einhängeeffekt). Bei Verbindungen aus BauBuche darf der Seileffekt nur bei Schrauben und Bolzen berücksichtigt werden, da andere Verbindungsmittel nicht in Achsrichtung belastet werden dürfen. Der Seileffekt kann wie folgt beschrieben werden: Unter Belastung verformt sich das Verbindungsmittel, verdreht sich im Bereich der Fuge und erfährt so eine axiale Belastung. Dadurch werden die Bauteile aneinander gepresst und es kann durch Reibung in der Fuge eine zusätzliche Kraft übertragen werden (s. Bild 12). Rechnerisch darf dieser Effekt berücksichtigt werden, indem die laterale Tragfähigkeit um ein Viertel der axialen Tragfähigkeit erhöht wird. Weiter zu berücksichtigen ist, dass bei Schrauben die Erhöhung aus dem Seileffekt maximal der Tragfähigkeit entsprechen darf, die sich nach der Johansen Theorie ergibt. Bei Bolzen ist sie auf 25% der Tragfähigkeit nach Johansen begrenzt. Bei Versagensmechanismen ohne ein Verdrehen des Stiftes im Bereich der Fuge tritt kein Seileffekt auf.

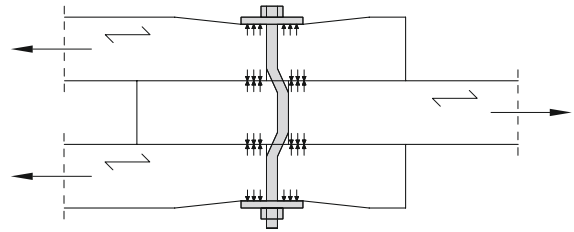


Bild 12: Seileffekt

6.1.1 Anwendungsbereiche und Abminderungen für stiftförmige Verbindungsmittel in Platte BauBuche S/Q und Träger BauBuche GL75

In Bild 13 bis Bild 15 ist schematisch dargestellt, in welchen Bauteilflächen Nägel/Schrauben und Bolzen/Stabdübel auf Abscheren beansprucht werden dürfen. Des Weiteren muss deren Lochleibungsfestigkeit je nach Einbausituation und Belastungsrichtung abgemindert werden. Die Definition der Bauteilflächen ist in Bild 16 dargestellt. Gegebenenfalls sind davon abweichende Regelungen gültig, wenn diese in einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung oder Bauartgenehmigung oder in einer ETA der Verbindungsmittel explizit aufgeführt sind. Demnach dürfen bspw. Schrauben nach ETA-11/0190 ins Hirnholz eingebracht und belastet werden.

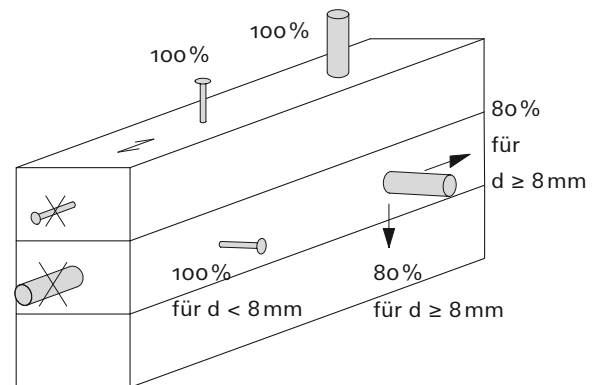


Bild 14: Anwendungsbereich und Abminderungsfaktoren der Lochleibungsfestigkeit für Träger BauBuche GL75

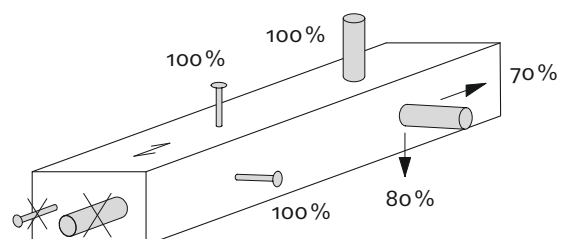


Bild 13: Anwendungsbereich und Abminderungsfaktoren der Lochleibungsfestigkeit für Platte BauBuche S

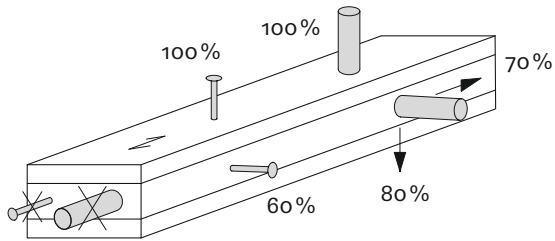


Bild 15: Anwendungsbereich und Abminderungsfaktoren der Lochleibungsfestigkeit für Platte BauBuche Q

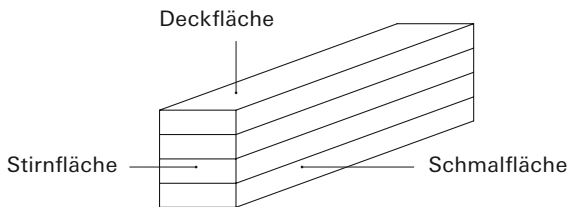


Bild 16: Definition der Bauteilflächen

Vereinfachtes Verfahren zur Ermittlung der Tragfähigkeit bei Beanspruchung rechtwinklig zur Stiftachse (Abscheren)

Der NA-D erlaubt alternativ zu den Gleichungen in Kapitel 8.2.2 und 8.2.3 ein vereinfachtes Verfahren zur Berechnung der lateralen Tragfähigkeit von Verbindungen mit stiftförmigen Verbindungsmitteln. Dabei wird die Tragfähigkeit für die Versagensmechanismen mit zwei Fließgelenken pro Scherfuge (Fall f, k für Holz-Holz-Verbindungen und Fall e, h, k für Stahl-Holz-Verbindungen) berechnet.*

Damit sich ein Versagen unter Ausbildung von zwei Fließgelenken einstellt, muss ausschließliches Lochleibungsversagen im Holz ausgeschlossen werden. Das Verhältnis aus Holzdicke und Stiftdurchmesser muss groß sein. Das wird erreicht, indem Mindestholzdicken t_{req} definiert werden. Werden diese Mindestholzdicken nicht eingehalten, kann die Tragfähigkeit mit dem kleineren Verhältnis aus $t_1/t_{1,\text{req}}$ und $t_2/t_{2,\text{req}}$ reduziert werden. Die derart ermittelten Tragfähigkeiten sind dabei geringer, als die mit dem genauen Verfahren ermittelten Werte. Bei Einhaltung von t_{req} besteht kein Unterschied zwischen genauem und vereinfachtem Verfahren.

Es muss beachtet werden, dass hier nach (NA.113) der Bemessungswert der Tragfähigkeit mit dem Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_M = 1,1$ ermittelt wird.

* Bei Verbindungen mit außen liegenden, dünnen Stahlblechen wird der Versagensmechanismus mit einem Fließgelenk (b und k) untersucht, da sich durch die gelenkige Lagerung im dünnen Blech höchstens ein Fließgelenk ausbilden kann.

Holz-Holz-Verbindungen

Der charakteristische Wert der Tragfähigkeit $F_{v,Rk}$ je Scherfuge und je Verbindungsmittel berechnet sich zu

$$F_{v,Rk} = \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} \quad (\text{NA.109})$$

Die Mindestholzdicken bei einschnittigen Verbindungen betragen dabei

$$t_{1,\text{req}} = 1,15 \cdot \left[2 \cdot \sqrt{\frac{\beta}{1 + \beta}} + 2 \right] \cdot \sqrt{\frac{M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d}} \quad (\text{NA.110})$$

$$t_{2,\text{req}} = 1,15 \cdot \left[2 \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \beta}} + 2 \right] \cdot \sqrt{\frac{M_{y,Rk}}{f_{h,2,k} \cdot d}} \quad (\text{NA.111})$$

Bei zweischnittigen Verbindungen gilt für die Mittelhölzer

$$t_{2,\text{req}} = 1,15 \cdot \left[\frac{4}{\sqrt{1 + \beta}} \right] \cdot \sqrt{\frac{M_{y,Rk}}{f_{h,2,k} \cdot d}} \quad (\text{NA.112})$$

mit

$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}} \quad \text{Verhältniswert der Lochleibungs-
festigkeiten}$$

Bei Unterschreitung der Mindestholzdicken gilt

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \frac{t_1}{t_{1,\text{req}}}; \frac{t_2}{t_{2,\text{req}}} \right\} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d}$$

Stahl-Holz-Verbindungen

Für innen liegende und außen liegende dicke Stahlbleche gilt

$$F_{v,Rk} = \sqrt{2} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,k} \cdot d} \quad (\text{NA.115})$$

mit

$$t_{\text{req}} = 1,15 \cdot 4 \cdot \sqrt{\frac{M_{y,Rk}}{f_{h,k} \cdot d}} \quad (\text{NA.116})$$

Für außen liegende dünne Stahlbleche gilt

$$F_{v,Rk} = \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,k} \cdot d} \quad (\text{NA.117})$$

mit Mindestholzdicke für Mittelhölzer mit zweischnittig beanspruchten Verbindungsmitteln

$$t_{\text{req}} = 1,15 \cdot \left[2 \sqrt{2} \right] \cdot \sqrt{\frac{M_{y,Rk}}{f_{h,k} \cdot d}} \quad (\text{NA.118})$$

bzw. für alle anderen Fälle

$$t_{\text{req}} = 1,15 \cdot \left[2 + \sqrt{2} \right] \cdot \sqrt{\frac{M_{y,Rk}}{f_{h,k} \cdot d}} \quad (\text{NA.119})$$

Bei Unterschreitung der Mindestholzdicke muss

$$F_{v,Rk} \text{ mit } \min \left\{ \frac{t_1}{t_{1,\text{req}}}; \frac{t_2}{t_{2,\text{req}}} \right\}$$

abgemindert werden.

6.2 Verbindungen mit Nägeln

Die in diesem Kapitel vorgestellten Inhalte gelten in Anlehnung an die Holzbaunorm EN 1995-1-1 in Verbindung mit den Zulassungen der BauBuche-Produkte. Gegebenenfalls sind davon abweichende Regelungen gültig, wenn diese in einer Verbindungsmittelzulassung explizit aufgeführt sind. Demnach dürfen bspw. Rillennägel nach ETA-13/0523 für eine Stahlblechholzverbindung ohne ein Vorbohren in BauBuche eingebracht und eine axiale Tragfähigkeit angesetzt werden, wenn die maximale Einbindelänge in BauBuche von 34 mm eingehalten ist.

6.2.1 Beanspruchung rechtwinklig zur Nagelachse

6.2.1.1 Bemessung

Als Bauteildicke t_2 auf der Seite der Nagelspitze darf maximal die Einbindetiefe in das Bauteil 2 verwendet werden.

Aufgrund der hohen Rohdichte ($\rho_k > 500 \text{ kg/m}^3$) sind Nagelverbindungen in BauBuche vorzubohren. Dabei sollte der Bohrlochdurchmesser $0,8 \cdot d$ betragen.

Üblicherweise werden runde Nägel mit glattem oder profiliertem Schaft (Sonder- oder Ankernägel) verwendet. Das Fließmoment wird dabei wie folgt berechnet

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_u \cdot d^{2,6} \quad (8.14)$$

Die Nägel müssen dabei aus Draht mit einer Mindestzugfestigkeit von 600 N/mm^2 hergestellt sein. Für vorgebohrte Nagellöcher beträgt die Lochleibungsfestigkeit unabhängig vom Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung

$$f_{h,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k \quad (8.16)$$

Nagelverbindungen in den Stirnflächen von BauBuche sind nicht zulässig. Bei Verbindungen in den Schmalflächen von Platten BauBuche Q ist die Lochleibungsfestigkeit nach der aktuellen Leistungserklärung auf 60 % abzumindern. Bei Verbindungen in den Schmalflächen von Träger BauBuche GL75 ist die Lochleibungsfestigkeit nach ETA-14/0354 nur für Durchmesser $d \geq 8 \text{ mm}$ auf 80 % abzumindern.

Nägel, die in die Schmalflächen von Platte BauBuche S einbinden, müssen einen Minstdurchmesser von 3,1 mm haben.

Bei Verwendung von Nägeln mit Durchmessern größer 8 mm ist die Lochleibungsfestigkeit wie für Bolzen/Stabdübel zu berechnen.

Bei Verbindungen mit mehreren in Faserrichtung hintereinander liegenden Nägeln muss für die Tragfähigkeit in Faserrichtung mit einer wirksamen Verbindungsmittelanzahl n_{ef} nach (8.17) gerechnet werden. Grund dafür ist die erhöhte Spaltgefahr des Holzes. Bei Verbindungen in den Deckflächen von BauBuche Q besteht keine Spaltgefahr, so dass mit $n_{ef} = n$ gerechnet werden darf.

$$n_{ef} = n^{k_{ef}} \quad (8.17)$$

Tabelle 25: Beiwert k_{ef} für vorgebohrte Nagellöcher

Nagelabstand*	k_{ef}	
$a_1 \geq 14 \cdot d$	1,0	
$a_1 = 10 \cdot d$	0,85	* für Zwischen-
$a_1 = 7 \cdot d$	0,7	werte darf linear
$a_1 = 4 \cdot d$	0,5	interpoliert werden

Um auf eine Abminderung nach (8.17) verzichten zu können, müssen die Nägel um mindestens $1 \cdot d$ rechtwinklig zur Faserrichtung zueinander versetzt angeordnet werden.

6.2.1.2 Einbau

Glattschaftige Nägel müssen mindestens um $8 \cdot d$ in Bauteil 2 einbinden, profilierte Nägel mindestens $6 \cdot d$.

Um die volle Tragfähigkeit der einzelnen Verbindungsmittel zu gewährleisten, sind die Abstände nach Bild 17 und Tabelle 26 einzuhalten. Die Angaben gelten sowohl für die Einbringung von Verbindungsmitteln in die Deckfläche wie auch in die Schmalfläche. α beschreibt den Winkel zwischen der angreifenden Kraft und der Faserrichtung.

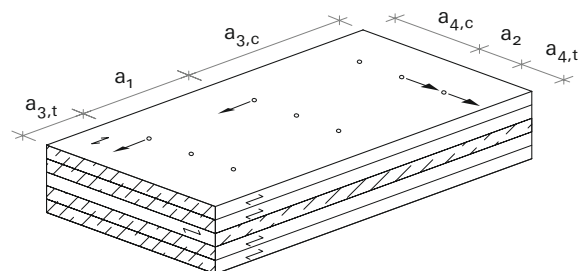


Bild 17: Definition der Verbindungsmittelabstände

Tabelle 26: Mindestabstände nach Bild 17 für Nägel in vorgebohrten Löchern

Abstände	Mindestabstände
Abstand a_1 (in Faserrichtung)	$(4 + \cos \alpha) \cdot d^{1)}$
Abstand a_2 (rechtwinklig zur Faserrichtung)	$(3 + \sin \alpha) \cdot d^{1)}$
Abstand $a_{3,t}$ (beanspruchtes Hirnholzende)	$(7 + 5 \cdot \cos \alpha) \cdot d$
Abstand $a_{3,c}$ (unbeanspruchtes Hirnholzende)	$7 \cdot d$
Abstand $a_{4,t}$ (beanspruchter Rand)	$d < 5 \text{ mm:}$ $(3 + 2 \cdot \sin \alpha) \cdot d$ $d \geq 5 \text{ mm:}$ $(3 + 4 \cdot \sin \alpha) \cdot d$
Abstand $a_{4,c}$ (unbeanspruchter Rand)	$3 \cdot d$

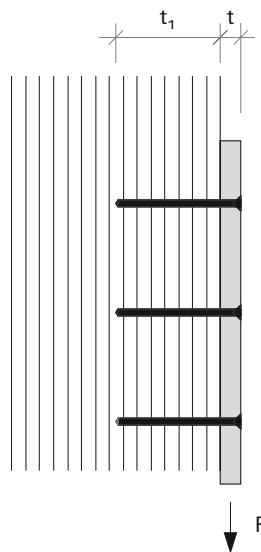
¹⁾ Die Mindestabstände a_1 und a_2 dürfen bei Holzwerkstoff-Holz-Verbindungen mit dem Faktor 0,85 und bei Stahlblech-Holz-Verbindungen mit dem Faktor 0,7 reduziert werden.

Bemerkung: Platte BauBuche Q darf als Holzwerkstoff betrachtet werden. Eine Abminderung von a_1 und a_2 mit dem Faktor 0,85 ist somit zulässig.

6.2.2 Beanspruchung in Richtung der Nagelachse

Vorgebohrte Verbindungen mit glattschaftigen Nägeln dürfen nicht auf Herausziehen beansprucht werden.

Beispiel 12: Stahlblech-Holz-Nagelverbindung in BauBuche-Platten



Betrachtet wird hier eine einschnittige Stahlblech-Holz-Verbindung. Die Blechdicke beträgt $t = 5 \text{ mm}$. Als Verbindungsmittel werden je drei Nägel $6 \times 60 \text{ mm}$ in zwei Spalten gewählt.

Nach Kapitel 6.1 muss zwischen dicken und dünnen Stahlblechen unterschieden werden

- dünnes Stahlblech: $t < 0,5 \cdot d = 3 \text{ mm}$
- dickes Stahlblech: $t \geq d = 6 \text{ mm}$

Das gewählte Stahlblech liegt zwischen den beiden Grenzwerten, weshalb für die Ermittlung der Tragfähigkeit zwischen den Bemessungswerten für dicke und dünne Stahlbleche geradlinig interpoliert wird.

Tabelle 27: Fließmoment $M_{y,Rk}$ und Lochleibungsfestigkeit $f_{h,o,k}$ für Nagelverbindungen (mit $f_u = 600 \text{ N/mm}^2$) in BauBuche mit $\rho_k = 730 \text{ kg/m}^3$

d in mm	2,7	3,0	3,4	3,8	4,0	4,2	4,6	5,0	5,1	5,5	6,0	7,0	8,0
$M_{y,Rk}$ in Nmm	2.380	3.130	4.340	5.790	6.620	7.510	9.520	11.800	12.400	15.100	19.000	28.400	40.100
$f_{h,k}$ in N/mm^2	58,2	58,1	57,8	57,6	57,5	57,3	57,1	56,9	56,8	56,6	56,3	55,7	55,1

Tabelle 28: Tragfähigkeit $F_{v,Rk}$ je Scherfuge nach (NA.109) und Mindestholzdicken t_{req} von Holz-Holz-Verbindungen mit Nägeln (BauBuche; Nägel in Deckfläche; $\rho_k = 730 \text{ kg/m}^3$)

d in mm	2,7	3,0	3,4	3,8	4,0	4,2	4,6	5,0	5,1	5,5	6,0	7,0	8,0
$F_{v,Rk}$ in kN	0,87	1,04	1,31	1,59	1,74	1,90	2,24	2,59	2,68	3,07	3,58	4,70	5,94
t_{req} (einschnittig) in mm	15,3	16,6	18,4	20,2	21,1	21,9	23,6	25,3	25,7	27,4	29,4	33,5	37,5
t_{req} (zweischnittig) in mm	12,7	13,8	15,3	16,7	17,5	18,2	19,6	21,0	21,3	22,7	24,4	27,7	31,0

Nach Tabelle 27 beträgt die Lochleibungsfestigkeit $f_{h,k} = 56,3 \text{ N/mm}^2$ und das Fließmoment $M_{y,Rk} = 19.000 \text{ Nmm}$. Die Dicke des Seitenholzes beträgt 80 mm, für k_{mod} wird 0,8 berücksichtigt.

Tragfähigkeit einer Verbindung mit **dünnem** Stahlblech:

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} 0,4 \cdot f_{h,k} \cdot t_1 \cdot d & (a) \\ 1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,k} \cdot d} & (b) \end{cases}$$

$$= \min \begin{cases} 0,4 \cdot 56,3 \cdot 55 \cdot 6 \\ 1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot 19.000 \cdot 56,3 \cdot 6} \end{cases} \quad (8.9)$$

$$= \min \begin{cases} 7.400 \text{ N} \\ 4.100 \text{ N} \end{cases} = 4,1 \text{ kN}$$

Tragfähigkeit einer Verbindung mit **dickem** Stahlblech:

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

$$= \min \begin{cases} 56,3 \cdot 55 \cdot 6 \\ 56,3 \cdot 55 \cdot 6 \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot 19.000}{56,3 \cdot 6 \cdot 55^2}} - 1 \right] \\ 2,3 \cdot \sqrt{19.000 \cdot 56,3 \cdot 6} \end{cases}$$

$$= \min \begin{cases} 18.500 \text{ N} \\ 8.100 \text{ N} = 5,8 \text{ kN} \\ 5.800 \text{ N} \end{cases} \quad (8.10)$$

Durch Interpolation zwischen den maßgebenden charakteristischen Werten der Tragfähigkeit ergibt sich

$$F_{v,Rk} = 4,1 \text{ kN} + 2/3 \cdot (5,8 \text{ kN} - 4,1 \text{ kN}) = 5,2 \text{ kN}$$

und der Bemessungswert der Gesamttragfähigkeit der Verbindung:

$$F_{v,Rd} = \frac{0,8}{1,3} \cdot 5,2 \text{ kN} \cdot 6 = 19,2 \text{ kN}$$

Bemerkung: Es wird mit $n_{ef} = n$ gerechnet, da von einer versetzten Nagelanordnung, einer Verwendung von Platte BauBuche Q bzw. einem ausreichend großen Abstand a_1 ausgegangen wird.

6.3 Verbindungen mit Klammern

Verbindungen in BauBuche mit Klammern sind nach der Leistungserklärung nicht zulässig.

6.4 Verbindungen mit Stabdübeln und Bolzen

6.4.1 Beanspruchung rechtwinklig zur Achse

6.4.1.1 Bemessung

Für Stabdübel und Bolzen beträgt das Fließmoment

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} \quad (8.30)$$

mit der Zugfestigkeit $f_{u,k}$ nach Tabelle 29 und Tabelle 30.

Die Fließmomente unterschiedlicher Verbindungsmitteltypen sind in Tabelle 33 angegeben.

Tabelle 29: Zugfestigkeit $f_{u,k}$ für Bolzen und Passbolzen

Festigkeitsklasse	$f_{u,k}$ in N/mm ²
4.6	400
5.6	500
8.8	800
10.9	1000

Tabelle 30: Zugfestigkeit $f_{u,k}$ für Stabdübel

Stahlsorte	$f_{u,k}$ in N/mm ²
S235	360
S275	430
S355	490

Die Lochleibungsfestigkeit bei Durchmessern bis 30 mm beträgt:

$$f_{h,a,k} = \frac{0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad (8.31) \quad (8.32)$$

mit dem Beiwert $k_{90} = 0,90 + 0,015 \cdot d$ nach (8.33) für Bauteile aus BauBuche.

Die Werte für die Lochleibungsfestigkeit in BauBuche mit einem charakteristischen Wert der Rohdichte von 730 kg/m^3 können Tabelle 34 entnommen werden.

Faserparallel angeordnete Verbindungsmittel in den Stirnflächen von BauBuche sind nicht zulässig. Bei Verbindungen in den Schmalflächen von Platten BauBuche ist die Lochleibungsfestigkeit nach der aktuellen Leistungserklärung bei Beanspruchung in Plattenebene auf 70 %, rechtwinklig dazu auf 80 % abzumindern. Zwischenwerte können linear interpoliert werden. Bei Verbindungen in den Schmalflächen von Träger BauBuche GL75 ist die Lochleibungsfestigkeit nach ETA-14/0354 für Durchmesser $d \geq 8 \text{ mm}$ auf 80 % abzumindern.

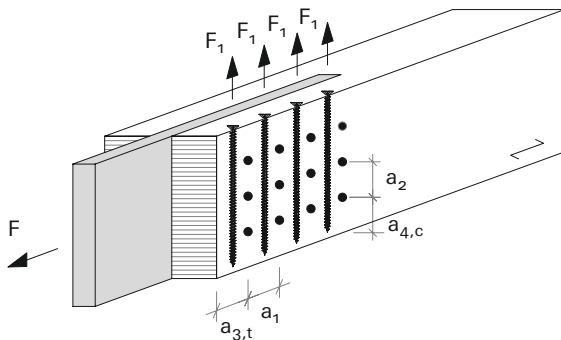
Bei Verbindungen mit mehreren in Faserrichtung hintereinander liegenden Verbindungsmitteln muss für die Tragfähigkeit in Faserrichtung mit einer wirksamen Verbindungsmittellanzahl n_{ef} nach (8.34) gerechnet werden. Grund dafür ist die erhöhte Spaltgefahr des Holzes. Bei Verbindungen in den Deckflächen von BauBuche Q besteht keine Spaltgefahr, so dass mit $n_{ef} = n$ gerechnet werden darf.

$$n_{ef} = \min \left\{ n; n^{0,9} \cdot 4 \sqrt{\frac{a_1}{13 \cdot d}} \right\} \quad (8.34)$$

In Tabelle 35 sind Werte für n_{ef} in Abhängigkeit des Verbindungsmitteldurchmessers und des Abstands aufgeführt.

Für den Winkel zwischen Krafterrichtung und Faserrichtung der Deckfurniere α zwischen 0° und 90° darf linear zwischen n und n_{ef} interpoliert werden. Durch das Eindrehen von Vollgewindeschrauben als Querkzugverstärkung kann auf eine Abminderung der Verbindungsmittellanzahl verzichtet werden. Die Schrauben sind dabei auf der belasteten Seite der Bolzen/Stabdübel einzubringen und sollten für eine axiale Belastung bemessen werden, die 30 % der Scherbeanspruchung der Bolzen/Stabdübel beträgt.

