

M. AUGUSTIN | D. MATZLER

**BEISPIELSAMMLUNG ZUR
NACHWEISFÜHRUNG VON
HOLZBAUTEILEN UND
HOLZTRAGWERKEN
NACH ÖNORM EN 1995-1-1
UND ÖNORM B 1995-1-1**

IHBV

IMPRESSUM:

Medieninhaber und Herausgeber:

Österreichischer Ingenieurholzbauverband (IHBV)

Sitz: Schwarzenbergplatz 4, A-1030 Wien

Tel: +43 (1) 712 26 01

E-mail: office@ihbv.at

Website: www.ihbv.at

Vorsitzender: DI (FH) Holzbaumeister Johannes Lederbauer

Geschäftsführer: Mag. Dieter Lechner

Für den Inhalt verantwortlich:

DI Manfred Augustin, holz.bau forschungs gmbh / Graz

DI Dominik Matzler, holz.bau forschungs gmbh / Graz

Alle Rechte vorbehalten.

Nachdruck – auch auszugsweise – nur mit Quellenangabe und vorheriger Rücksprache.

Gestaltung: Ölz GrafikDesign, Dornbirn

Druck: Hugo Mayer – Buch & Offsetdruckerei Verlag, Dornbirn

2. überarbeitete Auflage 2023

WICHTIGE HINWEISE / HAFTUNGSAUSSCHLUSS

Der Inhalt dieser Beispielsammlung wurde mit größtmöglicher Sorgfalt nach dem zum Zeitpunkt seiner Erstellung geltenden Stand der Technik und unter Berücksichtigung baupraktischer Erfahrungen verfasst; inhaltliche Fehler sowie Druckfehler können dennoch nicht ausgeschlossen werden. Diese Beispielsammlung wird der Leserschaft kostenlos zur Verfügung gestellt und richtet sich an ProfessionistInnen (facheinschlägig ausgebildete Personen). Die in dieser Beispielsammlung enthaltenen Ausführungen (inkl. Abbildungen) sind unverbindlich, dienen ausschließlich Informationszwecken und erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit, Richtigkeit oder Aktualität. Dies gilt insbesondere im Hinblick auf neueste Entwicklungen in der Baubranche. Alle in dieser Beispielsammlung enthaltenen Angaben erfolgen daher ohne Gewähr und unter Ausschluss jeglicher Haftung. Die Benutzung dieser Beispielsammlung und die Umsetzung der darin enthaltenen Informationen erfolgt ausdrücklich auf eigenes Risiko.

In dieser Beispielsammlung werden komplexe Sachverhalte dargestellt, die einer regelmäßigen Veränderung unterliegen. Alle Angaben stellen daher lediglich unverbindliche Empfehlungen dar, um bei der Realisierung eines Projektes zu unterstützen. Die Beispielsammlung versucht Empfehlungen kurz und verständlich darzustellen. Folglich können nicht alle erdenklichen Ausnahmen und Sonderregelungen wiedergegeben werden. Da die Ausführungen allgemein und abstrakt gehalten sind, ist von der Leserschaft auch stets zu überprüfen, ob und inwiefern diese auf das konkrete und individuelle Bauprojekt anwendbar sind. Die Beispielsammlung kann daher eine individuelle Beratung durch eine Fachperson nicht ersetzen, zumal eine solche stets die Kenntnis aller Faktoren (insbesondere die Umstände des konkreten Einzelfalls) voraussetzt.

Die vorliegenden Informationen können ohne vorherige Ankündigung jederzeit geändert oder aktualisiert werden. Diese Beispielsammlung wird daher ggf. durch jüngere Fassungen ersetzt. Soweit nicht explizit anders vereinbart, werden die Inhalte dieser Beispielsammlung nicht Vertragsbestandteil individueller Bauprojekte.

Für Verbesserungsvorschläge sind wir jederzeit dankbar.

VORWORT DES HERAUSGEBERS

Bereits im Jahr 2017 hat der Österreichische Ingenieurholzbauverband ein Tabellenwerk mit dem Ziel herausgebracht, dem Wunsche nach Vereinfachung der Bemessung durch eine tabellarische Zusammenschau der wesentlichen Parameter und Beiwerte Folge zu leisten.

Ausgangspunkt dafür war, dass es mehrere Initiativen gab, die Regelungsdichte zu reduzieren und bestehende Regeln und Normen zu vereinfachen, speziell im Lichte der großen Bedeutung der Regeln und Normen für den Baubereich und deren gleichzeitiger explosionsartiger Zunahme.

Gerade für die Anwender war und ist dies sehr herausfordernd, weil insbesondere den Ingenieuren, Holzbaumeistern und Auszubildenden der Einstieg in die konstruktive Umsetzung des Holzbaus deutlich erschwert wird. Nachdem sich dieses Tabellenwerk sehr großer Nachfrage erfreut und bereits im Jahr 2020 neu aufgelegt werden musste, haben wir uns entschieden, zusätzlich eine Sammlung von Rechenbeispielen zu ÖNORM EN 1995-1-1:2019 und ÖNORM B 1995-1-1:2019 aufzulegen, dessen Inhalte mit dem Tabellenwerk verknüpft ist.

Wir sind sehr froh, für die Umsetzung die Experten der holz.bau forschungs gmbh gefunden zu haben.

Mit der vorliegenden Beispielsammlung soll dem Anwender eine vertiefte Informations-Grundlage geboten werden.

DI (FH) Holzbaumeister Johannes Lederbauer

Vorsitzender

Österreichischer Ingenieurholzbauverband (IHBV)

VORWORT DER VERFASSER

Wohl noch nie war es dank der „neuen“ Medien möglich in so kurzer Zeit und mit so wenig Aufwand zu so viel Information bezüglich eines interessierenden Gebietes zu gelangen. Dieser Umstand drückt sich nicht zuletzt in einem steigenden Umfang der jeweils in Betracht zu ziehenden Dokumente und der enthaltenen Detaillierungen der Sachverhalte aus. Im Bereich der Bautechnik wird der Stand der Technik und des Wissens in Normen abgebildet. Falls man übereinstimmen kann die gestiegene „Komplexheit“ eines technischen Bereichs über die Anzahl der Seiten der zugehörigen Norm darstellen zu können, soll dies nachfolgend geschehen: Der Umfang der nationalen Norm für die Berechnung und Ausführung von Tragwerken aus Holz, die ÖNORM B 4100, Teil 2, Ausgabe 1. August 1981 „Holzbau - Holztragwerke“ betrug, im übrigen inklusive Regelung zur Sortierung des Holzes, 35 Seiten; jener der ÖNORM B 4100-2, Ausgabe 1. Dezember 1997 (ohne Regelungen zu Sortierung) erreichte 50 Seiten. Mit der Übernahme der Eurocodes in Österreich wurde die Normung beträchtlich umfangreicher: so wies/weist das europäische „Basisdokument“ EN 1995-1-1:2004 inklusive der Ergänzungen AC (2006), A1 (2008) und A2 (2014) eine Anzahl von rund 140 Seiten auf. Im Zusammenhang mit dem nationalen Anhang ÖNORM B 1995-1-1:2009 (56 Seiten) ergab dies im Jahr 2009 rund 200 Seiten „Holzbaunormung“. Festzustellen ist, dass es sich dabei um das zentrale Normungsdokument handelt, d. h. Einwirkungs- und Produktnormen sowie weitere sind darin nicht enthalten. Aktuell umfasst die Holzbaunorm in Österreich in der konsolidierten Fassung ÖNORM EN 1995-1-1:2004 + AC:2006 + A1:2008 + A2:2014 sowie dem nationalen Anhang ÖNORM B 1995-1-1:2019 einen Umfang von 246 Seiten. Wie der Draft (N 1488 vom 27. Okt. 2021) des aktuell in Überarbeitung befindlichen Eurocodes EN 1995-1-1 mit seinen 454 Seiten (inklusive den Anhängen A bis X (ohne H); davon 83 Seiten normativ und 69 Seiten informativ; aber ist im Zweifelsfall nicht informativ = normativ!?) zeigt, wird sich die beschriebene Tendenz auch in Zukunft nicht abflachen, im Gegenteil es scheint „immer noch mehr desselben“ zu werden. In diesem Zusammenhang lassen sich gleich mehrere fundamentale Fragen stellen, wie: „Werden Holzkonstruktionen durch derart umfangreiche Normenwerke tatsächlich zuverlässiger und sicherer (Anmerkung: das ist ja wohl der Sinn einer statisch-konstruktiven Norm!)?“, „Welche (Seiten-) Umfänge sind einer einzelnen (Fach-) Person ohne unterstützende „High-tech“-Geräte ohne Verlust an Qualität zumutbar, und noch wichtiger, von diesen beherrschbar?“ und „Wie können solcherart ausgedehnte Inhalte an die interessierte Jugend bzw. „Neueinsteiger“ inhaltlich und didaktisch vermittelt werden? Wurde bedacht, dass z. B. Zivilt Techniker auch andere Baustoffe in ähnlicher Tiefe beherrschen müssen, und wie und in welcher Form wurden die „Anforderungen“ an nicht akademisch ausgebildete Berufsgruppen, für die die Normeninhalte bekanntlich ja auch Geltung haben, berücksichtigt?“. Viele weitere kritische Fragen ließen sich stellen.

Um den Bezug zu der vorliegenden Publikation herzustellen: Eine bei der Neuerlernung von umfangreichen Inhalten wirksame Lernmethode besteht darin, sich vorerst einen Überblick zu verschaffen, um sich danach, je nach Erfordernis, sukzessive die tieferliegenden Hintergründe der Materie anzueignen. Im Zusammenhang mit mathematisch-physikalischen Inhalten ist dies wohl am sinnvollsten über die Bearbeitung und das Nachvollziehen geeigneter, gut gewählter Beispiele umsetzbar. Diesem Gedanken liegt jedenfalls die vorliegende Beispielsammlung zugrunde, wobei ein modularer Ansatz in der Form gewählt wurde, dass ausgehend von Grundfällen immer komplexere und umfangreichere Beispiele im Detail und ohne weitestgehendes Auslassen von Zwischenschritten dargestellt wurden. Bei der Auswahl der Beispiele wurde Bedacht darauf genommen, welche Bereiche im Bauen mit Holz aktuell sind, wohingegen mittlerweile weniger oft eingesetzte Konstruktionen weniger intensiv behandelt oder überhaupt vernachlässigt wurden. Zur Vermeidung von Ablenkungen sind die Beispiele nur spärlich, und nur dort kommentiert, wo es unumgänglich erschien.

Die verwendeten Bezeichnungen nehmen weitestgehend Bezug auf jene in ÖNORM EN 1995-1-1 [1] und ÖNORM B 1995-1-1 [2] bzw. sonstige vorliegende Normen und Regelwerke. In Beispielen bei denen keine Gefahr von Fehlinterpretationen entstehen kann, wurde in den Gleichungen z. T. auf eine präzise Indizierung zugunsten einer besseren Lesbarkeit verzichtet. Der Zusammenhang mit dem, ebenfalls vom IHBV herausgegebenen „Tabellenwerk zur Nachweisführung von Holzbauteilen nach ÖNORM EN 1991-1-1 und ÖNORM B 1995-1-1“ [13] wurde durch die, am rechten Rand in abweichender Farbmarkierung angeführten Verweise hergestellt.

Die Verfasser bedanken sich bei Univ.-Prof. DI Dr. Gerhard SCHICKHOFER und DI Alen MALAGIĆ für die Durchsicht des Manuskripts und das Beisteuern wertvoller Hinweise zur Beseitigung inhaltlicher und orthographischer Fehler. Ebenso soll Herrn Peter WILLATSCHEK von der Agentur Ölz GrafikDesign GmbH, Dornbirn für die gute Zusammenarbeit im Zusammenhang mit Satz und Druck dieser Publikation herzlich gedankt werden.

Graz
September 2022

DI Manfred Augustin
holz.bau forschungs gmbh / Graz

DI Dominik Matzler
holz.bau forschungs gmbh / Graz

Anmerkung zur 2. überarbeiteten Auflage

In einzelnen Beispielen der 1. Auflage der „IHBV Beispielsammlungen“ – insbesondere jenen des Kapitels IX „Holzbausysteme“ – waren Korrekturen und Ergänzungen erforderlich. Diese wurden in der 2. Auflage eingepflegt und liegen nun in überarbeiteter Form vor.

Februar 2023

DI Manfred Augustin, holz.bau forschungs gmbh / Graz
DI Dominik Matzler, holz.bau forschungs gmbh / Graz

INHALTSVERZEICHNIS

Kapitel

I GRUNDFÄLLE – NACHWEISE IM GRENZZUSTAND DER TRAGFÄHIGKEIT

I.1	Querschnittsnachweise	I.3 - I.11
I.2	Nachweise bei kombinierter Beanspruchung	I.12 - I.15
I.3	Bauteilnachweise (Stabilitätsnachweise)	I.16 - I.24

II GRUNDFÄLLE – NACHWEISE IM BRANDFALL

II.1	Nachweisführung für Bauteile aus Voll- und Brettschichtholz	II.3 - II.6
II.2	Nachweisführung für Bauteile aus Brettspertholz	II.7 - II.10

III GRUNDFÄLLE – NACHWEISE IM GRENZZUSTAND DER GEBRAUCHSTAUGLICHKEIT

III.1	Durchbiegung	III.3 - III.17
III.2	personeninduzierte Schwingungen von Wohnungsdecken	III.18 - III.22

IV VERBINDUNGEN

IV.1	zimmermannsmässige Verbindungen	IV.3 - IV.4
IV.2	ingenieurmässige Verbindungen	IV.5 - IV.25

V NACHWEISFÜHRUNG SPEZIELLER DETAILS

V.1	Ausklinkungen	V.3 - V.5
V.2	Queranschluss an einen Biegestab	V.6 - V.9
V.3	unverstärkter Rechteckdurchbruch	V.9 - V.12

VI SANIERUNGS-/VERSTÄRKUNGSMASSNAHMEN

VI.1	Verstärkung eines Auflagers	VI.3 - VI.4
VI.2	Verstärkung einer Ausklinkung	VI.5 - VI.7
VI.3	Verstärkung eines Queranschlusses	VI.7 - VI.8
VI.4	Verstärkung eines runden Durchbruches	VI.9 - VI.16

VII TRÄGER MIT ANGESCHNITTENEN UND GEKRÜMMTEN RÄNDERN

VII.1	Pulldachträger	VII.4 - VII.6
VII.2	Satteldachträger mit geradem Untergurt	VII.7 - VII.13
VII.3	gekrümmter Träger mit lose aufgesatteltem Firstkeil	VII.14 - VII.22

VIII HOLZBAUTEILE UND -KOMPONENTEN

VIII.1	nachgiebig verdübelter Balken aus Vollholz	VIII.3 - VIII.10
VIII.2	Holz-Beton-Verbund Deckenkonstruktion	VIII.11 - VIII.28

IX HOLZBAUSYSTEME

IX.1	Aussteifungsberechnung	IX.3 - IX.25
IX.2	Halle	IX.26 - IX.62

Literaturverzeichnis

L.3 - L.4

Anhang

A.3 - A.14



KAPITEL I

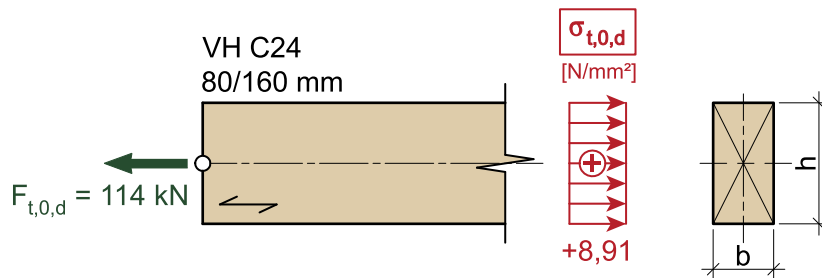
**GRUNDFÄLLE –
NACHWEISE IM GRENZZUSTAND
DER TRAGFÄHIGKEIT**

I.1	Querschnittsnachweise	I.3 - I.11
I.2	Nachweise bei kombinierter Beanspruchung	I.12 - I.15
I.3	Bauteilnachweise (Stabilitätsnachweise)	I.16 - I.24



I.1 QUERSCHNITTSNACHWEISE

I.1.1. ZUG IN FASERRICHTUNG



gegeben:

Schnittlast: $F_{t,0,d} = 114 \text{ kN}$
 Abmessungen: $b/h = 80/160 \text{ mm}$
 Material: VH C24
 Nutzungsklasse: NKL 2
 KLED: „kurz“

Baustoffkenngrößen

charakteristischer Wert der Zugfestigkeit: $f_{t,0,k} = 14,5 \text{ N/mm}^2$
 Modifikationsbeiwert: $k_{mod} = 0,90$
 Teilsicherheitsbeiwert: $\gamma_M = 1,30$

Tab. III.7

Tab. III.5

Tab. III.3

Bemessungswert der Zugfestigkeit

$$f_{t,0,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{14,5}{1,30} = 10,0 \text{ N/mm}^2$$

Tab. III.9

Querschnittswert

$$A = b \cdot h = 80,0 \cdot 160 = 1,28 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

Tab. A.3

Nachweisführung

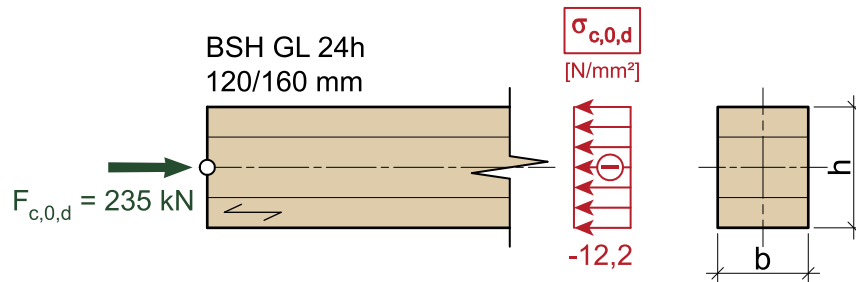
Normalspannung

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{F_{t,0,d}}{A} = \frac{114 \cdot 10^3}{1,28 \cdot 10^4} = 8,91 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} = \frac{8,91}{10,0} = 0,89 < 1$$

I.1.2. DRUCK IN FASERRICHTUNG (ohne Stabilitätsgefahr)



gegeben:

Schnittlast: $F_{c,0,d} = 235 \text{ kN}$
 Abmessungen: $b/h = 120/160 \text{ mm}$
 Material: BSH GL 24h
 Nutzungsklasse: NKL 1
 KLED: „mittel“

Baustoffkenngrößen

charakteristischer Wert der Druckfestigkeit:	$f_{c,0,g,k} = 24,0 \text{ N/mm}^2$	Tab. III.14
Modifikationsbeiwert:	$k_{mod} = 0,80$	Tab. III.5
Teilsicherheitsbeiwert:	$\gamma_M = 1,25$	Tab. III.3

Bemessungswert der Druckfestigkeit

$$f_{c,0,g,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,0,g,k}}{\gamma_M} = 0,80 \cdot \frac{24,0}{1,25} = 15,4 \text{ N/mm}^2$$

Tab. III.15

Querschnittswert

$$A = b \cdot h = 120 \cdot 160 = 1,92 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

Tab. A.3

Nachweisführung

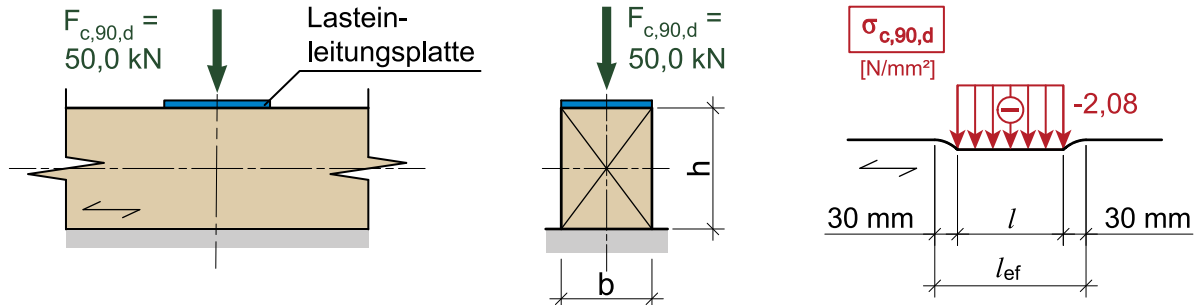
Normalspannung

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{F_{c,0,d}}{A} = \frac{235 \cdot 10^3}{1,92 \cdot 10^4} = 12,2 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,g,d}} = \frac{12,2}{15,4} = 0,79 < 1$$

I.1.3. DRUCK RECHTWINKLIG ZUR FASERRICHTUNG DES HOLZES



gegeben:

Schnittlast: $F_{c,90,d} = 50,0 \text{ kN}$
 Aufstandslänge: $l = 140 \text{ mm}$
 Abmessungen: $b/h = 120/160 \text{ mm}$
 Material: VH C24
 Nutzungsklasse: NKL 2
 KLED: „kurz/sehr kurz“

Baustoffkenngrößen

charakteristischer Wert der Querdrukfestigkeit: $f_{c,90,k} = 2,50 \text{ N/mm}^2$
 Modifikationsbeiwert: $k_{mod} = 1,00$
 Teilsicherheitsbeiwert: $\gamma_M = 1,30$

Tab. III.7

Tab. III.5

Tab. III.3

Bemessungswert der Querdrukfestigkeit

$$f_{c,90,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,90,k}}{\gamma_M} = 1,00 \cdot \frac{2,50}{1,30} = 1,92 \text{ N/mm}^2$$

Tab. III.9

Querschnittswert

zweiseitiger Einhängeeffekt

$$A_{ef} = b \cdot l_{ef} = b \cdot (l + 2 \cdot 30 \text{ mm}) = 120 \cdot (140 + 2 \cdot 30) = 2,40 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

Nachweisführung

Querdrukspannung

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,90,d}}{A_{ef}} = \frac{50,0 \cdot 10^3}{2,40 \cdot 10^4} = 2,08 \text{ N/mm}^2$$

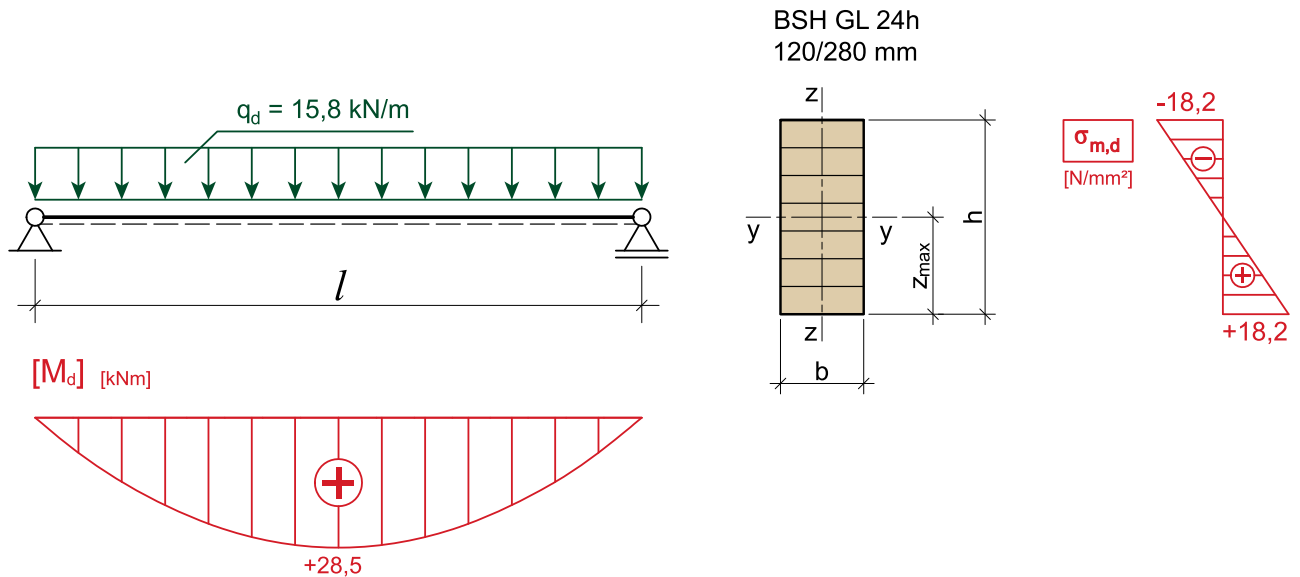
Nachweis

$k_{c,90}$ -Beiwert für VH aus Nadelholz bei kontinuierlicher Unterstützung mit $l_1 \geq 2 \cdot h$ (mit l_1 als Abstand allfälliger weiterer Krafteinleitungen; siehe [1], Bild 6.2):

→ $k_{c,90} = 1,25$

$$\frac{\sigma_{c,90,d}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} = \frac{2,08}{1,25 \cdot 1,92} = 0,87 < 1$$

I.1.4. BIEGUNG



gegeben:

Streckenlast: $q_d = 15,8 \text{ kN/m}$
 Spannweite: $l = 3,80 \text{ m}$
 Abmessungen: $b/h = 120/280 \text{ mm}$
 Material: BSH GL 24h
 Nutzungsklasse: NKL 1
 KLED: „kurz“

Schnittgrößen

Moment in Feldmitte

$$M_d = \frac{q_d \cdot l^2}{8} = \frac{15,8 \cdot 3,80^2}{8} = 28,5 \text{ kNm}$$

Baustoffkenngrößen

charakteristischer Wert der Biegefestigkeit:	$f_{m,g,k} = 24,0 \text{ N/mm}^2$	Tab. III.18
Modifikationsbeiwert:	$k_{mod} = 0,90$	Tab. III.5
Teilsicherheitsbeiwert:	$\gamma_M = 1,25$	Tab. III.3

Bemessungswert der Biegefestigkeit

$$f_{m,g,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,g,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{24,0}{1,25} = 17,3 \text{ N/mm}^2$$

Tab. III.19

Querschnittswert

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{120 \cdot 280^2}{6} = 1,57 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

Tab. A.3

Nachweisführung

Biegespannung

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_d}{W} = \frac{28,5 \cdot 10^6}{1,57 \cdot 10^6} = 18,2 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,g,d}} = \frac{18,2}{17,3} = 1,05 > 1$$

Nachweis nicht erfüllt!

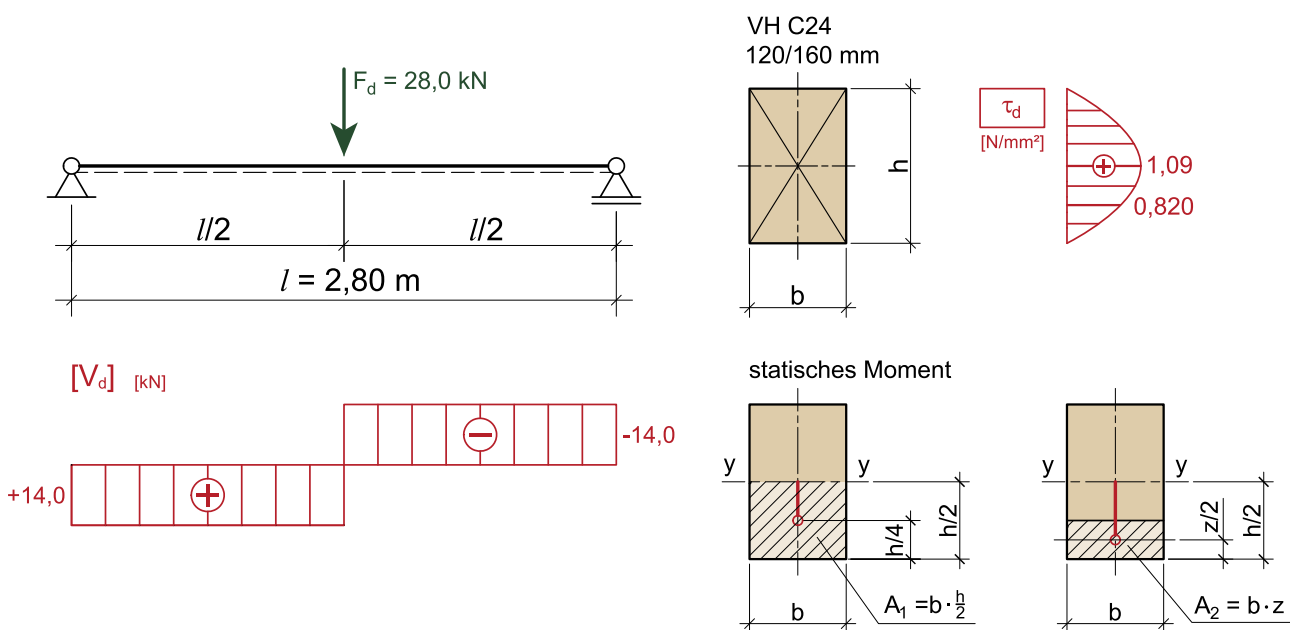
Nachweisführung mit Berücksichtigung des Höheneffektes

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{600}{h} \right)^{0,1} = \min \left\{ \left(\frac{600}{280} \right)^{0,1} = 1,08 = 1,08 \right. \right.$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_h \cdot f_{m,g,d}} = \frac{18,2}{1,08 \cdot 17,3} = 0,97 < 1$$

I.1.5. SCHUB



gegeben:

Einzellast: $F_d = 28,0 \text{ kN}$
 Spannweite: $l = 2,80 \text{ m}$
 Abmessungen: $b/h = 120/160 \text{ mm}$
 Material: VH C24
 Nutzungsklasse: NKL 2
 KLED: „lang“

Schnittgrößen

Querkraft am Auflager

$$V_d = \frac{F_d}{2} = \frac{28,0}{2} = 14,0 \text{ kN}$$

Baustoffkenngrößen

charakteristischer Wert der Schubfestigkeit: $f_{v,k} = 2,30 \text{ N/mm}^2$
 Modifikationsbeiwert: $k_{mod} = 0,70$
 Teilsicherheitsbeiwert: $\gamma_M = 1,30$

Tab. III.7

Tab. III.5

Tab. III.3

Bemessungswert der Schubfestigkeit

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,70 \cdot \frac{2,30}{1,30} = 1,24 \text{ N/mm}^2$$

Tab. III.9

Querkraft am Auflager

$$A = b \cdot h = 120 \cdot 160 = 1,92 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

Tab.A.3

Nachweisführung

Berechnung der Schubspannung mit der „Dübelformel“

$$\tau_d = \frac{V_d \cdot S}{I \cdot b} \quad \text{mit} \quad S = b \cdot \frac{h}{2} \cdot \left(\frac{h}{2} - \frac{h}{4} \right) = 120 \cdot \frac{160}{2} \cdot \left(\frac{160}{2} - \frac{160}{4} \right) = 3,84 \cdot 10^5 \text{ mm}^3 \quad \text{und} \quad I = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{120 \cdot 160^3}{12} = 4,10 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$\tau_d = \frac{V_d \cdot S}{I \cdot b} = \frac{14,0 \cdot 10^3 \cdot 3,84 \cdot 10^5}{4,10 \cdot 10^7 \cdot 120} = 1,09 \text{ N/mm}^2$$

bzw. für einen Rechteckquerschnitt

$$\tau_d = 1,5 \cdot \frac{V_d}{A} = 1,5 \cdot \frac{14,0 \cdot 10^3}{1,92 \cdot 10^4} = 1,09 \text{ kN/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{1,09}{1,24} = 0,88 < 1$$

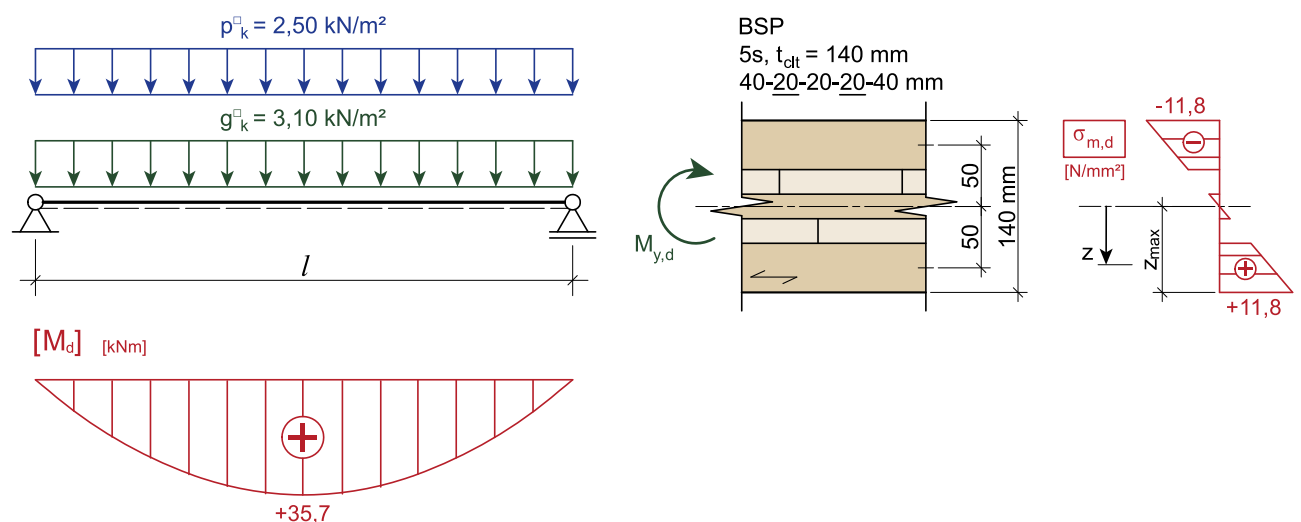
Ergänzung

Schubspannung in der Höhe $z = 40,0 \text{ mm}$ von der Unterkante

$$S_2 = b \cdot z_2 \cdot \left(\frac{h}{2} - \frac{z_2}{2} \right) = 120 \cdot 40,0 \cdot \left(\frac{160}{2} - \frac{40}{2} \right) = 2,88 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

$$\tau_{2,d} = \frac{V_d \cdot S_2}{I \cdot b} = \frac{14,0 \cdot 10^3 \cdot 2,88 \cdot 10^5}{4,10 \cdot 10^7 \cdot 120} = 0,820 \text{ N/mm}^2$$

I.1.6. BIEGUNG BRETTSPERRHOLZ



gegeben:

- Einwirkung: charakt. Wert der ständigen Einwirkung (inkl. Eigengewicht BSP)
charakt. Wert der veränderlichen Einwirkung
- Spannweite: $l = 6,00 \text{ m}$
- Aufbau: 5-schichtig (40-20-20-20-40 mm), $t_{clt} = 140 \text{ mm}$
- Material: BSP aus Grundmaterial C24 nach EN 338 (mit $k_{sys} = 1,20$)
- Nutzungsklasse: NKL 1
- KLED: „mittel“

$$g_k = 3,10 \text{ kN/m}^2$$

$$p_k = 2,50 \text{ kN/m}^2$$

Anmerkungen:

- Es wird davon ausgegangen, dass das BSP-Element so breit ist, dass mind. 8 Brettlamellen parallel wirken. Damit ergibt sich ein Faktor zur Berücksichtigung des Systemeffektes von $k_{\text{sys}} = 1,20$ ([1], Abschnitt 6.6).
- Die Querlagen tragen aufgrund des großen Verhältnisses $E_{0,\text{mean}} / E_{90,\text{mean}} \approx 30$ nur geringfügig zur Biegesteifigkeit bei. Außerdem besteht die Möglichkeit, dass in den Querlagen Schwindrisse auftreten. Daher wird der E-Modul der Querlage mit $E_{90,\text{mean}} = 0 \text{ N/mm}^2$ berücksichtigt.

Einwirkungskombination für einen Plattenstreifen mit der Breite $b = 1,00 \text{ m}$

$$q_d = (\gamma_G \cdot g_k + \gamma_Q \cdot p_k) \cdot b = (1,35 \cdot 3,10 + 1,50 \cdot 2,50) \cdot 1,00 = 7,94 \text{ kN/m}$$

Schnittgrößen für einen Plattenstreifen mit der Breite $b = 1,00 \text{ m}$

Moment in Feldmitte

$$M_d = \frac{q_d \cdot l^2}{8} = \frac{7,94 \cdot 6,00^2}{8} = 35,7 \text{ kNm}$$

Baustoffkenngrößen nach ÖNORM B 1995-1-1, Anhang K

charakteristischer Wert der Biegefestigkeit:	$f_{m,\text{lay},k} = k_{\text{sys}} \cdot f_{m,k} = 28,8 \text{ N/mm}^2$	Tab. III.22
E-Modul in Faserrichtung:	$E_{0,\text{lay},\text{mean}} = 11.500 \text{ N/mm}^2$	Tab. III.22
Modifikationsbeiwert:	$k_{\text{mod}} = 0,80$	Tab. III.5
Teilsicherheitsbeiwert:	$\gamma_M = 1,25$	Tab. III.3

Bemessungswert

$$f_{m,\text{lay},d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{m,\text{lay},k}}{\gamma_M} = 0,80 \cdot \frac{28,8}{1,25} = 18,4 \text{ N/mm}^2$$

Variante A: Berechnung der Rand-Normalspannung über die Biegesteifigkeit K_{clt}

Berechnung der Biegesteifigkeit K_{clt} des 5-schichtigen Querschnitts für einen Plattenstreifen mit der Breite $b = 1,00 \text{ m}$

$$K_{\text{clt}} = \sum (E_i \cdot I_i) + \sum (E_i \cdot A_i \cdot e_{z,i}^2) = \left(11.500 \cdot 2 \cdot 1.000 \cdot \frac{40,0^3}{12} + 11.500 \cdot 1.000 \cdot \frac{20,0^3}{12} \right) + (11.500 \cdot 2 \cdot 1.000 \cdot 40,0 \cdot 50,0^2) = 2,43 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

Normalspannung

$$\sigma_{m,\text{lay},d} = \frac{M_d}{K_{\text{CLT}}} \cdot E_i \cdot z_i = \frac{35,7 \cdot 10^6}{2,43 \cdot 10^{12}} \cdot 11.500 \cdot 70,0 = 11,8 \text{ N/mm}^2$$

Variante B: Berechnung der Rand-Normalspannung mit Hilfe der Querschnittstabellen für Brettsperrholz

$$W_{\text{clt},y} = 3,02 \cdot 10^6 \text{ mm}^3 \quad (\text{gültig für BSP mit gleichem E-Modul in allen Längslagen}) \quad \text{Tab. A.6}$$

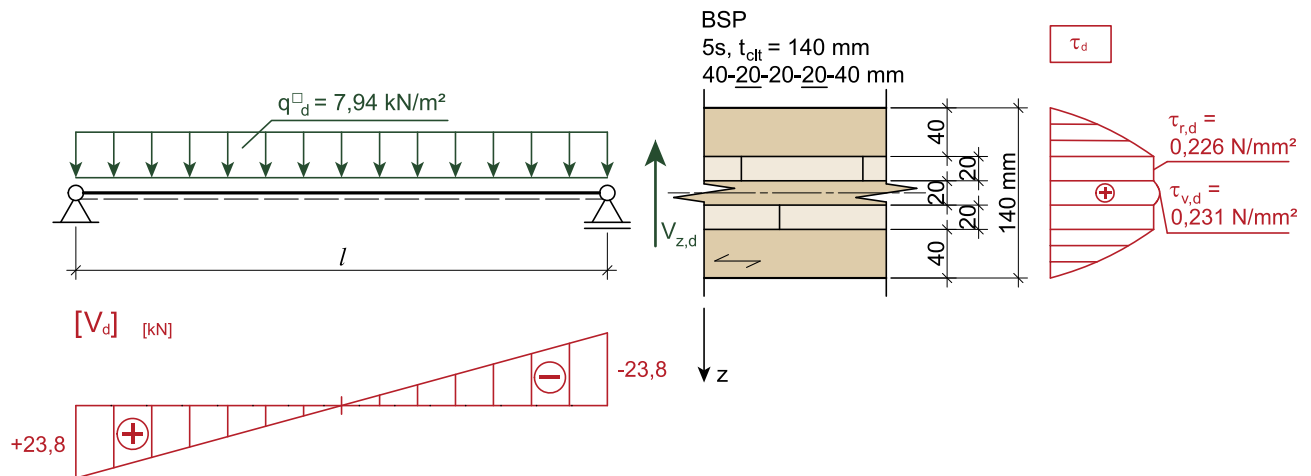
Normalspannung

$$\sigma_{m,\text{lay},d} = \frac{M_d}{W_{\text{clt},y}} = \frac{35,7 \cdot 10^6}{3,02 \cdot 10^6} = 11,8 \text{ N/mm}^2$$

Nachweisführung

$$\frac{\sigma_{m,\text{lay},d}}{f_{m,\text{lay},d}} = \frac{11,8}{18,4} = 0,64 < 1$$

I.1.7. SCHUB BRETTSPERRHOLZ



gegeben:

Einwirkung: $q_d = 7,94 \text{ kN/m}^2$
 Spannweite: $l = 6,00 \text{ m}$
 Aufbau: 5-schichtig (40-20-20-20-40 mm), $t_{clt} = 140 \text{ mm}$
 Material: BSP aus Grundmaterial C24 nach EN 338, $b_i / t_i > 4$
 Nutzungsklasse: NKL 1
 KLED: „mittel“

Schnittgrößen

Querkraft am Auflager für einen Plattenstreifen mit der Breite $b = 1,00 \text{ m}$

$$V_d = \frac{q_d \cdot l}{2} \cdot b = \frac{7,94 \cdot 6,00}{2} \cdot 1,00 = 23,8 \text{ kN}$$

Baustoffkenngrößen nach ÖNORM B 1995-1-1, Anhang K

charakteristischer Wert der Schubfestigkeit:	$f_{v,lay,k} = 2,30 \text{ N/mm}^2$	Tab. III.22
charakteristischer Wert der Rollschubfestigkeit:	$f_{r,lay,k} = 1,00 \text{ N/mm}^2$	Tab. III.22
E-Modul in Faserrichtung:	$E_{0,lay,mean} = 11.500 \text{ N/mm}^2$	Tab. III.22
Modifikationsbeiwert:	$k_{mod} = 0,80$	Tab. III.5
Teilsicherheitsbeiwert:	$\gamma_M = 1,25$	Tab. III.3

Bemessungswerte

$$f_{v,lay,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,lay,k}}{\gamma_M} = 0,80 \cdot \frac{2,30}{1,25} = 1,47 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Tab. III.22}$$

$$f_{r,lay,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{r,lay,k}}{\gamma_M} = 0,80 \cdot \frac{1,00}{1,25} = 0,640 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Tab. III.22}$$

Variante A: Nachweis der Schubspannungen mit den Gleichungen der technischen Mechanik („Dübelformel“)

Nachweis

$$\tau_d = \frac{V_d}{K_{clt} \cdot b} \cdot \sum (E_i \cdot S_i)$$

- Biegesteifigkeit K_{clt} für einen Plattenstreifen mit der Breite $b = 1,00 \text{ m}$

$$K_{\text{clt}} = \sum (E_i \cdot I_i) + \sum (E_i \cdot A_i \cdot e_{z,i}^2) =$$

$$= \left(11.500 \cdot 2 \cdot 1.000 \cdot \frac{40,0^3}{12} + 11.500 \cdot 1.000 \cdot \frac{20,0^3}{12} \right) + (11.500 \cdot 2 \cdot 1.000 \cdot 40,0 \cdot 50,0^2) = 2,43 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

Ermittlung der Schubspannung

- statisches Moment

$$\sum (E_i \cdot S_i) = 11.500 \cdot 1.000 \cdot 40,0 \cdot 50,0 + 0 \cdot 1.000 \cdot 20,0 \cdot 20,0 + 11.500 \cdot 1.000 \cdot 10,0 \cdot 5,00 = 2,36 \cdot 10^{10} \text{ Nmm}$$

- Schubspannung (im Schwerpunkt)

$$\tau_{v,\text{lay,d}} = \frac{V_d}{K_{\text{clt}} \cdot b} \cdot \sum (E_i \cdot S_i) = \frac{23,8 \cdot 10^3}{2,43 \cdot 10^{12} \cdot 1.000} \cdot 2,36 \cdot 10^{10} = 0,231 \text{ N/mm}^2$$

Ermittlung der Rollschubspannung

- statisches Moment

$$\sum (E_i \cdot S_i) = 11.500 \cdot 1.000 \cdot 40,0 \cdot 50,0 = 2,30 \cdot 10^{10} \text{ Nmm}$$

- Rollschubspannung (in der ersten Querlage)

$$\tau_{r,\text{lay,d}} = \frac{V_d}{K_{\text{clt}} \cdot b} \cdot \sum (E_i \cdot S_i) = \frac{23,8 \cdot 10^3}{2,43 \cdot 10^{12} \cdot 1.000} \cdot 2,30 \cdot 10^{10} = 0,225 \text{ N/mm}^2$$

Variante B: Berechnung der Schubspannungen mit Hilfe von Querschnittstabellen für Brettspertholz

Schubspannung

mit den Querschnittswerten $S_2 = 205 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$ und $I_y = 2,11 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$

Tab. A.6

$$\tau_{v,\text{lay,d}} = \frac{V_d \cdot S_2}{I_y \cdot b} = \frac{23,8 \cdot 10^3 \cdot 205 \cdot 10^4}{2,11 \cdot 10^8 \cdot 1.000} = 0,231 \text{ N/mm}^2$$

Rollschubspannung

mit den Querschnittswerten $S_1 = 200 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$ und $I_y = 2,11 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$

Tab. A.6

$$\tau_{r,\text{lay,d}} = \frac{V_d \cdot S_1}{I_y \cdot b} = \frac{23,8 \cdot 10^3 \cdot 200 \cdot 10^4}{2,11 \cdot 10^8 \cdot 1.000} = 0,226 \text{ N/mm}^2$$

Nachweisführung

Schubspannung

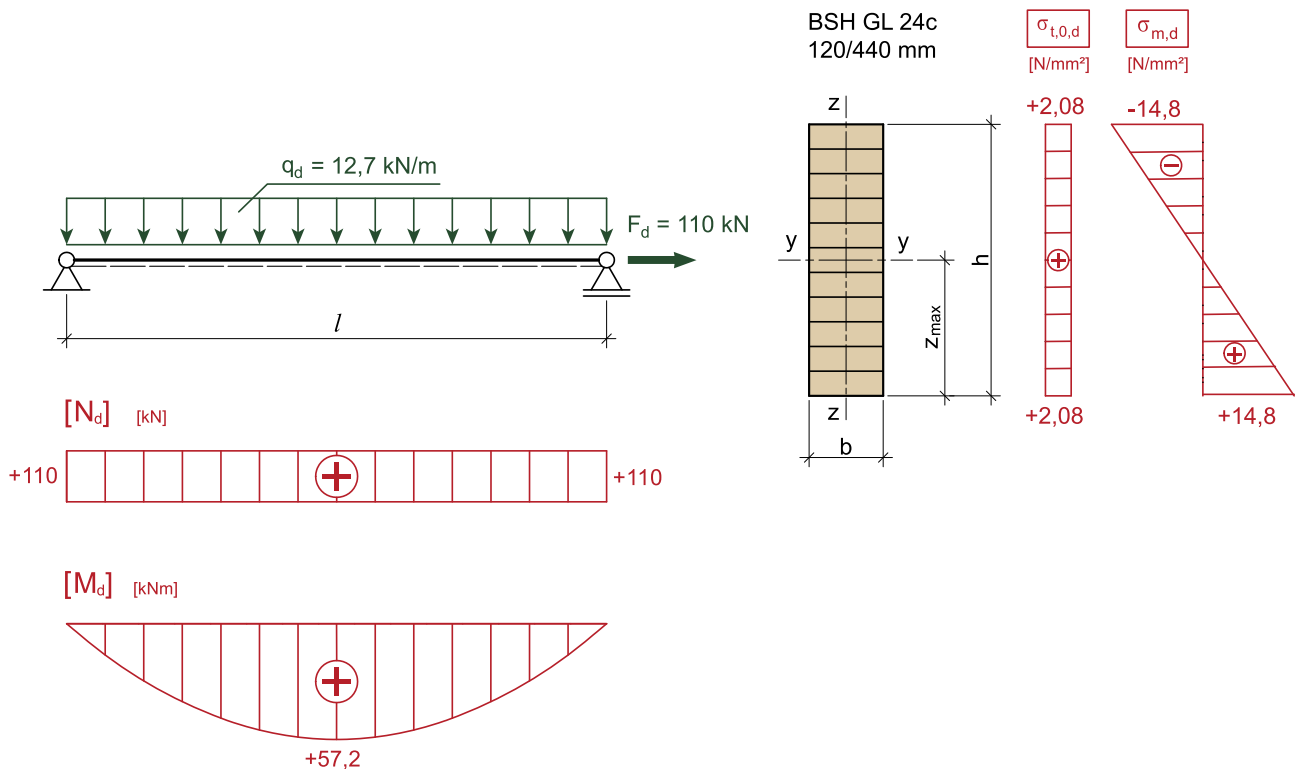
$$\frac{\tau_{v,\text{lay,d}}}{f_{v,\text{lay,d}}} = \frac{0,231}{1,47} = 0,16 < 1$$

Rollschubspannung

$$\frac{\tau_{r,\text{lay,d}}}{f_{r,\text{lay,d}}} = \frac{0,226}{0,640} = 0,35 < 1$$

I.2 NACHWEISE BEI KOMBINIRTER BEANSPRUCHUNG

I.2.1. BIEGUNG MIT LÄNGSKRAFT (ZUG)



gegeben:

Einwirkungen: $q_d = 12,7 \text{ kN/m}$; $F_d = 110 \text{ kN}$
 Spannweite: $l = 6,00 \text{ m}$
 Abmessungen: b/h 120/440 mm
 Material: BSH GL 24c
 Nutzungsklasse: NKL 2
 KLED: „kurz/sehr kurz“

Schnittgrößen

Zugkraft

$$F_d = 110 \text{ kN}$$

Moment in Feldmitte

$$M_d = \frac{q_d \cdot l^2}{8} = \frac{12,7 \cdot 6,00^2}{8} = 57,2 \text{ kNm}$$

Baustoffkenngrößen

charakteristischer Wert der Zugfestigkeit: $f_{t,0,g,k} = 17,0 \text{ N/mm}^2$
 charakteristischer Wert der Biegefestigkeit: $f_{m,g,k} = 24,0 \text{ N/mm}^2$
 Modifikationsbeiwert: $k_{\text{mod}} = 1,00$
 Teilsicherheitsbeiwert: $\gamma_M = 1,25$

Tab. III.19

Tab. III.19

Tab. III.5

Tab. III.3

Bemessungswerte

$$f_{t,0,g,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{t,0,g,k}}{\gamma_M} = 1,00 \cdot \frac{17,0}{1,25} = 13,6 \text{ N/mm}^2$$

Tab. III.19

$$f_{m,g,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{m,g,k}}{\gamma_M} = 1,00 \cdot \frac{24,0}{1,25} = 19,2 \text{ N/mm}^2$$

Tab. III.10

Querschnittswerte

$$A = b \cdot h = 120 \cdot 440 = 5,28 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

Tab. A.3

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{120 \cdot 440^2}{6} = 3,87 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

Tab. A.3

Nachweisführung

Zugspannung

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{F_d}{A} = \frac{110 \cdot 10^3}{5,28 \cdot 10^4} = 2,08 \text{ N/mm}^2$$

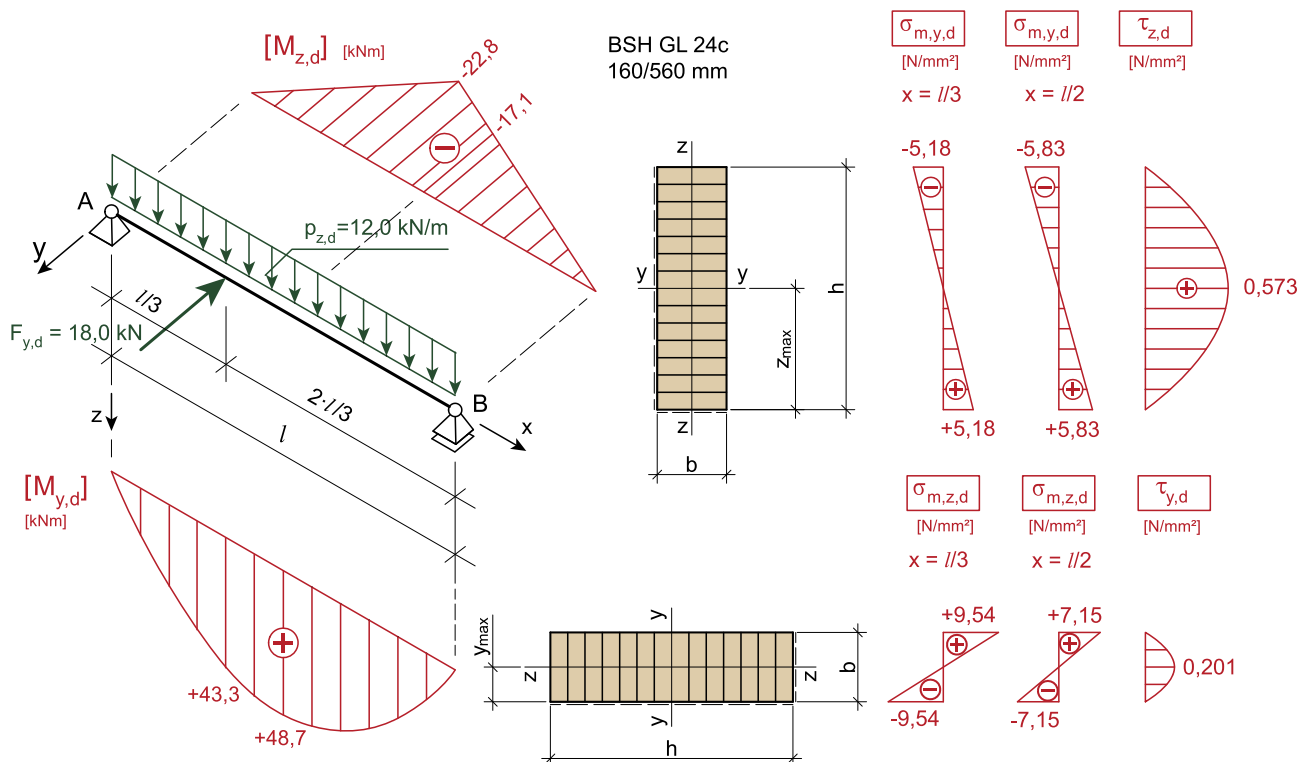
Biegespannung

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_d}{W} = \frac{57,2 \cdot 10^6}{3,87 \cdot 10^6} = 14,8 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,g,d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,g,d}} = \frac{2,08}{13,6} + \frac{14,8}{19,2} = 0,15 + 0,77 = 0,92 < 1$$

I.2.2. BIEGUNG UM DIE Y- UND DIE Z-ACHSE („DOPPELTE“ BIEGUNG)



gegeben:

Einwirkungen: $q_{z,d} = 12,0 \text{ kN/m}$; $F_{y,d} = 18,0 \text{ kN}$
 Spannweite: $l = 5,70 \text{ m}$
 Abmessungen: $b/h = 160/560 \text{ mm}$
 Material: BSH GL 24c
 Nutzungsklasse: NKL 1
 KLED: „mittel“

Schnittgrößen

- in z-Richtung bzw. um die starke Achse y-y

$$A_{z,d} = B_{z,d} = \max V_{z,d} = \frac{q_{z,d} \cdot l}{2} = \frac{12,0 \cdot 5,70}{2} = 34,2 \text{ kN}$$

$$M_{y,d}(x = l/3) = A_{z,d} \cdot x - \frac{p_{z,d} \cdot x^2}{2} = 34,2 \cdot 1,90 - \frac{12,0 \cdot 1,90^2}{2} = 43,3 \text{ kNm}$$

$$M_{y,d}(x = l/2) = \frac{p_{z,d} \cdot l^2}{8} = \frac{12,0 \cdot 5,70^2}{8} = 48,7 \text{ kN}$$

- in y-Richtung bzw. um die schwache Achse z-z

$$A_{y,d} = \max V_{y,d} = \frac{1}{l} \cdot \left[-F_{y,d} \cdot \left(l - \frac{l}{3} \right) \right] = \frac{1}{5,70} \cdot \left[-18,0 \cdot \left(5,70 - \frac{5,70}{3} \right) \right] = -12,0 \text{ kN}$$

$$B_{y,d} = \frac{1}{l} \cdot \left(-F_{y,d} \cdot \frac{l}{3} \right) = \frac{1}{5,70} \cdot \left(-18,0 \cdot \frac{5,70}{3} \right) = -6,00 \text{ kN}$$

$$M_{z,d}(x = l/3) = A_{y,d} \cdot \frac{l}{3} = -12,0 \cdot \frac{5,70}{3} = -22,8 \text{ kNm}$$

$$M_{z,d}(x = l/2) = B_{y,d} \cdot \frac{l}{2} = -6,00 \cdot \frac{5,70}{2} = -17,1 \text{ kNm}$$

Baustoffkenngrößen

charakteristischer Wert der Biegefestigkeit:	$f_{m,g,k} = 24,0 \text{ N/mm}^2$	Tab. III.19
charakteristischer Wert der Schubfestigkeit:	$f_{v,g,k} = 2,50 \text{ N/mm}^2$	Tab. III.19
Modifikationsbeiwert:	$k_{\text{mod}} = 0,80$	Tab. III.5
Teilsicherheitsbeiwert:	$\gamma_M = 1,25$	Tab. III.3

Bemessungswerte

$$f_{m,g,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{m,g,k}}{\gamma_M} = 0,80 \cdot \frac{24,0}{1,25} = 15,4 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Tab. III.19}$$

$$f_{v,g,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{v,g,k}}{\gamma_M} = 0,80 \cdot \frac{2,50}{1,25} = 1,60 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Tab. III.19}$$

Querschnittswerte

$$A = b \cdot h = 160 \cdot 560 = 8,96 \cdot 10^4 \text{ mm}^2 \quad \text{Tab. A.3}$$

$$W_y = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{160 \cdot 560^2}{6} = 8,36 \cdot 10^6 \text{ mm}^3 \quad \text{Tab. A.3}$$

$$W_z = \frac{b^2 \cdot h}{6} = \frac{160^2 \cdot 560}{6} = 2,39 \cdot 10^6 \text{ mm}^3 \quad \text{Tab. A.3}$$

Nachweisführung

Biegespannungen

- an der Stelle $x = l/3$

$$\sigma_{m,y,d}(x=l/3) = \frac{M_{y,d}(x=l/3)}{W_y} = \frac{43,3 \cdot 10^6}{8,36 \cdot 10^6} = 5,18 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,z,d}(x=l/3) = \frac{|M_{z,d}(x=l/3)|}{W_z} = \frac{|-22,8 \cdot 10^6|}{2,39 \cdot 10^6} = 9,54 \text{ N/mm}^2$$

- an der Stelle $x = l/2$

$$\sigma_{m,y,d}(x=l/2) = \frac{M_{y,d}(x=l/2)}{W_y} = \frac{48,7 \cdot 10^6}{8,36 \cdot 10^6} = 5,83 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,z,d}(x=l/2) = \frac{|M_{z,d}(x=l/2)|}{W_z} = \frac{|-17,1 \cdot 10^6|}{2,39 \cdot 10^6} = 7,15 \text{ N/mm}^2$$

Schubspannungen

- beim Auflager A

$$\tau_{z,d} = 1,5 \cdot \frac{V_{z,d}}{A} = 1,50 \cdot \frac{34,2 \cdot 10^3}{8,96 \cdot 10^4} = 0,573 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{y,d} = 1,5 \cdot \frac{|V_{y,d}|}{A} = 1,5 \cdot \frac{|-12,0 \cdot 10^3|}{8,96 \cdot 10^4} = 0,201 \text{ N/mm}^2$$

Nachweisführung

Biegenachweis

- an der Stelle $x = l/3$

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,g,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,g,d}} = \frac{5,18}{15,4} + 0,7 \cdot \frac{9,54}{15,4} = 0,336 + 0,7 \cdot 0,619 = 0,77 < 1$$

$$k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,g,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,g,d}} = 0,7 \cdot \frac{5,18}{15,4} + \frac{9,54}{15,4} = 0,7 \cdot 0,336 + 0,619 = 0,85 < 1$$

- an der Stelle $x = l/2$

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,g,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,g,d}} = \frac{5,83}{15,4} + 0,7 \cdot \frac{7,15}{15,4} = 0,379 + 0,7 \cdot 0,464 = 0,70 < 1$$

$$k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,g,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,g,d}} = 0,7 \cdot \frac{5,83}{15,4} + \frac{7,15}{15,4} = 0,7 \cdot 0,379 + 0,464 = 0,73 < 1$$

Schubnachweis

- beim Auflager A

$$\left(\frac{\tau_{z,d}}{f_{v,g,d}} \right)^2 + \left(\frac{\tau_{y,d}}{f_{v,g,d}} \right)^2 = \left(\frac{0,573}{1,60} \right)^2 + \left(\frac{0,201}{1,60} \right)^2 = 0,128 + 0,0158 = 0,14 < 1$$

Bemessungswerte

$$f_{c,0,g,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{c,0,g,k}}{\gamma_M} = 0,80 \cdot \frac{24,0}{1,25} = 15,4 \text{ N/mm}^2$$

Tab. III.15

$$E_{0,g,05} = \frac{5}{6} \cdot E_{0,g,\text{mean}} = \frac{5}{6} \cdot 11.500 = 9.583 \text{ N/mm}^2 \approx 9.600 \text{ N/mm}^2$$

Tab. III.15

Querschnittswert

$$A = b \cdot h = 140 \cdot 240 = 3,36 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

Tab. A.3

Berechnung Schlankheitsgrade

$$\lambda_y = \frac{l_{k,y}}{i_y} = \frac{l_{k,y}}{0,289 \cdot h} = \frac{8.000}{0,289 \cdot 240} = 115 \rightarrow \text{maßgebend}$$

$$\lambda_z = \frac{l_{k,z}}{i_z} = \frac{l_{k,z}}{0,289 \cdot b} = \frac{4.000}{0,289 \cdot 140} = 98,9$$

Variante A: Knicknachweis mit den Gleichungen aus EN 1995-1-1:2019 [1]

Für den Knicknachweis ist die größere Schlankheit maßgebend. Folglich ist der Nachweis im vorliegenden Fall um die Achse y-y zu führen.

mit dem Imperfektionsbeiwert für BSH: $\beta_c = 0,1$

$$\lambda_{\text{rel},y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,g,k}}{E_{0,g,05}}} = \frac{115}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24,0}{9.600}} = 1,83$$

$$k_y = 0,5 \cdot \left[1 + \beta_c \cdot (\lambda_{\text{rel},y} - 0,3) + \lambda_{\text{rel},y}^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,1 \cdot (1,83 - 0,3) + 1,83^2 \right] = 2,25$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{\text{rel},y}^2}} = \frac{1}{2,25 + \sqrt{2,25^2 - 1,83^2}} = 0,281$$

Variante B: Knicknachweis unter Verwendung des Tabellenwerkes

mit der geometrischen Schlankheit: $\lambda_y = 115 \rightarrow k_c = 0,281$

Tab. IV.47

Nachweisführung

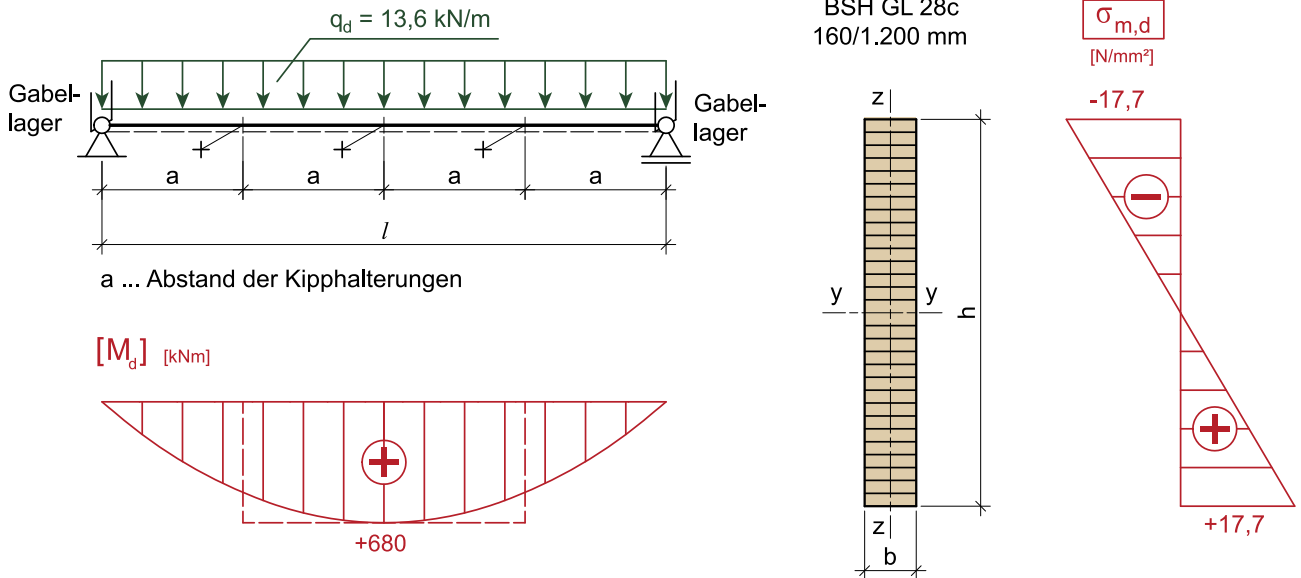
Normalspannung

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{114 \cdot 10^3}{3,36 \cdot 10^4} = 3,39 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,g,d}} = \frac{3,39}{0,281 \cdot 15,4} = 0,78 < 1$$

I.3.2. BIEGEDRILLKNICKEN VON BIEGESTÄBEN („KIPPEN“)



gegeben:

Streckenlast:	$q_d = 13,6 \text{ kN/m}$
Spannweite:	$l = 20,0 \text{ m}$
Abstand Kipphalterungen:	$a = 5,00 \text{ m}$
Abmessungen:	$b/h = 160/1.200 \text{ mm}$
Material:	BSH GL 28c
Nutzungs-kategorie:	NKL 2
KLED:	„kurz“

Schnittgrößen

$$M_d = \frac{q_d \cdot l^2}{8} = \frac{13,6 \cdot 20,0^2}{8} = 680 \text{ kNm}$$

Baustoffkenngrößen

charakteristischer Wert der Biegefestigkeit:	$f_{m,g,k} = 28,0 \text{ N/mm}^2$	Tab. III.18
E-Modul in Faserrichtung:	$E_{0,g,mean} = 12.500 \text{ N/mm}^2$	Tab. III.18
Modifikationsbeiwert:	$k_{mod} = 0,90$	Tab. III.5
Teilsicherheitsbeiwert:	$\gamma_M = 1,25$	Tab. III.3

Bemessungswerte

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,g,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{28,0}{1,25} = 20,2 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Tab. III.20}$$

$$E_{0,g,05} = \frac{5}{6} \cdot E_{0,g,mean} = \frac{5}{6} \cdot 12.500 = 10.417 \text{ N/mm}^2 \approx 10.400 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Tab. III.20}$$

Querschnittswert

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{160 \cdot 1.200^2}{6} = 3,84 \cdot 10^7 \text{ mm}^3 \quad \text{Tab. A.3}$$

Variante A: Kippnachweis mit den Gleichungen aus ÖNORM EN 1995-1-1:2019 [1]

kritische Kippspannung

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{l_{ef} \cdot h} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 160^2}{\approx 0,9 \cdot 5.000 \cdot 1.200} \cdot 10.400 = 38,5 \text{ N/mm}^2$$

Anmerkung:

Es wird das kritische Feld in Feldmitte betrachtet. Weiters wird angenommen, dass dort ein näherungsweise konstantes Moment auftritt. Die Abweichung der quadratischen Spannungslinie von einem konstanten Momentenwert wird näherungsweise mit dem Faktor 0,9 berücksichtigt (siehe ÖNORM EN 1995-1-1:2019, Tab. 6.1 [1]).

relative Kippschlankheit

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,g,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{28,0}{38,5}} = 0,853$$

Kippbeiwert (für $0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4$)

$$k_{crit} = 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m} = 1,56 - 0,75 \cdot 0,853 = 0,920$$

Normalspannung

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_d}{W} = \frac{680 \cdot 10^6}{3,84 \cdot 10^7} = 17,7 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,g,d}} = \frac{17,7}{0,920 \cdot 20,2} = 0,95 < 1$$

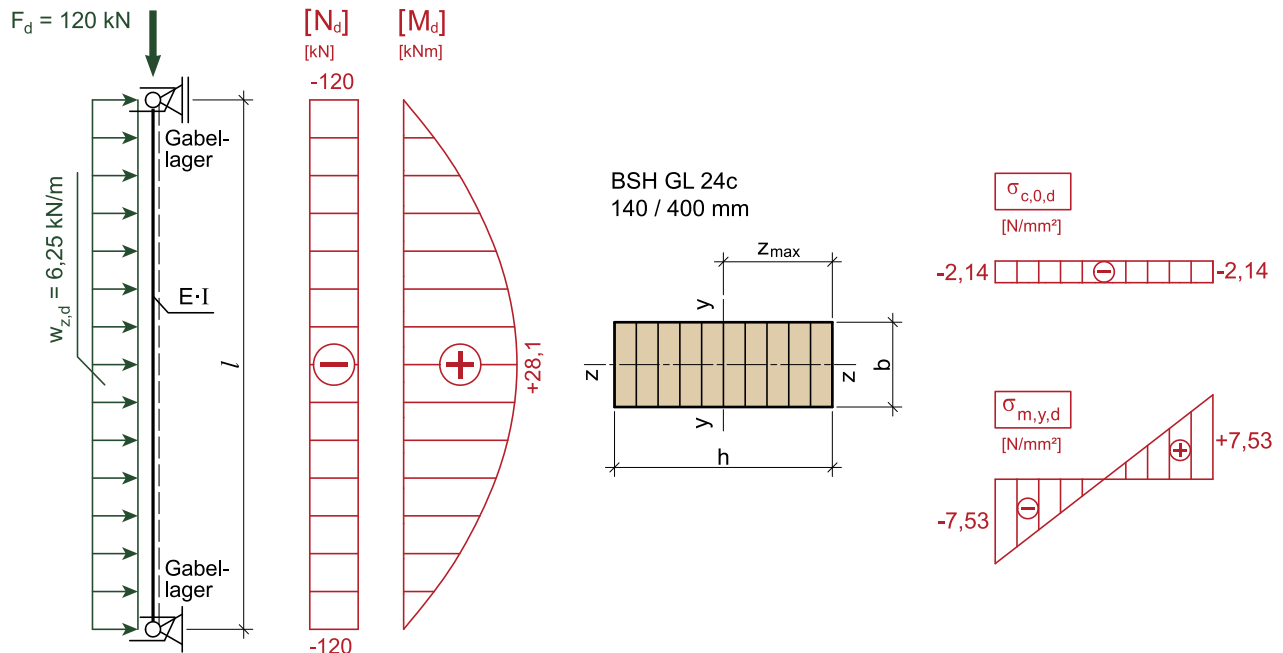
Variante B: Kippnachweis unter Verwendung des Tabellenwerkes

$$\frac{l_{ef} \cdot h}{b^2} = \frac{\approx 0,9 \cdot 5.000 \cdot 1.200}{160^2} = 211 \rightarrow k_{crit} = 0,946 \text{ (interpoliert)}$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,g,d}} = \frac{17,7}{0,946 \cdot 20,2} = 0,93 < 1$$

I.3.3. KNICKEN MIT BIEGUNG UM DIE STARKE AHSE



gegeben:

Einwirkungen: $w_{z,d} = 6,25 \text{ kN/m}$; $N_d = 120 \text{ kN}$
 Spannweite: $l_{k,y} = l_{k,z} = 6,00 \text{ m}$
 Abmessungen: $b/h = 140/400 \text{ mm}$
 Material: BSH GL 24c
 Nutzungsklasse: NKL 2
 KLED: „kurz/sehr kurz“

Schnittgrößen

$$N_d = 120 \text{ kN}$$

$$M_{y,d} = \frac{w_{z,d} \cdot l^2}{8} = \frac{6,25 \cdot 6,00^2}{8} = 28,1 \text{ kNm}$$

Baustoffkenngrößen

charakteristischer Wert der Druckfestigkeit:	$f_{c,0,g,k} = 21,5 \text{ N/mm}^2$	Tab. III.18
charakteristischer Wert der Biegefestigkeit:	$f_{m,g,k} = 24,0 \text{ N/mm}^2$	Tab. III.18
Modifikationsbeiwert:	$k_{\text{mod}} = 1,00$	Tab. III.5
Teilsicherheitsbeiwert:	$\gamma_M = 1,25$	Tab. III.3

Bemessungswerte der Baustoffeigenschaften

$$f_{c,0,g,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{c,0,g,k}}{\gamma_m} = 1,00 \cdot \frac{21,5}{1,25} = 17,2 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{m,g,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{m,g,k}}{\gamma_m} = 1,00 \cdot \frac{24,0}{1,25} = 19,2 \text{ N/mm}^2$$

Querschnittswerte

$$A = b \cdot h = 140 \cdot 400 = 5,60 \cdot 10^4 \text{ mm}^2 \quad \text{Tab. A.3}$$

$$W_y = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{140 \cdot 400^2}{6} = 3,73 \cdot 10^6 \text{ mm}^3 \quad \text{Tab. A.3}$$

Schlankheiten und Knickbeiwerte

- um die y-Achse

$$\lambda_y = \frac{l_{k,y}}{i_y} = \frac{l_{k,y}}{0,289 \cdot h} = \frac{6.000}{0,289 \cdot 400} = 51,9 \rightarrow k_{c,y} = 0,892 \quad \text{Tab. IV.47}$$

- um die z-Achse

$$\lambda_z = \frac{l_{k,z}}{i_z} = \frac{l_{k,z}}{0,289 \cdot b} = \frac{6.000}{0,289 \cdot 140} = 148 \rightarrow k_{c,z} = 0,183 \quad \text{Tab. IV.47}$$

Kippbeiwert

$$\frac{l_{ef} \cdot h}{b^2} = \frac{\approx 0,9 \cdot 6.000 \cdot 400}{140^2} = 110 < \left(\frac{l_{ef} \cdot h}{b^2} \right)_{\text{grenz}} = 193 \rightarrow k_{crit} = 1,00 \quad \text{Tab. IV.52}$$

Nachweisführung

Normalspannung

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{120 \cdot 10^3}{5,60 \cdot 10^4} = 2,14 \text{ N/mm}^2$$

Biegespannung

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{28,1 \cdot 10^6}{3,73 \cdot 10^6} = 7,53 \text{ N/mm}^2$$

Nachweisführung

- Nachweis Biegeknicken (mit $\sigma_{m,z,d} = 0$)

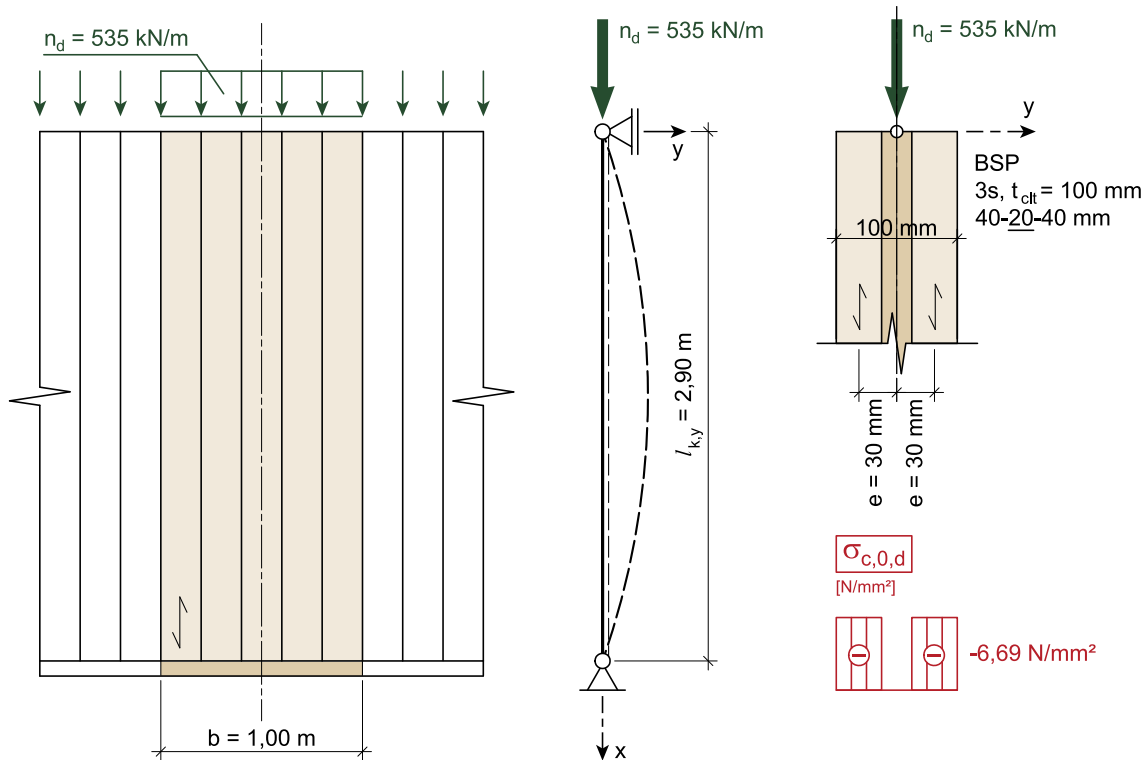
$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,g,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,g,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,g,d}} = \frac{2,14}{0,892 \cdot 17,2} + \frac{7,53}{19,2} + 0,7 \cdot 0 = 0,139 + 0,392 + 0 = 0,53 < 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,g,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,g,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,g,d}} = \frac{2,14}{0,183 \cdot 17,2} + 0,7 \cdot \frac{7,53}{19,2} + 0 = 0,680 + 0,275 + 0 = 0,96 < 1$$

- Nachweis Biegedrillknicken

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,g,d}} + \left(\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,g,d}} \right)^2 = \frac{2,14}{0,183 \cdot 17,2} + \left(\frac{7,53}{1,00 \cdot 19,2} \right)^2 = 0,680 + 0,154 = 0,83 < 1$$

I.3.4. KNICKEN BRETTSPERRHOLZ



gegeben:

Einzellast: $n_d = 535 \text{ kN/m}$
 Knicklänge: $l_k = 2,90 \text{ m}$
 Aufbau: 3-schichtig (40-20-40 mm), $t_{\text{clt}} = 100 \text{ mm}$
 Grundmaterial: BSP aus Grundmaterial C24 nach EN 338 (mit $k_{\text{sys}} = 1,20$)
 Nutzungsklasse: NKL 1
 KLED: „kurz“

Baustoffkenngrößen nach ÖNORM B 1995-1-1, Anhang K

Druckfestigkeit (in Faserrichtung): $f_{c,0,\text{lay},k} = k_{\text{sys}} \cdot f_{c,0,k} = 25,2 \text{ N/mm}^2$
 E-Modul in Faserrichtung: $E_{0,\text{lay},\text{mean}} = 11.500 \text{ N/mm}^2$
 Schubmodul in Faserrichtung: $G_{0,\text{lay},\text{mean}} = 690 \text{ N/mm}^2$
 Rollschubmodul: $G_{r,\text{lay},\text{mean}} = 65 \text{ N/mm}^2$
 Modifikationsbeiwert: $k_{\text{mod}} = 0,90$
 Teilsicherheitsbeiwert: $\gamma_M = 1,25$

Tab. III.22

Tab. III.22

Tab. III.22

Tab. III.22

Tab. III.5

Tab. III.3

Bemessungswert

$$f_{c,0,\text{lay},d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{c,0,\text{lay},k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{25,2}{1,25} = 18,1 \text{ N/mm}^2$$

5 %-Quantilwerte der Steifigkeiten

$$E_{0,\text{lay},05} = \frac{5}{6} \cdot E_{0,\text{lay},\text{mean}} = \frac{5}{6} \cdot 11.500 = 9.583 \text{ N/mm}^2 \approx 9.600 \text{ N/mm}^2$$

$$G_{0,\text{lay},05} = \frac{5}{6} \cdot G_{0,\text{lay},\text{mean}} = \frac{5}{6} \cdot 690 = 575 \text{ N/mm}^2$$

$$G_{r,\text{lay},05} = \frac{5}{6} \cdot G_{r,\text{lay},\text{mean}} = \frac{5}{6} \cdot 65 = 54,2 \text{ N/mm}^2$$

Querschnittswerte

Anmerkung:

Die Querlagen tragen aufgrund des großen Verhältnisses $E_{0,mean} / E_{90,mean} \approx 30$ nur geringfügig zur Biegesteifigkeit bei. Außerdem besteht die Möglichkeit, dass in den Querlagen Schwindrisse auftreten. Daher wird der E-Modul der Querlage mit $E_{90,mean} = 0 \text{ N/mm}^2$ angesetzt.

wirksame Querschnittsfläche

$$A_{ef} = \sum_i b \cdot t_i = 2 \cdot 1.000 \cdot 40,0 = 8,00 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

Biegesteifigkeit

$$K_{clt,05} = \sum (E_{i,0,lay,05} \cdot I_i) + \sum (E_{i,0,lay,05} \cdot A_i \cdot e_{z,i}^2) = 9.600 \cdot 1.000 \cdot \left(2 \cdot \frac{40,0^3}{12} + 2 \cdot 40,0 \cdot 30,0^2 \right) = 7,94 \cdot 10^{11} \text{ Nmm}^2 / \text{m}$$

Schubsteifigkeit

$$\kappa \approx \kappa_{10} + \frac{\kappa_{14,4} - \kappa_{10}}{4,4} \cdot \left(\frac{G_{0,lay,05}}{G_{r,lay,05}} - 10 \right) \approx 0,206 + \frac{0,149 - 0,206}{4,4} \cdot \left(\frac{575}{54,2} - 10 \right) \approx 0,198$$

$$S_{clt,05} = \kappa \cdot \sum (G_{i,lay,05} \cdot A_i) = 0,198 \cdot 1.000 \cdot (2 \cdot 575 \cdot 40 + 54,2 \cdot 20) = 9,32 \cdot 10^6 \text{ N}$$

Anmerkung:

Für den Knicknachweis einer BSP-Wand wird gelegentlich gefordert die Schubnachgiebigkeit des BSP-Aufbaues mitzubersichtigen, obwohl dies in ÖNORM B 1995-1-1 nicht gefordert wird. Zu Vergleichszwecken wird daher nachfolgend auch die Variante C mit Berücksichtigung der Schubnachgiebigkeit angeführt.