Beispiel 13: Stahlblech-Holz-Verbindung mit innen liegendem Stahlblech



Kennwerte: Träger BauBuche GL75 160/200 mm
NKL1, $k_{mod} = 0,9$

Dicke des Stahlblechs $t = 12$ mm

Abstand VM $a_1 = 60$ mm, $a_2 = a_{4,c} = 50$ mm

Variante 1: 12 Stabdübel (S235, $d = 12$ mm)

Die Stabdübel werden in die Schmalflächen des BauBuche GL75-Stabes eingebracht. Die Belastungsrichtung liegt in Faserrichtung. Die Lochleibungsfestigkeit nach Tabelle 34 muss daher gemäß ETA-14/0354 auf 80 % abgemindert werden.

$$f_{h,1,k} = 0,8 \cdot 52,7 \text{ N/mm}^2 = 42,2 \text{ N/mm}^2$$

Nach Tabelle 33 beträgt das Fließmoment für Stabdübel (S235) mit dem Durchmesser 12 mm

$$M_{y,Rk} = 69.100 \text{ Nmm}$$

Die Tragfähigkeit je Scherfuge beträgt nach (8.11)

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{aligned} & f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \\ & f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] \\ & 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} \end{aligned} \right.$$

$$= \min \left\{ \begin{aligned} & 42,2 \cdot 74 \cdot 12 \\ & 42,2 \cdot 74 \cdot 12 \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot 69.100}{42,2 \cdot 12 \cdot 74^2}} - 1 \right] \\ & 2,3 \cdot \sqrt{69.100 \cdot 42,2 \cdot 12} \end{aligned} \right.$$

$$= \min \left\{ \begin{aligned} & 37.400 \text{ N (f)} \\ & 16.800 \text{ N (g)} = 13,6 \text{ kN} \\ & 13.600 \text{ N (h)} \end{aligned} \right.$$

Maßgebend wird das Versagen durch Bildung zweier Fließgelenke je Scherfuge (Johansen-Fall h). Bei mehreren in Faserrichtung hintereinander liegenden Stabdübeln muss die Gesamttragfähigkeit unter Berücksichtigung der wirksamen Verbindungsmittellanzahl n_{ef} berechnet werden. Nach Tabelle 35 ist $n_{ef} = 2,74$.

Damit ergibt sich die Gesamttragfähigkeit

$$F_{v,Rd} = 2 \cdot 12 \cdot \frac{2,74}{4} \cdot \frac{0,9}{1,3} \cdot 13,6 \text{ kN} = 155 \text{ kN}$$

Wird eine Verstärkung zur Vermeidung der Spaltgefahr des Holzes eingebracht (VG-Schrauben), darf mit $n_{ef} = n$ gerechnet werden. Hieraus ergibt sich eine deutliche Steigerung der Gesamttragfähigkeit des Anschlusses

$$F_{v,Rd} = 2 \cdot 12 \cdot \frac{0,9}{1,3} \cdot 13,6 \text{ kN} = 226 \text{ kN}$$

In beide Seitenhölzer wird pro Stabdübelreihe eine Vollgewindeschraube ($d = 6$ mm) eingedreht. Die Schrauben müssen für 30 % der Scherbeanspruchung bemessen werden, die auf die Stabdübel wirkt.

$$F_{1,k} \geq 0,3 \cdot F_{v,Rk} = 0,3 \cdot 13,6 \text{ kN} = 4,08 \text{ kN}$$

Die minimale Einbindelänge ℓ_{ef} der Schrauben entspricht dem Randabstand $a_{4,c} = 50$ mm. Nach Tabelle 46 beträgt die Tragfähigkeit auf Herausziehen $F_{ax,Rk} = 10,5$ kN. Die gewählten Schrauben sind somit ausreichend.

Mit dem vereinfachten Bemessungsverfahren ermittelt sich die Tragfähigkeit auf Abscheren je Verbindungsmittel und Scherfuge wie folgt:

$$F_{v,Rk} = \sqrt{2} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,k} \cdot d}$$

$$= \sqrt{2} \cdot \sqrt{2 \cdot 69.100 \cdot 42,2 \cdot 12} = 11,8 \text{ kN}$$

mit

$$t_{req} = 1,15 \cdot 4 \cdot \sqrt{\frac{M_{y,Rk}}{f_{h,k} \cdot d}}$$

$$= 1,15 \cdot 4 \cdot \sqrt{\frac{69.100}{42,2 \cdot 12}} = 53,8 \text{ mm} \leq t_{vorh} = 74 \text{ mm}$$

Die Gesamttragfähigkeit für die Verbindung unter Berücksichtigung der wirksamen Verbindungsmittellanzahl n_{ef} beträgt

$$F_{v,Rd} = 2 \cdot 12 \cdot \frac{2,74}{4} \cdot \frac{0,9}{1,1} \cdot 11,8 \text{ kN} = 159 \text{ kN}$$

und für die gegenüber Aufspalten gesicherte Verbindung

$$F_{v,Rd} = 2 \cdot 12 \cdot \frac{0,9}{1,1} \cdot 11,8 \text{ kN} = 232 \text{ kN}$$

Variante 2: 12 Bolzen (M12 – 4.6) mit Unterlegscheibe 44/4

Nach Tabelle 33 beträgt das Fließmoment für Bolzen (4.6) mit dem Durchmesser 12 mm

$$M_{y,Rk} = 76.700 \text{ Nmm}$$

Die Tragfähigkeit je Scherfuge beträgt nach (8.11)

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \\ f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} \end{array} \right\}$$

$$= \min \left\{ \begin{array}{l} 42,2 \cdot 74 \cdot 12 \\ 42,2 \cdot 74 \cdot 12 \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot 76.700}{42,2 \cdot 12 \cdot 74^2}} - 1 \right] \\ 2,3 \cdot \sqrt{76.700 \cdot 42,2 \cdot 12} \end{array} \right\}$$

$$= \min \left\{ \begin{array}{l} 37.400 \text{ N (f)} \\ 17.000 \text{ N (g)} = 14,3 \text{ kN} \\ 14.300 \text{ N (h)} \end{array} \right\}$$

Die laterale Tragfähigkeit darf aufgrund des Seileffekts erhöht werden. Die aufnehmbare Druckkraft unter der Unterlegscheibe beträgt nach Tabelle 32 57,9 kN (charakteristischer Wert). Der Bemessungswert der axialen Tragfähigkeit $F_{t,Rd}$ beträgt 24,3 kN (s. Tabelle 31). Zur leichteren Berechnung wird dieser Wert auf einen charakteristischen Wert umgerechnet. Dafür wird der Wert mit dem Quotienten γ_M / k_{mod} multipliziert: $24,3 \cdot 1,3 / 0,9 = 35,1 \text{ kN}$. Die Erhöhung um den Anteil aus dem Seileffekt darf zu $F_{ax,k}/4$ angesetzt werden, jedoch maximal zu 25 % von $F_{v,Rk}$ (hier maßgebend).

$$F_{v,Rk} = \frac{5}{4} \cdot 14,3 = 17,9 \text{ kN}$$

Unter Berücksichtigung der wirksamen Verbindungsmittellanzahl n_{ef} ergibt sich die Gesamttragfähigkeit $F_{v,Rd}$ der Verbindung:

$$F_{v,Rd} = 2 \cdot 12 \cdot \frac{2,74}{4} \cdot \frac{0,9}{1,3} \cdot 17,9 \text{ kN} = 204 \text{ kN}$$

Durch eine geeignete Verstärkungsmaßnahme (Vorgehensweise wie im vorigen Beispiel) kann die Verbindungsmittellanzahl voll angerechnet werden:

$$F_{v,Rd} = 2 \cdot 12 \cdot \frac{0,9}{1,3} \cdot 17,9 \text{ kN} = 297 \text{ kN}$$

Durch die Wahl von Bolzen lässt sich die Tragfähigkeit des Anschlusses vor allem aufgrund des Seileffekts um etwa 30 % gegenüber der Variante mit Stabdübeln steigern.

6.4.1.2 Einbau

Es sind die Mindestabstände nach Tabelle 36 einzuhalten.

Bei Passbolzen und Stabdübeln sind die Bohrlöcher mit dem Durchmesser der Verbindungsmittel zu bohren. Bei Bolzen darf das Bohrloch maximal 1 mm größer gebohrt werden. Bei Löchern in Stahlblechen ist ebenfalls eine Differenz von 1 mm zulässig. Außenliegende Stahlbleche dürfen nicht mit Stabdübeln verbunden werden.

Es wird empfohlen, mindestens 2 Verbindungsmittel bzw. 4 Scherfugen je Anschluss auszuführen. Verbindungen mit nur einem Verbindungsmittel sollten nur zur Hälfte in Rechnung gestellt werden.

6.4.2 Beanspruchung in Richtung der Achse

Bei Bolzen ist der Widerstand gegenüber Beanspruchung in Achsrichtung (Herausziehen) das Minimum aus der aufnehmbaren Druckkraft unter der Unterlegscheibe und der Grenzzugkraft $F_{t,Rd}$ des Bolzen. Im Gegensatz zu Fichtenholz kann

aufgrund der hohen Querdruckfestigkeit von BauBuche durchaus Stahlversagen maßgebend werden. Der aufnehmbare Querdruck unter Unterlegscheiben wird aus der effektiven Kontaktfläche und dem dreifachen Wert der Querdruckfestigkeit $f_{c,90,k}$ berechnet, vgl. Tabelle 32. Stabdübel können keine Kräfte in Achsrichtung aufnehmen.

Tabelle 31: Bemessungswert der axialen Stahltragfähigkeit $F_{t,Rd}$ von Bolzen in kN

d in mm	Festigkeitsklasse			
	4.6	5.6	8.8	10.9
12	24,3	30,3	48,6	60,7
16	45,2	56,5	90,4	113
20	70,6	88,2	141	176
24	102	127	203	254

Tabelle 32: Charakteristische aufnehmbare Druckkraft in kN unter U-Scheiben in Abhängigkeit von $f_{c,90,k}$

Bolzen d in mm	U-Scheibe Typ	$f_{c,90,k}$ in N/mm ²			
		10,0*	12,3*	14,0	16,0*
12	44/4	41,3*	50,8*	57,9	66,1*
	58/6	74,6*	91,8*	104,5	119,4*
16	56/5	66,7*	82,0*	93,3	106,7*
	68/6	101,3*	124,6*	141,8	162,1*
20	72/6	110,7*	136,2*	155,0	177,2*
	80/8	139,4*	171,5*	195,1	223,0*
24	85/6	154,3*	189,8*	216,0	246,9*
	105/8	242,6*	298,4*	339,6	388,2*

*dürfen in NKL 1 mit dem Faktor 1,2 multipliziert werden.

Stahlgüte	Durchmesser d in mm							
	6	8	10	12	16	20	24	30
4.6	12.700	26.700	47.800	76.700	162.000	290.000	465.000	831.000
5.6	15.800	33.400	59.700	95.900	203.000	362.000	582.000	1.040.000
8.8	25.300	53.500	95.500	153.000	324.000	579.000	931.000	1.660.000
10.9	31.600	66.900	119.000	192.000	405.000	724.000	1.160.000	2.080.000
S235	11.400	24.100	43.000	69.100	146.000	261.000	419.000	748.000
S275	13.600	28.700	51.400	82.500	174.000	311.000	500.000	894.000
S355	15.500	32.800	58.500	94.000	199.000	355.000	570.000	1.020.000

Tabelle 33:
Fließmoment
 $M_{y,Rk}$ für
Stabdübel und
Bolzen in Nmm

α	Durchmesser d in mm							
	6	8	10	12	16	20	24	30
0°	56,3	55,1	53,9	52,7	50,3	47,9	45,5	41,9
15°	56,3	55,1	53,7	52,4	49,8	47,3	44,7	40,9
30°	56,3	55,1	53,2	51,6	48,6	45,6	42,7	38,5
45°	56,3	55,1	52,6	50,7	47,0	43,5	40,3	35,7
60°	56,3	55,1	51,9	49,7	45,5	41,6	38,1	33,2
75°	56,3	55,1	51,5	49,0	44,5	40,4	36,6	31,6
90°	56,3	55,1	51,3	48,8	44,1	39,9	36,1	31,0

Tabelle 34:
Lochleibungs-
festigkeit $f_{h,a,k}$
für Stabdübel
und Bolzen in
N/mm² in der
Deckfläche von
BauBuche mit
 $\rho_k = 730 \text{ kg/m}^3$

Anzahl n	Abstand a_1 als Mehrfaches des Durchmessers d											
	5 · d	6 · d	7 · d	8 · d	10 · d	12 · d	14 · d	16 · d	18 · d	20 · d	24 · d	28 · d
2	1,47	1,54	1,60	1,65	1,75	1,83	1,90	1,97	2,00	2,00	2,00	2,00
3	2,12	2,22	2,30	2,38	2,52	2,63	2,74	2,83	2,92	2,99	3,00	3,00
4	2,74	2,87	2,98	3,08	3,26	3,41	3,55	3,67	3,78	3,88	4,00	4,00
5	3,35	3,51	3,65	3,77	3,99	4,17	4,34	4,48	4,62	4,74	4,96	5,00
6	3,95	4,13	4,30	4,44	4,70	4,92	5,11	5,28	5,44	5,59	5,85	6,00
7	4,54	4,75	4,94	5,10	5,40	5,65	5,87	6,07	6,25	6,42	6,72	6,98
8	5,12	5,36	5,57	5,76	6,09	6,37	6,62	6,84	7,05	7,24	7,57	7,87
10	6,26	6,55	6,80	7,04	7,44	7,79	8,09	8,37	8,62	8,85	9,26	9,62
12	7,37	7,71	8,02	8,29	8,77	9,17	9,53	9,86	10,2	10,4	10,9	11,3
14	8,47	8,86	9,21	9,52	10,1	10,5	11,0	11,3	11,7	12,0	12,5	13,0
16	9,55	9,99	10,4	10,7	11,4	11,9	12,4	12,8	13,2	13,5	14,1	14,7

Tabelle 35:
Wirksame
Anzahl n_{ef} für
mehrere in
Faserichtung
hintereinander
liegende Stab-
dübel und
Bolzen

Tabelle 36:
Mindestabstän-
de nach Bild 17
für Bolzen,
Passbolzen und
Stabdübel

Abstände		Mindestabstände Bolzen	Mindestabstände Passbolzen/Stabdübel
Abstand a ₁ (in Faserrichtung)	0° ≤ α ≤ 360°	(4 + cos α) · d	(3 + 2 · cos α) · d
Abstand a ₂ (rechtwinklig zur Faser)	0° ≤ α ≤ 360°	4 · d	3 · d
Abstand a _{3,t} (beanspruchtes Hirnholzende)	-90° ≤ α ≤ 90°	max (7 · d ; 80 mm)	max (7 · d ; 80 mm)
Abstand a _{3,c} (unbeanspruchtes Hirnholzende)	90° ≤ α < 150° 150° ≤ α < 210° 210° ≤ α ≤ 270°	(1 + 6 · sin α) · d 4 · d (1 + 6 · sin α) · d	max[(a _{3,t} · sin α) ; 3 · d] 3 · d max[(a _{3,t} · sin α) ; 3 · d]
Abstand a _{4,t} (beanspruchter Rand)	0° ≤ α ≤ 180°	max [(2 + 2 · sin α) · d ; 3 · d]	max [(2 + 2 · sin α) · d ; 3 · d]
Abstand a _{4,c} (unbeanspruchter Rand)	180° ≤ α ≤ 360°	3 · d	3 · d

Tabelle 37: Tragfähigkeit F_{v,Rk} je Scherfuge nach (NA.109) in kN und Mindestholzdicken t_{req} in mm von Bolzen und Stabdübeln in Holz-Holz-Verbindungen (Deckflächen; ρ_k = 730 kg/m³)

d	12				16				20				24			
α	0°	90°	0° - 90°	90° - 0°	0°	90°	0° - 90°	90° - 0°	0°	90°	0° - 90°	90° - 0°	0°	90°	0° - 90°	90° - 0°
β	1,00	1,00	0,68	1,48	1,00	1,00	0,65	1,54	1,00	1,00	0,63	1,60	1,00	1,00	0,60	1,66
Festigkeitsklasse 4.6																
F _{v,Rk} einschnittig	9,85	9,48	9,66	9,66	16,2	15,1	15,6	15,6	23,6	21,5	22,5	22,5	31,9	28,4	30,0	30,0
t _{1,req}	43,3	45,0	42,9	45,3	55,7	59,5	55,0	60,3	68,3	74,8	67,0	76,2	81,1	91,0	79,1	93,1
t _{2,req}			45,3	42,9			60,3	55,0			76,2	67,0			93,1	79,1
zweischnittig																
t _{2,req}	35,8	37,2	38,0	35,1	46,2	49,3	50,9	44,6	56,6	62,0	64,7	53,9	67,1	75,4	79,6	63,2
Festigkeitsklasse 8.8																
F _{v,Rk} einschnittig	13,9	13,4	13,7	13,7	22,8	21,4	22,1	22,1	33,3	30,4	31,8	31,8	45,1	40,2	42,4	42,4
t _{1,req}	61,2	63,6	60,7	64,1	78,8	84,2	77,7	85,3	96,6	105,8	94,7	107,7	114,6	128,7	111,8	131,7
t _{2,req}			64,1	60,7			85,3	77,7			107,7	94,7			131,7	111,8
zweischnittig																
t _{2,req}	50,7	52,7	53,7	49,7	65,3	69,7	72,0	63,1	80,0	87,6	91,5	76,3	95,0	106,6	112,6	89,3
Stahlsorte S235																
F _{v,Rk} einschnittig	9,34	8,99	9,16	9,16	15,3	14,4	14,8	14,8	22,3	20,4	21,3	21,3	30,2	26,9	28,4	28,4
t _{1,req}	41,0	42,7	40,7	43,0	52,9	56,5	52,2	57,2	64,8	71,0	63,5	72,3	76,9	86,3	75,0	88,3
t _{2,req}			43,0	40,7			57,2	52,2			72,3	63,5			88,3	75,0
zweischnittig																
t _{2,req}	34,0	35,3	36,0	33,3	43,8	46,8	48,3	42,3	53,7	58,8	61,4	51,2	63,7	71,5	75,5	59,9

Tabelle 38: Tragfähigkeit F_{v,Rk} je
Scherfuge nach (NA.115) in kN
und Mindestholzdicken t_{req} in mm
von Bolzen und Stabdübeln in
Stahl-Holz-Verbindungen mit innen
liegenden und außen liegenden
dicken Stahlblechen (Deckflächen;
ρ_k = 730 kg/m³)

d		12	16	20	24
α		0°	90°	0°	90°
Festigkeitsklasse 4.6	F _{v,Rk}	13,9	13,4	22,8	21,4
	t _{req}	50,7	52,7	65,3	69,7
Festigkeitsklasse 8.8	F _{v,Rk}	19,7	19,0	32,3	30,3
	t _{req}	71,7	74,5	92,4	98,6
Stahlsorte S235	F _{v,Rk}	13,2	12,7	21,7	20,3
	t _{req}	48,1	50,0	62,0	66,1

Tabelle 39: Tragfähigkeit $F_{v,Rk}$ je Scherfuge nach (NA.117) in kN und Mindestholzdicken t_{req} in mm von Bolzen und Stabdübeln in Stahl-Holz-Verbindungen mit außen liegenden dünnen Stahlblechen (Deckflächen; $\rho_k = 730 \text{ kg/m}^3$)			d		12		16		20		24	
α					0°	90°	0°	90°	0°	90°	0°	90°
	Festigkeitsklasse 4.6	$F_{v,Rk}$			9,85	9,48	16,2	15,1	23,5	21,5	31,9	28,4
		t_{req}	zweischnittig		35,8	37,2	46,2	49,3	56,6	62,0	67,1	75,4
		t_{req}	einschnittig		43,3	45,0	55,7	59,5	68,3	74,8	81,1	91,0
	Festigkeitsklasse 8.8	$F_{v,Rk}$			13,9	13,4	22,8	21,4	33,3	30,4	45,1	40,2
		t_{req}	zweischnittig		50,7	52,7	65,3	69,7	80,0	87,6	95,0	107
		t_{req}	einschnittig		61,2	63,6	78,8	84,2	96,6	106	115	129
	Stahlsorte S235	$F_{v,Rk}$			9,34	8,99	15,3	14,4	22,3	20,4	30,2	26,9
		t_{req}	zweischnittig		34,0	35,3	43,8	46,8	53,7	58,8	63,7	71,5
		t_{req}	einschnittig		41,0	42,7	52,9	56,5	64,8	71,0	76,9	86,3

6.5 Verbindungen mit Holzschrauben

6.5.1 Allgemeines

Für dieses Kapitel werden exemplarisch die Werte von Schrauben nach ETA-11/0190 vom 23.07.2018 (Würth Assy) und nach ETA-12/0373 vom 03.11.2017 (Schmid RAPID Hardwood) verwendet. Generell dürfen alle Schrauben für Verbindungen in BauBuche eingesetzt werden, deren Verwendungszweck nach ihrer Zulassung Furnierschichtholz aus Buche nach DIN EN 14374 umfasst.

BauBuche ist bei der Verwendung von Schrauben in der Regel vorzubohren. (s. Tabelle 44). Schrauben mit Bohrspitzen ersetzen nicht das Vorbohren.

Baurechtlich sind die Vorgaben der Zulassungen bzgl. Vorbohrdurchmesser bindend. Umfangreiche Untersuchungen (inkl. Gutachtliche Stellungnahme) der TU Graz haben gezeigt, dass Vorbohrdurchmesser bis ca. $0,8 \cdot D$ keinen signifikanten Einfluss auf die axiale Tragfähigkeit eines gängigen Holzschraubengewindes in BauBuche haben. Die daraus resultierenden, größer zulässigen Vorbohrdurchmesser sind bereits in der ETA-12/0197 vom 28.02.2019 aufgeführt. Bitte kontaktieren Sie ggf. die Fa. Pollmeier für weitere Informationen. Informationen zu Schrauben, die über eine Zulassung für das Einbringen ohne Vorbohren verfügen, finden Sie in der Broschüre 05 »Verbindungsmittel«.

6.5.2 Beanspruchung rechtwinklig zur Schraubenachse

6.5.2.1 Bemessung nach ETA-11/0190

Die Lochleibungsfestigkeit von Würth-Schrauben in vorgebohrten und nicht vorgebohrten BauBuche-Bauteilen berechnet sich:

$$f_{h,k} = \frac{0,082 \cdot p_k \cdot d^{-0,15}}{(2,5 \cdot \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha) \cdot k_{\xi} \cdot k_{\beta}}$$

mit

d .. Nenndurchmesser der Schraube

$p_k = 730 \text{ kg/m}^3$ als char. Rohdichte für BauBuche

α .. Winkel zwischen Schraubenachse und Faserichtung

$$k_{\varepsilon} = (0,5 + 0,024 \cdot d) \cdot \sin^2 \varepsilon + \cos^2 \varepsilon$$

ε .. Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung

$$\text{und } k_{\beta} = 1,2 \cdot \cos^2 \beta + \sin^2 \beta$$

β .. Winkel zwischen Schraubenachse und Furnierebene

Es ist zu beachten, dass Schrauben, die in Richtung der Belastung geneigt sind, vorwiegend axial belastet werden und daher nach Kapitel 6.5.3 zu bemessen sind.

Die Werte des Fließmoments können den Zulassungen der Schrauben entnommen werden oder durch

$$M_{y,Rk} = 0,15 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6}$$

abgeschätzt werden. Schrauben aus Kohlenstoffstahl haben dabei in der Regel eine Zugfestigkeit $f_{u,k}$ von 600 N/mm^2 , Schrauben aus nicht rostendem Stahl 400 N/mm^2 .

Wenn auf die Berücksichtigung einer wirksamen Verbindungsmittellanzahl bei mehreren in Faserichtung hintereinander liegenden Schrauben verzichtet werden soll, müssen Schrauben, wie Nägel, um mindestens $1 \cdot d$ rechtwinklig zur Faserichtung zueinander versetzt angeordnet werden. Auf Abscheren beanspruchte Schraubenverbindungen in den Stirnflächen von BauBuche sind grundsätzlich nicht zulässig. Eine Reduzierung der Lochleibungsfestigkeit bei in der Stirnfläche angeordneten Schrauben nach ETA-11/0190 wird durch Winkel α berücksichtigt. Bei Verbindungen mit Nägeln oder Schrauben in den Schmalflächen von BauBuche Q ist die Lochleibungsfestigkeit nach der aktuellen Leistungserklärung auf 60% abzumindern, vgl. Bild 15.

Die Abminderung der Lochleibungsfestigkeit bei Verbindungen in den Schmalflächen von Träger BauBuche GL75 erfolgt in der oben aufgeführten Gleichung durch den Parameter β . Die Werte gängiger Lochleibungsfestigkeiten für Schrauben in

Tabelle 40 und Tabelle 41 nach ETA-11/0190 gelten sowohl für vorgebohrte als auch nicht vorgebohrte BauBuche.

Bei Schrauben, die in die Schmalflächen von BauBuche S eingebracht sind und auf Abscheren beansprucht werden, ist ein Mindestdurchmesser von 6,0 mm zu beachten.