Variante A: Knicknachweis mit den Gleichungen aus ÖNORM EN 1995-1-1 und ÖNORM B 1995-1-1; ohne Berücksichtigung der Schubnachgiebigkeit

$$i_{clt,y} = \sqrt{\frac{K_{clt,05}}{\sum (E_{i,05} \cdot A_i)}} = \sqrt{\frac{7,94 \cdot 10^{11}}{2 \cdot 9.600 \cdot 1.000 \cdot 40,0}} = 32,2 \text{ mm}$$

$$\lambda_{clt,y} = \frac{l_k}{i_{clt,y}} = \frac{2.900}{32,2} = 90,1$$

$$\lambda_{rel,clt,y} = \frac{\lambda_{clt,y}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,lay,k}}{E_{0,lay,05}}} = \frac{90,1}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{25,2}{9.600}} = 1,47$$

mit dem Imperfektionsbeiwert $\beta_c = 0,2$ nach ÖNORM B 1995-1-1, Abschnitt K.6.3

$$k_{clt,y} = 0,5 \cdot \left[1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,clt,y} - 0,3) + \lambda_{rel,clt,y}^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,2 \cdot (1,47 - 0,3) + 1,47^2 \right] = 1,70$$

$$k_{c,clt,y} = \frac{1}{k_{clt,y} + \sqrt{k_{clt,y}^2 - \lambda_{rel,clt,y}^2}} = \frac{1}{1,70 + \sqrt{1,70^2 - 1,47^2}} = 0,392$$

Nachweisführung

Normalspannung

$$\sigma_{c,0,lay,d} = \frac{n_d}{A_{ef}} = \frac{535 \cdot 10^3}{8,00 \cdot 10^4} = 6,69 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{c,0,lay,d}}{k_{c,clt,y} \cdot f_{c,0,lay,d}} = \frac{6,69}{0,392 \cdot 18,1} = 0,94 < 1$$

**Variante B: Knicknachweis mit dem Tabellenwerk;
ohne Berücksichtigung der Schubnachgiebigkeit**

$$i_{\text{clt},y} = \sqrt{\frac{K_{\text{clt},05}}{\sum (E_{i,05} \cdot A_i)}} = \sqrt{\frac{7,94 \cdot 10^{11}}{2 \cdot 9.600 \cdot 1.000 \cdot 40,0}} = 32,2 \text{ mm}$$

$$\lambda_{\text{clt},y} = \frac{l_k}{i_{\text{clt},y}} = \frac{2.900}{32,2} = 90,1 \quad \rightarrow \quad k_c = 0,393$$

Tab. IV.47

Nachweisführung

$$\frac{\sigma_{c,0,\text{lay},d}}{k_{c,\text{clt},y} \cdot f_{c,0,\text{lay},d}} = \frac{6,69}{0,393 \cdot 18,1} = 0,94 < 1$$

Variante C: Knicknachweis mit Berücksichtigung der Schubnachgiebigkeit

$$n_{\text{cr}} = \frac{K_{\text{CLT},05} \cdot \pi^2}{l_k^2 \cdot \left(1 + \frac{K_{\text{clt},05} \cdot \pi^2}{S_{\text{CLT},05} \cdot l_k^2}\right)} = \frac{7,94 \cdot 10^{11} \cdot \pi^2}{2.900^2 \cdot \left(1 + \frac{7,94 \cdot 10^{11} \cdot \pi^2}{9,32 \cdot 10^6 \cdot 2.900^2}\right)} = 8,47 \cdot 10^5 \text{ N}$$

$$\lambda_{\text{rel}} = \sqrt{\frac{A_{\text{ef}} \cdot f_{c,0,\text{lay},k}}{n_{\text{cr}}}} = \sqrt{\frac{8,00 \cdot 10^4 \cdot 25,2}{8,47 \cdot 10^5}} = 1,54$$

- mit dem Imperfektionsbeiwert $\beta_c = 0,2$

$$k = 0,5 \cdot \left(1 + 0,2 \cdot (1,54 - 0,3) + 1,54^2\right) = 1,81$$

$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{\text{rel}}^2}} = \frac{1}{1,81 + \sqrt{1,81^2 - 1,54^2}} = 0,362$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{c,0,\text{lay},d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,\text{lay},d}} = \frac{6,69}{0,362 \cdot 18,1} = 1,02 \approx 1$$

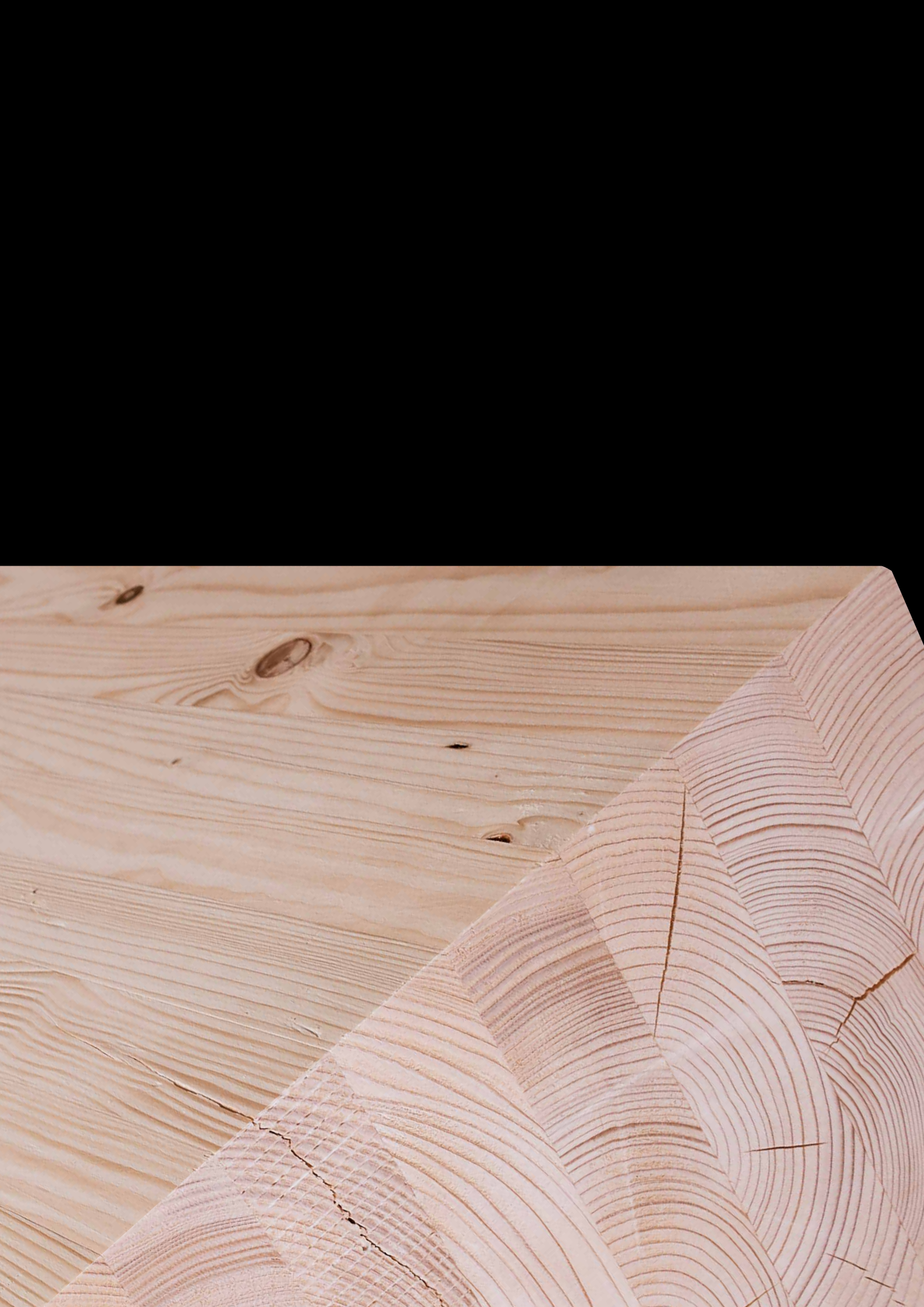
- mit dem Imperfektionsbeiwert $\beta_c = 0,1$

$$k = 0,5 \cdot \left(1 + 0,1 \cdot (1,54 - 0,3) + 1,54^2\right) = 1,75$$

$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{\text{rel}}^2}} = \frac{1}{1,75 + \sqrt{1,75^2 - 1,54^2}} = 0,387$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{c,0,\text{lay},d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,\text{lay},d}} = \frac{6,69}{0,387 \cdot 18,1} = 0,96 < 1$$



KAPITEL II

**GRUNDFÄLLE –
NACHWEISE IM BRANDFALL**

- II.1 Nachweisführung für Bauteile aus Voll- und Brettschichtholz
- II.2 Nachweisführung für Bauteile aus Brettsperrholz

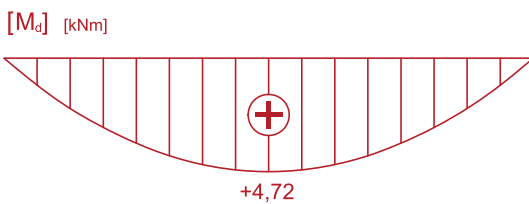
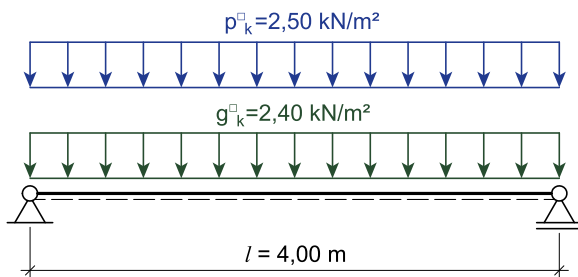
- II.3 - II.6
- II.7 - II.10

II.1 NACHWEISFÜHRUNG FÜR BAUTEILE AUS VOLL- UND BRETTSCHICHTHOLZ

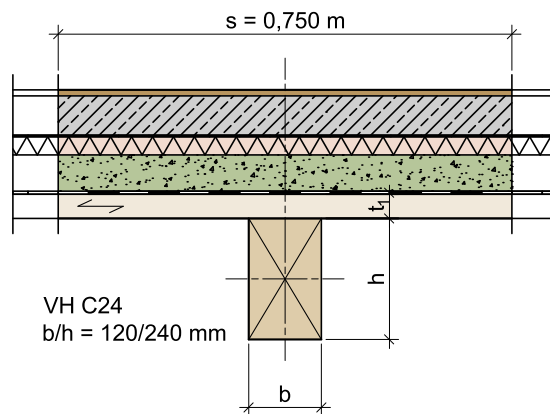
II.1.1. DECKE AUS VOLLHOLZ MIT EINER FEUERWIDERSTANDSDAUER R 30

Berechnungsgrundlage: ÖNORM EN 1995-1-2:2011 [3] und ÖNORM B 1995-1-2:2011 [4]

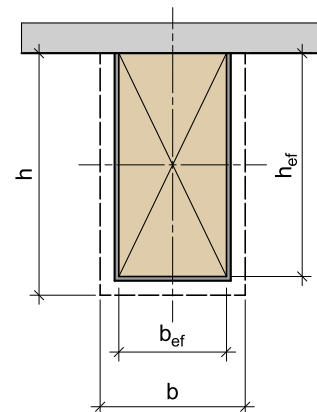
statisches System und Einwirkungen



Querschnitt



ideeller Querschnitt
im Brandfall



gegeben:

Abbrand:	R 30 – dreiseitiger Abbrand
Einwirkung (im Kaltzust.):	charakt. Wert der ständigen Einwirkung: $g_k^{\square} = 2,40 \text{ kN/m}^2$ charakt. Wert der veränderlichen Einwirkung: $p_k^{\square} = 2,50 \text{ kN/m}^2$ Kombinationsbeiwert: $\psi_2 = 0,30$
Spannweite:	$l = 4,00 \text{ m}$
Abmessungen:	$b/h = 120/240 \text{ mm}$, Achsabstand $s = 0,75 \text{ m}$
Material:	VH C24

Einwirkungskombination im Brandfall

$$q_{1,0m;d,fi} = \left(\sum_{j \geq 1} g_{k,j}^{\square} + \psi_2 \cdot \sum_{i \geq 1} p_{k,i}^{\square} \right) \cdot b = (2,40 + 0,30 \cdot 2,50) \cdot 1,00 = 3,15 \text{ kN/m}$$

Einwirkung pro Rippe

$$q_{d,fi} = q_{1,0m;d,fi} \cdot s = 3,15 \cdot 0,75 = 2,36 \text{ kN/m}$$

zum Vergleich: mit der vereinfachten Ermittlung der Einwirkung nach ÖNORM EN 1995-1-2

$$q_d^{\square} = \sum_{j \geq 1} \gamma_{k,j} \cdot g_{k,j}^{\square} + \gamma_{a,1} \cdot p_{k,1}^{\square} + \sum_{i > 1} \gamma_{a,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot p_{k,i}^{\square} = 1,35 \cdot 2,40 + 1,50 \cdot 2,50 = 6,99 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{d,fi}^{\square} = \eta_{fi} \cdot q_d^{\square} = 0,60 \cdot 6,99 = 4,19 \text{ kN/m}^2$$

maßgebende Schnittgröße

$$M_{d,fi} = \frac{q_{d,fi} \cdot l^2}{8} = \frac{2,36 \cdot 4,00^2}{8} = 4,72 \text{ kNm}$$

Baustoffeigenschaften im Brandfall

charakteristischer Wert der Biegefestigkeit:	$f_{m,k} = 24,0 \text{ N/mm}^2$	Tab. III.5
Modifikationsbeiwert (Brand):	$k_{mod,fi} = 1,00$	Tab. III.5
Teilsicherheitsbeiwert (Brand):	$\gamma_{M,fi} = 1,00$	Tab. III.3
ideelle Abbrandrate:	$\beta_n = 0,80 \text{ mm/min}$	

Bemessungswert

$$f_{m,d,fi} = k_{fi} \cdot k_{mod,fi} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_{M,fi}} = 1,25 \cdot 1,00 \cdot \frac{24,0}{1,00} = 30,0 \text{ N/mm}^2$$

Berechnung der Abbrandtiefen

$$d_{char} = \beta_n \cdot t = 0,80 \cdot 30,0 = 24,0 \text{ mm}$$

$$d_0 = 7 \text{ mm} \quad \text{und} \quad k_0 = 1,0 \text{ für } t > 20 \text{ min}$$

$$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 \cdot d_0 = 24,0 + 1,0 \cdot 7,00 = 31,0 \text{ mm}$$

Berechnung der effektiven Querschnittsabmessungen und -werte

$$b_{ef} = b - 2 \cdot d_{ef} = 120 - 2 \cdot 31,0 = 58,0 \text{ mm}$$

$$h_{ef} = h - d_{ef} = 240 - 31,0 = 209 \text{ mm}$$

$$W_{ef} = \frac{b_{ef} \cdot h_{ef}^2}{6} = \frac{58,0 \cdot 209^2}{6} = 4,22 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

Nachweisführung

Biegespannung

$$\sigma_{m,fi} = \frac{M_{d,fi}}{W_{ef}} = \frac{4,72 \cdot 10^6}{4,22 \cdot 10^5} = 11,2 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

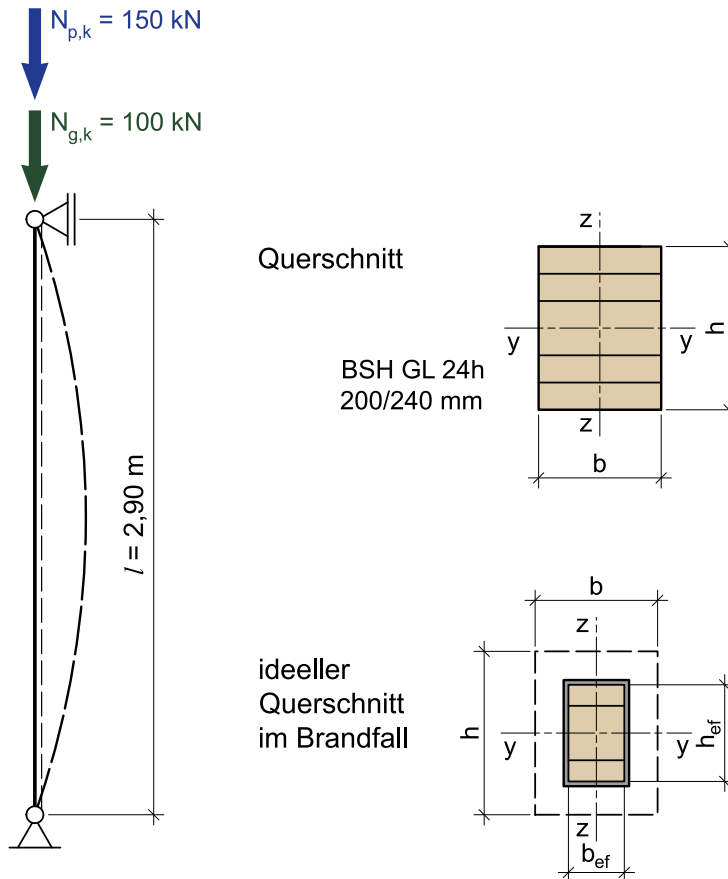
$$\frac{\sigma_{m,fi}}{f_{m,d,fi}} = \frac{11,2}{30,0} = 0,37 < 1$$

Anmerkung:

Der Schubnachweis muss gemäß ÖNORM EN 1995-1-2:2011 im Brandfall nicht geführt werden.

II.1.2. STÜTZE AUS BRETTSCHICHTHOLZ MIT EINER FEUERWIDERSTANDSDAUER R 60

Berechnungsgrundlage: ÖNORM EN 1995-1-2:2011 [3] und ÖNORM B 1995-1-2:2011 [4]



gegeben:

Abbrand: R 60 – vierseitiger Abbrand
 Einwirkungen: $N_{g,k} = 100 \text{ kN}$; $N_{p,k} = 150 \text{ kN}$, $\psi_2 = 0,30$ (im Kaltzustand)
 Knicklänge: $l_k = 2,90 \text{ m}$
 Abmessungen: $b/h = 200/240 \text{ mm}$,
 Material: BSH GL 24h

Einwirkungskombination im Brandfall

$$N_{d,fi} = \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} = 100 + 0,30 \cdot 150 = 145 \text{ kN}$$

zum Vergleich: mit der vereinfachten Ermittlung der Einwirkung nach ÖNORM EN 1995-1-2

$$N_d = \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i \geq 2} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} = 1,35 \cdot 100 + 1,50 \cdot 150 = 360 \text{ kN}$$

$$N_{d,fi} = \eta_{fi} \cdot N_d = 0,60 \cdot 360 = 216 \text{ kN}$$

Baustoffeigenschaften im Brandfall

charakteristischer Wert der Druckfestigkeit in FR: $f_{c,0,g,k} = 24,0 \text{ N/mm}^2$ (im Kaltzustand)
 5%-Quantilwert des E-Moduls in Faserrichtung: $E_{0,g,05} = 9.600 \text{ N/mm}^2$ (im Kaltzustand)
 Modifikationsbeiwert (Brand): $k_{mod,fi} = 1,00$
 Teilsicherheitsbeiwert (Brand): $\gamma_{M,fi} = 1,00$
 ideelle Abbrandrate: $\beta_n = 0,70 \text{ mm/min}$

Tab. III.15

Tab. III.15

Tab. III.5

Tab. III.3

Bemessungswerte

$$f_{c,0,g,fi} = k_{fi} \cdot k_{mod,fi} \cdot \frac{f_{c,0,g,k}}{\gamma_{M,fi}} = 1,15 \cdot 1,00 \cdot \frac{24,0}{1,00} = 27,6 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{0,g,fi} = E_{0,g,20} = k_{fi} \cdot E_{0,g,05} = 1,15 \cdot 9.600 = 11.040 \text{ N/mm}^2$$

Berechnung der Abbrandtiefe

$$d_{char,n} = \beta_n \cdot t = 0,70 \cdot 60,0 = 42,0 \text{ mm}$$

$$d_0 = 7 \text{ mm} \quad \text{und} \quad k_0 = 1,0 \text{ für } t > 20 \text{ min}$$

Berechnung der effektiven Querschnittsabmessungen und -werte

$$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 \cdot d_0 = 42,0 + 1,0 \cdot 7,00 = 49,0 \text{ mm}$$

$$b_{ef} = b - 2 \cdot d_{ef} = 200 - 2 \cdot 49,0 = 102 \text{ mm}$$

$$h_{ef} = h - 2 \cdot d_{ef} = 240 - 2 \cdot 49,0 = 142 \text{ mm}$$

$$A_{ef} = b_{ef} \cdot h_{ef} = 102 \cdot 142 = 1,45 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

Knickbeiwert

$$\lambda_{y,fi} = \frac{l_k}{i_y} = \frac{l_k}{0,289 \cdot h_{ef}} = \frac{2.900}{0,289 \cdot 142} = 70,7$$

$$\lambda_{z,fi} = \frac{l_k}{i_z} = \frac{l_k}{0,289 \cdot b_{ef}} = \frac{2.900}{0,289 \cdot 102} = 98,4 \quad \rightarrow \text{maßgebend!}$$

$$\lambda_{rel,z,fi} = \frac{\lambda_{z,fi}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,g,fi}}{E_{0,g,fi}}} = \frac{98,4}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{27,6}{11.040}} = 1,57$$

$$k_{z,fi} = 0,5 \cdot \left[1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z,fi} - 0,3) + \lambda_{rel,z,fi}^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,1 \cdot (1,57 - 0,3) + 1,57^2 \right] = 1,80$$

$$k_{c,z,fi} = \frac{1}{k_{z,fi} + \sqrt{k_{z,fi}^2 - \lambda_{rel,z,fi}^2}} = \frac{1}{1,80 + \sqrt{1,80^2 - 1,57^2}} = 0,373$$

Nachweisführung

Druckspannung

$$\sigma_{c,0,d,fi} = \frac{N_{d,fi}}{A_{ef}} = \frac{145 \cdot 10^3}{1,45 \cdot 10^4} = 10,0 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

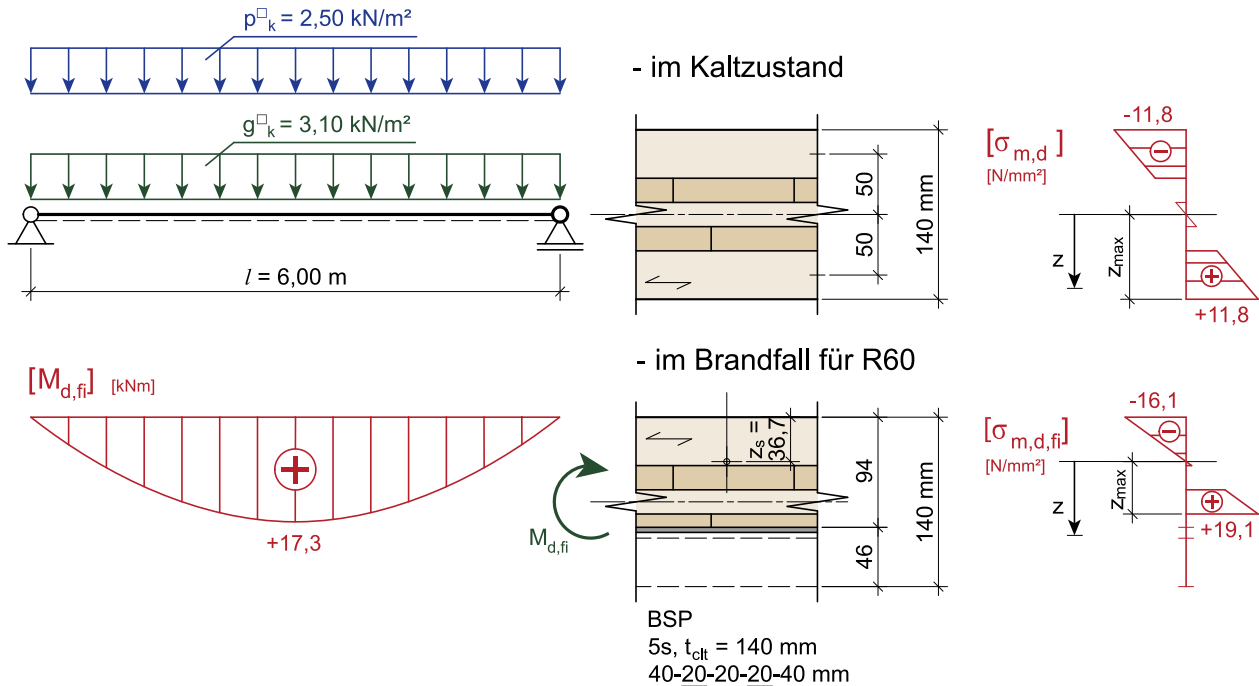
$$\frac{\sigma_{c,0,d,fi}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,g,fi}} = \frac{10,0}{0,373 \cdot 27,6} = 0,97 < 1$$

II.2 NACHWEISE FÜR BAUTEILE AUS BRETTSPERRHOLZ

II.2.1. DECKE AUS BRETTSPERRHOLZ MIT EINER FEUERWIDERSTANDSDAUER R 60

Anmerkung:

Aktuell sind weder in der ÖNORM EN 1995-1-2:2011 [3], noch in der ÖNORM B 1995-1-2:2011 [4] Regelungen für die Bemessungen von Brettsperrholz im Brandfall verankert. Das nachfolgende Beispiel wurde in Anlehnung an die Regelungen dieser Normen sowie auf Basis der Inhalte bauaufsichtlicher Zulassungen erstellt.



gegeben:

Abbrand:	R 60 – Abbrand von unten
Einwirkungen (im Kaltzu.):	charakt. Wert der ständigen Einwirkung (inkl. Eigengewicht BSP) $g_k = 3,10 \text{ kN/m}^2$ charakt. Wert der veränderlichen Einwirkung $p_k = 2,50 \text{ kN/m}^2$
Spannweite:	$l = 6,00 \text{ m}$
Aufbau:	5-schichtig (40-20-20-20-40 mm), $t_{clt} = 140 \text{ mm}$
Material:	BSP aus Grundmaterial C24 nach EN 338 (mit $k_{sys} = 1,20$)

Berechnung der Einwirkung im Brandfall aus jener bei Normaltemperatur mit Hilfe des Abminderungsfaktors η_{fi} aus ÖNORM EN 1995-1-2

mit der außergewöhnlicher Einwirkungskombination

$$q_{d,fi} = (\gamma_G \cdot g_k + \gamma_Q \cdot \psi_2 \cdot p_k) \cdot b = (1,00 \cdot 3,10 + 1,00 \cdot 0,30 \cdot 2,50) \cdot 1,00 = 3,85 \text{ kN/m}$$

zum Vergleich: mit vereinfachter Ermittlung der Einwirkung nach EN 1995-1-2

$$q_d = (\gamma_G \cdot g_k + \gamma_Q \cdot \psi_2 \cdot p_k) \cdot b = (1,35 \cdot 3,10 + 1,50 \cdot 2,50) \cdot 1,00 = 7,94 \text{ kN/m}$$

$$q_{d,fi} = \eta_{fi} \cdot q_d = 0,6 \cdot 7,94 = 4,76 \text{ kN/m}^2$$

maßgebende Schnittgröße für einen Plattenstreifen mit der Breite $b = 1,00 \text{ m}$

$$M_{d,fi} = \frac{q_{d,fi} \cdot l^2}{8} = \frac{3,85 \cdot 6,00^2}{8} = 17,3 \text{ kNm}$$

Baustoffeigenschaften im Brandfall

charakteristischer Wert der Biegefestigkeit:	$f_{m,lay,k}$	$= k_{sys} \cdot f_{m,k} = 28,8 \text{ N/mm}^2$ (mit $k_{sys} = 1,20$)	Tab. III.22
E-Modul in Faserrichtung:	$E_{0,lay,mean}$	$= 11.500 \text{ N/mm}^2$	Tab. III.22
Modifikationsbeiwert (Brand):	$k_{mod,fi}$	$= 1,00$	Tab. III.5
Teilsicherheitsbeiwert (Brand):	$\gamma_{M,fi}$	$= 1,00$	Tab. III.3
eindimensionale Abbrandrate:	β_0	$= 0,65 \text{ mm/min}$	

Bemessungswerte

$$f_{m,lay,d,fi} = k_{fi} \cdot k_{mod,fi} \cdot \frac{f_{m,lay,k}}{\gamma_{M,fi}} = 1,15 \cdot 1,00 \cdot \frac{28,8}{1,00} = 33,1 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{0,lay,fi} = k_{fi} \cdot E_{0,lay,mean} = 1,15 \cdot 11.500 = 13.225 \text{ N/mm}^2$$

Berechnung der Abbrandtiefen

$$d_{char} = \beta_0 \cdot t = 0,65 \cdot 60,0 = 39,0 \text{ mm}$$

$$d_0 = 7 \text{ mm} \quad \text{und} \quad k_0 = 1,0 \text{ für } t > 20 \text{ min}$$

$$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 \cdot d_0 = 39,0 + 1,0 \cdot 7,00 = 46,0 \text{ mm}$$

Berechnung der effektiven Querschnittsabmessungen und -werte

$$h_{res} = d - d_{ef} = 140 - 46,0 = 94,0 \text{ mm}$$

Berechnung der Biegesteifigkeit $K_{clt,fi}$ des wirksamen Querschnitts im Brandfall

→ Die Abbrandgrenze befindet sich in der unteren Querlage; Querschnittswerte ohne diese Querlage

$$e_{z,s} = \frac{\sum E_{i,fi} \cdot A_i \cdot e_{z,i}}{\sum E_{i,fi} \cdot A_i} = \frac{13.225 \cdot 1.000 \cdot (40,0 \cdot 20,0 + 20,0 \cdot 70,0)}{13.225 \cdot 1.000 \cdot (40,0 + 20,0)} = 36,7 \text{ mm} \quad (\text{von der Oberkante})$$

$$K_{clt,fi} = \sum (E_{i,fi} \cdot I_{i,fi}) + \sum (E_{i,fi} \cdot A_{i,fi} \cdot e_{i,fi}^2) =$$

$$= 13.225 \cdot 1.000 \cdot \left[\left(\frac{40,0^3}{12} + \frac{20,0^3}{12} \right) + \left(40,0 \cdot (20,0 - 36,7)^2 + 20,0 \cdot (70,0 - 36,7)^2 \right) \right] = 5,20 \cdot 10^{11} \text{ Nmm}^2$$

Nachweisführung

Biegespannung

$$\sigma_{m,lay,d,fi} = \frac{M_{d,fi}}{K_{clt,fi}} \cdot E_{0,fi} \cdot z_i = \frac{17,3 \cdot 10^6}{5,20 \cdot 10^{11}} \cdot 13.225 \cdot (80,0 - 36,7) = 19,1 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{m,lay,d,fi}}{f_{m,lay,d,fi}} = \frac{19,1}{33,1} = 0,58 < 1$$

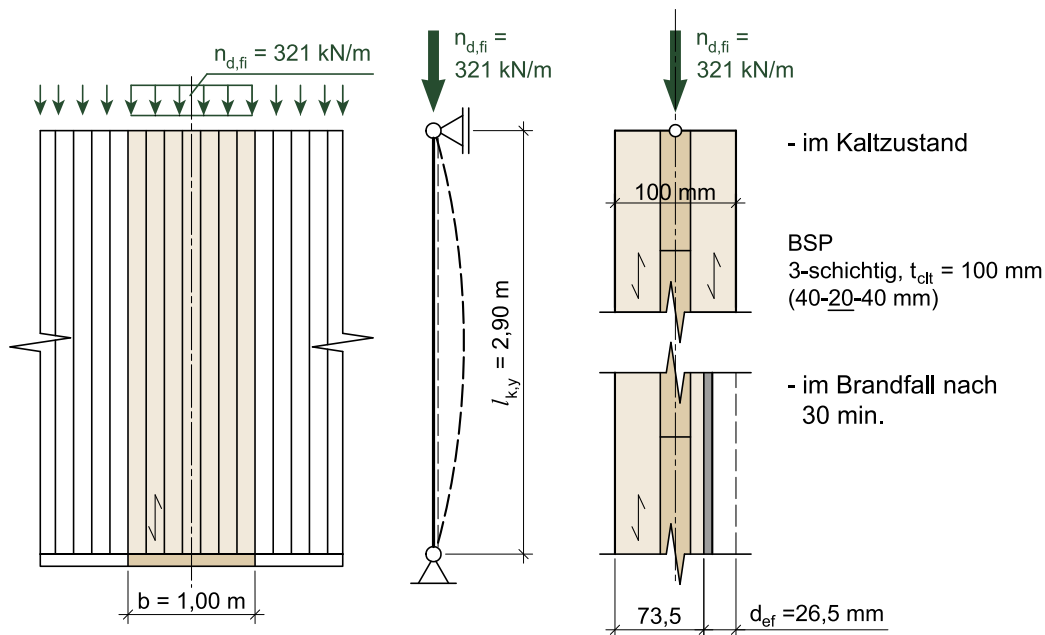
Anmerkung:

Der Schubnachweis muss gemäß ÖNORM EN 1995-1-2:2011 im Brandfall nicht geführt werden.

II.2.2. WAND AUS BRETTSCHICHTHOLZ MIT EINER FEUERWIDERSTANDSDAUER R 30

Anmerkung:

Aktuell sind weder in der ÖNORM EN 1995-1-2:2011 [3], noch in der ÖNORM B 1995-1-2:2011 [4] Regelungen für die Bemessungen von Brettsper Holz im Brandfall verankert. Das nachfolgende Beispiel wurde in Anlehnung an die Regelungen dieser Normen sowie auf Basis der Inhalte bauaufsichtlicher Zulassungen erstellt.



gegeben:

Abbrand: R 30 - einseitiger Abbrand
Einwirkung: $n_d = 535 \text{ kN/m}$ (im Kaltzustand)
Knicklänge: $l_k = 2,90 \text{ m}$
Abmessungen: $b/h = 180/240 \text{ mm}$,
Material: BSP aus Grundmaterial C 24 nach EN 338 (mit $k_{sys} = 1,20$)

Einwirkung im Brandfall

$$n_{d,fi} = \eta_{fi} \cdot n_d = 0,60 \cdot 535 = 321 \text{ kN/m}$$

Baustoffeigenschaften im Brandfall

charakteristischer Wert der Druckfestigkeit:	$f_{c,0,lay,k} = k_{sys} \cdot f_{c,0,k} = 25,2 \text{ N/mm}^2$	Tab. III.22
E-Modul in Faserrichtung:	$E_{0,lay,mean} = 11.500 \text{ N/mm}^2$	Tab. III.22
Modifikationsbeiwert (Brand):	$k_{mod,fi} = 1,00$	Tab. III.5
Teilsicherheitsbeiwert (Brand):	$\gamma_{M,fi} = 1,00$	Tab. III.3
eindimensionale Abbrandrate:	$\beta_0 = 0,65 \text{ mm/min}$	

Bemessungswerte

$$f_{c,0,lay,d,fi} = k_{fi} \cdot k_{mod,fi} \cdot \frac{f_{c,0,lay,k}}{\gamma_{M,fi}} = 1,15 \cdot 1,00 \cdot \frac{25,2}{1,00} = 29,0 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{0,lay,fi} = k_{fi} \cdot E_{0,lay,mean} = 1,15 \cdot 11.500 = 13.225 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{0,05,lay,fi} = k_{fi} \cdot \frac{5}{6} \cdot E_{0,lay,mean} = 1,15 \cdot \frac{5}{6} \cdot 11.500 = 11.021 \text{ N/mm}^2$$

Berechnung der Abbrandtiefen

$$d_{\text{char},0} = \beta_0 \cdot t = 0,65 \cdot 30,0 = 19,5 \text{ mm}$$

$$d_0 = 7 \text{ mm} \quad \text{und} \quad k_0 = 1,0 \text{ für } t > 20 \text{ min}$$

Berechnung der effektiven Querschnittsabmessungen und -werte

$$d_{\text{ef}} = d_{\text{char},n} + k_0 \cdot d_0 = 19,5 + 1,0 \cdot 7,00 = 26,5 \text{ mm}$$

$$(E \cdot A)_{\text{ef},\text{fi}} = E_{0,\text{mean},\text{fi}} \cdot b \cdot h_{\text{ef}} = 13.225 \cdot 1.000 \cdot \left(40,0 + \underbrace{\left(\frac{40,0 - 26,5}{13,5} \right)}_{13,5} \right) = 7,08 \cdot 10^8 \text{ mm}^2$$

$$e_{z,s} = \frac{\sum E_{i,\text{fi}} \cdot A_i \cdot e_{z,i}}{\sum E_{i,\text{fi}} \cdot A_i} = \frac{13.225 \cdot 1.000 \cdot \left(40,0 \cdot 20,0 + 13,5 \cdot \left(40,0 + 20,0 + \frac{13,5}{2} \right) \right)}{13.225 \cdot 1.000 \cdot (40,0 + 13,5)} = 31,8 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} K_{\text{clt},\text{fi}} &= \sum (E_{0,\text{mean},\text{fi}} \cdot I_{i,\text{fi}}) + \sum (E_{0,\text{mean},\text{fi}} \cdot A_{i,\text{fi}} \cdot e_{z,i,\text{fi}}^2) = \\ &= 13.225 \cdot 1.000 \cdot \left[\left(\frac{40,0^3}{12} + \frac{13,5^3}{12} \right) + \left(40,0 \cdot (20,0 - 31,8)^2 + 13,5 \cdot \left(40,0 + 20,0 + \frac{13,5}{2} - 31,8 \right)^2 \right) \right] = 3,65 \cdot 10^{11} \text{ Nmm}^2 \end{aligned}$$

$$i_{\text{clt},\text{fi}} = \sqrt{\frac{K_{\text{clt},\text{fi}}}{(E \cdot A)_{\text{ef}}}} = \sqrt{\frac{3,65 \cdot 10^{11}}{7,08 \cdot 10^8}} = 22,7 \text{ mm}$$

Knickbeiwert

$$\lambda_{\text{clt},\text{fi}} = \frac{l_k}{i_{\text{clt},\text{fi}}} = \frac{2.900}{22,7} = 128$$

$$\lambda_{\text{rel},\text{clt},\text{fi}} = \frac{\lambda_{\text{clt},\text{fi}}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{k_{\text{fi}} \cdot f_{c,0,\text{lay},k,\text{fi}}}{E_{0,05,\text{lay},\text{fi}}}} = \frac{128}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{1,15 \cdot 25,2}{11.021}} = 2,09$$

$$k_{\text{clt},\text{fi}} = 0,5 \cdot \left[1 + \beta_c \cdot (\lambda_{\text{rel},\text{clt},\text{fi}} - 0,3) + \lambda_{\text{rel},\text{clt},\text{fi}}^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,2 \cdot (2,09 - 0,3) + 2,09^2 \right] = 2,86$$

$$k_{c,\text{clt},\text{fi}} = \frac{1}{k_{\text{clt},\text{fi}} + \sqrt{k_{\text{clt},\text{fi}}^2 - \lambda_{\text{rel},\text{clt},\text{fi}}^2}} = \frac{1}{2,86 + \sqrt{2,86^2 - 2,09^2}} = 0,208$$

Nachweisführung

Druckspannung

$$\sigma_{c,0,\text{lay},0d,\text{fi}} = \frac{n_{d,\text{fi}}}{(E \cdot A)_{\text{ef},\text{fi}}} \cdot E_{0,\text{lay},\text{mean},\text{fi}} = \frac{321 \cdot 10^3}{7,08 \cdot 10^8} \cdot 13.225 = 6,00 \text{ N/mm}^2$$

Nachweisführung

$$\frac{\sigma_{c,0,\text{lay},d,\text{fi}}}{k_{c,\text{clt},\text{fi}} \cdot f_{c,0,\text{lay},d,\text{fi}}} = \frac{6,00}{0,208 \cdot 29,0} = 0,99 < 1$$



KAPITEL III

**GRUNDFÄLLE –
NACHWEISE IM GRENZZUSTAND
DER GEBRAUCHSTAUGLICHKEIT**

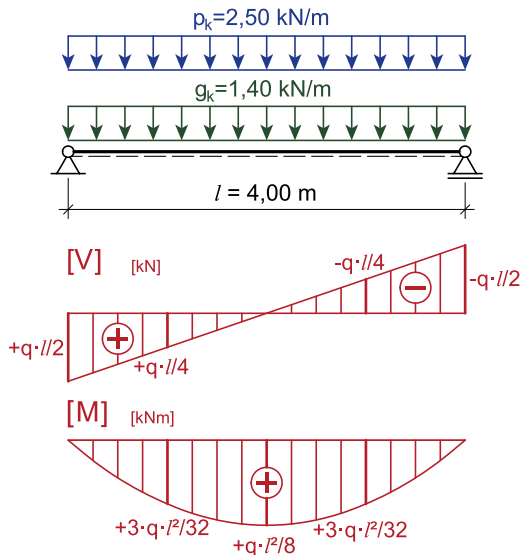
- III.1 Durchbiegung
III.2 personeninduzierte Schwingungen von Wohnungsdecken

- III.3 - III.17
III.18 - III.22

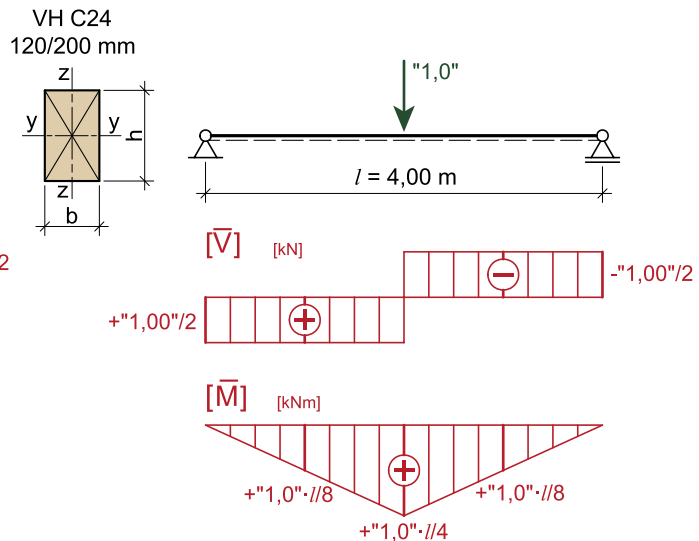
III.1 DURCHBIEGUNG

III.1.1. DURCHBIEGUNG – EINFELDTRÄGER AUS VOLLHOLZ

statisches System und Einwirkungen



virtuelle Einwirkung



gegeben:

Tramdecke mit Balken aus Vollholz

Einwirkungen: charakteristischer Wert der ständigen Einwirkung
charakteristischer Wert der veränderlichen Einwirkung

$g_k = 1,40 \text{ kN/m}$

$q_k = 2,50 \text{ kN/m}$

Querschnitt: $b/h = 120/200 \text{ mm}$

Spannweite: $l = 4,00 \text{ m}$

Achsabstand Balken: $s = 0,75 \text{ m}$

Material: VH C24

Nutzungsklasse: NKL 1

Querschnittswerte

$$A = b \cdot h = 120 \cdot 200 = 2,40 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{120 \cdot 200^3}{12} = 8,00 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

Schubkorrekturfaktor: $\kappa = 1,20$ (für einen Rechteckquerschnitt)

Baustoffkenngrößen

E-Modul: $E_{0, \text{mean}} = 11.000 \text{ N/mm}^2$

Tab. III.9

Schubmodul: $G_{0, \text{mean}} = 690 \text{ N/mm}^2$

Tab. III.9

Verformungsbeiwert: $k_{\text{def}} = 0,60$

Tab. III.6

Variante A: Berechnung der Durchbiegung mit Hilfe von Tabellenwerken**elastische Durchbiegung zufolge der Einheitslast $q = „1,0“$ kN**

$$w_{„1,0“} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I} = \frac{5}{384} \cdot \frac{1,00 \cdot 4.000^4}{11.000 \cdot 8,00 \cdot 10^7} = 3,79 \text{ mm} \approx 4 \text{ mm}$$

Anmerkung:

Die Durchbiegungsgleichungen in den Tabellenwerken berücksichtigen im Allgemeinen nur den „Momentenanteil“ der Durchbiegung!

Variante B: Berechnung der Durchbiegung mit Hilfe von Integrationstabellen

Arbeitssatz

$$\bar{1} \cdot \delta = \int \left[\frac{N \cdot \bar{N}}{E \cdot A} + \frac{M \cdot \bar{M}}{E \cdot I} + \frac{\kappa \cdot V \cdot \bar{V}}{G \cdot A} \right] \cdot dx$$

- Schnittgrößen auf Grund der Einwirkung

$$M = \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{q \cdot 4,00^2}{8} = 2,00 \left[\text{m}^2 \right] \cdot q \left[\text{kN/m} \right]$$

- Schnittgrößen auf Grund der virtuellen „1“-Last

$$\bar{M} = \frac{F \cdot l}{4} = \frac{„1“ \cdot 4,00}{4} = 1,00 \text{ kNm}$$

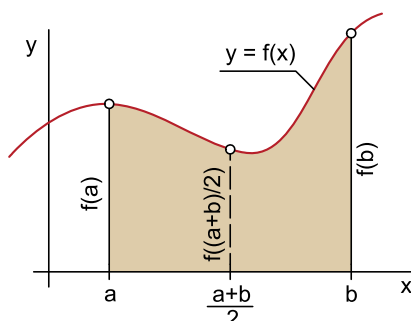
- Auswertung mit Integraltafeln

$$\begin{aligned} w_{„1,0“} &= \bar{1} \cdot \delta = \int \frac{M \cdot \bar{M}}{E \cdot I} dx + \int \frac{\kappa \cdot V \cdot \bar{V}}{G \cdot A} dx = \\ &= 2 \cdot \frac{0,5 \cdot l}{E \cdot I} \cdot \left(\frac{5}{12} \cdot \frac{q \cdot l^2}{8} \cdot \frac{„1“ \cdot l}{4} \right) + 2 \cdot \frac{\kappa \cdot 0,5 \cdot l}{G \cdot A} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{q \cdot l}{2} \cdot \frac{„1“}{2} \right) = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I} + \frac{1}{8} \cdot \frac{\kappa \cdot q \cdot l^2}{G \cdot A} \end{aligned}$$

mit $q = 1,0 \text{ kN/m}$ und $\kappa = 1,20$ (für einen Rechteckquerschnitt)

$$w_{„1,0“} = \frac{5}{384} \cdot \frac{1,00 \cdot 4.000^4}{11.000 \cdot 8,00 \cdot 10^7} + \frac{1}{8} \cdot \frac{1,20 \cdot 1,00 \cdot 4.000^2}{690 \cdot 2,40 \cdot 10^4} = 3,79 + 0,145 = 3,94 \text{ mm} \approx 4 \text{ mm}$$

- alternativ: Auswertung mittels numerischer Integration (Simpson'sche Formel)

Exkurs: numerische Integration mit der Simpson'schen Formel

$$\int_a^b f(x) \cdot dx \approx \frac{b-a}{6} \cdot \left[f(a) + 4 \cdot f\left(\frac{a+b}{2}\right) + f(b) \right]$$

Die numerische Integration mit der Simpson-Regel ist bis Kurven 3. Ordnung exakt! Über Knicke und Sprünge darf nicht integriert werden. In einem solchen Fall ist die Unterteilung des Integrationsintervall erforderlich.

$$w_{1,0''} = \bar{1} \cdot \delta = \int \frac{M \cdot \bar{M}}{E \cdot I} dx + \int \frac{\kappa \cdot V \cdot \bar{V}}{G \cdot A} dx =$$

$$= \frac{1}{6} \cdot 2 \cdot \frac{0,5 \cdot l}{E \cdot I} \cdot \left(0 \cdot 0 + 4 \cdot \frac{3 \cdot q \cdot l^2}{32} \cdot \frac{1'' \cdot l}{8} + \frac{q \cdot l^2}{8} \cdot \frac{1'' \cdot l}{4} \right) + \frac{1}{6} \cdot 2 \cdot \frac{\kappa \cdot 0,5 \cdot l}{G \cdot A} \cdot \left(\frac{q \cdot l}{2} \cdot \frac{1''}{2} + 4 \cdot \frac{q \cdot l}{4} \cdot \frac{1''}{2} + 0 \cdot \frac{1''}{2} \right) = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I} + \frac{1}{8} \cdot \frac{\kappa \cdot q \cdot l^2}{G \cdot A}$$

mit $q = 1,0 \text{ kN/m}$ und $\kappa = 1,20$ (für einen Rechteckquerschnitt)

$$w_{1,0''} = \frac{5}{384} \cdot \frac{1,00 \cdot 4.000^4}{11.000 \cdot 8,00 \cdot 10^7} + \frac{1}{8} \cdot \frac{1,20 \cdot 1,00 \cdot 4.000^2}{690 \cdot 2,40 \cdot 10^4} = 3,79 + 0,145 = 3,94 \text{ mm} \approx 4 \text{ mm}$$

Nachweisführung

Nachweis der Anfangsdurchbiegung für die charakteristischen Einwirkungskombination

elastische Anfangsdurchbiegung zufolge der ständigen Einwirkung

$$\sum_{j \geq 1} w_{\text{inst},G,j} = g_k \cdot s \cdot w_{1,0''} = 1,40 \cdot 0,75 \cdot 3,94 = 4,14 \text{ mm}$$

elastische Anfangsdurchbiegung zufolge der veränderlichen Einwirkung

$$w_{\text{inst},Q,1} = q_k \cdot s \cdot w_{1,0''} = 2,50 \cdot 0,75 \cdot 3,94 = 7,39 \text{ mm}$$

Nachweis der Verformung unter der charakteristischen Einwirkungskombination

$$w_{\text{inst}} = \sum_{j \geq 1} w_{\text{inst},G,j} + w_{\text{inst},Q,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot w_{\text{inst},Q,i} = 4,14 + 7,39 = 11,5 \text{ mm}$$

Grenzwert der Anfangsdurchbiegung

$$w_{\text{inst,grenz}} = \frac{l}{300} = \frac{4.000}{300} = 13,3 \text{ mm}$$

Nachweis

$$\frac{w_{\text{inst}}}{w_{\text{inst,grenz}}} = \frac{11,5}{13,3} = 0,86 < 1$$

Nachweis der Enddurchbiegung für die quasi-ständige Einwirkungskombination

$$w_{\text{net,fin}} = \left[\sum_{j \geq 1} w_{\text{inst},G,j} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot w_{\text{inst},Q,i} \right] \cdot (1 + k_{\text{def}}) - w_c = [4,14 + 0,30 \cdot 7,39] \cdot (1 + 0,60) - 0 = 10,2 \text{ mm}$$

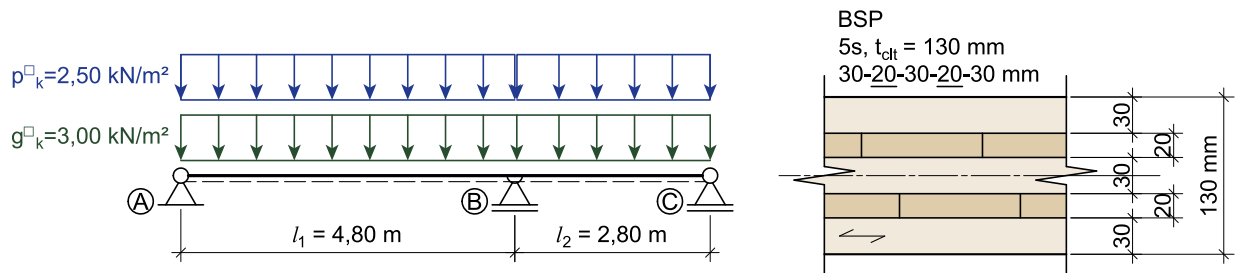
Grenzwert der Enddurchbiegung

$$w_{\text{net,fin,grenz}} = \frac{l}{250} = \frac{4.000}{250} = 16,0 \text{ mm}$$

Nachweis

$$\frac{w_{\text{net,fin}}}{w_{\text{net,fin,grenz}}} = \frac{10,2}{16,0} = 0,64 < 1$$

III.1.2. DURCHBIEGUNG – ZWEIFELDTRÄGER AUS BRETTSPERRHOLZ

**gegeben:**

- Einwirkungen: charakteristischer Wert der ständigen Einwirkung $g_k^□ = 3,00 \text{ kN/m}^2$
charakteristischer Wert der veränderlichen Einwirkung (Kat. A.) $q_k^□ = 2,50 \text{ kN/m}^2$
- Spannweite: $l_1 = 4,80 \text{ m}$, $l_2 = 2,80 \text{ m}$
- Querschnitt: BSP 5-schichtig (30-20-30-20-30 mm), $t_{\text{clt}} = 130 \text{ mm}$
- Material: BSP aus Grundmaterial C 24 nach EN 338
- Nutzungsklasse: NKL 1

Einwirkungen

Die weitere Berechnung erfolgt für einen Plattenstreifen mit der Breite $b = 1,00 \text{ m}$.

$$g_k = g_k^□ \cdot b = 3,00 \cdot 1,00 = 3,00 \text{ kN/m}$$

$$p_k = p_k^□ \cdot b = 2,50 \cdot 1,00 = 2,50 \text{ kN/m}$$

Baustoffkenngrößen nach ÖNORM B 1995-1-1, Anhang K [2]

charakteristische Steifigkeitswerte:

- E-Modul: $E_{0,\text{lay,mean}} = 11.500 \text{ N/mm}^2$ Tab. III.22
- Schubmodul: $G_{0,\text{lay,mean}} = 690 \text{ N/mm}^2$ Tab. III.22
- Rollschubmodul: $G_{r,\text{lay,mean}} = 65 \text{ N/mm}^2$ Tab. III.22
- Verformungsbeiwert: $k_{\text{def}} = 0,80$

Steifigkeitswerte für einen Plattenstreifen mit der Breite $b = 1,00 \text{ m}$

- Biegesteifigkeit K_{clt}

$$K_{\text{clt}} = \sum (E_i \cdot I_i) + \sum (E_i \cdot A_i \cdot e_i^2) = 11.500 \cdot 1.000 \cdot \left[3 \cdot \frac{30^3}{12} + 2 \cdot 30 \cdot 50,0^2 \right] = 1,80 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

$$\rightarrow \text{für } t = 0: K_{\text{clt},t=0} = K_{\text{clt}} = 1,80 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

$$\rightarrow \text{für } t = \infty: K_{\text{clt},t=\infty} = \frac{K_{\text{clt}}}{1 + k_{\text{def}}} = \frac{1,80 \cdot 10^{12}}{1 + 0,8} = 1,00 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

- Schubsteifigkeit S_{clt}

Schubkorrekturfaktor

$$\kappa = \kappa_{10} + \frac{\kappa_{14,4} - \kappa_{10}}{4,4} \cdot \left(\frac{G_0}{G_r} - 10 \right) = 0,243 + \frac{0,177 - 0,243}{4,4} \cdot \left(\frac{690}{65} - 10 \right) = 0,233$$

Schubsteifigkeit

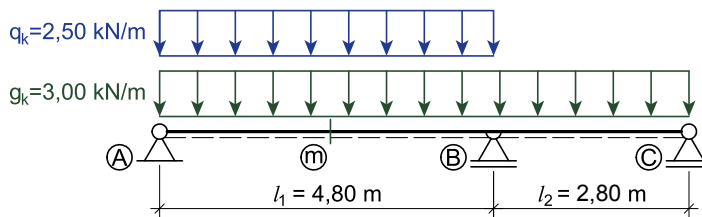
$$S_{clt} = \kappa \cdot \sum G \cdot A = 0,233 \cdot 1.000 \cdot [690 \cdot 3 \cdot 30,0 + 65 \cdot 2 \cdot 20,0] = 1,51 \cdot 10^7 \text{ N}$$

$$\rightarrow \text{für } t = 0: \quad S_{clt,t=0} = S_{clt} = 1,51 \cdot 10^7 \text{ N}$$

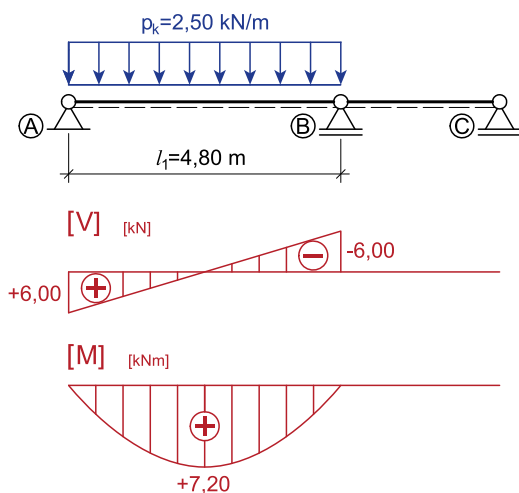
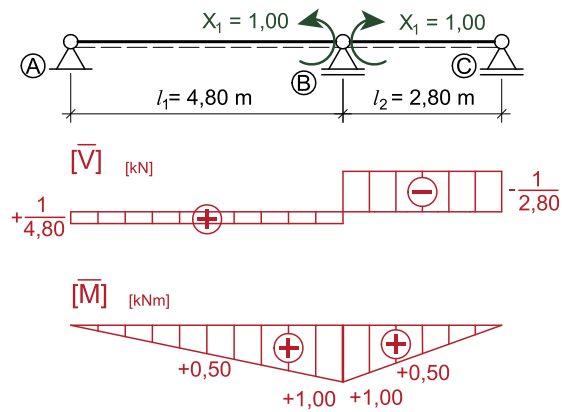
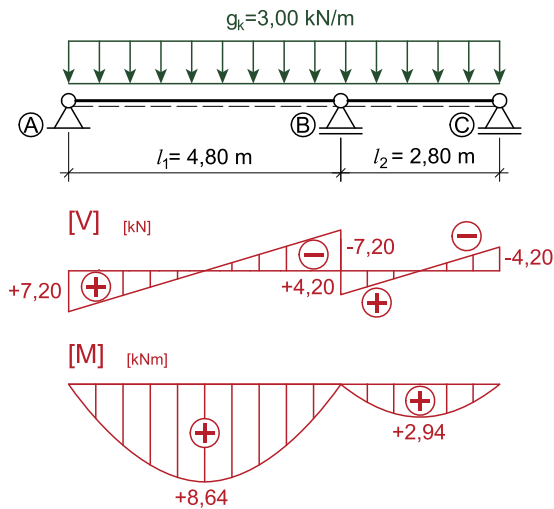
$$\rightarrow \text{für } t = \infty: \quad S_{clt,t=\infty} = \frac{S_{clt}}{1 + k_{def}} = \frac{1,51 \cdot 10^7}{1 + 0,80} = 8,38 \cdot 10^6 \text{ N}$$

feldweise Lastaufstellung

größte Durchbiegung mit ständiger Einwirkung in den Feldern 1 und 2 sowie der veränderlichen Einwirkung (Nutzlast) im größeren Feld (Feld 1; näherungsweise in Feldmitte)



Ermittlung der Verformung (Durchbiegung) für die seltenene (charakteristische) Einwirkungskombination (zum Zeitpunkt $t = 0$)



seltene (charakteristische) Einwirkungskombination

$$w_{\text{inst}} = \sum w_{\text{inst},0} + w_{\text{inst},Q,1} + \sum_{i>1} \psi_{0,i} \cdot w_{\text{inst},Q,i}$$

• Feld 1 und 2: $g_k = 3,00 \text{ kN/m}$

$$\delta_{1B} = \frac{1}{K_{\text{clt},t=0}} \cdot \left\{ \frac{4,80}{6} \cdot [0 + 4 \cdot 8,64 \cdot 0,5 + 0] + \frac{2,80}{6} \cdot [0 + 4 \cdot 2,94 \cdot 0,5 + 0] \right\} + \frac{1}{S_{\text{clt},t=0}} \cdot \{0\} = \frac{16,6}{K_{\text{clt},t=0}}$$

$$\delta_{11} = \frac{1}{K_{\text{clt},t=0}} \cdot \left\{ \frac{4,80}{6} \cdot [0 + 4 \cdot 0,50^2 + 1,00^2] + \frac{2,80}{6} \cdot [1,00^2 + 4 \cdot 0,50^2 + 0] \right\} + \frac{1}{S_{\text{clt},t=0}} \cdot \left\{ \frac{4,80}{6} \cdot \left[\left(\frac{1}{4,80} \right)^2 + 4 \cdot \left(\frac{1}{4,80} \right)^2 + \left(\frac{1}{4,80} \right)^2 \right] + \frac{2,80}{6} \cdot \left[\left(-\frac{1}{2,80} \right)^2 + 4 \cdot \left(-\frac{1}{2,80} \right)^2 + \left(-\frac{1}{2,80} \right)^2 \right] \right\} = \frac{2,53}{K_{\text{clt},t=0}} + \frac{0,565}{S_{\text{clt},t=0}}$$

statisch Unbekannte

$$M_{B,1;t=0} = -\frac{\delta_{1B}}{\delta_{11}} = -\frac{\left(\frac{16,6}{K_{\text{clt},t=0}} \right)}{\left(\frac{2,53}{K_{\text{clt},t=0}} + \frac{0,565}{S_{\text{clt},t=0}} \right)} = -\frac{\left(\frac{16,6}{1,80 \cdot 10^3} \right)}{\left(\frac{2,53}{1,80 \cdot 10^3} + \frac{0,565}{1,51 \cdot 10^4} \right)} = -6,39 \text{ kNm}$$

• Feld 1: $p_k = 2,50 \text{ kN/m}$

$$\delta_{1B} = \frac{1}{K_{\text{clt},t=0}} \cdot \left\{ \frac{4,80}{6} \cdot [0 + 4 \cdot 7,20 \cdot 0,5 + 0] + 0 \right\} + \frac{1}{S_{\text{clt},t=0}} \cdot \{0\} = \frac{11,5}{K_{\text{clt},t=0}}$$

$$\delta_{11} = \frac{2,53}{K_{\text{clt},t=0}} + \frac{0,565}{S_{\text{clt},t=0}}$$

statisch Unbekannte

$$M_{B,2;t=0} = -\frac{\delta_{1B}}{\delta_{11}} = -\frac{\left(\frac{11,5}{K_{\text{clt},t=0}} \right)}{\left(\frac{2,53}{K_{\text{clt},t=0}} + \frac{0,565}{S_{\text{clt},t=0}} \right)} = -\frac{\left(\frac{11,5}{1,80 \cdot 10^3} \right)}{\left(\frac{2,53}{1,80 \cdot 10^3} + \frac{0,565}{1,51 \cdot 10^4} \right)} = -4,43 \text{ kNm}$$

Schnittkraftverläufe

resultierendes Stützmoment und weitere Schnittgrößen

$$M_{B,t=0} = M_{B,1;t=0} + M_{B,2;t=0} = (-6,39) + (-4,43) = -10,8 \text{ kNm}$$

$$M_{l_1/2,t=0} = \frac{M_{B,1}}{2} + \frac{(g_k + p_k) \cdot l_1^2}{8} = \frac{(-10,8)}{2} + \frac{(3,00 + 2,50) \cdot 4,80^2}{8} = 10,4 \text{ kNm}$$

$$A_{v,t=0} = V_{A,t=0} = \frac{1}{l_1} \cdot \left[M_{B,t=0} + (g_k + p_k) \cdot \frac{l_1^2}{2} \right] = \frac{1}{4,80} \cdot \left[(-10,8) + (3,00 + 2,50) \cdot \frac{4,80^2}{2} \right] = 11,0 \text{ kN}$$

$$V_{l_1/2; t=0} = A_{v, t=0} - (g_k + p_k) \cdot \frac{l_1}{2} = 11,0 - (3,00 + 2,50) \cdot \frac{4,80}{2} = -2,20 \text{ kN}$$

$$V_{B, l_1; t=0} = A_{v, t=0} - (g_k + p_k) \cdot l_1 = 11,0 - (3,00 + 2,50) \cdot 4,80 = -15,4 \text{ kN}$$

$$C_{v, t=0} = -V_{C, t=0} = \frac{1}{l_2} \cdot \left[M_{B, t=0} + g_k \cdot \frac{l_2^2}{2} \right] = \frac{1}{2,80} \cdot \left[-10,8 + 3,00 \cdot \frac{2,80^2}{2} \right] = 0,343 \text{ kN}$$

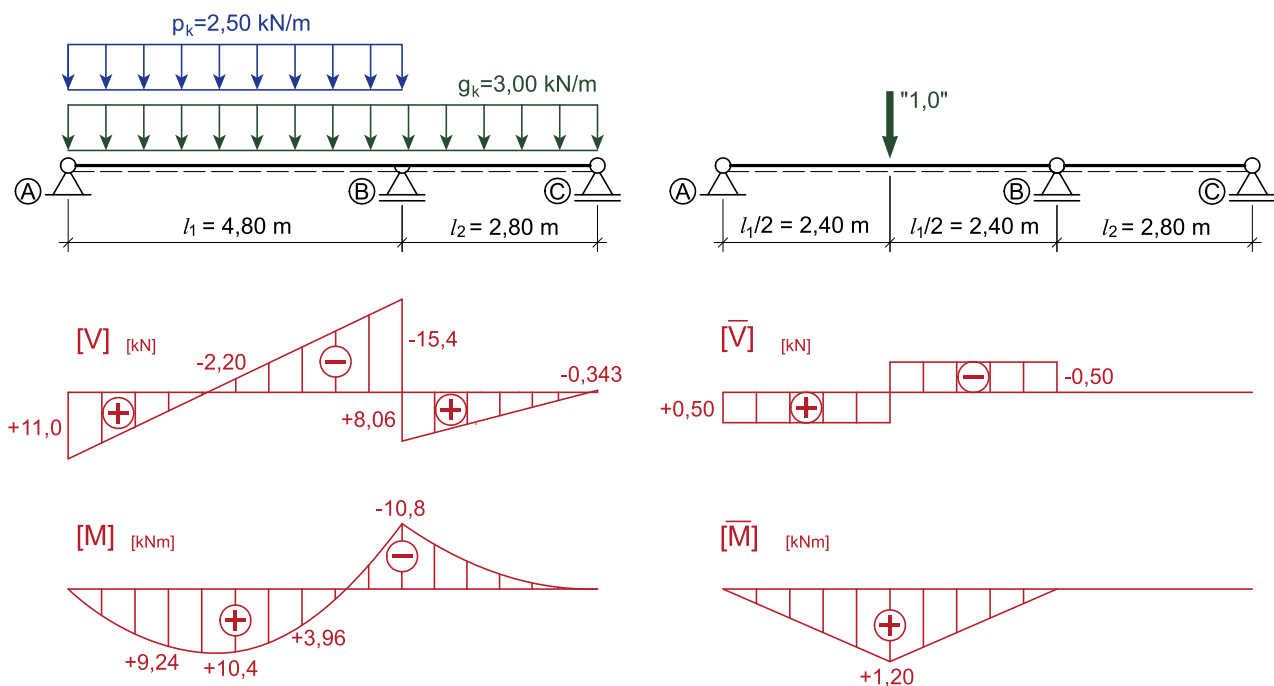
- Schnittgrößen auf Grund der virtuellen „1“-Last am statisch bestimmten Grundsystem

$$M_{l_1/2} = \frac{F \cdot l_1}{4} = \frac{1 \cdot 4,80}{4} = 1,20 \text{ kNm}$$

$$V_A = -V_B = \frac{F}{2} = \frac{1}{2} = 0,50 \text{ kN}$$

Schnittkraftverläufe zur Ermittlung der Durchbiegung im Feld 1 (in Feldmitte)

(Anwendung des Reduktionssatzes der Baustatik)



Ermittlung der Durchbiegung

Arbeitssatz

$$\bar{1} \cdot \delta = \int \left(\frac{M \cdot \bar{M}}{K_{clt}} + \frac{V \cdot \bar{V}}{S_{clt}} \right) \cdot dx$$

- Auswertung mit Integraltafeln

$$\begin{aligned} w_{m, t=0} &= \bar{1} \cdot \delta = \int \frac{M \cdot \bar{M}}{K_{clt, t=0}} dx + \int \frac{V \cdot \bar{V}}{S_{clt, t=0}} dx = \\ &= \frac{1}{1,80 \cdot 10^3} \cdot \left[\frac{1}{6} \cdot 4,80 \cdot 1,20 \cdot \left[0 + 2 \cdot 10,4 + (-10,8) \cdot \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot (0 - 2 \cdot 10,4 + (-10,8)) \right] \right] + \\ &+ \frac{1}{1,51 \cdot 10^4} \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot \frac{4,80}{2} \cdot 0,50 \cdot (11,0 + (-2,20)) + \frac{1}{2} \cdot \frac{4,80}{2} \cdot (-0,50) \cdot ((-2,20) + (-15,4)) \right] \\ &= 1,24 \cdot 10^{-2} + 1,05 \cdot 10^{-3} = 1,35 \cdot 10^{-2} \text{ m} = 13,5 \text{ mm} (= 91,9\% + 7,78\%) \end{aligned}$$

- alternativ: Auswertung mit numerischer Integration (Simpson'sche Formel)

$$\begin{aligned}
 w_{m;t=0} &= \bar{1} \cdot \delta = \int \frac{M \cdot \bar{M}}{K_{clt,t=0}} dx + \int \frac{V \cdot \bar{V}}{S_{clt,t=0}} dx \\
 &= \frac{1}{1,80 \cdot 10^3} \cdot \left[\frac{2,40}{6} \cdot (0 + 4 \cdot 9,24 \cdot 0,60 + 10,4 \cdot 1,20) + \frac{2,40}{6} \cdot (10,4 \cdot 1,20 + 4 \cdot 3,96 \cdot 0,60 + (-10,8) \cdot 0) \right] + \\
 &\quad \frac{1}{1,51 \cdot 10^4} \cdot \left[\frac{2,40}{6} \cdot ((11,0 + 4 \cdot 4,40 + (-2,20)) \cdot 0,50) + \frac{2,40}{6} \cdot ((-2,20) + 4 \cdot (-8,80) + (-15,4)) \cdot (-0,50) \right] \\
 &= 1,26 \cdot 10^{-2} + 1,05 \cdot 10^{-3} = 1,37 \cdot 10^{-2} \text{ m} = 13,7 \text{ mm} (= 92,0\% + 7,66\%)
 \end{aligned}$$

Ermittlung der Verformung (Durchbiegung) für die quasi-ständige Einwirkungskombination (zum Zeitpunkt $t = \infty$)

quasi-ständige Einwirkungskombination

$$w_{\text{net,fin}} = \left(\sum_{j \geq 1} w_{\text{inst,G,j}} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot w_{\text{inst,Q,i}} \right) \cdot (1 + k_{\text{def}}) - w_c = \bar{w}_{\text{fin}} \cdot \left(\sum_{j \geq 1} g_{k,j} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot q_{k,i} \right) \cdot (1 + k_{\text{def}}) - w_c$$

- Feld 1 und 2: $g_{k,q\text{-st}} = 3,00 \text{ kN/m}$

$$M_{B,1;t=\infty} = -\frac{\delta_{1B}}{\delta_{11}} = -\frac{\left(\frac{16,6}{K_{clt,t=\infty}} \right)}{\left(\frac{2,53}{K_{clt,t=\infty}} + \frac{0,565}{S_{clt,t=\infty}} \right)} = -\frac{\left(\frac{16,6}{1,00 \cdot 10^3} \right)}{\left(\frac{2,53}{1,00 \cdot 10^3} + \frac{0,565}{8,38 \cdot 10^3} \right)} = -6,39 \text{ kNm}$$

- Feld 1: $p_{k,q\text{-st}} = \psi_2 \cdot p_k = 0,30 \cdot 2,50 = 0,75 \text{ kN/m}$

$$M_{B,2;t=\infty} = -\frac{\delta_{1B}}{\delta_{11}} = -\frac{\left(\frac{\psi_2 \cdot 11,5}{K_{clt,t=\infty}} \right)}{\left(\frac{2,53}{K_{clt,t=\infty}} + \frac{0,565}{S_{clt,t=\infty}} \right)} = -\frac{\left(\frac{0,30 \cdot 11,5}{1,00 \cdot 10^3} \right)}{\left(\frac{2,53}{1,00 \cdot 10^3} + \frac{0,565}{8,38 \cdot 10^3} \right)} = -1,33 \text{ kNm}$$

resultierendes Stützmoment und weitere Schnittgrößen

$$M_{B,t=\infty} = M_{B,1;t=0} + M_{B,2;t=0} = (-6,39) + (-1,33) = -7,72 \text{ kNm}$$

$$M_{l_1/2;t=\infty} = \frac{M_{B,1;t=\infty}}{2} + \frac{(g_k + \psi_2 \cdot p_k) \cdot l_1^2}{8} = \frac{(-7,72)}{2} + \frac{(3,00 + 0,30 \cdot 2,50) \cdot 4,80^2}{8} = 6,94 \text{ kNm}$$

$$A_{v,t=\infty} = V_{A,t=\infty} = \frac{1}{l_2} \cdot \left[M_{B,t=\infty} + (g_k + \psi_2 \cdot p_k) \cdot \frac{l_1^2}{2} \right] = \frac{1}{4,80} \cdot \left[(-7,72) + (3,00 + 0,3 \cdot 2,50) \cdot \frac{4,80^2}{2} \right] = 7,39 \text{ kN}$$

$$V_{l_1/2;t=\infty} = A_{v,t=\infty} - (g_k + \psi_2 \cdot p_k) \cdot \frac{l_1}{2} = 7,39 - (3,00 + 0,3 \cdot 2,50) \cdot \frac{4,80}{2} = -1,61 \text{ kN}$$

$$V_{B,t=\infty} = A_{v,t=\infty} - (g_k + \psi_2 \cdot p_k) \cdot l_1 = 7,39 - (3,00 + 0,3 \cdot 2,50) \cdot 4,80 = -10,6 \text{ kN}$$

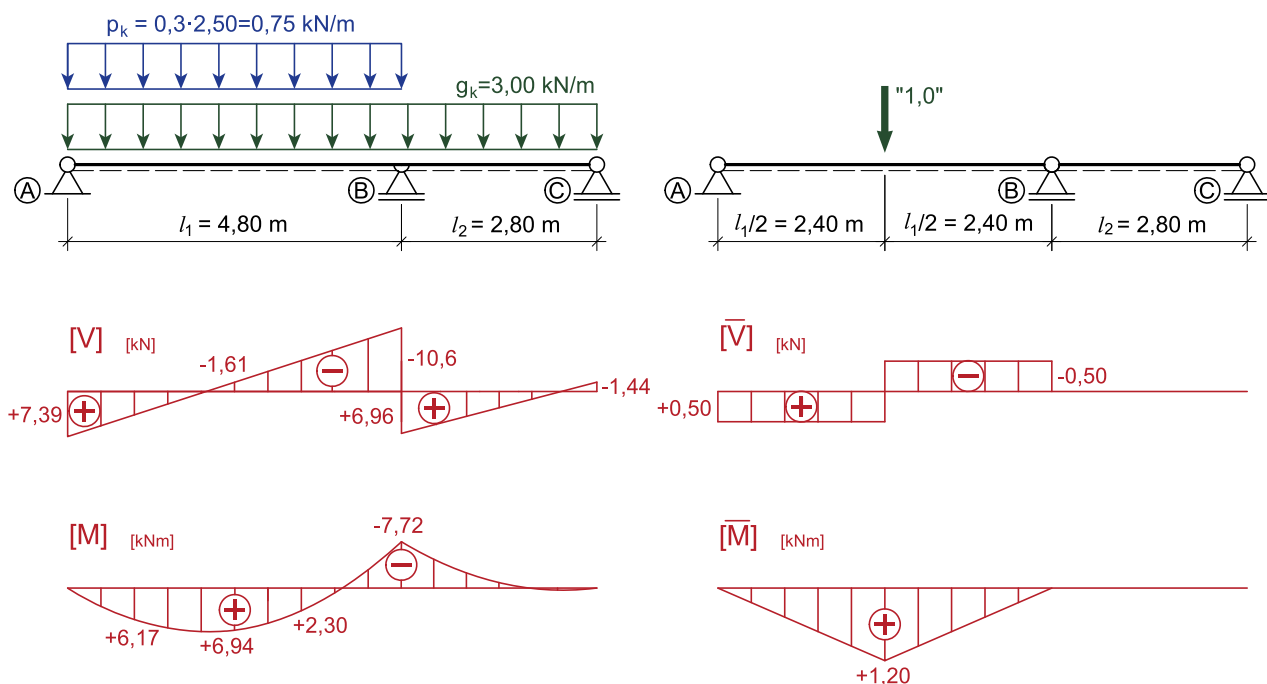
$$C_{v,t=\infty} = -V_{C,t=\infty} = \frac{1}{l_2} \cdot \left[M_{B,t=\infty} + g_k \cdot \frac{l_2^2}{2} \right] = \frac{1}{2,80} \cdot \left[-7,72 + 3,00 \cdot \frac{2,80^2}{2} \right] = 1,44 \text{ kN}$$

Schnittgrößen auf Grund der virtuellen „1“-Last

$$M_{l_1/2} = \frac{F \cdot l_1}{4} = \frac{1 \cdot 4,80}{4} = 1,20 \text{ kNm}$$

$$V_A = -V_B = \frac{F}{2} = \frac{1}{2} = 0,50 \text{ kN}$$

Schnittkraftverläufe zur Ermittlung der Durchbiegung im Feld 1 (in Feldmitte)
(Anwendung des Reduktionssatzes der Baustatik)



Ermittlung der Durchbiegung

• Auswertung mit Integraltafeln

$$\begin{aligned} w_{m,t=\infty} &= \bar{1} \cdot \delta = \int \frac{M \cdot \bar{M}}{K_{clt,t=\infty}} dx + \int \frac{V \cdot \bar{V}}{S_{clt,t=\infty}} dx = \\ &= \frac{1}{1,00 \cdot 10^3} \cdot \left[\frac{1}{6} \cdot 4,80 \cdot 1,20 \cdot \left[0 + 2 \cdot 6,94 + (-7,72) \cdot \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot (0 - 2 \cdot 6,94 + (-7,72)) \right] \right] + \\ &+ \frac{1}{8,38 \cdot 10^3} \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot \frac{4,80}{2} \cdot 0,50 \cdot (7,39 + (-1,61)) + \frac{1}{2} \cdot \frac{4,80}{2} \cdot (-0,50) \cdot ((-1,61) + (-10,6)) \right] \\ &= 1,48 \cdot 10^{-2} + 1,29 \cdot 10^{-3} = 1,61 \cdot 10^{-2} \text{ m} = 16,1 \text{ mm} (= 91,9\% + 8,01\%) \end{aligned}$$

• alternativ: Auswertung mit numerischer Integration (Simpson'sche Formel)

$$\begin{aligned} w_{m,t=\infty} &= \bar{1} \cdot \delta = \int \frac{M \cdot \bar{M}}{K_{clt,t=0}} dx + \int \frac{V \cdot \bar{V}}{S_{clt,t=0}} dx \\ &= \frac{1}{1,00 \cdot 10^3} \cdot \left[\frac{2,40}{6} \cdot (0 + 4 \cdot 6,17 \cdot 0,60 + 6,94 \cdot 1,20) + \frac{2,40}{6} \cdot (6,94 \cdot 1,20 + 4 \cdot 2,30 \cdot 0,60 + (-7,72) \cdot 0) \right] + \\ &\frac{1}{8,38 \cdot 10^3} \cdot \left[\frac{2,40}{6} \cdot ((7,39 + 4 \cdot 2,89 + (-1,61)) \cdot 0,50) + \frac{2,40}{6} \cdot ((-1,61) + 4 \cdot (-6,11) + (-10,6)) \cdot (-0,50) \right] \\ &= 1,48 \cdot 10^{-2} + 1,29 \cdot 10^{-3} = 1,61 \cdot 10^{-2} \text{ m} = 16,1 \text{ mm} (= 91,9\% + 8,01\%) \end{aligned}$$

Nachweisführung

Nachweis der Durchbiegung für die seltene (charakteristische) Einwirkungskombination

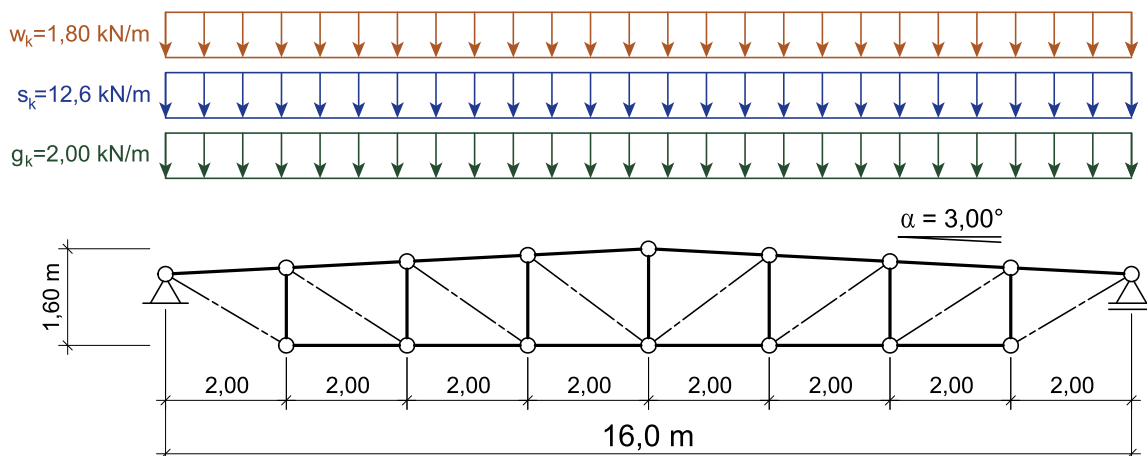
$$w_{\text{inst,grenz}} = \frac{l}{300} = \frac{4.800}{300} = 16,0 \text{ mm}$$

$$\frac{w_{\text{inst}}}{w_{\text{inst,grenz}}} = \frac{13,7}{16,0} = 0,86 < 1$$

Nachweis der Verformung für die quasi-ständige Einwirkungskombination

$$w_{\text{net,fin,grenz}} = \frac{l}{250} = \frac{4.800}{250} = 19,2 \text{ mm}$$

$$\frac{w_{\text{fin}} - w_{\text{c}}}{w_{\text{net,fin,grenz}}} = \frac{16,1 - 0}{19,2} = 0,84 < 1$$

III.1.3. DURCHBIEGUNG FACHWERK**gegeben:**

Einwirkungen:	charakteristischer Wert der ständigen Einwirkung	$g_k = 2,00 \text{ kN/m}$
	charakteristische Werte der veränderlichen Einwirkungen	
	- Schnee (über 1.000 m Seehöhe)	$s_k = 12,6 \text{ kN/m}$
	- Wind	$w_k = 1,80 \text{ kN/m}$
Querschnitte:	Ober- und Untergurt	$b/h = 200/220 \text{ mm}$
	Vertikale	$b/h = 120/120 \text{ mm}$
	Stahlstangen	$\varnothing 40 \text{ mm}$
Spannweite:	$l = 16,0 \text{ m}$	
Material:	Holzbauteile BSH GL 24h	
	Stahlbauteile S235	
Verbindungen:	Holz-Stahlblech-Verbindung mit Stabdübel $\varnothing 12 \text{ mm}$, zweischnittig	
Nutzungsklasse:	NKL 2	
Verformungsbeiwert:	$k_{\text{def}} = 0,80$	

Berechnung der Stabkräfte

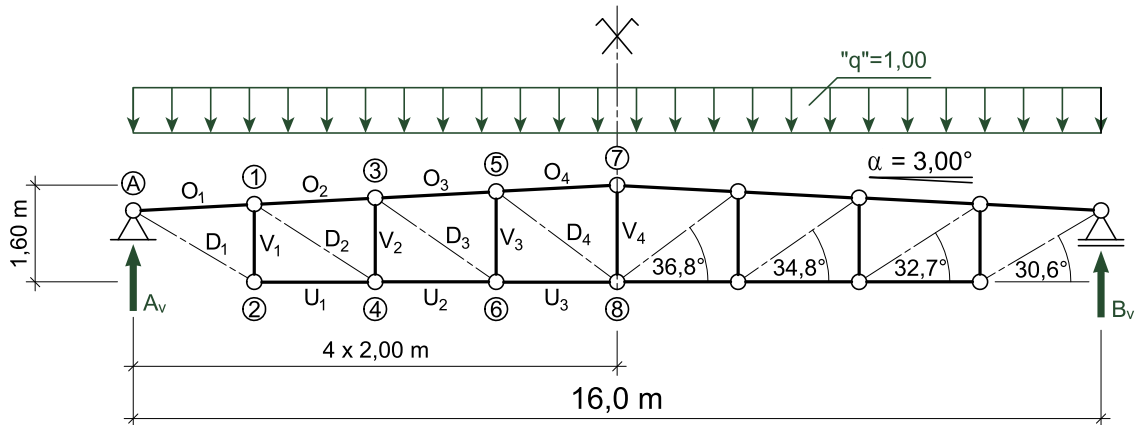
Anmerkung:

Es wird die Durchbiegung für die dargestellte Einwirkungssituation ermittelt. Auf die Darstellung weiterer Einwirkungskombinationen (z. B. „Schnee-halb“) wird aus Anschaulichkeitsgründen verzichtet.