Tabelle 40: Fließmoment $M_{y,Rk}$ und Lochleibungsfestigkeit $f_{h,e,k}$ für Schrauben aus Kohlenstoffstahl nach ETA-11/0190 in der Schmalfläche von BauBuche mit $\rho_k = 730 \text{ kg/m}^3$ ($\beta = 0^\circ$ und $\alpha = 90^\circ$)

	Durchmesser d in mm				
	5	6	8	10	12
$M_{y,Rk}$ in Nmm	5.900	10.000	23.000	36.000	58.000
ε	$f_{h,e,k}$ in N/mm ²				
0°	39,2	38,1	36,5	35,3	34,4
15°	40,2	39,1	37,3	35,9	34,9
30°	43,3	41,9	39,6	37,8	36,3
45°	48,4	46,4	43,2	40,6	38,4
60°	54,8	52,0	47,5	43,9	40,9
75°	60,7	57,1	51,2	46,6	42,8
90°	63,2	59,2	52,8	47,7	43,6

Tabelle 41: Fließmoment $M_{y,Rk}$ und Lochleibungsfestigkeit $f_{h,e,k}$ für Schrauben aus Kohlenstoffstahl nach ETA-11/0190 in der Deckfläche von BauBuche mit $\rho_k = 730 \text{ kg/m}^3$ ($\beta = 90^\circ$ und $\alpha = 90^\circ$)

	Durchmesser d in mm				
	5	6	8	10	12
$M_{y,Rk}$ in Nmm	5.900	10.000	23.000	36.000	58.000
ε	$f_{h,e,k}$ in N/mm ²				
0°	47,0	45,8	43,8	42,4	41,2
15°	48,2	46,9	44,7	43,1	41,8
30°	52,0	50,2	47,5	45,3	43,5
45°	58,1	55,7	51,8	48,7	46,1
60°	65,8	62,4	57,0	52,6	49,0
75°	72,8	68,5	61,5	56,0	51,4
90°	75,8	71,0	63,3	57,3	52,3

6.5.2.2 Einbau

Bei Schrauben in vorgebohrter BauBuche sollten, unabhängig vom Durchmesser, die Mindestabstände für Nagelverbindungen (Tabelle 26) eingehalten werden.

Bei Schrauben in BauBuche ohne Vorbohren sollten, unabhängig vom Durchmesser, die Mindestabstände für Nagelverbindungen höherer Rohdichte (Tabelle 42) eingehalten werden. Nach ETA-11/0190 müssen die Mindestbauteildicken nach Tabelle 43 eingehalten werden.

Tabelle 42: Mindestabstände nach Bild 17 für Schrauben nach ETA-11/0190 in BauBuche ohne Vorbohren

Abstände	Mindestabstände
Abstand a_1 (in Faserrichtung)	$(7 + 8 \cdot \cos \alpha) \cdot d$
Abstand a_2 (rechtwinklig zur Faserrichtung)	$7 \cdot d$
Abstand $a_{3,t}$ (beanspruchtes Hirnholzende)	$(15 + 5 \cdot \cos \alpha) \cdot d$
Abstand $a_{3,c}$ (unbeanspruchtes Hirnholzende)	$15 \cdot d$
Abstand $a_{4,t}$ (beanspruchter Rand)	$d < 5 \text{ mm:}$ $(7 + 2 \cdot \sin \alpha) \cdot d$ $d \geq 5 \text{ mm:}$ $(7 + 5 \cdot \sin \alpha) \cdot d$
Abstand $a_{4,c}$ (unbeanspruchter Rand)	$7 \cdot d$

d in mm	$t_{\min}$ in mm	Tabelle 43: Mindestbauteildicke $t_{\min}$ für Schrauben nach ETA-11/0190
< 8	24	
8	30	
10	40	
12	80	

Tabelle 44: Bohrlochdurchmesser für Schrauben in BauBuche

Schrauben- durchmesser d in mm	Bohrlochdurch- messer in mm z. B. nach ETA-11/0190	Bohrloch- durchmesser in mm nach ETA-12/0197
6	4,0	4,5
8	6,0	6,5
10	7,0	8,0
12	8,0	9,0
14	9,0	11,0

s. auch Kapitel 6.5.1

6.5.3 Beanspruchung in Richtung der Schraubenachse

6.5.3.1 Bemessung

Für die Tragfähigkeit axial belasteter Schrauben müssen folgende Punkte untersucht werden:

- Herausziehen des Gewindes aus dem Furnierschichtholz
- Durchziehen des Schraubenkopfs
- Zugtragfähigkeit der Schraube

Bei Schrauben unter Druckbelastung muss anstelle der Zugtragfähigkeit das Ausknicken der Schraube betrachtet werden.

Der Auszieh Widerstand einer Schraube nach ETA-11/0190 für BauBuche beträgt

$$F_{ax,\alpha,Rk} = \frac{n_{ef} \cdot k_{ax} \cdot f_{ax,k} \cdot d \cdot \ell_{ef}}{k_{\beta}}$$

mit

$$k_{ax} = 1,0 \text{ für } 45^{\circ} \leq \alpha \leq 90^{\circ} \text{ bzw.}$$

$$k_{ax} = 0,5 + \frac{0,5 \cdot \alpha}{45^{\circ}} \text{ für } 0^{\circ} \leq \alpha < 45^{\circ};$$

$$f_{ax,k} = 35 \text{ N/mm}^2 \text{ und}$$

$$k_{\beta} = 1,5 \cdot \cos^2 \beta + \sin^2 \beta$$

in Abhängigkeit von:

- Ansetzbare Gewindelänge ℓ_{ef}
Länge des auf Herausziehen beanspruchten Gewindeteils im jeweiligen Bauteil. Bei Vollgewindeschrauben abzüglich der gewindefreien Teile an Schraubenspitze und -kopf.
- Gewindeaußendurchmesser d
 d entspricht dem Nenndurchmesser der Schrauben
- Winkel zwischen Schraubenachse und Faserrichtung α
Bei Schrauben in den Deck- und Schmalflächen entspricht α dem Einschraubwinkel, in den Stirnflächen ist $\alpha = 90^{\circ}$ minus Einschraubwinkel.
Nach ETA-11/0190 muss $F_{ax,\alpha,Rd}$ für Winkel α zwischen 45° und 90° nicht abgemindert werden.
- Winkel zwischen Schraubenachse und Deckfläche β
rechtwinklig zur Deckfläche eingebrachte Schrauben ($\beta = 90^{\circ}$ ist $k_{\beta} = 1,0$.
rechtwinklig zur Schmalfläche eingebrachte Schrauben ($\beta = 0^{\circ}$ ist $k_{\beta} = 1,5$.
- wirksame Schraubenanzahl n_{ef}
Bei Verbindungen, bei denen mehrere Schrauben zusammenwirken, muss mit n_{ef} gerechnet werden. Besonders beim Anschluss von Stahlteilen sollte n_{ef} verwendet werden, da hier eine sehr direkte Lastweitergabe an die einzelnen Schrauben erfolgt und somit keine gleichmäßige Lastverteilung auf alle Verbindungsmittel vorliegt.
 n_{ef} beträgt nach Eurocode 5

$$n_{ef} = n^{0,9} \quad (8.41)$$

Bei Zugkräften, die unter einem Winkel zwischen 30° und 60° zur Schraubenachse angreifen, darf nach ETA-11/0190

$$n_{ef} = \max \{ n^{0,9}; 0,9 \cdot n \} \quad (8.41)$$

in Rechnung gestellt werden.

Der Durchzieh Widerstand einer Schraube beträgt

$$F_{ax,\alpha,Rk} = n_{ef} \cdot f_{head,k} \cdot d_h^2 \cdot \left(\frac{p_k}{350} \right)^{0,8} \quad (8.40b)$$

Der Durchziehparameter $f_{head,k}$ muss den Zulassungen der Schrauben entnommen werden. Für d_h darf bei Verwendung von Unterlegscheiben auch deren Durchmesser anstelle des Kopfdurchmessers verwendet werden.

Für Schrauben nach ETA-11/0190 mit $d_h \leq 25 \text{ mm}$ und einer Dicke von mindestens 40 mm gilt:

$$F_{ax,\alpha,Rk} = n_{ef} \cdot (40 - 0,5 \cdot d_h) \cdot d_h^2$$

Für 8 mm Schrauben mit Winkelscheiben $d_{head} = 25 \text{ mm}$ nach ETA-11/0190 und einer Bauteildicke von mindestens 40 mm gilt:

$$F_{ax,\alpha,Rk} = n_{ef} \cdot 22.500 \text{ N}$$

Die Zugtragfähigkeit berechnet sich folgendermaßen:

$$F_{t,Rk} = n_{ef} \cdot f_{tens,k} \quad (8.40c)$$

Der Zugwiderstand $f_{tens,k}$ ist den Zulassungen der Schrauben zu entnehmen (siehe Tabelle 46). Die Teilgewindeschraube RAPID Hardwood der Fa. Schmid Schrauben Hainfeld nach ETA-12/0373 vom 03.11.2017 wurde explizit für den Einsatz in Laubholz entwickelt und weist eine hohe Tragfähigkeit auf. Beispielsweise besitzt eine 8 mm Teilgewindeschraube mit einer Gewindelänge von 100 mm rechnerisch einen charakteristischen Durchzieh Widerstand von $32,1 \text{ kN}$. Durch einen vergrößerten Kerndurchmesser weist die RAPID Hardwood-Schraube eine hohe Zugtragfähigkeit $f_{tens,k} = 32,8 \text{ kN}$ und ein hohes Fließmoment $M_{y,k} = 42,8 \text{ Nm}$ auf.

Tabelle 45: Ausziehtragfähigkeit $F_{ax,Rk}$ von Schrauben in kN pro 10 mm Einbindetiefe für Einschraubwinkel α zwischen 45° und 90° nach ETA-11/0190

β	Durchmesser d in mm				
	5	6	8	10	12
0°					
(in Schmalseite)	1,17	1,40	1,87	2,33	2,80
15°	1,19	1,43	1,91	2,39	2,86
30°	1,27	1,53	2,04	2,55	3,05
45°	1,40	1,68	2,24	2,80	3,36
60°	1,56	1,87	2,49	3,11	3,73
75°	1,69	2,03	2,71	3,39	4,06
90°					
(in Deckfläche)	1,75	2,10	2,80	3,50	4,20

Tabelle 46: Fließmoment $M_{y,Rk}$ in Nmm und Zugwiderstand $f_{tens,k}$ in kN nach ETA-11/0190

d in mm	Kohlenstoffstahl		nicht rostender Stahl	
	$M_{y,Rk}$	$f_{tens,k}$	$M_{y,Rk}$	$f_{tens,k}$
6	10.000	12,5	5.500	7,10
8	23.000	21,5 (22,0 VGS)	11.000	12,0
10	36.000	32,0 (33,0 VGS)	20.000	19,0
12	58.000	45,0 (45,0 VGS)	-	-

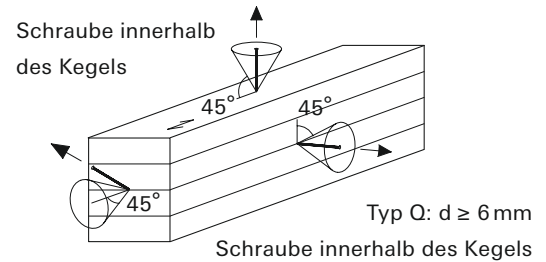
Der Verschiebungsmodul K_{ser} des Gewindeteils planmäßig in Achsrichtung beanspruchter Schrauben beträgt je Schnittufer für den Grenz-zustand der Gebrauchstauglichkeit unabhängig vom Winkel α zur Faserrichtung:

$$K_{ser} = 30 \cdot d \cdot \ell_{ef}$$

6.5.3.2 Einbau

Auch axial belastete Schrauben dürfen nur unter Einhaltung gewisser Mindestmaße für die Bauteildicken und Schraubenabstände als tragende Verbindung angesetzt werden. Da im konstruktiven Holzbau heute nahezu ausnahmslos Schrauben mit eigenen Zulassungen verwendet werden, sollten die einzuhaltenden Mindestmaße den jeweiligen Zulassungen entnommen werden. Die darin enthaltenen Werte sind zudem oft günstiger als die des Eurocode 5.

Axial belastete Schrauben in den Stirn- und Schmalflächen von BauBuche Q müssen mindestens einen Nenndurchmesser von 6 mm aufweisen.



Typ Q: $d \geq 6$ mm

Schraube außerhalb des Kegels

Bild 18: Zulässige Einschraubwinkel und Durchmesser bei Schrauben in BauBuche nach Eurocode 5 – für z. B. Schrauben nach ETA-11/0190 sind weitere Einschraubwinkel zulässig

Für den Einbau von Schrauben in Furnierschicht-holz werden oft nach Zulassung eigene Werte angegeben. In Tabelle 47 sind exemplarisch die einzuhaltenden Mindestabstände nach Bild 19 aus der ETA-11/0190 aufgeführt. Die Schraubenabstände sind dabei jeweils vom Schwerpunkt des Gewindes in den jeweiligen Bauteilen zu messen.

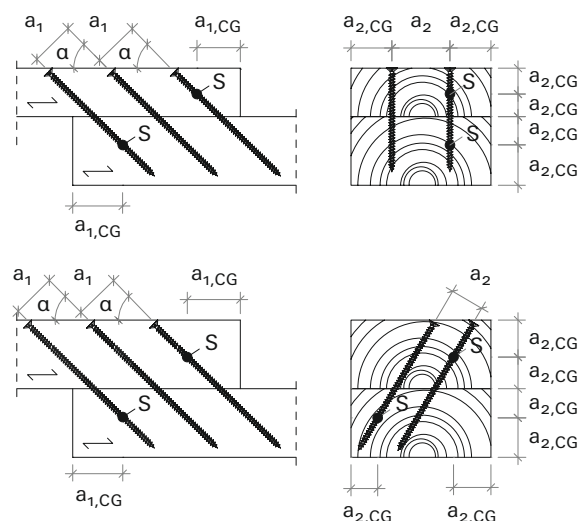


Bild 19: Definition der Mindestabstände für axial belastete Schrauben

Tabelle 47: Mindestabstände für Schrauben nach ETA-11/0190

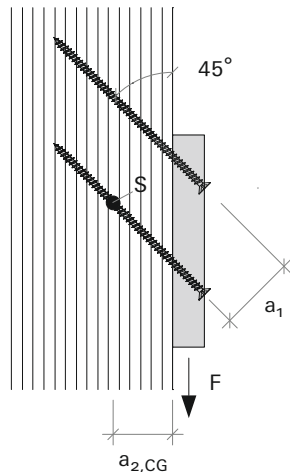
	Abstand mit Vorbohren	Abstand ohne Vorbohren
Schraubenabstand a_1 in Faserrichtung der Deckfurniere	$5 \cdot d$	$(7 + 8 \cdot \cos \alpha) \cdot d$
Schraubenabstand a_2 quer zur Faserrichtung der Deckfurniere	$2,5 \cdot d$	$7 \cdot d$
Randabstand $a_{1,CG}$ zur Stirnfläche	$5 \cdot d$	$(7 + 5 \cdot \cos \alpha) \cdot d$
Randabstand $a_{2,CG}$ zu Deck- und Seitenflächen	$3 \cdot d$	$3 \cdot d$
Schraubenabstand bei Schraubenkreuzen	$1,5 \cdot d$	$1,5 \cdot d$

6.5.4 Kombinierte Beanspruchung von Schrauben

Werden Schrauben gleichzeitig auf Herausziehen und auf Abscheren beansprucht, erfolgt die Nachweisführung mit Hilfe der quadratischen Interaktion

$$\left(\frac{F_{ax,Ed}}{F_{ax,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right)^2 \leq 1 \quad (8.28)$$

Beispiel 14:
Zuganschluss
mit Vollgewinde-
schrauben
unter 45°



Eine Stahlplatte ($t = 10 \text{ mm}$) wird mit 4 Vollgewindeschrauben $8,0 \times 120 \text{ mm}$ nach ETA-11/0190 unter 45° an eine Stütze aus BauBuche angeschlossen. Die Länge des beanspruchten Gewindes ergibt sich aus der Schraubenlänge abzüglich des Bereichs im Stahlteil

$$l_{ef} = 120 \text{ mm} - 10 \cdot \sqrt{2} = 106 \text{ mm}$$

Eine lineare Interpolation ergibt nach Tabelle 45 unter Berücksichtigung von $\beta = 90^\circ$ und $\alpha = 45^\circ$ eine Ausziehtragfähigkeit $F_{ax,Rk}$ von $106/10 \cdot 2,8 = 29,6 \text{ kN}$ pro Schraube. Nach Tabelle 46 beträgt der Zugwiderstand $f_{tens,k} = 22,0 \text{ kN}$.

Mit $k_{mod} = 0,9$ beträgt der Bemessungswert der Tragfähigkeit in Achsrichtung

$$F_{ax,Rd} = \min \left\{ \frac{0,9}{1,3} \cdot 29,6 ; \frac{22}{1,3} \right\} = \min \{ 20,5 ; 16,9 \} = 16,9 \text{ kN}$$

Kopfdurchziehen wird durch das Stahlteil verhindert und muss daher nicht betrachtet werden. Die gesamte Tragfähigkeit des Anschlusses sollte mit einer wirksamen Schraubenanzahl berechnet werden, da durch die Krafteinleitung durch das dicke Stahlteil eine direkt wirkende Belastung der Schrauben vorliegt

$$n_{ef} = \max \{ 4^{0,9} ; 0,9 \cdot 4 \} = 3,6$$

$$F_{ax,Rd,ges} = 3,6 \cdot 16,9 \text{ kN} = 60,8 \text{ kN}$$

Unter Berücksichtigung des Winkels zwischen der angreifenden Last und den Schraubenachsen beträgt die aufnehmbare Last

$$F_{Rd} = 1,25 \cdot \frac{60,8 \text{ kN}}{\sqrt{2}} = 53,7 \text{ kN}$$

Tabelle 48: Tragfähigkeit $F_{v,Rk}$ in kN und Mindestholzdicken t_{req} in mm von rechtwinklig zur Deckfläche eingebrachten Schrauben nach ETA-11/0190 in Holz-Holz- und Stahl-Holz-Verbindungen mit außen liegenden Stahlblechen ohne Berücksichtigung des Seileffekts

d	6				8				10				12			
ϵ	0°	90°	0°-90°	90°-0°	0°	90°	0°-90°	90°-0°	0°	90°	0°-90°	90°-0°	0°	90°	0°-90°	90°-0°
β	1,00	1,00	1,55	0,65	1,00	1,00	1,45	0,69	1,00	1,00	1,35	0,74	1,00	1,00	1,27	0,79
Holz-Holz-Verbindung																
$F_{v,Rk}$	2,34	2,92	2,58	2,58	4,01	4,83	4,36	4,36	5,53	6,42	5,92	5,92	7,57	8,53	8,01	8,01
1-schnittig																
$t_{1,req}$	23,7	19,0	24,7	18,1	31,8	26,5	33,0	25,4	36,2	31,1	37,3	30,1	42,5	37,7	43,5	36,8
$t_{2,req}$	18,1	24,7	18,1	24,7	26,5	33,0	25,4	33,0	31,1	37,3	30,1	37,3	37,7	43,5	36,8	34,5
2-schnittig																
$t_{2,req}$	19,6	15,8	14,0	21,6	26,3	21,9	19,8	28,7	30,0	25,8	23,8	32,1	35,2	31,3	29,4	37,3
Stahl-Holz-Verbindung (dünn)																
$F_{v,Rk}$	2,34	2,92	-	-	4,01	4,83	-	-	5,53	6,42	-	-	7,57	8,53	-	-
t_{req}	23,7	19,0	-	-	31,8	26,5	-	-	36,2	31,1	-	-	42,5	37,7	-	-
Stahl-Holz-Verbindung (dick)																
$F_{v,Rk}$	3,32	4,13	-	-	5,68	6,83	-	-	7,81	9,08	-	-	10,7	12,1	-	-
t_{req}	27,7	22,3	-	-	37,3	31,0	-	-	42,4	36,5	-	-	49,8	44,2	-	-

7 GEKLEBTE, MEHRTEILIGE QUERSCHNITTE (STARRER VERBUND)

DIN EN 1995-1-1, Kap. 9

Bemerkung: Nach allgemeiner Bauartgenehmigung Z-9.1-838 darf die Platte BauBuche Q als Beplankung und die Platte BauBuche S als Rippen von geklebten Elementen in Holztafelbauart gemäß DIN 1052-10 verwendet werden. Ebenso dürfen die BauBuche-Platten für Verklebungen nach DIN 1052-10 genutzt werden, die gemäß Norm keine speziellen Vorgaben in einem Verwendbarkeitsnachweis erfordern (z. B. aufgeklebte Verstärkungen).

Die Verklebung von BauBuche-Platten und BauBuche GL75-Träger zu mehrteiligen Querschnitten ist derzeit normativ nur geregelt für Fälle, in denen der Pressdruck durch Schraubenpressklebung aufgebracht wird (s. Kapitel 9.2.1). Dabei ist die Dicke der aufzuklebenden BauBuche-Querschnitte auf 50 mm begrenzt.

Durch das Verkleben von Einzelquerschnitten aus BauBuche-Platten zu T-Trägern, Doppel-T-Trägern oder Hohlkasten-Profilen können filigrane Bauteile mit hohen Biegetragfähigkeiten hergestellt werden. Hohlkasten-Profile besitzen durch ihre hohe Torsionssteifigkeit eine aussteifende Wirkung, so dass ein Verzicht auf Dachverbände möglich werden kann. Zusammengesetzte Bauteile bestehen aus Gurten (horizontale Platten), Stegen (vertikalen Platten) und Klebefugen. Die Herstellung geklebter, tragender Bauteile unterliegt einer Reihe von Auflagen. Die ausführenden Betriebe müssen spezielle Genehmigungen vorweisen können, weiter liegen die klimatischen Umgebungsbedingungen und die Feuchte der zu verklebenden Bauteile in engen Grenzen. Auch sind nur direkt vor der Verklebung gehobelte oder geschliffene Oberflächen zulässig. Daher sollten geklebte Bauteile bereits im Werk hergestellt werden.

Bei einer Biegebeanspruchung nehmen die Gurte in erster Linie Biegezug- bzw. Biegedruckkräfte auf. In der Regel werden die Druckgurte für die Bemessung der Querschnitte meist maßgebend. Wirtschaftliche Querschnitte werden daher erreicht, indem die Druckgurte größer als die Zug-

gurte gewählt werden. Beim Einsatz als Dach- oder Deckenträger kann durch die Verbindung mit der Dacheindeckung bzw. Deckenbeplankung meist eine ausreichende Aussteifung gegen das seitliche Ausweichen der Druckgurte erzielt werden. Bei gedrückten Untergurten, z. B. über Zwischenabstützungen, kann eine zusätzliche Aussteifung des Untergurts durch Querstreben zur oben liegenden Aussteifungskonstruktion erzielt werden.

Die Stege müssen vor allem die Querkräfte aufnehmen. Eine Verstärkung mittels zusätzlich aufgeklebter BauBuche-Platten in Bereichen mit hohen Querkräften, z. B. an den Auflagern, kann daher erforderlich werden. Zusätzlich zu den Querkräften erfahren die Stege auch Biegebeanspruchungen. Besonders bei Querschnitten, bei denen die Stege seitlich bis zur Oberkante durchgehen, treten große Biegebeanspruchungen der Stege auf.

Die Klebefugen zur Verbindung der Einzelquerschnitte müssen die Schubkräfte von den Stegen in die Gurte einleiten. Für die Bemessung werden die Klebeverbindungen als starr angesehen, so dass kein Einfluss der Fugen auf die Gesamtsteifigkeit entsteht. Die Festigkeit der Klebefugen darf als mindestens so hoch wie die Festigkeit der angrenzenden BauBuche-Platten angesehen werden. Es müssen daher nur die lokalen Schubspannungen in den BauBuche-Bauteilen überprüft werden. Werden ausschließlich in Trägerschachse verlaufende Furniere miteinander verklebt (BauBuche S), treten keine Rollschubbeanspruchungen auf, sodass mit der Schubfestigkeit $f_{v,0}$ gerechnet werden kann.

Bestehen die zusammengesetzten Querschnitte aus unterschiedlichen Baustoffen, müssen eventuelle Beeinflussungen für die Nachweise im Endzustand aufgrund unterschiedlichen Verformungsverhaltens (k_{def}) beachtet werden. Im Folgenden werden einfach symmetrische Querschnitte aus miteinander verklebten Einzelteilen aus BauBuche gleichen Typs behandelt.