• **Stabkräfte im Fachwerk auf Grund einer Einheitslast $q = 1,00 \text{ kN/m}$**

Anmerkung:

Das Fachwerk wird als ideales Fachwerk mit gelenkigen Knotenpunkten modelliert. Nachfolgend werden exemplarisch die Stabkräfte einiger ausgewählter Stäbe ermittelt. Die weiteren Stabkräfte können den folgenden Tabellen entnommen werden.



Auflagerkraft

$$A_{v; "1,0"} = B_{v; "1,0"} = \frac{q \cdot l}{2} = \frac{1,0 \cdot 16,0}{2} = 8,00 \text{ kN}$$

Obergurkraft O_4

$$M_{m; "1,0"} = \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{1,00 \cdot 16,0^2}{8} = 32,0 \text{ kNm}$$

$$O_{4; "1,0"} = -\frac{M_{m; "1,0"}}{h_4 \cdot \cos \alpha} = -\frac{32,0}{1,60 \cdot \cos(3,00)} = -20,0 \text{ kN}$$

Untergurkraft U_3

$$M_{5; "1,0"} = A_{v; "1,0"} \cdot 3 \cdot l_1 - \frac{q \cdot (3 \cdot l_1)^2}{2} = 8,00 \cdot 3 \cdot 2,00 - \frac{1,00 \cdot (3 \cdot 2,00)^2}{2} = 30,0 \text{ kNm}$$

$$U_{3; "1,0"} = \frac{M_{5; "1,0"}}{h_4 - l_1 \cdot \tan \alpha} = \frac{30,0}{1,60 - 2,00 \cdot \tan(3,00)} = 20,1 \text{ kN}$$

Diagonale D_1

$$M_{1; "1,0"} = A_{v; "1,0"} \cdot l_1 - \frac{q \cdot l_1^2}{2} = 8,00 \cdot 2,00 - \frac{1,00 \cdot 2,00^2}{2} = 14,0 \text{ kNm}$$

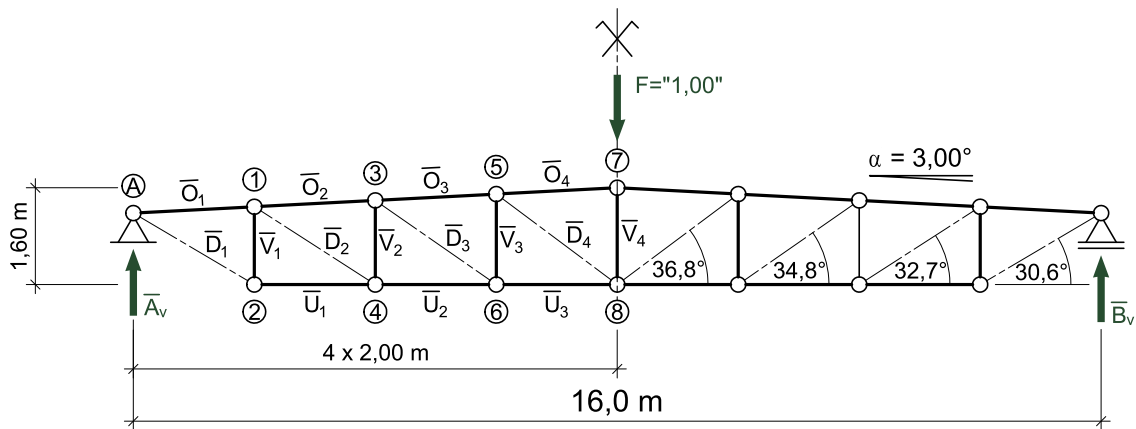
$$U_{1; "1,0"} = \frac{M_{1; "1,0"}}{h_4 - 3 \cdot l_1 \cdot \tan \alpha} = \frac{14,0}{1,60 - 3 \cdot 2,00 \cdot \tan(3,00)} = 10,9 \text{ kN}$$

$$D_{1; "1,0"} = \frac{U_{1; "1,0"}}{\cos \alpha_1} = \frac{10,9}{\cos(30,6)} = 12,7 \text{ kN}$$

Vertikale V_1

$$V_{1; "1,0"} = -D_{1; "1,0"} \cdot \sin \alpha_1 = -12,7 \cdot \sin(30,6) = -6,47 \text{ kN}$$

- virtuelle „1“-Kraft an der Stelle der zu berechnenden Durchbiegung (in Feldmitte)



Auflagerkraft

$$\bar{A}_{v; "1,0"} = \bar{B}_{v; "1,0"} = \frac{\bar{F}}{2} = \frac{1,00}{2} = 0,50 \text{ kN}$$

Obergurtkraft O_4

$$\bar{M}_{m; "1,0"} = A \cdot 4 \cdot l_1 = 0,50 \cdot 4 \cdot 2,00 = 4,00 \text{ kNm}$$

$$\bar{O}_{4; "1,0"} = -\frac{\bar{M}_{m; "1,0"}}{h_4 \cdot \cos(\alpha)} = -\frac{4,00}{1,60 \cdot \cos(3,00)} = -2,50 \text{ kN}$$

Untergurtkraft U_3

$$\bar{M}_{5; "1,0"} = \bar{A}_{v; "1,0"} \cdot 3 \cdot l_1 = 0,50 \cdot 3 \cdot 2,00 = 3,00 \text{ kNm}$$

$$\bar{U}_{3; "1,0"} = \frac{\bar{M}_{5; "1,0"}}{h_4 - l_1 \cdot \tan(\alpha)} = \frac{3,00}{1,60 - 2,00 \cdot \tan(3,00)} = 2,01 \text{ kN}$$

Diagonale D_1

$$\bar{M}_{1; "1,0"} = \bar{A}_{v; "1,0"} \cdot l_1 = 0,50 \cdot 2,00 = 1,00 \text{ kNm}$$

$$\bar{U}_{1; "1,0"} = \frac{\bar{M}_{1; "1,0"}}{h_4 - 3 \cdot l_1 \cdot \tan(\alpha)} = \frac{1,00}{1,60 - 3 \cdot 2,00 \cdot \tan(3,00)} = 0,778 \text{ kN}$$

$$\bar{D}_{1; "1,0"} = \frac{\bar{U}_{1; "1,0"}}{\cos(\alpha_1)} = \frac{0,778}{\cos(30,6)} = 0,904 \text{ kN}$$

Vertikale V_1

$$\bar{V}_{1; "1,0"} = -\bar{D}_{1; "1,0"} \cdot \sin(\alpha_1) = -0,904 \cdot \sin(30,6) = -0,460 \text{ kN}$$

Einflüsse der Lasteinwirkungsdauer und der Feuchte auf die Verformungen

Wird die Verteilung der Schnittgrößen nicht durch die Steifigkeitsverteilung im Tragwerk beeinflusst sollten die E-Moduln zum Zeitpunkt $t = \infty$ in der Berechnung wie folgt berücksichtigt werden:

Zeitpunkt	Lastfallkombination	Holz	Stahl	Verbindungsmittel
$t = 0$	charakteristische LK	E_{mean}	E_s	K_{ser}
$t = \infty$	quasi-ständige LK	$E_{\text{mean,fin}} = \frac{E_{\text{mean}}}{(1+k_{\text{def}})}$		$K_{\text{ser,fin}} = \frac{K_{\text{ser}}}{(1+k_{\text{def}})}$

aus EN 1995-1-1, Abschnitt 2.3.2.2 (3):

Wenn eine Verbindung aus Holzbauteilen mit dem gleichen zeitabhängigen Verhalten besteht, sollte der Wert für den Verformungsbeiwert k_{def} verdoppelt werden.

	$t = 0$	$t = \infty$
Holz	$E_{\text{mean}} = 11.500 \text{ N/mm}^2$	$E_{\text{mean,fin}} = \frac{11.500}{(1+0,80)} = 6.389 \text{ N/mm}^2$
Stahl	$E_{\text{mean}} = 210.000 \text{ N/mm}^2$	
Verbindungsmittel ¹ (Verschiebungsmodul je Scherfuge)	$K_{\text{ser}} = 2 \cdot \rho_m^{1,5} \cdot \frac{d}{23} = 2 \cdot 420^{1,5} \cdot \frac{12,0}{23} = 8.982 \text{ N/mm}$	$K_{\text{ser,fin}} = \frac{8.982}{(1+2 \cdot 0,80)} = 3.454 \text{ N/mm}$

¹ Bei Stahlblech-Holz- oder Beton-Holz-Verbindungen sollte der Verschiebungsmodul K_{ser} mit dem Faktor 2,0 multipliziert werden.

Kontaktschlupf in den vertikalen Stäben

$$u_{\text{Schlupf}} = -1,5 \text{ mm}$$

Anmerkung:

Die elastischen Verformungen in den Anschlüssen rechtwinklig zur Faser verursacht durch den Kontaktstoß der Vertikalen (Beanspruchung auf Querdruck) werden in diesem Beispiel vernachlässigt.

Nachweis der Begrenzung der elastischen Anfangsdurchbiegung ($t = 0$)

charakteristische Einwirkungskombination nach ÖNORM EN 1990:2013, Abschnitt 6.5.3 (2) a)

$$w_{\text{inst}} = \sum w_{\text{inst,G}} + w_{\text{inst,Q,1}} + \sum_{i>1} \psi_{0,i} \cdot w_{\text{inst,Q,i}} = \bar{w}_{\text{inst}} \cdot \left(\sum g_k + q_{k,1} + \sum_{i>1} \psi_{0,i} \cdot q_i \right) = \bar{w}_{\text{inst}} \cdot q_{\text{inst}}$$

$$\bar{w}_{\text{inst}} = \underbrace{\frac{N_i \cdot \bar{N}_i}{E_{\text{mean,i}} \cdot A_i} \cdot l_i}_{\text{elastische Verformung}} + \underbrace{2 \cdot \frac{N_i \cdot \bar{N}_i}{n \cdot K_{\text{ser,i}}}}_{\text{VM-Verformung}} + \underbrace{2 \cdot \bar{N}_i \cdot u_{\text{Schlupf,i}}}_{\text{Schlupf}}$$

$$q_{\text{inst}} = \sum g_k + s_{k,1} + \sum_{i>1} \psi_{0,i} \cdot w_i = 2,00 + 12,6 + 0,6 \cdot 1,80 = 15,7 \text{ kN/m}$$

Anmerkung:

Der Faktor 2 in den Gleichungen für w_{inst} ergibt sich aus der Tatsache, dass die Verformungsanteile aus den Verbindungsmitteln bzw. des Kontaktschlupfes jeweils am Anfang und Ende des betrachteten Stabes auftreten.

Stab	Stablänge	Quer-schnitt	Elastizi-tätsmodul	Stabkräfte		Verformungen			
						elastisch	Stabdübel (2 Anschlüsse)		Schlupf (2 An-schlüsse)
	l_i	A_i	$E_{\text{mean,fin}}$	N_i	$\bar{N}_i$	$\frac{N_i \cdot \bar{N}_i}{E_{\text{mean}} \cdot A_i} \cdot l_i \cdot 10^3$	Anzahl VM mal Scherfugen	$2 \cdot \frac{N_i \cdot \bar{N}_i}{\eta_i \cdot K_{\text{ser,fin},i}} \cdot 10^3$	$2 \cdot \bar{N}_i \cdot u_{\text{Schlupf}}$
	[m]	[mm²]	[N/mm²]		[kN]	[mm]	[-]	[mm]	[mm]
O ₁	≈ 2,00	44.000	11.500	- 10,9 · q	- 0,778	0,0335 · q	–	–	–
O ₂	≈2,00			- 17,3 · q	- 1,44	0,0985 · q	–	–	–
O ₃	≈ 2,00			- 20,1 · q	- 2,01	0,160 · q	–	–	–
O ₄	≈ 2,00			-20,0 · q	-2,50	0,198 · q	–	–	–
U ₁	2,00			10,9 · q	0,778	0,0335 · q	–	–	–
U ₂	2,00			17,3 · q	1,44	0,0985 · q	–	–	–
U ₃	2,00			20,1 · q	2,01	0,160 · q	–	–	–
V ₁	1,29	14.400		- 6,47 · q	- 0,460	0,0232 · q	–	–	1,38
V ₂	1,39			- 4,11 · q	- 0,421	0,0145 · q	–	–	1,26
V ₃	1,50			- 1,95 · q	- 0,396	0,0700 · q	–	–	1,19
V ₄	1,60	7.200		+0,0934/2 · q	- 0,738/2	≈ 0	–	–	2,21/2
D ₁	2,32	1.260	210.000	12,7 · q	0,904	0,101 · q	120	0,0213 · q	–
D ₂	2,38			7,61 · q	0,786	0,0538 · q	80	0,0166 · q	–
D ₃	2,44			3,41 · q	0,693	0,0218 · q	36	0,0146 · q	–
D ₄ *	2,50			- 0,0780 · q	0,611	≈ 0	16	≈ 0	–
Summe Einzelspalten (Trägerhälfte)						1,07 · q		0,525 · q	4,94
Summe Einzelspalten (Gesamtträger)						2,14 · q		0,105 · q	9,88

* Die Diagonale D4 ist konstruktiv so ausgebildet, dass sie geringfügige Druckkräfte aufnehmen kann.

Anmerkung:
Es wurde die Symmetrie des statischen Systems und der Einwirkung berücksichtigt. Der Stab 4 (in der Symmetrieachse liegend) wurde einmal berücksichtigt.

Durchbiegung in Feldmitte

$$w_{\text{inst}} = 2,14 \cdot q_{\text{inst}} + 0,105 \cdot q_{\text{inst}} + 9,88 = 2,14 \cdot 15,7 + 0,105 \cdot 15,7 + 9,88 = 33,6 + 1,65 + 9,88 = 45,1 \text{ mm} (= 74,5\% + 3,66\% + 21,9\%)$$

Grenzwert der Anfangsdurchbiegung

$$w_{\text{inst,grenz}} = \frac{l}{300} = \frac{16.000}{300} = 53,3 \text{ mm}$$

Nachweis

$$\frac{w_{\text{inst}}}{w_{\text{inst,grenz}}} = \frac{45,1}{53,3} = 0,85 < 1$$

Nachweis der Begrenzung der gesamten Enddurchbiegung ($t = \infty$)

für die quasi-ständige Einwirkungskombination nach ÖNORM EN 1990:2013, Abschnitt 6.5.3 (2) c)

Stab	Stablänge	Quer- schnitt	Elastizi- tätsmodul	Stabkräfte		Verformungen			
						elastisch	Stabdübel (2 Anschlüsse)		Schlupf (2 An- schlüsse)
	l_i	A_i	$E_{\text{mean,fin}}$	N_i	$\bar{N}_i$	$\frac{N_i \cdot \bar{N}_i}{E_{\text{mean,fin},i} \cdot A_i} \cdot l_i \cdot 10^6$	Anzahl VM mal Scherfugen	$2 \cdot \frac{N_i \cdot \bar{N}_i}{\eta_i \cdot K_{\text{ser,fin},i}} \cdot 10^3$	$2 \cdot \bar{N}_i \cdot u_{\text{Schlupf}}$
	[m]	[mm²]	[N/mm²]		[kN]	[mm]	[-]	[mm]	[mm]
O ₁	≈ 2,00	44.000	6.389	- 10,9 · q	- 0,778	0,0603 · q	–	–	–
O ₂	≈ 2,00			- 17,3 · q	- 1,44	0,177 · q	–	–	–
O ₃	≈ 2,00			- 20,1 · q	- 2,01	0,287 · q	–	–	–
O ₄	≈ 2,00			- 20,0 · q	- 2,50	0,356 · q	–	–	–
U ₁	2,00			10,9 · q	0,778	0,0603 · q	–	–	–
U ₂	2,00			17,3 · q	1,44	0,177 · q	–	–	–
U ₃	2,00			20,1 · q	2,01	0,287 · q	–	–	–
V ₁	1,29	14.400		- 6,47 · q	- 0,460	0,0417 · q	–	–	1,38
V ₂	1,39			- 4,11 · q	- 0,421	0,0261 · q	–	–	1,26
V ₃	1,50			- 1,95 · q	- 0,396	0,0126 · q	–	–	1,19
V ₄	1,60	7.200		+0,0934/2 · q	- 0,738/2	≈ 0	–	–	2,21/2
D ₁	2,32	1.260	210.000	12,7 · q	0,904	0,101 · q	120	0,0554 · q	–
D ₂	2,38			7,61 · q	0,786	0,0538 · q	80	0,0433 · q	–
D ₃	2,44			3,41 · q	0,693	0,0218 · q	36	0,0380 · q	–
D ₄ *	2,50			- 0,0780 · q	0,611	≈ 0	16	≈ 0	–
Summe Einzelspalten (Trägerhälfte)						1,66 · q		0,137 · q	4,94
Summe Einzelspalten (Gesamtträger)						3,32 · q		0,274 · q	9,88

* Die Diagonale D4 ist konstruktiv so ausgebildet, dass sie geringfügige Druckkräfte aufnehmen kann.

* Die Diagonale D4 ist konstruktiv so ausgebildet, dass sie geringfügige Druckkräfte aufnehmen kann.

Einwirkungskombination zur Ermittlung der Enddurchbiegung

$$w_{\text{net,fin}} = \left(\sum_{j \geq 1} w_{\text{inst,G},j} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot w_{\text{inst,Q},i} \right) \cdot (1 + k_{\text{def}}) - w_c$$

$$\bar{w}_{\text{fin}} = \underbrace{\frac{N_i \cdot \bar{N}_i}{E_{\text{mean,fin},j} \cdot A_i} \cdot l_i}_{\text{elastische Verformung}} + 2 \cdot \underbrace{\frac{N_i \cdot \bar{N}_i}{n \cdot K_{\text{ser,fin},j}}}_{\text{VM-Verformung}} + 2 \cdot \underbrace{\bar{N}_i \cdot u_{\text{Schlupf},i}}_{\text{Schlupf}}$$

$$q_{\text{fin}} = \sum_{j \geq 1} g_{k,j} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot w_i = 2,00 + 0,20 \cdot 12,6 + 0 \cdot 1,80 = 4,52 \text{ kN/m}$$

Durchbiegung in Feldmitte

$$w_{\text{fin}} = 3,32 \cdot q_{\text{fin}} + 0,274 \cdot q_{\text{fin}} + 9,88 = 3,32 \cdot 4,52 + 0,274 \cdot 4,52 + 9,88 = 15,0 + 1,24 + 9,88 = 26,1 \text{ mm} (= 57,5\% + 4,75\% + 38,0\%)$$

Grenzwert der Enddurchbiegung

$$w_{\text{net,fin,grenz}} = \frac{l}{250} = \frac{16.000}{250} = 64,0 \text{ mm}$$

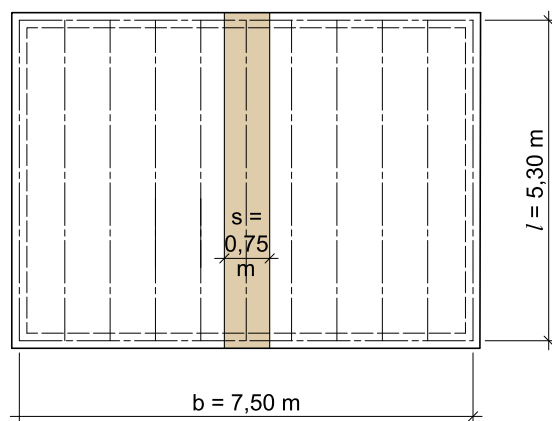
Nachweis

$$\frac{w_{\text{fin}} - w_{\text{c}}}{w_{\text{net,fin,grenz}}} = \frac{26,1}{64,0} = 0,41 < 1$$

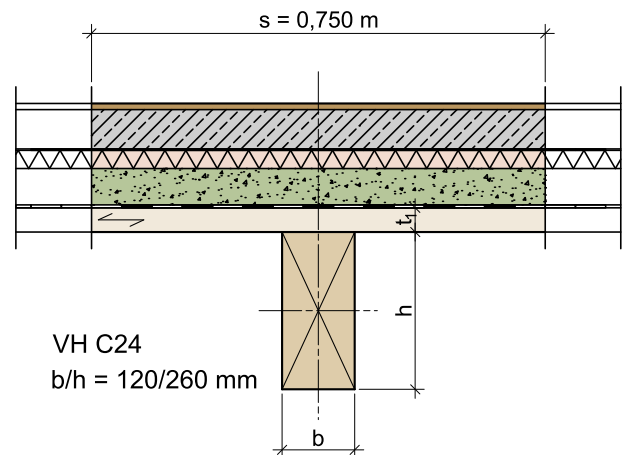
III.2 PERSONENINDUZIERTE SCHWINGUNGEN VON WOHNUNGSDECKEN

III.2.1. HOLZBALKENDECKE

Grundriss



Querschnitt



gegeben:

Holzbalkendecke mit Nassestrich und der Anforderung an Deckenklasse II gemäß ÖNORM B1995-1-1:2019 [2]

Deckenabmessungen: $l = 5,30 \text{ m} / b = 7,50 \text{ m}$

Querschnitt: Holzbalken $b/h = 120/260 \text{ mm}$; Schalung, $t_1 = 40 \text{ mm}$

Betonestrich, $t = 65 \text{ mm}$

Achsabstand: $s = 750 \text{ mm}$

Material: Holzbalken VH C24, Schalung VH C24

Betonestrich, bewehrt ($E_{\text{cm}} = 25.000 \text{ N/mm}^2$)

Masse: $m_{\text{constr}} = 240 \text{ kg}$

Biegesteifigkeiten der Deckenkonstruktion für einen Deckenstreifen mit der Breite $b = 1,00 \text{ m}$

- in Deckenspannrichtung

$$(E \cdot I)_{\text{ef,l}} = \frac{(E \cdot I)_{\text{beam}}}{s} + (E \cdot I)_{\text{screed}} = \frac{\left(\frac{11.000 \cdot \frac{120 \cdot 260^3}{12}}{0,750} \right) + 25.000 \cdot \frac{1.000 \cdot 65,0^3}{12}}{12} = 3,15 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^2 / \text{m} = 3,15 \cdot 10^6 \text{ Nm}^2 / \text{m}$$

- rechtwinklig zur Deckenspannungsrichtung

$$(E \cdot I)_{ef,b} = (E \cdot I)_{tim} + (E \cdot I)_{screed} = \left(11.000 \cdot \frac{1.000 \cdot 40,0^3}{12} \right) + \left(25.000 \cdot \frac{1.000 \cdot 65,0^3}{12} \right) = 6,31 \cdot 10^{11} \text{ Nmm}^2 / \text{m} = 6,31 \cdot 10^5 \text{ Nm}^2 / \text{m}$$

Überprüfung, ob eine Querverteilungswirkung gegeben ist

$$\frac{(E \cdot I)_{ef,b}}{(E \cdot I)_{ef,l}} = \frac{6,31 \cdot 10^5}{3,15 \cdot 10^6} = 0,200 > 0,05 \rightarrow \text{Querverteilung gegeben}$$

Berechnung der 1. Eigenfrequenz mit Berücksichtigung der Querverteilungswirkung

Masse pro m² Deckenfläche

$$m = 240 + 500 \cdot 1,00 \cdot 0,04 + \frac{500 \cdot 0,12 \cdot 0,26}{0,750} = 281 \text{ kg/m}^2$$

Berechnung der 1. Eigenfrequenz

$$f_1 = k_{e,1} \cdot k_{e,2} \cdot \frac{\pi}{2 \cdot l^2} \cdot \sqrt{\frac{(E \cdot I)_{ef,l}}{m}} \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{l}{b} \right)^4 \cdot \frac{(E \cdot I)_{ef,b}}{(E \cdot I)_{ef,l}}} =$$
$$= 1,00 \cdot 1,00 \cdot \frac{\pi}{2 \cdot 5,30^2} \cdot \sqrt{\frac{3,15 \cdot 10^6}{281}} \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{5,30}{7,50} \right)^4 \cdot \frac{6,31 \cdot 10^5}{3,15 \cdot 10^6}} = 5,92 \cdot 1,02 = 6,04 \text{ Hz} > \begin{cases} f_{\min} = 4,50 \text{ Hz} \\ f_{1,gr;DKII} = 6,00 \text{ Hz} \end{cases}$$

mit

$k_{e,1}$... Beiwert zur Berücksichtigung unterschiedlicher Lagerungsbedingungen
gelenkig - gelenkig $k_{e,1} = 1,00$

$k_{e,2}$... Beiwert zur Ermittlung der Eigenfrequenz von Zweifeldträgern
 $l_2/l = 1$ $k_{e,2} = 1,00$

→ zur Erfüllung der Schwingungsanforderungen der Deckenklasse II ist das Steifigkeitskriterium zu überprüfen!

Steifigkeitskriterium

mitwirkende Breite b_F

$$b_F = \min \left\{ \frac{l}{1,1} \cdot \sqrt[4]{\frac{(E \cdot I)_{ef,b}}{(E \cdot I)_{ef,l}}}, b \right\} = \min \left\{ \frac{5,30}{1,1} \cdot \sqrt[4]{\frac{6,31 \cdot 10^5}{3,15 \cdot 10^6}}, 7,50 \text{ m} \right\} = 3,22 \text{ m} = 3,22 \text{ m}$$

Durchbiegung infolge einer vertikal wirkenden statischen Einzellast $F = 1 \text{ kN}$

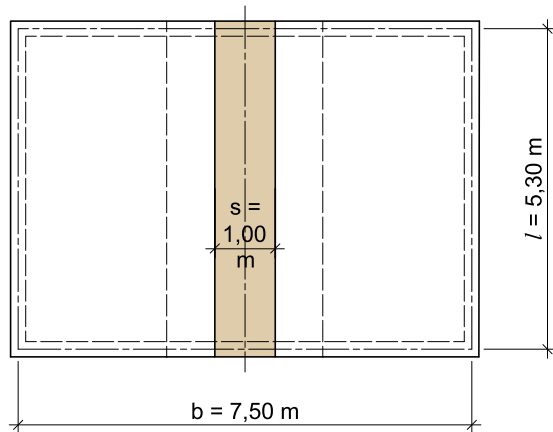
$$w_{\text{stat}} = \frac{F \cdot l^3}{48 \cdot (E \cdot I)_{ef,l} \cdot b_F} = \frac{1,00 \cdot 5,30^3}{48 \cdot 3,15 \cdot 10^3 \cdot 3,22} = 3,06 \cdot 10^{-4} \text{ m} = 0,306 \text{ mm} < w_{gr;DKII} = 0,50 \text{ mm}$$

Zusammenfassung

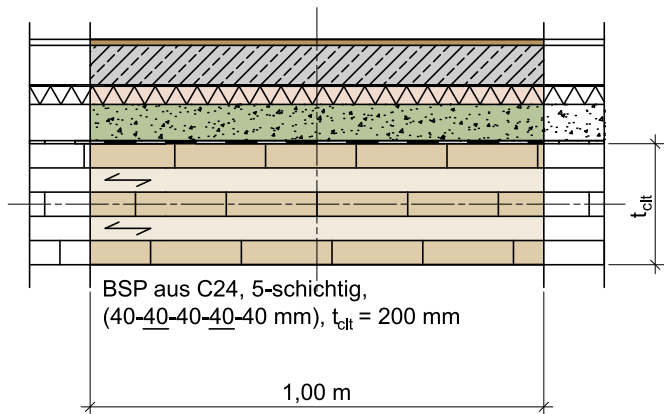
Mit der 1. Eigenfrequenz $f_1 = 6,04 \text{ Hz} > f_{1,gr;DKII} = 6,00 \text{ Hz}$ und der Durchbiegung $w_{\text{stat}} = 0,306 \text{ mm} < w_{gr;DKII} = 0,50 \text{ mm}$ auf Grund einer Einzellast $F = 1 \text{ kN}$ in Feldmitte ist nachgewiesen, dass die Holzbalkendecke den Anforderung an die Deckenklasse II gemäß ÖNORM B 1995-1-1 entspricht.

III.2.2. BRETTSPERRHOLZDECKE

Grundriss



Querschnitt



gegeben:

Massivholzdecke aus BSP mit Nassestrich und der Anforderung an Deckenklasse I
gemäß ÖNORM B1995-1-1:2019 [2]

Deckenabmessungen: $l = 5,30 \text{ m}$ / $b = 7,50 \text{ m}$

Querschnitt: BSP, 5-schichtig (40-40-40-40-40 mm), $t_{\text{clt}} = 200 \text{ mm}$
Betonestrich, $t = 65 \text{ mm}$

Material: BSP aus Grundmaterial C24 nach EN 338
Estrich, bewehrt ($E_{\text{cm}} = 25.000 \text{ N/mm}^2$)

Masse: $m_{\text{constr}} = 255 \text{ kg}$

Biegesteifigkeiten der Komponenten für eine Plattenstreifen mit der Breite $b = 1,00 \text{ m}$

$$K_{\text{clt},l} = (E \cdot I)_l = \sum (E_i \cdot I_i) + \sum (E_i \cdot A_i \cdot e_i^2) =$$

$$= 11.500 \cdot 1.000 \cdot \left(3 \cdot \frac{40,0^3}{12} + 2 \cdot 40,0 \cdot 80,0^2 \right) = 6,07 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^2 / \text{m} = 6,07 \cdot 10^6 \text{ Nm}^2 / \text{m}$$

$$K_{\text{clt},b} = (E \cdot I)_b = \sum (E_i \cdot I_i) + \sum (E_i \cdot A_i \cdot e_i^2) =$$

$$= 11.500 \cdot 1.000 \cdot \left(2 \cdot \frac{40,0^3}{12} + 2 \cdot 40,0 \cdot 40,0^2 \right) = 1,59 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^2 / \text{m} = 1,59 \cdot 10^6 \text{ Nm}^2 / \text{m}$$

$$(E \cdot I)_{\text{screed}} = 25.000 \cdot 1.000 \cdot \frac{65,0^3}{12} = 5,72 \cdot 10^{11} \text{ Nmm}^2 / \text{m} = 5,72 \cdot 10^5 \text{ Nm}^2 / \text{m}$$

Schubsteifigkeit der BSP-Platte

- Schubkorrekturfaktor

$$\kappa = \kappa_{10} + \frac{\kappa_{14,4} - \kappa_{10}}{4,4} \cdot \left(\frac{G_0}{G_r} - 10 \right) = 0,243 + \frac{0,177 - 0,243}{4,4} \cdot \left(\frac{690}{65} - 10 \right) = 0,234$$

- Schubsteifigkeit für einen Plattenstreifen mit der Breite $b = 1,00 \text{ m}$

$$S_{\text{clt}} = \kappa \cdot \sum (G_i \cdot A_i) = 0,234 \cdot 1.000 \cdot (3 \cdot 690 \cdot 40,0 + 2 \cdot 65,0 \cdot 40,0) = 2,06 \cdot 10^7 \text{ N/m}$$

Berechnung der effektiven Biegesteifigkeit (inkl. Eigenbiegesteifigkeit des Estrichs)

- in Deckenspannrichtung

$$(E \cdot I)_{\text{ef},l} = K_{\text{clt},l} + (E \cdot I)_{\text{screed}} = 6,07 \cdot 10^6 + 5,72 \cdot 10^5 = 6,64 \cdot 10^6 \text{ Nm}^2 / \text{m}$$

- rechtwinkelig zur Deckenspannrichtung

$$(E \cdot I)_{\text{ef},b} = K_{\text{clt},b} + (E \cdot I)_{\text{screed}} = 1,59 \cdot 10^6 + 5,72 \cdot 10^5 = 2,16 \cdot 10^6 \text{ Nm}^2 / \text{m}$$

- Überprüfung ob eine Querverteilung gegeben ist

$$\frac{(E \cdot I)_{\text{ef},b}}{(E \cdot I)_{\text{ef},l}} = \frac{2,16 \cdot 10^6}{6,64 \cdot 10^6} = 0,325 > 0,05 \rightarrow \text{Querverteilung gegeben}$$

Eigenfrequenz

Masse

$$m = 255 + 500 \cdot 1,00 \cdot 0,200 = 355 \text{ kg} / \text{m}^2$$

Berechnung der 1. Eigenfrequenz

$$f_1 = \frac{\pi}{2 \cdot l^2} \cdot \sqrt{\frac{(E \cdot I)_{\text{ef},l}}{m}} \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{l}{b}\right)^4 \cdot \frac{(E \cdot I)_{\text{ef},b}}{(E \cdot I)_{\text{ef},l}}} = \frac{\pi}{2 \cdot 5,30^2} \cdot \sqrt{\frac{6,64 \cdot 10^6}{355}} \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{5,30}{7,50}\right)^4 \cdot \frac{2,16 \cdot 10^6}{6,64 \cdot 10^6}} = 7,65 \cdot 1,04 = 7,95 \text{ Hz}$$
$$f_{\text{min}} = 4,50 \text{ Hz} < f_1 = 7,95 \text{ Hz} < f_{\text{gr;DKI}} = 8,00 \text{ Hz}$$

→ zur Erfüllung der Anforderungen an die Deckenklasse I ist zusätzlich zum Steifigkeitskriterium auch die Einhaltung des Grenzwertes der Schwingbeschleunigung nachzuweisen!

Steifigkeitskriterium

mitwirkende Breite

$$b_F = \min \left\{ \frac{l}{1,1} \cdot \sqrt[4]{\frac{(E \cdot I)_{\text{ef},b}}{(E \cdot I)_{\text{ef},l}}} = \min \left\{ \frac{5,30}{1,1} \cdot \sqrt[4]{\frac{2,16 \cdot 10^6}{6,64 \cdot 10^6}} = 3,64 \text{ m} \right. \right. \\ \left. \left. \frac{b}{7,50 \text{ m}} \right\} = 3,64 \text{ m}$$

Nachweis der Durchbiegung infolge einer vertikal wirkenden statischen Einzellast
(inkl. Anteil der Schubverformung)

$$w_{\text{stat}} = \frac{F \cdot l^3}{48 \cdot (E \cdot I)_{\text{ef},l} \cdot b_F} + \frac{F \cdot l}{4 \cdot (G \cdot A)_{\text{ef}} \cdot b_F} = \frac{1,00 \cdot 5,30^3}{48 \cdot 6,64 \cdot 10^3 \cdot 3,64} + \frac{1,00 \cdot 5,30}{4 \cdot 2,06 \cdot 10^4 \cdot 3,64} = \\ = 1,28 \cdot 10^{-4} + 1,80 \cdot 10^{-5} = 1,46 \cdot 10^{-4} \text{ m} = 0,146 \text{ mm} (= 87,7\% + 12,3\%) < w_{\text{gr;DKI}} = 0,25 \text{ mm}$$

Anmerkung:

Im Allgemeinen darf der Anteil der Schubverformung vernachlässigt werden!

Schwingbeschleunigung

Fourierkoeffizient

$$\alpha = e^{-0,4 \cdot f_1} = e^{-0,4 \cdot 7,95} = 0,0416$$

modale Masse

$$M^* = m \cdot \frac{l}{2} \cdot b_F = 355 \cdot \frac{5,30}{2} \cdot 3,64 = 3.424 \text{ kg}$$

Nachweis der Schwingbeschleunigung

$$a_{\text{rms}} = \frac{0,4 \cdot \alpha \cdot F_0}{2 \cdot \xi \cdot M^*} = \frac{0,4 \cdot 0,0416 \cdot 700}{2 \cdot 0,04 \cdot 3.424} = 0,0425 \text{ m/s}^2 < a_{\text{gr;DKI}} = 0,05 \text{ m/s}^2$$

Zusammenfassung

Die betrachtete Massivholzdecke aus BSP erfüllt die Anforderungen an die Deckenklasse I gemäß ÖNORM B 1995-1-1:2019 [1].



KAPITEL IV

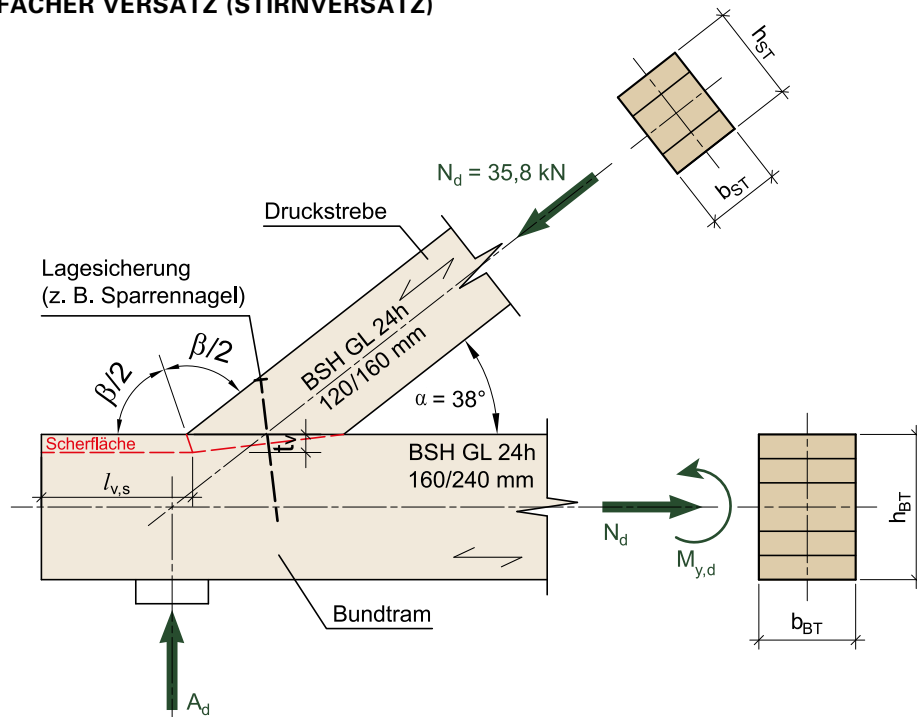
VERBINDUNGEN

IV.1 zimmermannsmässige Verbindungen
IV.2 ingenieurmässige Verbindungen

IV.3 - IV.4
IV.5 - IV.25

IV.1 ZIMMERMANNSMÄSSIGE VERBINDUNGEN

IV.1.1. EINFACHER VERSATZ (STIRNVERSATZ)



gegeben:

Strebenkraft:	$N_d = 35,8 \text{ kN}$	
Abmessungen:	Strebe	$b_{ST}/h_{ST} = 120/160 \text{ mm}$
	Bundtram	$b_{BT}/h_{BT} = 160/240 \text{ mm}$
Druckstrebenneigung:	$\alpha = 38,0^\circ$	
Vorholzlänge:	$l_{v,s} = 250 \text{ mm}$	
Material:	BSH GL 24h	
Nutzungsklasse:	NKL 2	
KLED:	„mittel“	

Baustoffkenngrößen

charakt. Wert der Druckfestigkeit (in FR):	$f_{c,0,g,k} = 24,0 \text{ N/mm}^2$	Tab. III.15
charakt. Wert der Druckfestigkeit (normal zur FR):	$f_{c,90,g,k} = 2,50 \text{ N/mm}^2$	Tab. III.15
charakt. Wert der Schubfestigkeit:	$f_{v,g,k} = 2,50 \text{ N/mm}^2$	Tab. III.15
Modifikationsbeiwert:	$k_{mod} = 0,80$	Tab. III.5
Teilsicherheitsbeiwert:	$\gamma_M = 1,25$	Tab. III.3

Kervengeometrie

$$\max t_v = \frac{h}{4} = \frac{200}{4} = 50 \text{ mm} \quad \text{für } \alpha \leq 50^\circ \quad \text{sowie} \quad \beta = 180^\circ - \alpha$$

gewählt: $t_v = 30 \text{ mm}$

Nachweis des Stirnversatzes

charakteristischer Wert der Druckfestigkeit unter einem Winkel $\alpha/2$

$$f_{c,\alpha,g,k} = \frac{f_{c,0,g,k}}{\frac{f_{c,0,g,k}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,g,k}} \cdot \sin^2\left(\frac{\alpha}{2}\right) + \cos^2\left(\frac{\alpha}{2}\right)} = \frac{24,0}{\frac{24,0}{1,75 \cdot 2,50} \cdot \sin^2\left(\frac{38,0}{2}\right) + \cos^2\left(\frac{38,0}{2}\right)} = 16,3 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswert der Druckfestigkeit unter einem Winkel α

$$f_{c,\alpha,g,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{c,\alpha,g,k}}{\gamma_M} = 0,80 \cdot \frac{16,3}{1,25} = 10,4 \text{ N/mm}^2$$

$$A_\alpha = b_{\text{Strebe}} \cdot \frac{t_v}{\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)} = 120 \cdot \frac{30,0}{\cos\left(\frac{38,0}{2}\right)} = 3.807 \text{ mm}^2$$

Spannung

$$\sigma_{c,\alpha,d} = \frac{N_d \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{A_\alpha} = \frac{35,8 \cdot 10^3 \cdot \cos\left(\frac{38,0}{2}\right)}{3.807} = 8,89 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{c,\alpha,d}}{f_{c,\alpha,g,d}} = \frac{8,89}{10,4} = 0,85 < 1$$

Nachweis Abscheren des Vorholzes

Bemessungswert der Schubspannung

Vorholzlänge

$$l_{v,s;\text{calc}} \leq 8 \cdot t_v = 8 \cdot 30,0 = 240 \text{ mm}$$

$$l_{v,s} = 250 \text{ mm} > \min l_{v,s} = 200 \text{ mm}$$

Schubspannung im Vorholz

$$\tau_d = \frac{N_d \cdot \cos \alpha}{l_{v,s;\text{calc}} \cdot b_{\text{ef,BT}}} = \frac{35,8 \cdot 10^3 \cdot \cos(38,0)}{240 \cdot 160} = 0,735 \text{ N/mm}^2$$

Anmerkung:

Traditionell wurde in der österreichischen Holzbaunormung zwischen einer Schubbeanspruchung auf Abscheren und einer Schubbeanspruchung bei einer Querkraft unterschieden. Bei einer Abscherbeanspruchung waren dabei, auf Grund der auftretenden Spannungsspitzen, rund 25% geringere Festigkeiten in der Nachweisführung zu berücksichtigen. In ÖNORM B 1995-1-1:2019 ist eine Reduktion der Schubspannung nicht vorgesehen, weshalb im vorliegenden Fall keine Abminderung berücksichtigt wurde. Es liegt im Ermessen des Nachweisführenden dennoch von der angesprochenen Abminderung Gebrauch zu machen.

Nachweis

$$\frac{\tau_d}{f_{v,g,d}} = \frac{0,735}{1,60} = 0,46 < 1$$

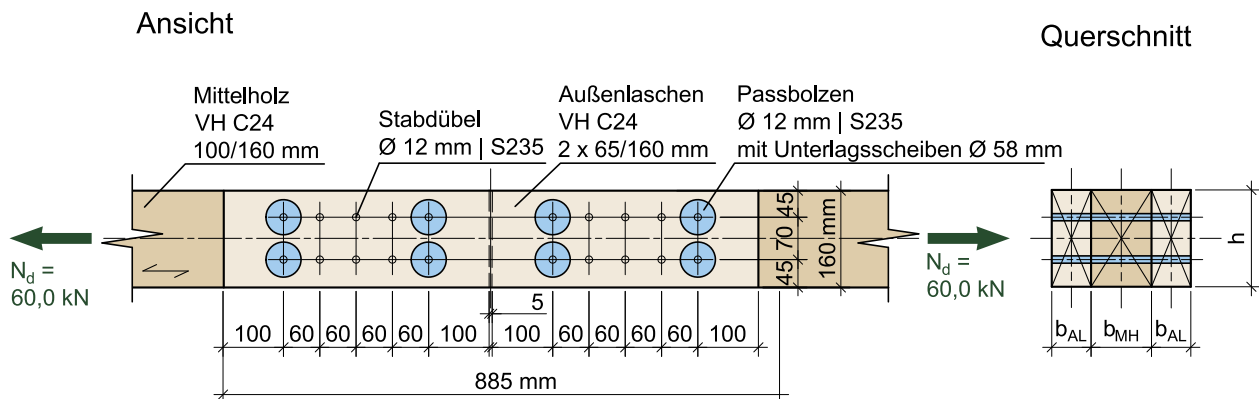
weitere zu führende Nachweise (hier nicht ausgearbeitet):

- Auflagerpressung (Querdruk)
- Nachweisführung für die Strebe auf Druck und Biegung (letztere verursacht durch die Exzentrizität der Krafteinleitung im Versatz)
- Bemessung des Bundtrames unter Berücksichtigung des entstehenden Versatzmomentes

IV.2 INGENIEURMÄSSIGE VERBINDUNGEN

IV.2.1. VORWIEGEND AUF ABSCHEREN BEANSPRUCHTE VERBINDUNGSMITTEL

IV.2.1.1. Stabdübelverbindung – Zuglaschenstoß



gegeben:

Schnittlast:	N _d = 60,0 kN	
Abmessungen:	Mittelholz	b _{MH} /h _{MH} = 100/160 mm
	außenliegende Laschen	b _{AL} /h _{AL} = 2 x 65/160 mm
Verbindungsmittel:	Stabdübel d = 12 mm	
Material:	Holzbauteile:	VH C24
	Stabdübel:	S235 (f _{u,k} = 360 N/mm ²)
Nutzungs-kategorie:	NKL 2	
KLED:	„mittel“	

Baustoffkenngrößen

charakteristischer Wert der Zugfestigkeit:	f _{t,0,k} = 14,5 N/mm ²	Tab. III.9
charakteristischer Wert der Rohdichte:	ρ _k = 350 kg/m ³	Tab. III.9
Modifikationsbeiwert:	k _{mod} = 0,80	Tab. III.5
Teilsicherheitsbeiwert:	γ _M = 1,30	Tab. III.3
Teilsicherheitsbeiwert Verbindung:	γ _{M,Verb} = 1,30	Tab. III.3

Bemessungswert der Zugfestigkeit

$$f_{t,0,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_M} = 0,80 \cdot \frac{14,5}{1,30} = 8,92 \text{ N/mm}^2$$

Tab. III.9

Überprüfung der Randabstände

Tab. V.6

Stabdübel d = 12 mm				
$\alpha = 0^\circ$			erforderlich	vorhanden
a_1	[mm]	$\geq (3+2 \cdot \cos \alpha) \cdot d$	60 mm	60 mm
a_2	[mm]	$\geq 3 \cdot d$	36 mm	70 mm
$a_{3,t}$	[mm]	$\max \{ \geq 7 \cdot d; 80 \text{ mm} \}$	84 mm	100 mm
$a_{4,c}$	[mm]	$\geq 3 \cdot d$	36 mm	45 mm

charakteristischer Wert der Lochleibungsfestigkeit des Holzes

$$f_{h,1,k} = f_{h,2,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 12,0) \cdot 350 = 25,3 \text{ N/mm}^2$$

Tab. V.8

Verhältnis der Lochleibungsfestigkeiten

$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}} = \frac{25,3}{25,3} = 1,00$$

charakteristischer Wert des Fließmoment

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 360 \cdot 12,0^{2,6} = 6,91 \cdot 10^4 \text{ Nmm}$$

Tab. V.14

Tragfähigkeit je Verbindungsmittel und Scherfuge für eine zweischnittige Holz-Holz-Verbindung

$$\begin{aligned}
 F_{v,Rk} &= \min \left\{ \begin{aligned} &F_{v,Rk;g} = f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \\ &F_{v,Rk;h} = 0,5 \cdot f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d \\ &F_{v,Rk;j} = 1,05 \cdot \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \cdot \left[\sqrt{2 \cdot \beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot t_1^2 \cdot d}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,k}}{4} \\ &F_{v,Rk;k} = 1,15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,k}}{4} \end{aligned} \right. \\
 &= \min \left\{ \begin{aligned} &25,3 \cdot 65,0 \cdot 12,0 \\ &0,5 \cdot 25,3 \cdot 100 \cdot 12,0 \\ &1,05 \cdot \frac{25,3 \cdot 65,0 \cdot 12,0}{2 + 1,00} \cdot \left[\sqrt{2 \cdot 1,00 \cdot (1 + 1,00) + \frac{4 \cdot 1,00 \cdot (2 + 1,00) \cdot 6,91 \cdot 10^4}{25,3 \cdot 65,0^2 \cdot 12,0}} - 1,00 \right] + 0 \\ &1,15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 1,00}{1 + 1,00}} \cdot \sqrt{2 \cdot 6,91 \cdot 10^4 \cdot 25,3 \cdot 12,0} + 0 \end{aligned} \right. \\
 &= \min \left\{ \begin{aligned} &19.734 \text{ N} \\ &15.180 \text{ N} \\ &7.981 \text{ N} \\ &7.449 \text{ N} \end{aligned} \right. = 7,45 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Anmerkung zur Ausführung des Laschenstoßes:

Zur Gewährleistung einer Klemmwirkung der Verbindung sollte diese an den Ecken mit Passbolzen ausgeführt werden.

Auf die Berücksichtigung des Seileffektes der Passbolzen wurde in diesem Beispiel aus Anschaulichkeitsgründen verzichtet.

Bemessungswert der Tragfähigkeit je Verbindungsmittel und Scherfuge

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{M,Verb}} = 0,80 \cdot \frac{7,45}{1,30} = 4,58 \text{ kN}$$

wirksame Verbindungsmittelanzahl

$$n_{ef} = n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13 \cdot d}} \cdot \frac{90 - \alpha}{90} + n \cdot \frac{\alpha}{90} = 5^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{60}{13 \cdot 12,0}} \cdot \frac{90 - 0}{90} + 5 \cdot \frac{0}{90} = 3,35$$

Tab. V.34

Bemessungswert der Verbindung

$$R_{v,Rd} = s \cdot m \cdot n_{ef} \cdot F_{v,Rd} = 2 \cdot 2 \cdot 3,35 \cdot 4,58 = 61,4 \text{ kN}$$

mit

s ... Schnittigkeit

m ... Anzahl der Verbindungsmittelreihen

n_{ef} ... wirksame Verbindungsmittelanzahl

Nachweis

$$\frac{N_d}{R_{v,Rd}} = \frac{60,0}{61,4} = 0,98 < 1$$

Netto-Querschnittsnachweise

- außenliegende Laschen

Anmerkung:

Die Außenlaschen des Zugstoßes werden auf Grund der exzentrischen Lastenleitung der Verbindungsmittelkräfte durch eine Normalkraft und ein Moment beansprucht. Wird kein genauerer Nachweis erbracht, sollte der Nettoquerschnittsnachweis der Außenlaschen auf Zug näherungsweise mit der anteiligen Kraft multipliziert mit dem Faktor 1,5 erbracht werden.

- Außenlasche

$$A_{n,Lasche} = b \cdot (h - m \cdot d) = 65,0 \cdot (160 - 2 \cdot 12,0) = 8,84 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{t,0,d,Lasche} = 1,5 \cdot \frac{N_d}{2 \cdot A_{n,Lasche}} = 1,5 \cdot \frac{60,0 \cdot 10^3}{2 \cdot 8,84 \cdot 10^3} = 5,09 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d,Lasche}}{f_{t,0,d}} = \frac{5,09}{8,92} = 0,57 < 1$$

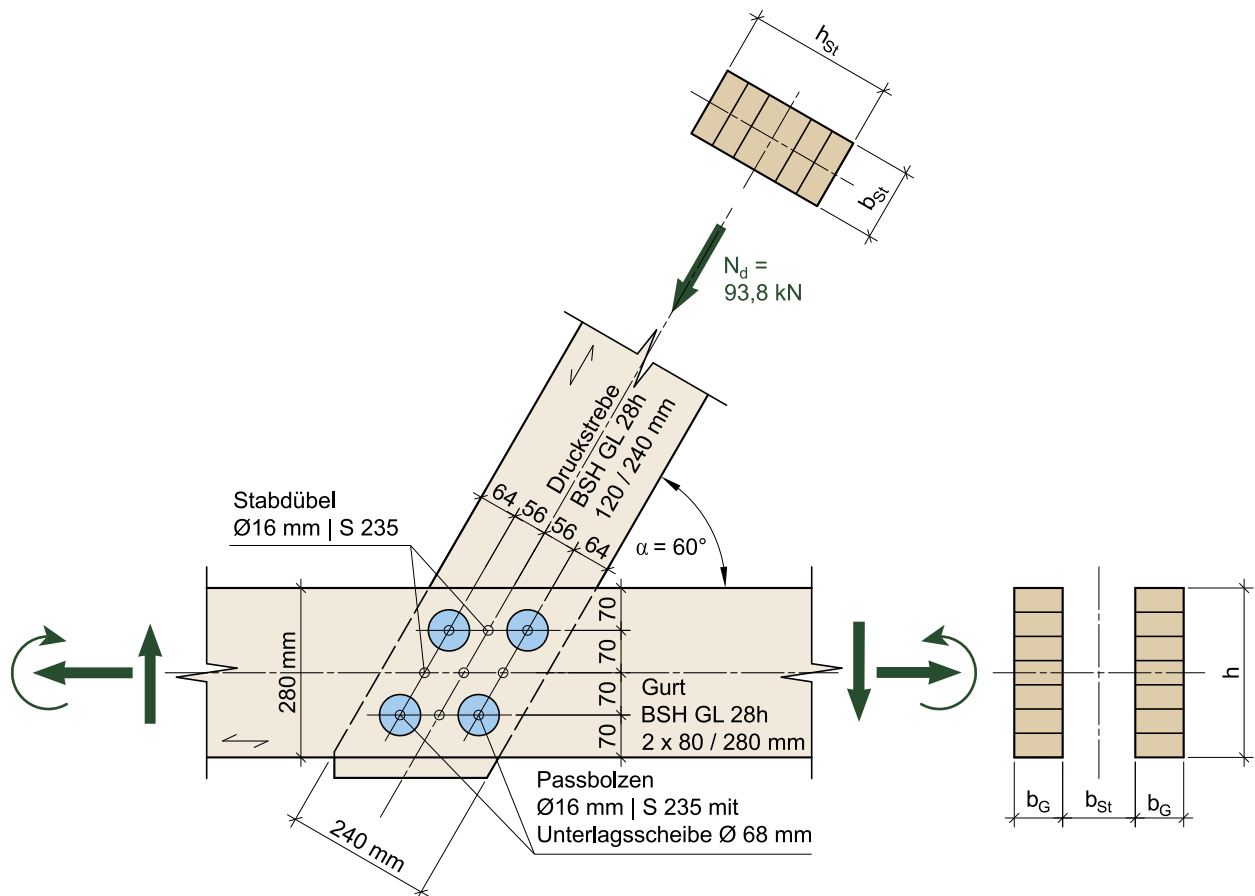
- Mittelholz

$$A_{n,MH} = b \cdot (h - m \cdot d) = 100 \cdot (160 - 2 \cdot 12,0) = 1,36 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{t,0,d,MH} = \frac{N_d}{A_{n,MH}} = \frac{60,0 \cdot 10^3}{1,36 \cdot 10^4} = 4,41 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d,MH}}{f_{t,0,d}} = \frac{4,41}{8,92} = 0,49 < 1$$

IV.2.1.2. Stabdübelverbindung – Anschluß eines schrägen Druckstabs

**gegeben:**

Schnittgrößen:	$N_{g,k} = 25,0 \text{ kN}$; $N_{w,k} = 40,0 \text{ kN}$
Abmessungen:	zweiteiliger Gurt $b_G/h_G = 2 \times 80/280 \text{ mm}$ einteiliger Druckstab $b_{St}/h_{St} = 120/200 \text{ mm}$
Verbindungsmitte:	Stabdübel $d = 16 \text{ mm}$
Material:	Holzbauteile BSH GL 28h Stabdübel: S235 ($f_{u,k} = 360 \text{ N/mm}^2$)
Nutzungs-kategorie:	NKL 2
KLED:	„kurz“

Baustoffkenngrößen

charakteristischer Wert der Rohdichte	$\rho_k = 425 \text{ kg/m}^3$	Tab. III.16
Modifikationsbeiwert:	$k_{mod} = 0,90$	Tab. III.5
Teilsicherheitsbeiwert:	$\gamma_M = 1,25$	Tab. III.3
Teilsicherheitsbeiwert Verbindung:	$\gamma_{M,Verb} = 1,30$	Tab. III.3

maßgebende Einwirkungskombination

$$N_d = \gamma_G \cdot N_{g,k} + \gamma_Q \cdot N_{w,k} = 1,35 \cdot 25,0 + 1,50 \cdot 40,0 = 93,8 \text{ kN}$$

Überprüfung der Randabstände

Tab. V.6

Stabdübel d = 16 mm						
			Gurt ($\alpha = 60^\circ$)		Druckstrebe ($\alpha = 0^\circ$)	
			erforderlich	vorhanden	erforderlich	vorhanden
a_1	[mm]	$\geq (3+2 \cdot \cos \alpha) \cdot d$	64 mm	65 mm	80 mm	81 mm
a_2	[mm]	$\geq 3 \cdot d$	48 mm	70 mm	48 mm	56 mm
$a_{3,c}$	[mm]	$90^\circ \leq \alpha \leq 150^\circ: a_{3t} \cdot \sin \alpha $ $150^\circ \leq \alpha \leq 210^\circ: \max \{3,5 \cdot d; 40 \text{ mm}\}$ $210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ: a_{3t} \cdot \sin \alpha $	–	–	56 mm	120 mm
$a_{4,t}$	[mm]	$\max \{(2 + 2 \cdot \sin \alpha) \cdot d, 3 \cdot d\}$	60 mm	70 mm	–	–
$a_{4,c}$	[mm]	$\geq 3 \cdot d$	48 mm	70 mm	48 mm	64 mm

Lochleibungsfestigkeiten

Druckstrebe $f_{h,2,\alpha,k} = f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 16,0) \cdot 425 = 29,3 \text{ N/mm}^2$ Tab. V.8

Gurt $f_{h,1,\alpha,k} = \frac{f_{h,1,k}}{(1,35 + 0,015 \cdot d) \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{29,3}{(1,35 + 0,015 \cdot 16,0) \cdot \sin^2 60,0 + \cos^2 60,0} = 20,3 \text{ N/mm}^2$ Tab. V.10

$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,\alpha,k}} = \frac{29,3}{20,3} = 1,44$$

Fließmoment

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 360 \cdot 16,0^{2,6} = 1,46 \cdot 10^5 \text{ Nmm}$$
 Tab. V.14

Tragfähigkeit je Verbindungsmittel und Scherfuge für eine zweischnittige Holz-Holz-Verbindung

$$\begin{aligned}
 F_{v,Rk} &= \min \begin{cases} F_{v,Rk;g} = f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \\ F_{v,Rk;h} = 0,5 \cdot f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d \\ F_{v,Rk;j} = 1,05 \cdot \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \cdot \left[\sqrt{2 \cdot \beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot t_1^2 \cdot d}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ F_{v,Rk;k} = 1,15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{cases} \\
 &= \min \begin{cases} 20,3 \cdot 80,0 \cdot 16,0 \\ 0,5 \cdot 29,3 \cdot 120 \cdot 16,0 \\ 1,05 \cdot \frac{20,3 \cdot 80,0 \cdot 16,0}{2 + 1,44} \cdot \left[\sqrt{2 \cdot 1,44 \cdot (1 + 1,44) + \frac{4 \cdot 1,44 \cdot (2 + 1,44) \cdot 1,46 \cdot 10^5}{20,3 \cdot 80,0^2 \cdot 16,0}} - 1,44 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 1,15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 1,44}{1 + 1,44}} \cdot \sqrt{2 \cdot 1,46 \cdot 10^5 \cdot 20,3 \cdot 16,0} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{cases} \\
 &= \min \begin{cases} 25.984 \text{ N} \\ 28.128 \text{ N} \\ 11.592 \text{ N} \\ 12.167 \text{ N} \end{cases} = 11,6 \text{ kN} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}
 \end{aligned}$$

Seileffekt für die Passbolzen

Unterlagsscheibe für M16: $d_a = 68 \text{ mm} \mid d_i = 18,0 \text{ mm} \mid t = 6 \text{ mm}$

$$\frac{F_{ax,Rk}}{4} = \min \left\{ \frac{F_{v,Rk}}{4} \right. \left. \min \left\{ \frac{1}{4} \cdot k_{c,90} \cdot f_{c,90,g,k} \cdot A_{ef,US} = \min \left\{ \frac{11.592}{4} = 2.898 \text{ N} \right. \right. \right. \right. \\ \left. \left. \frac{1}{4} \cdot \frac{\gamma_{M,Verb}}{\gamma_{M,St,2}} \cdot f_{y,k} \cdot A_{ef} \right\} \min \left\{ \frac{1}{4} \cdot 3,00 \cdot 2,50 \cdot \frac{(68,0^2 - 18,0^2) \cdot \pi}{4} = 6.332 \text{ N} = 2,90 \text{ kN} \right. \right. \\ \left. \left. \frac{1}{4} \cdot \frac{1,30}{1,25} \cdot 235 \cdot 157 = 9.593 \text{ N} \right. \right. \right.$$

gewichtete Tragfähigkeit je Verbindungsmittel

Anmerkung:

Für Stabdübel darf kein Anteil (0%) aus dem Seileffekt in Rechnung gestellt werden.

$$\bar{F}_{v,Rd} = \frac{n_{StDü}}{n} \cdot F_{v,Rk} + \frac{n_{PassB}}{n} \cdot \left(F_{v,Rk} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \right) = \frac{5}{9} \cdot 11,6 + \frac{4}{9} \cdot (11,6 + 2,90) = 12,9 \text{ kN}$$

Bemessungswert der Tragfähigkeit

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{M,Verb}} = 0,90 \cdot \frac{12,9}{1,30} = 8,93 \text{ kN}$$

wirksame Verbindungsmittelanzahl

- für den Gurt ($\alpha = 60^\circ$)

$$n_{ef} = n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13 \cdot d}} \cdot \frac{90 - \alpha}{90} + n \cdot \frac{\alpha}{90} = 3^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{64,7}{13 \cdot 16,0}} \cdot \frac{90 - 60,0}{90} + 3 \cdot \frac{60,0}{90} = 2,67$$

Tab. V.34

- für die Druckstrebe ($\alpha = 0^\circ$)

$$n_{ef} = n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13 \cdot d}} \cdot \frac{90 - \alpha}{90} + n \cdot \frac{\alpha}{90} = 3^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{81,0}{13 \cdot 16,0}} \cdot \frac{90 - 0}{90} + 3 \cdot \frac{0}{90} = 2,12$$

Tab. V.34

Bemessungswert der Tragfähigkeit der Verbindung

- für den Gurt

$$R_{v,Rd} = s \cdot m \cdot n_{ef} \cdot F_{v,Rd} = 2 \cdot 3 \cdot 2,67 \cdot 8,93 = 143 \text{ kN}$$

- für die Druckstrebe

$$R_{v,Rd} = s \cdot m \cdot n_{ef} \cdot F_{v,Rd} = 2 \cdot 3 \cdot 2,12 \cdot 8,93 = 114 \text{ kN}$$

Nachweis

$$\frac{N_d}{R_{v,Rd}} = \frac{93,8}{114} = 0,82 < 1$$

Netto-Querschnittsnachweis

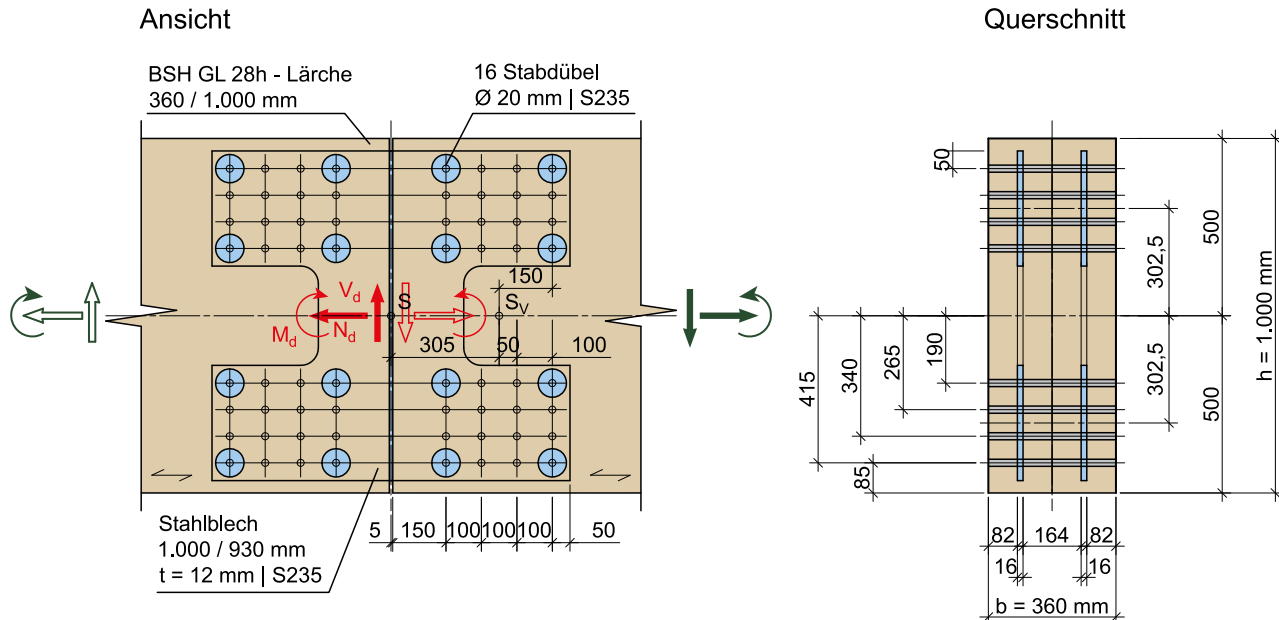
- für die Druckstrebe

Es ist kein Netto-Querschnittsnachweis erforderlich, weil die Querschnittsschwächung der Stabdübel-/Passbolzenbohrung vollständig ausgefüllt ist.

- für den Gurt

Die Querschnittsschwächung ist auf der Biegezugseite zu berücksichtigen. Für den Netto-Querschnittsnachweis sind die Schnittgrößen im Gurt an der Stelle der Verbindung heranzuziehen.

IV.2.1.3. Stabdübelverbindung – mehrschnittige Holz-Stahlblech Verbindung



gegeben:

Schnittgrößen: $N_d = +90,5 \text{ kN}$
 $V_d = +173 \text{ kN}$
 $M_d = +375 \text{ kN}$

Querschnitt: Biegeträger $b/h = 360/1.000 \text{ mm}$
 Stahlblechdicke $t = 12 \text{ mm}$, Fugendicke: $2 \times 2 \text{ mm}$

Verbindungsmittel: Stabdübel $d = 20,0 \text{ mm}$ | 360 mm

Material: Holzbauteile: BSH GL 28h – Lärche, blockverklebt
 Stahlbauteile: S235
 Stabdübel: S235

Nutzungsklasse: NKL 2
 KLED: „mittel“

Baustoffkenngrößen

charakteristischer Wert der Biegefestigkeit:	$f_{m,g,k} = 28,0 \text{ N/mm}^2$	Tab. III.16
charakteristischer Wert der Zugfestigkeit:	$f_{t,0,g,k} = 22,3 \text{ N/mm}^2$	Tab. III.16
charakteristischer Wert der Schubfestigkeit:	$f_{v,g,k} = 2,50 \text{ N/mm}^2$	Tab. III.16
charakteristischer Wert der Rohdichte:	$\rho_k = 425 \text{ kg/m}^3$	Tab. III.16
Modifikationsbeiwert:	$k_{mod} = 0,80$	Tab. III.5
Teilsicherheitsbeiwert:	$\gamma_M = 1,25$	Tab. III.3
Teilsicherheitsbeiwert Verbindung:	$\gamma_{M,Verb} = 1,30$	Tab. III.3

Bemessungswerte

$f_{m,g,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,g,k}}{\gamma_M} = 0,80 \cdot \frac{28,0}{1,25} = 17,9 \text{ N/mm}^2$	Tab. III.16
$f_{t,0,g,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{t,0,g,k}}{\gamma_M} = 0,80 \cdot \frac{22,3}{1,25} = 14,3 \text{ N/mm}^2$	Tab. III.16
$f_{v,g,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,g,k}}{\gamma_M} = 0,80 \cdot \frac{2,50}{1,25} = 1,60 \text{ N/mm}^2$	Tab. III.16

Überprüfung der Randabstände im Holzbauteil

Tab. V.6

Stabdübel d = 20 mm (mit α ungünstigst)				
			erforderlich	vorhanden
a_1	[mm]	$\geq (3+2 \cdot \cos \alpha) \cdot d$	100 mm	100 mm
a_2	[mm]	$\geq 3 \cdot d$	60 mm	75 mm
$a_{3,t}$	[mm]	$\max \{ \geq 7 \cdot d; 80 \text{ mm} \}$	140 mm	150 mm
$a_{4,t}$	[mm]	$90^\circ \leq \alpha \leq 150^\circ: a_{3,t} \cdot \sin \alpha $ $150^\circ \leq \alpha \leq 210^\circ: \max \{ 3,5 \cdot d; 40 \text{ mm} \}$ $210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ: a_{3,t} \cdot \sin \alpha $	70 mm	85 mm
$a_{4,c}$	[mm]	$\geq 3 \cdot d$	60 mm	85 mm

Überprüfung der Rand und Lochabstände des Stahlblechs (gemäß EN 1993-1-8)

Stabdübel d = 20 mm (mit $d_0 = 22 \text{ mm}$)				
			erforderlich	vorhanden
e_1	[mm]	$\geq 1,2 \cdot d_0$	26,4 mm	45 mm
e_2	[mm]	$\geq 1,2 \cdot d_0$	26,4 mm	50 mm
$p_1 (= a_1)$	[mm]	$\geq 2,2 \cdot d_0$	48,4 mm	100 mm
$p_2 (= a_2)$	[mm]	$\geq 2,4 \cdot d_0$	52,8 mm	75 mm

Berechnung der maximalen Stabdübelkraft

Schwerpunkt S_V der Stabdübelverbindung je Trägerhälfte

$$e_x = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{8 \cdot 155 + 8 \cdot 255 + 8 \cdot 355 + 8 \cdot 455}{2 \cdot 16} = 305 \text{ mm}$$

$$e_z = \frac{\sum z_i}{n} = 0 \text{ mm}$$

Versatzmoment

$$M_{e,d} = M_d + V_d \cdot e_x = 375 + 173 \cdot 0,305 = 428 \text{ kNm}$$

polares Trägheitsmoment

$$I_p = \sum r^2 = \sum (x_i^2 + z_i^2) = \sum x_i^2 + \sum z_i^2$$

$$= 8 \cdot (155 - 305)^2 + 8 \cdot (255 - 305)^2 + 8 \cdot (355 - 305)^2 + 8 \cdot (455 - 305)^2 +$$

$$+ 2 \cdot 4 \cdot 190^2 + 2 \cdot 4 \cdot 265^2 + 2 \cdot 4 \cdot 340^2 + 2 \cdot 4 \cdot 415^2 = 3,55 \cdot 10^6 \text{ mm}^2$$

Kraft in x- bzw. z-Richtung

$$F_{x,d} = \frac{N_d}{n} + \frac{M_{e,d}}{I_p} \cdot z_{\max} = \frac{90,5 \cdot 10^3}{2 \cdot 16} + \frac{428 \cdot 10^6}{3,55 \cdot 10^6} \cdot 415 = 2.828 + 50.034 = 52.862 \text{ N} = 52,9 \text{ kN}$$

$$F_{z,d} = \frac{V_d}{n} + \frac{M_{e,d}}{I_p} \cdot x_{\max} = \frac{173 \cdot 10^3}{2 \cdot 16} + \frac{428 \cdot 10^6}{3,55 \cdot 10^6} \cdot (455 - 305) = 5.406 + 18.085 = 23.491 \text{ N} = 23,5 \text{ kN}$$

resultierende maximale Stabdübelkraft

$$F_{\max,d} = \sqrt{F_{x,d}^2 + F_{z,d}^2} = \sqrt{52,9^2 + 23,5^2} = 57,9 \text{ kN}$$

Kraft – Faser – Winkel

$$\alpha = \arctan\left(\frac{F_{z,d}}{F_{x,d}}\right) = \arctan\left(\frac{23,5}{52,9}\right) = 24,0^\circ$$

Lochleibungsfestigkeit unter dem Winkel α

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 20,0) \cdot 425 = 27,9 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Tab. V.8}$$

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{(1,35 + 0,015 \cdot d) \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{27,9}{(1,35 + 0,015 \cdot 20,0) \cdot \sin^2 24,0 + \cos^2 24,0} = 25,2 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Tab. V.10}$$

charakteristisches Fließmoment des Stabdübels

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{uk} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 360 \cdot 20,0^{2,6} = 2,61 \cdot 10^5 \text{ Nmm} \quad \text{Tab. V.14}$$

charakteristische Tragfähigkeit pro Verbindungsmittel und Scherfuge

der vierschnittigen Stahl-Holz-Verbindung

Anmerkung:

Die Tragfähigkeit einer mehrschnittigen Verbindung ergibt sich als Summe der Tragfähigkeit von zweischnittigen (Teil-) Verbindungen unter Variation der beteiligten Scherfugen und unter Beachtung der jeweils möglichen Versagensmodi. Versagensmodi, welche nicht kompatible Verformungen hervorrufen, sind nicht zu berücksichtigen.

- (a) für die Scherfuge I als Seitenteil einer zweischnittigen (Teil-) Verbindung mit innenliegendem Stahlblech

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

$$= \min \begin{cases} 25,2 \cdot 82,0 \cdot 20,0 \\ 25,2 \cdot 82,0 \cdot 20,0 \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot 2,61 \cdot 10^5}{25,2 \cdot 20,0 \cdot 82,0^2}} - 1 \right] \\ 2,3 \cdot \sqrt{2,61 \cdot 10^5 \cdot 25,2 \cdot 20,0} \end{cases} = \min \begin{cases} 41.328 \text{ N} \\ 21.443 \text{ N} = 21.443 \text{ N} = 21,4 \text{ kN} \\ 26.379 \text{ N} \end{cases}$$

- (b) für die Scherfuge II als Seitenteil einer zweischnittigen (Teil-) Verbindung mit innenliegendem Stahlblech

Anmerkung:

Der Versagensmodus „g“ führt zu einer inkompatiblen Verformungsfigur des Stabdübels in der Verbindung und bleibt unberücksichtigt.

$$F_{2,A,Rk} = \min \begin{cases} F_{v,Rk;f} = f_{h,k} \cdot t_1 \cdot d \\ F_{v,Rk;ch} = 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} \end{cases}$$

$$= \min \begin{cases} 25,2 \cdot 82,0 \cdot 20,0 \\ 2,3 \cdot \sqrt{2,61 \cdot 10^5 \cdot 25,2 \cdot 20,0} \end{cases} = \min \begin{cases} 41.328 \text{ N} \\ 26.379 \text{ N} \end{cases} = 26.379 \text{ N} = 26,4 \text{ kN}$$

- (c) für die Scherfuge II als Mittelteil einer zweisschnittigen (Teil-) Verbindung mit außenliegenden Stahlblechen

$$F_{2,B,Rk} = \min \begin{cases} F_{v,Rk;l} = 0,5 \cdot f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d \\ F_{v,Rk;m} = 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk}} \cdot f_{h,2,k} \cdot d \end{cases}$$

$$= \min \begin{cases} 0,5 \cdot 25,2 \cdot 164 \cdot 20,0 \\ 2,3 \cdot \sqrt{2,61 \cdot 10^5} \cdot 25,2 \cdot 20,0 \end{cases} = \min \begin{cases} 41.328 \text{ N} \\ 26.379 \text{ N} \end{cases} = 26.379 \text{ N} = 26,4 \text{ kN}$$

charakteristische Tragfähigkeit eines Dübels pro Stahlblech als Summe der Tragfähigkeit der (Teil-) Verbindungen

$$F_{Rk} = F_{1,Rk} + \min \begin{cases} F_{2,A,Rk} = 21,4 \\ F_{2,B,Rk} = 26,4 \end{cases} = 21,4 + \min \begin{cases} 26,4 \\ 26,4 \end{cases} = 47,8 \text{ kN}$$

Tragfähigkeit des maximal beanspruchten Stabdübels

$$F_{R,d} = s \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_{M,Verb}} \cdot F_{R,k} = 2 \cdot \frac{0,80}{1,30} \cdot 47,8 = 58,8 \text{ kN}$$

Nachweis der Tragfähigkeit der Verbindung

$$\frac{F_{d,max}}{F_{R,d}} = \frac{57,9}{58,8} = 0,98 < 1$$

Anmerkung zur Ausführung des biegesteifen Stoßes:

Zur Gewährleistung einer Klemmwirkung der Verbindung sollte diese an den Ecken mit Passbolzen ausgeführt werden.

Auf die Berücksichtigung des Seileffektes der Passbolzen wurde in diesem Beispiel aus Anschaulichkeitsgründen verzichtet.

Nachweis Nettoquerschnitt Holz

Anmerkung:

Näherungsweise wird davon ausgegangen, dass die obere Hälfte des Stoßes überdrückt ist. Damit werden für den Nettoquerschnittsnachweis lediglich die auf der Zugseite liegenden Querschnittsschwächungen berücksichtigt.

Querschnittswerte

$$b_n = b - n_{Bleche} \cdot (t_{Bleche} + 2 \cdot 1,50 \text{ mm}) = 360 - 2 \cdot (12,0 + 2 \cdot 1,50) = 330 \text{ mm}$$

$$A_n = b_n \cdot (h - 4 \cdot d) = 330 \cdot (1.000 - 4 \cdot 20,0) = 3,04 \cdot 10^5 \text{ mm}^2$$

$$z_{S,n} = \frac{h \cdot \frac{h}{2} - d \cdot (z_{t,5} + z_{t,6} + z_{t,7} + z_{t,8})}{h - 4 \cdot d} = \frac{1.000 \cdot \frac{1.000}{2} - 20,0 \cdot (690 + 765 + 840 + 915)}{1.000 - 4 \cdot 20,0} = 474 \text{ mm}$$

$$I_n = \sum I_{eig} + \sum (A_i \cdot e_i^2) = \frac{330 \cdot 1.000^3}{12} + 330 \cdot 1.000 \cdot (500 - 474)^2 - 4 \cdot \frac{330 \cdot 20,0^3}{12} - 4 \cdot 330 \cdot 20 \cdot (216^2 + 291^2 + 366^2 + 441^2) = 1,56 \cdot 10^{10} \text{ mm}^4$$

$$W_{n,u} = \frac{I_n}{z_{max}} = \frac{1,56 \cdot 10^{10}}{1.000 - 474} = 2,97 \cdot 10^7 \text{ mm}^3$$

$$S_n = \sum (A_i \cdot (e_i - e_{z,i})) = 330 \cdot 474 \cdot \frac{474}{2} = 3,71 \cdot 10^7 \text{ mm}^3$$

Nachweisführung Nettoquerschnitt Holz

Zugspannung

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_d}{A_n} = \frac{90,5 \cdot 10^3}{3,04 \cdot 10^5} = 0,298 \text{ N/mm}^2$$

Biegespannung

$$M_{e,n,d} = M_d + V_d \cdot x_{\max} + N_d \cdot \left(\frac{h}{2} - z_{s,n} \right) = 375 + 173 \cdot 0,455 + 90,5 \cdot \left(\frac{1,00}{2} - 0,474 \right) = 456 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{e,d}}{W_n} = \frac{456 \cdot 10^6}{2,97 \cdot 10^7} = 15,4 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,g,d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,g,d}} = \frac{0,298}{14,3} + \frac{15,4}{17,9} = 0,0208 + 0,860 = 0,88 < 1$$

• Schubspannung

$$\tau_d = \frac{V_d \cdot S_n}{I_n \cdot b_n} = \frac{173 \cdot 10^3 \cdot 3,71 \cdot 10^7}{1,56 \cdot 10^{10} \cdot 330} = 1,25 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\tau_d}{f_{v,g,d}} = \frac{1,25}{1,60} = 0,78 < 1$$

Nachweise im Stabdübel und Stahlblech

Anmerkung:

Für Details zur Nachweisführung der Stabdübel bzw. des Stahlbleches wird auf EN 1993-1-1 und EN 1993-1-8, Abschnitt 3.4, 3.5 und 3.6 verwiesen.

Beiwerte Lochleibung

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{c} 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 \\ 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 \\ 2,5 \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{c} 2,8 \cdot \frac{50,0}{22,0} - 1,7 = 4,66 \\ 1,4 \cdot \frac{75,0}{22,0} - 1,7 = 3,07 \\ 2,5 \end{array} \right\} = 2,50$$

$$\alpha_b = \min \left\{ \begin{array}{c} \frac{e_1}{3 \cdot d_0} \\ \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} \\ 1,0 \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{c} \frac{50,0}{3 \cdot 22,0} = 0,758 \\ \frac{100}{3 \cdot 22,0} - \frac{1}{4} = 1,27 \\ 1,0 \end{array} \right\} = 0,758$$

Lochleibung

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,50 \cdot 0,768 \cdot 360 \cdot 20,0 \cdot 12,0}{1,25} = 132.710 \text{ N} = 133 \text{ kN} < F_{\max,d} = 57,9 \text{ kN}$$

Abscheren je Scherfuge

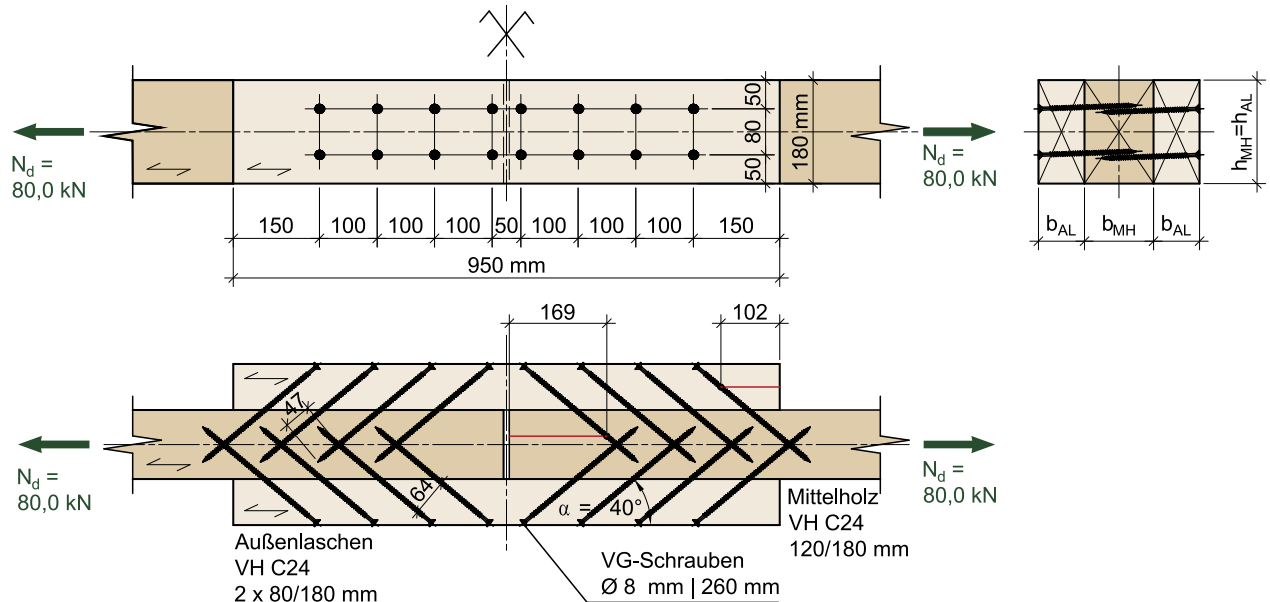
$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} \cdot A = \frac{0,6 \cdot 360}{1,25} \cdot \frac{20,0^2 \cdot \pi}{4} = 54.287 \text{ N} = 54,3 \text{ kN} < \max F_{Rd} = 0,80 \cdot \frac{26,4}{1,30} = 16,2 \text{ kN}$$

Nettoquerschnitt

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 360 \cdot 12,0 \cdot 50,0}{1,25} = 155.520 \text{ N} = 156 \text{ kN} < F_{\max,d} = 57,9 \text{ kN}$$

IV.2.2. VORWIEGEND AUF HERAUSZIEHEN BEANSPRUCHTE VERBINDUNGSMITTEL

IV.2.2.1. Holzschraubenverbindung – Zuglaschenstoß

**gegeben:**

- Schnittlast: $N_d = 80,0 \text{ kN}$
- Abmessungen: außenliegende Lasche: $b_{AL}/h_{AL} = 2 \times 80/180 \text{ mm}$
Mittelholz: $b_{MH}/h_{MH} = 120/180 \text{ mm}$
- Material: alle Holzbauteile: VH C24
- Verbindungsmittel: Schraube VG Ø 8,0 | 260 mm
($d_h = 17 \text{ mm}$, $f_{head,k} = 13,0 \text{ N/mm}^2$, $f_{tens,k} = 20,0 \text{ kN}$, aus bauaufsichtlicher Zulassung)
- Nutzungsklasse: NKL 1
- KLED: „mittel“

Baustoffkenngrößen

charakteristischer Wert der Zugfestigkeit:	$f_{t,0,k} = 14,5 \text{ N/mm}^2$	Tab. III.9
charakteristischer Wert der Rohdichte:	$\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$	Tab. III.9
Modifikationsbeiwert:	$k_{mod} = 0,80$	Tab. III.5
Teilsicherheitsbeiwert:	$\gamma_M = 1,30$	Tab. III.3
Teilsicherheitsbeiwert Verbindung:	$\gamma_{M,Verb} = 1,30$	Tab. III.3

Bemessungswert der Zugfestigkeit

$$f_{t,0,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_M} = 0,80 \cdot \frac{14,5}{1,30} = 8,92 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Tab. III.9}$$

Überprüfung der Randabstände

Tab. V.38

Vollgewindeschraube d = 8 260 mm				
$\alpha = 40,0^\circ$			erforderlich	vorhanden
a_1	[mm]	$\geq 7 \cdot d$	56 mm	64 mm
a_2	[mm]	$\geq 5 \cdot d$	40 mm	80 mm
$a_{1,CG}$	[mm]	$\geq 10 \cdot d$	80 mm	102 mm
$a_{2,CG}$	[mm]	$\geq 4 \cdot d$	32 mm	50 mm

Ermittlung der Tragfähigkeit einer Schraube

wirksame Länge

$$l_{ef,1} = \frac{b_{AL}}{\sin(\alpha)} = \frac{80,0}{\sin(40)} = 124 \text{ mm}$$

$$l_{ef,2} = l - l_{ef,1} = 260 - 124 = 136 \text{ mm}$$

Ausziehparameter

$$f_{ax,1,k} = 0,52 \cdot d^{-0,5} \cdot l_{ef,1}^{-0,1} \cdot \rho_k^{0,8} = 0,52 \cdot 8,00^{-0,5} \cdot 124^{-0,1} \cdot 350^{0,8} = 12,3 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ax,2,k} = 0,52 \cdot d^{-0,5} \cdot l_{ef,2}^{-0,1} \cdot \rho_k^{0,8} = 0,52 \cdot 8,00^{-0,5} \cdot 136^{-0,1} \cdot 350^{0,8} = 12,2 \text{ N/mm}^2$$

Tragfähigkeit je Verbindungsmittel und Scherfuge

$$k_d = \min \left\{ \frac{d}{8} = \min \left\{ \frac{8,00}{8} = 1,00 \right. \right. = 1,00$$

• aus den Außenlängen

$$F_{ax,\alpha,1,Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} F_{ax,\alpha,1,Rd} \\ F_{head,Rd} \\ F_{tens,d} \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} \max \left\{ \frac{f_{ax,1,k} \cdot d \cdot l_{ef,1} \cdot k_d}{1,2 \cdot \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_{M,Verb}} \right. \\ \left. f_{head} \cdot d_h^2 \cdot \left(\frac{\rho_k}{\rho_a} \right)^{0,8} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_{M,Verb}} \right. \\ \left. \frac{f_{tens,k}}{\gamma_{St,M2}} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{12,3 \cdot 8,00 \cdot 124 \cdot 1,00}{1,2 \cdot \cos^2(40,0) + \sin^2(40,0)} \cdot \frac{0,80}{1,30} = 6.720 \text{ N} \\ 13,0 \cdot 17,0^2 \cdot \left(\frac{350}{350} \right)^{0,8} \cdot \frac{0,80}{1,30} = 2.312 \text{ N} \\ \frac{20.000}{1,25} = 16.000 \text{ N} \end{array} \right. = 6,72 \text{ kN} \end{array} \right.$$

• aus dem Mittelholz

$$F_{ax,\alpha,2,Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} F_{ax,\alpha,2,Rd} \\ F_{tens,d} \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{f_{ax,2,k} \cdot d \cdot l_{ef,2} \cdot k_d}{1,2 \cdot \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_{M,Verb}} \\ \frac{f_{tens,k}}{\gamma_{St,M2}} \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{12,2 \cdot 8,00 \cdot 136 \cdot 1,00}{1,2 \cdot \cos^2(40,0) + \sin^2(40,0)} \cdot \frac{0,80}{1,30} = 7.310 \text{ N} \\ \frac{20.000}{1,25} = 16.000 \text{ N} \end{array} \right. = 7,31 \text{ kN}$$

Tragfähigkeit einer Schraube in Richtung der Verbindungsmittel-Achse

$$F_{ax,\alpha,d} = \min \left\{ \begin{array}{l} F_{ax,\alpha,1,Rd} \\ F_{ax,\alpha,2,Rd} \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 6,72 \text{ kN} \\ 7,31 \text{ kN} \end{array} \right\} = 6,72 \text{ kN}$$

Tragfähigkeit in Richtung der einwirkenden Kraft unter Berücksichtigung der Reibungskomponente(Anpressen der Holzoberflächen bei Beanspruchung) zwischen den Holzbauteilen ($\mu_0=0,25$)

$$R_{ax,d} = F_{ax,\alpha,d} \cdot (\cos \alpha + \mu_0 \cdot \sin \alpha) = 6,72 \cdot (\cos(40,0) + 0,25 \cdot \sin(40,0)) = 6,23 \text{ kN}$$

effektive Verbindungsmittelzahl

$$n_{ef} = n^{0,9} = 8^{0,9} = 6,50$$

Tab. V.42

Gesamttragfähigkeit einer Verbindung bzw. je Verbindungshälfte

$$R_{ges,d} = 2 \cdot n_{ef} \cdot R_{ax,d} = 2 \cdot 6,50 \cdot 6,23 = 81,0 \text{ kN}$$

Nachweis der Verbindung

$$\frac{N_d}{R_{ges,d}} = \frac{80,0}{81,0} = 0,99 < 1$$

Netto-Querschnittsnachweise

- außenliegende Laschen

$$A_{n, \text{Lasche}} = b \cdot (h - m \cdot d) = 80,0 \cdot (180 - 2 \cdot 0,65 \cdot 8,00) = 1,36 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{t,0,d, \text{Lasche}} = 1,5 \cdot \frac{N_d}{2 \cdot A_{n, \text{Lasche}}} = 1,5 \cdot \frac{80,0 \cdot 10^3}{2 \cdot 1,36 \cdot 10^4} = 4,41 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d, \text{Lasche}}}{f_{t,0,d}} = \frac{4,41}{8,92} = 0,49 < 1$$

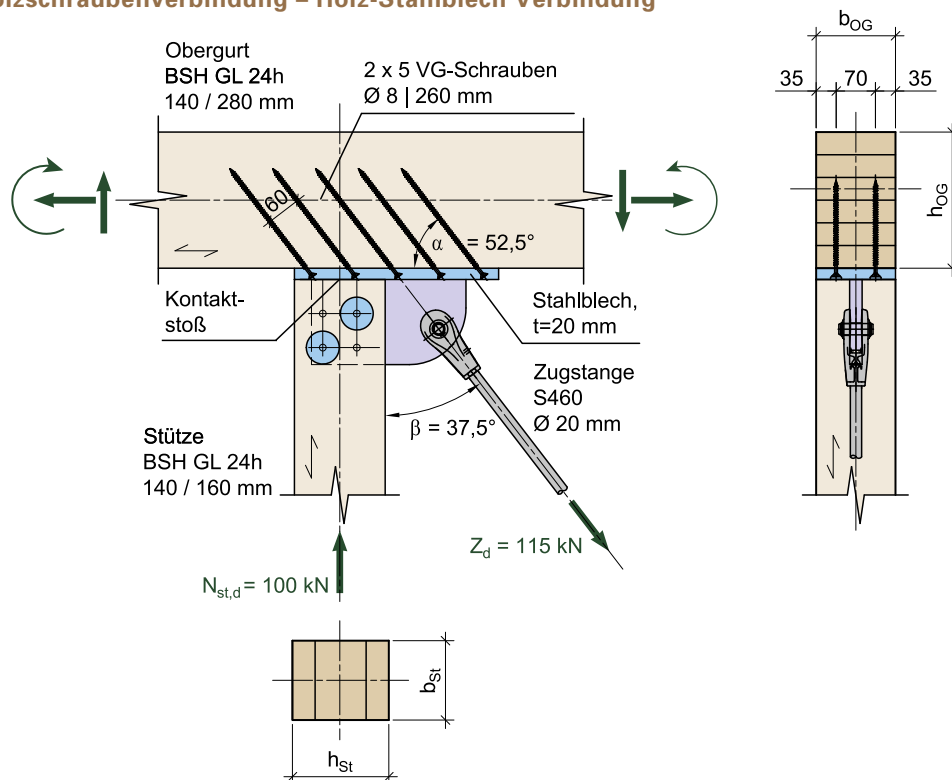
- Mittelholz

$$A_{n, \text{MH}} = b \cdot (h - m \cdot d) = 120 \cdot (180 - 2 \cdot 0,65 \cdot 8,00) = 2,04 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{t,0,d, \text{MH}} = \frac{N_d}{A_{n, \text{MH}}} = \frac{80,0 \cdot 10^3}{2,04 \cdot 10^4} = 3,92 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d, \text{MH}}}{f_{t,0,d}} = \frac{3,92}{8,92} = 0,44 < 1$$

IV.2.2.2. Holzschraubenverbindung – Holz-Stahlblech Verbindung



gegeben:

Schnittgrößen: $N_{st,d} = 100 \text{ kN}$ (Druck), $Z_d = 115 \text{ kN}$ (Zug)
 Abmessungen: Obergurt $b/h = 140/280 \text{ mm}$
 Stütze $b/h = 140/160 \text{ mm}$
 Material: BSH GL 24h
 Verbindungsmittel: Schraube VG 2 x 5 Ø 8,00 | 260 mm ($f_{uk} = 950 \text{ N/mm}^2$), $\alpha = 52,5^\circ$
 Nutzungsklasse: NKL 2
 KLED: „kurz“

Baustoffkenngrößen

charakteristischer Wert der Rohdichte $\rho_k = 385 \text{ kg/m}^3$
 Modifikationsbeiwert: $k_{mod} = 0,90$
 Teilsicherheitsbeiwert Verbindung: $\gamma_{M,Verb} = 1,30$

Tab. III.15

Tab. III.5

Tab. III.3

Überprüfung der Randabstände

Vollgewindeschraube d = 8 260 mm				
$\alpha = 52,5^\circ$			erforderlich	vorhanden
a_1	[mm]	$\geq 7 \cdot d$	56 mm	60 mm
a_2	[mm]	$\geq 5 \cdot d$	40 mm	70 mm
$a_{2,CG}$	[mm]	$\geq 4 \cdot d$	32 mm	35 mm

Überprüfen, ob eine „angepresste“ bzw. „abhebende“ Lasche vorliegt

$$\Sigma V = 0:$$

$$\Delta V = -N_{st,d} + Z_d \cdot \sin \alpha = -100 + 115 \cdot \cos(37,5) = -8,76 \text{ kN}$$

Anmerkung:

Die Differenz der Kräfte in der Stütze und dem vertikalen Anteil der Kraft im Zugstab ist negativ, d.h. das Stahlblech wird an die Holzoberfläche gedrückt und es handelt sich um eine „angepresste“ Lasche. Aus Gleichgewichtsgründen entspricht diese Kraft der Differenz der Querkraft im Obergurt. Die resultierende Anpresskraft ist jedoch so gering, dass der Reibungsanteil näherungsweise vernachlässigbar ist.

Berechnung der Einwirkung

horizontale Kraftkomponente im Zugstab

$$F_{v,d} = Z_d \cdot \sin\beta = 115 \cdot \sin(37,5) = 70,0 \text{ kN}$$

Berechnung der axialen Tragfähigkeit der Schraubengruppe

Berechnung des Auszieh Widerstandes einer Schraube für den Einschraubwinkel $\alpha = 90,0 - 37,5 = 52,5^\circ$

$$l_{ef} = l - \frac{t}{\sin\alpha} = 260 - \frac{20,0}{\sin(52,5)} = 235 \text{ mm}$$

$$f_{ax,k} = 0,52 \cdot d^{-0,5} \cdot l_{ef}^{-0,1} \cdot \rho_k^{0,8} = 0,52 \cdot 8,00^{-0,5} \cdot 235^{-0,1} \cdot 385^{0,8} = 12,5 \text{ N/mm}^2$$

$$k_d = \min \left\{ \frac{d}{8}, \frac{8,00}{8} \right\} = \min \left\{ 1, 1,00 \right\} = 1,00$$

$$F_{ax,d} = \min \left\{ \frac{f_{ax,k} \cdot d \cdot l_{ef} \cdot k_d}{1,2 \cdot \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_{M,Verb}}, \frac{A_s \cdot 0,9 \cdot f_{u,k}}{\gamma_{M2}} \right\}$$

$$= \min \left\{ \frac{12,5 \cdot 8,00 \cdot 235 \cdot 1,00}{1,2 \cdot \cos^2(52,5) + \sin^2(52,5)} \cdot \frac{0,90}{1,30}, \frac{(0,65 \cdot 8,00)^2 \cdot \pi \cdot 0,9 \cdot 950}{4 \cdot 1,25} \right\} = \min \left\{ 15,147 \text{ N}, 14,526 \text{ N} \right\} = 14,5 \text{ kN}$$

Anmerkung:

Bei Holz-Stahlblech-Schraubenverbindungen muss der Versagensmodus „Kopfdurchziehen“ nicht berücksichtigt werden.

Tragfähigkeit in Richtung der Horizontalkraft

$$R_{ax,d} = F_{ax,d} \cdot (\cos\alpha + \mu_0 \cdot \sin\alpha) = 14,5 \cdot (\cos(52,5) + \approx 0 \cdot \sin(52,5)) = 8,83 \text{ kN}$$

effektive Schraubenanzahl

$$n_{ef} = n^{0,9} = 10^{0,9} = 7,94$$

Tab. V.42

Berechnung des Auszieh Widerstandes der Schraubengruppe in Richtung des Obergurtes

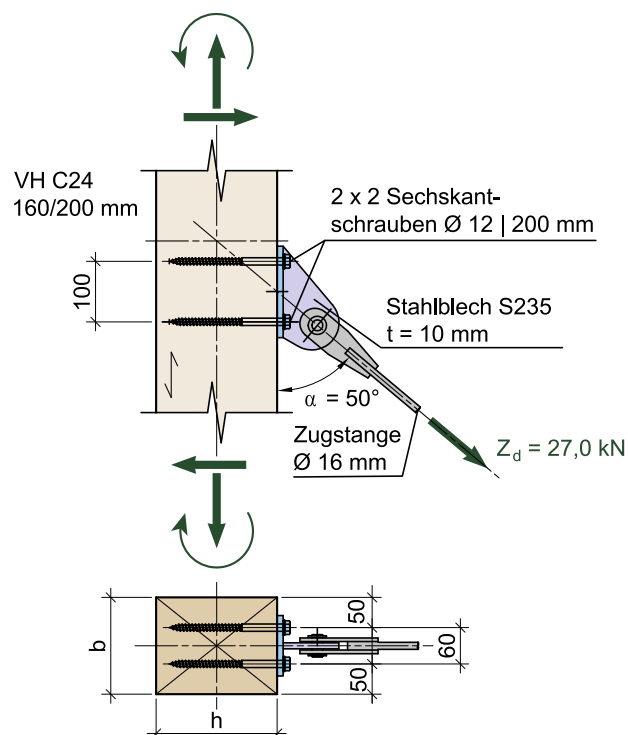
$$R_{x,Rd} = n_{ef} \cdot R_{a,d} = 7,94 \cdot 8,83 = 70,1 \text{ kN}$$

Nachweis

$$\frac{F_{v,d}}{R_{x,d}} = \frac{70,0}{70,1} = 1,00 = 1$$

Anmerkung zur statisch-konstruktiven Gestaltung des Stützen-Kontaktstoßes:

Es hat sich in der Vergangenheit (siehe ÖNORM B 4100, 2. Teil) bewährt Kontaktstöße auf eine Kraft von 25% der einwirkenden Druckkraft auf Zug zu sichern, d. h. die Stütze ist auf eine Kraft von $0,25 \cdot 100 = 25,0 \text{ kN}$ auf Zug anzuschließen. Auf einen expliziten Nachweis des Kontaktstoßes wird an dieser Stelle verzichtet.

IV.2.2.3. Holzschraubenverbindung – Holz-Stahlblech Verbindung mit kombinierter Beanspruchung

gegeben:

 Schnittgröße: $Z_d = 27,0 \text{ kN}$, $\alpha = 50,0^\circ$

 Abmessungen: $b/h = 160/200 \text{ mm}$

Material: VH C24

 Stahlblech S235, $t = 10 \text{ mm}$

 Verbindungsmittel: Holzbauschraube 4 x DIN 571, $d = 12 \mid 200 \text{ mm}$ ($f_{u,k} = 600 \text{ N/mm}^2$)

Nutzungsklasse: NKL 2

KLED: „kurz“

Baustoffkenngrößen

 charakteristischer Wert der Rohdichte $\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$

Tab. III.16

 Modifikationsbeiwert: $k_{mod} = 0,90$

Tab. III.5

 Teilsicherheitsbeiwert Verbindung: $\gamma_{M,Verb} = 1,30$

Tab. III.3

Überprüfung der Randabstände

Holzbauschraube nach DIN 571 ($d = 12 \mid 200 \text{ mm}$)							
$\alpha = 50,0^\circ$		Schaube nach EN 1995-1-1, Tab. 8.6		Bolzen nach EN 1995-1-1, Tab. 8.4		erforderlich	vorhanden
a_1	[mm]	$\geq 7 \cdot d$	84 mm	$\geq (4 + \cos \alpha) \cdot d$	60 mm	84 mm	100 mm
a_2	[mm]	$\geq 5 \cdot d$	60 mm	$\geq 4 \cdot d$	48 mm	60 mm	60 mm
$a_{2,CG}$ bzw. $a_{4,c}$	[mm]	$\geq 4 \cdot d$	48 mm	$\geq 3 \cdot d$	36 mm	48 mm	50 mm

Umrechnung der einwirkenden Kraft Z_d in die axiale und laterale Richtung des Verbindungsmittels

$$F_{ax,Ed} = Z_d \cdot \sin \alpha = 27,0 \cdot \sin(50,0) = 20,7 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} = Z_d \cdot \cos \alpha = 27,0 \cdot \cos(50,0) = 17,4 \text{ kN}$$

Schraubenabmessungen gemäß DIN 571

Kerndurchmesser

$$d_s \geq 12,0 \text{ mm} \quad d_2 = 0,75 \cdot d_s = 0,75 \cdot 12,0 = 9,00 \text{ mm}$$

Gewindelänge

$$l_{ef} \geq 0,6 \cdot l \geq 0,6 \cdot 200 \geq 120 \text{ mm}$$

Berechnung der Tragfähigkeiten auf Herausziehen und Abscheren

• Berechnung des Auszieh Widerstandes $F_{ax,Rd}$ ($\alpha = 90^\circ$)

$$f_{ax,k} = 0,52 \cdot d^{-0,5} \cdot l_{ef}^{-0,1} \cdot \rho_k^{0,8} = 0,52 \cdot 12,0^{-0,5} \cdot 120^{-0,1} \cdot 350^{0,8} = 10,1 \text{ N/mm}^2$$

$$k_d = \min \left\{ \frac{d}{8} = \min \left\{ \frac{12,0}{8} = 1,5 \right. \right. = 1$$

$$F_{ax,d} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{f_{ax,k} \cdot d \cdot l_{ef} \cdot k_d}{1,2 \cdot \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_{M,Verb}} \\ A_s \cdot \frac{0,9 \cdot f_{u,k}}{\gamma_{St,M2}} \end{array} \right.$$

$$= \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{10,1 \cdot 12,0 \cdot 120 \cdot 1}{1,2 \cdot \cos^2 90 + \sin^2 90} \cdot \frac{0,90}{1,30} = 10,069 \text{ N} \\ \frac{(0,75 \cdot 12,0)^2 \cdot \pi}{4} \cdot \frac{0,9 \cdot 600}{1,25} = 27,483 \text{ N} \end{array} \right. = 10,1 \text{ kN}$$

wirksame Anzahl der Schrauben

$$n_{ef} = n^{0,9} = 4^{0,9} = 3,48$$

Tab. V.42

Auszieh Widerstand der Schraubengruppe

$$F_{ax,Rd} = n_{ef} \cdot F_{ax,d} = 3,48 \cdot 10,1 = 35,1 \text{ kN}$$

• Berechnung der Tragfähigkeit auf Abscheren $F_{v,Rd}$ ($\alpha = 0^\circ$)

Lochleibungsfestigkeit

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 12,0) \cdot 350 = 25,3 \text{ N/mm}^2$$

Tab. V.8

Fließmoment

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 600 \cdot (1,10 \cdot 9,00)^{2,6} = 6,98 \cdot 10^4 \text{ Nmm}$$

Annahme: Das Fließgelenk liegt im Gewindebereich (= konservative Annahme)

Einordnung des Stahlbleches

$$\frac{t_{Blech}}{d} = \frac{10,0}{12,0} = 0,833 \rightarrow \text{zwischen dünnem und dickem Blech} \rightarrow \text{Interpolation der Tragfähigkeit}$$

charakteristischer Wert der Tragfähigkeit je Verbindungsmittel und Scherfuge auf Abscheren

(a) für ein dünnes Blech

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,4 \cdot f_{h,k} \cdot t_1 \cdot d \\ 1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk}} \cdot f_{h,k} \cdot d \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,4 \cdot 25,3 \cdot 190 \cdot 12,0 \\ 1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot 6,98 \cdot 10^4} \cdot 25,3 \cdot 12,0 \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 23.074 \text{ N} \\ 7.487 \text{ N} \end{array} \right\} = 7,49 \text{ kN}$$

(b) für ein dickes Blech

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,k} \cdot t_1 \cdot d \\ f_{h,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk}} \cdot f_{h,k} \cdot d \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 25,3 \cdot 190 \cdot 12,0 \\ 25,3 \cdot 190 \cdot 12,0 \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot 6,98 \cdot 10^4}{25,3 \cdot 12,0 \cdot 190^2}} - 1 \right] \\ 2,3 \cdot \sqrt{6,98 \cdot 10^4} \cdot 25,3 \cdot 12,0 \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 57.684 \text{ N} \\ 24.411 \text{ N} \\ 10.588 \text{ N} \end{array} \right\} = 10,6 \text{ kN}$$

Interpolation

$$\left. \begin{array}{l} \text{dünnes Blech: } \frac{t_{\text{Blech}}}{d} = 0,5 \quad \min F_{v,Rk} = 7,49 \text{ kN} \\ \text{dickes Blech: } \frac{t_{\text{Blech}}}{d} = 1,0 \quad \min F_{v,Rk} = 10,6 \text{ kN} \end{array} \right\} \rightarrow \frac{t_{\text{Blech}}}{d} = 0,833: \min F_{v,Rk} = 9,56 \text{ kN}$$

wirksame Schraubenanzahl

$$n_{ef} = n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13 \cdot d}} \cdot \frac{90 - \alpha}{90} + n \cdot \frac{\alpha}{90} = 2^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{100}{13 \cdot 12,0}} \cdot \frac{90 - 0}{90} + 2 \cdot \frac{0}{90} = 1,67$$

Tragfähigkeit der Verbindung auf Abscheren ($\alpha = 0^\circ$)

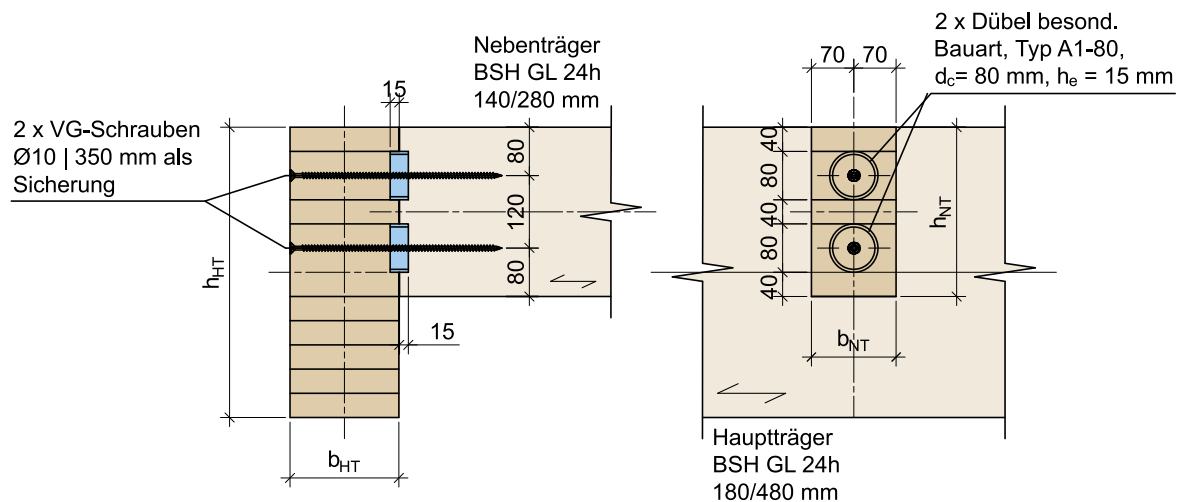
$$F_{v,Rd} = m \cdot n_{ef} \cdot k_{mod} \cdot \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{M,Verb}} = 2 \cdot 1,67 \cdot 0,90 \cdot \frac{9,56}{1,30} = 22,1 \text{ kN}$$

Nachweis der kombinierten Beanspruchung

$$\left(\frac{F_{ax,Ed}}{F_{ax,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right)^2 = \left(\frac{20,7}{35,1} \right)^2 + \left(\frac{17,4}{22,1} \right)^2 = 0,348 + 0,620 = 0,97 < 1$$

IV.2.3. FLÄCHENFÖRMIG WIRKENDE VERBINDUNGSMITTEL

IV.2.3.1. Hirnholzanschluss mit Ringdübel Typ A1

**gegeben:**

Schnittlast:	$V_d = 13,0 \text{ kN}$	
Abmessungen:	Hauptträger	$b_{HT}/h_{HT} = 180/480 \text{ mm}$
	Nebenträger	$b_{NT}/h_{NT} = 140/280 \text{ mm}$
Material:	BSH GL 24h	
Verbindungsmittel:	2 x Ringdübel Typ A1-80; $d_c = 80 \text{ mm}$, $h_e = 15 \text{ mm}$	
Nutzungsklasse:	NKL 2	
KLED:	„mittel“	

Baustoffkenngrößen

charakteristischer Wert der Rohdichte:	$\rho_k = 385 \text{ kg/m}^3$	Tab. III.15
Modifikationsbeiwert:	$k_{mod} = 0,80$	Tab. III.5
Teilsicherheitsbeiwert Verbindung:	$\gamma_{M,Verb} = 1,30$	Tab. III.3

Überprüfung der Anforderungen an die Holzabmessungen und Dübelabstände bei Hirnholzanschlüssen mit Dübeln besonderer Bauart

Dübel besonderer Bauart Typ A1 $d_c = 80 \text{ mm}$			erforderlich	vorhanden
Mindestbreite des anzuschließenden Trägers	b	[mm]	130	140
Randabstand	$a_{4,c}$ und $a_{4,t}$	[mm]	65	80
Abstand der Dübel untereinander	a_2	[mm]	95	120

Berechnung der charakteristischen Anschlusstragfähigkeit

charakteristischer Wert der Tragfähigkeit je Verbindungseinheit in einem Hirnholzanschluss

$$F_{v,0,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 35 \cdot d_c^{1,5} \\ 31,5 \cdot d_c \cdot h_e \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 35 \cdot 80,0^{1,5} \\ 31,5 \cdot 80,0 \cdot 15,0 \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 25.044 \text{ N} \\ 37.800 \text{ N} \end{array} \right\} = 25.044 \text{ N} = 25,0 \text{ kN}$$

Beiwert zur Berücksichtigung der hintereinanderliegenden Dübel

$$k_H = 0,65 \quad (\text{da zwei Dübel hintereinander})$$

charakteristischer Wert der Tragfähigkeit einer Verbindungsmiteinheit

$$F_{v,H,Rk} = \frac{k_H}{(1,3 + 0,001 \cdot d_c)} \cdot F_{v,0,Rk} = \frac{0,65}{(1,3 + 0,001 \cdot 80,0)} \cdot 25,0 = 11,8 \text{ kN}$$

Bemessungswert der Anschluss Tragfähigkeit

$$F_{v,H,Rd} = n \cdot k_{\text{mod}} \frac{F_{v,H,Rk}}{\gamma_{M,Verb}} = 2 \cdot 0,80 \cdot \frac{11,8}{1,30} = 14,5 \text{ kN}$$

Nachweis

$$\frac{V_d}{F_{v,H,Rd}} = \frac{13,0}{14,5} = 0,90 < 1$$



KAPITEL V

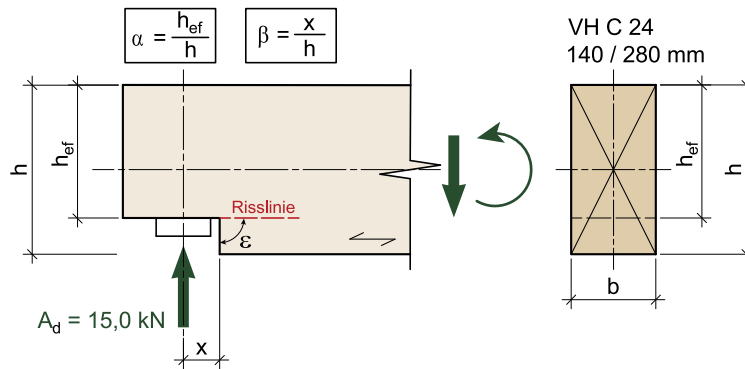
**NACHWEISFÜHRUNG
SPEZIELLER DETAILS**

- V.1 Ausklinkungen
- V.2 Queranschluss an einen Biegestab
- V.3 unverstärkter Rechteckdurchbruch

- V.3 - V.5
- V.6 - V.9
- V.9 - V.12

V.1 AUSKLINKUNGEN

V.1.1. RECHTECKIGE AUSKLINKUNG



gegeben:

Schnittgröße: $V_d = 15,0 \text{ kN}$
 Abmessungen: $b / h = 140/280 \text{ mm}$, $h_{ef} = 220 \text{ mm}$, $x = 60 \text{ mm}$, $i = 0$ ($\varepsilon = 90^\circ$)
 Material: VH C24
 Nutzungsklasse: NKL 2
 KLED: „mittel“

Baustoffkenngrößen

charakteristischer Wert der Schubfestigkeit: $f_{v,k} = 2,30 \text{ N/mm}^2$
 Modifikationsbeiwert: $k_{mod} = 0,80$
 Teilsicherheitsbeiwert: $\gamma_M = 1,30$
 Beiwert k_n : $k_n = 5$ (für Vollholz)

Tab. III.9

Tab. III.5

Tab. III.3

Bemessungswert der Schubfestigkeit

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,80 \cdot \frac{2,30}{1,30} = 1,42 \text{ N/mm}^2$$

Tab. III.9

Ausklinkungsparameter

$$\alpha = \frac{h_{ef}}{h} = \frac{220}{280} = 0,786 > 0,5 \quad \text{und} \quad \beta = \frac{x}{h} = \frac{60}{280} = 0,214 < 0,4$$

Beiwert k_v

$$k_v = \min \left\{ \frac{k_n \cdot \left(1 + \frac{1,1 \cdot i^{1,5}}{\sqrt{h}} \right)}{\sqrt{h} \cdot \left(\sqrt{\alpha \cdot (1 - \alpha)} + 0,8 \cdot \frac{x}{h} \cdot \sqrt{\frac{1}{\alpha} - \alpha^2} \right)} \right\}$$

$$= \min \left\{ \frac{5 \cdot \left(1 + \frac{1,1 \cdot 0^{1,5}}{\sqrt{280}} \right)}{\sqrt{280} \cdot \left(\sqrt{0,786 \cdot (1 - 0,786)} + 0,8 \cdot \frac{60,0}{280} \cdot \sqrt{\frac{1}{0,786} - 0,786^2} \right)} \right\} = \min \left\{ \frac{1,00}{0,544} \right\} = 0,544$$

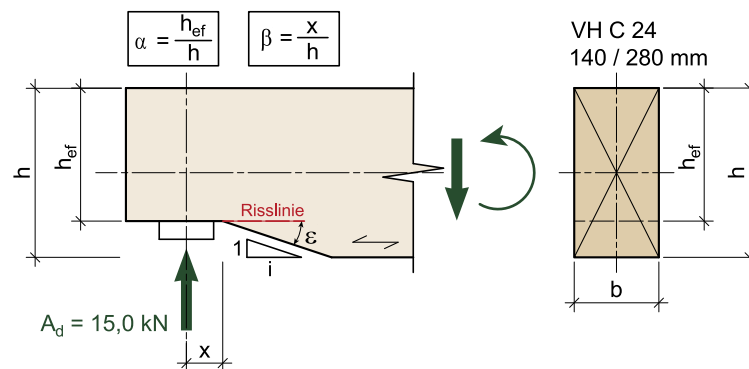
Schubspannung

$$\tau_d = 1,5 \cdot \frac{V_d}{b \cdot h_{ef}} = 1,5 \cdot \frac{15,0 \cdot 10^3}{140 \cdot 220} = 0,731 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\tau_d}{k_v \cdot f_{v,d}} = \frac{0,731}{0,544 \cdot 1,42} = 0,95 < 1$$

V.1.2. GENEIGTE AUSKLINKUNG



gegeben:

Schnittgröße: $V_d = 15 \text{ kN}$

Abmessungen: $b / h = 140 / 280 \text{ mm}$, $h_{ef} = 220 \text{ mm}$, $x = 60 \text{ mm}$, $i = 3,0$ ($\varepsilon = 18,4^\circ$)

Material: VH C24

Nutzungsklasse: NKL 2

KLED: „mittel“

Baustoffkenngrößen

charakteristischer Wert der Schubfestigkeit: $f_{v,k} = 2,30 \text{ N/mm}^2$

Tab. III.9

Modifikationsbeiwert: $k_{mod} = 0,80$

Tab. III.5

Teilsicherheitsbeiwert: $\gamma_M = 1,30$

Tab. III.3

Beiwert k_n : $k_n = 5$ (für Vollholz)

Bemessungswert der Schubfestigkeit

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,80 \cdot \frac{2,30}{1,30} = 1,42 \text{ N/mm}^2$$

Tab. III.9

Ausklinkungsparameter

$$\alpha = \frac{h_{ef}}{h} = \frac{220}{280} = 0,786 > 0,5 \quad \text{und} \quad \beta = \frac{x}{h} = \frac{60}{280} = 0,214 < 0,4$$

Beiwert k_v

$$k_v = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ \frac{k_n \cdot \left(1 + \frac{1,1 \cdot i^{1,5}}{\sqrt{h}} \right)}{\sqrt{h} \cdot \left(\sqrt{\alpha \cdot (1-\alpha)} + 0,8 \cdot \frac{x}{h} \cdot \sqrt{\frac{1}{\alpha} - \alpha^2} \right)} \end{array} \right.$$

$$= \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ \frac{5 \cdot \left(1 + \frac{1,1 \cdot 3,00^{1,5}}{\sqrt{280}} \right)}{\sqrt{280} \cdot \left(\sqrt{0,786 \cdot (1-0,786)} + 0,8 \cdot \frac{60,0}{280} \cdot \sqrt{\frac{1}{0,786} - 0,786^2} \right)} \end{array} \right. = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,00 \\ 0,730 \end{array} \right. = 0,730$$

Schubspannung

$$\tau_d = 1,5 \cdot \frac{V_d}{b \cdot h_{ef}} = 1,5 \cdot \frac{15,0 \cdot 10^3}{140 \cdot 220} = 0,731 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\tau_d}{k_v \cdot f_{v,d}} = \frac{0,731}{0,730 \cdot 1,42} = 0,71 < 1$$

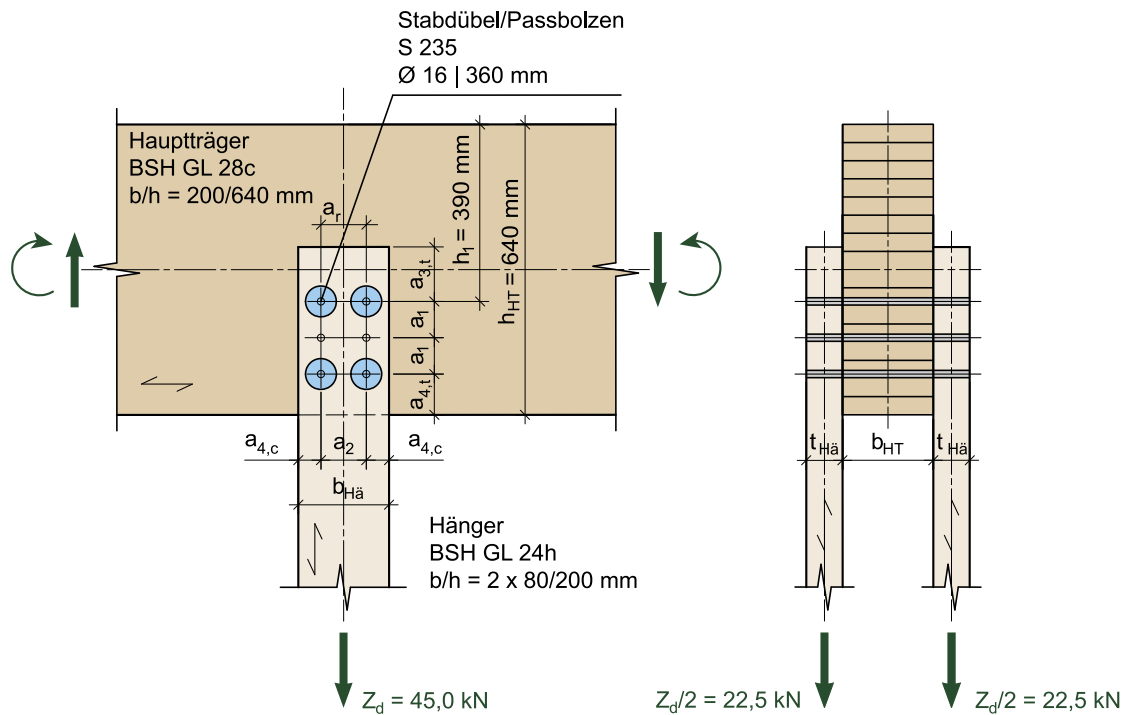
Vergleich der Tragfähigkeiten

	Träger ohne Ausklinkung	rechtwinklige Ausklinkung	geneigte Ausklinkung
i	–	0	3,00
k_v	–	0,544	0,730
max $F_{v,Rd}$	37,1 kN (100%)	15,9 kN (42,9%)	21,3 kN (57,4%)

Anmerkung:

Wie die Ergebnisse zeigen verliert das Auflager bei einer moderaten Ausklinkungstiefe von rund 20% der Querschnittshöhe rund 50% seiner Tragfähigkeit. Ausklinkungen sollten daher nach Möglichkeit vermieden werden oder zumindest durch geeignete Verstärkungsmaßnahmen (z. B. Vollgewindeschrauben) gesichert werden.

V.2 QUERANSCHLUSS AN EINEN BIEGESTAB



gegeben:

Schnittgröße:	$Z_d = 45,0 \text{ kN}$	
Abmessungen:	Hauptträger	$b_{HT}/h_{HT} = 200/640 \text{ mm}$
	Hänger	$b_{Hä}/h_{Hä} = 2 \times 80/200 \text{ mm}$
Verbindungsmittel:	Stabdübel/Passbolzen	$\varnothing 16 \text{ mm} \mid 360 \text{ mm}$
Material:	Hauptträger (HT)	BSH GL 28c
	Hänger (Hä)	BSH GL 24h
	Stabdübel/Passbolzen	Stahl S235 ($f_{u,k} = 360 \text{ N/mm}^2$)
Nutzungsklasse:	NKL 2	
KLED:	„mittel“	

Baustoffkenngrößen

charakteristischer Wert der Rohdichte:	HT	$\rho_k = 390 \text{ kg/m}^3$	Tab. III.20
	Hä	$\rho_k = 385 \text{ kg/m}^3$	Tab. III.15
Modifikationsbeiwert:	k_{mod}	$= 0,80$	Tab. III.5
Teilsicherheitsbeiwert (BSH):	γ_M	$= 1,25$	Tab. III.3
Teilsicherheitsbeiwert (Verbindung):	$\gamma_{M,Verb}$	$= 1,30$	Tab. III.3

Bemessungswerte

• Hauptträger

$$f_{t,90,g,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{t,90,g,k}}{\gamma_M} = 0,80 \cdot \frac{0,500}{1,25} = 0,320 \text{ N/mm}^2$$

• Hänger

$$f_{t,0,g,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{t,0,g,k}}{\gamma_M} = 0,80 \cdot \frac{19,2}{1,25} = 12,3 \text{ N/mm}^2$$

Kontrolle der Verbindungsmittelabstände

Stabdübel und Passbolzen d = 16 mm					
Abstände und Anforderungen		Hauptträger $\alpha = 90^\circ$		Hänger $\alpha = 0^\circ$	
		erforderlich	vorhanden	erforderlich	vorhanden
a_1	$\geq (3+2 \cdot \cos \alpha) \cdot d$	48 mm	100 mm	80 mm	80 mm
a_2	$\geq 3 \cdot d$	48 mm	80 mm	48 mm	100 mm
$a_{3,t}$	$\geq \max \{7 \cdot d; 80 \text{ mm}\}$	-	-	112 mm	120 mm
$a_{4,t}$	$\geq \max (2 + 2 \cdot \sin \alpha) d ; 3 \cdot d)$	64 mm	90 mm	-	-
$a_{4,c}$	$\geq 3 \cdot d$	48 mm	390 mm	48 mm	50 mm

Ermittlung der Tragfähigkeit des Queranschlusses

Kontrolle des Abstandes der obersten Verbindungsmittelreihe zur Unterkante HT

$$\frac{a}{h} = \frac{250}{640} = 0,391 < 0,7 \rightarrow \text{es ist ein Nachweis der Querkzugtragfähigkeit des Queranschlusses zu führen!}$$

$$k_s = \max \left\{ 0,7 + 1,4 \cdot \frac{a}{h} = 0,7 + 1,4 \cdot \frac{100}{640} = 0,919 = 1,00 \right.$$

$$k_r = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{h_i}{h} \right)^2} = \frac{3}{\left(\frac{390}{390} \right)^2 + \left(\frac{390}{470} \right)^2 + \left(\frac{390}{550} \right)^2} = 1,37$$

$$t_{ef} = \min \left\{ \frac{b}{2 \cdot t} \right\} = \min \left\{ \frac{200 \text{ mm}}{12 \cdot 16,0} = 192 \text{ mm} \right\} \text{ für einen beidseitigen Queranschluss mit Stabdübeln/Passbolzen}$$

Bemessungswert der Tragfähigkeit des Queranschlusses

$$F_{90,Rd} = k_s \cdot k_r \cdot \left[6,5 + 18 \cdot \left(\frac{a}{h} \right)^2 \right] \cdot (t_{ef} \cdot h)^{0,8} \cdot f_{t,90,d} = 1,00 \cdot 1,37 \cdot \left[6,5 + 18 \cdot \left(\frac{250}{640} \right)^2 \right] \cdot (192 \cdot 640)^{0,8} \cdot 0,32 = 47.801 \text{ N} = 47,8 \text{ kN}$$

Nachweis

$$\frac{F_{90,Ed}}{F_{90,Rd}} = \frac{45,0}{47,8} = 0,94 < 1$$

Anmerkung:

Queranschlüsse mit $a_r > h$ und $F_{90,Ed} > 0,5 \cdot F_{90,Rd}$ sind zu verstärken! (siehe Kapitel VI „Verstärkungsmaßnahmen“)

Tragfähigkeit der Verbindung

charakteristische Lochleibungsfestigkeit des Holzes

• Hänger

$$f_{h,0,k,1;Hä} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 16,0) \cdot 385 = 26,5 \text{ N/mm}^2$$

- Hauptträger

$$f_{h,0,k,2,HT} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot p_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 16,0) \cdot 390 = 26,9 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,\alpha,k,2,HT} = \frac{f_{h,0,k,2,HT}}{(1,35 + 0,015 \cdot d) \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{26,5}{(1,35 + 0,015 \cdot 16,0) \cdot \sin^2 90,0 + \cos^2 90,0} = 16,7 \text{ N/mm}^2$$

$$\beta = \frac{f_{h,\alpha,k,2,HT}}{f_{h,0,k,1,H\ddot{a}}} = \frac{16,7}{26,9} = 0,621$$

charakteristische Fließmoment des StabbdüBEL/Passbolzen

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 360 \cdot 16,0^{2,6} = 1,46 \cdot 10^5 \text{ Nmm}$$

Tragfähigkeit pro VM und Scherfuge

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} F_{v,Rk,sg} = f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \\ F_{v,Rk,sh} = 0,5 \cdot f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d \\ F_{v,Rk,j} = 1,05 \cdot \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \cdot \left[\sqrt{2 \cdot \beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot t_1^2 \cdot d}} - \beta \right] \\ F_{v,Rk,sk} = 1,15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} \end{cases}$$

$$= \min \begin{cases} 26,5 \cdot 80,0 \cdot 16,0 \\ 0,5 \cdot 16,9 \cdot 200 \cdot 16,0 \\ 1,05 \cdot \frac{26,5 \cdot 80,0 \cdot 16,0}{2 + 0,638} \cdot \left[\sqrt{2 \cdot 0,638 \cdot (1 + 0,638) + \frac{4 \cdot 0,638 \cdot (2 + 0,638) \cdot 1,46 \cdot 10^5}{26,5 \cdot 80,0^2 \cdot 16,0}} - 0,621 \right] \\ 1,15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 0,638}{1 + 0,638}} \cdot \sqrt{2 \cdot 1,46 \cdot 10^5 \cdot 26,5 \cdot 16,0} \end{cases} = \min \begin{cases} 33.920 \text{ N} \\ 27.040 \text{ N} \\ 12.529 \text{ N} \\ 11.294 \text{ N} \end{cases} = 11,3 \text{ kN}$$

Anmerkung:

Auf die Berücksichtigung des Seileffektes für die Passbolzen wurde verzichtet!

Bemessungswert der Tragfähigkeit je Verbindungsmittel und Scherfuge

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{M,Verb}} = 0,8 \cdot \frac{11,3}{1,30} = 6,95 \text{ kN}$$

wirksame Verbindungsmittelanzahl

- Hauptträger

$$n_{ef,HT} = n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13 \cdot d}} \cdot \frac{90 - \alpha}{90} + n \cdot \frac{\alpha}{90} = 2^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{100}{13 \cdot 16,0}} \cdot \frac{90 - 90}{90} + 2 \cdot \frac{90}{90} = 2,00$$

- Hänger

$$n_{ef,H\ddot{a}} = n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13 \cdot d}} \cdot \frac{90 - \alpha}{90} + n \cdot \frac{\alpha}{90} = 3^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{80,0}{13 \cdot 16,0}} \cdot \frac{90 - 0}{90} + 3 \cdot \frac{0}{90} = 2,12$$

Bemessungswert der Verbindung

- Hauptträger

$$R_{v,Rd,HT} = s \cdot m \cdot n_{ef,HT} \cdot F_{v,Rd} = 2 \cdot 3 \cdot 2,00 \cdot 6,95 = 83,4 \text{ kN}$$

- Hänger

$$R_{v,Rd,H\ddot{a}} = s \cdot m \cdot n_{ef,H\ddot{a}} \cdot F_{v,Rd} = 2 \cdot 2 \cdot 2,12 \cdot 6,95 = 58,9 \text{ kN}$$

$$R_{v,Rd} = \min \left\{ R_{v,Rd,HT} = 83,4 \right. \\ \left. R_{v,Rd,H\ddot{a}} = 58,9 \right\} = 58,9 \text{ kN}$$

Nachweis der Verbindung

$$\frac{Z_d}{R_{v,Rd}} = \frac{45,0}{58,9} = 0,76 < 1$$

Nettoquerschnittsnachweis der Hänger

$$A_n = h_{H\ddot{a}} \cdot (b_{H\ddot{a}} - n \cdot d) = 80,0 \cdot (200 - 2 \cdot 16,0) = 1,34 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$$

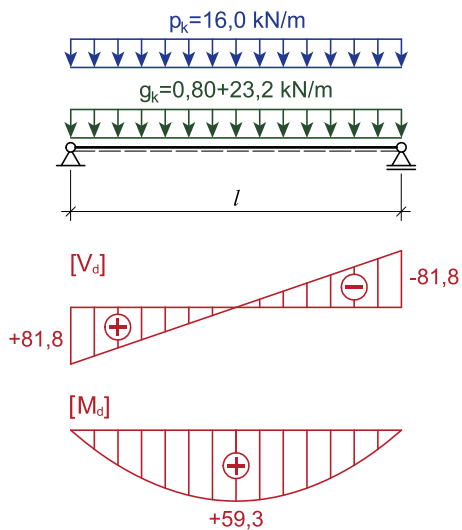
$$\sigma_{t,0,n;H\ddot{a}} = \frac{Z_d}{2 \cdot A_n} = \frac{45,0 \cdot 10^3}{2 \cdot 1,34 \cdot 10^4} = 1,68 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

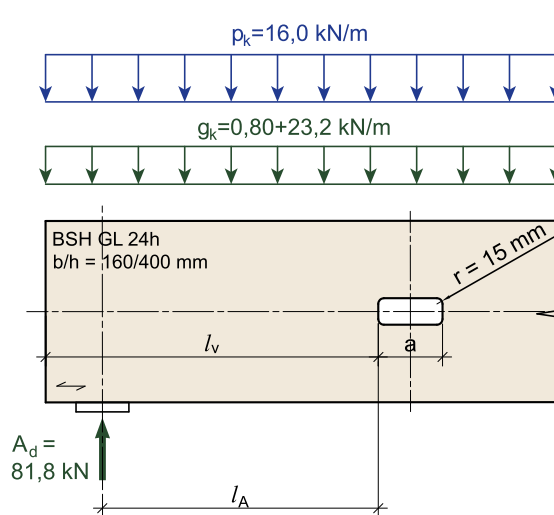
$$\frac{\sigma_{t,0,n;H\ddot{a}}}{f_{t,0,g,d}} = \frac{1,68}{12,3} = 0,14 < 1$$

V.3 UNVERSTÄRKTER RECHTECKDURCHBRUCH

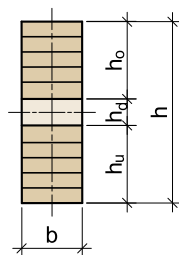
statisches System
und Einwirkungen



Detail



Querschnitt



gegeben:

rechteckiger Durchbruch $a/h_d = 170 / 70 \text{ mm}$, mittig im Querschnitt, $l_v = 830 \text{ mm}$, $l_A = 730 \text{ mm}$

Einwirkungen: charakteristischer Wert der ständigen Einwirkungen
charakteristischer Wert der veränderlichen Einwirkungen

$g_k = 24,0 \text{ kN/m}$

$p_k = 16,0 \text{ kN/m}$

Spannweite: $l = 2,90 \text{ m}$

Abmessungen: $b/h = 160/480 \text{ mm}$

Material: BSH GL 24h

Nutzungs-kategorie: NKL 1

KLED: „mittel“

Bemessungswert der Einwirkungen

$$q_d = \gamma_G \cdot g_k + \gamma_Q \cdot p_k = 1,35 \cdot 24,0 + 1,50 \cdot 16,0 = 56,4 \text{ kN/m}$$

Bemessungsschnittgrößen

Träger (global)

$$V_d = \frac{q_d \cdot l}{2} = \frac{56,4 \cdot 2,90}{2} = 81,8 \text{ kN}$$

$$M_d = \frac{q_d \cdot l^2}{8} = \frac{56,4 \cdot 2,90^2}{8} = 59,3 \text{ kNm}$$

im Bereich des Durchbruches (lokal)

- Querkraft

$$V_{li,d} = V_d - q_d \cdot l_A = 81,8 - 56,4 \cdot 0,730 = 40,6 \text{ kN}$$

$$V_{m,d} = V_d - q_d \cdot (l_A + 0,5 \cdot a) = 81,8 - 56,4 \cdot (0,730 + 0,5 \cdot 0,170) = 35,8 \text{ kN}$$

$$V_{re,d} = V_d - q_d \cdot (l_A + a) = 81,8 - 56,4 \cdot (0,730 + 0,170) = 31,0 \text{ kN}$$

- Moment

$$M_{li,d} = V_d \cdot l_A - q_d \cdot \frac{l_A^2}{2} = 81,8 \cdot 0,730 - 56,4 \cdot \frac{0,730^2}{2} = 44,7 \text{ kNm}$$

$$M_{m,d} = V_d \cdot (l_A + 0,5 \cdot a) - q_d \cdot \frac{(l_A + 0,5 \cdot a)^2}{2} = 81,8 \cdot (0,730 + 0,5 \cdot 0,170) - 56,4 \cdot \frac{(0,730 + 0,5 \cdot 0,170)^2}{2} = 47,9 \text{ kNm}$$

$$M_{re,d} = V_d \cdot (l_A + a) - q_d \cdot \frac{(l_A + a)^2}{2} = 81,8 \cdot (0,730 + 0,170) - 56,4 \cdot \frac{(0,730 + 0,170)^2}{2} = 50,8 \text{ kNm}$$

Kontrolle der geometrischen Grenzwerte

$l_A \geq 0,5 \cdot h$	$730 \text{ mm} > 0,5 \cdot 480 = 240 \text{ mm}$
$l_v \geq h$	$830 \text{ mm} > 480 \text{ mm}$
$l_z \geq 1,5 \cdot h \geq 300 \text{ mm}$	nicht vorhanden
$h_d \leq 0,15 \cdot h$	$70,0 \text{ mm} < 0,15 \cdot 480 = 72,0 \text{ mm}$
$a \leq 2,5 \cdot h_d$	$170 \text{ mm} < 2,5 \cdot 70,0 = 175 \text{ mm}$
$h_{ro} \geq 0,35 \cdot h$	$205 \text{ mm} > 0,35 \cdot 480 = 168 \text{ mm}$
$h_{ru} \geq 0,35 \cdot h$	$205 \text{ mm} > 0,35 \cdot 480 = 168 \text{ mm}$
$d \geq 0,1 \cdot h$	$\sqrt{170^2 + 70,0^2} = 184 \text{ mm} > 0,1 \cdot 480 = 48,0 \text{ mm}$
$r \geq 15 \text{ mm}$	$15,0 \text{ mm} = 15,0 \text{ mm}$

Baustoffkenngrößen

Modifikationsbeiwert: $k_{mod} = 0,80$

Tab. III.5

Teilsicherheitsbeiwert: $\gamma_M = 1,25$

Tab. III.3

Bemessungswerte

$$f_{m,g,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,g,k}}{\gamma_M} = 0,80 \cdot \frac{24,0}{1,25} = 15,4 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,g,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,g,k}}{\gamma_M} = 0,80 \cdot \frac{2,50}{1,25} = 1,60 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{t,90,g,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{t,90,g,k}}{\gamma_M} = 0,80 \cdot \frac{0,50}{1,25} = 0,320 \text{ N/mm}^2$$

Querschnittswerte

Bruttoquerschnittswerte

$$A = b \cdot h = 160 \cdot 480 = 7,68 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{160 \cdot 480^2}{6} = 6,14 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

Nettoquerschnittswerte

$$A_o = b \cdot h_{ro} = 160 \cdot 205 = 3,28 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

$$A_u = b \cdot h_{ru} = 160 \cdot 205 = 3,28 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

$$W_n = \frac{b \cdot (h^2 - h_d^2)}{6} = \frac{160 \cdot (480^2 - 70,0^2)}{6} = 6,01 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$W_o = \frac{b \cdot h_{ro}^2}{6} = \frac{160 \cdot 205^2}{6} = 1,12 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$W_u = \frac{h \cdot h_{ru}^2}{6} = \frac{160 \cdot 205^2}{6} = 1,12 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

Nachweis des Trägers

- Biegenachweis

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_d}{W} = \frac{59,3 \cdot 10^6}{6,14 \cdot 10^6} = 9,66 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,g,d}} = \frac{9,66}{15,4} = 0,63 < 1$$

- Schubnachweis

$$\tau_d = 1,5 \cdot \frac{V_d}{A} = 1,5 \cdot \frac{81,8 \cdot 10^3}{7,68 \cdot 10^4} = 1,60 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\tau_d}{f_{v,g,d}} = \frac{1,60}{1,60} = 1,00 = 1$$

Nachweis im Durchbruchbereich

- Nachweis der Querkzugspannung

$$h_r = \min \begin{cases} h_{ro} \\ h_{ru} \end{cases} = \min \begin{cases} 205 \\ 205 \end{cases} = 205 \text{ mm}$$

Querkzugkraft am **linken Rand** des Durchbruches

$$F_{li,t,V,d} = \frac{V_{li,d} \cdot h_d}{4 \cdot h} \cdot \left[3 - \left(\frac{h_d}{h} \right)^2 \right] = \frac{40,6 \cdot 70,0}{4 \cdot 480} \cdot \left[3 - \left(\frac{70,0}{480} \right)^2 \right] = 4,41 \text{ kN}$$

$$F_{li,t,M,d} = 0,008 \cdot \frac{M_{li,d}}{h_r} = 0,008 \cdot \frac{44,7 \cdot 10^3}{205} = 1,74 \text{ kN}$$

$$F_{li,t,90,d} = F_{li,t,V,d} + F_{li,t,M,d} = 4,41 + 1,74 = 6,15 \text{ kN}$$

→ maßgebend!