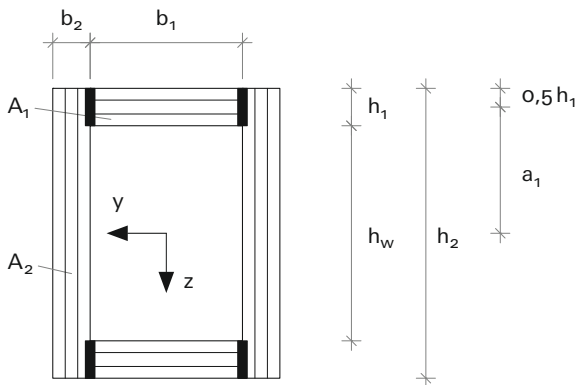


Bild 20: Hohlkastenträger aus BauBuche

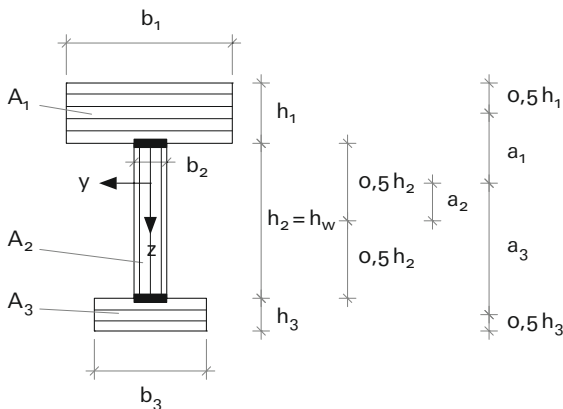


Bild 21: Doppel-T-Träger aus BauBuche

Die wirksame Biegesteifigkeit $(EI)_{ef}$ berechnet sich aus der Summe der Einzelflächenmomente zusammen mit den Steineranteilen bezogen auf den Gesamtschwerpunkt:

$$EI_{ef} = \sum_{i=1}^3 (E_i \cdot I_i + E_i \cdot A_i \cdot a_i^2)$$

Der Abstand der Schwerachse der Einzelquerschnitte von der Schwerachse des Gesamtquerschnitts berechnet sich dabei wie folgt

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

$$a_1 = \frac{h_1 + h_2}{2} - a_2 \quad a_3 = \frac{h_2 + h_3}{2} + a_2$$

Bei Querschnitten mit über die Gesamthöhe durchgehenden Stegen sind h_1 und h_3 mit negativem Vorzeichen einzusetzen. Es wird vorausgesetzt, dass a_2 positiv und kleiner oder gleich $h_2 / 2$ ist.

Folgende Nachweise müssen im Grenzzustand der Tragfähigkeit geführt werden:

Nachweis der Gurte

Schwerpunktspannungen:

$$\sigma_{c(t),1(3),d} = \frac{E_{1(3)} \cdot M_d \cdot a_{1(3)}}{(EI)_{ef}}$$

Randspannungen:

$$\sigma_{m,1(3),d} = \frac{E_{1(3)} \cdot M_d \cdot (a_{1(3)} + h_{1(3)}/2)}{(EI)_{ef}}$$

Nachweis der Stege

Randspannungen:

$$\sigma_{m,2,d} = \frac{E_2 \cdot M_d \cdot (a_2 + h_2/2)}{(EI)_{ef}}$$

Schubspannung:

$$\tau_{2,max,d} = \frac{(E_3 \cdot A_3 \cdot a_3 + 0,5 \cdot E_2 \cdot b_2 \cdot h^2) \cdot V_d}{b_2 \cdot (EI)_{ef}}$$

mit

$$h = \frac{h_2}{2} + a_2$$

Vereinfachter Beulnachweis:

$$F_{V,Rd} \leq \begin{cases} n \cdot b_2 \cdot h_w \left[1 + 0,5 \cdot \frac{h_1 + h_3}{h_w} \right] \cdot f_{v,d}; h_w \leq 35b_2 \\ n \cdot 35 \cdot b_2^2 \left[1 + 0,5 \cdot \frac{h_1 + h_3}{h_w} \right] \cdot f_{v,d}; 35b_2 \leq h_2 \leq 70b_2 \end{cases} \quad (9.9)$$

mit

h_w lichte Steghöhe

n Anzahl der Stege

Nachweis der lokalen Schubspannungen an den Klebefugen

$$\tau_{k,d} = \frac{V_d \cdot E_{1(3)} \cdot S_{1(3)}}{(EI)_{ef} \cdot n \cdot b_{KF,1(3)}} = \frac{V_d \cdot E_{1(3)} \cdot A_{1(3)} \cdot a_{1(3)}}{(EI)_{ef} \cdot n \cdot b_{KF,1(3)}} \leq f_{v,d}$$

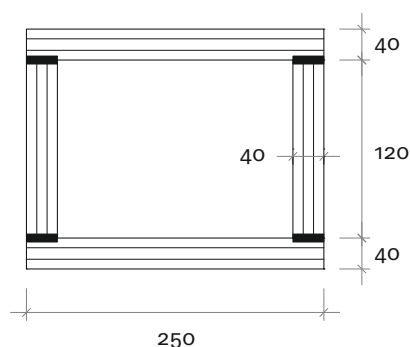
mit

b_{KF} Breite Klebefugen

n Anzahl Klebefugen

S Flächenmoment 1. Grades bezogen auf Gesamtschwerpunkt

Beispiel 15: Geklebter Hohlkastenträger



Einwirkung:

Moment $M_d = 30 \text{ kNm}$

Querkraft $V_d = 15 \text{ kN}$

Kennwerte:

Einzelquerschnitte aus Platte BauBuche Q,

Plattenstärke 40 mm

$h_2 = 120 \text{ mm}$; $b_1 = 250 \text{ mm}$; $\ell = 6 \text{ m}$

$k_{\text{mod}} = 0,8$; NKL 1

Bemerkung:

Die nachfolgenden Berechnungen können ohne Berücksichtigung der E-Moduln erfolgen, da die Einzelquerschnitte denselben E-Modul aufweisen.

$$\begin{aligned} I_{\text{ef}} &= \sum (I_i + A_i \cdot a_i^2) \\ &= 2 \cdot 5,76 \cdot 10^6 + 2 \cdot 1,33 \cdot 10^6 + 2 \cdot 10.000 \cdot 80^2 \\ &= 1,42 \cdot 10^8 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

1. Nachweis der Schwerpunktspannungen in den Gurten

$$\sigma_{c(t),1(3),d} = \frac{M_d \cdot a_{1(3)}}{I_{\text{ef}}} = \frac{30 \cdot 10^6 \cdot \pm 80}{1,42 \cdot 10^8} = \pm 16,9 \text{ N/mm}^2$$

$$\eta = \frac{16,9}{28,9} = 0,58 \leq 1,0$$

mit

$$\begin{aligned} f_{t,o,d} &= k_{\text{mod}} \cdot \frac{k_\ell \cdot f_{t,o,k}}{\gamma_M} \\ &= 0,8 \cdot \frac{0,96 \cdot 49 \text{ N/mm}^2}{1,3} = 28,9 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$f_{c,o,d} = 0,8 \cdot \frac{1,2 \cdot 62,0 \text{ N/mm}^2}{1,3} = 45,8 \text{ N/mm}^2$$

In NKL 1 darf der charakteristische Wert der Druckfestigkeit mit dem Faktor 1,2 multipliziert werden.

2. Nachweis der Randspannungen in den Gurten

$$\begin{aligned} \sigma_{m,1(3),d} &= \frac{M_d \cdot (a_{1(3)} + h_{1(3)}/2)}{I_{\text{ef}}} \\ &= \frac{30 \cdot 10^6 \cdot (80 + 40/2)}{1,42 \cdot 10^8} = 21,1 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\eta = \frac{21,1}{49,8} = 0,42 \leq 1,0$$

mit

$$f_{m,d} = 0,8 \cdot \frac{81 \text{ N/mm}^2}{1,3} = 49,8 \text{ N/mm}^2$$

3. Nachweis der Randspannungen in den Stegen

$$\sigma_{m,2,d} = \frac{M_d \cdot h_2/2}{I_{\text{ef}}} = \frac{30 \cdot 10^6 \cdot 120/2}{1,42 \cdot 10^8} = 12,7 \text{ N/mm}^2$$

$$\eta = \frac{12,7}{36,3} = 0,35 \leq 1,0$$

mit

$$f_{m,d} = 0,8 \cdot \frac{59 \text{ N/mm}^2}{1,3} = 36,3 \text{ N/mm}^2$$

4. Nachweis der Schubspannungen in den Stegen

$$\begin{aligned} \tau_{2,\text{max},d} &= (10.000 \cdot 80 + 0,5 \cdot 80 \cdot (120/2)^2) \\ &\quad \cdot 15 \cdot 10^3 / (80 \cdot 1,42 \cdot 10^8) = 1,24 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\eta = \frac{1,24}{4,80} = 0,26 \leq 1,0$$

mit

$$f_{v,d} = 0,8 \cdot \frac{7,8 \text{ N/mm}^2}{1,3} = 4,80 \text{ N/mm}^2$$

5. Vereinfachter Beulnachweis der Stege

$$h_w = 120 \text{ mm} \leq 35 \cdot b_2 = 35 \cdot 40 = 1.400 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} F_{v,Rd} &= n \cdot b_2 \cdot h_w \left[1 + 0,5 \cdot \frac{h_1 + h_3}{h_w} \right] \cdot f_{v,d} \\ &= 2 \cdot 40 \cdot 120 \left[1 + 0,5 \cdot \frac{40 + 40}{120} \right] \cdot 4,80 \cdot 10^{-3} \\ &= 61,4 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\eta = \frac{0,5 \cdot 15}{61,4} = 0,12 \leq 1,0$$

6. Nachweis der lokalen Schubspannungen an den Klebefugen

$$\tau_{k,d} = \frac{V_d \cdot A_{1(3)} \cdot a_{1(3)}}{I_{\text{ef}} \cdot n \cdot b_{KF,1(3)}} = \frac{15 \cdot 10^3 \cdot 10.000 \cdot 80}{1,42 \cdot 10^8 \cdot 2 \cdot 40} = 1,05 \text{ N/mm}^2$$

$$\eta = \frac{1,05}{2,34} = 0,45 \leq 1,0$$

mit

$$f_{v,d} = 0,8 \cdot \frac{3,8 \text{ N/mm}^2}{1,3} = 2,34 \text{ N/mm}^2$$

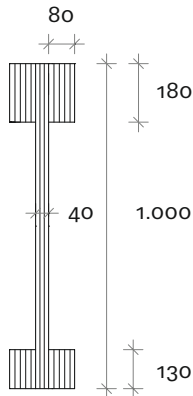
Bemerkung:

Die Nachweisführung des Hohlkastenquerschnitts aus Beispiel 15 entspricht der einer Hohlkasten-
decke, wenn mit entsprechenden effektiven Gurt-
breiten gerechnet wird. Der Einsatz als Decken-
element erfordert zusätzliche Untersuchungen
des Schwingverhaltens.

Beispiel 16:

Geklebter

Doppel-T-Träger



Einwirkung:

Moment $M_d = 850 \text{ kNm}$

Querkraft $V_d = 170 \text{ kN}$

Kennwerte:

Steg aus Platte BauBuche Q, Gurte aus Platte
BauBuche S;

$\ell = 20 \text{ m}$; $k_{\text{mod}} = 0,9$, NKL 1

$$I_{\text{ef}} = 16.800 \cdot 7,78 \cdot 10^7 + 13.200 \cdot 3,33 \cdot 10^9 \\ + 16.800 \cdot 2,93 \cdot 10^7 + 16.800 \cdot 28.000 \cdot 375,9^2 \\ + 13.200 \cdot 40.000 \cdot 34,1^2 + 16.800 \cdot 20.800 \cdot 469,1^2 \\ = 1,92 \cdot 10^{14} \text{ N/mm}^2$$

$$a_2 = (16.800 \cdot 2 \cdot 80 \cdot 180 \cdot (-180 + 1.000) \\ - 16.800 \cdot 2 \cdot 80 \cdot 130 \cdot (1.000 - 130)) / (2 \cdot (16.800 \\ \cdot 28.000 + 13.200 \cdot 40.000 + 16.800 \cdot 20.800)) \\ = 34,1 \text{ mm}$$

$$a_1 = \frac{-180 + 1.000}{2} - 34,1 = 375,9 \text{ mm}$$

$$a_3 = \frac{1.000 - 130}{2} + 34,1 = 469,1 \text{ mm}$$

Nachfolgend werden nur die maßgebenden Nach-
weise geführt. Es wird ein ausreichend knick- und
kippgesicherter Träger vorausgesetzt.

1. Nachweis der Druckspannung im Obergurt

$$\sigma_{c,1,d} = \frac{16.800 \cdot 850 \cdot 10^6 \cdot (-375,9)}{1,92 \cdot 10^{14}} = -28,0 \text{ N/mm}^2$$

$$\eta = \frac{28,0}{47,8} = 0,59 \leq 1,0$$

mit

$$f_{c,o,d} = 0,9 \cdot \frac{1,2 \cdot 57,5 \text{ N/mm}^2}{1,3} = 47,8 \text{ N/mm}^2$$

2. Nachweis der Zugspannung im Untergurt

$$\sigma_{t,3,d} = \frac{16.800 \cdot 850 \cdot 10^6 \cdot 469,1}{1,92 \cdot 10^{14}} = 34,9 \text{ N/mm}^2$$

$$\eta = \frac{34,9}{37,1} = 0,94 \leq 1,0$$

mit

$$f_{t,o,d} = 0,9 \cdot \frac{0,892 \cdot 60 \text{ N/mm}^2}{1,3} = 37,1 \text{ N/mm}^2$$

3. Nachweis der Randspannung im Obergurt

$$\sigma_{m,1,d} = \frac{16.800 \cdot 850 \cdot 10^6 \cdot -(375,9 + 180/2)}{1,92 \cdot 10^{14}} \\ = -34,7 \text{ N/mm}^2$$

$$\eta = \frac{34,7}{51,9} = 0,67 \leq 1,0$$

mit

$$f_{m,d} = 0,9 \cdot \frac{75 \text{ N/mm}^2}{1,3} = 51,9 \text{ N/mm}^2$$

4. Nachweis der Randspannung im Untergurt

$$\sigma_{m,1,d} = \frac{16.800 \cdot 850 \cdot 10^6 \cdot (469,1 + 130/2)}{1,92 \cdot 10^{14}} \\ = 39,7 \text{ N/mm}^2$$

$$\eta = \frac{39,7}{51,9} = 0,76 \leq 1,0$$

mit

$$f_{m,d} = 0,9 \cdot \frac{75 \text{ N/mm}^2}{1,3} = 51,9 \text{ N/mm}^2$$

5. Nachweis der Biegespannung im Steg

$$\sigma_{m,2,d} = \frac{13.200 \cdot 850 \cdot 10^6 \cdot (34,1 + 1.000/2)}{1,92 \cdot 10^{14}} = 31,2 \text{ N/mm}^2$$

$$\eta = \frac{31,2}{35,3} = 0,88 \leq 1,0$$

mit

$$f_{m,d} = 0,9 \cdot \frac{0,865 \cdot 59 \text{ N/mm}^2}{1,3} = 35,3 \text{ N/mm}^2$$

6. Nachweis der Schubspannung im Steg

$$\tau_{2,\max,d} = (16.800 \cdot 20.800 \cdot 469,1 + 0,5 \cdot 13.200 \cdot 40 \cdot 534,1^2) \cdot 170 \cdot 10^3 / (40 \cdot 1,92 \cdot 10^{14}) = 5,30 \text{ N/mm}^2$$

mit

$$h = \frac{1.000}{2} + 34,1 = 534,1 \text{ mm}$$

$$\eta = \frac{5,30}{5,40} = 0,98 \leq 1,0$$

mit

$$f_{v,d} = 0,9 \cdot \frac{7,8 \text{ N/mm}^2}{1,3} = 5,40 \text{ N/mm}^2$$

7. Vereinfachter Beulnachweis des Steges

$$h_w = 1.000 \text{ mm} \leq 35 \cdot b_2 = 35 \cdot 40 = 1.400 \text{ mm}$$

$$F_{V,Rd} = 1 \cdot 40 \cdot 1.000 \left[1 + 0,5 \cdot \frac{180 + 130}{(1.000 - 180 - 130)} \right] \cdot 5,40 \cdot 10^{-3} = 265 \text{ kN}$$

$$\eta = \frac{170}{265} = 0,64 \leq 1,0$$

8. Nachweis der lokalen Schubspannungen an der Klebefuge zum Untergurt

$$\tau_{k,d} = \frac{170 \cdot 10^3 \cdot 16.800 \cdot 20.800 \cdot 469,1}{1,92 \cdot 10^{14} \cdot 2 \cdot 130} = 0,56 \text{ N/mm}^2$$

$$\eta = \frac{0,56}{2,63} = 0,21 \leq 1,0$$

mit

$$f_{v,d} = 0,9 \cdot \frac{3,8 \text{ N/mm}^2}{1,3} = 2,63 \text{ N/mm}^2$$

8 AUSSTEIFENDE SCHEIBEN

DIN EN 1995-1-1, Kap. 9.2.3/4

8.1 Allgemeines

BauBuche Q-Platten dürfen zur Ausbildung aussteifender Dach-, Decken- und Wandscheiben verwendet werden.

BauBuche-Platten können bis zu Dicken von 60 mm produziert werden. Zusammen mit hohen Schub- und Druckfestigkeiten bietet sich daher der Einsatz als massive Wandscheibe an. Auch massive Decken aus BauBuche-Platten sind möglich. Aufgrund der großen Durchbiegungen sind diese aber über etwa 3,5 m Spannweite nicht zu empfehlen.

Im Anschluss wird daher nur die Ausbildung und Bemessung massiver Wandscheiben vorgestellt.

8.2 Wandscheiben

Wände müssen sowohl für vertikale Lasten aus Eigengewicht, Nutzlasten und Schnee als auch für horizontale Aussteifungslasten aus Wind und Erdbeben bemessen werden. Für die vertikalen Lasten wird in der Regel das Knicken der Wand maßgebend. Bei der Bemessung der Aussteifungslasten muss vor allem die Lastenleitung, die Kopplung der einzelnen Wandelemente und die Weiterleitung der Schubkräfte in den Untergrund genauer untersucht werden.

In Bild 23 ist exemplarisch eine Möglichkeit zur Einleitung der Deckenschubkräfte in eine massive Wandscheibe dargestellt. Dafür wird die Wand oben für den Randgurt der Decke ausgeklinkt und dieser durch horizontale Nägel oder Schrauben angeschlossen. Die Ausklinkung wird benötigt, da Nägel/Schrauben in den Stirnflächen von BauBuche nicht auf Abscheren beansprucht werden dürfen (Ausnahme z. B. Kapitel 6.5.2) und schräg eingebrachte Schrauben unter axialer Belastung aufgrund der einzuhaltenden Randabstände nicht möglich sind.

BauBuche-Platten werden bis zu 1,82 m Breite produziert. In der Regel müssen Wände daher aus mehreren Einzelementen schubfest zusammengefügt werden. Eine Möglichkeit für diese Kopplung besteht in der Ausführung eines Stufenfalzes mit Nägeln/Schrauben als Verbindung. Nähere Informationen hierzu finden Sie in der Broschüre 05 »Verbindungsmittel«.

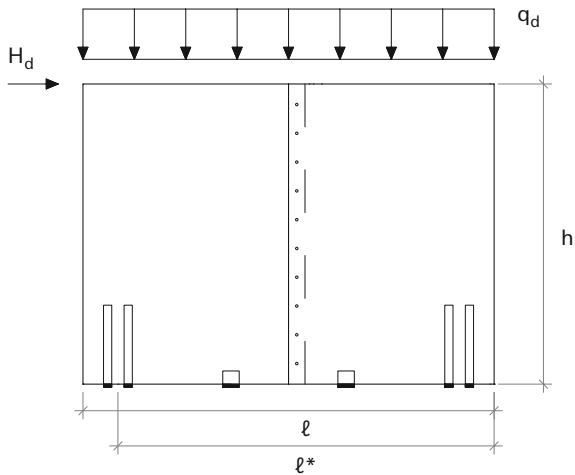


Bild 22: Wandscheibe

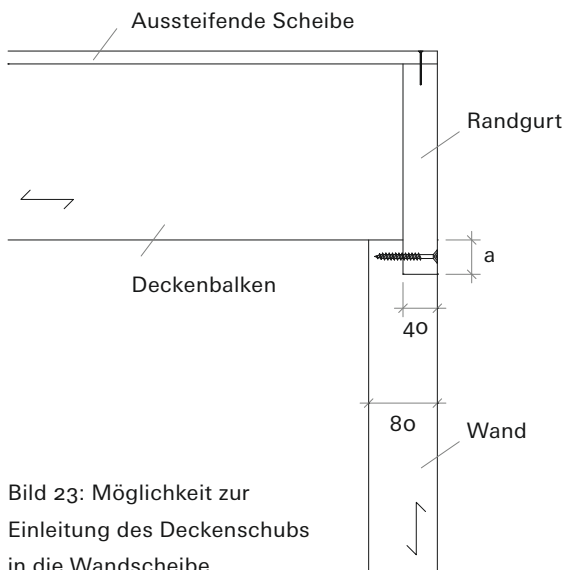


Bild 23: Möglichkeit zur Einleitung des Deckenschubs in die Wandscheibe

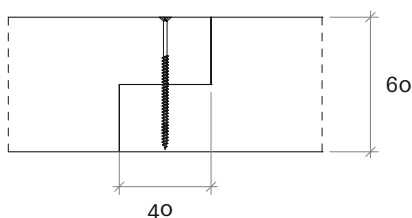


Bild 24: Möglichkeit zur Elementkopplung mit Stufenfalz (Schraube d = 6 mm)

Der Schubfluss in der Wandscheibe beträgt

$$s_{v,o,d} = \frac{H_d}{\ell}$$

Die Zugkraft an den Wandenden beträgt

$$Z_d = \frac{H_d \cdot h}{\ell^*} - g_k \cdot \frac{\ell}{2}$$

ℓ^* ist der Abstand vom Schwerpunkt der Zuganker bis zum Wandende.

Beispiel 17: Wandscheibe aus 2 Elementen

BauBuche Q, t = 60 mm, System s. Bild 22

Einwirkung:

$H_d = 60 \text{ kN}$, NKL 1, KLED kurz

Kennwerte:

$h = 2,7 \text{ m}$, $\ell = 3,6 \text{ m}$

Horizontale Beanspruchung:

Der Schubfluss beträgt

$$s_{v,o,d} = \frac{60 \text{ kN}}{3,6 \text{ m}} = 16,7 \text{ kN/m}$$

Für die Kopplung entlang des Stufenfalzes werden Schrauben 6x60 mm nach ETA-11/0190 gewählt.

Die Einzeltragfähigkeit einer Schraube beträgt nach Kapitel 6 $F_{v,Rk} = 2,34 \text{ kN}$. Es werden somit Schrauben im Abstand

$$e = \frac{1,62 \text{ kN}}{16,7 \text{ kN/m}} = 0,10 \text{ m}$$

benötigt.

Die aufnehmbare Schubtragfähigkeit der Wand selbst beträgt

$$f_{v,o,d} = \frac{0,9}{1,3} \cdot 7,8 \text{ N/mm}^2 \cdot 30 \text{ mm} = 162 \text{ kN/m}$$

und wird deutlich unterschritten.

Folgende Zugkraft muss an den Wandenden in den Untergrund verankert werden

$$Z_d = \frac{60 \text{ kN} \cdot 2,7 \text{ m}}{3,5 \text{ m}} - 0,9 \cdot 1,30 \text{ kN/m} \cdot \frac{3,6 \text{ m}}{2} = 44,2 \text{ kN}$$

Auf der sicheren Seite liegend wird hier nur das Eigengewicht der Wand positiv berücksichtigt.

Vertikale Beanspruchung:

Nach Kapitel 4.2.1 beträgt der Knickbeiwert $k_{c,z}$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{8,43 + \sqrt{8,43^2 - 3,94^2}} = 0,063$$

mit

$$\lambda_z = \frac{\ell_{ef}}{i_z} = \frac{\beta \cdot \ell}{b/\sqrt{12}} = \frac{1,0 \cdot 2,7 \cdot 10^3 \text{ mm}}{60 \text{ mm}/\sqrt{12}} = 156$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,o,k}}{E_{o,05}}} = \frac{156}{\pi} \sqrt{\frac{74,4}{11.800}} = 3,94$$

$$k_z = 0,5 \cdot (1 + 0,1(\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2) = 0,5 \cdot (1 + 0,1(3,94 - 0,3) + 3,94^2) = 8,43$$

Die maximal aufnehmbare Auflast beträgt somit

$$q_d = 0,063 \cdot \frac{0,9}{1,3} \cdot 74,4 \text{ N/mm}^2 \cdot 60 \text{ mm} = 195 \text{ kN/m}$$

9 VERSTÄRKUNGEN UND SANIERUNGEN

DIN EN 1995-1-1/NA, NCI NA 6.8

DIN EN 1995-1-1/NA, NCI NA 11.2.3

DIN EN 1995-1-1, Anhang B

DIN 1052-10

9.1 Verstärkungen zur Aufnahme von Querkzugspannungen

Verstärkungen von Holzbauteilen werden meist aufgrund der geringen Festigkeit gegenüber Zugbeanspruchungen quer zum Faserverlauf erforderlich. Querkzugbeanspruchungen treten z. B. im Anschlussbereich von Verbindungen, ausgeklinkten Auflagern, Durchbrüchen und Dachbindern im First auf. BauBuche besitzt eine deutlich höhere Querkzugfestigkeit als Voll- oder Brettschichtholz aus Nadelholz. In der Ausführungsvariante mit Querlagen (Platte BauBuche Q) besitzt BauBuche eine Querkzugfestigkeit von 15 N/mm^2 (für Nenndicke $B \leq 24 \text{ mm}$) bzw. 8 N/mm^2 (für Nenndicke $27 \text{ mm} \leq B \leq 66 \text{ mm}$). Durch die Verwendung von stabförmigen Bauteilen aus BauBuche, als Alternative zu Voll- oder Brettschichtholz aus Nadelholz, kann somit in vielen Fällen auf eine Querkzugverstärkung verzichtet werden. BauBuche-Platten sind gut als außenliegende Verstärkung von querkzuggefährdeten Voll- oder Brettschichtholzbauteilen geeignet.

Verstärkungen zur Aufnahme von Querkzugspannungen werden im Eurocode 5 nicht behandelt. In diesem Dokument werden daher die Berechnungsgrundlagen des NA – Deutschland aufgeführt. Deren Anwendbarkeit außerhalb Deutschlands ist gegebenenfalls zu überprüfen.