Querkzugkraft am **rechten Rand** des Durchbruches

$$F_{re,t,V,d} = \frac{V_{re,d} \cdot h_d}{4 \cdot h} \cdot \left[3 - \left(\frac{h_d}{h} \right)^2 \right] = \frac{31,0 \cdot 70,0}{4 \cdot 480} \cdot \left[3 - \left(\frac{70,0}{480} \right)^2 \right] = 3,37 \text{ kN}$$

$$F_{re,t,M,d} = 0,008 \cdot \frac{M_{re,d}}{h_r} = 0,008 \cdot \frac{50,8 \cdot 10^3}{205} = 1,98 \text{ kN}$$

$$F_{re,t,90,d} = F_{re,t,V,d} + F_{re,t,M,d} = 3,37 + 1,98 = 5,35 \text{ kN}$$

$$k_{t,90} = \min \left\{ \left(\frac{1}{\frac{450}{h}} \right)^{0,5} = \min \left\{ \left(\frac{1}{\frac{450}{480}} \right)^{0,5} = 0,968 \right.$$

$$l_{t,90} = 0,5 \cdot (h_d + h) = 0,5 \cdot (70,0 + 480) = 275 \text{ mm}$$

$$\sigma_{t,90,d} = \frac{F_{t,90,d}}{0,5 \cdot l_{t,90} \cdot b_{ef} \cdot k_{t,90}} = \frac{6,15 \cdot 10^3}{0,5 \cdot 275 \cdot 160 \cdot 0,968} = 0,289 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{t,90,d}}{f_{t,90,g,d}} = \frac{0,289}{0,320} = 0,90 < 1$$

• Nachweis Schubspannung

$$k_\tau = 1,85 \cdot \left(1 + \frac{a}{h} \right) \cdot \left(\frac{h_d}{h} \right)^{0,2} = 1,85 \cdot \left(1 + \frac{170}{480} \right) \cdot \left(\frac{70,0}{480} \right)^{0,2} = 1,70$$

$$\tau_d = k_\tau \cdot \frac{1,5 \cdot V_d}{b_{ef} \cdot (h - h_d)} = 1,70 \cdot \frac{1,5 \cdot 40,6 \cdot 10^3}{160 \cdot (480 - 70,0)} = 1,58 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{1,58}{1,60} = 0,99 < 1$$

• Nachweis Biegespannung

oben

$$M_{o,d} = \frac{A_o}{A_u + A_o} \cdot V_{m,d} \cdot \frac{a}{2} = \frac{3,28 \cdot 10^4}{3,28 \cdot 10^4 + 3,28 \cdot 10^4} \cdot 35,8 \cdot \frac{0,170}{2} = 1,52 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,o,d} = \frac{M_{m,d}}{W_n} + \frac{M_{o,d}}{W_o} = \frac{47,9 \cdot 10^6}{6,01 \cdot 10^6} + \frac{1,52 \cdot 10^6}{1,12 \cdot 10^6} = 9,33 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{m,o,d}}{f_{m,g,d}} = \frac{9,33}{15,4} = 0,61 < 1$$

unten

$$M_{u,d} = \frac{A_u}{A_u + A_o} \cdot V_{m,d} \cdot \frac{a}{2} = \frac{3,28 \cdot 10^4}{3,28 \cdot 10^4 + 3,28 \cdot 10^4} \cdot 35,8 \cdot \frac{0,170}{2} = 1,52 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,u,d} = \frac{M_{m,d}}{W_n} + \frac{M_{u,d}}{W_u} = \frac{47,9 \cdot 10^6}{6,01 \cdot 10^6} + \frac{1,52 \cdot 10^6}{1,12 \cdot 10^6} = 9,33 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{m,u,d}}{f_{m,g,d}} = \frac{9,33}{15,4} = 0,61 < 1$$



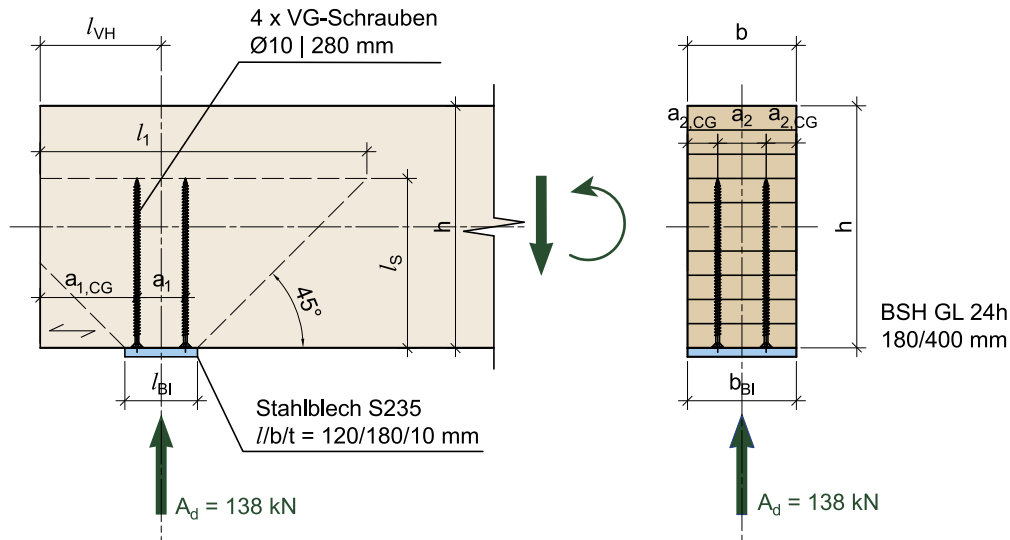
KAPITEL VI

**SANIERUNGS-/
VERSTÄRKUNGSMASSNAHMEN**

VI.1 Verstärkung eines Auflagers
VI.2 Verstärkung einer Ausklinkung
VI.3 Verstärkung eines Queranschlusses
VI.4 Verstärkung eines runden Durchbruches

VI.3 - VI.4
VI.5 - VI.7
VI.7 - VI.8
VI.9 - VI.16

VI.1 VERSTÄRKUNG EINES AUFLAGERS



gegeben:

Einwirkung: $A_d = 138 \text{ kN}$
 Abmessungen: $b/h = 180/400 \text{ mm}$, $l_{VH} = 200 \text{ mm}$, $l_{BI}/b_{BI} = 120/180 \text{ mm}$
 Material: BSH GL 24h
 Verstärkung: 4 x Vollgewindeschrauben Ø10 | 280 mm
 Nutzungsklasse: NKL 2
 KLED: „mittel“

Baustoffkenngrößen

charakteristischer Wert der Querdruckfestigkeit:	$f_{c,90,g,k} = 2,50 \text{ N/mm}^2$	Tab. III.15
charakteristischer Wert der Rohdichte:	$\rho_k = 385 \text{ kg/m}^3$	Tab. III.15
Modifikationsbeiwert:	$k_{mod} = 0,80$	Tab. III. 5
Teilsicherheitsbeiwert Holz:	$\gamma_M = 1,25$	Tab. III. 3
Teilsicherheitsbeiwert Verbindung:	$\gamma_{M, Verb} = 1,30$	Tab. III. 3

Bemessungswert

$$f_{c,90,g,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,90,g,k}}{\gamma_M} = 0,80 \cdot \frac{2,50}{1,25} = 1,60 \text{ N/mm}^2$$

Querdrucknachweis ohne Verstärkung

$$A_0 = A_{ef} = l_{ef} \cdot b = (120 + 2 \cdot 30,0) \cdot 180 = 3,24 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{A_d}{A_{ef}} = \frac{138 \cdot 10^3}{3,24 \cdot 10^4} = 4,26 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{c,90,d}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,g,d}} = \frac{4,26}{1,75 \cdot 1,60} = 1,52 > 1,0 \rightarrow \text{Auflagerverstärkung erforderlich!}$$

Querdrucknachweis mit Verstärkung

Überprüfung der Mindestabstände nach ÖNORM EN 1995-1-1, Tab. 8.6 [1]

Vollgewindeschraube Ø10 280 mm				
			erforderlich	vorhanden
a_1	$\geq 7 \cdot d$	[mm]	70	80
a_2	$\geq 5 \cdot d$	[mm]	50	100
$a_{1,CG}$	$\geq 10 \cdot d$	[mm]	100	160
$a_{2,CG}$	$\geq 4 \cdot d$	[mm]	40	40

Ermittlung der Tragfähigkeit und Nachweis der Verstärkungsmaßnahme

Knicken der Schraube im Holz (elastisch gebetteter (Stahl-) Knickstab)

$$N_{pl,k} = \frac{(0,7 \cdot d)^2 \cdot \pi}{4} \cdot f_{y,k} = \frac{(0,7 \cdot 10,0)^2 \cdot \pi}{4} \cdot 950 = 36.560 \text{ N} = 36,6 \text{ kN}$$

$$I_s = \frac{(0,7 \cdot d)^4 \cdot \pi}{64} = \frac{(0,7 \cdot 10,0)^4 \cdot \pi}{64} = 118 \text{ mm}^4$$

Bettungsziffer einer Schraube im Holz

$$c_h = (0,19 + 0,012 \cdot d) \cdot \rho_k \cdot \left(\frac{90 + \alpha}{180} \right) = (0,19 + 0,012 \cdot 10,0) \cdot 385 \cdot \left(\frac{90 + 90}{180} \right) = 119 \text{ N/mm}^2$$

$$N_{ki,G,k} = \sqrt{c_h \cdot E_s \cdot I_s} = \sqrt{119 \cdot 210.000 \cdot 118} = 54.303 \text{ N} = 54,3 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_k = \sqrt{\frac{N_{pl,k}}{N_{ki,G,k}}} = \sqrt{\frac{36,6}{54,3}} = 0,821$$

$$k = 0,5 \cdot \left[1 + 0,49 \cdot (\bar{\lambda}_k - 0,2) + \bar{\lambda}_k^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,49 \cdot (0,821 - 0,2) + 0,821^2 \right] = 0,989 \quad \text{für } \bar{\lambda}_k = 0,821 > 0,2$$

$$\kappa_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \bar{\lambda}_k^2}} = \frac{1}{0,989 + \sqrt{0,989^2 - 0,821^2}} = 0,649$$

Nachweisführung der Querdruckverstärkung

$$f_{ax,k} = 0,52 \cdot d^{-0,5} \cdot l_{ef}^{-0,1} \cdot \rho_k^{0,8} = 0,52 \cdot 10,0^{-0,5} \cdot 280^{-0,1} \cdot 385^{0,8} = 11,0 \text{ N/mm}^2$$

$$R_{S,d} = \min \left\{ \begin{array}{l} R_{ax,k} = f_{ax,k} \cdot d \cdot l \\ R_{c,k} = \kappa_c \cdot N_{pl,k} \end{array} \right\} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_{M,Verb}} = \min \left\{ \begin{array}{l} 11,0 \cdot 10,0 \cdot 280 = 30.800 \text{ N} = 30,8 \text{ kN} \\ 0,649 \cdot 36,6 = 23,7 \text{ kN} \end{array} \right\} \cdot \frac{0,80}{1,30} = 14,6 \text{ kN}$$

$$l_1 = \left[l_s + l_{Bl} + \min \left\{ \begin{array}{l} l_s \\ l_{VH} - \frac{l_{Bl}}{2} \end{array} \right\} \right] = \left[280 + 120 + \min \left\{ \begin{array}{l} 280 \\ 200 - \frac{120}{2} \end{array} \right\} \right] = 540 \text{ mm}$$

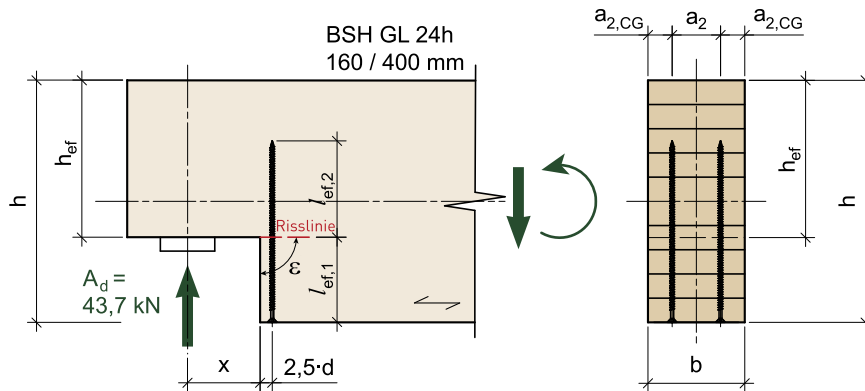
$$A_1 = l_1 \cdot b = 540 \cdot 180 = 9,72 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

$$R_{90,d} = \min \left\{ \begin{array}{l} k_{c,90} \cdot A_0 \cdot f_{c,90,g,d} + n \cdot R_{S,d} \\ A_1 \cdot f_{c,90,g,d} \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,75 \cdot 3,24 \cdot 10^4 \cdot 1,60 + 4 \cdot 14.600 = 149.120 \text{ N} = 149 \text{ kN} \\ 9,72 \cdot 10^4 \cdot 1,60 = 155.520 \text{ N} = 156 \text{ kN} \end{array} \right\} = 149 \text{ kN}$$

Nachweis

$$\frac{A_d}{R_{90,d}} = \frac{138}{149} = 0,93 < 1$$

VI.2 VERSTÄRKUNG EINER AUSKLINKUNG



gegeben:

Einwirkung: $A_d = V_d = 43,7 \text{ kN}$
 Abmessungen: $b/h = 160/400 \text{ mm}$, $h_{ef} = 260 \text{ mm}$, $i = 0$, $x = 120 \text{ mm}$
 Material: BSH GL 24h
 Verstärkung: Vollgewindeschraube Ø8 | 300 mm, $F_{tens,k} = 20,0 \text{ kN}$
 Nutzungsklasse: NKL 2
 KLED: „mittel“
 Beiwert k_n : $k_n = 6,5$ (für BSH)

Baustoffkenngrößen

charakteristischer Wert der Schubfestigkeit:	$f_{v,g,k} = 2,50 \text{ N/mm}^2$	Tab. III.15
charakteristischer Wert der Querdruckfestigkeit:	$f_{c,90,g,k} = 2,50 \text{ N/mm}^2$	Tab. III.15
Modifikationsbeiwert:	$k_{mod} = 0,80$	Tab. III.5
Teilsicherheitsbeiwert Holz:	$\gamma_M = 1,25$	Tab. III.3
Teilsicherheitsbeiwert (Verbindung):	$\gamma_{M, Verb} = 1,30$	Tab. III.3

Bemessungswert

$$f_{v,g,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,g,k}}{\gamma_M} = 0,80 \cdot \frac{2,50}{1,25} = 1,60 \text{ N/mm}^2$$

Ausklinkungsparameter

$$\alpha = \frac{h_{ef}}{h} = \frac{260}{400} = 0,65 > 0,5 \quad \text{und} \quad \beta = \frac{x}{h} = \frac{120}{400} = 0,300 < 0,4$$

Überprüfung, ob die Ausklinkung auch unverstärkt ausgeführt werden kann

Beiwert k_v

$$k_v = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ \frac{k_n \cdot \left(1 + \frac{1,1 \cdot i^{1,5}}{\sqrt{h}} \right)}{\sqrt{h} \cdot \left(\sqrt{\alpha \cdot (1-\alpha)} + 0,8 \cdot \frac{x}{h} \cdot \sqrt{\frac{1}{\alpha} - \alpha^2} \right)} \end{array} \right. =$$

$$= \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ \frac{6,5 \cdot \left(1 + \frac{1,1 \cdot 0^{1,5}}{\sqrt{400}} \right)}{\sqrt{400} \cdot \left(\sqrt{0,650 \cdot (1-0,650)} + 0,8 \cdot \frac{120}{400} \cdot \sqrt{\frac{1}{0,650} - 0,650^2} \right)} \end{array} \right. = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,00 \\ 0,445 \end{array} \right. = 0,445$$

Schubspannung

$$\tau_d = 1,5 \cdot \frac{V_d}{b \cdot h_{ef}} = 1,5 \cdot \frac{43,7 \cdot 10^3}{160 \cdot 260} = 1,58 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\tau_d}{k_v \cdot f_{v,g,d}} = \frac{1,58}{0,445 \cdot 1,60} = 2,22 > 1 \rightarrow \text{Verstärkungsmaßnahme erforderlich!}$$

gewählte Verstärkungsmaßnahme: Vollgewindeschraube 2 x Ø8 | 300 mm, von unten eingedreht

Bemessungswert der von der Verstärkungsmaßnahme aufzunehmenden Kraft

$$F_{t,90,d} = 1,3 \cdot V_d \cdot (1 - 3 \cdot \alpha^2 + 2 \cdot \alpha^3) = 1,3 \cdot 43,7 \cdot (1 - 3 \cdot 0,650^2 + 2 \cdot 0,650^3) = 16,0 \text{ kN}$$

Überprüfung der Randabstände

Vollgewindeschraube Ø8 300 mm			
		erforderlich	vorhanden
a_2	$\geq 5 \cdot d$	40 mm	80 mm
$a_{2,CG}$	$\geq 5 \cdot d$	32 mm	40 mm
Anmerkung: Der Abstand der Schraubenachse vom Hirnholzende ($a_{3,c}$) sollte für Ausklinkungsverstärkungen mit $2,5 \cdot d$ gewählt werden.			

Ermittlung der Tragfähigkeit und Nachweis der Verstärkungsmaßnahme

wirksame Länge

$$l_{ef,1} = 140 \text{ mm}$$

$$l_{ef,2} = l - l_{ef,1} = 300 - 140 = 160 \text{ mm}$$

Ausziehparameter

$$f_{ax,k} = 0,52 \cdot d^{-0,5} \cdot l_{ef,1}^{-0,1} \cdot \rho_k^{0,8} = 0,52 \cdot 8,00^{-0,5} \cdot 140^{-0,1} \cdot 385^{0,8} = 13,1 \text{ N/mm}^2$$

charakteristischer Wert der Tragfähigkeit je Verbindungsmittel

$$k_d = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{d}{8} \\ 1 \end{array} \right. = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{8,00}{8} \\ 1 \end{array} \right. = 1,00$$

$$F_{ax,Rd} = \min \left\{ F_{ax,Rd} = \min \left\{ \frac{f_{ax,k} \cdot d \cdot l_{ef,1} \cdot k_d}{1,2 \cdot \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_{M,Verb}} = \min \left\{ \frac{13,1 \cdot 8,00 \cdot 140 \cdot 1,00}{1,2 \cdot \cos^2 90,0 + \sin^2 90,0} \cdot \frac{0,80}{1,30} = 9,029 \text{ N} \right. \right. \right. \\ \left. \left. \left. \frac{f_{tens,k}}{\gamma_{M2}} = \frac{20.000}{1,25} = 16.000 \text{ N} \right. \right. \right\} = 9,03 \text{ kN}$$

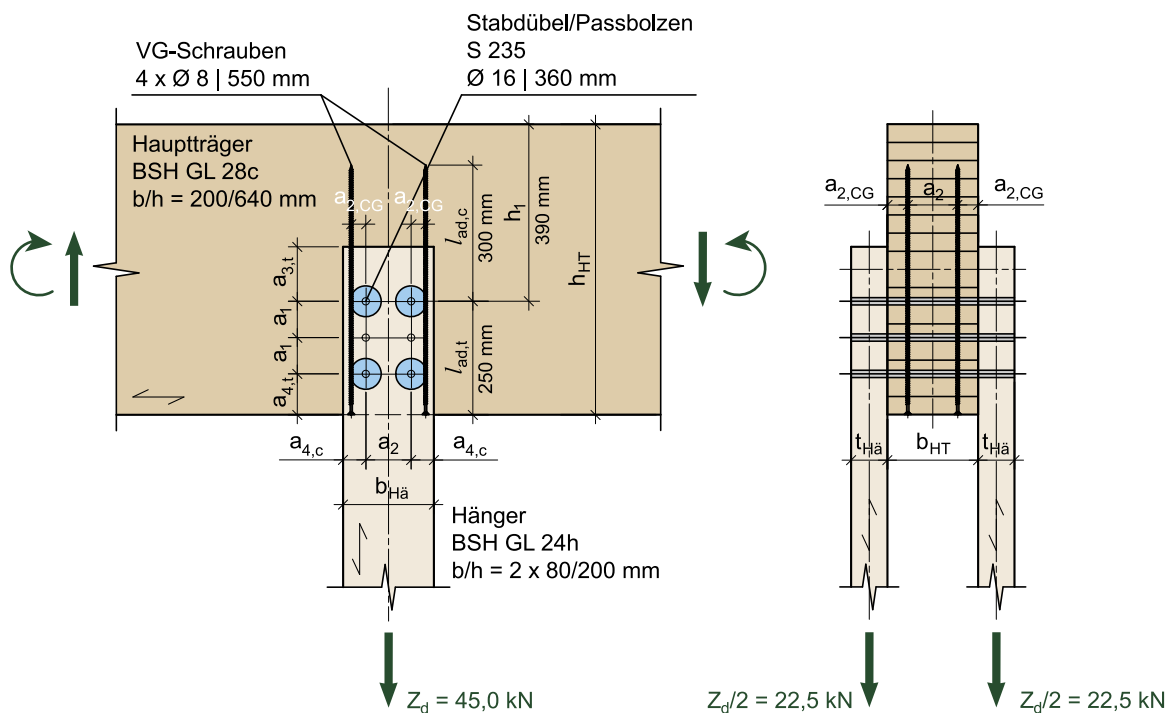
Gesamtragfähigkeit einer Verbindung

$$R_{ax,d} = n \cdot F_{ax,Rd} = 2 \cdot 9,03 = 18,1 \text{ kN}$$

Nachweis der Verstärkungsmaßnahme

$$\frac{F_{t,90,d}}{R_{ax,d}} = \frac{16,0}{18,1} = 0,88 < 1$$

VI.3 VERSTÄRKUNG EINES QUERANSCHLUSSES



gegeben:

Schnittgröße: $Z_d = 45,0 \text{ kN}$

Abmessungen: Hauptträger

$b_{HT}/h_{HT} = 200/640 \text{ mm}$

Hänger

$b_{Hä}/h_{Hä} = 2 \times 80/200 \text{ mm}$

Verbindungsmittel: Stabdübel/Passbolzen

$\varnothing 16 \text{ mm} \mid 360 \text{ mm}$

Verstärkung: Vollgewindeschraube

$\varnothing 8 \mid 550 \text{ mm}$

Material: Hauptträger (HT)

BSH GL 28c

Hänger (Hä)

BSH GL 24h

Stabdübel/Passbolzen

Stahl S235

Nutzungsklasse: NKL 2

KLED: „mittel“

Baustoffkenngrößen

charakteristischer Wert der Rohdichte:	HT	$\rho_k = 390 \text{ kg/m}^3$	Tab. III.20
	Hä	$\rho_k = 385 \text{ kg/m}^3$	Tab. III.15
Modifikationsbeiwert:	k_{mod}	$= 0,80$	Tab. III.5
Teilsicherheitsbeiwert (BSH):	γ_M	$= 1,25$	Tab. III.3
Teilsicherheitsbeiwert Verbindung:	$\gamma_{M,\text{Verb}}$	$= 1,30$	Tab. III.3

Parameter

$$\alpha = \frac{a}{h} = \frac{250}{640} = 0,391$$

Bemessungswert der von der Verstärkungsmaßnahme aufzunehmenden Kraft

$$F_{t,90,d} = (1 - 3 \cdot \alpha^2 + 2 \cdot \alpha^3) \cdot F_{90,Ed} = (1 - 3 \cdot 0,391^2 + 2 \cdot 0,391^3) \cdot 45,0 = 29,7 \text{ kN}$$

gewählte Verstärkungsmaßnahme: Vollgewindeschraube 4 x Ø 8 | 550 mm, von unten eingedreht

Überprüfung der Randabstände

Vollgewindeschraube Ø 8 550 mm			
		erforderlich	vorhanden
a_1	$\geq 7 \cdot d$	56 mm	170 mm
a_2	$\geq 5 \cdot d$	40 mm	110 mm
$a_{2,CG}$	$\geq 4 \cdot d$	32 mm	45 mm

Ermittlung der Tragfähigkeit

wirksame Länge

$$l_{ad,t} = 250 \text{ mm} \rightarrow \text{maßgebend!}$$

$$l_{ad,c} = l - l_{ad,t} = 550 - 250 = 300 \text{ mm}$$

Ausziehparameter

$$f_{ax,k} = 0,52 \cdot d^{-0,5} \cdot l_{ef,1}^{-0,1} \cdot \rho_k^{0,8} = 0,52 \cdot 8,00^{-0,5} \cdot 250^{-0,1} \cdot 390^{0,8} = 12,5 \text{ N/mm}^2$$

Tragfähigkeit je Verbindungsmittel

$$k_d = \min \left\{ \frac{d}{8} = \min \left\{ \frac{8,00}{8} = 1,00 \right. \right. = 1,00$$

$$F_{ax,Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} F_{ax,Rd} = \min \left\{ \frac{f_{ax,k} \cdot d \cdot l_{ef,1} \cdot k_d}{1,2 \cdot \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_{M,Verb}} = \min \left\{ \frac{12,5 \cdot 8,00 \cdot 250 \cdot 1,00}{1,2 \cdot \cos^2 90,0 + \sin^2 90,0} \cdot \frac{0,80}{1,30} = 15.385 \text{ N} \right. \right. \\ F_{tens,d} = \min \left\{ \frac{f_{tens,k}}{\gamma_{M2}} = \min \left\{ \frac{20.000}{1,25} = 16.000 \text{ N} \right. \right. \end{array} \right. = 15,4 \text{ kN}$$

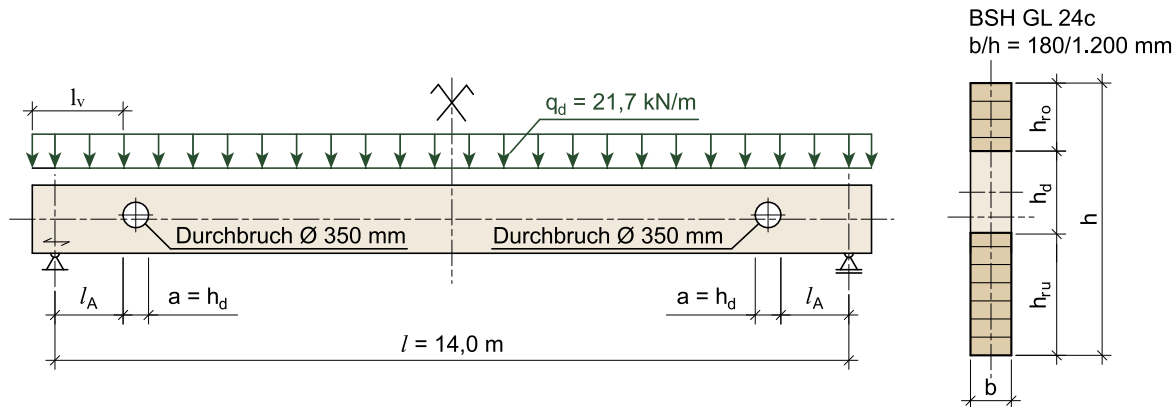
Gesamttragfähigkeit einer Verbindung (=Trägerseite)

$$R_{ax,d} = n \cdot F_{ax,Rd} = 4 \cdot 15,4 = 61,6 \text{ kN}$$

Nachweis der Verstärkungsmaßnahme

$$\frac{F_{t,90,d}}{R_{ax,d}} = \frac{29,7}{61,6} = 0,48 < 1$$

VI.4 VERSTÄRKUNG EINES RUNDEN DURCHBRUCHS



gegeben:

Einwirkung: $q_d = 21,7 \text{ kN/m}$
 Spannweite: $l = 14,0 \text{ m}$
 Abmessungen: $b/h = 180/1.200 \text{ mm}$
 Durchbruch: $\varnothing 350 \text{ mm}$, $h_{ro} = 300 \text{ mm}$, $h_{ru} = 550 \text{ mm}$, $l_A = 1.200 \text{ mm}$, $l_v = 1.600 \text{ mm}$
 Material: BSH GL 24c
 Nutzungsklasse: NKL 2
 KLED: „kurz“

Es werden zwei Varianten betrachtet:

Variante A: Verstärkung mit innenliegenden Schraubstangen $\varnothing 16 \text{ mm}$
 Variante B: Verstärkung mit beidseitig aufgeklebten Holzwerkstoffplatten

Baustoffkenngrößen

charakteristischer Wert der Biegefestigkeit:	$f_{m,g,k} = 24,0 \text{ N/mm}^2$	Tab. III.19
charakteristischer Wert der Schubfestigkeit:	$f_{v,g,k} = 2,50 \text{ N/mm}^2$	Tab. III.19
charakteristischer Wert der Querkzugfestigkeit:	$f_{t,90,g,k} = 0,50 \text{ N/mm}^2$	Tab. III.19
charakteristischer Wert der Rohdichte:	$\rho_k = 365 \text{ kg/m}^3$	Tab. III.19
Modifikationsbeiwert:	$k_{mod} = 0,90$	Tab. III.5
Teilsicherheitsbeiwert (BSH):	$\gamma_M = 1,25$	Tab. III.3

Bemessungswerte

$$f_{m,g,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,g,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{24,0}{1,25} = 17,3 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,g,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,g,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{2,50}{1,25} = 1,80 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{t,90,g,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{t,90,g,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{0,50}{1,25} = 0,360 \text{ N/mm}^2$$

Nachweise am Bruttoquerschnitt

Auflagerkraft

$$A_d = \frac{q_d \cdot (l + 2 \cdot (l_v - l_A))}{2} = \frac{21,7 \cdot (14,0 + 2 \cdot (1,60 - 1,20))}{2} = 161 \text{ kN}$$

Schnittgrößen

$$V_d = A_d - q_d \cdot (l_v - l_A) = 161 - 21,7 \cdot (1,60 - 1,20) = 152 \text{ kN}$$

$$M_d = -\frac{q_d \cdot (l_v - l_A)^2}{2} + \frac{q_d \cdot l^2}{8} = -\frac{21,7 \cdot (1,60 - 1,20)^2}{2} + \frac{21,7 \cdot 14,0^2}{8} = -1,74 + 532 = 530 \text{ kNm}$$

Querschnittswerte

$$A = b \cdot h = 180 \cdot 1.200 = 2,16 \cdot 10^5 \text{ mm}^2$$

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{180 \cdot 1.200^2}{6} = 4,32 \cdot 10^7 \text{ mm}^3$$

Nachweisführung

Biegespannungen

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_d}{W} = \frac{530 \cdot 10^6}{4,32 \cdot 10^7} = 12,3 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,g,d}} = \frac{12,3}{17,3} = 0,71 < 1$$

Schubspannungen

$$\tau_d = 1,5 \cdot \frac{V_d}{W} = 1,5 \cdot \frac{152 \cdot 10^3}{2,16 \cdot 10^5} = 1,06 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\tau_d}{f_{v,g,d}} = \frac{1,06}{1,80} = 0,59 < 1$$

Überprüfen der geometrischen Grenzwerte für den verstärkten, rechteckigen Durchbruch

$l_A \geq 0,5 \cdot h$	$= 0,5 \cdot 1.200 = 600 \text{ mm}$	$< l_A = 1.200 \text{ mm}$
$l_v \geq h$	$= 1.200 \text{ mm}$	$< l_v = 1.600 \text{ mm}$
$h_d \leq 0,30 \cdot h$	$= 0,30 \cdot 1.200 = 360 \text{ mm}$	$> h_d = 350 \text{ mm}$
$h_{ro} \geq 0,25 \cdot h$	$= 0,25 \cdot 1.200 = 300 \text{ mm}$	$= h_{ro} = 300 \text{ mm}$
$h_{ru} \geq 0,25 \cdot h$	$= 0,25 \cdot 1.200 = 300 \text{ mm}$	$< h_{ru} = 550 \text{ mm}$

Nachweis der Durchbrüche

Querschnittswerte

$$A_o = b \cdot h_{ro} = 180 \cdot 300 = 5,40 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

$$A_u = b \cdot h_{ru} = 180 \cdot 550 = 9,90 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

$$W_o = \frac{b \cdot h_{ro}^2}{6} = \frac{180 \cdot 300^2}{6} = 2,70 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$W_u = \frac{b \cdot h_{ru}^2}{6} = \frac{180 \cdot 550^2}{6} = 9,08 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$\bar{z}_s = \frac{\sum (\bar{z}_i \cdot A_i)}{\sum A_i} = \frac{A_o \cdot \frac{h_{ro}}{2} + A_u \cdot \left(h_{ro} + h_d + \frac{h_{ru}}{2} \right)}{A_o + A_u} = \frac{5,40 \cdot 10^4 \cdot \frac{300}{2} + 9,90 \cdot 10^4 \cdot \left(300 + 350 + \frac{550}{2} \right)}{5,40 \cdot 10^4 + 9,90 \cdot 10^4} = 651 \text{ mm}$$

$$I_{y,n} = \sum I_{y,i} + \sum A_i \cdot \bar{z}_{s,i}^2 = \frac{b \cdot (h_{ro}^3 + h_{ru}^3)}{12} + A_{ro} \cdot \left(\bar{z}_s - \frac{h_{ro}}{2} \right)^2 + A_{ru} \cdot \left(h - \bar{z}_s - \frac{h_{ru}}{2} \right)^2 =$$

$$= \frac{180 \cdot (300^3 + 550^3)}{12} + 5,40 \cdot 10^4 \cdot \left(651 - \frac{300}{2} \right)^2 + 9,90 \cdot 10^4 \cdot \left(1.200 - 651 - \frac{550}{2} \right)^2 = 2,90 \cdot 10^9 + 2,10 \cdot 10^{10} = 2,39 \cdot 10^{10} \text{ mm}^4$$

$$W_{n,o} = \frac{I_n}{a_o} = \frac{2,39 \cdot 10^{10}}{651} = 3,67 \cdot 10^7 \text{ mm}^3$$

$$W_{n,u} = \frac{I_n}{a_u} = \frac{2,39 \cdot 10^{10}}{1.200 - 651} = 4,35 \cdot 10^7 \text{ mm}^3$$

Parameter Durchbruch

$$h_r = \min \begin{cases} h_{ro} + 0,15 \cdot h_d \\ h_{ru} + 0,15 \cdot h_d \end{cases} = \min \begin{cases} 300 + 0,15 \cdot 350 = 353 \text{ mm} \\ 550 + 0,15 \cdot 350 = 603 \text{ mm} \end{cases} = 353 \text{ mm}$$

$$l_{t,90} = 0,35 \cdot h_d + 0,5 \cdot h = 0,35 \cdot 350 + 0,5 \cdot 1.200 = 723 \text{ mm}$$

$$k_{t,90} = \min \left\{ \left(\frac{450}{h} \right)^{0,5} \right\} = \min \left\{ \left(\frac{450}{1.200} \right)^{0,5} \right\} = 0,612$$

$$k_\tau = 1,85 \cdot \left(1 + \frac{a}{h} \right) \cdot \left(\frac{h_d}{h} \right)^{0,2} = 1,85 \cdot \left(1 + \frac{350}{1.200} \right) \cdot \left(\frac{350}{1.200} \right)^{0,2} = 1,87$$

Nachweisführung an der Stelle l_A

maßgebende Schnittgrößen

$$V_{A,d} = V_d - q_d \cdot l_A = 152 - 21,7 \cdot 1,20 = 126 \text{ kN}$$

$$M_{A,d} = A_d \cdot l_A - q_d \cdot \frac{l_v^2}{2} = 161 \cdot 1,20 - 21,7 \cdot \frac{1,60^2}{2} = 165 \text{ kNm}$$

Bemessungswert der Querkzugkraft

$$F_{t,V,d;A} = \frac{V_{A,d} \cdot 0,7 \cdot h_d}{4 \cdot h} \cdot \left[3 - \left(\frac{0,7 \cdot h_d}{h} \right)^2 \right] = \frac{126 \cdot 0,7 \cdot 350}{4 \cdot 1.200} \cdot \left[3 - \left(\frac{0,7 \cdot 350}{1.200} \right)^2 \right] = 19,0 \text{ kN}$$

$$F_{t,M,d;A} = 0,008 \cdot \frac{M_{A,d}}{h_r} = 0,008 \cdot \frac{165}{353 \cdot 10^{-3}} = 3,74 \text{ kN}$$

$$F_{t,90,d;A} = F_{t,V,d;A} + F_{t,M,d;A} = 19,0 + 3,74 = 22,7 \text{ kN}$$

$$\sigma_{t,90,d;A} = \frac{F_{t,90,d;A}}{0,5 \cdot l_{t,90} \cdot b_{ef} \cdot k_{t,90}} = \frac{22,7 \cdot 10^3}{0,5 \cdot 723 \cdot 180 \cdot 0,612} = 0,570 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{t,90,d;A}}{f_{t,90,g,d}} = \frac{0,570}{0,360} = 1,58 > 1 \rightarrow \text{Querkzugverstärkung erforderlich!}$$

Schubspannungen im kritischen Schnitt

$$\tau_{d;A} = k_{\tau} \cdot \frac{1,5 \cdot V_{A,d}}{b_{ef} \cdot (h - h_d)} = 1,87 \cdot \frac{1,5 \cdot 126 \cdot 10^3}{180 \cdot (1.200 - 350)} = 2,31 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\tau_{d;A}}{f_{v,g,d}} = \frac{2,31}{1,80} = 1,28 > 1 \rightarrow \text{Schubverstärkung erforderlich!}$$

Biegerandspannungen

$$M_{o,d;A} = \frac{A_o}{A_u + A_o} \cdot V_{A,d} \cdot \frac{a}{2} = \frac{5,40 \cdot 10^4}{9,90 \cdot 10^4 + 5,40 \cdot 10^4} \cdot 126 \cdot \frac{350 \cdot 10^{-3}}{2} = 7,78 \text{ kNm}$$

$$M_{u,d;A} = \frac{A_u}{A_u + A_o} \cdot V_{A,d} \cdot \frac{a}{2} = \frac{9,90 \cdot 10^4}{9,90 \cdot 10^4 + 5,40 \cdot 10^4} \cdot 126 \cdot \frac{350 \cdot 10^{-3}}{2} = 14,3 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,o,d;A} = \frac{M_{A,d}}{W_{n,o}} + \frac{M_{o,d;A}}{W_o} = \frac{165 \cdot 10^6}{3,67 \cdot 10^7} + \frac{7,78 \cdot 10^6}{2,70 \cdot 10^6} = 4,50 + 2,88 = 7,38 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,u;A} = \frac{M_{A,d}}{W_{n,u}} + \frac{M_{u,d;A}}{W_u} = \frac{165 \cdot 10^6}{4,35 \cdot 10^7} + \frac{14,3 \cdot 10^6}{9,08 \cdot 10^6} = 3,79 + 1,57 = 5,36 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{m,o,d;A}}{f_{m,g,d}} = \frac{7,38}{17,3} = 0,43 < 1$$

Nachweisführung an der Stelle $l_A + a$

maßgebende Schnittgrößen

$$V_{A+a;d} = V_d - q_d \cdot (l_v + a) = 152 - 21,7 \cdot (1,20 + 0,35) = 118 \text{ kN}$$

$$M_{A+a;d} = A_d \cdot (l_A + a) - q_d \cdot \frac{(l_v + a)^2}{2} = 161 \cdot (1,20 + 0,35) - 21,7 \cdot \frac{(1,60 + 0,35)^2}{2} = 208 \text{ kNm}$$

Bemessungswert der Querkraft

$$F_{t,V,d;A+a} = \frac{V_{A+a;d} \cdot 0,7 \cdot h_d}{4 \cdot h} \cdot \left[3 - \left(\frac{0,7 \cdot h_d}{h} \right)^2 \right] = \frac{118 \cdot 0,7 \cdot 350}{4 \cdot 1.200} \cdot \left[3 - \left(\frac{0,7 \cdot 350}{1.200} \right)^2 \right] = 17,8 \text{ kN}$$

$$F_{t,M,d;A+a} = 0,008 \cdot \frac{M_{A+a;d}}{h_r} = 0,008 \cdot \frac{208}{353 \cdot 10^{-3}} = 4,71 \text{ kN}$$

$$F_{t,90,d;A+a} = F_{t,V,d;A+a} + F_{t,M,d;A+a} = 17,8 + 4,71 = 22,5 \text{ kN}$$

$$\sigma_{t,90,d;A+a} = \frac{F_{t,90,d;A+a}}{0,5 \cdot l_{t,90} \cdot b_{ef} \cdot k_{t,90}} = \frac{22,5 \cdot 10^3}{0,5 \cdot 723 \cdot 180 \cdot 0,612} = 0,565 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{t,90,d;A+a}}{f_{t,90,g,d}} = \frac{0,565}{0,360} = 1,57 > 1 \rightarrow \text{Querkzugverstärkung erforderlich!}$$

Schubspannungen im kritischen Schnitt

$$\tau_{A+a;d} = k_{\tau} \cdot \frac{1,5 \cdot V_{A+a;d}}{b_{ef} \cdot (h - h_d)} = 1,87 \cdot \frac{1,5 \cdot 118 \cdot 10^3}{180 \cdot (1.200 - 350)} = 2,16 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\tau_{d;A+a}}{f_{v,g,d}} = \frac{2,16}{1,80} = 1,20 > 1 \rightarrow \text{Schubverstärkung erforderlich!}$$

Biegerandspannungen

$$M_{o,d;A+a} = \frac{A_o}{A_u + A_o} \cdot V_{A+a;d} \cdot \frac{a}{2} = \frac{5,40 \cdot 10^4}{9,90 \cdot 10^4 + 5,40 \cdot 10^4} \cdot 118 \cdot \frac{350 \cdot 10^{-3}}{2} = 7,29 \text{ kNm}$$

$$M_{u,d;A+a} = \frac{A_u}{A_u + A_o} \cdot V_{A+a;d} \cdot \frac{a}{2} = \frac{9,90 \cdot 10^4}{9,90 \cdot 10^4 + 5,40 \cdot 10^4} \cdot 118 \cdot \frac{350 \cdot 10^{-3}}{2} = 13,4 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,o,d;A+a} = \frac{M_{A+a;d}}{W_{n,o}} + \frac{M_{o,d;A+a}}{W_o} = \frac{208 \cdot 10^6}{3,67 \cdot 10^7} + \frac{7,29 \cdot 10^6}{2,70 \cdot 10^6} = 5,67 + 2,70 = 8,37 \text{ N/mm}^2$$

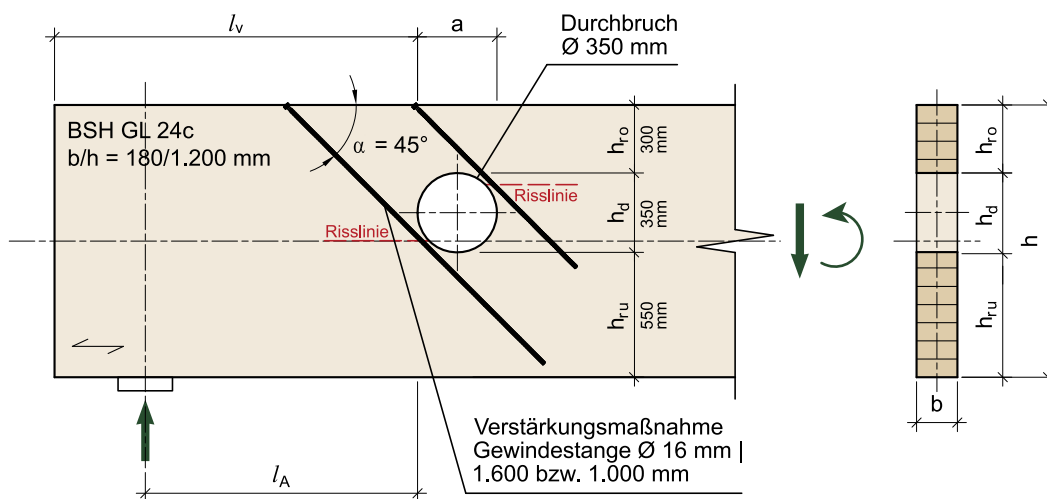
$$\sigma_{m,u,d;A+a} = \frac{M_{A+a;d}}{W_{n,u}} + \frac{M_{u,d;A+a}}{W_u} = \frac{208 \cdot 10^6}{4,35 \cdot 10^7} + \frac{13,4 \cdot 10^6}{9,08 \cdot 10^6} = 4,78 + 1,48 = 6,26 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{m,o,d;A+a}}{f_{m,g,d}} = \frac{8,37}{17,3} = 0,48 < 1$$

Variante A: Verstärkung mit innenliegenden Schraubstangen

maßgebend ist die Stelle l_A



gewählt:

Schraubstange Ø16 mm ($f_{ax,k} = 10,0 \text{ N/mm}^2$, $f_{tens,k} = 63,0 \text{ kN}$ aus bautechnischer Zulassung)

Überprüfung der Randabstände Verbindungsmittel

$$\begin{aligned} d &= 16 \text{ mm} < 20 \text{ mm} \\ a_{1,CG} &\sim 450 \text{ mm} > 10 \cdot d = 10 \cdot 16,0 = 160 \text{ mm} \\ a_{2,CG} &= 90 \text{ mm} > 4 \cdot d = 4 \cdot 16,0 = 64,0 \text{ mm} \end{aligned}$$

Nachweis der Schraubstange

wirksame Eindrehlänge $\min l_{ef} = l_{ef} = 456 \text{ mm}$

Abschätzung der durch die Verstärkung aufzunehmenden Schubkraft

Annahme:

Die Schubspannungsspitze am Rand des Durchbruchs wird innerhalb einer Länge von 50 mm auf den Bemessungswert der Schubspannung abgebaut.

$$F_{\tau,d} = \tau_{d,A} \cdot b \cdot l_{\tau} = 2,31 \cdot 180 \cdot \approx 50,0 = 20.790 \text{ N} = 20,8 \text{ kN}$$

$$F_{\text{ges},d} = \sqrt{F_{\tau,d}^2 + F_{t,90,d}^2} = \sqrt{20,8^2 + 22,7^2} = 30,8 \text{ kN}$$

Bemessungswert der Ausziehfestigkeit in Richtung der Schraubstangenachse

$$R_{ax,d} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{ax,k} \cdot d \cdot l_{ef} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_{M,Verb}} \\ \frac{f_{tens,k}}{\gamma_{M,2}} \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 10,0 \cdot 16,0 \cdot 456 \cdot \frac{0,90}{1,30} \\ \frac{63,0 \cdot 10^3}{1,25} \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 50.511 \text{ N} \\ 50.400 \text{ N} \end{array} \right\} = 50,4 \text{ kN}$$

Nachweis

$$\frac{F_{\text{ges},d}}{R_{ax,d}} = \frac{30,8}{50,4} = 0,61 < 1$$

Variante B: Verstärkung mit beidseitig aufgeklebten Holzwerkstoffplatten (BFU-Bu)

verwendete Holzwerkstoffplatte für die außenliegende Verstärkungsmaßnahme:

Baufurnierplatte aus Buche, $t_r = 25 \text{ mm}$

Baustoffkenngrößen

charakteristischer Wert der Zugtragfähigkeit:

$$f_{t,k} = 9,00 \text{ N/mm}^2$$

charakteristischer Wert der Rollschubtragfähigkeit

(zwischen der Biegeträgeroberfläche und der Verst.-platte:

$$f_{r,g,k} = 1,20 \text{ N/mm}^2$$

Mittelwert des E-Moduls in Richtung der Decklage:

$$E_{\text{mean},1} = 6.000 \text{ N/mm}^2$$

Mittelwert des E-Moduls in Richtung rechtwinklig zur Decklage:

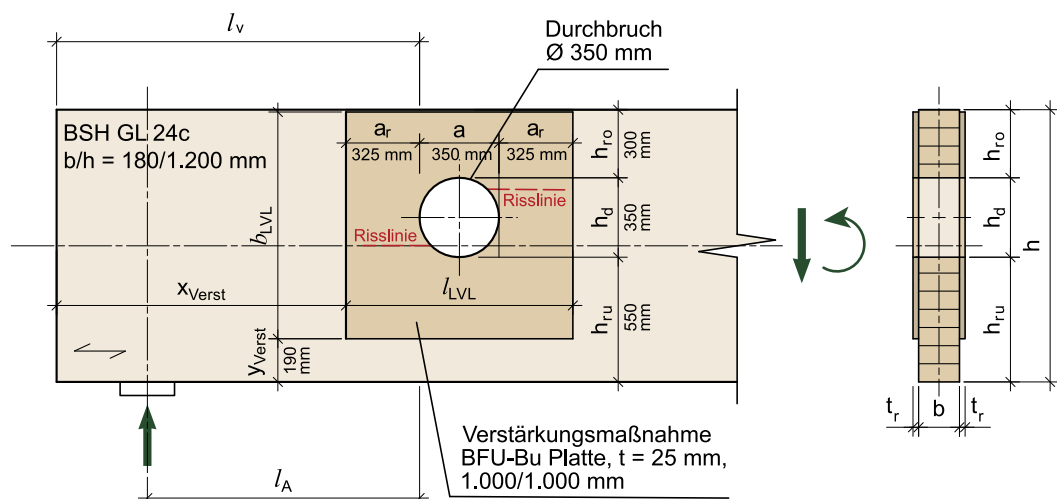
$$E_{\text{mean},2} = 4.000 \text{ N/mm}^2$$

Modifikationsbeiwert:

$$k_{mod} = 0,90$$

Teilsicherheitsbeiwert:

$$\gamma_M = 1,20$$



Überprüfung der geometrischen Randbedingungen

$$\begin{aligned} a_r = 325 \text{ mm} &\geq 0,25 \cdot a = 0,25 \cdot 350 = 87,5 \text{ mm} \\ &\leq 0,30 \cdot (h_d + h) = 0,30 \cdot (350 + 1.200) = 465 \text{ mm} \\ b = 180 \text{ mm} &\leq 240 \text{ mm} \\ h_1 = 290 \text{ mm} &\geq 0,25 \cdot a = 0,25 \cdot 350 = 87,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Nachweis der Klebefuge

$$h_{ad} = h_1 + 0,15 \cdot h_d = 290 + 0,15 \cdot 350 = 343 \text{ mm}$$

$$f_{k,2,k} = 0,75 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{k,d} = \min \left\{ \begin{matrix} f_{k,2,k} \\ f_{r,g,k} \end{matrix} \right\} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_{M,Verb}} = \min \left\{ \begin{matrix} 0,750 \\ 1,20 \end{matrix} \right\} \cdot \frac{0,90}{1,30} = 0,519 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{ef,d} = \frac{F_{t,90,d}}{2 \cdot a_r \cdot h_{ad}} = \frac{22,7 \cdot 10^3}{2 \cdot 325 \cdot 343} = 0,102 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\tau_{ef,d}}{f_{t,d}} = \frac{0,102}{0,519} = 0,20 < 1$$

Nachweis der Zugspannung in der aufgeklebten Verstärkung

$$f_{t,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{t,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{9,00}{1,20} = 6,75 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{t,d} = \frac{F_{t,90,d;A}}{2 \cdot a_r \cdot t_r} = \frac{22,7 \cdot 10^3}{2 \cdot 325 \cdot 25,0} = 1,40 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$k_k \cdot \frac{\sigma_{t,d}}{f_{t,d}} = 2,0 \cdot \frac{1,40}{6,75} = 0,41 < 1$$

mit

k_k ... Beiwert zur Berücksichtigung der ungleichmässigen Spannungsverteilung in den Verstärkungsplatten;
lt. ÖNORM B 1995-1-1:2019, Abschnitt F.3.2 [2]; ohne genaueren Nachweis $k_k = 2,0$.

Dimensionierung der Schraubpressverklebung

gemäß ÖNORM B 1995-1-1:2019, Abschnitt L.11.5 Schraubpressverklebung

Steifigkeit BFU-Platte, $t_r = 25 \text{ mm}$

→ mit Tabelle NA.L.9 und plattenförmige Schraubpressverklebung

empfohlener nomineller Schraubendurchmesser $d \geq 6 \text{ mm}$, minimaler nomineller Kopfdurchmesser $d_h \geq 10,8 \text{ mm}$, maximaler Schraubenabstand $a_{1,max}/a_{2,max} = 140/140 \text{ mm}$, Gewindelänge im Basisteil $l_g \geq 8 \cdot d$, rechnerischer Mindestpressdruck $p_{cal,min} = 0,10 \text{ N/mm}^2$

→ mit rechnerischer Dimensionierung

$$I_{x,b=1} = I_{y,b=1} = \frac{1,00 \cdot 25,0^3}{12} = 1.302 \text{ mm}^4 / \text{mm}$$

$$a_{1,max} = 3,35 \cdot \sqrt[4]{E_{mean,1} \cdot I_{1,b=1}} = 3,35 \cdot \sqrt[4]{6.000 \cdot 1.302} = 177 \text{ mm}$$

$$a_{2,max} = 3,35 \cdot \sqrt[4]{E_{mean,2} \cdot I_{2,b=1}} = 3,35 \cdot \sqrt[4]{4.000 \cdot 1.302} = 160 \text{ mm}$$

gewählte Schraube:

Teilgewindeschraube $d = 6,00 \text{ mm}$ | $l = 100 \text{ mm}$ | $l_g = 60,0 \text{ mm}$ | $d_h = 12,0 \text{ mm}$ | $f_{ax,k} = 11,5 \text{ N/mm}^2$ |
 $f_{tens,k} = 10,0 \text{ kN}$ (Kenngrößen aus einer bauaufsichtlichen Zulassung)

Kopfparameter für eine Schraube bei einer Schraubpressverklebung mit BFU-Bu

$$f_{h,SPV,BFU-Bu} = 25,0 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswert einer Schraube für die Schraubpressverklebung

$$R_{ax,d} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{k_{mod}}{\gamma_{M,Verb}} \cdot f_{ax,k} \cdot d \cdot l_{ef} \\ \frac{k_{mod}}{\gamma_{M,Verb}} \cdot f_{h,SPV,k,BFU-Bu} \cdot d_h^2 \\ \frac{F_{tens,k}}{\gamma_{M,2}} \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{1,00}{1,30} \cdot 11,5 \cdot 6,00 \cdot 60,0 \\ \frac{1,00}{1,30} \cdot 25,0 \cdot 12,0^2 \\ \frac{10,0 \cdot 10^3}{1,25} \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 3.185 \text{ N} \\ 2.769 \text{ N} = 2,77 \text{ kN} \\ 8.000 \text{ N} \end{array} \right.$$

(theoretischer) gleichmässig verteilter Pressdruck

$$p_{cal} = \frac{F_{ax,d}}{a_1 \cdot a_2} = \frac{2.769}{177 \cdot 160} = 0,0978 \text{ N/mm}^2 < p_{cal,min} = 0,10 \text{ N/mm}^2$$

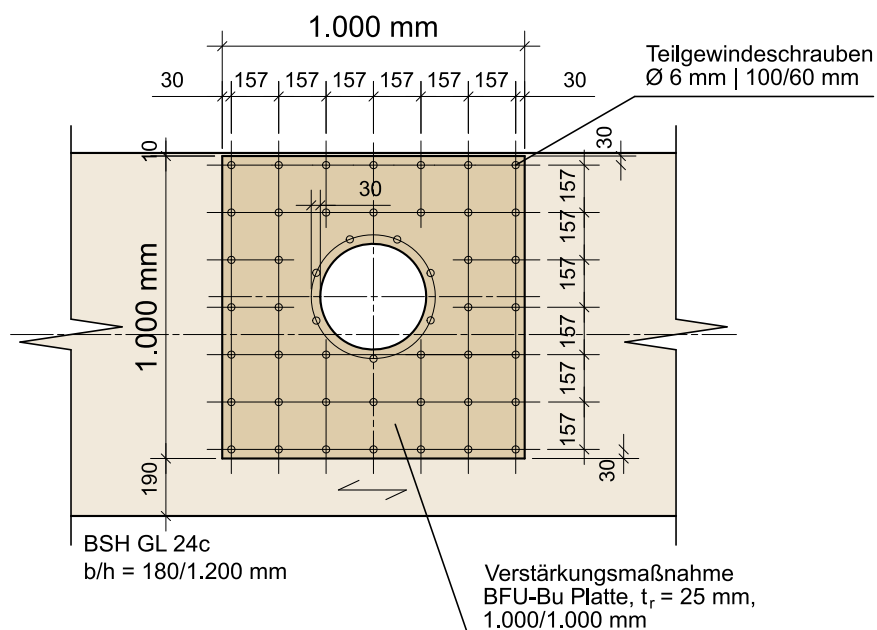
gewählt: Schraubenraster $a_1/a_2 = 157/157 \text{ mm}$

$$p_{cal} = \frac{F_{ax,d}}{a_1 \cdot a_2} = \frac{2.769}{157 \cdot 157} = 0,112 \text{ N/mm}^2 > p_{cal,min} = 0,10 \text{ N/mm}^2$$

Anmerkung:

Für die Verklebung ist ein geeigneter, für die Schraubpressverklebung zugelassener Klebstoff zu verwenden. Die Vorgaben des Klebstoffherstellers sind einzuhalten. Insbesondere betrifft dies die Klebstoffauftragsmenge, -zeiten und die Verarbeitungshinweise.

Skizze zur Schraubpressverklebung





KAPITEL VII

**TRÄGER MIT ANGESCHNITTENEN UND
GEKRÜMMTEN RÄNDERN**

VII.1 Pultdachträger
VII.2 Satteldachträger mit geradem Untergurt
VII.3 gekrümmter Träger mit lose aufgesatteltem Firstkeil

VII.4 - VII.6
VII.7 - VII.13
VII.14 - VII.22

Anmerkungen zu Trägern mit angeschnittenen und gekrümmten Rändern

Anmerkung zur Wahl der BSH-Festigkeitsklasse bei Trägern mit angeschnittenen und gekrümmten Rändern

Mit Trägern mit angeschnittenen und gekrümmten Rändern können Spannweiten von 50 m und mehr realisiert werden. Auf Grund des großvolumigen Materialeinsatzes ist es zielführend besonders ressourcenschonend und damit wirtschaftlich zu entwerfen und umzusetzen. Im Allgemeinen ist es bei diesen Trägertypen unwirtschaftlich BSH-Querschnitte mit homogenem Querschnittsaufbau zu verwenden. Das erste Beispiel dieser Beispielsammlung (Pulldachträger) soll in die Thematik einführen und wird aus Übersichts- und Darstellungsgründen dennoch mit einem homogenen Querschnittsaufbau berechnet.

Bei der Ausführung dieser Trägertypen in der Praxis sollte jedenfalls ein kombiniert aufgebauter BSH-Querschnitt ins Auge gefasst werden.

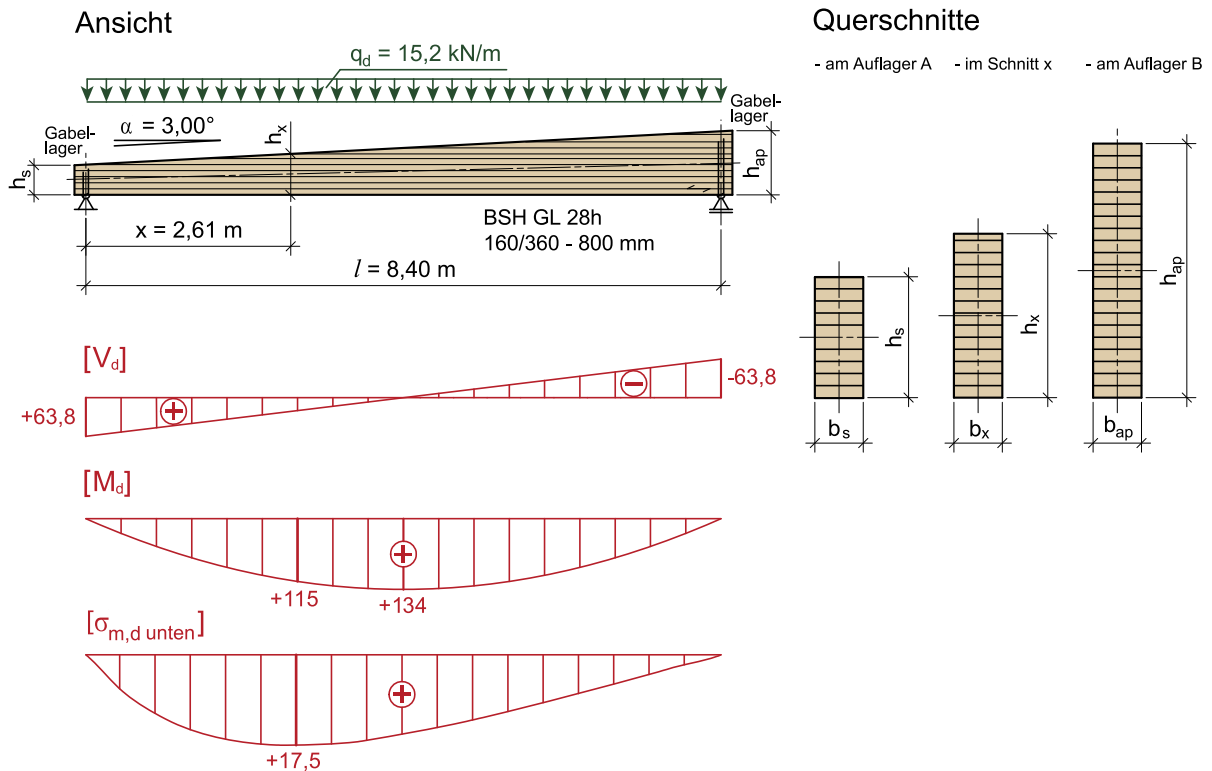
Anmerkung zum Querschnittsaufbau bei Trägern mit angeschnittenen und gekrümmten Rändern

Bei einem kombiniert aufgebauten BSH-Träger ist gemäß ÖNORM EN 14080, Abschnitt 5.1.4.3 und Tab. 2 zu gewährleisten, dass die Randbereiche (z. B. für GL 24c in den äußeren Dritteln) der Querschnittsaufbauten aus Lamellen mit der höheren Festigkeitsklasse (z. B. für GL 24c in den Außenlagen Lamellen der Festigkeitsklasse T14 sowie in den Innenlagen mit Lamellen T9) bestehen. Für BSH-Träger mit angeschnittenen Rändern kann diese Regelung so interpretiert werden, dass dieser Aufbau im Bereich der Stelle mit der maximalen Biegebeanspruchung zu gewährleisten ist. Die in Rechnung gestellten Querschnittsaufbauten sind in einem Lamellenplan festzulegen und bei der Herstellung durch den produzierenden Betrieb entsprechend zu berücksichtigen. In einem solchen Fall darf mit den angegebenen Baustoffeigenschaften für kombiniertes BSH (siehe ÖNORM EN 14080, Tab. 4) gerechnet werden. Andernfalls sind detaillierte Nachweise unter Berücksichtigung des Querschnittsaufbaus auf Basis der elastischen Verbundtheorie zu führen (siehe ÖNORM EN 14080, Abschnitt 5.1.5.3).

Anmerkung zur Durchbiegungsberechnung bei Trägern mit angeschnittenen und gekrümmten Rändern

Für die Durchbiegungsberechnung von Trägern mit angeschnittenen und/oder gekrümmten Rändern können Näherungslösungen für die unterschiedlichen Trägerformen aus der Fachliteratur bzw. Tabellenwerken entnommen werden. Bei erhöhten Anforderungen an die Genauigkeit der Durchbiegungsermittlung und/oder anderen geometrischen Formen als in der Literatur angegeben, bietet sich eine Berechnung als orthotrope Scheibe mittels numerischen Methoden (FEM) an.

VII.1 PULTDACHTRÄGER



gegeben:

Einwirkung: $q_d = 15,2 \text{ kN/m}$
 Spannweite: $l = 8,40 \text{ m}$
 Abmessungen: $b / h_s - h_{ap} = 160 / 360 - 800 \text{ mm}$, Dachneigung $\alpha = 3,00^\circ$;
 Abstand der Kipphalterungen (Gabel-lager) $a = 8,40 \text{ m}$
 Material: BSH GL 28h
 Nutzungsklasse: NKL 1
 KLED: „kurz“
 Sonstiges: keine Anforderung an die Gebrauchstauglichkeit (Durchbiegung)

Bemessungswerte der Baustoffeigenschaften

charakteristischer Wert der Biegefestigkeit:	$f_{m,g,k} = 28,0 \text{ N/mm}^2$	Tab. III.16
charakteristischer Wert der Querdrukfestigkeit:	$f_{c,90,g,k} = 2,50 \text{ N/mm}^2$	Tab. III.16
charakteristischer Wert der Schubfestigkeit:	$f_{v,g,k} = 2,50 \text{ N/mm}^2$	Tab. III.16
E-Modul (5%-Quantilwert):	$E_{0,g,05} = 10.500 \text{ N/mm}^2$	Tab. III.16
Modifikationsbeiwert:	$k_{mod} = 0,90$	Tab. III.5
Teilsicherheitsbeiwert:	$\gamma_M = 1,25$	Tab. III.3

Bemessungswerte

$$f_{m,g,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,g,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{28,0}{1,25} = 20,2 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,90,g,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,90,g,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{2,50}{1,25} = 1,80 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,g,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,g,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{2,50}{1,25} = 1,80 \text{ N/mm}^2$$

maximale Querkraft

$$V_d = A_d = B_d = \frac{q_d \cdot l}{2} = \frac{15,2 \cdot 8,40}{2} = 63,8 \text{ kN}$$

Stelle der maximalen Biegebeanspruchung

$$x = \frac{h_s}{h_s + h_{ap}} \cdot l = \frac{360}{360 + 800} \cdot 8,40 = 2,61 \text{ m}$$

$$h_x = h_s + (h_{ap} - h_s) \cdot \frac{x}{l} = 360 + (800 - 360) \cdot \frac{2,61}{8,40} = 497 \text{ mm}$$

$$M_d = V_d \cdot x - q_d \cdot \frac{x^2}{2} = \frac{q_d}{2} \cdot (l \cdot x - x^2) = \frac{15,2}{2} \cdot (8,40 \cdot 2,61 - 2,61^2) = 115 \text{ kNm}$$

Nachweisführung

Biegespannung in der Zugzone

$$W_x = \frac{b \cdot h_x^2}{6} = \frac{160 \cdot 497^2}{6} = 6,59 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{m,0,d} = \frac{M_d}{W_x} = \frac{115 \cdot 10^6}{6,59 \cdot 10^6} = 17,5 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis Biegerandspannung in der Zugzone (Rand nicht angeschnitten)

$$\frac{\sigma_{m,0,d}}{f_{m,g,d}} = \frac{17,5}{20,2} = 0,87 < 1$$

Nachweis der Biegespannung in der Druckzone (Rand angeschnitten)

$$\sigma_{m,\alpha,d} = \sigma_{m,0,d} = 17,5 \text{ N/mm}^2$$

Anmerkung:

Faseranschnittwinkel $\alpha \leq 5^\circ$ dürfen gemäß ÖNORM B 1995-1-1, Abschnitt 6.4.2 [2] bei der Ermittlung der Biegerandspannung unberücksichtigt bleiben.

Beiwert zur Berücksichtigung des angeschnittenen Randes auf der Druckseite

$$k_{m,\alpha} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{m,g,d}}{1,5 \cdot f_{v,g,d}} \cdot \tan \alpha \right)^2 + \left(\frac{f_{m,g,d}}{f_{c,90,g,d}} \cdot \tan^2 \alpha \right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{20,2}{1,5 \cdot 1,80} \cdot \tan 3,00 \right)^2 + \left(\frac{20,2}{1,80} \cdot \tan^2 3,00 \right)^2}} = 0,931$$

Nachweis Biegerandspannung in der Druckzone

$$\frac{\sigma_{m,\alpha,d}}{k_{m,\alpha} \cdot f_{m,g,d}} = \frac{17,5}{0,931 \cdot 20,2} = 0,93 < 1$$

Schubspannungsnachweis über dem Auflager

$$A_s = b \cdot h_s = 160 \cdot 360 = 5,76 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

$$\tau_d = 1,5 \cdot \frac{V_d}{A_s} = 1,5 \cdot \frac{63,8 \cdot 10^3}{5,76 \cdot 10^4} = 1,66 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\tau_d}{f_{v,g,d}} = \frac{1,66}{1,80} = 0,92 < 1,0$$

Nachweis der Auflagerpressung (Querdrucknachweis)

Annahmen: Vorholzlänge $l_{VH} = a = 200 \text{ mm}$; Kontaktlänge: $l = 100 \text{ mm}$
wirksame Auflagerfläche

$$A_{ef} = b \cdot l_{ef} = b \cdot (l + 2 \cdot 30 \text{ mm}) = 160 \cdot (100 + 2 \cdot 30) = 2,56 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

Querdruckspannung

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{A_d}{A_{ef}} = \frac{63,8 \cdot 10^3}{2,56 \cdot 10^4} = 2,49 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$k_{c,90}$ -Beiwert für BSH aus Nadelholz bei einer Einzelabstützung mit $l \leq 400 \text{ mm}$; siehe [1], Bild 6.2):
 $\rightarrow k_{c,90} = 1,75$

$$\frac{\sigma_{c,90,d}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,g,d}} = \frac{2,49}{1,75 \cdot 1,80} = 0,79 < 1$$

Anmerkung:

Durch geeignete konstruktive Maßnahmen (z. B. der Anordnung eines Elastomerlagers) sollte eine ausreichende Auflagerverdrehbarkeit sichergestellt werden.

Kippnachweis

Berechnung k_{crit}

Anmerkung:

Die Stelle an der die höchste Kippgefahr vorliegt, tritt in einer Entfernung von $\approx 0,65 a$ vom Auflager mit der geringeren Höhe des Pultdachträgers auf.

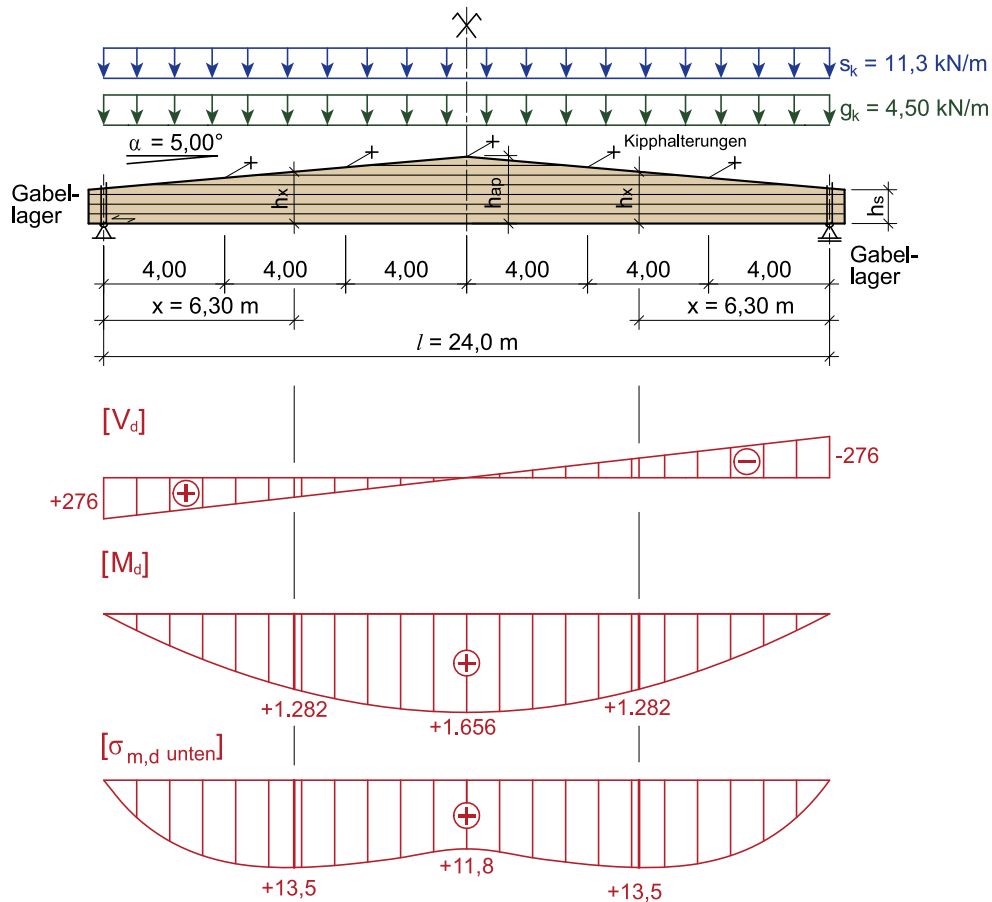
$$x_{Kipp} = 0,65 \cdot a = 0,65 \cdot 8,40 = 5,46 \text{ m}$$

$$h_{Kipp} = h_s + (h_{ap} - h_s) \cdot \frac{x_{Kipp}}{l} = 360 + (800 - 360) \cdot \frac{5,46}{8,40} = 646 \text{ mm}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{l_{ef} \cdot h_{Kipp}} \cdot E_{0,95} = \frac{0,78 \cdot 160^2}{0,9 \cdot 8.400 \cdot 646} \cdot 10.500 = 42,9 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,g,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{28,0}{42,9}} = 0,808 > \lambda_{rel,grenz} = 0,75 \rightarrow k_{crit} = 1,00, \text{ d. h. es besteht keine Kippgefahr!}$$

VII.2 SATTELDACHTRÄGER MIT GERADEM UNTERGURT



gegeben:

Einwirkung:	charakt. Wert der ständigen Einwirkung (inkl. Binder)	$g_k = 4,50 \text{ kN/m}$
	charakt. Wert der veränderlichen Einwirkung (Schnee $\leq 1.000 \text{ m ü. NN}$; $\psi_2 = 0$)	$s_k = 11,3 \text{ kN/m}$
Spannweiten:	$l = 24,0 \text{ m}$	
Dachneigung:	$\alpha = 5^\circ$	
Abmessungen:	$b/h_s - h_{ap} = 200/1.160 - 2.210 \text{ mm}$, Abstand der Kipphalterungen $a = 4,00 \text{ m}$	
Material:	BSH GL 24c	
Nutzungs-kategorie:	NKL 2	
KLED:	„kurz“	

Bemessungswert der Einwirkung

$$q_d = \gamma_G \cdot g_k + \gamma_Q \cdot s_k = 1,35 \cdot 4,50 + 1,50 \cdot 11,3 = 23,0 \text{ kN/m}$$

Schnittgrößen

Auflagerkraft (= maximale Querkraft)

$$A_d = \max V_d = \frac{q_d \cdot l}{2} = \frac{23,0 \cdot 24,0}{2} = 276 \text{ kN}$$

Moment an der Stelle der maximalen Biegespannung

$$x = \frac{l \cdot h_s}{2 \cdot h_{ap}} = \frac{24,0 \cdot 1,16}{2 \cdot 2,21} = 6,30 \text{ m}$$

$$M_{x,d} = A_d \cdot x - \frac{q_d \cdot x^2}{2} = 276 \cdot 6,30 - \frac{23,0 \cdot 6,30^2}{2} = 1.282 \text{ kNm}$$

Moment im Firstbereich

$$M_{ap,d} = \frac{q_d \cdot l^2}{8} = \frac{23,0 \cdot 24,0^2}{8} = 1.656 \text{ kNm}$$

Baustoffkenngrößen

charakteristischer Wert der Biegefestigkeit:	$f_{m,g,k} = 24,0 \text{ N/mm}^2$	Tab. III.19
charakteristischer Wert der Querkzugfestigkeit:	$f_{t,90,g,k} = 0,50 \text{ N/mm}^2$	Tab. III.19
charakteristischer Wert der Querkdruckfestigkeit:	$f_{c,90,g,k} = 2,50 \text{ N/mm}^2$	Tab. III.19
charakteristischer Wert der Schubfestigkeit:	$f_{v,g,k} = 2,50 \text{ N/mm}^2$	Tab. III.19
E-Modul (Mittelwert):	$E_{0,g,mean} = 11.000 \text{ N/mm}^2$	Tab. III.19
E-Modul (5%-Quantilwert):	$E_{0,g,05} = 9.100 \text{ N/mm}^2$	Tab. III.19
Schubmodul (Mittelwert):	$G_{0,g,mean} = 650 \text{ N/mm}^2$	Tab. III.19
Modifikationsbeiwert:	$k_{mod} = 0,90$	Tab. III.5
Teilsicherheitsbeiwert:	$\gamma_M = 1,25$	Tab. III.3

Bemessungswerte

$$f_{m,g,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,g,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{24,0}{1,25} = 17,3 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{t,90,g,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{t,90,g,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{0,500}{1,25} = 0,360 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,90,g,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,90,g,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{2,50}{1,25} = 1,80 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,g,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,g,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{2,50}{1,25} = 1,80 \text{ N/mm}^2$$

Querschnittswerte

Querschnittsfläche im Auflagerbereich

$$A_s = b \cdot h_s = 200 \cdot 1.160 = 2,32 \cdot 10^5 \text{ mm}^2$$

Querschnittshöhe an der Stelle x

$$h_x = h_s \cdot \left(2 - \frac{h_s}{h_{ap}} \right) = 1.160 \cdot \left(2 - \frac{1.160}{2.210} \right) = 1.711 \text{ mm}$$

Widerstandsmoment an der Stelle x

$$W_x = \frac{b \cdot h_x^2}{6} = \frac{200 \cdot 1.711^2}{6} = 9,76 \cdot 10^7 \text{ mm}^3$$

Widerstandsmoment im Firstbereich

$$W_{ap} = \frac{b \cdot h_{ap}^2}{6} = \frac{200 \cdot 2.210^2}{6} = 1,63 \cdot 10^8 \text{ mm}^3$$

NACHWEISE IM GRENZZUSTAND DER TRAGFÄHIGKEIT

Nachweis der Schubspannung über dem Auflager

Schubspannung

$$\tau_d = 1,5 \cdot \frac{V_d}{A_s} = 1,5 \cdot \frac{276 \cdot 10^3}{2,32 \cdot 10^5} = 1,78 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\tau_d}{f_{v,g,d}} = \frac{1,78}{1,80} = 0,99 < 1$$

Nachweis der Auflagerpressung (Querdrucknachweis)

Annahmen: Vorholzlänge $a = 500 \text{ mm}$; Kontaktlänge: $l = 380 \text{ mm}$

wirksame Auflagerfläche

$$A_{ef} = b \cdot (l + 2 \cdot 30 \text{ mm}) = 200 \cdot (380 + 2 \cdot 30,0) = 8,80 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

Querdruckspannung

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{A_d}{A_{ef}} = \frac{276 \cdot 10^3}{8,80 \cdot 10^4} = 3,14 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$k_{c,90}$ -Beiwert für BSH aus Nadelholz bei einer Einzelabstützung mit $l \leq 400 \text{ mm}$; siehe [1], Bild 6.2):

$\rightarrow k_{c,90} = 1,75$

$$\frac{\sigma_{c,90,d}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,g,d}} = \frac{3,14}{1,75 \cdot 1,80} = 1,00 = 1$$

Anmerkung:

Durch geeignete konstruktive Maßnahmen (z. B. der Anordnung eines Elastomerlagers) ist eine ausreichende Auflagerverdrehbarkeit sicherzustellen.

Nachweis der Biegespannungen an der Stelle x

• in der Zugzone (Rand nicht angeschnitten)

$$\sigma_{m,0,d;x} = \frac{M_{x,d}}{W_x} \cdot (1 + 4 \cdot \tan^2 \alpha) = \frac{1,282 \cdot 10^6}{9,76 \cdot 10^7} \cdot (1 + 4 \cdot \tan^2(5,00)) = 13,1 \cdot 1,03 = 13,5 \text{ N/mm}^2$$

mit Tabellenwerk: $\rightarrow$ für $\alpha = 5,00^\circ$: $1 + 4 \cdot \tan^2 \alpha = 1,031$

Tab. IV.54

Nachweis

$$\frac{\sigma_{m,0,d;x}}{f_{m,g,d}} = \frac{13,5}{17,3} = 0,78 < 1$$

• in der Druckzone (Rand angeschnitten)

$$\sigma_{m,\alpha,d;x} = \frac{M_{x,d}}{W_x} \cdot (1 - 4 \cdot \tan^2 \alpha) = \frac{1,282 \cdot 10^6}{9,76 \cdot 10^7} \cdot (1 - 4 \cdot \tan^2(5,00)) = 13,1 \cdot 0,969 = 12,7 \text{ N/mm}^2$$

Beiwert $k_{m,\alpha,c}$

$$k_{m,\alpha,c} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{m,g,d}}{1,5 \cdot f_{v,g,d}} \cdot \tan \alpha \right)^2 + \left(\frac{f_{m,g,d}}{f_{c,90,g,d}} \cdot \tan^2 \alpha \right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{17,3}{1,5 \cdot 1,80} \cdot \tan(5,00) \right)^2 + \left(\frac{17,3}{1,80} \cdot \tan^2(5,00) \right)^2}} = 0,871$$

mit Tabellenwerk: $\rightarrow$ für $\alpha = 5,00^\circ$: $1 - 4 \cdot \tan^2 \alpha = 0,969$ und $k_{m,\alpha,c} = 0,871$

Tab. IV.54

Nachweis

$$\frac{\sigma_{m,\alpha,d;x}}{k_{m,\alpha} \cdot f_{m,g,d}} = \frac{12,7}{0,871 \cdot 17,3} = 0,84 < 1$$

Nachweis der Biegespannung im Firstbereich

Beiwert k_l

$$k_l = k_1 + k_2 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r} \right) + k_3 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^2 + k_4 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^3$$

keine Krümmung des Trägers: $r = \infty \rightarrow \left(\frac{h_{ap}}{r} \right) = 0$

$$k_l = k_1 = 1 + 1,4 \cdot \tan \alpha_{ap} + 5,4 \cdot \tan^2 \alpha_{ap} = 1 + 1,4 \cdot \tan(5,00) + 5,4 \cdot \tan^2(5,00) = 1,16$$

mit Tabellenwerk: $\rightarrow$ für $\alpha = 5,00^\circ$: $k_l = 1,166$ (interpoliert)

Tab.IV.55

Beiwert k_r

für einen Satteldachträger mit geradem Untergurt gilt: $k_r = 1,00$

Biegespannung im Firstbereich

$$\sigma_{m,d;ap} = k_l \cdot \frac{M_{ap,d}}{W_{ap}} = 1,16 \cdot \frac{1,656 \cdot 10^6}{1,63 \cdot 10^8} = 11,8 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{m,d;ap}}{k_r \cdot f_{m,g,d}} = \frac{11,8}{1,00 \cdot 17,3} = 0,68 < 1$$

Nachweis der Querkzugspannung im First

Beiwert k_p

$$k_p = k_5 + k_6 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r} \right) + k_7 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^2$$

keine Krümmung des Trägers: $r = \infty \rightarrow \left(\frac{h_{ap}}{r} \right) = 0$

$$k_p = k_5 = 0,2 \cdot \tan \alpha_{ap} = 0,2 \cdot \tan(5,00) = 0,0175$$

mit Tabellenwerk: $\rightarrow$ für $\alpha = 5,00^\circ$: $k_p = 0,0175$ (interpoliert)

Tab. IV.56

Zugspannung rechtwinklig zur Faserrichtung

$$\sigma_{t,90,d;ap} = k_p \cdot \frac{M_{ap,d}}{W_{ap}} = 0,0175 \cdot \frac{1,656 \cdot 10^6}{1,63 \cdot 10^8} = 0,178 \text{ N/mm}^2$$

Beiwert k_{dis}

für Satteldachträger mit geradem Untergurt gilt: $k_{dis} = 1,4$

querzugbeanspruchtes Volumen V:

$$V = b \cdot h_{ap}^2 \cdot \left(1 - \frac{\tan(\alpha_{ap})}{4} \right) = 0,200 \cdot 2,21^2 \cdot \left(1 - \frac{\tan(5,00)}{4} \right) = 0,956 \text{ m}^3$$

Beiwert k_{vol}

$$k_{vol} = \left(\frac{V_o}{V} \right)^{0,2} = \left(\frac{0,01}{0,956} \right)^{0,2} = 0,402$$

Gesamtvolumen des Satteldachbinders

$$V_{ges} = l \cdot b \cdot \left(h_s + \frac{h_{ap} - h_s}{2} \right) = 24,0 \cdot 0,200 \cdot \left(1,16 + \frac{2,21 - 1,16}{2} \right) = 8,09 \text{ m}^3$$

$$V \leq \frac{2}{3} \cdot V_{ges} : 0,956 \text{ m}^3 < \frac{2}{3} \cdot 8,09 = 5,39 \text{ m}^3 \rightarrow \text{Bedingung eingehalten!}$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{t,90,d;ap}}{k_{dis} \cdot k_{Vol} \cdot f_{t,90,d}} = \frac{0,178}{1,4 \cdot 0,402 \cdot 0,360} = 0,88 < 1$$

Stabilitätsnachweis – Biegedrillknicken („Kippen“)

Anmerkung:

Die näherungsweise Abschätzung des Stabilitätsverhaltens („Kippen“) erfolgt durch feldweise Betrachtung der Stabbereiche zwischen den Kipphalterungen.

- für das Feld 2 (Feld mit der größten Biegespannung)

Querschnittsabmessungen

$$x_{F2} = a + 0,65 \cdot a = 4,00 + 0,65 \cdot 4,00 = 6,60 \text{ m}$$

$$h_{F2} = 1.160 + 6.600 \cdot \left(\frac{2.210 - 1.160}{12.000} \right) = 1.738 \text{ mm}$$

wirksame Länge

$$\frac{l_{ef}}{l_a} = 0,9 \text{ mit } l_a = 4,00 \text{ m} \rightarrow l_{ef} = 0,9 \cdot 4,00 = 3,60 \text{ m} \quad (\text{konservative Näherung})$$

kritische Kippspannung

$$\sigma_{m,crit;F2} = \frac{0,78 \cdot b^2}{l_{ef} \cdot h} \cdot E_{0,9,05} = \frac{0,78 \cdot 200^2}{3.600 \cdot 1.738} \cdot 9.100 = 45,4 \text{ N/mm}^2$$

bezogener Kippschlankheitsgrad

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,g,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24,0}{45,4}} = 0,727 < \lambda_{rel,grenz} = 0,75 \rightarrow k_{crit} = 1,00 \rightarrow \text{keine Kippgefahr!}$$

mit Tabellenwerk

$$\frac{l_{ef} \cdot h}{b^2} = \frac{3.600 \cdot 1.738}{200^2} = 156 < \left(\frac{l_{ef} \cdot h}{b^2} \right)_{grenz} = 193 \rightarrow k_{crit} = 1,00 \rightarrow \text{keine Kippgefahr!}$$

Tab. IV.52

- für das Feld 3 (Feld mit der größten Querschnittshöhe)

Querschnittsabmessungen

$$x_{F3} = 2 \cdot a + 0,65 \cdot a = 2 \cdot 4,00 + 0,65 \cdot 4,00 = 10,6 \text{ m}$$

$$h_{F3} = 1.160 + 10.600 \cdot \left(\frac{2.210 - 1.160}{12.000} \right) = 2.088 \text{ mm}$$

$$\frac{l_{ef}}{l_a} = 0,9 \text{ mit } l_a = 4,00 \text{ m} \rightarrow l_{ef} = 0,9 \cdot 4,00 = 3,60 \text{ m} \quad (\text{konservative Näherung})$$

kritische Kippspannung

$$\sigma_{m,crit;F3} = \frac{0,78 \cdot b^2}{l_{ef} \cdot h} \cdot E_{0,9,05} = \frac{0,78 \cdot 200^2}{3.600 \cdot 2.088} \cdot 9.100 = 37,8 \text{ N/mm}^2$$

bezogener Kippschlankheitsgrad

$$\lambda_{\text{rel},m} = \sqrt{\frac{f_{m,g,k}}{\sigma_{m,\text{crit}}}} = \sqrt{\frac{24,0}{37,8}} = 0,797$$

Kippbeiwert

$$0,75 \leq \lambda_{\text{rel},m} \leq 1,4 : k_{\text{crit}} = 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{\text{rel},m} = 1,56 - 0,75 \cdot 0,797 = 0,962$$

mit Tabellenwerk

$$\frac{l_{\text{ef}} \cdot h}{b^2} = \frac{3.600 \cdot 2.088}{200^2} = 188 < \left(\frac{l_{\text{ef}} \cdot h}{b^2} \right)_{\text{grenz}} = 193 \rightarrow k_{\text{crit}} = 1,00$$

Tab. IV.52

Berechnung der Biegespannung an der Stelle $x_{F3} = 10,6 \text{ m}$

$$M_{F3,d} = A_d \cdot x_{F3} - \frac{q_d \cdot x_{F3}^2}{2} = 276 \cdot 10,6 - \frac{23,0 \cdot 10,6^2}{2} = 1.633 \text{ kNm}$$

$$W_{F3} = \frac{b \cdot h_{F3}^2}{6} = \frac{200 \cdot 2.088^2}{6} = 1,45 \cdot 10^8 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{m,d;F3} = \frac{M_{F3,d}}{W_{F3}} = \frac{1.633 \cdot 10^6}{1,45 \cdot 10^8} = 11,3 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{m,d;F3}}{k_{\text{crit}} \cdot f_{m,g,d}} = \frac{11,3}{0,962 \cdot 17,3} = 0,68 < 1$$

NACHWEISE IM GRENZZUSTAND DER GEBRAUCHSTAUGLICHKEIT

Durchbiegung

Anmerkung:

Die nachfolgend durchgeführte Berechnung beruht auf den im Lehrbuch von Dröge/Stoy [14] für einen symmetrischen Satteldachträger mit gerade Unterkante angegebenen Gleichungen. Die Berechnung ist als Abschätzung zu betrachten.

Querschnittswerte

Trägheitsmoment

$$I_s = \frac{b \cdot h_s^3}{12} = \frac{200 \cdot 1.160^3}{12} = 2,60 \cdot 10^{10} \text{ mm}^4$$

Schubfläche

$$A_{V,s} = \frac{b \cdot h_s}{\kappa} = \frac{200 \cdot 1.160}{1,20} = 1,93 \cdot 10^5 \text{ mm}^2$$

Parameter zur Berücksichtigung der Trägerform

$$k_M = \left(\frac{h_s}{h_{\text{ap}}} \right)^3 \cdot \frac{1}{0,15 + 0,85 \cdot \left(\frac{h_s}{h_{\text{ap}}} \right)} = \left(\frac{1,16}{2,21} \right)^3 \cdot \frac{1}{0,15 + 0,85 \cdot \left(\frac{1,16}{2,21} \right)} = 0,243$$

$$k_V = \frac{2}{1 + \left(\frac{h_{\text{ap}}}{h_0} \right)^{2/3}} = \frac{2}{1 + \left(\frac{2,21}{1,16} \right)^{2/3}} = 0,788$$

Anfangsdurchbiegung (Durchbiegung zum Zeitpunkt $t = 0$)

Bemessungswert der Einwirkung

$$q_{\text{inst}} = g_k + s_k = 4,50 + 11,3 = 15,8 \text{ kN/m}$$

Durchbiegung

$$\begin{aligned} w_{\text{inst}} &= \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{\text{inst}} \cdot l^2}{E_{0,g,\text{mean}} \cdot I_S} \cdot k_M + \frac{1}{8} \cdot \frac{q_{\text{inst}} \cdot l^2}{G_{0,g,\text{mean}} \cdot A_{V,s}} \cdot k_V = \\ &= \frac{5}{384} \cdot \frac{15,8 \cdot 24.000^4}{11.000 \cdot 2,60 \cdot 10^{10}} \cdot 0,243 + \frac{1}{8} \cdot \frac{15,8 \cdot 24.000^2}{650 \cdot 1,93 \cdot 10^5} \cdot 0,788 = 58,0 + 7,15 = 65,2 \text{ mm} \approx 65 \text{ mm} \end{aligned}$$

Grenzwert

$$w_{\text{inst,grenz}} = \frac{l}{300} = \frac{24.000}{300} = 80,0 \text{ mm}$$

Nachweis

$$\frac{w_{\text{inst}}}{w_{\text{inst,grenz}}} = \frac{65,2}{80,0} = 0,82 < 1$$

Enddurchbiegung (Durchbiegung zum Zeitpunkt $t = \infty$)

Bemessungswert der Einwirkung

$$q_{\text{perm}} = g_k + \psi_2 \cdot s_k = 4,50 + 0 \cdot 11,3 = 4,50 \text{ kN/m}$$

Endwert des E-Moduls

$$E_{0,g,\text{mean,fin}} = \frac{E_{0,g,\text{mean}}}{1 + k_{\text{def}}} = \frac{11.000}{1 + 0,80} = 6.111 \text{ N/mm}^2$$

Endwert des Schubmoduls

$$G_{0,g,\text{mean,fin}} = \frac{G_{0,g,\text{mean}}}{1 + k_{\text{def}}} = \frac{650}{1 + 0,80} = 361 \text{ N/mm}^2$$

Durchbiegung

$$\begin{aligned} w_{\text{net,fin}} &= \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{\text{perm}} \cdot l^2}{E_{0,g,\text{mean,fin}} \cdot I_S} \cdot k_M + \frac{1}{8} \cdot \frac{q_{\text{perm}} \cdot l^2}{G_{0,g,\text{mean,fin}} \cdot A_{V,s}} \cdot k_V - w_c = \\ &= \frac{5}{384} \cdot \frac{4,50 \cdot 24.000^4}{6.111 \cdot 2,60 \cdot 10^{10}} \cdot 0,243 + \frac{1}{8} \cdot \frac{4,50 \cdot 24.000^2}{361 \cdot 1,93 \cdot 10^5} \cdot 0,788 - 0 = 29,7 + 3,66 - 0 = 33,4 \text{ mm} \approx 33 \text{ mm} \end{aligned}$$

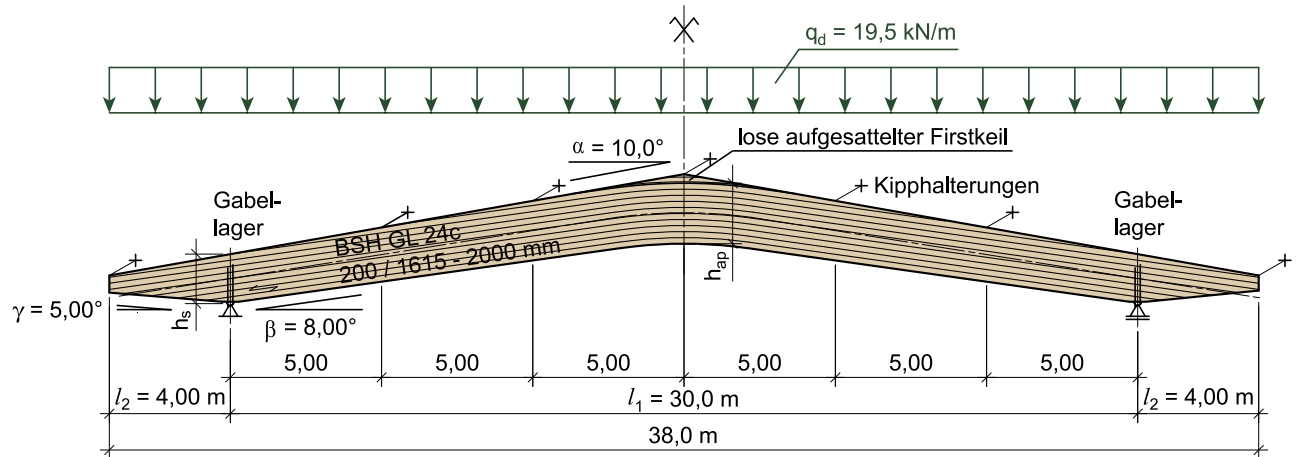
Grenzwert

$$w_{\text{net,fin,grenz}} = \frac{l}{250} = \frac{24.000}{250} = 96,0 \text{ mm}$$

Nachweis

$$\frac{w_{\text{net,fin}}}{w_{\text{net,fin,grenz}}} = \frac{33,4}{96,0} = 0,35 < 1$$

VII.3 GEKRÜMMTER TRÄGER MIT LOSE AUFGESATTELTEM FIRSTKEIL



gegeben:

Einwirkung:	$q_d = 19,5 \text{ kN/m}$
Spannweiten:	$l_1 = 30,0 \text{ m}$, $l_2 = 4,00 \text{ m}$; Abstand der Kipphalterungen: $a = 5,00 \text{ m}$ bzw. $4,00 \text{ m}$
Abmessungen:	$b/h_s - h_{ap} = 200/1.615 - 2.000 \text{ mm}$,
sonst. Geom.-param.:	$\alpha_{ap} = 10,0^\circ$, $\beta = 8,00^\circ$, Ausrundungsradius $r_{in} = 15,0 \text{ m}$
Material:	BSH GL 24c
Nutzungsklasse:	NKL 2
KLED:	„kurz“
Sonstiges:	keine Anforderung an die Gebrauchstauglichkeit (Durchbiegung)

Geometriedaten

$$h_1 = h_s + \frac{l}{2} \cdot (\tan \alpha - \tan \beta) = 1.615 + \frac{30.000}{2} \cdot (\tan(10,0) - \tan(8,00)) = 2.152 \text{ mm}$$

$$h_x = h_s \cdot \left(2 - \frac{h_s}{h_1} \right) \cdot \cos \beta = 1.615 \cdot \left(2 - \frac{1.615}{2.152} \right) \cdot \cos(8,00) = 1.998 \text{ mm}$$

$$x = \frac{h_s \cdot l}{2 \cdot h_1} = \frac{1.62 \cdot 30,0}{2 \cdot 2,15} = 11,3 \text{ m}$$

$$x_c = \frac{l}{2} - r_{in} \cdot \sin \beta = \frac{30,0}{2} - 15,0 \cdot \sin(8,00) = 12,9 \text{ m}$$

$$h_{ap} = h_s + \frac{l_1}{2} \cdot (\tan \alpha - \tan \beta) - r_{in} \cdot \frac{(1 - \cos \beta)}{\cos \beta} = 1.615 + \frac{30.000}{2} \cdot (\tan(10,0) - \tan(8,00)) - 15.000 \cdot \frac{(1 - \cos(8,00))}{\cos(8,00)} \approx 2.000 \text{ mm}$$

$$h_{KA} = (h_s - \approx 40,0 \text{ mm}) \cdot \cos \left(\frac{\alpha + \beta}{2} \right) = (1.615 - \approx 40,0) \cdot \cos \left(\frac{10,0 + 8,00}{2} \right) = 1.556 \text{ mm}$$

Schnittgrößen

Auflagerkraft

$$A_d = q_d \cdot \frac{(l_1 + 2 \cdot l_2)}{2} = 19,5 \cdot \frac{(30,0 + 2 \cdot 4,00)}{2} = 371 \text{ kN}$$

maximale Querkraft

$$V_{A, re, d} = A_d - q_d \cdot l_2 = 371 - 19,5 \cdot 4,00 = 293 \text{ kN}$$

Moment an der Stelle x

$$M_{x,d} = A_d \cdot x - q_d \cdot \frac{1}{2} (x + l_2)^2 = 371 \cdot 11,3 - 19,5 \cdot \frac{1}{2} (11,3 + 4,00)^2 = 1.910 \text{ kNm}$$

Moment im Firstbereich

$$M_{ap,d} = A_d \cdot \frac{l_1}{2} - q_d \cdot \frac{1}{2} \left(\frac{l_1}{2} + l_2 \right)^2 = 371 \cdot \frac{30,0}{2} - 19,5 \cdot \frac{1}{2} \left(\frac{30,0}{2} + 4,00 \right)^2 = 2.045 \text{ kNm}$$

Moment über dem Auflager (Kragarmmoment)

$$M_{KA,d} = -\frac{q_d \cdot l_2^2}{2} = -\frac{19,5 \cdot 4,00^2}{2} = -156 \text{ kNm}$$

Baustoffkenngrößen

charakt. Wert der Biegefestigkeit:	$f_{m,g,k} = 24,0 \text{ N/mm}^2$	Tab. III.19
charakt. Wert der Druckfestigkeit in Faserr.:	$f_{c,0,g,k} = 21,5 \text{ N/mm}^2$	Tab. III.19
charakt. Wert der Querkzugfestigkeit:	$f_{t,90,g,k} = 0,50 \text{ N/mm}^2$	Tab. III.19
charakt. Wert der Querkdruckfestigkeit:	$f_{c,90,g,k} = 2,50 \text{ N/mm}^2$	Tab. III.19
charakt. Wert der Schubfestigkeit:	$f_{v,g,k} = 2,50 \text{ N/mm}^2$	Tab. III.19
E-Modul (Mittelwert):	$E_{0,g,mean} = 11.000 \text{ N/mm}^2$	Tab. III.19
E-Modul (5%-Quantilwert):	$E_{0,g,05} = 9.100 \text{ N/mm}^2$	Tab. III.19
Modifikationsbeiwert:	$k_{mod} = 0,90$	Tab. III.5
Teilsicherheitsbeiwert:	$\gamma_M = 1,25$	Tab. III.3

Bemessungswerte

$$\begin{aligned} f_{m,g,d} &= k_{mod} \cdot \frac{f_{m,g,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{24,0}{1,25} = 17,3 \text{ N/mm}^2 \\ f_{c,0,g,d} &= k_{mod} \cdot \frac{f_{c,0,g,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{21,5}{1,25} = 15,5 \text{ N/mm}^2 \\ f_{t,90,g,d} &= k_{mod} \cdot \frac{f_{t,90,g,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{0,500}{1,25} = 0,360 \text{ N/mm}^2 \\ f_{c,90,g,d} &= k_{mod} \cdot \frac{f_{c,90,g,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{2,50}{1,25} = 1,80 \text{ N/mm}^2 \\ f_{v,g,d} &= k_{mod} \cdot \frac{f_{v,g,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{2,50}{1,25} = 1,80 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Querschnittswerte

Querschnittsfläche im Auflagerbereich

$$A \approx b \cdot h \approx 200 \cdot (1.615 - \approx 40,0) \approx 3,15 \cdot 10^5 \text{ mm}^2$$

Widerstandsmoment an der Stelle x

$$W_x = \frac{b \cdot h_x^2}{6} = \frac{200 \cdot 1.998^2}{6} = 1,33 \cdot 10^8 \text{ mm}^3$$

Widerstandsmoment im First (unter Berücksichtigung des aufgesattelten Firstkeils)

$$W_{ap} = \frac{b \cdot h_{ap}^2}{6} = \frac{200 \cdot 2.000^2}{6} = 1,33 \cdot 10^8 \text{ mm}^3$$

Widerstandsmoment über dem Auflager

$$W_{KA} = \frac{b \cdot h_{KA}^2}{6} = \frac{200 \cdot 1.556^2}{6} = 8,07 \cdot 10^7 \text{ mm}^3$$

Nachweis der Schubspannung über dem Auflager

Schubspannung

$$\tau_d = 1,5 \cdot \frac{V_d}{A} = 1,5 \cdot \frac{293 \cdot 10^3}{3,15 \cdot 10^5} = 1,40 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\tau_d}{f_{v,g,d}} = \frac{1,40}{1,80} = 0,78 < 1$$

Nachweis der Auflagerpressung (Druck unter einem Winkel α)

Annahme: Kontaktlänge: $l = 520 \text{ mm}$

wirksame Auflagerfläche

$$A_{ef} = b \cdot (l + 2 \cdot 30 \text{ mm} \cdot \cos \alpha) = 200 \cdot (520 + 2 \cdot 30 \text{ mm} \cdot \cos(8,00)) = 1,16 \cdot 10^5 \text{ mm}^2$$

Auflagerpressung

$$\sigma_{c,\alpha,d} = \frac{A_d}{A_{ef}} = \frac{371 \cdot 10^3}{1,16 \cdot 10^5} = 3,20 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswert der Druckfestigkeit unter einem Winkel α

$k_{c,90}$ -Beiwert für BSH aus Nadelholz bei einer Einzelabstützung; siehe [1], Bild 6.2 und nationale Ergänzung zu Abschnitt 6.1.5 (4)):

$\rightarrow k_{c,90} = 1,75$

$$f_{c,\alpha,g,d} = \frac{f_{c,0,g,d}}{\frac{f_{c,0,g,d}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,g,d}} \cdot \sin^2(90 - \alpha) + \cos^2(90 - \alpha)} = \frac{15,5}{\frac{15,5}{1,75 \cdot 1,80} \cdot \sin^2(90,0 - 8,00) + \cos^2(90,0 - 8,00)} = 3,20 \text{ N/mm}^2$$

mit Tabellenwerk (für GL 24h; interpoliert): $\rightarrow$ für $\alpha = 90,0 - 8,00 = 82,0^\circ$: $f_{c,\alpha,d} = 3,09 \text{ N/mm}^2$

Tab. IV.13

Nachweis

$$\frac{\sigma_{c,\alpha,d}}{f_{c,\alpha,g,d}} = \frac{3,20}{3,20} = 1,00 = 1$$

Anmerkung:

Durch geeignete konstruktive Maßnahmen (z. B. der Anordnung eines Elastomerlagers) ist eine ausreichende Auflagerverdrehbarkeit sicherzustellen. Eine Verringerung der Kontaktlänge kann durch Anordnung einer Auflagerverstärkung erreicht werden.

Nachweis der Biegespannungen an der Stelle x

• in der Zugzone (Rand nicht angeschnitten)

$$\sigma_{m,0,d;x} = \frac{M_{x,d}}{W_x} \cdot (1 + 4 \cdot \tan^2(\alpha - \beta)) = \frac{1.910 \cdot 10^6}{1,33 \cdot 10^8} \cdot (1 + 4 \cdot \tan^2(10,0 - 8,00)) = 14,4 \cdot 1,005 = 14,5 \text{ N/mm}^2$$

mit Tabellenwerk: $\rightarrow \Delta\alpha = \alpha - \beta = 10,0 - 8,00 = 2,00^\circ$: $1 + 4 \cdot \tan^2(\alpha - \beta) = 1,005$

Tab. IV.54

Nachweis

$$\frac{\sigma_{m,0,d;x}}{f_{m,g,d}} = \frac{14,5}{17,3} = 0,84 < 1$$

• in der Druckzone (Rand angeschnitten)

$$\sigma_{m,\alpha,d;x} = \frac{M_{x,d}}{W_x} \cdot (1 - 4 \cdot \tan^2(\alpha - \beta)) = \frac{1,910 \cdot 10^6}{1,33 \cdot 10^8} \cdot (1 - 4 \cdot \tan^2(10,0 - 8,00)) = 14,4 \cdot 0,995 = 14,3 \text{ N/mm}^2$$

mit Tabellenwerk: $\rightarrow \Delta\alpha = \alpha - \beta = 10,0 - 8,00 = 2,00^\circ$: $1 - 4 \cdot \tan^2(\alpha - \beta) = 0,995$

Tab. IV.54

Beiwert $k_{m,\Delta\alpha,c}$:

$$k_{m,\Delta\alpha,c} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{m,g,d}}{1,5 \cdot f_{v,g,d}} \cdot \tan(\alpha - \beta) \right)^2 + \left(\frac{f_{m,g,d}}{f_{c,90,g,d}} \cdot \tan^2(\alpha - \beta) \right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{17,3}{1,5 \cdot 1,80} \cdot \tan(10,0 - 8,00) \right)^2 + \left(\frac{17,3}{1,80} \cdot \tan^2(10,0 - 8,00) \right)^2}} = 0,976$$

mit Tabellenwerk: $\rightarrow$ für $\Delta\alpha = \alpha - \beta = 10,0 - 8,00 = 2,00^\circ$: $k_{m,\Delta\alpha,c} = 0,976$

Tab. IV.54

Nachweis

$$\frac{\sigma_{m,\alpha,d;x}}{k_{m,\Delta\alpha,c} \cdot f_{m,g,d}} = \frac{14,3}{0,976 \cdot 17,3} = 0,85 < 1$$

Nachweis der Biegespannung im Firstbereich

mit: $\alpha_{ap} = 0^\circ$ (aufgesattelter Firstkeil) und $r_{in} = 15,0 \text{ m}$

Beiwert k_l

$$k_1 = 1 + 1,4 \cdot \tan(\alpha_{ap}) + 5,4 \cdot \tan^2(\alpha_{ap}) = 1 + 1,4 \cdot \tan(0) + 5,4 \cdot \tan^2(0) = 1,00$$

$$k_2 = 0,35 - 8 \cdot \tan(\alpha_{ap}) = 0,35 - 8 \cdot \tan(0) = 0,35$$

$$k_3 = 0,6 + 8,3 \cdot \tan(\alpha_{ap}) - 7,8 \cdot \tan^2(\alpha_{ap}) = 0,6 + 8,3 \cdot \tan(0) - 7,8 \cdot \tan^2(0) = 0,60$$

$$k_4 = 6,0 \cdot \tan^2(\alpha_{ap}) = 6,0 \cdot \tan^2(0) = 0$$

$$r = r_{in} + \frac{h_{ap}}{2} = 15,0 + \frac{2,00}{2} = 16,0 \text{ m}$$

$$k_l = k_1 + k_2 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right) + k_3 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^2 + k_4 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^3 = 1,00 + 0,350 \cdot \left(\frac{2,00}{16,0} \right) + 0,60 \cdot \left(\frac{2,00}{16,0} \right)^2 + 0 \cdot \left(\frac{2,00}{16,0} \right)^3 = 1,05$$

mit Tabellenwerk: $\rightarrow$ für $h_{ap}/r = 2,00/16,0 = 0,125$: $k_l = 1,053$

Tab. IV.55

Beiwert k_r

$$\frac{r_{in}}{t} = \frac{15.000}{40,0} = 375 > 240 \rightarrow k_r = 1,00$$

Tab. IV.56

Biegespannung im Firstbereich

$$\sigma_{m,d,ap} = k_l \cdot \frac{M_{ap,d}}{W_{ap}} = 1,05 \cdot \frac{2,045 \cdot 10^6}{1,33 \cdot 10^8} = 16,1 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{m,d,ap}}{k_r \cdot f_{m,g,d}} = \frac{16,1}{1,00 \cdot 17,3} = 0,93 < 1$$

Nachweis der Querkzugspannung im First

mit: $\alpha_{ap} = 0^\circ$ (aufgesattelter Firstkeil)

Beiwert k_p

$$k_5 = 0,2 \cdot \tan(\alpha_{ap}) = 0,2 \cdot \tan(0) = 0$$

$$k_6 = 0,25 - 1,5 \cdot \tan(\alpha_{ap}) + 2,6 \cdot \tan^2(\alpha_{ap}) = 0,25 - 1,5 \cdot \tan(0) + 2,6 \cdot \tan^2(0) = 0,25$$

$$k_7 = 2,1 \cdot \tan \alpha_{ap} - 4 \cdot \tan^2 \alpha_{ap} = 2,1 \cdot \tan(0) - 4 \cdot \tan^2(0) = 0$$

$$k_p = k_5 + k_6 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right) + k_7 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^2 = 0 + 0,250 \cdot \left(\frac{2,00}{16,0}\right) + 0 \cdot \left(\frac{2,00}{16,0}\right)^2 = 0,0313$$

mit Tabellenwerk: $\rightarrow$ für $h_{ap}/r = 2,00/16,0 = 0,125$: $k_p = 0,0313$

Tab. IV.55

Querkzugspannung im First

$$\sigma_{t,90,d;ap} = k_p \cdot \frac{M_{ap,d}}{W_{ap}} = 0,0313 \cdot \frac{2,045 \cdot 10^6}{1,33 \cdot 10^8} = 0,481 \text{ N/mm}^2$$

Beiwert k_{dis}

im querkzugbeanspruchten Bereich liegt auf Grund des aufgesattelten Firstkeils ein gekrümmter Träger mit konstanter Querschnittshöhe vor: $k_{dis} = 1,4$

querkzugbeanspruchtes Volumen V

$$V = \frac{\beta \cdot \pi}{180} \cdot b \cdot \left[h_{ap}^2 + 2 \cdot r_{in} \cdot h_{ap} \right] = \frac{8,00 \cdot \pi}{180} \cdot 0,200 \cdot \left[2,00^2 + 2 \cdot 15,0 \cdot 2,00 \right] = 1,79 \text{ m}^3$$

Beiwert k_{vol}

$$k_{vol} = \left(\frac{V_0}{V}\right)^{0,2} = \left(\frac{0,01}{1,79}\right)^{0,2} = 0,354$$

Gesamtvolumen des Satteldachbinders

$$l_k \approx \frac{l_1}{\cos\left(\frac{\alpha + \beta}{2}\right)} \approx \frac{30,0}{\cos\left(\frac{10,0 + 8,00}{2}\right)} \approx 30,4 \text{ m}$$

$$V_b \approx h_x \cdot l_k \cdot b \approx \frac{1}{2} \cdot (1,62 + 2,00) \cdot 30,4 \cdot 0,200 \approx 11,0 \text{ m}^3$$

$$V \leq \frac{2}{3} \cdot V_b : 1,79 \text{ m}^3 < \frac{2}{3} \cdot 11,0 \text{ m}^3 = 7,33 \text{ m}^3 \rightarrow \text{Bedingung erfüllt!}$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{t,90,d;ap}}{k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,g,d}} = \frac{0,481}{1,4 \cdot 0,354 \cdot 0,360} = 2,70 > 1 \rightarrow \text{Nachweis nicht erfüllt! Querkzugverstärkung erforderlich!}$$

Vergleich der Varianten – verklebter Firstkeil und lose aufgesattelter Firstkeil

	verklebter Firstkeil (hier nicht explizit ausgewiesen)	lose aufgesattelter Firstkeil
h_{ap}	2.300 mm	2.000
W_{ap}	$1,76 \cdot 10^8 \text{ mm}^3$	$1,33 \cdot 10^8 \text{ mm}^3$
α_{ap}	$10,0^\circ$	0°
$k_l \cdot \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot h_{ap}^2}$ $k_r \cdot f_{m,g,d}$	$0,75 < 1$	$0,93 < 1$
$k_p \cdot \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot h_{ap}^2}$ $k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,g,d}$	$2,81 < 1$	$2,70 < 1$
Verstärkung des querzugbeanspruchten Bereichs in beiden Fällen erforderlich!		

Verstärkung des querzugbeanspruchten Bereichs mit eingeschraubten Gewindestangen für den Träger mit aufgesatteltem Firstkeil

- Länge des querzugbeanspruchten Bereichs

$$\frac{c}{2} = r_{in} \cdot \sin(\beta) \rightarrow c = 2 \cdot r_{in} \cdot \sin(\beta) = 2 \cdot 15,0 \cdot \sin(8,00) = 4,18 \text{ m}$$

- Berechnung der Tragfähigkeit einer Schraubstange auf Herausziehen

gewählte Verbindungsmittel für die Verstärkung im querzugbeanspruchten Firstbereich:

Schraubstange $d = 16 \text{ mm}$, $f_{ax,k} = 10,0 \text{ N/mm}^2$, $F_{tens,k} = 63,0 \text{ kN}$ (Daten aus bauaufsichtlicher Zulassung)
wirksame Eindrehlänge

$$l_{ef} = 0,5 \cdot h_{ap} - t = 0,5 \cdot 2.000 - 40,0 = 960 \text{ mm}$$

- Bemessungswert der Ausziehtragfähigkeit einer Schraubstange

$$F_{ax,Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{ax,k} \cdot d \cdot l_{ef} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_{M,Verb}} \\ \frac{F_{tens,k}}{\gamma_{M2}} \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 10,0 \cdot 16,0 \cdot 960 \cdot \frac{0,90}{1,30} = 106.338 \text{ N} \\ \frac{63,0 \cdot 10^3}{1,25} = 50.400 \text{ N} \end{array} \right\} = 50,4 \text{ kN}$$

Nachweis der Querzugverstärkung im Firstbereich

- in der mittleren Hälfte

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

$$a_{l,req} = \frac{F_{ax,Rd} \cdot n}{\sigma_{t,90,d} \cdot b} = \frac{50.400 \cdot 1,00}{0,481 \cdot 200} = 524 \text{ mm} < 0,75 \cdot h_{ap} = 0,75 \cdot 2.000 = 1.500 \text{ mm}$$

gewählt: 5 x Gewindestangen in der inneren Hälfte

$$a_{l,prov} = \frac{c/2}{m-1} = \frac{4,180/2}{5-1} = 523 \text{ mm} < a_{l,req} = 524 \text{ mm}$$

- in den äußeren Vierteln

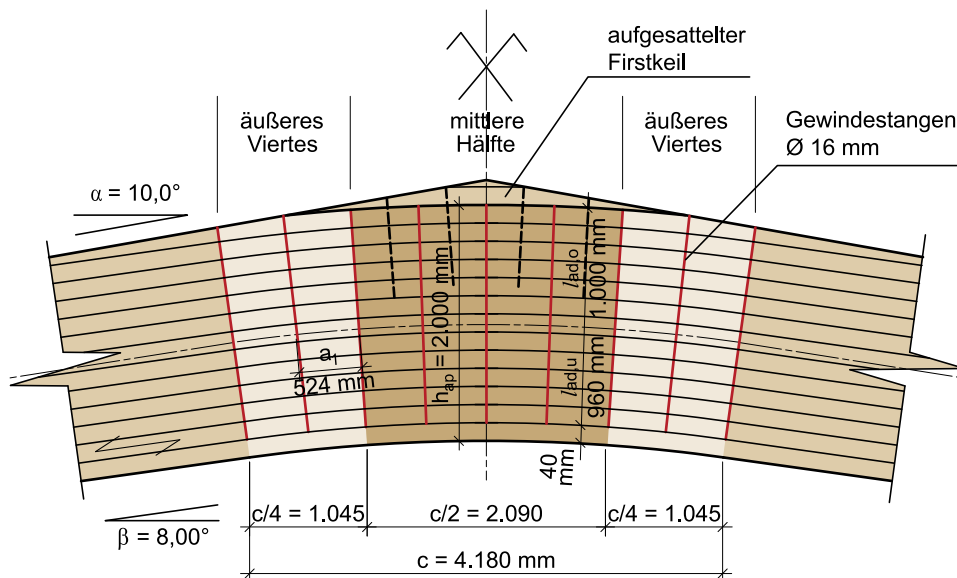
$$F_{t,90,d} = \frac{2}{3} \cdot \frac{\sigma_{t,90,d} \cdot b \cdot a_1}{n} \leq F_{ax,Rd}$$

$$a_{l,req} = \frac{3}{2} \cdot \frac{F_{ax,Rd} \cdot n}{\sigma_{t,90,d} \cdot b} = \frac{3}{2} \cdot \frac{50.400 \cdot 100}{0,481 \cdot 200} = 786 \text{ mm} < 0,75 \cdot h_x = 0,75 \cdot 2.000 = 1.500 \text{ mm}$$

gewählt: 2 x Gewindestangen pro äußeres Viertel

$$a_{l,prov} = \frac{c/4}{m} = \frac{4.180/4}{2} = 523 \text{ mm} < a_{l,req} = 786 \text{ mm}$$

Lage der Schraubstangen



Nachweis der Biegespannungs am Kragarm

- in der Zugzone (Rand mit $\Delta\alpha = \alpha - \beta = 10,0 - 8,00 = 2,00^\circ$ angeschnitten)

$$\sigma_{m,o,d;KA} = \frac{|M_{KA,d}|}{W_{KA}} = \frac{|-156 \cdot 10^6|}{8,07 \cdot 10^7} = 1,93 \text{ N/mm}^2$$

Anmerkung:

Auf die Berücksichtigung des Faktors der Abweichung von der geradlinigen Spannungsverteilung (orthotrope Scheibentragswirkung) wurde verzichtet, weil im Vordachbereich beide Ränder angeschnitten sind. Ohne weiteren Nachweis wurde angenommen, dass der obere angeschnittene Rand (im Zugbereich des Kragträgers) in den innen liegenden Bereich des kombiniert aufgebauten BSH-Trägers fällt. Damit geht eine Verringerung des Bemessungswertes der Biegefestigkeit einher. Der untere, druckbeanspruchte Rand liegt in der Außenlage des kombiniert aufgebauten BSH-Trägers.

Beiwert $k_{m,\Delta\alpha,t}$:

$$k_{m,\Delta\alpha,t} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{m,g,d}}{0,75 \cdot f_{v,g,d}} \cdot \tan(\alpha - \beta) \right)^2 + \left(\frac{f_{m,g,d}}{f_{t,90,g,d}} \cdot \tan^2(\alpha - \beta) \right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{17,3}{0,75 \cdot 1,80} \cdot \tan(10,0 - 8,00) \right)^2 + \left(\frac{17,3}{0,360} \cdot \tan^2(10,0 - 8,00) \right)^2}} = 0,911$$

mit Tabellenwerk: $\rightarrow$ für $\Delta\alpha = \alpha - \beta = 10,0 - 8,00 = 2,00^\circ$: $k_{m,\Delta\alpha,t} = 0,912$

Tab. IV.54

charakteristischer Wert der Biegefestigkeit (T9-Lamellen): $f_{m,g,k} = 17,7 \text{ N/mm}^2$ (siehe ÖNORM EN 14080)

$$f_{m,g,d,\text{Innen}} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{m,g,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{17,7}{1,25} = 12,7 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{m,\alpha,d;x}}{k_{m,\Delta\alpha,t} \cdot f_{m,g,d,\text{Innen}}} = \frac{1,93}{0,911 \cdot 12,7} = 0,17 < 1$$

• in der Druckzone (Rand mit $\Delta\alpha = \beta + \gamma = 8,00 + 5,00 = 13,0^\circ$ angeschnitten)

$$\sigma_{m,u,d;KA} = \frac{|M_{KA,d}|}{W_{KA}} = \frac{|-156 \cdot 10^6|}{8,07 \cdot 10^7} = 1,93 \text{ N/mm}^2$$

Beiwert $k_{m,\Delta\alpha,c}$

$$k_{m,\Delta\alpha,c} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{m,g,d}}{1,5 \cdot f_{v,g,d}} \cdot \tan(\beta + \gamma) \right)^2 + \left(\frac{f_{m,g,d}}{f_{c,90,g,d}} \cdot \tan^2(\beta + \gamma) \right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{17,3}{1,5 \cdot 1,80} \cdot \tan(8,00 + 5,00) \right)^2 + \left(\frac{17,3}{1,80} \cdot \tan^2(8,00 + 5,00) \right)^2}} = 0,538$$

mit Tabellenwerk: $\rightarrow$ für $\Delta\alpha = \beta + \gamma = 8,00 + 5,00 = 13,0^\circ$: $k_{m,\Delta\alpha,c} = 0,539$

Tab. IV.54

Nachweis

$$\frac{\sigma_{m,u,d;KA}}{k_{m,\Delta\alpha,c} \cdot f_{m,g,d}} = \frac{1,93}{0,538 \cdot 17,3} = 0,21 < 1$$

Anmerkung:

Für den Vordachbereich ist in der Praxis weiters die Einwirkungskombination bei der im Vordachbereich Windsog auftritt nachzuweisen.

Stabilitätsnachweis – Biegedrillknicken („Kippen“)

• im Feld 3

Anmerkung:

Der Kippnachweis wird näherungsweise an der Stelle geführt, an dem der gerade Trägerabschnitt in den gekrümmten übergeht. Im Feld 3 tritt sowohl die höchste (Biege-) Beanspruchung, als auch die größte Querschnittshöhe auf.

Abstand x_{F3}

$$x_{F3} = \frac{l_1}{2} - r \cdot \sin(\beta) = \frac{30,0}{2} - 16,0 \cdot \sin(8,00) = 12,8 \text{ m}$$

Querschnittshöhe

$$h_{x,F3} \approx h_{ap} \approx 2.000 \text{ mm}$$

kritische Kippspannung

$$\sigma_{m,\text{crit},d;F3} = \frac{0,78 \cdot b^2}{l_{\text{ef}} \cdot h} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 200^2}{0,9 \cdot 5.000 \cdot 2.000} \cdot 9.100 = 31,5 \text{ N/mm}^2$$

bezogener Kippschlankheitsgrad

$$\lambda_{\text{rel},m;F3} = \sqrt{\frac{f_{m,g,k}}{\sigma_{m,\text{crit};F3}}} = \sqrt{\frac{24,0}{31,5}} = 0,873$$

Kippbeiwert

$$0,75 \leq \lambda_{\text{rel},m} \leq 1,4: k_{\text{crit};F3} = 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{\text{rel},m;F3} = 1,56 - 0,75 \cdot 0,873 = 0,905$$

Biegespannung an der Stelle $x_{F3} = 12,8 \text{ m}$ (näherungsweise Biegespannung an der Stelle x)

$$\sigma_{m,d;F3} \approx \frac{M_{x,d}}{W_x} \approx \frac{1,910 \cdot 10^6}{1,33 \cdot 10^8} \approx 14,4 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{m,d;F3}}{k_{crit;F3} \cdot f_{m,g,d}} = \frac{14,4}{0,905 \cdot 17,3} = 0,92 < 1$$

- am Auflager (Kragarm)
wirksame Kipplänge für den Kragarm

$$\frac{l_{ef}}{l_a} = 0,5 \text{ mit } l_{KA} = l_2 = 4,00 \text{ m} \rightarrow l_{ef;KA} = 0,5 \cdot l_2 = 0,5 \cdot 4,00 = 2,00 \text{ m}$$

kritische Kippspannung

$$\sigma_{m,crit;KA} = \frac{0,78 \cdot b^2}{l_{ef;KA} \cdot h_{KA}} \cdot E_{0,9,05} = \frac{0,78 \cdot 200^2}{2,000 \cdot 1.556} \cdot 9.100 = 91,2 \text{ N/mm}^2 \text{ (mit } h_{KA} = 1.556 \text{ mm als konservativem Ansatz)}$$

bezogener Kippschlankheitsgrad

$$\lambda_{rel;m;KA} = \sqrt{\frac{f_{m,g,k}}{\sigma_{m,crit;KA}}} = \sqrt{\frac{24,0}{91,2}} = 0,513 < \lambda_{rel;m,grenz} = 0,75 \rightarrow k_{crit;KA} = 1,00 \rightarrow \text{keine Kippgefahr!}$$



KAPITEL VIII

HOLZBAUTEILE UND -KOMPONENTEN

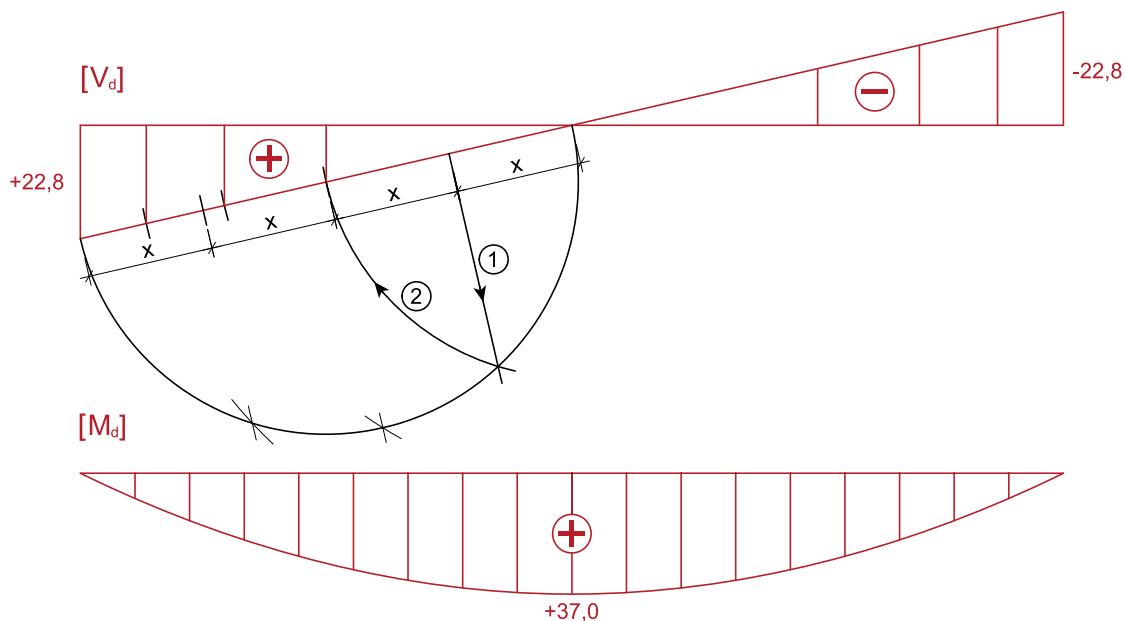
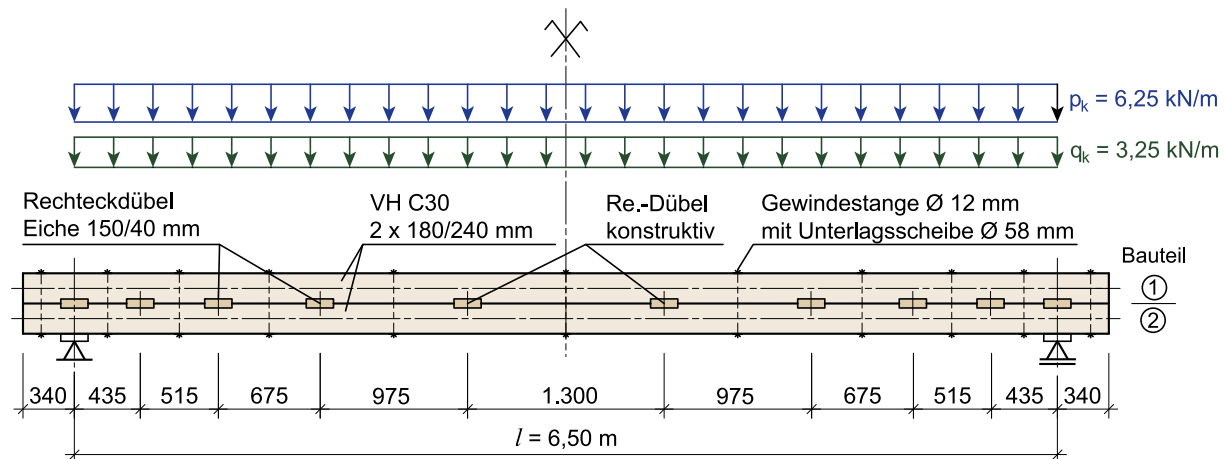
VIII.1 nachgiebig verdübelter Balken aus Vollholz
VIII.2 Holz-Beton-Verbund Deckenkonstruktion

VIII.3 - VIII.10
VIII.11 - VIII.28



VIII.1 NACHGIEBIG VERDÜBELTER BALKEN AUS VOLLHOLZ

Berechnungsgrundlage: ÖNORM EN 1995-1-1:2019, Anhang B („γ“-Verfahren) [1]



gegeben:

Einwirkungen:	charakt. Wert der ständigen Einwirkung (inkl. Träger)	$g_k = 1,35 \text{ kN/m}$
	charakt. Wert der veränderlichen Einwirkung	$p_k = 3,45 \text{ kN/m}$
	Kombinationsbeiwert für die veränderliche Einwirkung (Kat. E)	$\psi_2 = 0,80$
Spannweite:	$l = 6,50 \text{ m}$	
Abmessungen:	$b/h = 2 \times 180/240 \text{ mm}$	
Material:	Vollholz C30	
Nutzungs-kategorie:	NKL 2	
KLED:	„lang“	

Einwirkungen und Schnittgrößen

Bemessungswert der Einwirkung

$$q_d = \gamma_G \cdot g_k + \gamma_Q \cdot p_k = 1,35 \cdot 1,35 + 1,50 \cdot 3,45 = 7,00 \text{ kN/m}$$

Querkraft

$$V_d = \frac{q_d \cdot l}{2} = \frac{7,00 \cdot 6,50}{2} = 22,8 \text{ kN}$$

Moment

$$M_d = \frac{q_d \cdot l^2}{8} = \frac{7,00 \cdot 6,50^2}{8} = 37,0 \text{ kNm}$$

Baustoffkenngrößen

charakteristischer Wert der Biegefestigkeit:	$f_{m,k}$	= 30,0 N/mm ²	Tab. III.10
charakteristischer Wert der Zugfestigkeit in FR:	$f_{t,0,k}$	= 19,0 N/mm ²	Tab. III.10
charakteristischer Wert der Druckfestigkeit in FR:	$f_{c,0,k}$	= 24,0 N/mm ²	Tab. III.10
charakteristischer Wert der Querdrukfestigkeit:	$f_{c,90,k}$	= 2,70 N/mm ²	Tab. III.10
charakteristischer Wert der Schubfestigkeit:	$f_{v,k}$	= 2,30 N/mm ²	Tab. III.10
charakteristischer Wert der Schubfestigkeit (Dübel; D30):	$f_{v,k; \text{ReDü}}$	= 2,60 N/mm ²	Tab. III.11
E-Modul (Mittelwert):	$E_{0,\text{mean}}$	= 12.000 N/mm ²	Tab. III.10
Modifikationsbeiwert:	k_{mod}	= 0,70	Tab. III.5
Teilsicherheitsbeiwert Holz:	γ_M	= 1,30	Tab. III.3
Teilsicherheitsbeiwert Verbindung:	$\gamma_{M,\text{Verb}}$	= 1,30	Tab. III.3
Verformungsbeiwert:	k_{def}	= 0,80	Tab. III.6

Bemessungswerte

$$f_{m,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,70 \cdot \frac{30,0}{1,30} = 16,2 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{t,0,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_M} = 0,70 \cdot \frac{19,0}{1,30} = 10,2 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,0,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M} = 0,70 \cdot \frac{24,0}{1,30} = 12,9 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,90,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{c,90,k}}{\gamma_M} = 0,70 \cdot \frac{2,70}{1,30} = 1,45 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,70 \cdot \frac{2,30}{1,30} = 1,24 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,d;\text{ReDü}} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{v,k;\text{ReDü}}}{\gamma_M} = 0,70 \cdot \frac{2,60}{1,30} = 1,40 \text{ N/mm}^2$$

Querschnittswerte der Einzelquerschnitte

$$A_1 = A_2 = b \cdot h = 180 \cdot 240 = 4,32 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

$$I_1 = I_2 = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{180 \cdot 240^3}{12} = 2,07 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

Verschiebungsmodul

Einschnitttiefe des Hartholzdübels

$$h_e \approx \frac{h}{10} \text{ bis } \frac{h}{13} \approx \frac{240}{10} \text{ bis } \frac{240}{13} \approx 24,0 \text{ mm bis } 18,5 \text{ mm}$$

→ gewählt: $h_e = 20,0 \text{ mm}$

wirksamer Verbindungsmittelabstand

$$s_{\text{ef}} = 0,75 \cdot s_{\text{min}} + 0,25 \cdot s_{\text{max}} = 0,75 \cdot 435 + 0,25 \cdot 975 = 570 \text{ mm} \quad \text{und} \quad \frac{s_{\text{max}}}{s_{\text{min}}} = \frac{975}{435} = 2,24 < 4$$

Anmerkung:

Weder in in ÖNORM EN 1995-1-1:2019 [1], noch in ÖNORM B 1995-1-1:2019 [2] sind für Rechteckdübel aus Hartholz (Eiche, Buche) Verschiebungsmoduln angeführt. Näherungsweise bzw. bis zum Vorliegen genauerer Werte werden für den Verschiebungsmodul, auf Grund des ähnlich zu erwartenden Tragverhaltens, Verschiebungsmoduln für Kerfen von Holz-Beton-Verbundkonstruktionen aus der Technischen Spezifikation CEN/TS 19103:2022 [5] herangezogen.

Der Verschiebungsmodul für Kerfen ist in [5] wie folgt festgelegt:

- für Kerfentiefen $h_n = 20 \text{ mm}$: $K_{ser} = 1.000 \text{ kN/mm/m}$
- für Kerfentiefen $h_n \geq 30 \text{ mm}$: $K_{ser} = 1.500 \text{ kN/mm/m}$

dazwischen liegende Werte dürfen linear interpoliert werden.

Für die Einschnitttiefe $h_e = 20 \text{ mm}$ ergibt sich ein Verschiebungsmodul von $K_{ser} = 1.000 \text{ kN/mm/m}$. Zu beachten ist dabei, dass die angegebenen Verschiebungsmoduln für eine Kontaktfläche (Kerfe) gelten. Beim betrachteten nachgiebig verdübelten Balken treten zwei Kontaktflächen pro Hartholzdübel auf, d. h. die Verschiebungsmoduln sind zu halbieren. Die Verschiebungsmoduln sind auf eine Breite von 1 m bezogen.

	zum Zeitpunkt $t = 0$	zum Zeitpunkt $t = \infty$
$K_{ser} [\text{kN/mm}]$	$K_{ser;t=0} = \frac{K_{ser}}{2} \cdot b = \frac{1.000}{2} \cdot \frac{180}{1.000} = 90,0 \text{ kN/mm}$	$K_{ser;t=\infty} = \frac{K_{ser}}{1+2 \cdot K_{def}} = \frac{90,0}{1+2 \cdot 0,80} = 34,6 \text{ kN/mm}$
$K_u [\text{kN/mm}]$	$K_{u;t=0} = \frac{2}{3} \cdot K_{ser} = \frac{2}{3} \cdot 90,0 = 60,0 \text{ kN/mm}$	–
$K_d [\text{kN/mm}]$	$K_{d;t=0} = \frac{K_u}{\gamma_{M,Verb}} = \frac{60,0}{1,30} = 46,2 \text{ kN/mm}$	–

Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Anmerkung:

Der Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit ist für Bauteile mit gleichem zeitlichen Verhalten für den Zeitpunkt $t = 0$ zu führen. Zu diesem Zeitpunkt liegen die höchsten Steifigkeiten vor, sodass dabei auch die maximale Beanspruchung der Bauteile und Rechteckdübel auftritt.

- zum Zeitpunkt $t = 0$

Bemessungswerte des E-Moduls

$$E_1 = E_2 = E_{0,mean} = 12.000 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{i,0,d} = \frac{E_{0,mean}}{\gamma_M} = \frac{12.000}{1,30} = 9.231 \text{ N/mm}^2$$

Verbundbeiwerte

$$\gamma_1 = \frac{1}{1 + \pi^2 \cdot \frac{E_{i,0,d} \cdot A_1 \cdot s_{ef}}{K_{d;t=0} \cdot l^2}} = \frac{1}{1 + \pi^2 \cdot \frac{9.231 \cdot 4,32 \cdot 10^4 \cdot 570}{46,2 \cdot 10^3 \cdot 6.500^2}} = 0,465$$

$$\gamma_2 = 1,00$$

Schwerpunktslage

$$a_2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{\gamma_1 \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot (h_1 + h_2) - \gamma_3 \cdot E_3 \cdot A_3 \cdot (h_2 + h_3)}{\sum_{i=1}^3 \gamma_i \cdot E_i \cdot A_i} = \frac{0,465 \cdot 9.231 \cdot 4,32 \cdot 10^4 \cdot \left(\frac{240 + 240}{2} \right) - 0}{0,465 \cdot 9.231 \cdot 4,32 \cdot 10^4 + 1,00 \cdot 9.231 \cdot 4,32 \cdot 10^4} = 76,2 \text{ mm}$$

$$a_1 = \frac{h_1 + h_2}{2} - a_2 = \frac{240 + 240}{2} - 76,2 = 164 \text{ mm}$$

Ermittlung der effektiven Biegesteifigkeit

$$(E \cdot I)_{\text{ef,d;t=0}} = \sum_{i=1}^3 (E_i \cdot I_i + \gamma_i \cdot E_i \cdot A_i \cdot a_i^2) = 2 \cdot 9.231 \cdot 2,07 \cdot 10^8 + 0,465 \cdot 9.231 \cdot 4,32 \cdot 10^4 \cdot 164^2 + 1,00 \cdot 9.231 \cdot 4,32 \cdot 10^4 \cdot 76,2^2 =$$

$$= 3,82 \cdot 10^{12} + 7,30 \cdot 10^{12} = 1,11 \cdot 10^{13} \text{ Nmm}^2$$

Spannungen infolge der Normalkraft

• Teilquerschnitt 1

$$\sigma_{1,d;t=0} = \frac{M_d}{(E \cdot I)_{\text{ef,d;t=0}}} \cdot E_{1,0,d} \cdot \gamma_1 \cdot a_1 = \frac{37,0 \cdot 10^6}{1,11 \cdot 10^{13}} \cdot 9.231 \cdot 0,465 \cdot (-164) = -2,34 \text{ N/mm}^2$$

Anmerkung:

Der Teilquerschnitt 1 ist infolge der Normalkraft durch eine Druckspannung beansprucht.

• Teilquerschnitt 2

$$\sigma_{2,d} = \frac{M_d}{(E \cdot I)_{\text{ef,d;t=0}}} \cdot E_{2,0,d} \cdot \gamma_2 \cdot a_2 = \frac{37,0 \cdot 10^6}{1,11 \cdot 10^{13}} \cdot 9.231 \cdot 1,00 \cdot 76,2 = 2,34 \text{ N/mm}^2$$

Biegeandspannungen

• Teilquerschnitt 1

$$\sigma_{1,m,d} = \frac{M_d}{(E \cdot I)_{\text{ef,d;t=0}}} \cdot E_{1,0,d} \cdot \frac{h_1}{2} = \frac{37,0 \cdot 10^6}{1,11 \cdot 10^{13}} \cdot 9.231 \cdot \frac{240}{2} = 3,69 \text{ N/mm}^2$$

• Teilquerschnitt 2

$$\sigma_{2,m,d} = \frac{M_d}{(E \cdot I)_{\text{ef,d;t=0}}} \cdot E_{2,0,d} \cdot \frac{h_2}{2} = \frac{37,0 \cdot 10^6}{1,11 \cdot 10^{13}} \cdot 9.231 \cdot \frac{240}{2} = 3,69 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis auf Stabilitätsversagen des oberen Balkens (Balken 1)

Ein Biegedrillknicken des oberen Balkens wird durch die angrenzende, schubfest verbundene Deckenscheibe verhindert. Der Nachweis gegen Stabilitätsversagen des oberen Balkens erübrigt sich daher.

Nachweis der Biegeandspannungen des unteren Balkens (Balken 2)

$$\frac{\sigma_{2,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{2,m,d}}{f_{m,d}} = \frac{2,34}{10,2} + \frac{3,69}{16,2} = 0,229 + 0,228 = 0,46 < 1$$

Schubnachweis

Schubspannung

$$h = \frac{h_2}{2} + a_2 = \frac{240}{2} + 76,2 = 196 \text{ mm}$$

$$\tau_{2,\text{max},d} = \frac{\gamma_3 \cdot E_{3,0,d} \cdot A_3 \cdot a_3 + 0,5 \cdot E_{2,0,d} \cdot b_2 \cdot h^2}{(E \cdot I)_{\text{ef,d;t=0}} \cdot b_2} \cdot V_d = \frac{0 + 0,5 \cdot 9.231 \cdot 180 \cdot 196^2}{1,11 \cdot 10^{13} \cdot 180} \cdot 22,8 \cdot 10^3 = 0,364 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\tau_{2,max,d}}{f_{v,d}} = \frac{0,364}{1,24} = 0,29 < 1,0$$

Nachweis des Rechteckdübels

- Stirnflächenpressung

Schubkraft in der Verbundfuge

$$T_d = \frac{\gamma_1 \cdot E_{1,0,d} \cdot A_1 \cdot a_1 \cdot s_{ef}}{(E \cdot I)_{ef,d;t=0}} \cdot V_d = \frac{0,465 \cdot 9.231 \cdot 4,32 \cdot 10^4 \cdot 164 \cdot 570}{1,11 \cdot 10^{13}} \cdot 22,8 = 35,6 \text{ kN}$$

Stirnflächenpressung

$$\sigma_{c,0,d;ReDü} = \frac{T_d}{b \cdot h_e} = \frac{35,6 \cdot 10^3}{180 \cdot 20,0} = 9,89 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{c,0,d;ReDü}}{f_{c,0,d}} = \frac{9,89}{12,9} = 0,77 < 1$$

- Abscheren Vorholz

maximale rechnerische Vorholzlänge

$$l_{v,a,calc} \leq 8 \cdot h_e = 8 \cdot 20,0 = 160 \text{ mm} < \min l_{v,a,prov} = 265 \text{ mm}$$

Schubspannung im Vorholz

$$\tau_{v,a,d} = \frac{T_d}{l_{v,a,calc} \cdot b} = \frac{35,6 \cdot 10^3}{160 \cdot 180} = 1,24 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\tau_{v,a,d}}{f_{v,d}} = \frac{1,24}{1,24} = 1,00 = 1$$

- Abscheren Rechteckdübel

$$l_{a,ReDü} \geq 5 \cdot t_e = 5 \cdot 20 = 100 \text{ mm}$$

→ gewählt: $l_{a,ReDü} = 150 \text{ mm}$ (Rechteckdübel aus Eiche der Festigkeitsklasse D30)

Schubspannung

$$\tau_{v,a,d;ReDü} = \frac{T_d}{l_{a,ReDü} \cdot b} = \frac{35,6 \cdot 10^3}{150 \cdot 180} = 1,32 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\tau_{v,a,d;ReDü}}{f_{v,d;ReDü}} = \frac{1,32}{1,40} = 0,94 < 1$$

- Abhebesicherung

$$M_{d,ReDü} = T_d \cdot h_e = 35,6 \cdot 0,020 = 0,712 \text{ kNm}$$

$$D_d = \frac{M_{d,ReDü}}{2/3 \cdot l_{a,ReDü}} = \frac{0,712}{2/3 \cdot 0,150} = 7,12 \text{ kN}$$

Aufnahme der Abhebekraft zwischen den Rechteckdübeln mittels Gewindestangen Ø 12 mm, 5.8 ($f_{uk} = 500 \text{ N/mm}^2$ | $f_{yk} = 400 \text{ N/mm}^2$ | $A_{sp} = 84,3 \text{ mm}^2$) mit Unterlagsscheiben Ø 58 mm, $t = 6 \text{ mm}$

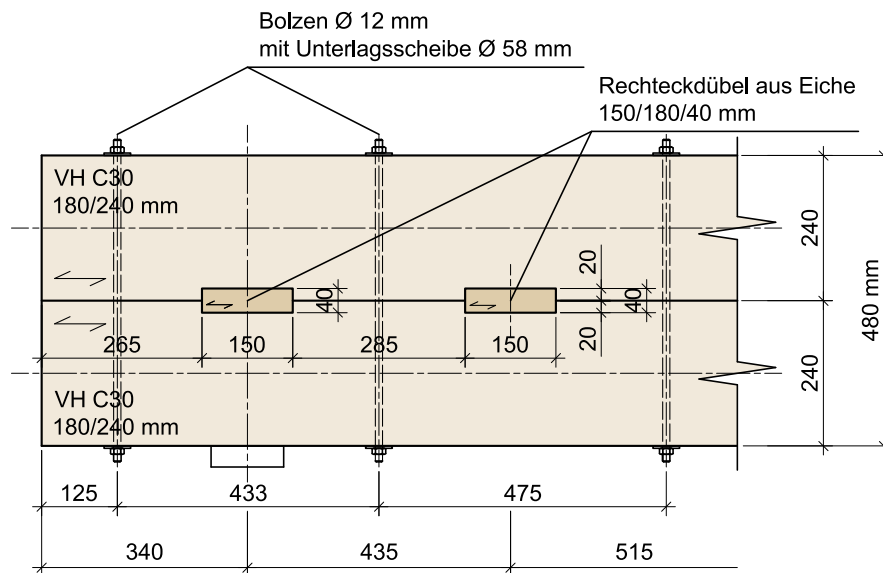
Bemessungswert der Tragfähigkeit auf Herausziehen

$$F_{ax,Rd} = \min \left\{ \begin{aligned} & (A_{US} + 2 \cdot 30 \text{ mm} \cdot d_a) \cdot k_{c,90} \cdot f_{c,90,d} = \min \left\{ \left(\frac{(58,0^2 - 14,0^2) \cdot \pi}{4} + 2 \cdot 30,0 \cdot 58,0 \right) \cdot 3,00 \cdot 1,45 = 25.961 \text{ N} \right. \\ & \left. \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M2}} \cdot A_{sp} = \frac{400}{1,25} \cdot 84,3 = 26.976 \text{ N} \right. \end{aligned} \right\} = 26,0 \text{ kN}$$

Nachweis

$$\frac{D_d}{F_{ax,Rd}} = \frac{6,52}{26,0} = 0,25 < 1$$

Detail Verdübelung am Auflager



Nettoquerschnittsnachweis in der Zugzone

Schnittgrößen (an der Stelle $x = 2,68 \text{ m}$)

$$N_{n,d} = \sigma_{1,d} \cdot A_1 = 2,34 \cdot 4,32 \cdot 10^4 = 101.088 \text{ N} = 101 \text{ kN}$$

$$M_{x,d} = A_d \cdot x - q_d \cdot \frac{x^2}{2} = 22,8 \cdot 2,68 - 7,00 \cdot \frac{2,68^2}{2} = 36,0 \text{ kNm}$$

$$M_{1,d} = M_{2,d} = \frac{1}{2} \cdot \left[M_{x,d} - N_d \cdot \left(\frac{h_1 + h_2}{2} \right) \right] = \frac{1}{2} \cdot \left[36,0 - 101 \cdot \left(\frac{0,240 + 0,240}{2} \right) \right] = 5,88 \text{ kNm}$$

$$M_{n,d} = M_{n,1,d} - N_{n,d} \cdot \frac{h_e}{2} = 5,88 - 101 \cdot \left(\frac{0,020}{2} \right) = 4,87 \text{ kNm}$$

Nettoquerschnittswerte

$$A_n = b \cdot (h - h_e) = 180 \cdot (240 - 20,0) = 3,96 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

$$W_n = \frac{b \cdot (h - h_e)^2}{6} = \frac{180 \cdot (240 - 20,0)^2}{6} = 1,45 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

Spannungen

$$\sigma_{n,t,0,d} = \frac{N_{n,d}}{A_n} = \frac{101 \cdot 10^3}{3,96 \cdot 10^4} = 2,55 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{n,m,d} = \frac{M_{n,d}}{W_n} = \frac{4,87 \cdot 10^6}{1,45 \cdot 10^6} = 3,36 \text{ N/mm}^2$$

Nettoquerschnittsnachweis

$$\frac{\sigma_{n,t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{n,m,d}}{f_{m,d}} = \frac{2,55}{10,2} + \frac{3,36}{16,2} = 0,250 + 0,207 = 0,46 < 1$$

Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

• zum Zeitpunkt $t = 0$

$$E_1 = E_2 = E_{0,mean} = 12.000 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_1 = \frac{1}{1 + \pi^2 \cdot \frac{E_{1,0,t=0} \cdot A_1 \cdot s_{ef}}{K_{ser,t=0} \cdot l^2}} = \frac{1}{1 + \pi^2 \cdot \frac{12.000 \cdot 4,32 \cdot 10^4 \cdot 570}{90,0 \cdot 10^3 \cdot 6.500^2}} = 0,566$$

$$\gamma_2 = 1,00$$

$$a_2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{\gamma_1 \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot (h_1 + h_2) - \gamma_3 \cdot E_3 \cdot A_3 \cdot (h_2 + h_3)}{\sum_{i=1}^3 \gamma_i \cdot E_i \cdot A_i} = \frac{0,566 \cdot 12.000 \cdot 4,32 \cdot 10^4 \cdot \left(\frac{240 + 240}{2}\right) - 0}{0,566 \cdot 12.000 \cdot 4,32 \cdot 10^4 + 1,00 \cdot 12.000 \cdot 4,32 \cdot 10^4} = 86,7 \text{ mm}$$

$$a_1 = \frac{h_1 + h_2}{2} - a_2 = \frac{240 + 240}{2} - 86,7 = 153 \text{ mm}$$

$$(E \cdot I)_{ef,t=0} = \sum_{i=1}^3 (E_i \cdot I_i + \gamma_i \cdot E_i \cdot A_i \cdot a_i^2) = 2 \cdot 12.000 \cdot 2,07 \cdot 10^8 + 0,566 \cdot 12.000 \cdot 4,32 \cdot 10^4 \cdot 153^2 + 1,00 \cdot 12.000 \cdot 4,32 \cdot 10^4 \cdot 86,7^2 =$$

$$= 4,97 \cdot 10^{12} + 1,08 \cdot 10^{13} = 1,58 \cdot 10^{13} \text{ Nmm}^2$$

Durchbiegung in Feldmitte

$$w_{m,inst} = \frac{5}{384} \cdot \frac{(g_k + p_k) \cdot l^4}{(E \cdot I)_{ef,t=0}} = \frac{5}{384} \cdot \frac{(1,35 + 3,45) \cdot 6.500^4}{1,58 \cdot 10^{13}} = 7,06 \text{ mm}$$

Grenzwert der Anfangsurchbiegung

$$w_{m,inst,gr} = \frac{l}{300} = \frac{6.500}{300} = 21,7 \text{ mm}$$

Nachweis

$$\frac{w_{m,inst}}{w_{m,inst,gr}} = \frac{7,06}{21,7} = 0,33 < 1$$

• zum Zeitpunkt $t = \infty$

$$E_{1,0,t=\infty} = E_{2,0,t=\infty} = \frac{E_{0,mean}}{1 + k_{def}} = \frac{12.000}{1 + 0,80} = 6.667 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_1 = \frac{1}{1 + \pi^2 \cdot \frac{E_{1,0,t=\infty} \cdot A_1 \cdot s_{ef}}{K_{ser,t=\infty} \cdot l^2}} = \frac{1}{1 + \pi^2 \cdot \frac{6.667 \cdot 4,32 \cdot 10^4 \cdot 570}{34,6 \cdot 10^3 \cdot 6.500^2}} = 0,474$$

$$\gamma_2 = 1,00$$

$$a_2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{\gamma_1 \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot (h_1 + h_2) - \gamma_3 \cdot E_3 \cdot A_3 \cdot (h_2 + h_3)}{\sum_{i=1}^3 \gamma_i \cdot E_i \cdot A_i} = \frac{0,474 \cdot 6.667 \cdot 4,32 \cdot 10^4 \cdot \left(\frac{240+240}{2}\right) - 0}{0,474 \cdot 6.667 \cdot 4,32 \cdot 10^4 + 1,00 \cdot 6.667 \cdot 4,32 \cdot 10^4} = 77,2 \text{ mm}$$

$$a_1 = \frac{h_1 + h_2}{2} - a_2 = \frac{240 + 240}{2} - 77,2 = 163 \text{ mm}$$

$$(E \cdot I)_{ef,t=\infty} = \sum_{i=1}^3 (E_i \cdot I_i + \gamma_i \cdot E_i \cdot A_i \cdot a_i^2) = 2 \cdot 6.667 \cdot 2,07 \cdot 10^8 + 0,474 \cdot 6.667 \cdot 4,32 \cdot 10^4 \cdot 163^2 + 1,00 \cdot 6.667 \cdot 4,32 \cdot 10^4 \cdot 77,2^2 =$$

$$= 2,76 \cdot 10^{12} + 5,34 \cdot 10^{12} = 8,10 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

Druchbiegung in Feldmitte

$$w_{m,net,fin} = \frac{5}{384} \cdot \frac{(g_k + \psi_2 \cdot p_k) \cdot l^4}{(E \cdot I)_{ef,t=\infty}} - w_c = \frac{5}{384} \cdot \frac{(1,35 + 0,80 \cdot 3,45) \cdot 6.500^4}{8,10 \cdot 10^{12}} - 0 = 11,8 \text{ mm}$$

Grenzwert der Enddurchbiegung

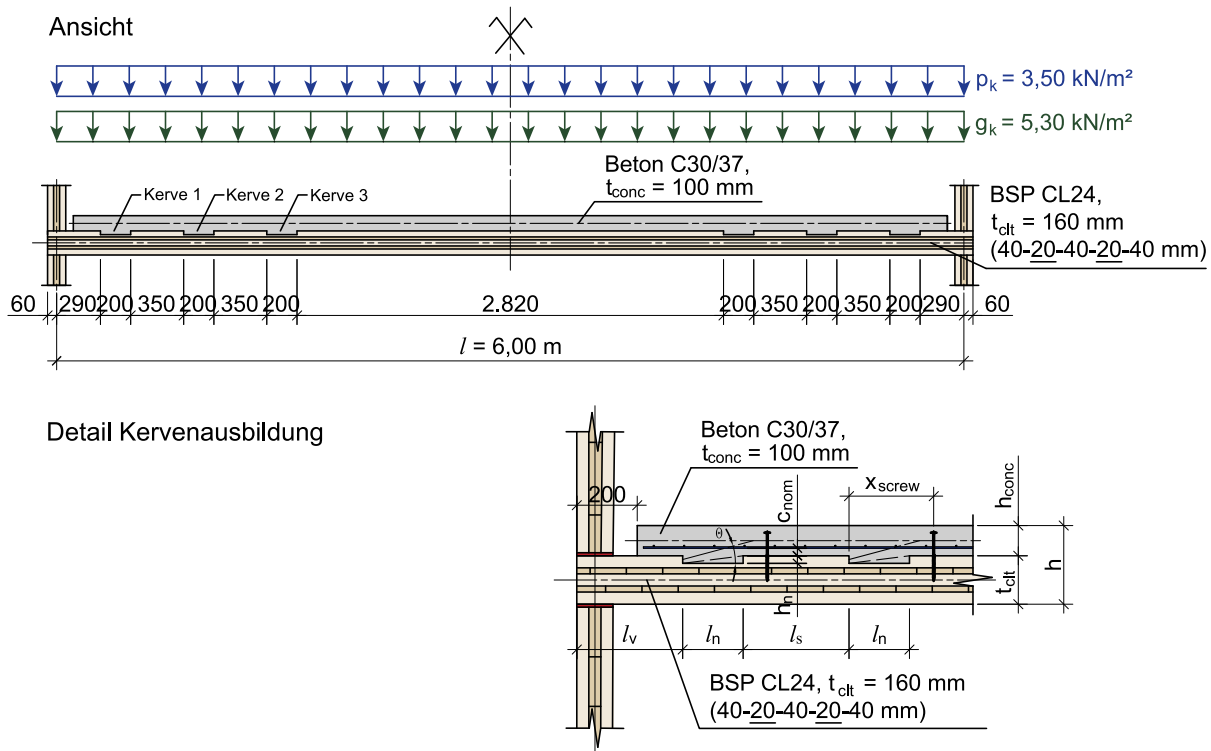
$$w_{m,net,fin,gr} = \frac{l}{250} = \frac{6.500}{250} = 26,0 \text{ mm}$$

Nachweis

$$\frac{w_{m,net,fin}}{w_{m,net,fin,gr}} = \frac{11,8}{26,0} = 0,45 < 1$$

VIII.2 HOLZ-BETON-VERBUND DECKENKONSTRUKTION

Berechnungsgrundlage: ONR CEN/TS 19103:2022-04-01 [5]



gegeben:

Einwirkungen:	charakt. Wert der ständigen Einwirkung	Eigengewicht	$g_{1,k} = 3,30 \text{ kN/m}^2$
		Fußb.-aufbau	$g_{2,k} = 2,00 \text{ kN/m}^2$
	charakt. Wert der veränderl. Einwirkung (inkl. Zwischenwandzuschlag)	Nutzlast	$p_k = 3,50 \text{ kN/m}^2$
Spannweite:	$l = 6,00 \text{ m}$		
Abmessungen:	BSP 5-schichtig, $t_{clt} = 160 \text{ mm}$ (40-20-40-20-40 mm) Beton, $t_{conc} = 100 \text{ mm}$ Bewehrung BST 550 AQ 50 ($a_s = 1,96 \text{ cm}^2/\text{m}$), Betondeckung $c_{nom} = 25 \text{ mm}$		
Material:	BSP CL 24 (mit $k_{sys} = 1,20$) Beton C30/37 ($f_{ck} = 30,0 \text{ N/mm}^2$, $E_{cm} = 33.000 \text{ N/mm}^2$, Grundzahl des Kriechens (Endkriechzahl) $\varphi_0 = 2,50$, Endschwindmaß $\epsilon_{cs,t=\infty} = -0,300 \text{ ‰}$) Betonstahl BST 550 ($f_{y,k} = 550 \text{ N/mm}^2$, $E_s = 200.000 \text{ N/mm}^2$)		
Nutzungsklasse:	NKL 1		
KLED:	„mittel“ $k_{mod} = 0,80 \mid k_{def} = 0,80$		

Annahmen:

- Es wird davon ausgegangen, dass die HBV-Elemente im Herstellwerk produziert werden und bis zur Erreichung der vorgesehenen Betonfestigkeit ohne mechanische Beanspruchung aushärten können.
- Zum Zeitpunkt der Erstbelastung ($t_0 = 28$ Tage) sind weder Kriech-, noch Schwindverformungen zu berücksichtigen. Der angeführte Wert des Endschwindmaßes ist nur bei optimaler Betonrezeptur, der Zugabe von Schwindreduzierern und sorgfältiger Nachbehandlung erreichbar.
- Die Verbundwirkung wird über Kerfen hergestellt. Die baustatische Modellierung erfolgt mit einem Stabwerksmodell.