9.2 Verstärkungsarten

Bei Verstärkungen wird zwischen innen und außen liegenden Verstärkungen unterschieden. Als innen liegende Verstärkungen dürfen Vollgewindeschrauben, eingeklebte Gewindestangen und Betonrippenstähle verwendet werden. Als außen liegende Verstärkungen sind beispielsweise aufgeklebte Holz- und Holzwerkstoffplatten möglich. Die Bemessung der Vollgewindeschrauben muss nach deren Zulassung erfolgen. Bei nachträglicher Verstärkung mit aufgeklebten Platten (Sanierungen) kann die Methode der Schraubenpressklebung angewendet werden.

9.2.1 Schraubenpressklebung

Bei Sanierungen von Querkzugrissen bzw. dem Verstärken nachträglich eingebauter Queranschlüsse oder Durchbrüche ist der Einsatz hydraulischer Pressen, aufgrund begrenzter räumlicher Verhältnisse, meist nicht möglich. In diesen Fällen besteht die Möglichkeit zur Herstellung tragender, geklebter Verbindungen durch die Schraubenpressklebung. Dabei wird der Pressdruck durch selbstbohrende Teilgewindeschrauben aufgebracht. Im Eurocode 5 wird die Schraubenpressklebung nicht behandelt. Daher wird hier auf die DIN 1052-10 verwiesen.

Um einen gleichmäßigen Pressdruck und somit eine gute Qualität der Klebefugen sicherzustellen, ist die Dicke der Verstärkungsplatte bei Verwendung von Holzwerkstoffen auf maximal 50 mm zu begrenzen. Auch der Abstand der Verbindungsmittel untereinander darf bestimmte Höchstmaße nicht überschreiten. Als Verbindungsmittel dürfen nur Teilgewindeschrauben mit Zulassung verwendet werden. Die Länge des gewindefreien Teils muss mindestens der Dicke der Verstärkungsplatte entsprechen. Der verwendete Klebstoff muss, gemäß seiner Zulassung, für die Ausführung von tragenden Schraubenpressklebungen geeignet sein.

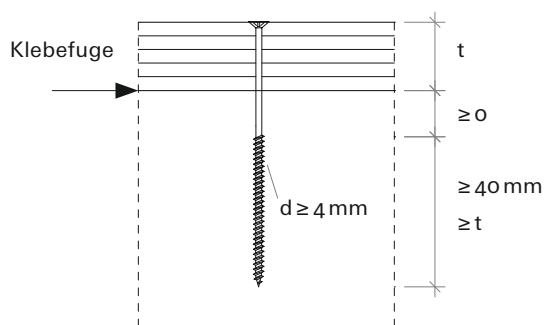


Bild 25: Geometrie der Schraubenpressklebung

Um Eigenspannungen in der Klebefuge zu vermeiden, dürfen sich bei der Herstellung der Schraubenpressklebung die Holzfeuchten der zu verbindenden Bauteile höchstens um 4 % unterscheiden. Bei Sanierungen empfiehlt es sich daher, z. B. die Verstärkungsplatten schon einige Zeit vor der Verklebung im Gebäude zu lagern.

Ausklüpfungsecke angeordnet werden. Aus dem gleichen Grund darf auch nur die erste Verbindungsmittelreihe in Richtung der Bauteilachse in Rechnung gestellt werden. Um die Verankerungslänge und dem damit verbundenen Eindrehwiderstand zu reduzieren, können konstruktive Lösungen wie in Bild 27 zielführend sein.

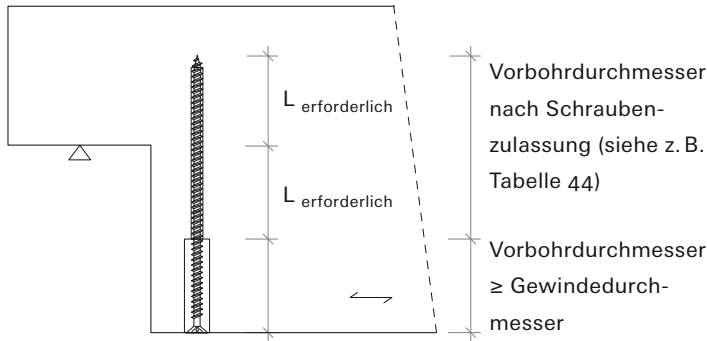


Bild 27: Ausklüpfung mit reduzierter Einschraubtiefe

Beispiel 19: Verstärkung einer Ausklüpfung mit aufgeklebten BauBuche-Platten

Einwirkung: $V_d = 10,3 \text{ kN}$, $k_{\text{mod}} = 0,9$

Kennwerte: GL28h, 100/250 mm

Höhe am Auflager $h_{\text{ef}} = 145 \text{ mm}$

Abstand zur Auskl. $x = 100 \text{ mm}$

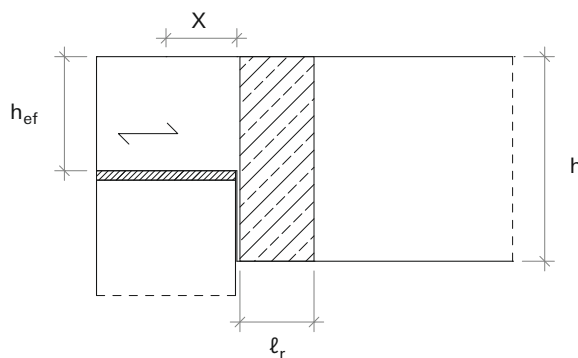


Bild 28: Ausklüpfung mit Verstärkung

Nachweis der Tragfähigkeit der Ausklüpfung

$$\eta = \frac{\tau_d}{k_v \cdot f_{v,d}} = \frac{1,07 \text{ N/mm}^2}{0,472 \cdot 0,9 / 1,3 \cdot 2,5 \text{ N/mm}^2} = 1,31 > 1,0 \quad \checkmark$$

mit der Schubspannung im Restquerschnitt

$$\tau_d = \frac{1,5 \cdot V_d}{b \cdot h_{\text{ef}}} = \frac{1,5 \cdot 10,3 \cdot 10^3 \text{ N}}{100 \text{ mm} \cdot 145 \text{ mm}} = 1,07 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (6.60)$$

und dem Abminderungsbeiwert k_v

$$k_v = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,0 \\ 6,5 \\ \sqrt{250} \left[\sqrt{0,58 \cdot (1 - 0,58)} + 0,8 \frac{100}{250} \sqrt{\frac{1}{0,58} - 0,58^2} \right] \end{array} \right.$$

$$k_v = 0,472 \quad (6.62)$$

Zur Verstärkung der Ausklüpfung werden beidseitig Holzwerkstoffplatten 60/250 mm, $t = 20 \text{ mm}$ aus BauBuche S mittels Schraubenpressklebung angebracht.

Nach (NA.84) gilt für die Breite der Verstärkungsplatte

$$0,25 \leq \frac{\ell_r}{h - h_{\text{ef}}} \leq 0,5 \quad (\text{NA.84})$$

Dies bedeutet, dass hier nur eine Breite von

$$\ell_r \leq 0,5 \cdot (h - h_{\text{ef}}) = 0,5 \cdot 105 = 52,5 \text{ mm}$$

für den Nachweis in Rechnung gestellt werden darf. Ermittlung der von der Verstärkung aufzunehmenden Zugkraft $F_{t,90,d}$

$$\begin{aligned} F_{t,90,d} &= 1,3 \cdot V_d \cdot \left[3 \cdot (1 - \alpha)^2 - 2 \cdot (1 - \alpha)^3 \right] \quad (\text{NA.77}) \\ &= 1,3 \cdot 10,3 \cdot \left[3 \cdot (1 - 0,58)^2 - 2 \cdot (1 - 0,58)^3 \right] = 5,1 \text{ kN} \end{aligned}$$

Nachweis der Klebfugenspannungen

$$\eta = \frac{\tau_{\text{ef},d}}{f_{k2,d}} = \frac{0,46 \text{ N/mm}^2}{0,52 \text{ N/mm}^2} = 0,88 \leq 1,0 \quad (\text{NA.80})$$

mit

$$\begin{aligned} \tau_{\text{ef},d} &= \frac{F_{t,90,d}}{2 \cdot (h - h_{\text{ef}}) \cdot \ell_r} = \frac{5,1 \cdot 10^3 \text{ N}}{2 \cdot 105 \cdot 52,5} \quad (\text{NA.81}) \\ &= 0,46 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$f_{k2,d} = 0,9 \cdot \frac{0,75 \text{ N/mm}^2}{1,3} = 0,52 \text{ N/mm}^2$$

nach Tabelle NA.12

Nachweis der Zugspannungen in den Verstärkungsplatten

$$\begin{aligned} \eta &= k_k \cdot \frac{\sigma_{t,d}}{f_{t,d}} \\ &= 2,0 \cdot \frac{2,43 \text{ N/mm}^2}{41,5 \text{ N/mm}^2} = 0,12 \leq 1,0 \quad (\text{NA.82}) \end{aligned}$$

mit

$$\sigma_{t,d} = \frac{F_{t,90,d}}{2 \cdot t_r \cdot \ell_r} = \frac{5,1 \cdot 10^3 \text{ N}}{2 \cdot 20 \cdot 52,5} = 2,43 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{NA.83})$$

$$f_{t,d} = 0,9 \cdot \frac{60 \text{ N/mm}^2}{1,3} = 41,5 \text{ N/mm}^2$$

Die Klebfugenspannung wird für den Nachweis der Verstärkung maßgebend, die Zugfestigkeit der BauBuche-Platte wird nicht erreicht.

9.3.3 Durchbrüche

Bemerkung: Die Ausführung von Durchbrüchen bei Trägern aus BauBuche GL75 wird derzeit durch die Leistungserklärung bzw. ETA ausgeschlossen. Öffnungen in Trägern mit einem lichten Maß d größer 50 mm sind als Durchbruch zu betrachten. Querkraftspannungen an Durchbrüchen werden durch Querkraft- und Momentenbeanspruchung verursacht. Bei vorwiegender Querkraftbeanspruchung treten die Risse an den Stellen 1 und 2 nach Bild 29 auf, bei vorwiegender Momentenbeanspruchung treten die Risse nur am oberen Rand auf (Stellen 1 und 3). Für die Bemessung der Verstärkungselemente sind alle gefährdeten Stellen zu untersuchen.

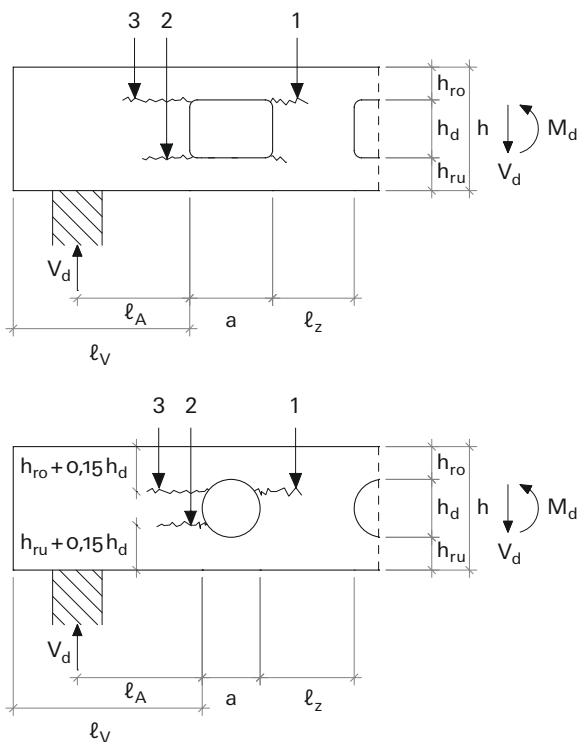


Bild 29: Durchbrüche mit Querkzugrissen

Für die Bemessung von Verstärkungen für Durchbrüche müssen die geometrischen Randbedingungen nach Tabelle 50 eingehalten sein.

Tabelle 50: Anforderungen an verstärkte Durchbrüche

- $\ell_z \geq h$, jedoch mindestens 300 mm
- $\ell_v \geq h$
- $\ell_A \geq h/2$
- $h_{ro(ru)} \geq 0,25 h$
- $a \leq h$ und $a / h_d \leq 2,5$
- $h_d \leq 0,3 h$ (bei innen liegender Verstärkung)
- $h_d \leq 0,4 h$ (bei außen liegender Verstärkung)

Beispiel 20:

Verstärkung eines runden Durchbruchs mit aufgeklebten BauBuche-Platten

Einwirkung:

$$M_d = 45 \text{ kNm}, V_d = 30 \text{ kN}$$

$$\text{NKL 1, } k_{\text{mod}} = 0,9$$

Durchbruch: BSH Träger GL 24h

$$\begin{aligned} \text{Trägerbreite} & b = 140 \text{ mm} \\ \text{Trägerhöhe} & h = 240 \text{ mm} \\ \text{Resthöhe} & h_{ro} = 92,5 \text{ mm} \\ \text{Resthöhe} & h_{ru} = 92,5 \text{ mm} \\ \text{Durchmesser} & h_d = 55 \text{ mm} \\ \text{Abstand Hirnholz} & \ell_v > 1.500 \text{ mm} \\ \text{Abstand Auflager} & \ell_A = 1.500 \text{ mm} \\ h_r & = \min\{h_{ro} + 0,15 h_d; h_{ru} + 0,15 h_d\} = 101 \text{ mm} \end{aligned}$$

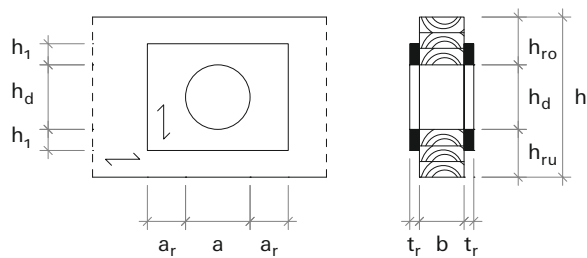


Bild 30: Verstärkung eines runden Durchbruchs

Der Bemessungswert der Zugkraft quer zur Faser an der maßgebenden Stelle ergibt sich zu:

$$F_{t,90,d} = F_{t,V,d} + F_{t,M,d} = 3,58 + 3,57 = 7,15 \text{ kN}$$

mit (NA.66)

$$F_{t,V,d} = \frac{V_d \cdot 0,7 \cdot h_d}{4 \cdot h} \left[3 - \frac{(0,7 \cdot h_d)^2}{h^2} \right] = 3,58 \text{ kN}$$

* für runde Durchbrüche (NA.67)

$$F_{t,M,d} = 0,008 \cdot \frac{M_d}{h_r} = 0,008 \cdot \frac{M_d}{h_{ru/ro} + 0,15 \cdot h_d} = 3,57 \text{ kN}$$

(NA.68)

Für unverstärkte Durchbrüche ist folgende Bedingung einzuhalten:

$$\eta = \frac{F_{t,90,d}}{0,5 \cdot \ell_{t,90} \cdot b \cdot k_{t,90} \cdot f_{t,90,d}} \leq 1,0 \quad (\text{NA.63})$$

$$\eta = \frac{(3,58 + 3,57) \cdot 10^3 \text{ N}}{0,5 \cdot 139 \cdot 140 \cdot 1 \cdot 0,35 \text{ N/mm}^2} = 2,10 > 1,0 \quad \checkmark$$

mit

$$\ell_{t,90} = 0,353 \cdot h_d + 0,5 \cdot h = 139 \text{ mm} \quad (\text{NA.65})$$

für runde Durchbrüche

$$k_{t,90} = \min(1; (450/h)^{0,5}) = \min(1; (450/240)^{0,5}) = 1,0$$

Für die Aufnahme der Querkzugspannungen werden Holzwerkstoffplatten 240/210 mm, t = 20 mm aus BauBuche S beidseitig aufgeklebt.

Nachweis der Klebfugenspannung (maßgebend!)

$$\eta = \frac{\tau_{ef,d}}{f_{k2,d}} = \frac{0,50 \text{ N/mm}^2}{0,52 \text{ N/mm}^2} = 0,96 \leq 1,0 \quad (\text{NA.87})$$

mit

$$\tau_{ef,d} = \frac{F_{t,90,d}}{2 \cdot a_r \cdot h_{ad}} = \frac{7,15 \cdot 10^3 \text{ N}}{2 \cdot 83,4 \text{ mm} \cdot 85,8 \text{ mm}} \quad (\text{NA.88})$$

$$= 0,50 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{k2,d} = 0,9 \cdot \frac{0,75 \text{ N/mm}^2}{1,3} = 0,52 \text{ N/mm}^2$$

$$h_{ad} = h_1 + 0,15 \cdot h_d = 77,5 + 0,15 \cdot 55 = 85,8 \text{ mm}$$

$$a_r \leq 0,6 \cdot \ell_{t,90} = 83,4 \text{ mm} \quad (\text{NA.91})$$

9.3.4 Firstbereich von Dachbindern

Aus wirtschaftlichen und ästhetischen Gründen werden lange Brettschichtholzträger meist mit veränderlicher Trägerhöhe mit oder ohne Krümmung ausgeführt. Durch den Knick der Trägerachse im First entstehen dabei aus der Momentenbeanspruchung Umlenkkräfte rechtwinklig zur Faserrichtung. Die Gefahr von Querkzugrissen wird durch ungünstige klimatische Bedingungen noch erhöht.

Beispiel 21: Satteldachträger mit Querkzugrissen

Sanierung eines Risses im Firstbereich bei einem Satteldachträger mit gekrümmtem Untergurt

Einwirkung: $M_d = 340 \text{ kNm}$, $k_{mod} = 0,9$

Kennwerte:

Material	GL 28c, b = 200 mm
Höhe im First	$h_{ap} = 1.462 \text{ mm}$
Dachneigungswinkel	$\delta = 15^\circ$
Winkel Unterkante	$\beta = 9^\circ$
Länge Firstbereich	c = 2.200 mm

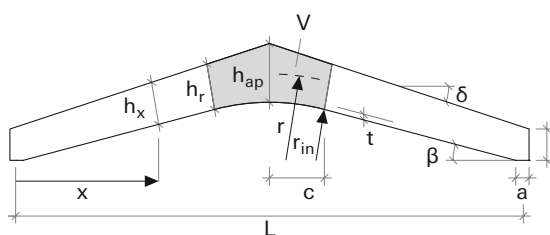


Bild 31: Satteldachbinder

Für den betrachteten Dachbinder soll eine Querkzugverstärkung des Firstbereichs durch seitlich aufgeklebte Platten aus BauBuche Q dimensioniert werden.

Nachweis der Querkzugspannungen im Firstquerschnitt

$$\eta = \frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d}} \quad (6.50)$$

$$= \frac{0,29 \text{ N/mm}^2}{1,7 \cdot 0,39 \cdot 0,9 / 1,3 \cdot 0,5 \text{ N/mm}^2} = 1,26 > 1 \quad \nexists$$

mit

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \cdot \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot h_{ap}^2}$$

$$= 0,06 \cdot \frac{6 \cdot 340 \cdot 10^6}{200 \cdot 1.462^2} = 0,29 \text{ N/mm}^2 \quad (6.54)$$

$$k_{dis} = 1,7 \quad (6.52)$$

$$k_{vol} \approx \left[\frac{0,01}{V} \right]^{0,2} \approx \left[\frac{0,01}{1,10} \right]^{0,2} = 0,39 \quad (6.51)$$

$k_p = 0,06$ mit

$$k_5 = 0,054, k_6 = 0,035, k_7 = 0,276 \quad (6.56) - (6.59)$$

Nachweis der Verstärkungsmaßnahme

Um die Abnahme der Querkzugspannungen in Trägerlängsrichtung zu berücksichtigen, darf die Zugkraft in den beiden äußeren Vierteln des gefährdeten Bereichs um ein Drittel reduziert werden.

Je Verstärkungselement ist die Zugkraft

$$F_{t,90,d} = \frac{\sigma_{t,90,d} \cdot b \cdot a_1}{n}$$

$$= \frac{0,29 \cdot 200 \cdot 1.205 \cdot 10^{-3}}{2} = 35,0 \text{ kN} \quad (\text{NA.101})$$

bzw. in den äußeren Vierteln

$$F_{t,90,d} = \frac{2}{3} \cdot \frac{\sigma_{t,90,d} \cdot b \cdot a_1}{n}$$

$$= \frac{2}{3} \cdot 35,0 \text{ kN} = 23,3 \text{ kN} \quad (\text{NA.102})$$

aufzunehmen.

Nachweis der Klebefuge in den maßgebenden inneren Vierteln

$$\eta = \frac{\tau_{ef,d}}{f_{k3,d}} = \frac{0,09 \text{ N/mm}^2}{1,04 \text{ N/mm}^2} = 0,09 \leq 1 \quad (\text{NA.97})$$

$$\tau_{ef,d} = \frac{2 \cdot F_{t,90,d}}{\ell_r \cdot \ell_{ad}}$$

$$= \frac{2 \cdot 35,0 \cdot 10^3 \text{ N}}{1.153 \text{ mm} \cdot 679 \text{ mm}} = 0,09 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{NA.98})$$

$$f_{k3,d} = 0,9 \cdot \frac{1,5 \text{ N/mm}^2}{1,3} = 1,04 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Tab. NA.12})$$

Nachweis der Zugspannungen in den aufgeklebten Verstärkungsplatten (Platte BauBuche Q, t = 20 mm)

$$\eta = \frac{\sigma_{t,d}}{f_{t,d}} = \frac{1,52 \text{ N/mm}^2}{31,8 \text{ N/mm}^2} = 0,05 \leq 1 \quad (\text{NA.99})$$

mit

$$\sigma_{t,d} = \frac{F_{t,90,d}}{t_r \cdot \ell_r}$$

$$= \frac{35,0 \cdot 10^3 \text{ N}}{20 \text{ mm} \cdot 1.153 \text{ mm}} = 1,52 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{NA.100})$$

$$f_{t,d} = 0,9 \cdot \frac{46 \text{ N/mm}^2}{1,3} = 31,8 \text{ N/mm}^2$$

9.4 Querschnittsverstärkungen

Aufgrund von Zusatzlasten, z. B. durch Nutzungsänderungen oder Aufstockungen bestehender Konstruktionen, oder aufgrund von Schäden kann es erforderlich sein, einzelne Bauteile zu verstärken.

9.4.1 Bauteilverstärkung ohne Verbund

Die einfachste Verstärkungsvariante liegt im Hinzufügen zusätzlicher Bauteile. Die Belastung q_1 , die die einzelnen Querschnitte erfahren, kann bei Biegeträgern anhand des Verhältnisses η ihrer Biegesteifigkeiten bestimmt werden.

$$q_1 = \eta \cdot q \quad ; \quad q_2 = (1 - \eta) \cdot q$$

$$\text{mit } \eta = \frac{1}{\frac{(EI)_2}{(EI)_1} + 1}$$

Voraussetzung hierfür ist eine gleichmäßige Belastung sowohl des ursprünglichen Bauteils als auch des Verstärkungsbauteils durch z. B. Dachlatten oder Dielen. Weiter müssen alle Bauteile aufgelagert sein, die an der Lastabtragung beteiligt sind.

Zu beachten ist, dass die nachträglich eingebauten Querschnitte keine bereits vorhandenen Lasten übernehmen können. Eine möglichst vollständige Entlastung der vorhandenen Querschnitte ist daher erforderlich.

Beispiel 22: Ertüchtigung Vollholzquerschnitt

Ein bestehender Vollholzquerschnitt soll durch das Hinzufügen einer BauBuche-Platte verstärkt werden.

Einwirkung: $q_d = 10,0 \text{ kN/m}$, $M_d = 31,3 \text{ kNm}$

NKL 1, $k_{mod} = 0,9$

Bestand: C 24, 140/240 mm,

Verstärkung: Platte BauBuche S, 40/240 mm

$$\eta = \frac{1}{\frac{16.800 \cdot 4,61 \cdot 10^7}{11.000 \cdot 1,61 \cdot 10^8} + 1} = 0,70$$

führt zu einer reduzierten Belastung auf den bestehenden Balken von $0,7 \cdot 10,0 = 7,0 \text{ kN/m}$. Der Ausnutzungsgrad für den Bestandsbalken beträgt somit 98%. Die Verstärkung mit BauBuche S wird zu 47% ausgenutzt.

9.4.2 Bauteilverstärkung mit nachgiebigem Verbund

9.4.2.1 Nachgiebig verbundene, mehrteilige Querschnitte

Durch das Anschließen zusätzlicher Querschnitte an einen bestehenden Querschnitt durch mechanische Verbindungsmittel kann ein Verbundquerschnitt geschaffen werden, dessen Tragfähigkeit deutlich über der Summe der Tragfähigkeiten der Einzelquerschnitte liegt. Im Gegensatz zu geklebten Bauteilen nach Kapitel 7 entsteht so aber kein „idealer“ Verbundquerschnitt, da die Nachgiebigkeit der Verbindungsmittel in den Fugen einen signifikanten Einfluss auf das Gesamttragverhalten hat. Zur Verbindung der Einzelquerschnitte werden Nägel, Schrauben, Bolzen oder Stabdübel verwendet. Durch die Schubkräfte in den Fugen werden die Verbindungsmittel auf Abscheren beansprucht und erfahren eine Verformung in Trägerlängsrichtung. Die Nachgiebigkeit der Fuge kann durch den Verschiebungsmodul K der Verbindungsmittel und deren Abstand dargestellt werden. Durch die Verwendung schräg eingedrehter Vollgewindeschrauben werden steifere Fugen erreicht. Vereinfacht können dabei die Schrauben als ausschließlich axial beansprucht betrachtet werden. Die axiale Belastung der Schrauben wird durch Dividieren des Schubflusses in der Fuge durch den Cosinus des Einschraubwinkels berechnet. Werte für den Verschiebungsmodul von ausschließlich in Achsrichtung belasteten Vollgewindeschrauben können den jeweiligen Zulassungen entnommen werden.