Einwirkungen

Anmerkung:

Die Einwirkungen werden für einen Plattenstreifen mit der Breite $b = 1,0$ m ermittelt.

quasi-ständiger Anteil der Nutzlast

$$p_{perm,k} = (\psi_2 \cdot p_k) \cdot b = (0,30 \cdot 3,50) \cdot 1,00 = 1,05 \text{ kN/m}$$

kurzzeitiger Anteil der Nutzlast

$$p_{short,k} = ((1 - \psi_2) \cdot p_k) \cdot b = ((1 - 0,30) \cdot 3,50) \cdot 1,00 = 2,45 \text{ kN/m}$$

- Einwirkungen im Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS)

Grundkombination

$$q_d = (\sum \gamma_{G,j} \cdot g_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \cdot q_{k,i}) \cdot b = (1,35 \cdot (3,30 + 2,00) + 1,50 \cdot 3,50) \cdot 1,00 = 12,4 \text{ kN/m}$$

quasi-ständiger Anteil

$$q_{q-st,d} = (\sum \gamma_{G,j} \cdot g_{k,j} + \sum \gamma_{Q,i} \cdot q_{perm,k}) \cdot b = (1,35 \cdot (3,30 + 2,00) + 1,50 \cdot 1,05) \cdot 1,00 = 8,73 \text{ kN/m}$$

kurzzeitiger Anteil der veränderlichen Einwirkung

$$q_{short,d} = (\sum \gamma_Q \cdot q_{kurz,k}) \cdot b = (1,50 \cdot 2,45) \cdot 1,00 = 3,68 \text{ kN/m}$$

- Einwirkungen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (SLS)

seltene Einwirkungskombination

$$q_{Ed,rare} = (\sum g_{k,j} + \sum q_{k,i}) \cdot b = ((3,30 + 2,00) + 3,50) \cdot 1,00 = 8,80 \text{ kN/m}$$

quasi-ständige Einwirkungskombination

$$q_{Ed,perm} = (\sum g_{k,j} + \sum q_{k,i}) \cdot b = ((3,30 + 2,00) + 1,05) \cdot 1,00 = 6,35 \text{ kN/m}$$

kurzzeitiger Anteil der veränderlichen Einwirkung

$$q_{Ed,short} = (\sum q_{short,k}) \cdot b = 2,45 \cdot 1,00 = 2,45 \text{ kN/m}^2$$

Baustoffkenngrößen

charakteristischer Wert der Biegefestigkeit BSP:	$f_{m,lay,k} = 28,8 \text{ N/mm}^2$	Tab. III.22
charakteristischer Wert der Zugfestigkeit BSP:	$f_{t,0,lay,k} = 17,4 \text{ N/mm}^2$	Tab. III.22
charakteristischer Wert der Druckfestigkeit BSP:	$f_{c,0,lay,k} = 25,2 \text{ N/mm}^2$	Tab. III.22
charakteristischer Wert der Schubfestigkeit BSP:	$f_{v,lay,k} = 2,30 \text{ N/mm}^2$	Tab. III.22
charakteristischer Wert der Rollschubfestigkeit BSP:	$f_{r,lay,k} = 1,00 \text{ N/mm}^2$	Tab. III.22
Modifikationsbeiwert Holz:	$k_{mod} = 0,80$	Tab. III.5
Verformungsbeiwert Holz:	$k_{def} = 0,80$	Tab. III.6
Teilsicherheitsbeiwert Holz:	$\gamma_M = 1,25$	Tab. III.3
charakteristischer Wert der Druckfestigkeit Beton:	$f_{ck} = 30,0 \text{ N/mm}^2$	
Teilsicherheitsbeiwert Beton:	$\gamma_{conc} = 1,50$	
Teilsicherheitsbeiwert Schwinden:	$\gamma_{SH} = 1,35$	
Teilsicherheitsbeiwert Betonstahl:	$\gamma_s = 1,15$	
Teilsicherheitsbeiwert Verbindung (HBV):	$\gamma_{M,Verb} = 1,25$	

Bemessungswerte

$$f_{clt,m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,lay,k}}{\gamma_M} = 0,80 \cdot \frac{28,8}{1,25} = 18,4 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Annahme: } k_{sys} = 1,20)$$

$$f_{clt,t,0,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{t,0,lay,k}}{\gamma_M} = 0,80 \cdot \frac{17,4}{1,25} = 11,1 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Annahme: } k_{sys} = 1,20)$$

$$f_{clt,c,0,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,0,lay,k}}{\gamma_M} = 0,80 \cdot \frac{25,2}{1,25} = 16,1 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Annahme: } k_{sys} = 1,20)$$

$$f_{clt,v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,lay,k}}{\gamma_M} = 0,80 \cdot \frac{2,30}{1,25} = 1,47 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{clt,r,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{r,lay,k}}{\gamma_M} = 0,80 \cdot \frac{1,00}{1,25} = 0,640 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{conc,cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{conc,ck}}{\gamma_{conc}} = 1,00 \cdot \frac{30,0}{1,50} = 20,0 \text{ N/mm}^2$$

zeitabhängige Eigenschaften des Betons

- Ermittlung des Kriechbeiwertes laut EN 1992-1-1:2015, Anhang B [6]

Grundzahl des Kriechens (Endkriechmaß): $\varphi_0 = 2,50$

- Ermittlung der Schwindbeiwerte laut ONR CEN/TS 19103:2022, Abschnitt 7.1.2 (9) [5]

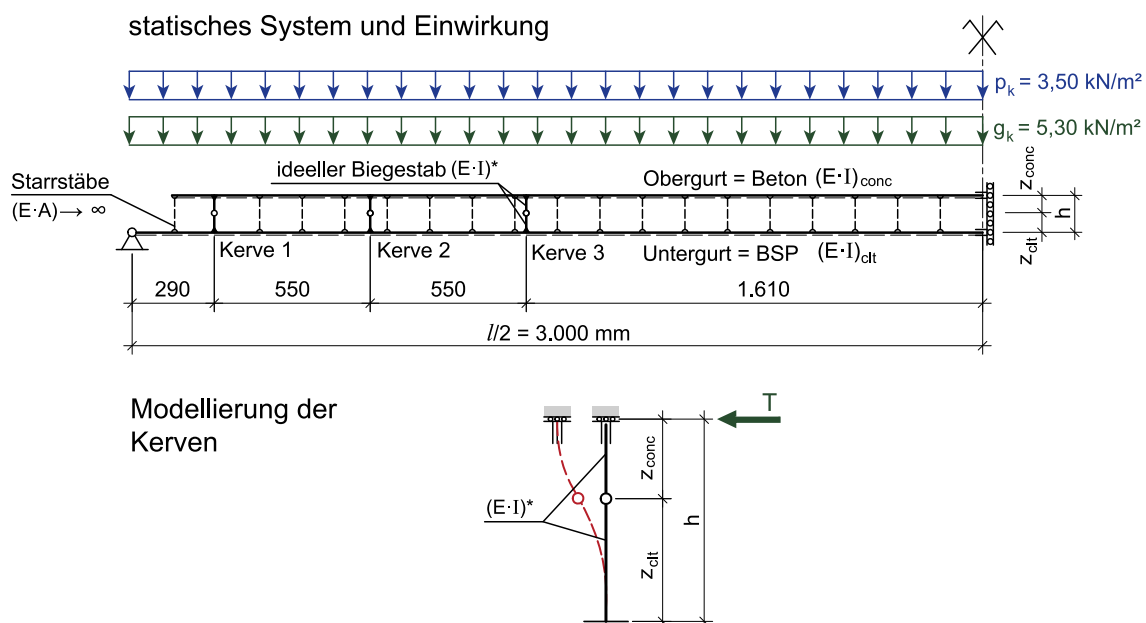
Bemessungswert des Endschwindmaßes

$$\varepsilon_{cs,d;t=\infty} = \gamma_{SH} \cdot \varepsilon_{cs;t=\infty} = 1,35 \cdot (-0,300) = -0,405 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_{ef,conc,d}(t=t_0) = 0$$

$$\varepsilon_{ef,conc,d}(t=\infty) = 0,9 \cdot \varepsilon_{conc,d} = 0,9 \cdot (-0,405) = -0,365 \text{ ‰}$$

baustatische Modellierung mit dem Stabwerksmodell nach Rautenstrauch [23]



Anmerkung:

Alle nachfolgenden Berechnungen erfolgen für einen Plattenstreifen mit der Breite $b = 1,0 \text{ m}$. Auf die Angabe der physikalischen Einheiten pro m wird, falls nicht erforderlich, verzichtet.

NACHWEISE IM GRENZZUSTAND DER TRAGFÄHIGKEIT (ULS)

Berechnung mit den Anfangssteifigkeiten (zum Zeitpunkt $t = 0$)

- Querschnittswerte der Brettsperrholzplatte
- Bemessungswert des E-Moduls

$$E_{clt,0,mean,d;t=0} = \frac{E_{0,lay,mean}}{\gamma_M} = \frac{11.500}{1,25} = 9.200 \text{ N/mm}^2$$

b_i	h_i	$e_{z,i}$	$E_{clt,0,mean,d;i}$	n_i	$n_i \cdot A_i$	$n_i \cdot A_i \cdot e_{z,i}$	$n_i \cdot I_{eig,i}$	$e_{z,i} - e_{z,s}$	$n_i \cdot A_i \cdot (e_{z,i} - e_{z,s})^2$
[mm]	[mm]	[mm]	[N/mm ²]	[-]	[mm ²]	[mm ³]	[mm ⁴]	[mm]	[mm ⁴]
1.000	40,0	20,0	9.200	1,00	$4,00 \cdot 10^4$	$8,00 \cdot 10^5$	$5,33 \cdot 10^6$	- 60,0	$1,44 \cdot 10^8$
	<u>20,0</u>	50,0	0	0	0	0	0	- 30,0	0
	40,0	80,0	9.200	1,00	$4,00 \cdot 10^4$	$3,20 \cdot 10^6$	$5,33 \cdot 10^6$	0	0
	<u>20,0</u>	110	0	0	0	0	0	30,0	0
	40,0	140	9.200	1,00	$4,00 \cdot 10^4$	$5,60 \cdot 10^6$	$5,33 \cdot 10^6$	60,0	$1,44 \cdot 10^8$
Summe					$1,20 \cdot 10^5$	$9,60 \cdot 10^6$	$1,60 \cdot 10^7$		$2,88 \cdot 10^8$

Lage des Teilflächenschwerpunktes BSP

$$e_{z,s} = \frac{\sum n_i \cdot A_i \cdot e_{z,i}}{\sum n_i \cdot A_i} = \frac{9,60 \cdot 10^6}{1,20 \cdot 10^5} = 80,0 \text{ mm}$$

Trägheitsmoment des BSPs

$$I_{clt} = \sum n_i \cdot I_{eig,i} + \sum n_i \cdot A_i \cdot (e_{z,i} - e_{z,s})^2 = 1,60 \cdot 10^7 + 2,88 \cdot 10^8 = 3,04 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

Querschnittswerte des ungerissenen Betonquerschnitts (Zustand I)

Baustoffkenngrößen und n-Ziffer

$$E_{conc,d;t=0} = \frac{E_{cm}}{\gamma_M} = \frac{33.000}{1,50} = 22.000 \text{ N/mm}^2 \quad E_{s,d} = \frac{E_s}{\gamma_M} = \frac{200.000}{1,15} = 173.913 \text{ N/mm}^2 \quad n_{s,d;t=0} = \frac{E_{s,d}}{E_{conc,d;t=0}} = \frac{173.913}{22.000} = 7,91$$

wirksame Dehnsteifigkeit des Betonquerschnitts (im Zustand I) zum Zeitpunkt $t = 0$

$$(E \cdot A)_{ef,conc,I,d;t=0} = E_{conc,d;t=0} \cdot [A_{conc} + (n_{s,d} - 1) \cdot A_s] = 22.000 \cdot [1.000 \cdot 100 + (7,91 - 1) \cdot 196] = 22.000 \cdot 1,01 \cdot 10^5 = 2,23 \cdot 10^9 \text{ N}$$

Verschiebung des Betonteilflächenschwerpunktes

$$\Delta z_{t=0} = \frac{(E \cdot A)_{s,d} \cdot z_s}{(E \cdot A)_{ef,conc,d;t=0}} = \frac{173.913 \cdot 196 \cdot (50,0 - 27,5)}{2,23 \cdot 10^9} = 0,344 \text{ mm}$$

Trägheitsmoment des Betonquerschnitts (im Zustand I) (Bezugs E-Modul = $E_{conc,d;t=0} = 22.000 \text{ N/mm}^2$)

$$I_{ef,conc,I,d;t=0} = \sum n_i \cdot I_{eig,i} + \sum n_i \cdot A_i \cdot (e_{z,i} - e_{z,s})^2 = 1,00 \cdot \frac{1.000 \cdot 100^3}{12} + \approx 0 + 1,00 \cdot 1.000 \cdot 100 \cdot 0,344^2 + (7,91 - 1) \cdot 196 \cdot (50,0 - 27,5 - 0,344)^2 = 8,40 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

- Ermittlung der ideellen Biegesteifigkeit einer Schubkonsole

Anmerkung:

Die Kerne wird im baustatischen Modell als eingespannter Biegeträger mit gelenkiger Kopplung auf der mittleren Höhe der Kerne angenommen. Zur Berücksichtigung im Rechenmodell ist eine ideelle Biegesteifigkeit $(E \cdot I)^*$ zu ermitteln.

Höhe der Kerne $h_n = 25,0 \text{ mm}$

Verschiebungsmodul gemäß ONR CEN/TS 19103:2022 [5]

$$K_{\text{ser}} = K_{\text{ser}, h_n=20\text{mm}} + \frac{K_{\text{ser}, h_n=30\text{mm}} - K_{\text{ser}, h_n=20\text{mm}}}{30,0\text{mm} - 20,0\text{mm}} \cdot (h_n - 20,0) = 1.000 + \frac{1.500 - 1.000}{30,0 - 20,0} \cdot (25,0 - 20,0) = 1.250 \text{ kN/mm/m}$$

Anmerkung:

Der angeführte Verschiebungsmodul bezieht sich auf eine Kerne in Vollholz bzw. BSH. Für BSP sollte (bis zur genaueren Festlegung auf prüftechnischer Basis) auf Grund der „weichen“, auf Rollschub beanspruchten, Querlage unter der Kerne eine geschätzte Abminderung von rund 25% in Rechnung gestellt werden (siehe auch Loebus [24]).

Bemessungswerte des Verschiebungsmoduls für die HBV-Konstruktion

$$K_{\text{clt}, u; t=0} = K_{\text{clt}, \text{ser}; t=0} \approx 0,75 \cdot K_{\text{ser}} \approx 0,75 \cdot 1.250 = 938 \text{ kN/mm/m}$$

$$K_{\text{clt}, u, d; t=0} = \frac{K_{\text{clt}, u; t=0}}{\gamma_{M, \text{Verb}}} = \frac{938}{1,25} = 750 \text{ kN/mm/m}$$

Biegesteifigkeit der Schubkonsole (unter Anwendung des Modells B nach Rautenstrauch [23])

$$(E \cdot I)^*_{\text{Konsol}; t=0} = \frac{K_{\text{clt}, u, d; t=0}}{3} \cdot (z_{\text{clt}}^3 + z_{\text{conc}}^3) = \frac{750 \cdot 10^3}{3} \cdot \left((80,0 - 12,5)^3 + ((50,0 - 0,344) + 12,5)^3 \right) = 1,37 \cdot 10^{11} \text{ Nmm}^2/\text{m}$$

mit $E_{\text{ref}} = 10.000 \text{ N/mm}^2$ und Bezug auf einen zylindrischen Querschnitt mit $I = \frac{d^4 \cdot \pi}{64}$

ideeller Durchmesser der Schubkonsole

$$d^*_{\text{Konsol}; t=0} = \sqrt[4]{\frac{64 \cdot (E \cdot I)^*_{\text{Konsol}; t=0}}{\pi \cdot E_{\text{ref}}}} = \sqrt[4]{\frac{64 \cdot 1,37 \cdot 10^{11}}{\pi \cdot 10.000}} = 129 \text{ mm}$$

Abstand der Schwerpunktsachse BSP - Stahlbetonquerschnitt

$$h_{t=0} = \frac{h_{\text{clt}}}{2} + \left(\frac{h_{\text{conc}}}{2} - \Delta z_{t=0} \right) = \frac{160}{2} + \left(\frac{100}{2} - 0,344 \right) = 129,7 \text{ mm}$$

Schnittgrößen und Spannungen zum Zeitpunkt $t = 0$ (Beton im Zustand I)

Ergebnisse der Berechnung mit dem Stabwerksmodell nach Rautenstrauch für die Einheitsstreckenlast $q = „1,0“ \text{ kN/m}$ ermittelt mit einem Stabwerksprogramm (Dlubal RStab)

$\rightarrow n_{\text{clt}, d; „1,0“} = -n_{\text{conc}, d; „1,0“} = 21,7 \text{ kN/m}$	$\rightarrow n_{\text{Kerne } 1, d; „1,0“} = 8,04 \text{ kN/m}$
$\rightarrow m_{m, \text{clt}, d; „1,0“} = 1,02 \text{ kNm/m}$	$\rightarrow n_{\text{Kerne } 2, d; „1,0“} = 15,0 - 8,04 = 6,96 \text{ kN/m}$
$\rightarrow m_{m, \text{conc}, d; „1,0“} = 0,670 \text{ kNm/m}$	$\rightarrow n_{\text{Kerne } 3, d; „1,0“} = 21,7 - 15,0 = 6,70 \text{ kN/m}$

- Ermittlung der Spannungen in den Einzelquerschnitten zum Zeitpunkt $t = 0$ (Beton im Zustand I) mit der Grundkombination $q_{Ed,rare} = 8,80 \text{ kN/m}$

$$\rightarrow n_{clt,d} = -n_{conc,d} = 21,7 \cdot 8,80 = 191 \text{ kN/m}$$

$$\rightarrow m_{m,clt,d} = 1,02 \cdot 8,80 = 8,98 \text{ kNm/m}$$

$$\rightarrow m_{m,conc,d} = 0,670 \cdot 8,80 = 5,90 \text{ kNm/m}$$

$$\rightarrow n_{Kerve\ 1,d} = 8,04 \cdot 8,80 = 70,8 \text{ kN/m}$$

$$\rightarrow n_{Kerve\ 2,d} = 6,96 \cdot 8,80 = 61,2 \text{ kN/m}$$

$$\rightarrow n_{Kerve\ 3,d} = 6,70 \cdot 8,80 = 59,0 \text{ kN/m}$$

Ermittlung der Spannungen

Faser z_i	$E_{i,d}$	$n_{i,d}$	A_i	$\sigma_{i,n}$	$m_{i,d}$	I_i	$z_{i,Rand}$	$\sigma_{i,m}$	$\sigma_{i,n} + \sigma_{i,m}$
[mm]	[N/mm ²]	[N/m]	[mm ²]	[N/mm ²]	[Nmm/m]	[mm ⁴]	[mm]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
0	22.000	- 191·10 ³	1,01·10 ⁵	- 1,89	5,90·10 ⁶	8,40·10 ⁷	- 50,3	- 3,53	- 5,42
72,5	173.913		7,91 / 1,01·10 ⁵	- 15,0			+22,2	+12,3	- 2,70
100	22.000		1,01·10 ⁵	- 1,89			+49,7	+3,49	+1,60
100	9.200	191·10 ³	1,20·10 ⁵	+1,59	8,98·10 ⁶	3,04·10 ⁸	- 80,0	- 2,36	- 0,770
260	9.200						+80,0	+2,36	+3,95

Abschätzung der Nulllinienlage im Stahlbetonquerschnitt (1. Abschätzung im Zustand I)

$$z_0 = 0 + \frac{100 - 0}{(-5,42) - 1,60} \cdot (0 - 1,60) = 22,8 \text{ mm} \approx 23,0 \text{ mm}$$

Rissiteration

Anmerkung:

Die exakte Lage der Nulllinie bzw. Risstiefe im Zustand II wurde über ein Tabellenkalkulationsprogramm mittels mehrmaliger Iteration ermittelt. Alternativ kann die Berechnung des Zustandes I ausgelassen und eine 1. Schätzung der Risstiefe mit rund $h_{conc}/4$ bis $h_{conc}/3$ erfolgen.

→ aus den Iterationen folgt das Ergebnis:

Lage der Nulllinie im Betonquerschnitt (Risstiefe): → **$z_0 = 29,0 \text{ mm}$** vom unteren Rand des StahlbetonQS

- Querschnittswerte des gerissenen Betonquerschnitts (im Zustand II) zum Zeitpunkt $t = 0$
- wirksame Dehnsteifigkeit des Betonquerschnitts (im Zustand II) zum Zeitpunkt $t = 0$

$$(E \cdot A)_{ef,conc,II,d;t=0} = E_{conc,d;t=0} \cdot [A_{conc} + n_{s,d} \cdot A_s] = 22.000 \cdot [1.000 \cdot 71,0 + 7,91 \cdot 196] = 22.000 \cdot 7,26 \cdot 10^4 = 1,60 \cdot 10^9 \text{ N}$$

Verschiebung des Betonteilflächenschwerpunktes

$$\Delta z_{II,t=0} = \frac{(E \cdot A)_{s,d} \cdot z_{s,II}}{(E \cdot A)_{ef,conc,II,d;t=0}} = \frac{173.913 \cdot 196 \cdot \left(29,0 + \frac{71,0}{2} - 27,5\right)}{1,60 \cdot 10^9} = 0,788 \text{ mm}$$

Trägheitsmoment des Betonquerschnitts (im Zustand II) (Bezugs E-Modul = $E_{conc,d;t=0} = 22.000 \text{ N/mm}^2$)

$$I_{ef,conc,II,d;t=0} = \sum n_i \cdot I_{eig,i} + \sum n_i \cdot A_i \cdot (e_{z,i} - e_{z,s})^2 =$$

$$= 1,00 \cdot \frac{1.000 \cdot 71,0^3}{12} + \approx 0 + 1,00 \cdot 1.000 \cdot 71,0 \cdot 0,788^2 + 7,91 \cdot 196 \cdot \left(29,0 + \frac{71,0}{2} - 27,5 - 0,788\right)^2 = 3,19 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

- Ermittlung der ideellen Biegesteifigkeit einer Schubkonsole

$$\rightarrow (E \cdot I)_{Konsole;t=0}^* = 1,88 \cdot 10^{11} \text{ Nmm}^2/\text{m} \mid d_{Konsole;t=0}^* = 140 \text{ mm} \mid h_{II;t=0} = 143,7 \text{ mm}$$

Ermittlung der Spannungen im Beton (im Zustand II) und im BSP

- Ergebnisse der Berechnung mit dem Stabwerksmodell nach Rautenstrauch für die Einheitsstreckenlast $q = „1,0“$ kN/m ermittelt mit einem Stabwerksprogramm (Dlubal RStab)

$$\begin{aligned} \rightarrow n_{clt,d; „1,0“} &= -n_{conc,d; „1,0“} = 21,7 \text{ kN/m} & \rightarrow n_{Kerve\ 1,d; „1,0“} &= 8,01 \text{ kN/m} \\ \rightarrow m_{m,clt,d; „1,0“} &= 1,11 \text{ kNm/m} & \rightarrow n_{Kerve\ 2,d; „1,0“} &= 15,0 - 8,01 = 6,99 \text{ kN/m} \\ \rightarrow m_{m,conc,d; „1,0“} &= 0,277 \text{ kNm/m} & \rightarrow n_{Kerve\ 3,d; „1,0“} &= 21,7 - 15,0 = 6,70 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Ermittlung der Spannungen zum Zeitpunkt $t = 0$ (Beton im Zustand II) für die seltene Einwirkungskombination

$q_{Ed,rare} = 8,80$ kN/m $\rightarrow$ zur Kontrolle der Risstiefe

$$\begin{aligned} \rightarrow n_{clt,d} &= -n_{conc,d} = 21,7 \cdot 8,80 = 191 \text{ kN/m} & \rightarrow n_{Kerve\ 1,d} &= 8,01 \cdot 8,80 = 70,5 \text{ kN/m} \\ \rightarrow m_{m,clt,d} &= 1,11 \cdot 8,80 = 9,77 \text{ kNm/m} & \rightarrow n_{Kerve\ 2,d} &= 6,99 \cdot 8,80 = 61,5 \text{ kN/m} \\ \rightarrow m_{m,conc,d} &= 0,277 \cdot 8,80 = 2,44 \text{ kNm/m} & \rightarrow n_{Kerve\ 3,d} &= 6,70 \cdot 8,80 = 59,0 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Faser z_i	$E_{i,d}$	$n_{i,d}$	A_i	$\sigma_{i,n}$	$m_{i,d}$	I_i	$z_{i,Rand}$	$\sigma_{i,m}$	$\sigma_{i,n} + \sigma_{i,m}$
[mm]	[N/mm ²]	[N/m]	[mm ²]	[N/mm ²]	[Nmm/m]	[mm ⁴]	[mm]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
0	22.000	$-191 \cdot 10^3$	$7,26 \cdot 10^4$	- 2,63	$2,44 \cdot 10^6$	$3,19 \cdot 10^7$	- 36,3	- 2,78	- 5,41
71,0	22.000						+34,7	+2,65	+0,02 $\approx$ 0
72,5	173.913		$7,91/7,26 \cdot 10^4$	- 20,8			+36,2	+21,9	+1,10
100	9.200	$191 \cdot 10^3$	$1,20 \cdot 10^5$	+1,59	$9,77 \cdot 10^6$	$3,04 \cdot 10^8$	- 80,0	- 2,57	- 0,980
260	9.200						+80,0	+2,57	+4,16

- Ermittlung der Spannungen zum Zeitpunkt $t = 0$ (Beton im Zustand II) für die quasi-ständige Einwirkungskombination $q_{Ed,perm} = 6,35$ kN/m $\rightarrow$ zur Kontrolle der Betonspannung | zur Ermittlung des Systemkriechbeiwertes des Betons ψ_{conc}

$$\begin{aligned} \rightarrow n_{clt,d} &= -n_{conc,d} = 21,7 \cdot 6,35 = 138 \text{ kN/m} & \rightarrow n_{Kerve\ 1,d} &= 8,01 \cdot 6,35 = 50,9 \text{ kN/m} \\ \rightarrow m_{m,clt,d} &= 1,11 \cdot 6,35 = 7,05 \text{ kNm/m} & \rightarrow n_{Kerve\ 2,d} &= 6,99 \cdot 6,35 = 44,4 \text{ kN/m} \\ \rightarrow m_{m,conc,d} &= 0,277 \cdot 6,35 = 1,76 \text{ kNm/m} & \rightarrow n_{Kerve\ 3,d} &= 6,70 \cdot 6,35 = 42,5 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Druckspannung des Betons am oberen Rand

$$|\sigma_{c,perm}| = \frac{|n_{conc}|}{A_{conc,II}} + \frac{m_{conc}}{I_{conc,II}} \cdot |z_{conc,rand}| = \frac{|-138 \cdot 10^3|}{7,26 \cdot 10^4} + \frac{1,76 \cdot 10^6}{3,19 \cdot 10^7} \cdot \left| -\left(\frac{71,0}{2} + 0,788\right) \right| = 1,90 + 2,00 = 3,90 \text{ N/mm}^2$$

Kontrolle des linearen Kriechverhaltens des Betons lt. ÖNORM EN 1992-1-1 [6]

- seltene LFK: $|\sigma_{c,rare}| = 5,41 \text{ N/mm}^2 < 0,60 \cdot f_{ck} = 0,60 \cdot 30,0 = 18,0 \text{ N/mm}^2$

- quasi-ständige LFK: $|\sigma_{c,perm}| = 3,90 \text{ N/mm}^2 < 0,45 \cdot f_{ck} = 0,45 \cdot 30,0 = 13,5 \text{ N/mm}^2$

$\rightarrow$ es tritt lineares Kriechen im Beton auf

- Ermittlung der Spannungen zum Zeitpunkt $t = 0$ (Beton im Zustand II) für die Grundkombination mit $q_d = 12,4 \text{ kN/m} \rightarrow$ maximale Beanspruchung

$$\begin{aligned} \rightarrow n_{\text{clt,d}} &= -n_{\text{conc,d}} = 21,7 \cdot 12,4 = 269 \text{ kN/m} & \rightarrow n_{\text{Kerve 1,d}} &= 8,01 \cdot 12,4 = 99,3 \text{ kN/m} \\ \rightarrow m_{\text{m,clt,d}} &= 1,11 \cdot 12,4 = 13,8 \text{ kNm/m} & \rightarrow n_{\text{Kerve 2,d}} &= 6,99 \cdot 12,4 = 86,7 \text{ kN/m} \\ \rightarrow m_{\text{m,conc,d}} &= 0,277 \cdot 12,4 = 3,43 \text{ kNm/m} & \rightarrow n_{\text{Kerve 3,d}} &= 6,70 \cdot 12,4 = 83,1 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Faser z_i	$E_{i,d}$	$n_{i,d}$	A_i	$\sigma_{i,n}$	$m_{i,d}$	I_i	$z_{i,Rand}$	$\sigma_{i,m}$	$\sigma_{i,n} + \sigma_{i,m}$
[mm]	[N/mm ²]	[N/m]	[mm ²]	[N/mm ²]	[Nmm/m]	[mm ⁴]	[mm]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
0	22.000	- 269·10 ³	7,26·10 ⁴	- 3,71	3,43·10 ⁶	3,19·10 ⁷	- 36,3	- 3,90	- 7,61
71,0	22.000		7,91/7,26·10 ⁴	- 29,3			+34,7	+3,73	+0,02 ≈ 0
72,5	173.913						+36,2	+30,8	+1,50
100	9.200	269·10 ³	1,20·10 ⁵	+2,24	13,8·10 ⁶	3,04·10 ⁸	- 80,0	- 3,63	- 1,39
260	9.200						+80,0	+3,63	+5,87

- Ermittlung der Spannungen zum Zeitpunkt $t = 0$ (Beton im Zustand II) für die quasi-ständige Beanspruchungssituation $q_{q\text{-st,d}} = 8,73 \text{ kN/m}$

$$\begin{aligned} \rightarrow n_{\text{clt,d}} &= -n_{\text{conc,d}} = 21,7 \cdot 8,73 = 189 \text{ kN/m} & \rightarrow n_{\text{Kerve 1,d}} &= 8,01 \cdot 8,73 = 69,9 \text{ kN/m} \\ \rightarrow m_{\text{m,clt,d}} &= 1,11 \cdot 8,73 = 9,69 \text{ kNm/m} & \rightarrow n_{\text{Kerve 2,d}} &= 6,99 \cdot 8,73 = 61,0 \text{ kN/m} \\ \rightarrow m_{\text{m,conc,d}} &= 0,277 \cdot 8,73 = 2,42 \text{ kNm/m} & \rightarrow n_{\text{Kerve 3,d}} &= 6,70 \cdot 8,73 = 58,5 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Faser z_i	$E_{i,d}$	$n_{i,d}$	A_i	$\sigma_{i,n}$	$m_{i,d}$	I_i	$z_{i,Rand}$	$\sigma_{i,m}$	$\sigma_{i,n} + \sigma_{i,m}$
[mm]	[N/mm ²]	[N/m]	[mm ²]	[N/mm ²]	[Nmm/m]	[mm ⁴]	[mm]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
0	22.000	-189·10 ³	7,26·10 ⁴	- 2,60	2,42·10 ⁶	3,19·10 ⁷	- 36,3	- 2,75	- 5,35
71,0	22.000		7,91/7,26·10 ⁴	- 20,6			+34,7	+2,63	+0,03 ≈ 0
72,5	173.913						+36,2	+21,7	+1,10
100	9.200	189·10 ³	1,20·10 ⁵	+1,58	9,69·10 ⁶	3,04·10 ⁸	- 80,0	- 2,55	- 0,970
260	9.200						+80,0	+2,55	+4,13

- Ermittlung der Spannungen zum Zeitpunkt $t = 0$ (Beton im Zustand II) für den kurzzeitig wirkenden Einwirkungsanteil $q_{\text{short,d}} = 3,68 \text{ kN/m}$

$$\begin{aligned} \rightarrow n_{\text{clt,d}} &= -n_{\text{conc,d}} = 21,7 \cdot 3,68 = 79,9 \text{ kN/m} & \rightarrow n_{\text{Kerve 1,d}} &= 8,01 \cdot 3,68 = 29,5 \text{ kN/m} \\ \rightarrow m_{\text{m,clt,d}} &= 1,11 \cdot 3,68 = 4,08 \text{ kNm/m} & \rightarrow n_{\text{Kerve 2,d}} &= 6,99 \cdot 3,68 = 25,7 \text{ kN/m} \\ \rightarrow m_{\text{m,conc,d}} &= 0,277 \cdot 3,68 = 1,02 \text{ kNm/m} & \rightarrow n_{\text{Kerve 3,d}} &= 6,70 \cdot 3,68 = 24,7 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Faser z_i	$E_{i,d}$	$n_{i,d}$	A_i	$\sigma_{i,n}$	$m_{i,d}$	I_i	$z_{i,Rand}$	$\sigma_{i,m}$	$\sigma_{i,n} + \sigma_{i,m}$
[mm]	[N/mm ²]	[N/m]	[mm ²]	[N/mm ²]	[Nmm/m]	[mm ⁴]	[mm]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
0	22.000	-79,9·10 ³	7,26·10 ⁴	- 1,10	1,02·10 ⁶	3,19·10 ⁷	- 36,3	- 1,16	- 2,26
71,0	22.000		7,91/7,26·10 ⁴	- 8,71			+34,7	+1,11	+0,01 ≈ 0
72,5	173.913						+36,2	+9,16	+0,450
100	9.200	79,9·10 ³	1,20·10 ⁵	+0,666	4,08·10 ⁶	3,04·10 ⁸	- 80,0	- 1,07	- 0,404
260	9.200						+80,0	+1,07	+1,74

Berechnung mit den Endsteifigkeiten (zum Zeitpunkt $t = \infty$)

- Ermittlung des Beiwertes zu Berücksichtigung des Systemkriechverhaltens (siehe [5]; Abschnitt 7.1.2)

$$\gamma_1 = \frac{E_{\text{clt},d;t=0} \cdot A_{\text{clt}} \cdot I_{\text{clt}} \cdot n_{\text{clt},d;t=0}}{E_{\text{conc},d;t=0} \cdot A_{\text{conc,ef}} \cdot (A_{\text{clt}} \cdot m_{\text{clt},d;t=0} \cdot z - I_{\text{clt}} \cdot n_{\text{clt},d;t=0})} = \frac{9.200 \cdot 1,20 \cdot 10^5 \cdot 3,04 \cdot 10^8 \cdot 138 \cdot 10^3}{22.000 \cdot 7,26 \cdot 10^4 \cdot (1,20 \cdot 10^5 \cdot 7,05 \cdot 10^6 \cdot 143,7 - 3,04 \cdot 10^8 \cdot 138 \cdot 10^3)} = 0,364$$

$$\psi_{\text{conc}} = 1,8 - 0,3 \cdot \gamma_1^{2,5} = 1,8 - 0,3 \cdot 0,364^{2,5} = 1,78$$

- E-Moduln und Verschiebungsmodul zum Zeitpunkt $t = \infty$

	BSP	Beton	Kerbe	Betonstahl
$t = 0$	$E_{\text{clt},0,\text{mean},d;t=0} = 9.200 \text{ N/mm}^2$	$E_{\text{conc},d;t=0} = 22.000 \text{ N/mm}^2$	$K_{u,d;t=0} = K_{\text{ser},d;t=0} = 750 \text{ kN/mm/m}$	$E_s = 173.913 \text{ N/mm}^2$
Beiwert Systemkriechverhalten	$\psi_{\text{clt}} = 1,00$	$\psi_{\text{conc}} = 1,78$	$\psi_{\text{con}} = 1,00$	-
Beiwert Langzeitverhalten	$k_{\text{def}} = 0,80$	$\varphi_0 = 2,50$	$k_{\text{def}}' = 2 \cdot k_{\text{def}} = 2 \cdot 0,80 = 1,60$	-
$t = \infty$	$E_{\text{clt},0,\text{mean},d;t=\infty} = \frac{E_{\text{clt},0,\text{mean},d;t=0}}{1 + \psi_{\text{clt}} \cdot k_{\text{def}}} = \frac{9.200}{1 + 1,00 \cdot 0,80} = 5.111 \text{ N/mm}^2$	$E_{\text{conc},d;t=\infty} = \frac{E_{\text{conc},d;t=0}}{1 + \psi_{\text{conc}} \cdot \varphi(\infty, t_0)} = \frac{22.000}{1 + 1,78 \cdot 2,50} = 4.037 \text{ N/mm}^2$	$K_{\text{ser},d;t=\infty} = K_{u,d;t=\infty} = \frac{K_{\text{ser},d;t=0}}{1 + \psi_{\text{con}} \cdot k_{\text{def}}'} = \frac{750}{1 + 1,00 \cdot 1,60} = 288 \text{ kN/mm/m}$	$E_s = 173.913 \text{ N/mm}^2$

- Querschnittswerte des gerissenen Betonquerschnitts (Zustand II) zum Zeitpunkt $t = \infty$
n-Ziffer

$$n_{s,d;t=\infty} = \frac{E_{s,d}}{E_{\text{conc},d;t=\infty}} = \frac{173.913}{4.037} = 43,1$$

wirksame Dehnsteifigkeit des Betonquerschnitts (im Zustand II) zum Zeitpunkt $t = \infty$

$$(E \cdot A)_{\text{ef,conc},d;t=\infty} = E_{\text{conc},d;t=\infty} \cdot [A_{\text{conc}} + n_{s,d;t=\infty} \cdot A_s] = 4.037 \cdot [1.000 \cdot 71,0 + 43,1 \cdot 196] = 4.037 \cdot 7,94 \cdot 10^4 = 3,21 \cdot 10^8 \text{ N}$$

Verschiebung des Betonteilflächenschwerpunktes (im Zustand II)

$$\Delta z_{\text{II},t=\infty} = \frac{(E \cdot A)_{s,d} \cdot z_s}{(E \cdot A)_{\text{ef,conc},d;t=\infty}} = \frac{173.913 \cdot 196 \cdot \left(29,0 + \frac{71,0}{2} - 27,5\right)}{3,21 \cdot 10^8} = 3,93 \text{ mm}$$

Trägheitsmoment des Betonquerschnittes (im Zustand II) (Bezugs E-Modul = $E_{\text{conc},d;t=\infty} = 4.037 \text{ N/mm}^2$)

$$I_{\text{ef,conc},d;t=\infty} = \sum n_i \cdot I_{\text{eig},i} + \sum n_i \cdot A_i \cdot (e_{z,i} - e_{z,s})^2 = 1,00 \cdot \frac{1.000 \cdot 71,0^3}{12} + \approx 0 + 1,00 \cdot 1.000 \cdot 71,0 \cdot 3,93^2 + 43,1 \cdot 196 \cdot \left(29,0 + \frac{71,0}{2} - 27,5 - 3,93\right)^2 = 4,02 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

- Ermittlung der ideellen Biegesteifigkeit einer Schubkonsole

$$\rightarrow (E \cdot I)_{\text{Konsole}; t=\infty}^* = 6,70 \cdot 10^{10} \text{ Nmm}^2/\text{m} \mid d_{\text{Konsole}; t=\infty}^* = 108 \text{ mm} \mid h_{\text{II}; t=\infty} = 140,6 \text{ mm}$$

- Ergebnisse der Berechnung zum Zeitpunkt $t = \infty$ mit dem Stabwerksmodell nach Rautenstrauch für die Einheitsstreckenlast $q = „1,0“ \text{ kN/m}$ ermittelt mit einem Stabwerksprogramm (Dlubal RStab)

$$\begin{aligned} \rightarrow n_{\text{clt},d;\text{fin}, „1,0“} &= -n_{\text{conc},d;\text{fin}, „1,0“} = 19,6 \text{ kN/m} & \rightarrow n_{\text{Kerbe } 1,d;\text{fin}, „1,0“} &= 7,21 \text{ kN/m} \\ \rightarrow m_{\text{m,clt},d;\text{fin}, „1,0“} &= 1,58 \text{ kNm/m} & \rightarrow n_{\text{Kerbe } 2,d;\text{fin}, „1,0“} &= 13,6 - 7,21 = 6,39 \text{ kN/m} \\ \rightarrow m_{\text{m,conc},d;\text{fin}, „1,0“} &= 0,164 \text{ kNm/m} & \rightarrow n_{\text{Kerbe } 3,d;\text{fin}, „1,0“} &= 19,6 - 13,6 = 6,00 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

- Ermittlung der Spannungen zum Zeitpunkt $t = \infty$ (mit Rissiteration) für die quasi-ständige Einwirkungskombination $q_{q-st,d} = 8,73 \text{ kN/m}$

$$\begin{aligned} \rightarrow n_{clt,d} &= -n_{conc,d} = 19,6 \cdot 8,73 = 171 \text{ kN/m} & \rightarrow n_{Kerve\ 1,d} &= 7,21 \cdot 8,73 = 62,9 \text{ kN/m} \\ \rightarrow m_{m,clt,d} &= 1,58 \cdot 8,73 = 13,8 \text{ kNm/m} & \rightarrow n_{Kerve\ 2,d} &= 6,39 \cdot 8,73 = 55,8 \text{ kN/m} \\ \rightarrow m_{m,conc,d} &= 0,164 \cdot 8,73 = 1,43 \text{ kNm/m} & \rightarrow n_{Kerve\ 3,d} &= 6,00 \cdot 8,73 = 52,4 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Faser z_i	$E_{i,d}$	$n_{i,d}$	A_i	$\sigma_{i,n}$	$m_{i,d}$	I_i	$z_{i,Rand}$	$\sigma_{i,m}$	$\sigma_{i,n} + \sigma_{i,m}$
[mm]	[N/mm ²]	[N/m]	[mm ²]	[N/mm ²]	[Nmm/m]	[mm ⁴]	[mm]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
0	4.037	- 171·10 ³	7,94·10 ⁴	- 2,15	1,43·10 ⁶	4,02·10 ⁷	- 39,4	- 1,40	- 3,55
71,0	4.037			43,1 / 7,94 · 10 ⁴			- 92,8	+31,6	+1,12
72,5	173.913		+33,1					+50,7	- 42,1
100	5.111	171·10 ³	1,20·10 ⁵	+1,43	13,8·10 ⁶	3,04·10 ⁸	- 80,0	- 3,63	- 2,20
260	5.111						+80,0	+3,63	+5,06

- unelastische Verzerrungen (Schwinden)

Bemessungswert der effektiven Schwindverformung

$$\varepsilon_{ef,conc,d}(t = \infty) = 0,9 \cdot \varepsilon_{conc,d} = 0,9 \cdot (-0,405) = -0,365 \text{ ‰}$$

Schnittgrößen und Spannungen

$$\begin{aligned} \rightarrow n_{clt,d;SH} &= -n_{conc,d;SH} = - 22,3 \text{ kN/m} & \rightarrow n_{Kerve\ 1,d;SH} &= - 16,9 \text{ kN/m} \\ \rightarrow m_{m,clt,d;SH} &= 2,84 \text{ kNm/m} & \rightarrow n_{Kerve\ 2,d;SH} &= - 21,2 - (- 16,9) = - 4,30 \text{ kN/m} \\ \rightarrow m_{m,conc,d;SH} &= 0,296 \text{ kNm/m} & \rightarrow n_{Kerve\ 3,d;SH} &= - 22,3 - (- 21,2) = - 1,10 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Faser z_i	$E_{i,d}$	$n_{i,d}$	A_i	$\sigma_{i,n}$	$m_{i,d}$	I_i	$z_{i,Rand}$	$\sigma_{i,m}$	$\sigma_{i,n} + \sigma_{i,m}$
[mm]	[N/mm ²]	[N]	[mm ²]	[N/mm ²]	[Nmm]	[mm ⁴]	[mm]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
0	4.037	+22,3·10 ³	7,94·10 ⁴	+ 0,281	0,296·10 ⁶	4,02·10 ⁷	- 39,4	- 0,290	- 0,009
71,0	4.037						+ 31,6	+ 0,233	+ 0,514
72,5	173.913						+ 33,1	+ 10,5	+ 22,6
100	5.111	- 22,3·10 ³	1,20·10 ⁵	- 0,186	2,84·10 ⁶	3,04·10 ⁸	- 80,0	- 0,747	- 0,933
260	5.111						+ 80,0	+ 0,747	+ 0,561

Kräfte und Spannungen nach 3 bis 7 Jahren (siehe auch [22])

Anmerkung:

Die Baustoffe Holz und Beton weisen, sowohl was die Quantität, als auch den zeitlichen Verlauf betrifft, unterschiedliches Kriechverhalten auf. Auf das Verbundverhalten der Konstruktion bezogen liegen komplexe Verhältnisse vor, die von mehreren Parametern beeinflusst werden. Neben dem zeitlichen Verhalten des Holzes (Schwinden, Kriechen) und der Verbindung betrifft dies vor allem das Verhalten des Betons, auf welches nachfolgend eingegangen wird:

Der Beton härtet mit der Zeit nach, weiters nehmen die Kriechverformungen bei einem späteren Belastungsbeginn ab. Der Beton entwickelt die Kriechverformungen dabei deutlich rascher (mit einem Maximum nach 3 bis 7 Jahren) als das Holz, sodass kritische bzw. bemessungsrelevante Zwischenzustände in der HBV-Konstruktion entstehen können. Im Bereich des Zeitraumes zwischen 3 und 7 Jahren kriecht der Beton in Relation zum Holz rascher und „entzieht“ sich damit der Belastung. Im Zuge dessen kommt es zu einer Umlagerung der Beanspruchung bzw. der Spannungen auf das Holz, welches damit stärker beansprucht wird. Gleichzeitig tritt mit der Abnahme der Steifigkeit des Betonquerschnitts eine Verringerung von dessen Beanspruchung auf, welche sowohl in einer Reduktion der auftretenden (Verbund-) Normalkraft, als auch der Biegebeanspruchung des Betons resultiert. Über die Verbundmittel (Kerven) sind die Normalkräfte der beiden Verbundpartner gekoppelt, sodass

auch die Normalkraft im Holzbauteil abnimmt. Die angesprochene Spannungumlagerung findet daher vorwiegend über die Biegebeanspruchungszunahme des Holzbauteiles statt. Alle weiteren Schnittgrößen sowie die Kraft in den Kernen weisen im Allgemeinen dann ihr Maximum auf, wenn die Steifigkeiten am Höchsten sind, d. h. im Allgemeinen zum Zeitpunkt $t = 0$.

Um mögliche ungünstige Beanspruchungen nach einer Zeitdauer von 3 bis 7 Jahren in der Nachweisführung zu berücksichtigen, sind diese, neben jenen zum Zeitpunkt $t = 0$ und $t = \infty$, nachzuweisen. Nach ONR CEN/TS 19103:2022, Abschnitt 7.1.2 [5] darf ein detaillierter Nachweis der Spannungen nach 3 bis 7 Jahren entfallen, wenn die Spannungen im Holz zu den Zeitpunkten $t = 0$ und $t = \infty$ infolge der quasi-ständigen Einwirkungskombinationen um 25% erhöht werden und der Grenzzustand der Tragfähigkeit im Holzquerschnitt unter den erhöhten Spannungen weiterhin eingehalten ist.

Überprüfung, ob die Kräfte und Spannungen nach 3 bis 7 Jahren nachzuweisen sind:

- zum Zeitpunkt $t = 0$
- für die quasi-ständige Einwirkungskombination

$$\eta_{\text{clt,perm,d};t=0} = \frac{\sigma_{\text{clt,t,d};t=0}}{f_{\text{clt,t,0,d}}} + \frac{\sigma_{\text{clt,m,d};t=0}}{f_{\text{clt,m,d}}} = \frac{1,58}{11,1} + \frac{2,55}{18,4} = 0,142 + 0,139 = 0,281$$

- für den kurzzeitig wirkenden Anteil der Einwirkungskombination

$$\eta_{\text{clt,short,d};t=0} = \frac{\sigma_{\text{clt,t,d};t=0}}{f_{\text{clt,t,0,d}}} + \frac{\sigma_{\text{clt,m,d};t=0}}{f_{\text{clt,m,d}}} = \frac{0,666}{11,1} + \frac{1,07}{18,4} = 0,0600 + 0,0582 = 0,118$$

- zum Zeitpunkt $t = \infty$
- für die quasi-ständige Einwirkungskombination

$$\eta_{\text{clt,perm,d};t=\infty} = \frac{\sigma_{\text{clt,t,d};t=\infty}}{f_{\text{clt,t,0,d}}} + \frac{\sigma_{\text{clt,m,d};t=\infty}}{f_{\text{clt,m,d}}} = \frac{1,43}{11,1} + \frac{3,63}{18,4} = 0,129 + 0,197 = 0,326$$

→ ist der Spannungsnachweis für das BSP bei Erhöhung der Spannungen für die quasi-ständige Einwirkungskombination um 25% weiterhin erfüllt, erübrigt sich der Nachweis zum Zeitpunkt $t = 3$ und 7 Jahre:

$$t = 0: \quad 1,25 \cdot \eta_{\text{clt,perm,d};t=0} + \eta_{\text{clt,short,d};t=0} = 1,25 \cdot 0,281 + 0,118 = 0,47 < 1,0$$

$$t = \infty: \quad 1,25 \cdot \eta_{\text{clt,perm,d};t=\infty} + \eta_{\text{clt,short,d};t=0} = 1,25 \cdot 0,326 + 0,118 = 0,53 < 1,0$$

→ , d. h. es sind keine zusätzlichen Zeitpunkte zu betrachten.

Zusammenfassung der Schnittgrößen im Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS)

Spg.	Faser	zum Zeitpunkt $t = 0$			Endwert der Spannungsverteilung gemäß TS/CEN 19103, Absch. 4.2 (2) [5]								
		$q_d; t=0 = 12,4 \text{ kN/m}$		Summe	aus $q_{\text{short,d}; t=0}$		aus $q_{\text{q-st,d}; t=\infty}$		aus $\epsilon_{\text{ef,conc,d}; t=\infty}$		Summe		Summe n + m
		aus n	aus m		aus n	aus m	aus n	aus m	aus n	aus m	aus n	aus m	
[-]	[mm]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]
$\sigma_{\text{conc,o,d}}$	0	- 3,71	- 3,90	- 7,61	- 1,10	- 1,16	- 2,15	- 1,40	+ 0,281	- 0,290	- 2,97	- 2,85	- 5,82
$\sigma_{\text{conc,0,d}}$	71,0		+ 3,73	+ 0,02 ≈ 0		+ 1,11		+ 1,12		+ 0,233		+ 2,46	- 0,510
$\sigma_{\text{s,d}}$	72,5	- 29,3	+ 30,8	+ 1,50	- 8,71	+ 9,16	- 92,8	+ 50,7	+ 12,1	+ 10,5	- 89,4	+ 70,4	- 19,0
$\sigma_{\text{clt,o,d}}$	100	+ 2,24	- 3,63	- 1,39	+ 0,666	- 1,07	+ 1,43	- 3,63	- 0,186	- 0,747	+ 1,91	- 5,45	- 3,54
$\sigma_{\text{clt,u,d}}$	260		+ 3,63	+ 5,87		+ 1,07		+ 3,63		+ 0,747		+ 5,45	+ 7,36

Kräfte in den Kerven

Kerbe	zum Zeitpunkt $t = 0$	Endwert der Spannungsverteilung gemäß TS/CEN 19103, Absch. 4.2 (2) [5]			
	$q_d; t=0 = 12,4 \text{ kN/m}$	aus $q_{\text{short},d; t=0}$	aus $q_{\text{q-st},d; t=\infty}$	aus $\epsilon_{\text{ef,conc},d; t=\infty}$	Summe
	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
$n_{\text{Kerbe},1,d}$	99,3	29,5	62,9	- 16,9	75,5
$n_{\text{Kerbe},2,d}$	86,7	25,7	55,8	- 4,30	77,2
$n_{\text{Kerbe},3,d}$	83,1	24,7	52,4	- 1,10	76,0

Nachweisführungen im Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS)

- Nachweis der Normalspannungen im BSP und im Beton

- im BSP-Querschnitt

$$\frac{\sigma_{\text{clt},t,0,d}}{f_{\text{clt},t,0,d}} + \frac{\sigma_{\text{clt},m,d}}{f_{\text{clt},m,d}} = \frac{2,28}{11,1} + \frac{5,45}{18,4} = 0,205 + 0,296 = 0,50 < 1$$

- im Betonquerschnitt

$$\frac{\sigma_{\text{conc},c,d}}{f_{\text{conc},c,d}} = \frac{7,61}{20,0} = 0,38 < 1$$

- Nachweis der Verbindung (Kerbe)

Druckstrebenneigung

$$\min \Theta = \max \left\{ \arctan \left(\frac{0,5 \cdot (h_c + h_n)}{l_n + l_s} \right), \arctan \left(\frac{h_n}{l_n} \right) \right\} = \max \left\{ \arctan \left(\frac{0,5 \cdot (100 + 25,0)}{200 + 350} \right), \arctan \left(\frac{25,0}{200} \right) \right\} = \max \{ 6,48^\circ, 7,13^\circ \} = 7,13^\circ$$

$$\max \Theta = 45^\circ$$

gewählt: $\Theta = 10,0^\circ$

Versagensmodi der Kerbe

(a) Schubversagen des Betons

$$v = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{30,0}{250} \right) = 0,528$$

$$f_{\text{conc,vcd}} = \frac{v \cdot f_{\text{conc,cd}}}{\cot \theta + \tan \theta} = \frac{0,528 \cdot 20,0}{\cot(10,0) + \tan(10,0)} = 1,81 \text{ N/mm}^2$$

$$F_{\text{Rd,a}} = f_{\text{conc,vcd}} \cdot b_n \cdot l_n = 1,81 \cdot 1.000 \cdot 200 = 362.000 \text{ N} = 362 \text{ kN}$$

(b) Druckversagen Beton

$$F_{\text{Rd,b}} = f_{\text{conc,cd}} \cdot b_n \cdot h_n = 20,0 \cdot 1.000 \cdot 25,0 = 500.000 \text{ N} = 500 \text{ kN}$$

(c) Schubversagen BSP

$$l_{\text{v,a,calc}} \leq 8 \cdot h_n = 8 \cdot 25,0 = 200 \text{ mm} < \min l_{\text{v,a}} = 350 \text{ mm}$$

$$F_{\text{Rd,c}} = k_{cr} \cdot f_{\text{clt},v,d} \cdot b_n \cdot l_{\text{v,a,calc}} = 1,00 \cdot 1,47 \cdot 1.000 \cdot 8 \cdot 25,0 = 294.000 \text{ N} = 294 \text{ kN}$$

(d) Druckversagen Holz

$$F_{Rd;d} = f_{ct,c,0,d} \cdot b_n \cdot h_n = 16,1 \cdot 1.000 \cdot 25,0 = 402.500 \text{ N} = 403 \text{ kN}$$

Zusammenfassung der Tragfähigkeiten für die jeweiligen Versagensmodi

$$F_{Rd} = \min \begin{cases} F_{Rd;a} \\ F_{Rd;b} \\ F_{Rd;c} \\ F_{Rd;d} \end{cases} = \min \begin{cases} 362 \text{ kN} \\ 500 \text{ kN} \\ 294 \text{ kN} \\ 403 \text{ kN} \end{cases} = 294 \text{ kN}$$

Nachweis der Tragfähigkeit der Kerne

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{Rd}} = \frac{99,3}{294} = 0,34 < 1$$

• Nachweis der Abhebesicherung

- Einwirkung

$$F_{v,Ed} = \max n_{Kernd,d} = 99,3 \text{ kN}$$

$$F_{t,Ed} = \max \begin{cases} F_{v,Ed} \cdot \tan \theta \\ 0,1 \cdot F_{v,Ed} \end{cases} = \max \begin{cases} 99,3 \cdot \tan(10,0) = 17,5 \text{ kN} \\ 0,1 \cdot 99,3 = 9,93 \text{ kN} \end{cases} = 17,5 \text{ kN}$$

gewählt: 4 x Ø 8 | 160 mm pro m, $l_{1,g} = l_{ef} = 80,0 \text{ mm}$

- Tragfähigkeit einer Schraube auf Herausziehen

$$f_{ax,k} = 0,52 \cdot d^{-0,5} \cdot l_{ef}^{-0,1} \cdot \rho_k^{0,8} = 0,52 \cdot 8,00^{-0,5} \cdot 80,0^{-0,1} \cdot 385^{0,8} = 13,9 \text{ N/mm}^2$$

$$k_d = \min \begin{cases} \frac{d}{8} \\ 1 \end{cases} = \min \begin{cases} \frac{8,00}{8} = 1,00 \\ 1 \end{cases} = 1,00$$

$$F_{ax,d} = \min \begin{cases} \frac{f_{ax,k} \cdot d \cdot l_{ef} \cdot k_d}{1,2 \cdot \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_{M,Verb}} \\ A_s \cdot \frac{0,9 \cdot f_{u,k}}{\gamma_{M2}} \end{cases} = \min \begin{cases} \frac{13,9 \cdot 8,00 \cdot 80,0 \cdot 1,00}{1,2 \cdot \cos^2 90,0 + \sin^2 90} \cdot \frac{0,80}{1,30} \\ \frac{(0,65 \cdot 8,00)^2 \cdot \pi}{4} \cdot \frac{0,9 \cdot 950}{1,25} \end{cases} = \min \begin{cases} 5.474 \text{ N} \\ 14.526 \text{ N} \end{cases} = 5,47 \text{ kN}$$

$$R_{ax,d} = n \cdot F_{ax,k} = 4 \cdot 5,47 = 21,9 \text{ kN} \quad \text{mit } n_{ef} = n \text{ (Annahme)}$$

Nachweis

$$\frac{F_{ax,d}}{R_{ax,d}} = \frac{17,5}{21,9} = 0,80 < 1$$

• Nachweis der Querkrafttragfähigkeit bzw. der Schubspannungen

Anmerkung:

Das verwendete Stabwerksmodell ist in der angewandten Form nicht in der Lage, die in der Verbundkonstruktion, insbesondere im Bereich des Betonbauteils vor der 1. Kerne, auftretende Querkraft zuverlässig abzubilden. Die Ergebnisse hängen vom Abstand der starren Koppelstäben ab. Auf der konservativen Seite liegend wird die Querkrafttragfähigkeit der Holz-Beton-Verbunddeckenkonstruktion so nachgewiesen, dass die gesamte Querkraft am Auflager von der BSP-Platte abgetragen wird.

Bemessungswert der Einwirkung

$$v_{\text{clt,d}} = q_d \cdot \frac{l}{2} = 12,4 \cdot \frac{6,00}{2} = 37,2 \text{ kN/m}$$

statische Momente

• für den Längsschub

$$S_{\text{clt},\tau} = \frac{b}{2} \cdot \left[t_1 \cdot (h_{\text{CLT}} - t_1) + \frac{t_3^2}{4} \right] = \frac{1.000}{2} \cdot \left[40,0 \cdot (160 - 40,0) + \frac{40,0^2}{4} \right] = 2,60 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

• für den Rollschub

$$S_{\text{clt,r}} = b \cdot t_1 \cdot \frac{1}{2} \cdot (t_{\text{CLT}} - t_1) = 1.000 \cdot 40,0 \cdot \frac{1}{2} \cdot (160 - 40,0) = 2,40 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

Schubspannung

$$\tau_{\text{clt,d}} = \frac{v_{\text{clt,A,d}} \cdot S_{\text{clt},\tau}}{I_{\text{clt}} \cdot b} = \frac{37,2 \cdot 10^3 \cdot 2,60 \cdot 10^6}{3,04 \cdot 10^8 \cdot 1.000} = 0,318 \text{ N/mm}^2$$

Rollschubspannung

$$\tau_{\text{clt,r,d}} = \frac{v_{\text{clt,A,d}} \cdot S_{\text{clt,r}}}{I_{\text{clt}} \cdot b} = \frac{37,2 \cdot 10^3 \cdot 2,40 \cdot 10^6}{3,04 \cdot 10^8 \cdot 1.000} = 0,294 \text{ N/mm}^2$$

Nachweise

Schubspannung

$$\frac{\tau_{\text{clt,d}}}{f_{\text{clt,v,d}}} = \frac{0,318}{1,47} = 0,22 < 1$$

Rollschubspannung

$$\frac{\tau_{\text{clt,r,d}}}{f_{\text{clt,r,d}}} = \frac{0,294}{0,640} = 0,46 < 1$$

NACHWEISE IM GRENZZUSTAND DER GEBRAUCHSTAUGLICHKEIT (SLS)

Durchbiegung

• Durchbiegungen zum Zeitpunkt $t = 0$

- Querschnittswerte der Brettsper Holzplatte

$$E_{\text{clt,0,inst}} = E_{\text{clt,0,mean}} = 11.500 \text{ N/mm}^2$$

$$e_{z,s} = \frac{\sum n_i \cdot A_i \cdot e_{z,i}}{\sum n_i \cdot A_i} = \frac{9,60 \cdot 10^6}{1,20 \cdot 10^5} = 80,0 \text{ mm}$$

$$I_{\text{clt}} = \sum n_i \cdot I_{\text{eig,i}} + \sum n_i \cdot A_i \cdot (e_{z,i} - e_{z,s})^2 = 1,60 \cdot 10^7 + 2,88 \cdot 10^8 = 3,04 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

- Querschnittswerte des gerissenen Betonquerschnitts (Zustand II) zum Zeitpunkt $t = 0$

Baustoffkenngrößen und n-Ziffer

$$E_{\text{conc,inst}} = E_{\text{cm}} = 33.000 \text{ N/mm}^2 \quad E_s = 200.000 \text{ N/mm}^2 \quad n_{s,inst} = \frac{E_s}{E_{\text{conc,inst}}} = \frac{200.000}{33.000} = 6,06$$

wirksame Dehnsteifigkeit des Betonquerschnitts (im Zustand II) zum Zeitpunkt $t = 0$

$$(E \cdot A)_{\text{ef,conc,inst}} = E_{\text{conc,inst}} \cdot [A_{\text{conc}} + n_{s,inst} \cdot A_s] = 33.000 \cdot [1.000 \cdot 71,0 + 6,06 \cdot 196] = 33.000 \cdot 7,22 \cdot 10^4 = 2,38 \cdot 10^9 \text{ N}$$

Verschiebung des Betonteilflächenschwerpunktes (im Zustand II)

$$\Delta z_{II,inst} = \frac{(E \cdot A)_{s,d} \cdot z_s}{(E \cdot A)_{ef,conc,inst}} = \frac{200.000 \cdot 196 \cdot \left(29,0 + \frac{71,0}{2} - 27,5\right)}{2,38 \cdot 10^9} = 0,609 \text{ mm}$$

Trägheitsmoment des Stahlbetonquerschnittes (im Zustand II) (Bezugs E-Modul = $E_{conc,inst} = 33.000 \text{ N/mm}^2$)

$$\begin{aligned} I_{ef,conc,inst} &= \sum n_i \cdot I_{eig,i} + \sum n_i \cdot A_i \cdot (e_{z,i} - e_{z,s})^2 = \\ &= 1,00 \cdot \frac{1.000 \cdot 71,0^3}{12} + \approx 0 + 1,00 \cdot 1.000 \cdot 71,0 \cdot 0,609^2 + 6,06 \cdot 196 \cdot \left(29,0 + \frac{71,0}{2} - 27,5 - 0,609\right)^2 = 3,14 \cdot 10^7 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

• Ermittlung der ideellen Biegesteifigkeit einer Schubkonsole (mit $K_{ser} = 938 \text{ kN/mm/m}$)

→ $(E \cdot I)^*_{Konssole,inst} = 2,36 \cdot 10^{11} \text{ Nmm}^2/\text{m}$ | $d^*_{Konssole,inst} = 148 \text{ mm}$ | $h_{II,inst} = 143,9 \text{ mm}$

→ Durchbiegung aus dem Stabwerksprogramm (Dlupal RStab): $w_{"1,0",inst} = 0,906 \text{ mm}$

Anfangsdurchbiegung für die seltene (charakteristische) Einwirkungskombination

$$w_{inst} = q_{Ed,rare} \cdot w_{"1,0"} = 8,80 \cdot 0,906 = 7,97 \text{ mm}$$

$$w_{inst,grenz} = \frac{l}{300} = \frac{6.000}{300} = 20,0 \text{ mm}$$

Nachweis

$$\frac{w_{inst}}{w_{inst,grenz}} = \frac{7,97}{20,0} = 0,40 < 1$$

• Durchbiegung auf Grund der kurzzeitig wirkenden Nutzlast

$$w_{short,inst} = \sum q_{short,k} \cdot w_{"1,0"} = 2,45 \cdot 0,906 = 2,22 \text{ mm}$$

Einwirkungen und Schnittgrößen des Betons für den quasi-ständigen Lastanteil

$q_{Ed,perm} = 6,35 \text{ kN/m}$ | $n_{clt,Ed,perm,inst} = 21,8 \cdot 6,35 = 138 \text{ kN/m}$ | $m_{clt,Ed,perm,inst} = 1,05 \cdot 6,35 = 6,67 \text{ kNm/m}$

• Durchbiegungen zum Zeitpunkt $t = \infty$

• Ermittlung des Beiwertes zu Berücksichtigung des Systemkriechverhaltens (siehe [5]; Abschnitt 7.1.2)

$$\gamma_1 = \frac{E_{clt,0,inst} \cdot A_{clt} \cdot I_{clt} \cdot n_{clt,Ed,perm,inst}}{E_{conc,inst} \cdot A_{conc,ef} \cdot (A_{clt} \cdot m_{clt,Ed,perm,inst} \cdot z - I_{clt} \cdot n_{clt,Ed,perm,inst})} = \frac{11.500 \cdot 1,20 \cdot 10^5 \cdot 3,04 \cdot 10^8 \cdot 138 \cdot 10^3}{33.000 \cdot 7,22 \cdot 10^4 \cdot (1,20 \cdot 10^5 \cdot 6,67 \cdot 10^6 \cdot 143,9 - 3,04 \cdot 10^8 \cdot 138 \cdot 10^3)} = 0,332$$

$$\psi_{conc} = 1,8 - 0,3 \cdot \gamma_1^{2,5} = 1,8 - 0,3 \cdot 0,332^{2,5} = 1,78$$

E-Moduln und Verschiebungsmoduln zum Zeitpunkt $t = \infty$

	BSP	Beton	Kerve	Betonstahl
$t = 0$	$E_{clt,0,inst} = 11.500 \text{ N/mm}^2$	$E_{conc,inst} = 33.000 \text{ N/mm}^2$	$K_{ser} = 938 \text{ kN/mm/m}$	$E_s = 200.000 \text{ N/mm}^2$
Beiwert Systemkriechverhalten	$\psi_{clt} = 1,00$	$\psi_{conc} = 1,78$	$\psi_{con} = 1,00$	-
Beiwert Langzeitverhalten	$k_{def} = 0,80$	$\varphi = 2,50$	$k_{def}' = 2 \cdot k_{def} = 2 \cdot 0,80 = 1,60$	-
$t = \infty$	$E_{clt,\infty} = \frac{E_{clt,0,inst}}{1 + \psi_{clt} \cdot k_{def}} = \frac{11.500}{1 + 1,00 \cdot 0,80} = 6.389 \text{ N/mm}^2$	$E_{conc,\infty} = \frac{E_{conc,inst}}{1 + \psi_{conc} \cdot \varphi(\infty, t_0)} = \frac{33.000}{1 + 1,78 \cdot 2,50} = 6.055 \text{ N/mm}^2$	$K_{ser,\infty} = \frac{K_{ser,inst}}{1 + \psi_{con} \cdot k_{def}'} = \frac{938}{1 + 1,00 \cdot 1,60} = 361 \text{ kN/mm/m}$	$E_s = 200.000 \text{ N/mm}^2$

- Querschnittswerte des gerissenen Stahlbetonquerschnitts (Zustand II) zum Zeitpunkt $t = \infty$
n-Ziffer

$$n_{s,fin} = \frac{E_s}{E_{conc,fin}} = \frac{200.000}{6.055} = 33,0$$

wirksame Dehnsteifigkeit des Betonquerschnitts (im Zustand II) zum Zeitpunkt $t = \infty$

$$(E \cdot A)_{ef,conc,fin} = E_{conc,fin} \cdot [A_{conc} + n_{s,fin} \cdot A_s] = 6.055 \cdot [1.000 \cdot 71,0 + 33,0 \cdot 196] = 6.055 \cdot 7,75 \cdot 10^4 = 4,69 \cdot 10^8 \text{ N}$$

Verschiebung des Betonteilflächenschwerpunktes (im Zustand II)

$$\Delta z_{II,fin} = \frac{(E \cdot A)_{s,d} \cdot z_s}{(E \cdot A)_{ef,conc,fin}} = \frac{200.000 \cdot 196 \cdot \left(29,0 + \frac{71,0}{2} - 27,5\right)}{4,69 \cdot 10^8} = 3,09 \text{ mm}$$

Trägheitsmoment des Stahlbetonquerschnittes (im Zustand II) (Bezugs E-Modul = $E_{conc,fin} = 6.055 \text{ N/mm}^2$)

$$I_{ef,conc,fin} = \sum n_i \cdot I_{eig,i} + \sum n_i \cdot A_i \cdot (e_{z,i} - e_{z,s})^2 = 1,00 \cdot \frac{1.000 \cdot 71,0^3}{12} + \approx 0 + 1,00 \cdot 1.000 \cdot 71,0 \cdot 3,09^2 + 33,0 \cdot 196 \cdot \left(29,0 + \frac{71,0}{2} - 27,5 - 3,09\right)^2 = 3,79 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

- Ermittlung der ideellen Biegesteifigkeit einer Schubkonsole

$$\rightarrow (E \cdot I)_{Konsole,fin}^* = 8,56 \cdot 10^{10} \text{ Nmm}^2/\text{m} \mid d_{Konsole,fin}^* = 115 \text{ mm} \mid h_{II,fin} = 141,4 \text{ mm}$$

$$\rightarrow \text{Durchbiegung aus dem Stabwerksprogramm: } w_{1,0'',fin} = 2,45 \text{ mm}$$

- Durchbiegung auf Grund des quasi-ständigen Einwirkungsanteils

$$w_{perm,fin} = q_{perm,k} \cdot w_{1,0'',fin} = 6,35 \cdot 2,45 = 15,6 \text{ mm}$$

- Durchbiegung auf Grund des Betonschwindens (zum Zeitpunkt $t = \infty$)

$$\varepsilon_{ef,conc}(t = \infty) = 0,9 \cdot \varepsilon_{conc} = 0,9 \cdot (-0,300) = -0,270 \text{ ‰}$$

$$\rightarrow w_{SH,fin} = 6,01 \text{ mm}$$

- Summe der Durchbiegungen für den Nachweis gemäß ONR CEN/TS 19103:2022 [5]

$$w_{net,fin} = w_{short,inst} + w_{perm,fin} + w_{SH,fin} - w_c = 2,22 + 15,6 + 6,01 - 0 = 23,8 \text{ mm}$$

Grenzwert der Enddurchbiegung

$$w_{\text{net,fin,grenz}} = \frac{l}{250} = \frac{6.000}{250} = 24,0 \text{ mm}$$

Nachweis

$$\frac{w_{\text{net,fin}}}{w_{\text{net,fin,grenz}}} = \frac{23,8}{24,0} = 0,99 < 1$$

Schwingungsnachweis

Steifigkeiten

- in Längsrichtung

Rückrechnung der effektiven Steifigkeit in Deckenlängsrichtung aus der Durchbiegungsberechnung zum Zeitpunkt $t = 0$

$$\text{mit } w = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot l^4}{(E \cdot I)_x}$$

→ aus der Stabwerksberechnung mit einer Einheitsgleichlast in Feldmitte: $w_{m, "1,0"} = 0,906 \text{ mm}$

$$\rightarrow (E \cdot I)_{\text{ef,WCC,l}} = \frac{5}{384} \cdot \frac{"1,0" \cdot l^4}{w_{m, "1,0"}} = \frac{5}{384} \cdot \frac{"1,0" \cdot 6.000^4}{0,906} = 1,86 \cdot 10^{13} \text{ Nmm}^2 = 1,86 \cdot 10^7 \text{ Nm}^2$$

Estrich

$$(E \cdot I)_{\text{screed}} = E_{\text{screed}} \cdot \frac{b \cdot h^3}{12} = 25.000 \cdot \frac{1.000 \cdot 65,0^3}{12} = 5,72 \cdot 10^{11} \text{ Nmm}^2 = 5,72 \cdot 10^5 \text{ Nm}^2$$

Summe der Steifigkeiten in Längsrichtung

$$(E \cdot I)_{\text{ef,l}} = (E \cdot I)_{\text{ef,WCC,l}} + (E \cdot I)_{\text{screed}} = 1,86 \cdot 10^7 + 5,72 \cdot 10^5 = 1,92 \cdot 10^7 \text{ Nm}^2$$

- in Querrichtung

$$(E \cdot I)_{\text{ef,clt,b}} = E_{\text{clt,0,inst}} \cdot b \cdot \left[2 \cdot \frac{t_y^3}{12} + 2 \cdot t_y \cdot e_{z,j}^2 \right] = 11.500 \cdot 1.000 \cdot \left[2 \cdot \frac{20,0^3}{12} + 2 \cdot 20,0 \cdot 30,0^2 \right] = 4,29 \cdot 10^{11} \text{ Nmm}^2 = 4,29 \cdot 10^5 \text{ Nm}^2$$

$$(E \cdot I)_{\text{ef,conc,y}} \approx E_{\text{conc,inst}} \cdot \frac{b \cdot h^3}{12} \approx 33.000 \cdot \frac{1.000 \cdot 71,0^3}{12} \approx 9,84 \cdot 10^{11} \text{ Nmm}^2 \approx 9,84 \cdot 10^5 \text{ Nm}^2$$

$$(E \cdot I)_{\text{ef,b}} = (E \cdot I)_{\text{ef,clt,b}} + (E \cdot I)_{\text{ef,conc,y}} + (E \cdot I)_{\text{screed}} = 4,29 \cdot 10^5 + 9,84 \cdot 10^5 + 5,72 \cdot 10^5 = 1,99 \cdot 10^6 \text{ Nm}^2$$

Berechnung der 1. Eigenfrequenz

angenommene Breite des Deckenfeldes: $b = 10,0 \text{ m}$

$$f_1 = \frac{\pi}{2 \cdot l^2} \cdot \sqrt{\frac{(E \cdot I)_l}{m}} \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{l}{b}\right)^4 \cdot \frac{(E \cdot I)_b}{(E \cdot I)_l}} =$$

$$= \frac{\pi}{2 \cdot 6,00^2} \cdot \sqrt{\frac{1,92 \cdot 10^7}{530}} \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{6,00}{10,0}\right)^4 \cdot \frac{1,99 \cdot 10^6}{1,92 \cdot 10^7}} = 8,30 \cdot 1,01 = 8,38 \text{ Hz} > \begin{cases} f_{1,\text{min}} = 4,50 \text{ Hz} \\ f_{1,\text{grenz}} = 8,00 \text{ Hz} \end{cases}$$

→ es ist das „Steifigkeitskriterium“ nachzuweisen

Steifigkeitskriterium

Berechnung der Durchbiegung auf Grund einer Einheitseinzellast $F = „1,0“$ kN in Feldmitte mit Hilfe eines Stabwerksprogrammes. Die Berechnung erfolgte unter Berücksichtigung der Breite b_F .

$$b_F = \frac{l}{1,1} \cdot \sqrt[4]{\frac{(E \cdot I)_b}{(E \cdot I)_l}} = \frac{6,00}{1,1} \cdot \sqrt[4]{\frac{1,99 \cdot 10^6}{1,92 \cdot 10^7}} = 3,09 \text{ m}$$

$$\rightarrow w_{\text{stat}} = 0,0809 \text{ mm} = w_{\text{stat,I,grenz}} = 0,25 \text{ mm}$$

Zusammenfassung

Die HBV-Decke erfüllt hinsichtlich des Schwingungsverhaltens die Anforderungen an die Deckenklasse I gemäß ÖNORM B 1995-1-1:2019 [2].