Anhang B des Eurocode 5 enthält mit dem γ -Verfahren ein Bemessungsverfahren für zusammengesetzte Querschnitte mit nachgiebiger

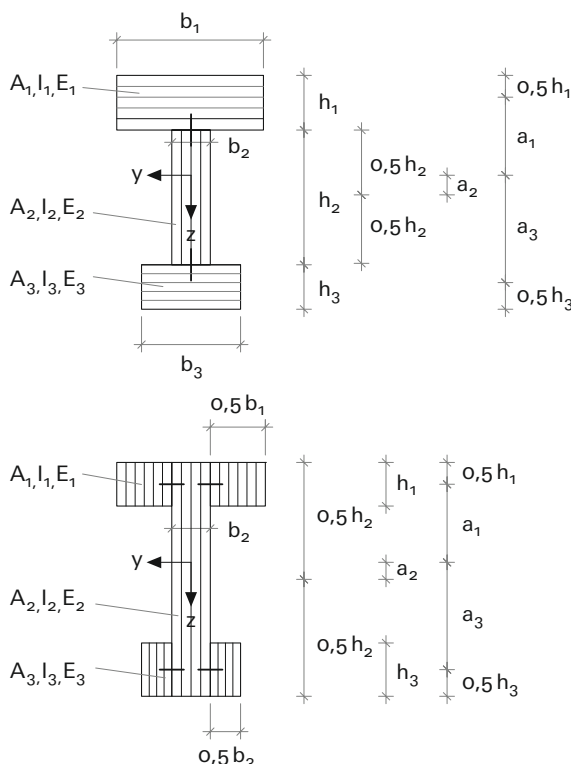
Verbindung. Die Anwendbarkeit des γ -Verfahrens ist auf folgende Punkte beschränkt:

- über die gesamte Trägerlänge durchgehende Einzelquerschnitte
- Querschnitte konstanter Geometrie
- gleichmäßige Streckenlast in z-Richtung (sinus- oder parabelförmiger Momentenverlauf)
- zwei- oder dreiteilige Querschnitte (maximal zwei nachgiebige Fugen)

Streng genommen gilt das γ -Verfahren nur für gelenkig gelagerte Einfeldträger. Mehrfeldträger dürfen aber als Einfeldträger der Länge $\ell = 0,8 \cdot \ell_i$ berechnet werden, wobei für ℓ_i die kürzere anschließende Feldlänge zu verwenden ist. Für Kragträger sollte die doppelte Kraglänge verwendet werden.

Das Prinzip des Berechnungsverfahrens liegt in der Ermittlung einer wirksamen Biegesteifigkeit $(EI)_{\text{ef}}$, durch die die Nachgiebigkeit der Verbindung erfasst wird. Die Nachgiebigkeiten werden durch die γ -Werte ausgedrückt. Diese können Werte zwischen 0 (kein Verbund) und 1 (starrer Verbund; Klebung) annehmen. Dabei ist γ abhängig vom Verschiebungsmodul K der mechanischen Verbindungsmittel und von deren Abstand. Effiziente Verbundquerschnitte werden erreicht, indem die Verbindungsmittel entlang des Verlaufs der Querkraft abgestuft werden. Dabei darf der größte Abstand nicht größer als das Vierfache des kleinsten sein. Um die Ausführung zu erleichtern, wird üblicherweise nur eine Abstufung zwischen den Abständen der Verbindungsmittel in den äußeren Trägersvierteln und denen in den inneren Vierteln geplant.

Bild 32: Geometrie zusammengesetzter Biegestäbe mit nachgiebigem Verbund



Die Parameter für das γ -Verfahren berechnen sich wie folgt:

Wirksame Biegesteifigkeit $(EI)_{\text{ef}}$

$$(EI)_{\text{ef}} = \sum_{i=1}^3 (E_i \cdot I_i + \gamma_i \cdot E_i \cdot A_i \cdot a_i^2) \quad (\text{B.1})$$

Wobei sich der Beiwert γ wie folgt ermitteln lässt

$$\gamma_i = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \cdot E_i \cdot A_i \cdot s_i}{K_i \cdot \ell^2}} \quad \text{für } i=1 \text{ und } i=3 \quad (\text{B.5})$$

$$\gamma_2 = 1,0 \quad (\text{B.4})$$

Der Abstand der Schwerachse des Querschnitts i von der Schwerachse des Gesamtquerschnitts beträgt

$$a_2 = \frac{\gamma_1 \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot (h_1 + h_2) - \gamma_3 \cdot E_3 \cdot A_3 \cdot (h_2 + h_3)}{2 \cdot \sum_{i=1}^3 \gamma_i \cdot E_i \cdot A_i} \quad (\text{B.6})$$

$$a_1 = \frac{h_1 + h_2}{2} - a_2 \quad a_3 = \frac{h_2 + h_3}{2} + a_2$$

Bei Querschnitten mit über die Gesamthöhe durchgehenden Stegen sind h_1 und h_3 mit negativem Vorzeichen einzusetzen. Vorausgesetzt a_2 ist positiv und kleiner oder gleich $h_2/2$.

Folgende Nachweise müssen im Grenzzustand der Tragfähigkeit geführt werden:

1. Schwerpunktspannung in den jeweiligen Querschnitten

$$\sigma_{t(c),i,d} = \frac{\gamma_i \cdot a_i \cdot E_i \cdot M_d}{(EI)_{\text{ef}}} \quad (\text{B.7})$$

2. Randspannung der jeweiligen Querschnitte

$$\sigma_{m,i,d} = \frac{0,5 \cdot E_i \cdot h_i \cdot M_d}{(EI)_{\text{ef}}} + \sigma_{t(c),i,d} \quad (\text{B.8})$$

3. Schubspannung

$$\tau_{2,\text{max},d} = \frac{(\gamma_3 \cdot E_3 \cdot A_3 \cdot a_3 + 0,5 \cdot E_2 \cdot b_2 \cdot h^2) \cdot V_d}{b_2 \cdot (EI)_{\text{ef}}} \quad (\text{B.9})$$

mit

$$h = \frac{h_2}{2} + a_2$$

4. Tragfähigkeit der Verbindungsmittel

$$F_{i,d} = \frac{\gamma_i \cdot E_i \cdot A_i \cdot a_i \cdot s_i \cdot V_d}{(EI)_{\text{ef}}} \quad (\text{B.10})$$

Hinweis: Besonders bei Verbindungsmitteln mit größeren Durchmessern müssen die Querschnittsschwächungen durch die Verbindungsmittel in den gezogenen Bereichen berücksichtigt werden. Dafür werden die Schwerpunktspannungen mit $A_i / A_{i,netto}$, die Biegerandspannungen mit $I_i / I_{i,netto}$ multipliziert.

Sollten die genannten Bedingungen nicht erfüllt sein, kann das „Schubanalogieverfahren“ nach Kreuzinger verwendet werden (hier nicht näher erläutert).

9.4.2.2 Nachgiebig, seitlich angeschlossene Verstärkungen

Die in Kapitel 9.4.1 vorgestellte Variante zur Bauteilverstärkung setzt eine direkte Lasteinleitung auf die Verstärkungsbauteile voraus. In Fällen, in denen es die räumlichen Verhältnisse nicht ermöglichen, die neuen Querschnitte bis zur Oberkante des bestehenden Bauteils zu führen, können zusätzliche Querschnitte seitlich mit mechanischen Verbindungsmitteln an das bestehende Bauteil angeschlossen werden. Die Berechnung dafür kann in Anlehnung an das in Kapitel 9.4.2.1 vorgestellte γ -Verfahren erfolgen. Dabei müssen die Verbindungsmittel neben den Kräften aus der Verbundwirkung auch den Lastanteil aus der Auflast übertragen, um den das bestehende Bauteil durch die Verstärkung entlastet wird. Bei übereinanderliegenden Bauteilen entfällt dieser Anteil, da die Belastung, die das Verstärkungsbauteil aufnimmt, durch direkten Kontakt infolge der Durchbiegung des oben liegenden Bauteils aufgebracht wird.

Bei seitlichen Verstärkungen sollte der Schwerpunkt der Verstärkungsquerschnitte möglichst nahe am Schwerpunkt des vorhandenen Querschnitts liegen. Dadurch wird die Belastung auf die Verbindungsmittel aus der Verbundwirkung gering gehalten.

Sofern nur einseitige Verstärkungen möglich sind, müssen zusätzliche Torsionsspannungen in den Querschnitten, insbesondere beim Nachweis der Holzquerschnitte, berücksichtigt werden.

Beispiel 23: Verstärkung eines Biegeträgers mit seitlich aufgenagelten BauBuche-Laschen

Durch einen Anbau erfährt eine bestehende Dachpfette erhöhte Schneelasten durch Verwehungen an den höheren Anbau. Diese Zusatzlast kann durch den vorhandenen Querschnitt nicht aufgenommen werden. Da die Dicke des Daches nicht vergrößert werden soll, werden seitlich Platten

aus BauBuche S mit Nägeln als Verstärkung angeschlossen. Die vorhandenen Installationen erlauben es nicht, die Verstärkungsplatten bis zur Oberkante der Pfetten zu führen, so dass ein Nachweis nach Kapitel 9.4.1 nicht möglich ist.

Einwirkung: $q_d = 10,0 \text{ kN/m}$
 $M_d = 31,3 \text{ kNm}$
 $V_d = 25 \text{ kN}$
 NKL 1, $k_{mod} = 0,9$
 Bestand: C 24, $140 \times 240 \text{ mm}$, $\ell = 5,0 \text{ m}$
 Verstärkung: Platte BauBuche S, $2 \times 30/200 \text{ mm}$
 Verbindung: Nägel $3,8 \times 70 \text{ mm}$, zweireihig, vorgebohrt

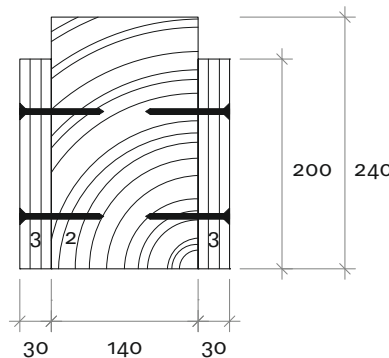


Bild 33: Verstärkungsmaßnahme eines Biegeträgers

Um eine wirtschaftliche Ausnutzung der Verbindungsmittel zu erreichen, werden deren Abstände in Bauteillängsrichtung in den beiden inneren Vierteln vergrößert.

Gewählte Verbindungsmittelabstände:

$$s_{\text{außen}} = 160 \text{ mm}, s_{\text{innen}} = 400 \text{ mm}$$

bei beidseitiger, zweireihiger Anordnung betragen die Abstände der in eine Reihe geschobenen gedachten Nägel:

$$s_{\text{außen}} = 40 \text{ mm}, s_{\text{innen}} = 100 \text{ mm}$$

Für die Ermittlung der Nachgiebigkeit darf mit einem wirksamen Verbindungsmittelabstand gerechnet werden:

$$s_{\text{eff}} = 0,75 \cdot s_{\text{außen}} + 0,25 \cdot s_{\text{innen}} = 55 \text{ mm}$$

$$\text{mit } s_{\text{innen}} \leq 4 \cdot s_{\text{außen}}$$

Die Tragfähigkeit eines Nagels auf Abscheren beträgt $F_{v,Rd} = 1,1 \text{ kN}$, der mittlere Verschiebungsmodul K_{mean} beträgt

$$K_{\text{mean}} = 2/3 \cdot \rho_m^{1,5} \cdot d/23$$

$$= 2/3 \cdot (\sqrt{420 \cdot 800})^{1,5} \cdot 3,8/23 = 1.540 \text{ N/mm}$$

Die Berechnung des Verbundquerschnitts erfolgt nach dem γ -Verfahren für den in Bild 32 unten dargestellten und auf zwei Teile reduzierten Querschnittstyp. Die Ermittlung der Steifigkeiten erfolgt ohne Beachtung der Sicherheitsbeiwerte γ_M , da nur das Verhältnis der Querschnittssteifigkeiten maßgebend wird. Die Auswirkung von Kriechverformungen muss ebenso nicht beachtet werden, da Vollholz und BauBuche die gleichen Verformungsbeiwerte k_{def} besitzen. Die wirksame Biegesteifigkeit $(EI)_{ef}$ des Verbundquerschnitts berechnet sich aus

$$\gamma_3 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \cdot E_i \cdot A_i \cdot s_i}{K_i \cdot l^2}} = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \cdot 16.800 \cdot 12.000 \cdot 55}{1.540 \cdot 5.000^2}} = 0,26 \quad (B.5)$$

$$\gamma_2 = 1,0 \quad (B.4)$$

und

$$a_2 = \frac{\gamma_1 \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot (h_1 + h_2) - \gamma_3 \cdot E_3 \cdot A_3 \cdot (h_2 + h_3)}{2 \cdot \sum_{i=1}^3 \gamma_i \cdot E_i \cdot A_i} = \frac{-0,26 \cdot 16.800 \cdot 12.000 \cdot (-200 + 240)}{2 \cdot (1,0 \cdot 11.000 \cdot 33.600 + 0,26 \cdot 16.800 \cdot 12.000)} = -2,5 \text{ mm} \quad (B.6)$$

$$a_3 = \frac{h_2 + h_3}{2} + a_2 = \frac{-200 + 240}{2} - 2,5 = 17,5 \text{ mm}$$

zu

$$(EI)_{ef} = \sum_{i=1}^3 (E_i \cdot I_i + \gamma_i \cdot E_i \cdot A_i \cdot a_i^2) \quad (B.1)$$

$$= 11.000 \cdot 1,61 \cdot 10^8 + 1,0 \cdot 11.000 \cdot 33.600 \cdot 2,5^2 + 16.800 \cdot 4,0 \cdot 10^7 + 0,26 \cdot 16.800 \cdot 12.000 \cdot 17,5^2 = 2,46 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

Aufgrund der geringen Höhendifferenz der Querschnitte ergeben sich nur geringe Zug- und Druckspannungen, so dass auf die Nachweise der Schwerpunktspannungen verzichtet werden kann. Nachweis der Biegerandspannungen

$$\sigma_{m,2,d} = \frac{M_d \cdot E_2}{(EI)_{ef}} \cdot \left[\gamma_2 \cdot a_2 + \frac{h_2}{2} \right] = \frac{31,3 \cdot 10^6 \cdot 11.000}{2,46 \cdot 10^{12}} \cdot \left[1,0 \cdot (-2,5) + \frac{240}{2} \right] = 16,4 \text{ N/mm}^2 \quad (B.8)$$

$$\eta = \frac{16,4}{16,6} = 0,98 \leq 1,0$$

(ohne Verstärkung: $\eta = 1,40$)

mit

$$f_{m,2,d} = 0,9 \cdot \frac{24 \text{ N/mm}^2}{1,3} = 16,6 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,3,d} = \frac{M_d \cdot E_3}{(EI)_{ef}} \cdot \left[\gamma_3 \cdot a_3 + \frac{h_3}{2} \right] = \frac{31,3 \cdot 10^6 \cdot 16.800}{2,46 \cdot 10^{12}} \cdot \left[0,26 \cdot 17,5 + \frac{200}{2} \right] = 22,3 \text{ N/mm}^2 \quad (B.8)$$

$$\eta = \frac{22,3}{51,9} = 0,43 \leq 1,0$$

mit

$$f_{m,3,d} = 0,9 \cdot \frac{75 \text{ N/mm}^2}{1,3} = 51,9 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis der maximalen Schubspannung

$$\tau_{2,max,d} = \frac{(\gamma_3 \cdot E_3 \cdot A_3 \cdot a_3 + 0,5 \cdot E_2 \cdot b_2 \cdot h^2) \cdot V_d}{b_2 \cdot (EI)_{ef}} = \frac{(0,26 \cdot 16.800 \cdot 12.000 \cdot 17,5) \cdot 25 \cdot 10^3}{140 \cdot 2,46 \cdot 10^{12}} + \frac{(0,5 \cdot 11.000 \cdot 140 \cdot 117,5^2) \cdot 25 \cdot 10^3}{140 \cdot 2,46 \cdot 10^{12}} = 0,84 \text{ N/mm}^2 \quad (B.9)$$

$$\eta = \frac{0,84}{1,38} = 0,61 \leq 1,0$$

mit

$$f_{v,d} = 0,9 \cdot k_{cr} \cdot \frac{4,0 \text{ N/mm}^2}{1,3} = 1,38 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis der Verbindungsmittel

Die Belastung der Nägel aus der Verbundwirkung ist abhängig von der Querkraft und dem Verbindungsmittelabstand.

$$F_d = \frac{V_d(x) \cdot \gamma_3 \cdot E_3 \cdot A_3 \cdot a_3 \cdot e(x)}{(EI)_{ef}} \quad (B.10)$$

Die Belastung muss an der Stelle der maximalen Querkraft und am Beginn der vergrößerten Verbindungsmittelabstände untersucht werden.

$$F_d(x=0\text{ m}) = \frac{\gamma_3 \cdot E_3 \cdot A_3 \cdot a_3 \cdot s_{\text{au\ss en}} \cdot V_d(0)}{(EI)_{\text{ef}}}$$

$$= \frac{0,26 \cdot 16.800 \cdot 12.000 \cdot 17,5 \cdot 40 \cdot 25}{2,46 \cdot 10^{12}}$$

$$= 0,37 \text{ kN}$$

$$F_d(x=1,25\text{ m}) = \frac{\gamma_3 \cdot E_3 \cdot A_3 \cdot a_3 \cdot s_{\text{innen}} \cdot V_d(1,25)}{(EI)_{\text{ef}}}$$

$$= \frac{0,26 \cdot 16.800 \cdot 12.000 \cdot 17,5 \cdot 100 \cdot 12,5}{2,46 \cdot 10^{12}}$$

$$= 0,47 \text{ kN}$$

Weiter müssen die Verbindungsmittel den Lastanteil übertragen, der von den Verstärkungsplatten aufgenommen wird. Dieser entspricht dem Verhältnis der Biegesteifigkeit der Verstärkungsplatten $(EI)_3$ zur Gesamtsteifigkeit $(EI)_{\text{ef}}$.

$$\frac{(EI)_3}{(EI)_{\text{ef}}} = \frac{16.800 \cdot 4,0 \cdot 10^7}{2,46 \cdot 10^{12}} = 0,27$$

(Bemerkung: Vernachlässigung der Steineranteile)

Die Belastung der Verstärkungsplatten beträgt somit $0,27 \times 10,0 \text{ kN/m} = 2,70 \text{ kN/m}$.

Die Verbindungsmittel in den inneren Vierteln in Bauteillängsrichtung werden durch $2,70 \text{ kN/m} \times 0,10 \text{ m} = 0,27 \text{ kN}$ belastet.

Das maximal belastete Verbindungsmittel erfährt

$$F_{d,\text{res}} = \sqrt{0,47^2 + 0,27^2} = 0,54 \text{ kN} \leq F_{v,\text{Rd}} = 1,1 \text{ kN}$$

$$\eta = \frac{0,54}{1,1} = 0,49 \leq 1,0$$

mit $F_{v,\text{Rd}} = 1,1 \text{ kN}$

Beispiel 24: Holzbalken mit aufgeschraubtem Plattenstreifen aus BauBuche

Einwirkung: $q_d = 3,2 \text{ kN/m}$, $k_{\text{mod}} = 0,8$, NKL 1
 $M_d = 14,4 \text{ kNm}$, $V_d = 9,6 \text{ kN}$

Kennwerte: (1) Platte BauBuche S, $h_f = 60 \text{ mm}$
 (2) C24 als Träger, $100/200 \text{ mm}$
 Spannweite $\ell = 6 \text{ m}$

Verbindung: Vollgewindeschrauben $6,0 \times 200 \text{ mm}$,
 Schraubenkreuze unter 45° eingedreht,

Abstände: äußere Viertel 120 mm ,
 innere Viertel 300 mm

$F_{ax,\text{Rd}} = 13,6 \text{ kN}$ je Schraubenkreuz
 in Scherfugenrichtung nach ETA-11/0190

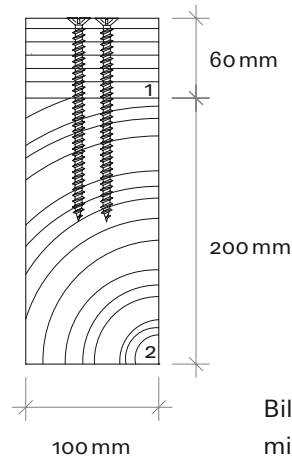


Bild 34: Holzbalkendecke mit BauBuche-Platte

Verschiebungsmodul der Verbindungsmittel:
 in Achsrichtung je Schraube

$$K_{ax,\text{ser},1} = 30 \cdot 6 \cdot \sqrt{2} \cdot 60 = 15.300 \text{ N/mm}$$

$$K_{ax,\text{ser},2} = 25 \cdot 6 \cdot (200 - \sqrt{2} \cdot 60) = 17.300 \text{ N/mm}$$

$$K_{ax,\text{ser},\text{ges}} = \frac{1}{\frac{1}{15.300} + \frac{1}{17.300}} = 8.100 \text{ N/mm}$$

in Fuge je Schraubenkreuz

$$K_{\text{ser}} = 2 \cdot K_{ax,\text{ser},\text{ges}} \cdot \cos(45^\circ)^2 = 2 \cdot 8.100 \cdot 0,5$$

$$= 8.100 \text{ N/mm}$$

$$K_{\text{mean}} = 2/3 \cdot K_{\text{ser}} = 2/3 \cdot 8.100 = 5.400 \text{ N/mm}$$

Der wirksame Verbindungsmittelabstand beträgt

$$s_{\text{eff}} = 0,75 \cdot s_{\text{au\ss en}} + 0,25 \cdot s_{\text{innen}}$$

$$= 0,75 \cdot 120 + 0,25 \cdot 300 = 165 \text{ mm}$$

Wirksame Biegesteifigkeit $(EI)_{\text{ef}}$

$$EI_{\text{ef}} = \sum_{i=1}^3 (E_i \cdot I_i + \gamma_i \cdot E_i \cdot A_i \cdot a_i^2)$$

$$= 16.800 \cdot 1,80 \cdot 10^6 + 0,542 \cdot 16.800 \cdot 6.000 \cdot 104,1^2$$

$$+ 11.000 \cdot 6,67 \cdot 10^7 + 1,0 \cdot 11.000 \cdot 20.000 \cdot 25,9^2$$

$$= 1,36 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^2 \quad (\text{B.1})$$

mit den Abminderungsbeiwerten γ

$$\gamma_1 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot s_1}{K_1 \cdot \ell^2}}$$

$$= \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \cdot 16.800 \cdot 6.000 \cdot 165}{5.400 \cdot 6.000^2}} = 0,542 \quad (\text{B.5})$$

$$\gamma_2 = 1,0$$

Die Abstände der Schwerachsen der Querschnittsteile von der Schwerachse des Gesamtquerschnitts

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

$$= \frac{0,542 \cdot 16.800 \cdot 6.000 \cdot (60 + 200)}{2 \cdot (0,542 \cdot 16.800 \cdot 6.000 + 11.000 \cdot 20.000)}$$

$$= 25,9 \text{ mm} \quad (\text{B.6})$$

$$a_1 = \frac{60 + 200}{2} - 25,9 = 104,1 \text{ mm}$$

Nachweis der Schwerpunktspannungen

$$\sigma_{c,1,d} = \frac{\gamma_1 \cdot a_1 \cdot E_1 \cdot M_d}{(EI)_{ef}}$$

$$= \frac{0,542 \cdot 104,1 \cdot 16.800 \cdot 14,4 \cdot 10^6}{1,36 \cdot 10^{12}}$$

$$= 10,0 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{B.7})$$

$$\eta = \frac{10,0}{42,5} = 0,24 \leq 1,0$$

mit

$$f_{c,1,d} = 0,8 \cdot \frac{1,2 \cdot 57,5 \text{ N/mm}^2}{1,3} = 42,5 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{t,2,d} = \frac{\gamma_2 \cdot a_2 \cdot E_2 \cdot M_d}{(EI)_{ef}}$$

$$= \frac{1,0 \cdot 25,9 \cdot 11.000 \cdot 14,4 \cdot 10^6}{1,36 \cdot 10^{12}}$$

$$= 3,01 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{B.7})$$

$$\eta = \frac{3,01}{8,62} = 0,35 \leq 1,0$$

mit

$$f_{t,2,d} = 0,8 \cdot \frac{14,0 \text{ N/mm}^2}{1,3} = 8,62 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis der Randspannungen

$$\sigma_{m,1,d} = \frac{0,5 \cdot E_1 \cdot h_1 \cdot M_d}{(EI)_{ef}} + \sigma_{c,1,d}$$

$$= \frac{0,5 \cdot 16.800 \cdot 60 \cdot 14,4 \cdot 10^6}{1,36 \cdot 10^{12}} + 10,0$$

$$= 15,4 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{B.8})$$

$$\eta = \frac{13,0}{49,2} = 0,26 \leq 1,0$$

mit

$$f_{m,1,d} = 0,8 \cdot \frac{80 \text{ N/mm}^2}{1,3} = 49,2 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,2,d} = \frac{0,5 \cdot E_2 \cdot h_2 \cdot M_d}{(EI)_{ef}} + \sigma_{t,2,d}$$

$$= \frac{0,5 \cdot 11.000 \cdot 200 \cdot 14,4 \cdot 10^6}{1,36 \cdot 10^{12}} + 2,17$$

$$= 14,7 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{B.8})$$

$$\eta = \frac{14,7}{14,8} = 0,99 \leq 1,0 \text{ (ohne Verstärkung: } \eta = 1,46)$$

mit

$$f_{m,2,d} = 0,8 \cdot \frac{24 \text{ N/mm}^2}{1,3} = 14,8 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis der maximalen Schubspannung

$$\tau_{2,max,d} = \frac{(\gamma_3 \cdot E_3 \cdot A_3 \cdot a_3 + 0,5 \cdot E_2 \cdot b_2 \cdot h^2) V_d}{b_2 \cdot (EI)_{ef}}$$

$$= \frac{(0,5 \cdot 11.000 \cdot 100 \cdot 125,9^2) \cdot 9,6 \cdot 10^3}{100 \cdot 1,36 \cdot 10^{12}}$$

$$= 0,62 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{B.9})$$

mit

$$h = \frac{h_2}{2} + a_2 = \frac{200}{2} + 25,9 = 125,9 \text{ mm}$$

$$\eta = \frac{0,62}{1,23} = 0,50 \leq 1,0$$

mit

$$f_{v,d} = 0,8 \cdot k_{cr} \cdot \frac{4,0 \text{ N/mm}^2}{1,3} = 1,23 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis der Verbindungsmittel

$$F_d(x=0 \text{ m}) = \frac{\gamma_1 \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot a_1 \cdot s_1 \cdot V_d(0)}{(EI)_{ef} \cdot \cos(45^\circ)}$$

$$= \frac{0,542 \cdot 16.800 \cdot 6.000 \cdot 104,1 \cdot 120 \cdot 9,6}{1,36 \cdot 10^{12} \cdot \cos(45^\circ)}$$

$$= 6,81 \text{ kN}$$

$$\eta = \frac{6,81}{13,6} = 0,50 \leq 1,0$$

$$F_d(x=1,5\text{m}) = \frac{0,542 \cdot 16.800 \cdot 6.000 \cdot 104,1 \cdot 300 \cdot 4,8}{1,36 \cdot 10^{12} \cdot \cos(45^\circ)}$$

$$= 8,52 \text{ kN}$$

$$\eta = \frac{8,52}{13,6} = 0,63 \leq 1,0$$

9.5 Verstärkte Verbindung

BauBuche-Platten können verwendet werden, um die Tragfähigkeit von Verbindungen mit auf Abscheren beanspruchten Verbindungsmitteln zu steigern. Dafür werden die BauBuche-Platten im Bereich der Scherfugen auf das Holz geklebt (s. Bild 35). Durch die im Vergleich zu den anschließenden Holzbauteilen höheren Lochleibungsfestigkeiten der BauBuche-Platten kann die Tragfähigkeit des Anschlusses wesentlich erhöht werden. Ein weiterer positiver Effekt besteht in der abgeminderten Spaltgefahr, da die aufgeklebten Verstärkungsplatten eine Querbewehrung für das Holz darstellen.

Werner (1995) gibt dafür Bemessungsgleichungen an. Diese basieren auf den Gleichungen aus Kapitel 8 des Eurocode 5 (Johansen Theorie).

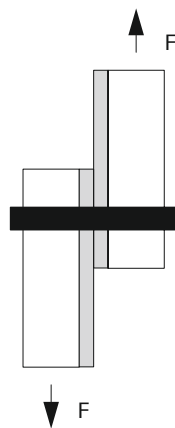


Bild 35: Verstärkte Verbindung

10 BRANDSCHUTZ

DIN EN 1991-1-2

DIN EN 1995-1-2

DIN EN 13501-1, 2

10.1 Allgemeines

Wenn es um Holzkonstruktionen und Brand geht, wird leider immer noch oft aus der Tatsache, dass Holz ein brennbarer Baustoff ist, der Schluss gezogen, Holz sei nicht geeignet für den Einsatz in Gebäuden mit Brandschutzanforderungen. Holz ist brennbar, jedoch ist das Abbrandverhalten langsam und vor allem gleichmäßig. Der Abbrand wird durch das Verdampfen von Wasser sowie die Bildung einer schützenden Holzkohleschicht verzögert.

Dadurch ist das Tragverhalten von hölzernen Bauteilen unter Brandbeanspruchung gut vorhersehbar und damit berechenbar.

In den meisten Fällen wird daher das frühzeitige Versagen der Verbindungsmittel für die Gesamttragfähigkeit maßgebend. Durch die Ausbildung geeigneter konstruktiver Details lässt sich aber auch hier die Widerstandsdauer deutlich erhöhen.

10.2 Anforderungen

Ob und welche Brandschutzanforderungen einzelne Bauteile erfüllen müssen, ist den länderspezifischen Gesetzgebungen zu entnehmen. Platte BauBuche darf in die Baustoffklasse E-normalentflammbar nach DIN EN 13501-1 eingestuft werden und somit mit den Bemessungswerten der Abbrandrate des Eurocode 5 bemessen werden.

In Tabelle 51 sind die Feuerwiderstandsklassen nach DIN EN 13501-2 aufgeführt. Die Zahl gibt dabei die Zeit in Minuten an, in der die Tragfähigkeit des Bauteils im Brandfall erhalten bleiben muss.

R30	feuerhemmend	Tabelle 51: Feuerwiderstandsklassen
R60	hochfeuerhemmend	
R90	feuerbeständig	
R120	hochfeuerbeständig	

Die Baustoffklasse B2 nach DIN 4102 entspricht der Baustoffklasse E nach DIN EN 13501-1.

Die Bezeichnung FXX der DIN 4102 für die Feuerwiderstandsklassen entspricht der Bezeichnung RXX der DIN EN 13501-2.

10.3 Festigkeitswerte

Die Bemessungswerte der Festigkeiten und Steifigkeiten für die Nachweise im Lastfall Brand sind nach Gleichung (2.1) und (2.2) zu ermitteln.

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot \frac{f_{20}}{\gamma_{M,fi}} \quad (2.1)$$

$$S_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot \frac{S_{20}}{\gamma_{M,fi}} \quad (2.2)$$

Dabei dürfen bei Verwendung von Furnierschichtholz und der Methode mit reduziertem Querschnitt sowohl der Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{M,fi}$ als auch der Modifikationsbeiwert $k_{mod,fi}$ zu 1,0 gesetzt werden. Die 20%-Quantilwerte ergeben sich aus den 5%-Quantilen multipliziert mit dem Korrekturfaktor k_{fi} (für Furnierschichtholz $k_{fi} = 1,1$). Damit vereinfachen sich die Gleichungen (2.1) und (2.2) zu

$$f_{d,fi} = 1,1 \cdot f_k$$

$$S_{d,fi} = 1,1 \cdot S_{0,05}$$

mit

$$S_{0,05} = E_{0,05} \text{ bzw. } G_{0,05}$$

Der Bemessungswert der Tragfähigkeit einer geschützten Verbindung $R_{d,fi}$ darf aus der charakteristischen Tragfähigkeit bei Normaltemperatur R_k bestimmt werden:

$$R_{d,fi} = k_{fi} \cdot R_k \quad (2.3)$$

mit

Tabelle 52: k_{fi} -Werte

- | | |
|------|--|
| 1,15 | Verbindung mit Seitenhölzern aus Holz oder Holzwerkstoffen |
| 1,05 | Verbindung mit außen liegenden Stahlblechen |
| 1,05 | Verbindungsmittel auf Herausziehen |

Bemerkung: Bei ungeschützten Verbindungen (hier nicht behandelt) muss zusätzlich der Umrechnungsfaktor η verwendet werden.

10.4 Einwirkungen

10.4.1 Bemessungswerte der Beanspruchung

Die Einwirkungen für die Nachweise im Lastfall Brand sind nach EN 1991-1-2 zu bestimmen.

$$E_{d,fi} = \sum \gamma_{GA,j} \cdot G_{k,j} + (\psi_{1,1} \text{ oder } \psi_{2,1}) \cdot Q_{k,1} + \sum \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} (+ P + A_d)$$

Auf die Einwirkungen aus Vorspannung (P) wird hier nicht weiter eingegangen. Außergewöhnliche Einwirkungen (A_d) müssen für den Lastfall Brand nicht berücksichtigt werden.

Als Kombinationsbeiwert für die führende veränderliche Einwirkung $Q_{k,1}$ darf entweder $\psi_{1,1}$ oder $\psi_{2,1}$ verwendet werden. Abweichend von der Empfehlung des Eurocode sollte aber in denjenigen Fällen, bei denen Wind oder Schnee als führende veränderliche Last wirken, $\psi_{1,1}$ verwendet werden.

10.4.2 Vereinfachte Ermittlung

Vereinfachend darf der Bemessungswert für die Einwirkung $E_{d,fi}$ auch aus der Beanspruchung bei Normaltemperatur abgeleitet werden zu

$$E_{d,fi} = \eta_{fi} \cdot E_d \quad (2.8)$$

Abminderungsbeiwert η_{fi}

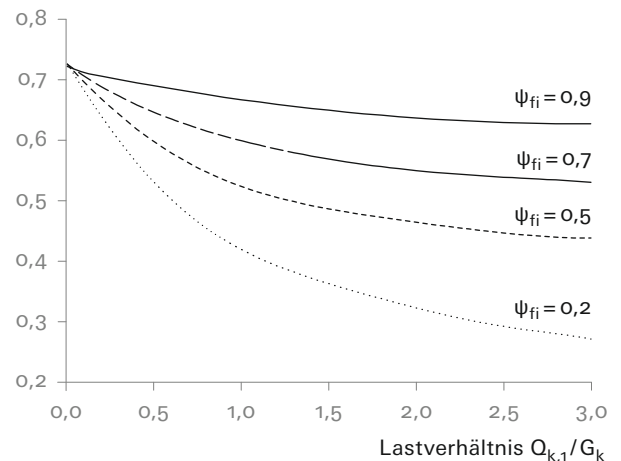


Bild 36: Abminderungsbeiwert η_{fi} in Abhängigkeit des Lastverhältnisses $Q_{k,1}$ zu G_k (Bild 2.1)

Der Abminderungsbeiwert η_{fi} kann entweder über das Diagramm in Bild 36 ermittelt oder vereinfachend zu 0,6 bzw. bei Nutzlasten der Kategorie E zu 0,7 angenommen werden.

10.5 Bemessungsverfahren

Für die Bemessung von Holzbauteilen für den Lastfall Brand werden im Eurocode 5 zwei vereinfachte Verfahren vorgestellt

- Methode mit reduziertem Querschnitt
- Methode mit reduzierten Festigkeits- und Steifigkeitswerten

Die Methode mit reduzierten Eigenschaften darf nur für Nadelholz verwendet werden und wird daher hier nicht näher erläutert.

10.5.1 Methode des reduzierten Querschnitts

Bei dieser Methode werden die Nachweise an einem ideellen Querschnitt geführt. Diesen erhält man durch Abzug der Abbrandtiefe sowie einer Übergangsschicht zwischen Abbrand und unverbranntem Holz, von der angenommen wird, dass diese keine Festigkeit bzw. Steifigkeit mehr aufweist.

Die Festigkeiten und Steifigkeiten des verbleibenden (ideellen) Querschnitts werden als unverändert angenommen (siehe Kapitel 10.3).

Weiter dürfen folgende Vereinfachungen für die Nachweise getroffen werden

- Querdruck darf vernachlässigt werden
- Schub darf bei rechteckigen und runden Querschnitten vernachlässigt werden
- Bei ausgesteiften Bauteilen ist entweder der Funktionserhalt der Aussteifung nachzuweisen oder es muss der Stabilitätsnachweis ohne Reduktion der Knick- bzw. Kipplänge geführt werden.

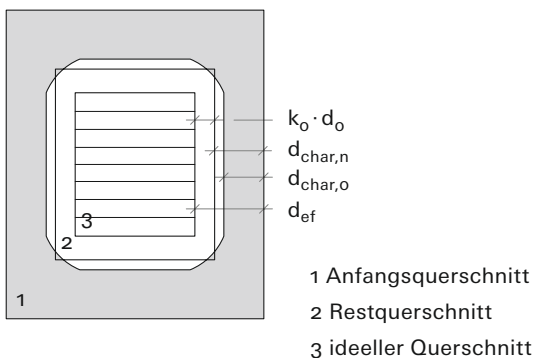


Bild 37: Definition verbleibender und ideeller Restquerschnitt bei Brand

10.6 Abbrand

10.6.1 Abbrand von ungeschützten Bauteilen

Bei der Bestimmung des verbleibenden Querschnitts unter Brandbeanspruchung wird unterschieden zwischen eindimensionalem Abbrand $d_{char,o}$ und Abbrand unter Berücksichtigung von Eckausrundungen und Rissen $d_{char,n}$. Die Bemessung von stabförmigen Bauteilen muss mit der Abbrandtiefe $d_{char,n}$ erfolgen, bei flächigen Bauteilen ist $d_{char,o}$ zu verwenden.

$$d_{char,o} = \beta_o \cdot t \quad (3.1)$$

$$d_{char,n} = \beta_n \cdot t \quad (3.2)$$

Folgende Werte sind dabei für BauBuche anzusetzen

Tabelle 53: Abbrandraten für BauBuche

Stabförmige Bauteile	$\beta_n = 0,70 \text{ mm/min}$
Flächige Bauteile	$\beta_o = 0,65 \text{ mm/min}$

Die wirksame Abbrandtiefe d_{ef} für Brandschutz-nachweise bei Branddauern von mehr als 20 min beträgt

$$d_{ef} = d_{char} + k_o \cdot d_o = d_{char} + 7 \text{ mm} \quad (4.1)$$

Tabelle 54: Abbrandtiefen in mm von Platten und Balken aus BauBuche

	R30	R60	R90	R120
$d_{char,o}$	19,5	39,0	58,5	78,0
$d_{char,n}$	21,0	42,0	63,0	84,0
d_{ef}	28,0	49,0	70,0	91,0

$\beta_o = 0,65 \text{ mm/min}$

für Platten mit $d \geq 20 \text{ mm}$ (1. Zeile);

$\beta_n = 0,7 \text{ mm/min}$

für stabförmige Bauteile (2./3. Zeile)

β_o darf für Plattendicken kleiner als 20 mm und Rohdichten größer 450 kg/m^3 reduziert werden. Bei Pollmeier BauBuche-Platten ist keine Anpassung möglich, da derzeit keine Platten unter 20 mm Plattendicke produziert werden.

Beispiel 25: Biegespannungsnachweis bei einem Dachbalken im Brandfall

BauBuche GL75, 160/240 mm, $\ell = 6,0 \text{ m}$,
 $e = 2,0 \text{ m}$, dreiseitige Brandbeanspruchung, R30

Einwirkung: Eigengewicht $g_k = 1,50 \text{ kN/m}^2$
Schnee $q_k = 3,00 \text{ kN/m}^2$

$$p_d = 1,35 \cdot 1,5 + 1,50 \cdot 3,0 = 6,53 \text{ kN/m}^2$$

$$p_{d,fi} = 1,0 \cdot 1,5 + 0,2 \cdot 3,0 = 2,10 \text{ kN/m}^2$$

Der Nachweis im Brandfall wird mit den reduzierten Querschnittswerten geführt. Für die Branddauer $t = 30 \text{ min}$ ergibt sich die Abbrandtiefe d_{ef} zu

$$d_{ef} = 30 \text{ min} \cdot 0,7 \text{ mm/min} + 7 \text{ mm} = 28 \text{ mm}$$

Mit dem reduzierten Widerstandsmoment lautet der Nachweis:

$$\eta = \frac{\sigma_{m,d,fi}}{f_{d,fi}} = \frac{18,9 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{\frac{104 \text{ mm} \cdot (212 \text{ mm})^2}{6}} \cdot \frac{1}{94,1 \text{ N/mm}^2} = 0,26 \leq 1,0$$

mit

$$f_{d,fi} = k_{fi} \cdot k_{h,m} \cdot f_{m,k} = 1,1 \cdot 1,14 \cdot 75 \text{ N/mm}^2 = 94,1 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{d,fi} = \frac{2 \text{ m} \cdot 2,10 \text{ kN/m}^2 \cdot (6 \text{ m})^2}{8} = 18,9 \text{ kNm}$$

$$b_{ef} = 160 \text{ mm} - 2 \cdot 28 \text{ mm} = 104 \text{ mm}$$

$$h_{ef} = 240 \text{ mm} - 28 \text{ mm} = 212 \text{ mm}$$

Alternativ darf $p_{d,fi}$ auch vereinfacht mit dem Abminderungsbeiwert $\eta_{fi} = 0,6$ aus dem Bemessungswert der maßgebenden Lastkombination bei Normaltemperatur ermittelt werden

$$p_{d,fi} = 0,6 \cdot 6,53 \text{ kN/m}^2 = 3,92 \text{ kN/m}^2$$

bzw. aus Bild 36 in Abhängigkeit des Lastverhältnisses q_k/g_k resultiert

$$p_{d,fi} = 0,33 \cdot 6,53 \text{ kN/m}^2 = 2,15 \text{ kN/m}^2$$

Es ist zu erkennen, dass die vereinfachte Ermittlung mit $\eta_{fi} = 0,6$ zu einer unwirtschaftlichen Bemessung führt. Die Ermittlung über Bild 36 ermöglicht dagegen eine sehr genaue Berechnung der Einwirkung.

10.6.2 Abbrand von geschützten Bauteilen

Durch das Aufbringen von Bekleidungsplatten kann der Beginn des Abbrands verzögert bzw. ganz verhindert werden. Der Abbrand von nur anfänglich geschützten Bauteilen berechnet sich nach

$$d_{char} = \begin{cases} 0 & ; t \leq t_f \\ (t - t_{ch}) \cdot \frac{\min \{\beta_n \cdot t_a ; 25\}}{(t_a - t_{ch})} & ; t_f < t \leq t_a \\ \beta_n \cdot (t - t_a) + \min \{\beta_n \cdot t_a ; 25\} & ; t > t_a \end{cases}$$

Dabei sind für β_n die Werte des zu schützenden Bauteils zu verwenden. t_{ch} beschreibt die Zeit bis zum Versagen der Brandschutzbekleidung. Bei Brandschutzbekleidungen ohne offene Fugen (kleiner 2 mm) entspricht t_{ch} dem Zeitpunkt des Abbrandbeginns t_f des zu schützenden Bauteils. Die Feuerwiderstandsdauer t_{ch} der Bekleidung berechnet sich für Holzwerkstoffplatten aus der Bekleidungsstärke h_p und deren Abbrandrate zu

$$t_{ch} = \frac{h_p}{\beta_o} \quad (3.10)$$

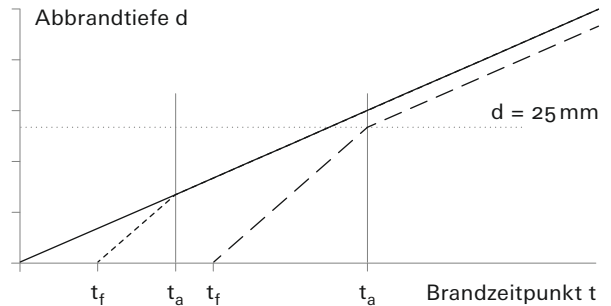
mit β_o der Holzwerkstoffplatte. Das Zeitlimit t_a beträgt

$$t_a = \min \left\{ \frac{2 \cdot t_f}{25} + t_f \right\} \quad (3.8)$$

mit β_n des zu schützenden Bauteils.

Bild 38 zeigt den qualitativen Verlauf des Abbrands eines anfänglich geschützten Bauteils.

Die schnellere Zunahme des Abbrands (steilere Gerade) nach dem Versagen der Brandschutzbekleidung erklärt sich aus der schon hohen Temperatur zum Startzeitpunkt der direkten Brandbeanspruchung des inneren Bauteils. Ab einer Abbrandtiefe von 25 mm darf wieder mit dem normalen Verlauf des Abbrands gerechnet werden, da dann eine ausreichend starke Holzkohleschicht vorhanden ist, die brandverzögernd wirkt.



- dünne Beplankung (1)
- unbeplankt (2)
- wirksame Beplankung (3)

Bild 38: Qualitativer Verlauf des Abbrands eines anfänglich geschützten Bauteils

Bild 38 zeigt, dass Beplankungen geringer Dicke nur anfänglich einen positiven Einfluss besitzen, den weiteren Verlauf des Abbrands jedoch nicht positiv beeinflussen.

Um ein vorzeitiges Versagen (Abfallen) von Brandschutzbeplankungen zu verhindern, sind die Verbindungsmittel in das unverkohlte Bauteil um die Länge $\ell_A = \min \{10 \text{ mm} ; 6 \cdot d\}$ zu verankern.

Beispiel 26: Abbrand eines beplankten Bauteils

Das folgende Beispiel zeigt die Abbrandtiefen bei einer Brandschutzverkleidung aus BauBuche und aus Gipskarton-Feuerschutzplatten. Zum Vergleich ist der Abbrand des ungeschützten Querschnitts angegeben.

Platte BauBuche

$$\beta_o = 0,65 \text{ mm/min}$$

$$h_p = 20 \text{ mm}$$

$$t_a = \min \left\{ 2 \cdot 30,8 \text{ min} ; \frac{25}{2 \cdot 0,7 \frac{\text{mm}}{\text{min}}} + 30,8 \text{ min} \right\}$$

$$= \min \{61,5; 48,6\} = 48,6 \text{ min}$$

$$t_{ch} = h_p / \beta_o = 20 \text{ mm} / 0,65 \text{ mm/min} = 30,8 \text{ min}$$

GKF-Platte

$$h_p = 12,5 \text{ mm}$$

$$t_a = \min \left\{ 2 \cdot 21 \text{ min} ; \frac{25}{2 \cdot 0,7 \frac{\text{mm}}{\text{min}}} + 21 \text{ min} \right\}$$

$$= \min \{42; 38,9\} = 38,9 \text{ min}$$

$$t_{ch} = 2,8 \cdot h_p - 14 = 2,8 \cdot 12,5 - 14 = 21 \text{ min}$$

geschütztes Bauteil

$$\beta_n = 0,7 \text{ mm/min}$$

Für eine Branddauer von 30 min ergeben sich damit folgende Abbrandtiefen $d_{char,n(30)}$

- BauBuche 0,0 mm
- GKF-Platte 12,6 mm
- ungeschützt 21,0 mm

Für eine 30-minütige Branddauer kann der Querschnitt durch die BauBuche-Platte vollständig geschützt werden.

In Bild 39 ist der Verlauf des Abbrandes der unterschiedlichen Ausführungsvarianten dargestellt.

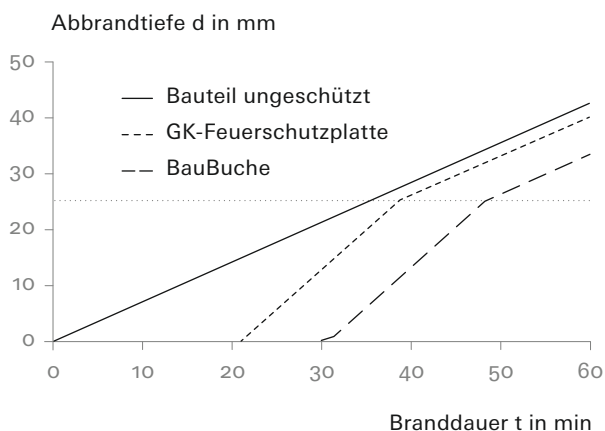


Bild 39: Verlauf des Abbrands bei unterschiedlichen Brandschutzbekleidungen

10.7 Verbindungen mit Seitenteilen aus Holz

10.7.1 Ungeschützte Verbindungen

Ungeschützte Verbindungen werden hier nicht behandelt.

10.7.2 Geschützte Verbindungen

Sollen Verbindungsmittel durch eine Beplankung vor Brandeinwirkung geschützt werden, ist sicherzustellen, dass die Feuerwiderstandsdauer der Beplankung t_{ch} größer ist als die geforderte Feuerwiderstandsdauer der Verbindung t_{req} abzüglich der halben Feuerwiderstandsdauer der ungeschützten Verbindung $t_{d,fi}$.

$$t_{ch} = \frac{h_p}{\beta_o} \geq t_{req} - 0,5 \cdot t_{d,fi} \quad \text{vgl. (3.10) (6.2)}$$

Umgeformt ergibt sich die erforderliche Dicke h_p der Brandschutzverkleidung aus BauBuche zu

$$h_p \geq \beta_o \cdot (t_{req} - 0,5 \cdot t_{d,fi})$$

mit der Abbrandrate $\beta_o = 0,65 \text{ mm/min}$ für BauBuche-Platten.

Bei zweischnittigen, auf Abscheren beanspruchten Verbindungen mit Seitenteilen aus Holz beträgt $t_{d,fi} = 15 \text{ min}$, bei Verbindungen mit Stabdübeln 20 min.

Beispiel 27: Brandschutzverkleidung für Nagelgruppe

Die Nagelgruppen der Zugstöße eines Fachwerkträgers sollen für die Feuerwiderstandsdauer R30 dimensioniert werden. Hierfür wird eine Brandschutzbekleidung aus BauBuche-Platten über die Nagelgruppe gewählt.

Die erforderliche Plattendicke h_p ergibt sich wie folgt:

$$h_p \geq 0,65 \frac{\text{mm}}{\text{min}} \cdot (30 \text{ min} - 0,5 \cdot 15 \text{ min}) = 14,6 \text{ mm}$$

mit der Branddauer $t = 30 \text{ min}$ und der Feuerwiderstandsdauer des Verbindungsmittels $t_{d,fi} = 15 \text{ min}$. Bei der Befestigung der Brandschutzbekleidung ist nach DIN EN 1995-1-2, Gl. (3.16) sicherzustellen, dass diese nicht vor dem rechnerischen Beginn des Abbrandes des zu schützenden Bauteils t_{ch} abfallen kann.

11 ZITIERTE QUELLEN

Literatur

Enders-Comberg, M. und Blaß, H.J. Treppenversatz – Leistungsfähiger Kontaktanschluss für Druckstäbe. Bauingenieur Band 89, 04/2014, Springer-VDI-Verlag, Düsseldorf

Blaß, H.J., Ehlbeck, J., Kreuzinger, H., Steck, G.

Erläuterungen zu DIN 1052:

Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken. 2005, Bruderverlag, München

Kreuzinger, H. Verbundkonstruktionen.

Holzbau-Kalender 2002, Bruderverlag, Karlsruhe

Werner, H. Empfehlungen für die Bemessung von Verbindungen mit verstärkten Anschlussbereichen.

Bauen mit Holz 12/1995, Bruderverlag, Karlsruhe

Normen

DIN 1052-10 Herstellung und Ausführung von Holzbauwerken – Teil 10: Ergänzende Bestimmungen, Mai 2012

DIN 4102 Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen, Mai 1998

DIN EN 1990 Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung: Deutsche Fassung, Dezember 2010

DIN EN 1990/NA Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung: Nationaler Anhang Deutschland, Dezember 2010

DIN EN 1995-1-1 Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines, Dezember 2010

DIN EN 1995-1-1/NA Nationaler Anhang Deutschland - Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines, August 2013

DIN EN 1995-1-2 Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall, Dezember 2010

DIN EN 1995-1-2/NA Nationaler Anhang – Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall, Dezember 2010

DIN EN 13501-1 Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten – Teil 1: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten, Januar 2010

DIN EN 14374 Holzbauwerke – Furnierschichtholz für tragende Zwecke – Anforderungen, Februar 2005

ÖNORM B 1995-1-1 Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines, Juni 2015

ÖNORM B 1995-1-1/NA Nationaler Anhang Österreich – Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines, 2015

SIA 2003 SIA 265 Holzbau. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich

Zulassungen / Leistungserklärungen

PM-005-2018 Leistungserklärung – Furnierschichtholz aus Buche. Furnierschichtholz nach EN 14374:2005-02 für alle tragenden, aussteifenden oder nichttragenden Bauteile vom 27.07.2018. Pollmeier Furnierwerkstoffe GmbH, Creuzburg

PM-008-2018 Leistungserklärung – Träger BauBuche GL75 vom 11.07.2018. Brettschichtholz aus Laubholz – Buchenfurnierschichtholz für tragende Zwecke nach ETA-14/0354 vom 11.07.2018. Pollmeier Furnierwerkstoffe GmbH, Creuzburg

ETA-14/0354 Europäische Technische Bewertung ETA-14/0354 vom 11.07.2018. Brettschichtholz aus Laubholz – Buchenfurnierschichtholz für tragende Zwecke. Österreichisches Institut für Bautechnik, Wien

ETA-11/0190 Europäische Technische Zulassung ETA-11/0190 vom 23.07.2018. Selbstbohrende Schrauben als Holzverbindungsmittel. Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin

ETA-12/0197 European Technical Assessment ETA-12/0197 of 2019/02/28. Screws for use in timber constructions. ETA-Danmark A/S, Nordhavn

Z-9.1-838 Allgemeine Bauartgenehmigung vom 19.09.2018. Furnierschichtholz aus Buche zur Ausbildung stabförmiger und flächiger Tragwerke – „Platte BauBuche S“ und „Platte BauBuche Q“. Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin

Broschüren BauBuche

03 Bauphysik Broschüre BauBuche – Bauphysik vom Mai 2019. Pollmeier Furnierwerkstoffe GmbH, Creuzburg

05 Verbindungsmittel Broschüre BauBuche – Verbindungsmittel und Anschlüsse vom März 2019. Pollmeier Furnierwerkstoffe GmbH, Creuzburg

09 Holzschutz Broschüre BauBuche – Holzschutz und Oberflächenbehandlung vom Mai 2019. Pollmeier Furnierwerkstoffe GmbH, Creuzburg

Neubau Turnhalle, Islisberg

Architektur: Langenegger Architekten AG, Muri

Tragwerksplanung: Makiol Wiederkehr AG,

Beinwil am See

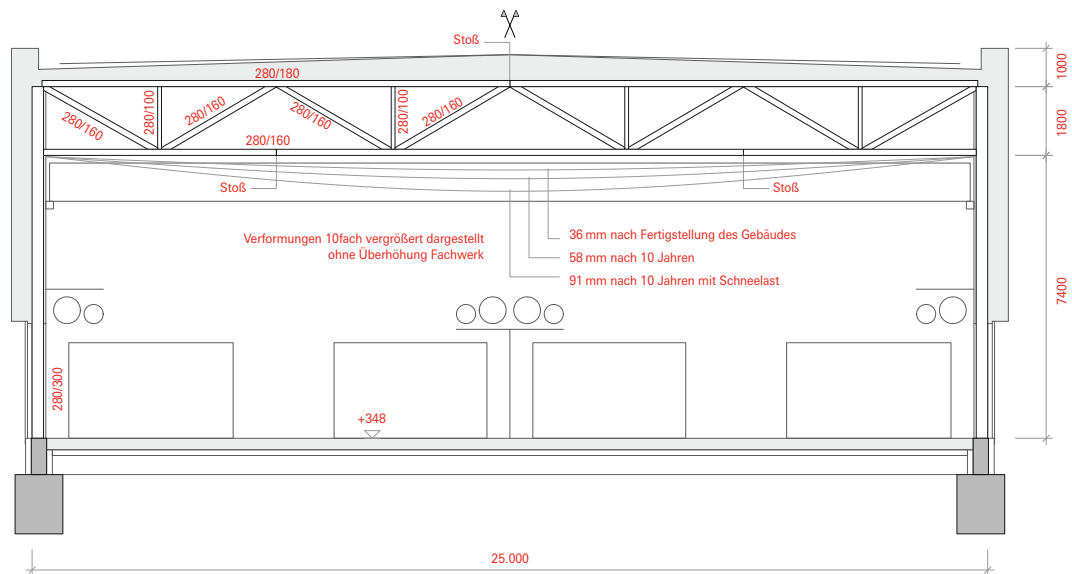
Holzbau: Max Vogelsang AG, Wohlen

Fotos: Yves Siegrist



12 ANWENDUNGSBEISPIELE

Bild 40:
Fachwerkträger
aus Träger
BauBuche
(Planauszug von
merz kley partner
ZT GmbH)

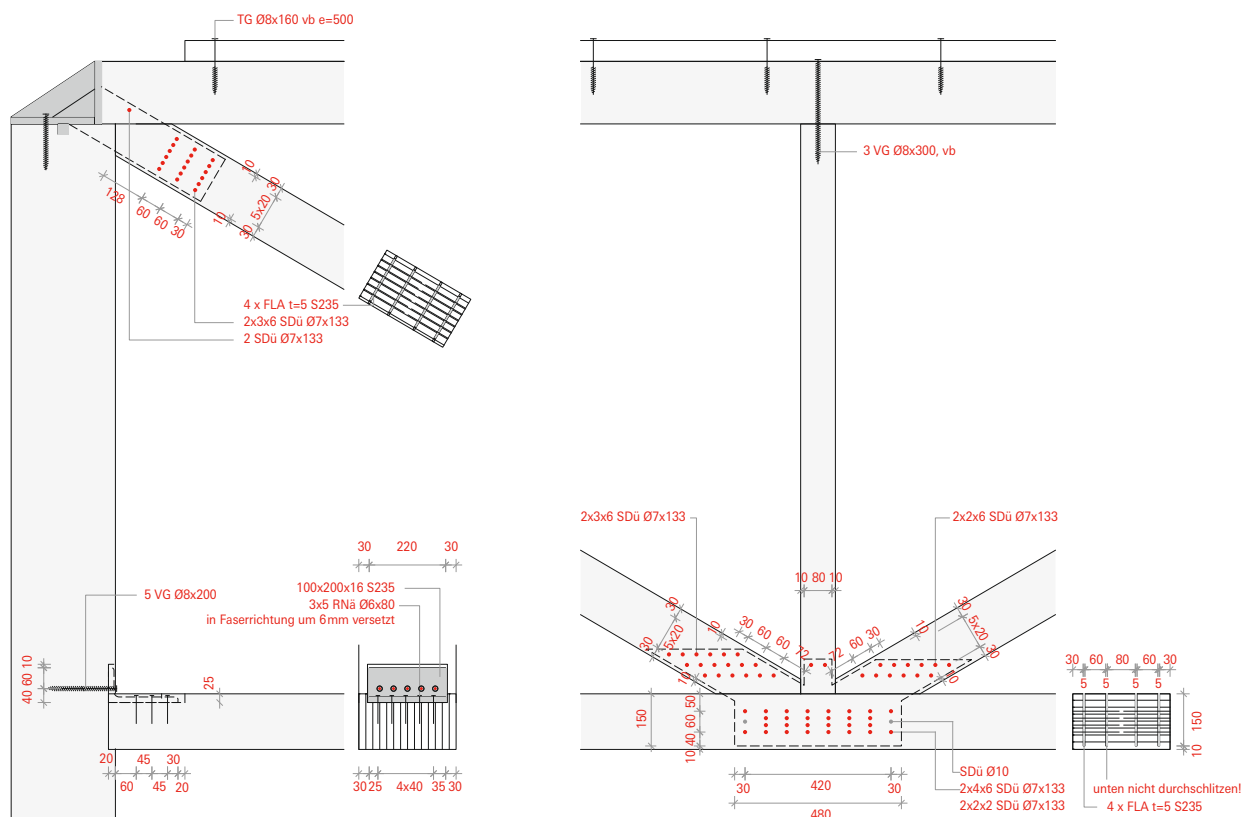


Neubau Büro- und Produktionsgebäude – Fachwerkträger

Das dargestellte Anwendungsbeispiel
basiert auf der statischen Berechnung
des Büros merz kley partner
ZT GmbH.

Fachwerkträger: Träger BauBuche GL75
(ursprünglich in BauBuche GL70 geplant
und ausgeführt), Untergurt 280/160, Obergurt
280/180, Diagonalen 280/160, Pfosten
280/100 (Anordnung der Lamellen hochkant)
Anschlüsse Fachwerkknoten:
Befestigungssystem WS-T-7 von SFS intec AG
(nach Leistungserklärung Nr. 100144897)
NKL 1, $k_{mod} = 0,9$

Bild 41:
Anschlussdetails
Fachwerkträger



Nachweis Untergurt:

$N_d = 857 \text{ kN}$ (Zug), $M_d = 3,82 \text{ kNm}$

Die Zugspannung beträgt

$$\sigma_{t,o,d} = \frac{857 \cdot 10^3 \text{ N}}{(160 - 4 \cdot 7) \cdot (280 - 4 \cdot 6) \text{ mm}^2} = 25,4 \text{ N/mm}^2$$

Der Bemessungswert der Zugfestigkeit darf mit dem Beiwert $k_{h,t}$ erhöht werden, da die Bauteilhöhe kleiner ist als 600 mm. Des Weiteren ist der Beiwert k_ℓ zu berücksichtigen, da die Bauteillänge größer ist als 3,0 m.

$$k_{h,t} = \left[\frac{600}{h} \right]^{0,10} = \left[\frac{600}{280} \right]^{0,10} = 1,08$$

$$k_\ell = \min \left\{ \left[\frac{3.000}{\ell} \right]^{s/2} = \left[\frac{3.000}{11.350} \right]^{0,12/2} = 0,92 \right\} = 0,92$$

$$f_{t,o,d} = 1,08 \cdot 0,92 \cdot \frac{0,9}{1,3} \cdot 60 \text{ N/mm}^2 = 41,3 \text{ N/mm}^2$$

Die Biegespannung beträgt

$$\sigma_{m,d} \approx \frac{3,82 \cdot 10^6 \text{ Nmm} \cdot 6}{(280 - 4 \cdot 6) \text{ mm} \cdot (160 - 4 \cdot 7 \text{ mm})^2} = 5,14 \text{ N/mm}^2$$

Der Bemessungswert der Biegefestigkeit beträgt

$$f_{m,d} = \frac{0,9}{1,3} \cdot 75 \text{ N/mm}^2 = 51,9 \text{ N/mm}^2$$

Der Nachweis auf Zug und Biegung im Untergurt ist eingehalten mit

$$\eta = \frac{\sigma_{t,o,d}}{f_{t,o,d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} = \frac{25,4}{41,3} + \frac{5,14}{51,9} = 0,71 \leq 1,0$$

Nachweis Pfosten: $N_d = 68,7 \text{ kN}$ (Druck)

Die Druckspannung beträgt

$$\sigma_{c,o,d} = \frac{68,7 \cdot 10^3 \text{ N}}{280 \text{ mm} \cdot 100 \text{ mm}} = 2,45 \text{ N/mm}^2$$

Mit

$$\lambda_z = \frac{1,81 \text{ m}}{0,10 \text{ m} / \sqrt{12}} = 62,7$$

kann aus Tabelle 14 für $k_{c,z}$ ca. 0,57 abgelesen werden.

Der Bemessungswert der Druckfestigkeit darf in Nutzungsklasse 1 mit dem Faktor 1,2 erhöht werden.

$$f_{c,o,d} = 1,2 \cdot 1,0 \cdot \frac{0,9}{1,3} \cdot 49,5 \text{ N/mm}^2 = 41,1 \text{ N/mm}^2$$

Der Stabilitätsnachweis der Pfosten ist eingehalten mit

$$\eta = \frac{\sigma_{c,o,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,o,d}} = \frac{2,54 \text{ N/mm}^2}{0,57 \cdot 41,1 \text{ N/mm}^2} = 0,10 \leq 1$$

Nachweis Diagonalen: maßgebend ist $N_d = 317 \text{ kN}$ (Druck), $M_d = 1,04 \text{ kNm}$

Die Druckspannung beträgt

$$\sigma_{c,o,d} = \frac{317 \cdot 10^3 \text{ N}}{280 \text{ mm} \cdot 160 \text{ mm}} = 7,08 \text{ N/mm}^2$$

Mit

$$\lambda_y = \frac{3,58 \text{ m}}{0,16 \text{ m} / \sqrt{12}} = 77,5$$

kann aus Tabelle 14 für $k_{c,y}$ ca. 0,39 abgelesen werden.

Der Bemessungswert der Druckfestigkeit darf in Nutzungsklasse 1 mit dem Faktor 1,2 erhöht werden. Des Weiteren darf eine Erhöhung mit dem Beiwert $k_{c,o}$ erfolgen.

$$\begin{aligned} k_{c,o} &= \min(0,0009 \cdot h + 0,892; 1,18) \\ &= \min(0,0009 \cdot 160 + 0,892; 1,18) \\ &= \min(1,04; 1,18) = 1,04 \end{aligned}$$

$$f_{c,o,d} = 1,2 \cdot 1,04 \cdot \frac{0,9}{1,3} \cdot 49,5 \text{ N/mm}^2 = 42,8 \text{ N/mm}^2$$

Die Biegespannung beträgt

$$\sigma_{m,d} = \frac{1,04 \cdot 10^6 \text{ Nmm} \cdot 6}{280 \text{ mm} \cdot (160 \text{ mm})^2} = 0,87 \text{ N/mm}^2$$

Der Bemessungswert der Biegefestigkeit beträgt

$$f_{m,d} = \frac{0,9}{1,3} \cdot 75 \text{ N/mm}^2 = 51,9 \text{ N/mm}^2$$

Der Stabilitätsnachweis der Diagonalen ist eingehalten mit

$$\eta = \frac{\sigma_{c,o,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,o,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{7,08 \text{ N/mm}^2}{0,39 \cdot 42,8 \text{ N/mm}^2} + \frac{0,87 \text{ N/mm}^2}{51,9 \text{ N/mm}^2} = 0,44 \leq 1$$

Nachweis Obergurt

$N_d = 825 \text{ kN}$ (Druck), $M_d = 13,5 \text{ kNm}$, $V_d = 33,1 \text{ kN}$
Die Druckspannung beträgt

$$\sigma_{c,o,d} = \frac{825 \cdot 10^3 \text{ N}}{280 \text{ mm} \cdot 180 \text{ mm}} = 16,4 \text{ N/mm}^2$$

Mit

$$\lambda_y = \frac{3,09 \text{ m}}{0,18 \text{ m} / \sqrt{12}} = 59,5$$

kann aus Tabelle 14 für $k_{c,y}$ ca. 0,62 abgelesen werden.

Der Obergurt ist durch die Dachscheibe gegen ein Stabilitätsversagen in Dachebene gesichert. Der Bemessungswert der Druckfestigkeit darf in Nutzungsklasse 1 mit dem Faktor 1,2 erhöht werden. Des Weiteren darf eine Erhöhung mit dem Beiwert $k_{c,o}$ erfolgen.

$$k_{c,o} = \min(0,0009 \cdot h + 0,892; 1,18) = \min(0,0009 \cdot 180 + 0,892; 1,18) = \min(1,05; 1,18) = 1,05$$

$$f_{c,o,d} = 1,2 \cdot 1,05 \cdot \frac{0,9}{1,3} \cdot 49,5 \text{ N/mm}^2 = 43,2 \text{ N/mm}^2$$

Die Biegespannung beträgt

$$\sigma_{m,d} = \frac{13,5 \cdot 10^6 \text{ Nmm} \cdot 6}{280 \text{ mm} \cdot (180 \text{ mm})^2} = 8,93 \text{ N/mm}^2$$

Der Bemessungswert der Biegefestigkeit beträgt

$$f_{m,d} = \frac{0,9}{1,3} \cdot 75 \text{ N/mm}^2 = 51,9 \text{ N/mm}^2$$

Der Stabilitätsnachweis im Obergurt ist eingehalten mit

$$\eta = \frac{\sigma_{c,o,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,o,d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} = \frac{16,4}{0,62 \cdot 43,2} + \frac{8,93}{51,9} = 0,78 \leq 1,0$$

Die Schubspannung beträgt

$$\tau_d = 1,5 \cdot \frac{V_d}{h \cdot b \cdot k_{cr}} = 1,5 \cdot \frac{33,1 \cdot 10^3 \text{ N}}{(180 - 6 \cdot 7) \text{ mm} \cdot (280 - 4 \cdot 6) \text{ mm} \cdot 1,0} = 1,41 \text{ N/mm}^2$$

Der Bemessungswert der Schubfestigkeit beträgt

$$f_{v,d} = \frac{0,9}{1,3} \cdot 8,0 \text{ N/mm}^2 = 5,54 \text{ N/mm}^2$$

Der Nachweis auf Schub im Obergurt ist eingehalten mit

$$\eta = \frac{1,41}{5,54} = 0,25 \leq 1$$

Nachweis der Anschlüsse der Fachwerkknoten (exemplarisch für Zugstoß im Untergurt):

$N_d = 652 \text{ kN}$ (Zug)

Für die Anschlüsse der Fachwerkknoten wurden gemäß der statischen Berechnung des Büromerz kley partner ZT GmbH das Befestigungssystem WS-T-7 von SFS intec AG verwendet. Die Bemessung erfolgt hierzu nach DIN EN 1995-1-1 mit NA, Abs. 8 als Stabdübelverbindung unter Berücksichtigung der Herstellerangaben sowie der Leistungserklärung Nr. 100144897 der SFS intec AG. Der Bemessungswert der Tragfähigkeit eines mehrschnittig beanspruchten Verbindungsmittels WS-T-7x133mm beträgt exemplarisch für den Zugstoß im Untergurt gemäß der statischen Berechnung $F_{v,Rd} = 19,3 \text{ kN}$. Der Nachweis der Verbindungsmittel im Zugstoß des Untergurtes (2 x 28 WS-T-7x133mm, 4 Schlitzbleche) ist unter Berücksichtigung der effektiven Verbindungsmittellanzahl eingehalten mit

$$\eta = \frac{N_d}{F_{v,Rd} \cdot n_{ef}} = \frac{652}{19,3 \cdot (2 \cdot 2 \cdot 5,86 + 2 \cdot 2 \cdot 4,52)} = 0,81 \leq 1$$

Der Nachweis für die Weiterleitung der Kräfte in den Blechen ist mit $\eta \leq 1,0$ eingehalten.





Bürogebäude der euregon AG, Augsburg

Skelettbauweise: Stützen, Haupt- und Nebenträger aus BauBuche GL70,

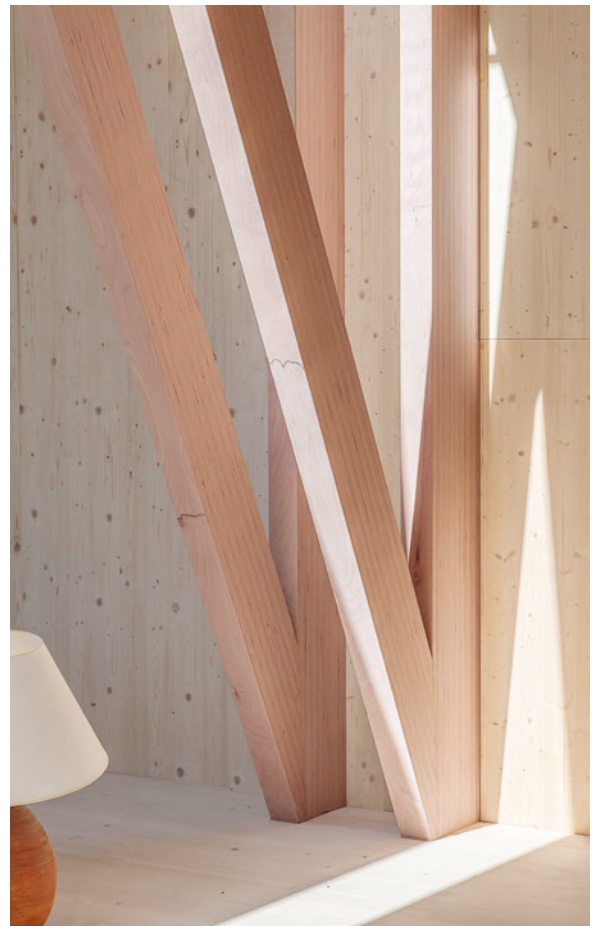
Tragende Deckenplatte aus BauBuche Q, Fußboden: BauBuche Boden

Architektur: lattkearchitekten BDA

Tragwerksplanung: bauart konstruktions GmbH

Holzbau: Gumpp & Maier GmbH

Fotos: Eckhart Matthäus



Tischlerei Anton Mohr, Andelsbuch
 Sichtbare Tragkonstruktion aus BauBuche Gl70
 Architektur: Andreas Mohr,
 Tragwerksplanung: merz kley partner ZT GmbH
 Holzbau: Kaufmann Zimmerei
 Fotos: Christian Grass



Parkhaus in Holz-Beton-Verbundbauweise, Unterzüge und Stützen aus BauBuche GL70,
Forschungsprojekt der TUM.Wood unter Beteiligung der Professoren
Hermann Kaufmann, Florian Nagler, Stefan Winter, Klaus Richter, Jan-Willem van de Kuilen

Impressum

Medieninhaber und Herausgeber:
Pollmeier Massivholz GmbH & Co.KG
Pferdsdorfer Weg 6
99831 Creuzburg, Deutschland
T +49 (0)36926 945-0, F -100
info@pollmeier.com
www.pollmeier.com
Projektleitung: Dipl.-Ing. Jan Hassan

Autoren:
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hans Joachim Blaß
Dipl.-Ing. Johannes Streib
Ingenieurbüro für
Baukonstruktionen
Blaß & Eberhart GmbH
Pforzheimer Straße 15b
76227 Karlsruhe, Deutschland

Fotos:
Michael Christian Peters,
Amerang, Deutschland
Eckhart Matthäus,
Wertingen, Deutschland
Christian Grass,
Dornbirn, Austria

Visualisierungen:
Hof 437, Thomas Knapp,
Alberschwende, Austria

Gestaltung:
Atelier Andrea Gassner, Feldkirch, Austria
Reinhard Gassner, Marcel Bachmann

Druck:
Eberl Print, Immenstadt, Deutschland

3. Auflage 2019, 1.000 Stk.

gesetzt in der Univers Next
und gedruckt auf Munken Lynx

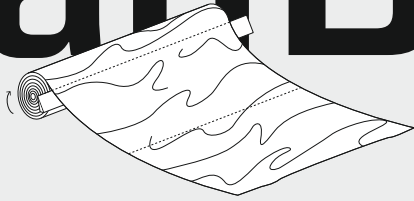
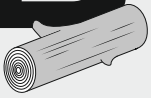
Das Werk ist urheberrechtlich geschützt.
Jede Verwendung außerhalb der Grenzen
des Urhebergesetzes ist ohne Zustim-
mung der Herausgeber sowie der Autoren
unzulässig.

ISBN: 978-3-920269-64-1
Download und Bestellung unter:
www.pollmeier.com

BauBuche

Buche aus nachhaltiger Waldwirtschaft

veredelt und konfektioniert zum universellen Werkstoff.



geschält und neu geschichtet