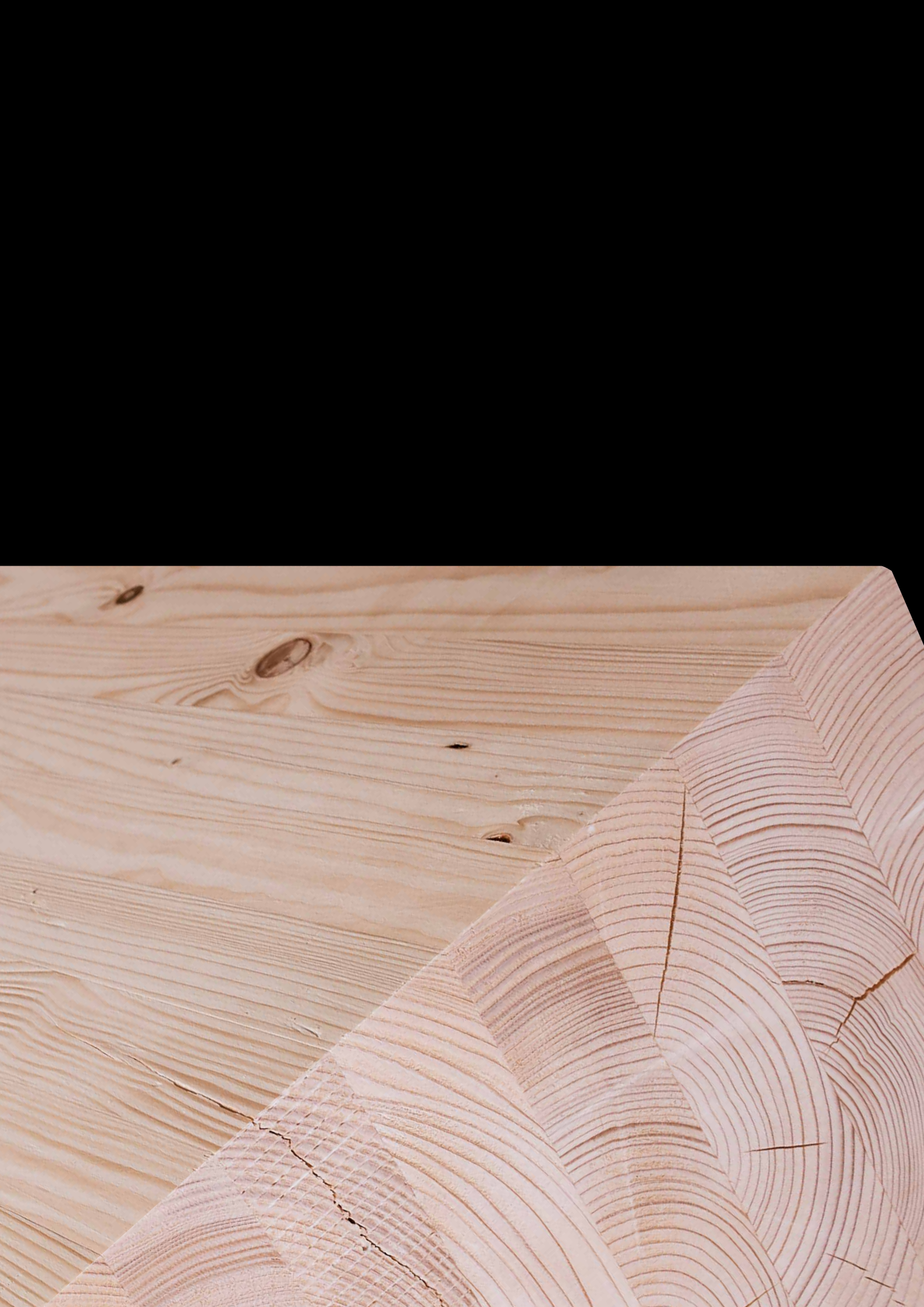
Rissbreitennachweis

Der Rissbreitennachweis wird über die Anordnung der Mindestbewehrung erbracht. Diese beträgt gemäß ONR CEN/TS 19103:2022-04-01, Tab. 9.1 [5] für einen Beton der Festigkeitsklasse C 30/37 und der Dicke der bewehrten Betonplatte $h_{\text{conc}} = 10 \text{ cm}$ **$a_{\text{req}} = 1,16 \text{ cm}^2/\text{m}$** .

Die angeordnete Betonstahlmatte weist eine Bewehrungsfläche von

$$\mathbf{a_{\text{prov}} = 1,96 \text{ cm}^2/\text{m} > a_{\text{req}} = 1,16 \text{ cm}^2/\text{m}}$$

auf. Somit ist der Rissbreitennachweis erbracht.

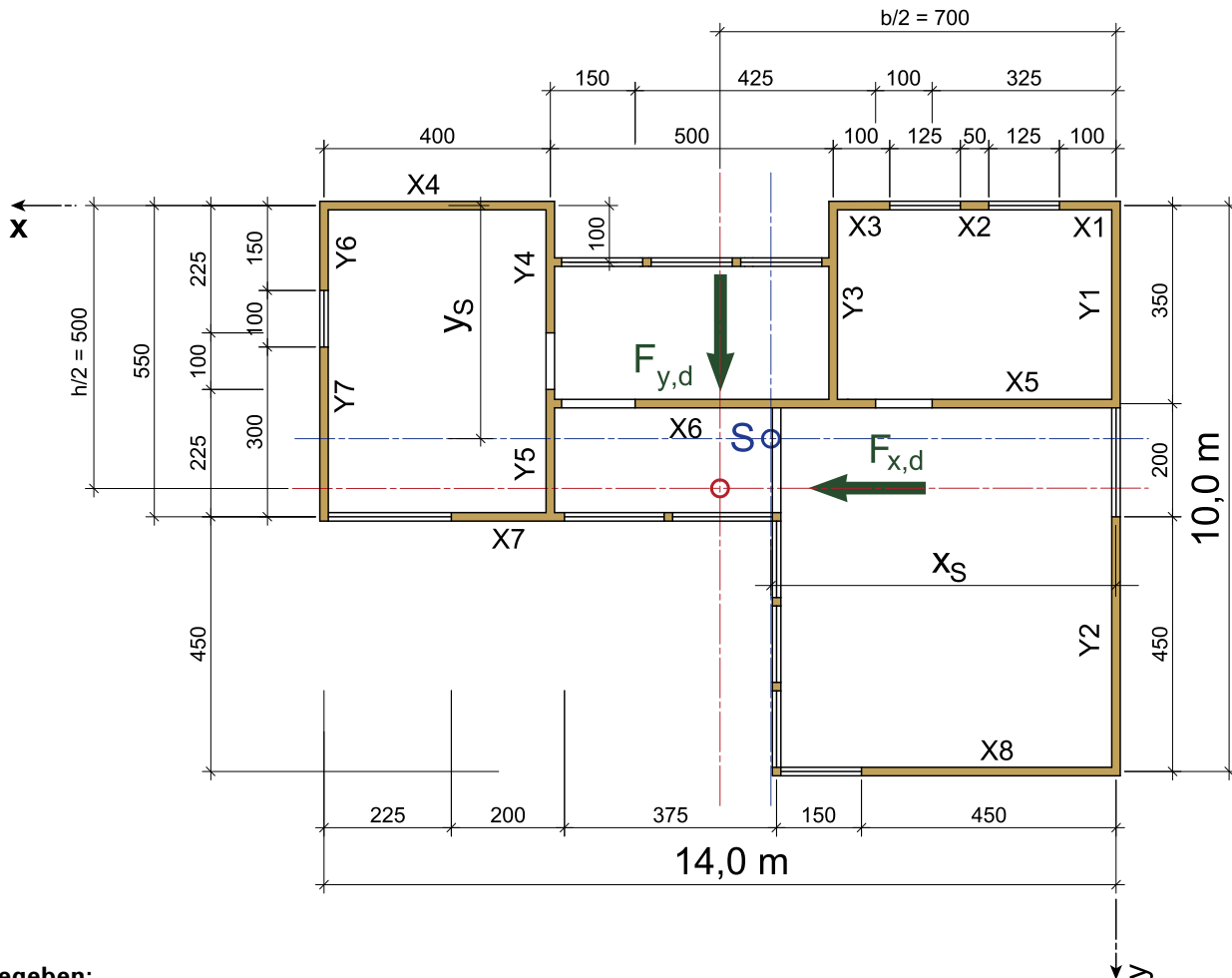


KAPITEL IX
HOLZBAUSYSTEME

IX.1 Aussteifungsberechnung
IX.2 Halle

IX.3 - IX.25
IX.26 - IX.62

IX.1 AUSSTEIFUNGSBERECHNUNG



gegeben:

Grundriss eines dreigeschossigen Gebäudes mit Attika (Gesamthöhe über Gelände $h = 10,75$ m) laut Skizze

gesucht:

Beanspruchung der Schubscheiben und exemplarische Nachweisführung bei einer Windeinwirkung für:

- Variante A: Holzleichtbauwände
- Variante B: Wände aus Brettsper Holz

Einwirkung aus Wind gemäß ÖNORM EN 1991-1-4:2011 [11] und ÖNORM B 1991-1-4:2019 [12]

Standort:	Wels
Basisgeschwindigkeitsdruck:	$q_{b,0} = 0,42 \text{ kN/m}^2$
Geländekategorie:	III
Spitzengeschwindigkeitsdruck:	$q_p(z_e) = q_{b,0} \cdot 1,75 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0,29} = 0,42 \cdot 1,75 \cdot \left(\frac{10,75}{10}\right)^{0,29} = 0,751 \text{ kN/m}^2$

mit $z = 10,75 \text{ m} > z_{\min} = 10,0 \text{ m}$

Außendruckbeiwerte (vereinfacht):	Bereich D (Druck):	$c_{pe,D} = + 0,80$
	Bereich E (Sog):	$c_{pe,E} = - 0,40$

Der Bemessungswert der Windkraft berechnet sich zu:

$$W_k = q_p(z_e) \cdot (c_{pe,D} - c_{pe,E}) \cdot A_{ref} = 0,751 \cdot (0,80 - (-0,40)) \cdot A_{ref} = 0,901 \cdot A_{ref}$$

Windlasten auf die jeweilige Deckenscheibe in x- und y-Richtung

	Windlast in x - Richtung		Windlast in y - Richtung	
	A_{ref} [m ²]	$W_{x,k}$ [kN]	A_{ref} [m ²]	$W_{y,k}$ [kN]
Deckenscheibe 1	$10,0 \cdot (1,0+1,55) = 25,5$	23,0	$14,0 \cdot (1,0+1,55) = 35,7$	32,2
Deckenscheibe 2	$10,0 \cdot (1,0+3,10+1,55) = 56,5$	50,9	$14,0 \cdot (1,0+3,10+1,55) = 79,1$	71,3
Deckenscheibe 3	$10,0 \cdot (1,0+2 \cdot 3,10+1,55) = 87,5$	78,8	$14,0 \cdot (1,0+2 \cdot 3,10+1,55) = 123$	111

Geometriedaten der aussteifenden Wände in x- und y-Richtung

Wand	Anfang		Ende		Länge	Koordinaten Wandmitte	
	$x_{i,A}$	$y_{i,A}$	$x_{i,E}$	$y_{i,E}$	l_i	$x_{i,m}$	$y_{i,m}$
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
X1	0	0	1,00	0	1,00	0,500	0
X2	2,25		2,75		0,50	2,50	
X3	4,00		5,00		1,00	4,50	
X4	10,0		14,0		4,00	12,0	
X5	0	3,50	3,25	3,50	3,25	1,63	3,50
X6	4,25		8,50		4,25	6,38	
X7	9,75	5,50	11,8	5,50	2,00	10,8	5,50
X8	0	10,0	4,50	10,0	4,50	2,25	10,0
Y1	0	0	0	3,50	3,50	0	1,75
Y2		5,50		10,0	4,50		7,75
Y3	5,00	0	5,00	3,50	3,50	5,00	1,75
Y4	10,00	0	10,00	2,25	2,25	10,0	1,13
Y5		3,25		5,50	2,25		4,38
Y6	14,0	0	14,0	1,50	1,50	14,0	0,750
Y7		2,50		5,50	3,00		4,00

mit

$$l_i = \sqrt{(x_{i,E} - x_{i,A})^2 + (y_{i,E} - y_{i,A})^2}$$

$$x_{i,m} = \frac{1}{2} \cdot (x_{i,A} + x_{i,E})$$

$$y_{i,m} = \frac{1}{2} \cdot (y_{i,A} + y_{i,E})$$

Anmerkung:

a) Alle nachfolgenden Berechnungen werden für die Wände im untersten Geschoss (Erdgeschoss) durchgeführt.

b) Wandscheiben mit einem l/h -Verhältnis $\leq 1/4$ bleiben in der Aussteifungsberechnung unberücksichtigt. Bei einer Wandhöhe von $h = 2,90$ m sind das Wandscheiben mit einer Länge $l_i \leq 2,90 / 4 = 0,725$ m. Im vorliegenden Beispiel betrifft dies lediglich die Wand X2. In den folgenden Berechnungen ist diese Wand „eingeklammert“ und bleibt in der Berechnung unberücksichtigt.

Variante A: Berechnung der Kräfte in den Schubscheiben für Holzleichtbauwände

- Ermittlung der Lage des Steifigkeitszentrums und des polaren Trägheitsmomentes

Die Schubsteifigkeiten von Wänden im Holzleichtbau können proportional zu deren Länge in Rechnung gestellt werden:

$$B_{x,i} = l_{x,i} \text{ bzw. } B_{y,i} = l_{y,i}$$

Wand	$B_{x,i}$	$B_{y,i}$	y_i	x_i	$B_{x,i} \cdot y_i$	$B_{y,i} \cdot x_i$	$y_i - y_s$	$x_i - x_s$	$B_{x,i} \cdot (y_i - y_s)^2$	$B_{y,i} \cdot (x_i - x_s)^2$
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m ²]	[m ²]	[m]	[m]	[m ³]	[m ³]
X1	1,00	-	0	-	0	-	- 4,12	-	17,0	-
X2	(0,50)	-		-	0	-	-	-	-	-
X3	1,00	-		-	0	-	- 4,12	-	17,0	-
X4	4,00	-		-	0	-	- 4,12	-	67,9	-
X5	3,25	-	3,50	-	11,4	-	- 0,620	-	1,25	-
X6	4,25	-		-	14,9	-	- 0,620	-	1,63	-
X7	2,00	-	5,50	-	11,0	-	1,38	-	3,81	-
X8	4,50	-	10,0	-	45,0	-	5,88	-	156	-
Y1	-	3,50	-	0	-	0	-	- 6,15	-	132
Y2	-	4,50	-		-	0	-	- 6,15	-	170
Y3	-	3,50	-	5,00	-	17,5	-	- 1,15	-	4,63
Y4	-	2,25	-	10,0	-	22,5	-	3,85	-	33,4
Y5	-	2,25	-		-	22,5	-	3,85	-	33,4
Y6	-	1,50	-	14,0	-	21,0	-	7,85	-	92,4
Y7	-	3,00	-		-	42,0	-	7,85	-	185
Summe	20,0	20,5			82,3	126			265	651

Lage des Steifigkeitszentrums

$$x_s = \frac{\sum_i B_{y,i} \cdot x_i}{\sum_i B_{y,i}} = \frac{126}{20,5} = 6,15 \text{ m} \quad y_s = \frac{\sum_i B_{x,i} \cdot y_i}{\sum_i B_{x,i}} = \frac{82,3}{20,0} = 4,12 \text{ m}$$

polares Trägheitsmoment

$$I_p = \sum_i B_{y,i} \cdot (x_i - x_s)^2 + \sum_i B_{x,i} \cdot (y_i - y_s)^2 = 651 + 265 = 916 \text{ m}^3$$

- Berechnung des Windangriffpunktes unter Berücksichtigung der ungleichmässigen Verteilung des Winddruckes

Anmerkung:

zum Ansatz der Exzentrizität der Windkraft zur Berücksichtigung der ungleichmässigen Verteilung des Winddruckes

Auszug aus ÖNORM EN 1991-1-4:2011 [...], Abschnitt 7.1.2 Exzentrisch und günstig wirkende Drücke und Kräfte

„(1) Verursachen veränderliche Windeinwirkungen signifikante asymmetrische Belastungen und ist das Tragwerk empfindlich für solche Belastungen (z. B. bei Torsion von symmetrischen Gebäuden mit nur einem Aussteifungskern), dann sind diese zu berücksichtigen. ...“

In der zugehörigen nationalen Festlegung heisst es:

Auszug aus ÖNORM B 1991-1-4:2019 [...], Abschnitt 9.1.1 Exzentrisch und günstig wirkende Drücke und Kräfte; Nationale Festlegung zu ÖNORM EN 1991-1-4:2011, Abschnitt 7.1.2(2)

„Erfolgt bei Bauwerken die Ableitung der Windwirkungen in der Nähe der Schwerachse, ist zur Berücksichtigung der ungleichmässigen Verteilung des Winddruckes eine Exzentrizität der Windwirkung bezüglich der vertikalen Achse von 10 % der jeweiligen Abmessung im Grundriss zu berücksichtigen.“

Nach Auffassung der Verfasser bietet der Ausdruck „in der Nähe der Schwerachse“ Spielraum für die Interpretation, ob eine Exzentrizität der Windwirkung anzusetzen ist oder nicht. Für das nachfolgend bearbeitete Beispiel wurde diese berücksichtigt.

In den nachfolgenden Tabellen werden folgende Festlegungen und Gleichungen verwendet:

- Die Basis der nachfolgenden Aussteifungsberechnung bildet die Einführung eines rechteckigen Koordinatensystems (die x-Achse ist durch Drehung entgegen dem Uhrzeigersinn in die y-Achse überführbar).
- Schubkraft in x- bzw. y-Richtung infolge der einwirkenden Kraft in der Wand i (Kräfte in positiver Richtung der Koordinatenachse haben ein positives Vorzeichen)

$$F_{F,x,k;i} = -W_{x,k} \cdot \frac{B_{y,i}}{\sum_i B_{y,i}}$$

$$F_{F,y,k;i} = -W_{y,k} \cdot \frac{B_{x,i}}{\sum_i B_{x,i}}$$

- Schubkraft in x- bzw. y-Richtung in der Wand i infolge eines einwirkenden Moments (Das Moment ist auf das Steifigkeitszentrum des Aussteifungssystems zu beziehen. Positive Momente drehen im rechtsdrehenden Koordinatensystem entgegen dem Uhrzeigersinn.)

$$F_{M,x,k;i} = M_k \cdot \frac{B_{y,i}}{\sum_i I_p} \cdot (y_i - y_s)$$

$$F_{M,y,k;i} = -M_k \cdot \frac{B_{x,i}}{\sum_i I_p} \cdot (x_i - x_s)$$

- resultierende Schubkraft der Wand i in x- bzw. y-Richtung

$$F_{x,k;i} = F_{F,x,k;i} + F_{M,x,k;i}$$

$$F_{y,k;i} = F_{F,y,k;i} + F_{M,y,k;i}$$

- Berechnung der Wandscheibenkräfte

- Lastfall I: Wind in Richtung der x-Achse mit „positiver“ Exzentrizität

$$W_{x,k,I} = +78,8 \text{ kN} \quad | \quad e_{y,I} = -\left(\frac{l_y}{2} - y_s\right) - \frac{l_y}{10} = -\left(\frac{10,0}{2} - 4,12\right) - \frac{10,0}{10} = -1,88 \text{ m} \quad | \quad M_{k,I} = W_{x,k,I} \cdot e_{y,I} = 78,8 \cdot (-1,88) = -148 \text{ kNm}$$

Wand	$B_{x,i}$	$B_{y,i}$	$y_i - y_s$	$x_i - x_s$	$F_{F,x,k}$	$F_{F,y,k}$	$F_{M,x,k}$	$F_{M,y,k}$	$F_{x,k}$	$F_{y,k}$
	[m]	[m]	[m]	[m]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
X1	1,00	-	- 4,12	-	- 3,94	-	0,666	-	- 3,27	-
X2	(0,500)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X3	1,00	-	- 4,12	-	- 3,94	-	0,666	-	- 3,27	-
X4	4,00	-	- 4,12	-	- 15,8	-	2,66	-	- 13,1	-
X5	3,25	-	- 0,620	-	- 12,8	-	0,326	-	- 12,5	-
X6	4,25	-	- 0,620	-	- 16,7	-	0,426	-	- 16,3	-
X7	2,00	-	1,38	-	- 7,88	-	- 0,446	-	- 8,33	-
X8	4,50	-	5,88	-	- 17,7	-	- 4,28	-	- 22,0	-
Y1	-	3,50	-	- 6,15	-	-	-	- 3,48	-	- 3,48
Y2	-	4,50	-	- 6,15	-	-	-	- 4,47	-	- 4,47
Y3	-	3,50	-	- 1,15	-	-	-	- 0,650	-	- 0,650
Y4	-	2,25	-	3,85	-	-	-	1,40	-	1,40
Y5	-	2,25	-	3,85	-	-	-	1,40	-	1,40
Y6	-	1,50	-	7,85	-	-	-	1,90	-	1,90
Y7	-	3,00	-	7,85	-	-	-	3,81	-	3,81
Summe	20,0	20,5			≈ -78,8	-	≈ 0	≈ 0	≈ -78,8	≈ 0

- Lastfall II: Wind in Richtung der x-Achse mit „negativer“ Exzentrizität

$$W_{x,k,II} = +78,8 \text{ kN} \quad | \quad e_{y,II} = -\left(\frac{l_y}{2} - y_s\right) + \frac{l_y}{10} = -\left(\frac{10,0}{2} - 4,12\right) + \frac{10,0}{10} = 0,120 \text{ m} \quad | \quad M_{k,II} = W_{x,k,II} \cdot e_{y,II} = 78,8 \cdot 0,120 = 9,46 \text{ kNm}$$

Wand	$B_{x,i}$	$B_{y,i}$	$y_i - y_s$	$x_i - x_s$	$F_{F,x,k}$	$F_{F,y,k}$	$F_{M,x,k}$	$F_{M,y,k}$	$F_{x,k}$	$F_{y,k}$
	[m]	[m]	[m]	[m]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
X1	1,00	-	- 4,12	-	- 3,94	-	- 0,0426	-	- 3,98	-
X2	(0,500)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X3	1,00	-	- 4,12	-	- 3,94	-	- 0,0426	-	- 3,98	-
X4	4,00	-	- 4,12	-	- 15,8	-	- 0,170	-	- 16,0	-
X5	3,25	-	- 0,620	-	- 12,8	-	- 0,0208	-	- 12,8	-
X6	4,25	-	- 0,620	-	- 16,7	-	- 0,0272	-	- 16,7	-
X7	2,00	-	1,38	-	- 7,88	-	0,0285	-	- 7,85	-
X8	4,50	-	5,88	-	- 17,7	-	0,273	-	- 17,4	-
Y1	-	3,50	-	- 6,15	-	-	-	0,222	-	0,222
Y2	-	4,50	-	- 6,15	-	-	-	0,286	-	0,286
Y3	-	3,50	-	- 1,15	-	-	-	0,0416	-	0,0416
Y4	-	2,25	-	3,85	-	-	-	- 0,0895	-	- 0,0895
Y5	-	2,25	-	3,85	-	-	-	- 0,0895	-	- 0,0895
Y6	-	1,50	-	7,85	-	-	-	- 0,122	-	- 0,122
Y7	-	3,00	-	7,85	-	-	-	- 0,243	-	- 0,243
Summe	20,0	20,5			≈ -78,8	-	≈ 0	≈ 0	≈ -78,8	≈ 0

- Lastfall III: Wind in Richtung der y-Achse mit „postiver“ Exzentrizität

$$W_{y,k,III} = +111 \text{ kN} \quad | \quad e_{x,III} = \left(\frac{l_x}{2} - x_s \right) + \frac{l_x}{10} = \left(\frac{14,0}{2} - 6,15 \right) + \frac{14,0}{10} = 2,25 \text{ m} \quad | \quad M_{k,III} = W_{y,k,III} \cdot e_{x,III} = 111 \cdot 2,25 = 250 \text{ kNm}$$

Wand	B _{x,i}	B _{y,i}	y _i -y _s	x _i -x _s	F _{F,x,k}	F _{F,y,k}	F _{M,x,k}	F _{M,y,k}	F _{x,k}	F _{y,k}
	[m]	[m]	[m]	[m]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
X1	1,00	-	- 4,12	-	-	-	- 1,12	-	- 1,12	-
X2	(0,500)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X3	1,00	-	- 4,12	-	-	-	- 1,12	-	- 1,12	-
X4	4,00	-	- 4,12	-	-	-	- 4,50	-	- 4,50	-
X5	3,25	-	- 0,620	-	-	-	- 0,550	-	- 0,550	-
X6	4,25	-	- 0,620	-	-	-	- 0,719	-	- 0,719	-
X7	2,00	-	1,38	-	-	-	0,753	-	0,753	-
X8	4,50	-	5,88	-	-	-	7,22	-	7,22	-
Y1	-	3,50	-	- 6,15	-	- 19,0	-	5,87	-	- 13,1
Y2	-	4,50	-	- 6,15	-	- 24,4	-	7,55	-	- 16,9
Y3	-	3,50	-	- 1,15	-	- 19,0	-	1,10	-	- 17,9
Y4	-	2,25	-	3,85	-	- 12,2	-	- 2,36	-	- 14,6
Y5	-	2,25	-	3,85	-	- 12,2	-	- 2,36	-	- 14,6
Y6	-	1,50	-	7,85	-	- 8,12	-	- 3,21	-	- 11,3
Y7	-	3,00	-	7,85	-	- 16,2	-	- 6,43	-	- 22,6
Summe	20,0	20,5			-	≈ - 111	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ - 111

- Lastfall IV: Wind in Richtung der y-Achse mit „negativer“ Exzentrizität

$$W_{y,k,IV} = +111 \text{ kN} \quad | \quad e_{x,IV} = \left(\frac{l_x}{2} - x_s \right) - \frac{l_x}{10} = \left(\frac{14,0}{2} - 6,15 \right) - \frac{14,0}{10} = -0,550 \text{ m} \quad | \quad M_{k,IV} = W_{y,k,IV} \cdot e_{x,IV} = 111 \cdot (-0,550) = -61,1 \text{ kNm}$$

Wand	B _{x,i}	B _{y,i}	y _i -y _s	x _i -x _s	F _{F,x,k}	F _{F,y,k}	F _{M,x,k}	F _{M,y,k}	F _{x,k}	F _{y,k}
	[m]	[m]	[m]	[m]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
X1	1,00	-	- 4,12	-	-	-	0,275	-	0,275	-
X2	(0,500)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X3	1,00	-	- 4,12	-	-	-	0,275	-	0,275	-
X4	4,00	-	- 4,12	-	-	-	1,10	-	1,10	-
X5	3,25	-	- 0,620	-	-	-	0,134	-	0,134	-
X6	4,25	-	- 0,620	-	-	-	0,176	-	0,176	-
X7	2,00	-	1,38	-	-	-	- 0,184	-	- 0,184	-
X8	4,50	-	5,88	-	-	-	- 1,76	-	- 1,76	-
Y1	-	3,50	-	- 6,15	-	- 19,0	-	- 1,44	-	- 20,4
Y2	-	4,50	-	- 6,15	-	- 24,4	-	- 1,85	-	- 26,3
Y3	-	3,50	-	- 1,15	-	- 19,0	-	- 0,268	-	- 19,3
Y4	-	2,25	-	3,85	-	- 12,2	-	0,578	-	- 11,6
Y5	-	2,25	-	3,85	-	- 12,2	-	0,578	-	- 11,6
Y6	-	1,50	-	7,85	-	- 8,12	-	0,785	-	- 7,34
Y7	-	3,00	-	7,85	-	- 16,2	-	1,57	-	- 14,6
Summe	20,0	20,5			-	≈ - 111	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ - 111

Zusammenfassung der Schubkräfte in den Holzleichtbauwänden

Wand	Lastfall I		Lastfall II		Lastfall III		Lastfall IV		Bemessungswerte			
	$F_{x,k}$	$F_{y,k}$	$F_{x,k}$	$F_{y,k}$	$F_{x,k}$	$F_{y,k}$	$F_{x,k}$	$F_{y,k}$	$ F_{x,k} $	$ F_{y,k} $	$ F_{x,k} / l $	$ F_{y,k} / l $
	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN/m]	[kN/m]
X1	-3,27	-	-3,98	-	-1,12	-	0,275	-	3,98	-	3,98	-
X2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X3	-3,27	-	-3,98	-	-1,12	-	0,275	-	3,98	-	3,98	-
X4	-13,1	-	-16,0	-	-4,50	-	1,10	-	16,0	-	4,00	-
X5	-12,5	-	-12,8	-	-0,550	-	0,134	-	12,8	-	3,94	-
X6	-16,3	-	-16,7	-	-0,719	-	0,176	-	16,7	-	3,93	-
X7	-8,33	-	-7,85	-	0,753	-	-0,184	-	8,33	-	4,17	-
X8	-22,0	-	-17,4	-	7,22	-	-1,76	-	22,0	-	4,89	-
Y1	-	-3,48	-	0,222	-	-13,1	-	-20,4	-	20,4	-	5,83
Y2	-	-4,47	-	0,286	-	-16,9	-	-26,3	-	26,3	-	5,84
Y3	-	-0,650	-	0,0416	-	-17,9	-	-19,3	-	19,3	-	5,51
Y4	-	1,40	-	-0,0895	-	-14,6	-	-11,6	-	14,6	-	6,49
Y5	-	1,40	-	-0,0895	-	-14,6	-	-11,6	-	14,6	-	6,49
Y6	-	1,90	-	-0,122	-	-11,3	-	-7,34	-	11,3	-	7,53
Y7	-	3,81	-	-0,243	-	-22,6	-	-14,6	-	22,6	-	7,53

Einwirkungskombinationen

Nachfolgend wird die Nachweisführung exemplarisch für die Wand Y2 (Wandhöhe $h = 2,90$ m) gezeigt. Neben der ermittelten Schubkraft in der Wandscheibe werden für die sonstigen Einwirkungen folgende Annahmen getroffen:

Einwirkungen

- ständige Einwirkung (vertikal) $g_k = 23,0$ kN/m
- veränderliche Einwirkung (vertikal)
 - aus Nutzlast $p_k = 18,0$ kN/m
 - aus Schnee (Seehöhe < 1.000 m) $s_k = 1,68$ kN/m
 - aus Wind (horizontal) $0,751 \cdot (0,80 - (-0,30)) = w_k = +/- 0,826$ kN/m

Einwirkungskombinationen

- Einwirkungskombination I: Nutzlast führend, Schnee begleitend
 - in der Wandebene

$$n_{d,I} = \gamma_G \cdot g_k + \gamma_Q \cdot p_k + \gamma_Q \cdot \psi_{0,s} \cdot s_k = 1,35 \cdot 23,0 + 1,50 \cdot 18,0 + 1,50 \cdot 0,50 \cdot 1,68 = 59,3 \text{ kN/m}$$

Druckkraft auf den Standardstiel

$$F_{c,Ed,I} = n_{d,I} \cdot a_r = 59,3 \cdot \frac{625}{1.000} = 37,1 \text{ kN}$$

- Einwirkungskombination II: Nutzlast führend, Schnee und Wind begleitend
- in der Wandebene

$$F_{2,v,Ed,II} = W_{2,y,d,II} = \gamma_Q \cdot \psi_{0,w} \cdot W_{2,y,k} = 1,50 \cdot 0,60 \cdot \pm 26,3 = \pm 23,7 \text{ kN} \quad \text{bzw.} \quad w_{2,y,d,II} = \gamma_Q \cdot \psi_{0,w} \cdot w_{2,y,k} = 1,50 \cdot 0,60 \cdot \pm 5,84 = \pm 5,26 \text{ kN/m}$$

Kräfte an den Wandenden

$$F_{2,c,Ed,II} = F_{2,t,Ed,II} = F_{2,v,Ed,II} \cdot \frac{h}{b_i} = \pm 23,7 \cdot \frac{2,90}{4,50} = \pm 15,3 \text{ kN}$$

resultierende Druckkraft auf den Stiel am Wandeck (mit $n_{d,II} = n_{d,I}$)

$$F_{Rand,2,c,Ed,II} = F_{2,c,Ed,II} + n_{d,II} \cdot \frac{a_r}{2} = 15,3 + 59,3 \cdot \frac{0,625}{2} = 33,8 \text{ kN}$$

resultierende Druckkraft auf den Stiel am Fensterrand

$$F_{Fenster,2,c,Ed} = F_{2,c,Ed,II} + n_{d,II} \cdot \frac{a_r}{2} + n_{d,II} \cdot \frac{b_{Fenster}}{2} = 15,3 + 59,3 \cdot \frac{0,625}{2} + 59,3 \cdot \frac{2,00}{2} = 93,1 \text{ kN}$$

- normal zur Wandebene

$$v_{z,d,II} = \gamma_Q \cdot \psi_{0,w} \cdot \frac{\pm w_{z,k} \cdot l}{2} = 1,50 \cdot 0,60 \cdot \frac{\pm 0,826 \cdot 2,90}{2} = \pm 1,08 \text{ kN/m}$$

$$m_{y,d,II} = \gamma_Q \cdot \psi_{0,w} \cdot \frac{\pm w_{z,k} \cdot l^2}{8} = 1,50 \cdot 0,60 \cdot \frac{\pm 0,826 \cdot 2,90^2}{8} = \pm 0,781 \text{ kNm/m}$$

- Einwirkungskombination III: Wind führend, Nutzlast und Schnee begleitend
- in der Wandebene

$$n_{d,III} = \gamma_G \cdot g_k + \gamma_Q \cdot \psi_{0,p} \cdot p_k + \gamma_Q \cdot \psi_{0,s} \cdot s_k = 1,35 \cdot 23,0 + 1,50 \cdot 0,70 \cdot 18,0 + 1,50 \cdot 0,50 \cdot 1,68 = 51,2 \text{ kN/m}$$

Druckkraft auf den Standardstiel

$$F_{c,Ed,III} = n_{d,III} \cdot a_r = 51,2 \cdot \frac{625}{1.000} = 32,0 \text{ kN}$$

$$F_{2,v,Ed,III} = W_{2,y,d,III} = \gamma_{Q,w} \cdot W_{2,y,k} = 1,50 \cdot \pm 26,3 = \pm 39,5 \text{ kN} \quad \text{bzw.} \quad w_{2,y,d,III} = \gamma_Q \cdot w_{2,y,k} = 1,50 \cdot \pm 5,84 = \pm 8,76 \text{ kN/m}$$

Kräfte an den Wandenden

$$F_{2,c,Ed,III} = F_{2,t,Ed,III} = F_{2,v,Ed,III} \cdot \frac{h}{b_i} = \pm 39,5 \cdot \frac{2,90}{4,50} = \pm 25,5 \text{ kN}$$

resultierende Druckkraft auf den Stiel am Wandeck

$$F_{Rand,2,c,Ed,III} = F_{2,c,Ed,III} + n_{d,III} \cdot \frac{a_r}{2} = 25,5 + 51,2 \cdot \frac{0,625}{2} = 41,5 \text{ kN}$$

resultierende Druckkraft auf den Stiel am Fensterrand

$$F_{Fenster,2,c,Ed,III} = F_{2,c,Ed,III} + n_{d,III} \cdot \frac{a_r}{2} + n_{d,III} \cdot \frac{b_{Fenster}}{2} = 25,5 + 51,2 \cdot \frac{0,625}{2} + 51,2 \cdot \frac{2,00}{2} = 92,7 \text{ kN}$$

- normal zur Wandebene

$$v_{z,d,III} = \gamma_Q \cdot \frac{\pm w_{z,k} \cdot l}{2} = 1,50 \cdot \frac{\pm 0,826 \cdot 2,90}{2} = \pm 1,80 \text{ kN/m}$$

$$m_{y,d,III} = \gamma_Q \cdot \frac{\pm w_{z,k} \cdot l^2}{8} = 1,50 \cdot \frac{\pm 0,826 \cdot 2,90^2}{8} = \pm 1,30 \text{ kNm/m}$$

- Einwirkungskombination IV: ständige Einwirkung (günstig), Wind führend (ungünstig)

$$n_{d,IV} = \gamma_{G,inf} \cdot g_k = 0,90 \cdot 23,0 = 20,7 \text{ kN/m}$$

resultierende Zugkraft auf den Randstiel

$$F_{t,Ed} = F_{2,t,Ed,III} - n_{d,IV} \cdot \frac{a_r}{2} = 25,5 - 20,7 \cdot \frac{0,625}{2} = 19,0 \text{ kN}$$

Nachweisführung für die Wand Y2

Anmerkung:

Es wird vorausgesetzt, dass die vertikalen Einwirkungen und die Biegebeanspruchung ausschließlich durch die Vollholz-Rippe abgetragen werden. Die Beplankung überträgt die Schubbeanspruchung in der Scheibenebene.

Nutzungs-kategorie:

NKL 1

Aufbau der Wandkonstruktion

Stiele/Riegel: Vollholz C24, b/h = 65/160 mm

Beplankung: Sperrholz (F20/15 E30/25), t = 15 mm, beidseitig

Verbindungsmittel: Druckluftnägel d = 3,40 mm | l = 50,0 mm

Baustoffkenngrößen

Stiele/Riegel

charakt. Wert der Biegefestigkeit:	$f_{m,k}$	= 24,0 N/mm ²	Tab. III.9
charakt. Wert der Zugfestigkeit in FR:	$f_{t,0,k}$	= 14,5 N/mm ²	Tab. III.9
charakt. Wert der Druckfestigkeit in FR:	$f_{c,0,k}$	= 21,0 N/mm ²	Tab. III.9
charakt. Wert der Druckfestigkeit normal zur FR:	$f_{c,90,k}$	= 2,50 N/mm ²	Tab. III.9
charakt. Wert der Schubfestigkeit:	$f_{v,k}$	= 2,30 N/mm ²	Tab. III.9
charakt. Wert der Rohdichte:	ρ_k	= 350 kg/m ³	Tab. III.9
Teilsicherheitsbeiwert:	γ_M	= 1,30	Tab. III.3

Beplankung

charakt. Wert der Schubfestigkeit (Scheibenbean.):	$f_{v,k}$	= 1,80 N/mm ²	Tab. III.16
charakt. Wert der Rohdichte:	ρ_k	= 350 kg/m ³	Tab. III.16
Teilsicherheitsbeiwert:	γ_M	= 1,20	Tab. III.3

Teilsicherheitsbeiwert Verbindung:

$$\gamma_{M,Verb} = 1,30 \quad \text{Tab. III.3}$$

Nachweise

Querdrucknachweis am Wandfuß

- für den Standardstiel

wirksame Fläche

$$A_{ef} = h \cdot (b + 2 \cdot 30) = 160 \cdot (65,0 + 2 \cdot 30,0) = 2,00 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

Querdruckspannung

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,Ed,d}}{A_{ef}} = \frac{37,1 \cdot 10^3}{2,00 \cdot 10^4} = 1,86 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

KLED „kurz“ (Schnee) $\rightarrow k_{\text{mod}} = 0,90$

$$f_{c,90,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{c,90,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{2,50}{1,30} = 1,73 \text{ N/mm}^2$$

Tab. III.9

mit $k_{c,90} = 1,25$ für Vollholz und dem Erhöhungsfaktor von 20 % für Wandscheiben

$$\frac{\sigma_{c,90,d}}{EF \cdot k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} = \frac{1,86}{1,20 \cdot 1,25 \cdot 1,73} = 0,72 > 1$$

- für den Stiel am Wandeck

$$A_{\text{ef,Rand}} = h \cdot (b + 1 \cdot 30) = 160 \cdot (65,0 + 1 \cdot 30,0) = 1,52 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{c,90,d;\text{Rand}} = \frac{F_{\text{Rand},2,c,\text{Ed,III}}}{A_{\text{ef,Rand}}} = \frac{41,5 \cdot 10^3}{1,52 \cdot 10^4} = 2,73 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

KLED „kurz/sehr kurz“ (Wind) $\rightarrow k_{\text{mod}} = 1,00$

$$f_{c,90,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{c,90,k}}{\gamma_M} = 1,00 \cdot \frac{2,50}{1,30} = 1,92 \text{ N/mm}^2$$

Tab. III.9

mit $k_{c,90} = 1,00$ für Vollholz (Rand) und dem Erhöhungsfaktor von 20 % für Wandscheiben

$$\frac{\sigma_{c,90,d;\text{Rand}}}{EF \cdot k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} = \frac{2,73}{1,20 \cdot 1,00 \cdot 1,92} = 1,18 > 1 \rightarrow \text{Nachweis nicht eingehalten!}$$

Anordnung von zwei Stielen am Wandeck

$$A_{\text{ef,Rand},2x} = h \cdot (2 \cdot b + 1 \cdot 30) = 160 \cdot (2 \cdot 65,0 + 1 \cdot 30,0) = 2,56 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{c,90,d;\text{Rand},2x} = \frac{F_{\text{Rand},2,c,\text{Ed,III}}}{A_{\text{ef,Rand},2x}} = \frac{41,5 \cdot 10^3}{2,56 \cdot 10^4} = 1,62 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{c,90,d;\text{Rand},2x}}{EF \cdot k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} = \frac{1,62}{1,20 \cdot 1,00 \cdot 1,92} = 0,70 < 1$$

- für den Stiel am Fensterrand

Anordnung von drei Stielen am Fensterrand

$$A_{\text{ef,Fenster},3x} = h \cdot (3 \cdot b + 2 \cdot 30) = 160 \cdot (3 \cdot 65,0 + 2 \cdot 30,0) = 4,08 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{c,90,d;\text{Fenster},3x} = \frac{F_{\text{Fenster},2,c,\text{Ed,II}}}{A_{\text{ef,Fenster},3x}} = \frac{93,1 \cdot 10^3}{4,08 \cdot 10^4} = 2,28 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{c,90,d;\text{Fenster},3x}}{EF \cdot k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} = \frac{2,28}{1,20 \cdot 1,25 \cdot 1,92} = 0,79 < 1$$

Abtragung der Normalkraft und der Beanspruchung rechtwinklig zur Scheibenebene

Baustoffkenngrößen – Bemessungswerte

KLED „kurz/sehr kurz“ (Wind) $\rightarrow k_{\text{mod}} = 1,00$

$$f_{m,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 1,00 \cdot \frac{24,0}{1,30} = 18,5 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Tab. III.9}$$

$$f_{c,0,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M} = 1,00 \cdot \frac{21,0}{1,30} = 16,2 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Tab. III.9}$$

$$f_{t,0,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_M} = 1,00 \cdot \frac{14,5}{1,30} = 11,2 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Tab. III.9}$$

$$f_{v,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 1,00 \cdot \frac{2,30}{1,30} = 1,77 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Tab. III.9}$$

Querschnittswerte

$$A = b \cdot h = 65,0 \cdot 160 = 1,04 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

$$W_y = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{65,0 \cdot 160^2}{6} = 2,77 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

Knickbeiwert

- um die y-Achse
- um die z-Achse

$$\lambda_y = \frac{l_{k,y}}{0,289 \cdot h} = \frac{1,00 \cdot 2,900}{0,289 \cdot 160} = 62,7 \rightarrow k_{c,y} \approx 0,643 \quad \rightarrow k_{c,z} = 1,00 \text{ (Wand in z-Richtung kontinuierlich gehalten)}$$

Kippbeiwert

$$\rightarrow k_{\text{crit}} = 1,00 \text{ (Wand in z-Richtung kontinuierlich gehalten)}$$

- Nachweise für den Standardstiel

- Einwirkungskombination II

Normalspannung

mit $F_{c,d;II} = F_{c,d;I}$

$$\sigma_{c,0,d;II} = \frac{F_{c,d;II}}{A} = \frac{37,1 \cdot 10^3}{1,04 \cdot 10^4} = 3,57 \text{ N/mm}^2$$

Biegespannung

$$\sigma_{m,y,d;II} = \frac{m_{y,d;II} \cdot a_r}{W_y} = \frac{0,781 \cdot 10^6 \cdot \frac{625}{1,000}}{2,77 \cdot 10^5} = 1,76 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

mit $\sigma_{m,z,d;II} = 0 \text{ N/mm}^2$

$$(1) \quad \frac{\sigma_{c,0,d;II}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d;II}}{k_{\text{crit}} \cdot f_{m,y,d}} + \left(\frac{\sigma_{m,z,d;II}}{f_{m,z,d}} \right)^2 = \frac{3,57}{0,643 \cdot 16,2} + \frac{1,76}{1,00 \cdot 18,5} + 0 = 0,343 + 0,0951 + 0 = 0,44 < 1$$

$$(2) \quad \frac{\sigma_{c,0,d;II}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + \left(\frac{\sigma_{m,y,d;II}}{k_{\text{crit}} \cdot f_{m,y,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,z,d;II}}{f_{m,z,d}} = \frac{3,57}{1,00 \cdot 16,2} + \left(\frac{1,76}{1,00 \cdot 18,5} \right)^2 + 0 = 0,220 + 0,00905 + 0 = 0,23 < 1$$

Schubnachweis

Schubspannung

$$\tau_{d,II} = 1,5 \cdot \frac{v_{z,d,II} \cdot a_r}{A} = 1,5 \cdot \frac{1,08 \cdot 10^3 \cdot \frac{625}{1.000}}{1,04 \cdot 10^4} = 0,0974 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\tau_{d,II}}{f_{v,d}} = \frac{0,0974}{1,77} = 0,055 < 1$$

- Einwirkungskombination III

Normalspannung

$$\sigma_{c,0,d,III} = \frac{F_{c,Ed,III}}{A} = \frac{32,0 \cdot 10^3}{1,04 \cdot 10^4} = 3,08 \text{ N/mm}^2$$

Biegespannung

$$\sigma_{m,y,d,III} = \frac{m_{y,d,III} \cdot a_r}{W_y} = \frac{1,30 \cdot 10^6 \cdot \frac{625}{1.000}}{2,77 \cdot 10^5} = 2,93 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

mit $\sigma_{m,z,d,II} = 0 \text{ N/mm}^2$

$$(1) \quad \frac{\sigma_{c,0,d,III}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d,III}}{k_{crit} \cdot f_{m,y,d}} + \left(\frac{\sigma_{m,z,d,III}}{f_{m,z,d}} \right)^2 = \frac{3,08}{0,643 \cdot 16,2} + \frac{2,93}{1,00 \cdot 18,5} + 0 = 0,296 + 0,158 + 0 = 0,45 < 1$$

$$(2) \quad \frac{\sigma_{c,0,d,III}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + \left(\frac{\sigma_{m,y,d,III}}{k_{crit} \cdot f_{m,y,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,z,d,III}}{f_{m,z,d}} = \frac{3,08}{1,00 \cdot 16,2} + \left(\frac{2,93}{1,00 \cdot 18,5} \right)^2 + 0 = 0,190 + 0,0251 + 0 = 0,22 < 1$$

Schubnachweis

Schubspannung

$$\tau_{d,III} = 1,5 \cdot \frac{v_{d,III} \cdot a_r}{A} = 1,5 \cdot \frac{1,80 \cdot 10^3 \cdot \frac{625}{1.000}}{1,04 \cdot 10^4} = 0,162 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\tau_{d,III}}{f_{v,d}} = \frac{0,162}{1,77} = 0,092 < 1$$

• Nachweise für den Stiel am Fensterrand

Normalspannungen

$$\sigma_{c,0,d;Fenster,III} = \frac{F_{Fenster,2,c,Ed,III}}{3 \cdot A} = \frac{92,7 \cdot 10^3}{3 \cdot 1,04 \cdot 10^4} = 2,97 \text{ N/mm}^2$$

Biegespannungen

$$\sigma_{m,d;Fenster,III} = \frac{m_{y,d,III} \cdot s}{3 \cdot W} = \frac{1,30 \cdot 10^6 \cdot \frac{625/2}{1.000}}{3 \cdot 2,77 \cdot 10^5} = 0,489 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$(1) \quad \frac{\sigma_{c,0,d;\text{Fenster,III}}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d;\text{Fenster,III}}}{k_{\text{crit}} \cdot f_{m,y,d}} + \left(\frac{\sigma_{m,z,d;\text{Fenster,III}}}{f_{m,z,d}} \right)^2 = \frac{2,97}{0,643 \cdot 16,2} + \frac{0,489}{1,00 \cdot 18,5} + 0 = 0,285 + 0,0264 + 0 = 0,31 < 1$$

$$(2) \quad \frac{\sigma_{c,0,d;\text{Fenster,III}}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + \left(\frac{\sigma_{m,y,d;\text{Fenster,III}}}{k_{\text{crit}} \cdot f_{m,y,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,z,d;\text{Fenster,III}}}{f_{m,z,d}} = \frac{2,97}{1,00 \cdot 16,2} + \left(\frac{0,489}{1,00 \cdot 18,5} \right)^2 + 0 = 0,183 + 0,0007 + 0 = 0,18 < 1$$

- Einwirkungskombination IV (Zug am Wandende)

Normalspannung

mit $F_{t,Ed;IV} = F_{t,ed;V}$

$$\sigma_{t,0,d;IV} = \frac{F_{t,Ed;IV}}{2 \cdot A} = \frac{19,0 \cdot 10^3}{2 \cdot 1,04 \cdot 10^4} = 0,913 \text{ N/mm}^2$$

Biegespannung

$$\sigma_{m,y,d;IV} = \frac{m_{y,d;IV} \cdot a_r}{2 \cdot W_y} = \frac{1,30 \cdot 10^6 \cdot \frac{625}{2}}{2 \cdot 2,77 \cdot 10^5} = 0,733 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{t,0,d;IV}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d;IV}}{f_{m,d}} = \frac{0,913}{11,2} + \frac{0,733}{18,5} = 0,0815 + 0,0396 = 0,12 < 1$$

Nachweis der Abtragung des Scheibenschubes

- Beulen der Beplankung

Überprüfung der Plattendicke hinsichtlich Beulgefahr

$$t_{\text{grenz}} = \frac{a_r}{35} = \frac{625}{35} = 17,9 \text{ mm} > t = 15,0 \text{ mm}$$

Abminderungsfaktor auf Grund der Beulgefahr der Beplankung

$$\rightarrow \eta = 35 \cdot \frac{t}{a_r} = 35 \cdot \frac{15,0}{625} = 0,840$$

vereinfachter Nachweis der Tragfähigkeit der Beplankung (Schubnachweis)

Schubfluß in einer Beplankung

$$s_{v,0,d} = \frac{F_{2,v,E,d;III}}{m \cdot l_2} = \frac{39,5}{2 \cdot 4,50} = 4,39 \text{ kN/m} = 4,39 \text{ N/mm} \quad \text{mit } m = 2 \dots \text{beidseitige Beplankung}$$

Schubspannung

$$\tau_{f,d} = \frac{s_{v,0,d}}{t} = \frac{4,39}{15,0} = 0,293 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswert der Schubfestigkeit der Beplankung

$$f_{f,v,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{f,v,k}}{\gamma_M} = 1,00 \cdot \frac{1,80}{1,20} = 1,50 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\tau_{f,v,d}}{AF \cdot \eta \cdot f_{f,v,d}} = \frac{0,293}{0,500 \cdot 0,840 \cdot 1,50} = 0,47 < 1$$

mit

AF ... Faktor zur Abminderung der Schubfestigkeit der Beplankung auf Grund der Exzentrizität zwischen Rippenachse und Beplankungsmittelfläche sowie aus diskontinuierlichen und rechtwinklig zur Rippenachse gerichteter Kräfte (für beidseitige Beplankung: Verringerung um 50 %)

Tragfähigkeit eines Verbindungsmittels pro Verbindungsmittel und Scherfuge

gewähltes Verbindungsmittel: Druckluftnägel $d = 3,40 \text{ mm}$ | $l = 50,0 \text{ mm}$ | $f_{u,k} = 600 \text{ N/mm}^2$

Kontrolle des Randabstandes: $a_{4,c} = 5 \cdot d = 5 \cdot 3,40 = 17,0 \text{ mm} < h_{\text{Stiel}}/2 = 65,0/2 = 32,5 \text{ mm}$

wirksame Einbindetiefe in den Stiel

$$t_2 = l - t = 50,0 - 15,0 = 35,0 \text{ mm}$$

Lochleibungsfestigkeit

$$f_{h,k,1} = 0,11 \cdot \rho_k \cdot d^{-0,3} = 0,11 \cdot 350 \cdot 3,40^{-0,3} = 26,7 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,k,2} = 0,082 \cdot \rho_k \cdot d^{-0,3} = 0,082 \cdot 350 \cdot 3,40^{-0,3} = 19,9 \text{ N/mm}^2$$

$$\beta = \frac{f_{h,k,2}}{f_{h,k,1}} = \frac{19,9}{26,7} = 0,745$$

Fließmoment

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 600 \cdot 3,40^{2,6} = 4.336 \text{ Nmm}$$

Tragfähigkeit je Verbindungsmittel und Scherfuge für eine einschnittige Holz-Holz-Verbindung

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \\ f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d \\ \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{1 + \beta} \cdot \left[\sqrt{\beta + 2 \cdot \beta^2 \cdot \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \cdot \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \cdot \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] \\ 1,05 \cdot \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \cdot \left[\sqrt{2 \cdot \beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right] \\ 1,05 \cdot \frac{f_{h,1,k} \cdot t_2 \cdot d}{1 + 2 \cdot \beta} \cdot \left[\sqrt{2 \cdot \beta^2 \cdot (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (1 + 2 \cdot \beta) \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_2^2}} - \beta \right] \\ 1,15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} \end{array} \right.$$

$$= \min \left\{ \begin{array}{l} 26,7 \cdot 15,0 \cdot 3,40 \\ 19,9 \cdot 35,0 \cdot 3,40 \\ \frac{26,7 \cdot 15,0 \cdot 3,40}{1 + 0,745} \cdot \left[\sqrt{0,745 + 2 \cdot 0,745^2 \cdot \left[1 + \frac{35,0}{15,0} + \left(\frac{35,0}{15,0} \right)^2 \right] + 0,745^3 \cdot \left(\frac{35,0}{15,0} \right)^2} - 0,745 \cdot \left(1 + \frac{35,0}{15,0} \right) \right] \\ 1,05 \cdot \frac{26,7 \cdot 15,0 \cdot 3,40}{2 + 0,745} \cdot \left[\sqrt{2 \cdot 0,745 \cdot (1 + 0,745) + \frac{4 \cdot 0,745 \cdot (2 + 0,745) \cdot 4.336}{26,7 \cdot 3,40 \cdot 15,0^2}} - 0,745 \right] \\ 1,05 \cdot \frac{26,7 \cdot 35,0 \cdot 3,40}{1 + 2 \cdot 0,745} \cdot \left[\sqrt{2 \cdot 0,745^2 \cdot (1 + 0,745) + \frac{4 \cdot 0,745 \cdot (1 + 2 \cdot 0,745) \cdot 4.336}{26,7 \cdot 3,40 \cdot 35,0^2}} - 0,745 \right] \\ 1,15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 0,745}{1 + 0,745}} \cdot \sqrt{2 \cdot 4.336 \cdot 26,7 \cdot 3,40} \end{array} \right.$$

$$= \min \left\{ \begin{array}{l} 1.362 \text{ N} \\ 2.368 \text{ N} \\ 847 \text{ N} \\ 697 \text{ N} \\ 1.001 \text{ N} \\ 943 \text{ N} \end{array} \right. = 697 \text{ N}$$

Bemessungswert der Tragfähigkeit eines Verbindungsmittels

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{M,Verb}} = 1,00 \cdot \frac{697}{1,30} = 536 \text{ N}$$

Bemessungswert der Beanspruchbarkeit eines einzelnen Verbindungsmittels auf Abscheren in einer Wandscheibe (Erhöhung der Tragfähigkeit um 20 %)

$$F_{f,v,Rd} = EF \cdot F_{v,Rk} = 1,20 \cdot 536 = 643 \text{ N}$$

Ermittlung des Verbindungsmittelabstandes

$$b_i = 4,50 \text{ m} > b_0 = \frac{h}{2} = \frac{2,90}{2} = 1,45 \text{ m} \rightarrow c_i = 1,00$$

$$F_{i,v,Rd} = m \cdot \frac{F_{f,v,Rd} \cdot b_i \cdot c_i}{s} \rightarrow \text{im Grenzfall: } F_{2,v,Rd} = F_{2,v,Ed;III} = 39,5 \text{ kN}$$

erforderlicher Verbindungsmittelabstand

$$\rightarrow s_{req} \leq m \cdot \frac{F_{f,v,Rd} \cdot b_i \cdot c_i}{F_{2,v,Ed;III}} = 2 \cdot \frac{0,643 \cdot 4,50 \cdot 1,00}{39,5} = 0,147 \text{ m} = 147 \text{ mm}$$

mit

$m = 2$ für eine beidseitige Beplankung bei gleicher Beplankungsdicke und gleichem Verbindungsmittelabstand

maximaler Verbindungsmittelabstand gemäß Abschnitt EN 1995-1-1:2019, Abschnitt 10.8.2 für Nägel:

$\rightarrow s_{max,Außen} = 150 \text{ mm}$ an den Beplankungsrändern und $s_{max,Innen} = 300 \text{ mm}$ bzw. $\max 2 \cdot s_{max,Außen}$ an den Innenstielen

gewählt: Druckluftnägel $d = 3,40 \text{ mm}$ | $l = 50,0 \text{ mm}$ | $s_{Außen} = 125 \text{ mm}$ bzw. $s_{Innen} = 250 \text{ mm}$

Nachweis mit Schrägstellung der Wand

Eine Berücksichtigung der Auswirkungen von Imperfektionen in Form einer Schrägstellung und ein Nachweis der horizontalen Verformung ist für die vorliegende Schubwand auf Grund der geometrischen Randbedingungen nicht erforderlich.

Anschluss der Wand an das darunterliegende Geschoß

- Übertragung der Schubbeanspruchung in der Ebene

zu übertragende Schubkräfte: $F_{2/3,d} = F_{2,v,Ed;III} = 39,5 \text{ kN}$ und

$$F_{4/5,d} = v_{z,d;III} = 1,80 \cdot (4,50 + 2,0/2) = 9,90 \text{ kN}$$

gewählt: 5 x Stahlwinkel mit $R_{2,k} = R_{3,k} = 11,2 \text{ kN}$ sowie $R_{4,k} = R_{5,k} = 6,1 / k_{mod}$ mit Rillennägeln 4,0 x 60 mm

Bemessungswerte

$$R_{2,d} = R_{3,d} = \frac{R_{2/3,k}}{\gamma_{M,Verb}} = \frac{11,2}{1,30} = 8,62 \text{ kN}$$

$$R_{4,d} = R_{5,d} = \frac{6,10}{k_{mod}} \cdot \frac{1}{\gamma_{M,Verb}} = \frac{6,10}{1,00} \cdot \frac{1}{1,30} = 4,69 \text{ kN}$$

Nachweis

$$\sqrt{\left(\frac{F_{1,d}}{n \cdot R_{1,d}} + \frac{F_{4/5,d}}{n \cdot R_{4/5,d}}\right)^2 + \left(\frac{F_{2/3,d}}{n \cdot R_{2/3,d}}\right)^2} = \sqrt{\left(0 + \frac{39,5}{5 \cdot 8,62}\right)^2 + \left(\frac{9,90}{5 \cdot 4,69}\right)^2} = \sqrt{0,840 + 0,178} = 1,01 \approx 1$$

- Zugverankerung (an beiden Wandenden)

zu übertragende Zugkraft: $F_{t,Ed} = F_{2,t,Ed;IV} = 19,0 \text{ kN}$

gewählt: Zuganker $F_{1,k} = \min [(n-3,5) \cdot 2,36 \text{ [kN]}; 53,1 \text{ [kN]}; 57,5/k_{mod} \text{ [kN]}]$ mit Rillennägel 4,0 x 60 mm und maximaler Anzahl der Rillennägel je Zuganker: $n = 26$

Bemessungswert der Tragfähigkeit eines Zugankers

$$R_{1,d} = \min \left\{ \begin{array}{l} (n-3,5) \cdot 2,36 \text{ [kN]} \\ 53,1 \text{ [kN]} \\ 57,5 / k_{mod} \text{ [kN]} \end{array} \right\} \cdot \frac{1}{\gamma_{M,Verb}} = \min \left\{ \begin{array}{l} (18-3,5) \cdot 2,36 = 34,2 \text{ [kN]} \\ 53,1 \text{ [kN]} \\ 57,5 / 1,00 = 57,5 \text{ [kN]} \end{array} \right\} \cdot \frac{1}{1,30} = \min \left\{ \begin{array}{l} 26,3 \text{ kN} \\ 40,8 \text{ kN} \\ 44,2 \text{ kN} \end{array} \right\} = 26,3 \text{ kN}$$

Nachweis

$$\frac{F_{t,Ed}}{R_{1,d}} = \frac{19,0}{26,3} = 0,72 < 1$$

Anmerkung:

Zusätzlich zu den dargestellten Nachweisen ist zu zeigen, dass die einwirkenden Beanspruchungen in die darunterliegende Betonkonstruktion eingeleitet werden können!

Variante B: Berechnung der Schubscheiben für Brettsperrholzwände

Die Berechnung der Schubkräfte für die BSP-Wände erfolgt analog zu jener für die Holzleichtbauwände.

Die Schubsteifigkeiten von Wänden aus Brettsperrholz sollten jedoch näherungsweise mit der 1,5-fachen Potenz der Wandscheibenlänge berücksichtigt werden:

$$B_{x,i} \approx l_{x,i}^{1,5} \quad \text{und} \quad B_{y,i} \approx l_{y,i}^{1,5}$$

Nachfolgend sind die Berechnungsergebnisse in Tabellen zusammengefasst:

- Ermittlung der Lage des Steifigkeitszentrums und des polaren Trägheitsmomentes

Wand	$B_{x,i}$ [m]	$B_{y,i}$ [m]	y_i [m]	x_i [m]	$B_{x,i} \cdot y_i$ [m ²]	$B_{y,i} \cdot x_i$ [m ²]	$y_i - y_s$ [m]	$x_i - x_s$ [m]	$B_{x,i} \cdot (y_i - y_s)^2$ [m ³]	$B_{y,i} \cdot (x_i - x_s)^2$ [m ³]
X1	$1,00^{1,5} = 1,00$	-	0	-	0	-	-4,38	-	19,2	-
X2	$(0,500)^{1,5} = 0,354$	-		-	-	-	-	-	-	-
X3	$1,00^{1,5} = 1,00$	-		-	0	-	-4,38	-	19,2	-
X4	$4,00^{1,5} = 8,00$	-		-	0	-	-4,38	-	153	-
X5	$3,25^{1,5} = 5,86$	-	3,50	-	20,5	-	-0,880	-	4,54	-
X6	$4,25^{1,5} = 8,76$	-		-	30,7	-	-0,880	-	6,78	-
X7	$2,00^{1,5} = 2,83$	-	5,50	-	15,6	-	1,12	-	3,55	-
X8	$4,50^{1,5} = 9,55$	-	10,0	-	95,5	-	5,62	-	302	-
Y1	-	$3,50^{1,5} = 6,55$	-	0	-	0	-	-5,45	-	195
Y2	-	$4,50^{1,5} = 9,55$	-		-	0	-	-5,45	-	284
Y3	-	$3,50^{1,5} = 6,55$	-	5,00	-	32,8	-	-0,450	-	1,33
Y4	-	$2,25^{1,5} = 3,38$	-	10,0	-	33,8	-	4,55	-	70,0
Y5	-	$2,25^{1,5} = 3,38$	-		-	33,8	-	4,55	-	70,0
Y6	-	$1,50^{1,5} = 1,84$	-	14,0	-	25,8	-	8,55	-	135
Y7	-	$3,00^{1,5} = 5,20$	-		-	72,8	-	8,55	-	380
Summe	37,0	36,5			162	199			508	1.135

Lage des Steifigkeitszentrums

$$x_s = \frac{\sum B_{y,i} \cdot x_i}{\sum B_{y,i}} = \frac{199}{36,5} = 5,45 \text{ m} \quad y_s = \frac{\sum B_{x,i} \cdot y_i}{\sum B_{x,i}} = \frac{162}{37,0} = 4,38 \text{ m}$$

polares Trägheitsmoment

$$I_p = \sum B_{y,i} \cdot (x_i - x_s)^2 + \sum B_{x,i} \cdot (y_i - y_s)^2 = 1.135 + 508 = 1.643 \text{ m}^3$$

- Berechnung der Wandscheibenkräfte

- Lastfall I: Wind in Richtung der x-Achse mit „positiver“ Exzentrizität

$$W_{x,k,I} = +78,8 \text{ kN} \quad | \quad e_{y,I} = -\left(\frac{l_y}{2} - y_s\right) - \frac{l_y}{10} = -\left(\frac{10,0}{2} - 4,38\right) - \frac{10,0}{10} = -1,62 \text{ m} \quad | \quad M_{k,I} = W_{x,k,I} \cdot e_{y,I} = 78,8 \cdot (-1,62) = -128 \text{ kNm}$$

Wand	$B_{x,i}$	$B_{y,i}$	$y_i - y_s$	$x_i - x_s$	$F_{F,x,k}$	$F_{F,y,k}$	$F_{M,x,k}$	$F_{M,y,k}$	$F_{x,k}$	$F_{y,k}$
	[m]	[m]	[m]	[m]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
X1	1,00	-	- 4,38	-	- 2,13	-	0,341	-	- 1,79	-
X2	(0,354)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X3	1,00	-	- 4,38	-	- 2,13	-	0,341	-	- 1,79	-
X4	8,00	-	- 4,38	-	- 17,0	-	2,73	-	- 14,3	-
X5	5,86	-	- 0,880	-	- 12,5	-	0,402	-	- 12,1	-
X6	8,76	-	- 0,880	-	- 18,7	-	0,601	-	- 18,1	-
X7	2,83	-	1,12	-	- 6,03	-	- 0,247	-	- 6,28	-
X8	9,55	-	5,62	-	- 20,3	-	- 4,18	-	- 24,5	-
Y1	-	6,55	-	- 5,45	-	-	-	- 2,78	-	- 2,78
Y2	-	9,55	-	- 5,45	-	-	-	- 4,05	-	- 4,05
Y3	-	6,55	-	- 0,450	-	-	-	- 0,230	-	- 0,230
Y4	-	3,38	-	4,55	-	-	-	1,20	-	1,20
Y5	-	3,38	-	4,55	-	-	-	1,20	-	1,20
Y6	-	1,84	-	8,55	-	-	-	1,23	-	1,23
Y7	-	5,20	-	8,55	-	-	-	3,46	-	3,46
Summe	37,0	36,5			≈ -78,8	-	≈ 0	≈ 0	≈ -78,8	≈ 0

- Lastfall II: Wind in Richtung der x-Achse mit negativer Exzentrizität

$$W_{x,k,II} = +78,8 \text{ kN} \quad | \quad e_{y,II} = \left(\frac{l_y}{2} - y_s\right) + \frac{l_y}{10} = \left(\frac{10,0}{2} - 4,38\right) + \frac{10,0}{10} = 0,380 \text{ m} \quad | \quad M_{k,II} = W_{x,k,II} \cdot e_{y,II} = 78,8 \cdot 0,380 = 29,9 \text{ kNm}$$

Wand	$B_{x,i}$	$B_{y,i}$	$y_i - y_s$	$x_i - x_s$	$F_{F,x,k}$	$F_{F,y,k}$	$F_{M,x,k}$	$F_{M,y,k}$	$F_{x,k}$	$F_{y,k}$
	[m]	[m]	[m]	[m]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
X1	1,00	-	- 4,38	-	- 2,13	-	- 0,0797	-	- 2,21	-
X2	(0,354)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X3	1,00	-	- 4,38	-	- 2,13	-	- 0,0797	-	- 2,21	-
X4	8,00	-	- 4,38	-	- 17,0	-	- 0,638	-	- 17,6	-
X5	5,86	-	- 0,880	-	- 12,5	-	- 0,0938	-	- 12,6	-
X6	8,76	-	- 0,880	-	- 18,7	-	- 0,140	-	- 18,8	-
X7	2,83	-	1,12	-	- 6,03	-	0,0577	-	- 5,97	-
X8	9,55	-	5,62	-	- 20,3	-	0,977	-	- 19,3	-
Y1	-	6,55	-	- 5,45	-	-	-	0,650	-	0,650
Y2	-	9,55	-	- 5,45	-	-	-	0,947	-	0,947
Y3	-	6,55	-	- 0,450	-	-	-	0,0536	-	0,0536
Y4	-	3,38	-	4,55	-	-	-	- 0,280	-	- 0,280
Y5	-	3,38	-	4,55	-	-	-	- 0,280	-	- 0,280
Y6	-	1,84	-	8,55	-	-	-	- 0,286	-	- 0,286
Y7	-	5,20	-	8,55	-	-	-	- 0,809	-	- 0,809
Summe	37,0	36,5			≈ -78,8	-	≈ 0	≈ 0	≈ -78,8	≈ 0

- Lastfall III: Wind in Richtung der y-Achse mit positiver Exzentrizität

$$W_{y,k,III} = +111 \text{ kN} \quad | \quad e_{x,III} = \left(\frac{l_x}{2} - x_s \right) + \frac{l_x}{10} = \left(\frac{14,0}{2} - 5,45 \right) + \frac{14,0}{10} = 2,95 \text{ m} \quad | \quad M_{k,III} = W_{y,k,III} \cdot e_{x,III} = 111 \cdot 2,95 = 327 \text{ kNm}$$

Wand	$B_{x,i}$	$B_{y,i}$	$y_i - y_s$	$x_i - x_s$	$F_{F,x,k}$	$F_{F,y,k}$	$F_{M,x,k}$	$F_{M,y,k}$	$F_{x,k}$	$F_{y,k}$
	[m]	[m]	[m]	[m]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
X1	1,00	-	- 4,38	-	-	-	- 0,872	-	- 0,872	-
X2	(0,354)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X3	1,00	-	- 4,38	-	-	-	- 0,872	-	- 0,872	-
X4	8,00	-	- 4,38	-	-	-	- 6,97	-	- 6,97	-
X5	5,86	-	- 0,880	-	-	-	- 1,03	-	- 1,03	-
X6	8,76	-	- 0,880	-	-	-	- 1,53	-	- 1,53	-
X7	2,83	-	1,12	-	-	-	0,631	-	0,631	-
X8	9,55	-	5,62	-	-	-	10,7	-	10,7	-
Y1	-	6,55	-	- 5,45	-	- 19,9	-	7,10	-	- 12,8
Y2	-	9,55	-	- 5,45	-	- 29,0	-	10,4	-	- 18,6
Y3	-	6,55	-	- 0,450	-	- 19,9	-	0,587	-	- 19,3
Y4	-	3,38	-	4,55	-	- 10,3	-	- 3,06	-	- 13,4
Y5	-	3,38	-	4,55	-	- 10,3	-	- 3,06	-	- 13,4
Y6	-	1,84	-	8,55	-	- 5,60	-	- 3,13	-	- 8,73
Y7	-	5,20	-	8,55	-	- 15,8	-	- 8,85	-	- 24,7
Summe	37,0	36,5			-	≈ - 111	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ - 111

- Lastfall IV: Wind in Richtung der y-Achse mit negativer Exzentrizität

$$W_{y,k,IV} = +111 \text{ kN} \quad | \quad e_{x,IV} = \left(\frac{l_x}{2} - x_s \right) - \frac{l_x}{10} = \left(\frac{14,0}{2} - 5,45 \right) - \frac{14,0}{10} = 0,150 \text{ m} \quad | \quad M_{k,IV} = W_{y,k,IV} \cdot e_{x,IV} = 111 \cdot 0,150 = 16,7 \text{ kNm}$$

Wand	$B_{x,i}$	$B_{y,i}$	$y_i - y_s$	$x_i - x_s$	$F_{F,x,k}$	$F_{F,y,k}$	$F_{M,x,k}$	$F_{M,y,k}$	$F_{x,k}$	$F_{y,k}$
	[m]	[m]	[m]	[m]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
X1	1,00	-	- 4,38	-	-	-	- 0,0445	-	- 0,0445	-
X2	(0,354)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X3	1,00	-	- 4,38	-	-	-	- 0,0445	-	- 0,0445	-
X4	8,00	-	- 4,38	-	-	-	- 0,356	-	- 0,356	-
X5	5,86	-	- 0,880	-	-	-	- 0,0524	-	- 0,0524	-
X6	8,76	-	- 0,880	-	-	-	- 0,0524	-	- 0,0524	-
X7	2,83	-	1,12	-	-	-	0,0322	-	0,0322	-
X8	9,55	-	5,62	-	-	-	0,546	-	0,546	-
Y1	-	6,55	-	- 5,45	-	- 19,9	-	0,363	-	- 19,5
Y2	-	9,55	-	- 5,45	-	- 29,0	-	0,529	-	- 28,5
Y3	-	6,55	-	- 0,450	-	- 19,9	-	0,0300	-	- 19,9
Y4	-	3,38	-	4,55	-	- 10,3	-	- 0,156	-	- 10,5
Y5	-	3,38	-	4,55	-	- 10,3	-	- 0,156	-	- 10,5
Y6	-	1,84	-	8,55	-	- 5,60	-	- 0,160	-	- 5,76
Y7	-	5,20	-	8,55	-	- 15,8	-	- 0,452	-	- 16,3
Summe	37,0	36,5			-	≈ - 111	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ - 111

Zusammenfassung der Schubkräfte in den Brettsperrholzwänden

Wand	Lastfall I		Lastfall II		Lastfall III		Lastfall IV		Bemessungswerte			
	$F_{x,k}$	$F_{y,k}$	$F_{x,k}$	$F_{y,k}$	$F_{x,k}$	$F_{y,k}$	$F_{x,k}$	$F_{y,k}$	$ F_{x,k} $	$ F_{y,k} $	$ F_{x,k} / l $	$ F_{y,k} / l $
	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN/m]	[kN/m]
X1	- 1,79	-	- 2,21	-	- 0,872	-	- 0,0445	-	2,21	-	2,21	-
X2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X3	- 1,79	-	- 2,21	-	- 0,872	-	- 0,0445	-	2,21	-	2,21	-
X4	- 14,3	-	- 17,6	-	- 6,97	-	- 0,356	-	17,6	-	4,40	-
X5	- 12,1	-	- 12,6	-	- 1,03	-	- 0,0524	-	12,6	-	3,88	-
X6	- 18,1	-	- 18,8	-	- 1,53	-	- 0,0524	-	18,8	-	4,42	-
X7	- 6,28	-	- 5,97	-	0,631	-	0,0322	-	6,28	-	3,14	-
X8	- 24,5	-	- 19,3	-	10,7	-	0,546	-	24,5	-	5,44	-
Y1	-	- 2,78	-	0,650	-	- 12,8	-	- 19,5	-	19,5	-	5,57
Y2	-	- 4,05	-	0,947	-	- 18,6	-	- 28,5	-	28,5	-	6,33
Y3	-	- 0,230	-	0,0536	-	- 19,3	-	- 19,9	-	19,9	-	5,69
Y4	-	1,20	-	- 0,280	-	- 13,4	-	- 10,5	-	13,4	-	5,96
Y5	-	1,20	-	- 0,280	-	- 13,4	-	- 10,5	-	13,4	-	5,96
Y6	-	1,23	-	- 0,286	-	- 8,73	-	- 5,76	-	8,73	-	5,82
Y7	-	3,46	-	- 0,809	-	- 24,7	-	- 16,3	-	24,7	-	8,23

Nachfolgend wird die Nachweisführung exemplarisch für die Wand Y2 (Wandhöhe $h = 2,90$ m) gezeigt. Neben der ermittelten Schubkraft in der Wandscheibe werden für die sonstigen Einwirkungen folgende Annahmen getroffen:

Einwirkungen

- ständige Einwirkung (vertikal) $g_k = 30,0$ kN/m
- veränderliche Einwirkung (vertikal)
 - aus Nutzlast $p_k = 18,0$ kN/m
 - aus Schnee (Seehöhe < 1.000 m) $s_k = 1,68$ kN/m
 - aus Wind (horizontal) $0,751 \cdot (0,80 - (-0,30)) = w_k = \pm 0,826$ kN/m

Einwirkungskombinationen

- Einwirkungskombination I: Nutzlast führend, Schnee begleitend
- in der Wandebene

$$n_{d,I} = \gamma_G \cdot g_k + \gamma_Q \cdot p_k + \gamma_Q \cdot \psi_{0,s} \cdot s_k = 1,35 \cdot 30,0 + 1,50 \cdot 18,0 + 1,50 \cdot 0,50 \cdot 1,68 = 68,8 \text{ kN/m}$$

- Einwirkungskombination II: Nutzlast führend, Schnee und Wind begleitend
- in der Wandebene

$$W_{2,y,d,II} = \gamma_Q \cdot \psi_{0,w} \cdot W_{2,y,k} = 1,50 \cdot 0,60 \pm 28,5 = \pm 25,7 \text{ kN} \quad \text{bzw.} \quad w_{2,y,d,II} = \gamma_Q \cdot \psi_{0,w} \cdot w_{2,y,k} = 1,50 \cdot 0,60 \pm 6,33 = \pm 5,70 \text{ kN/m}$$

- normal zur Wandebene

$$v_{z,d,II} = \gamma_Q \cdot \psi_{0,w} \cdot \frac{\pm w_{z,k} \cdot l}{2} = 1,50 \cdot 0,60 \cdot \frac{\pm 0,826 \cdot 2,90}{2} = \pm 1,08 \text{ kN/m}$$

$$m_{y,d,II} = \gamma_Q \cdot \psi_{0,w} \cdot \frac{\pm w_{z,k} \cdot l^2}{8} = 1,50 \cdot 0,60 \cdot \frac{\pm 0,826 \cdot 2,90^2}{8} = \pm 0,781 \text{ kNm/m}$$

Einwirkungskombination III: Wind führend, Nutzlast und Schnee begleitend

• in der Wandebene

$$n_{d,III} = \gamma_G \cdot g_k + \gamma_Q \cdot \psi_{0,p} \cdot p_k + \gamma_G \cdot \psi_{0,s} \cdot s_k = 1,35 \cdot 30,0 + 1,50 \cdot 0,70 \cdot 18,0 + 1,50 \cdot 0,50 \cdot 1,68 = 60,7 \text{ kN/m}$$

$$W_{2,y,d,III} = \gamma_Q \cdot W_{2,y,k} = 1,50 \cdot \pm 28,5 = \pm 42,8 \text{ kN} \quad \text{bzw.} \quad w_{2,y,d,III} = \gamma_Q \cdot w_{2,y,k} = 1,50 \cdot \pm 6,33 = \pm 9,50 \text{ kN/m}$$

• normal zur Wandebene

$$v_{z,d,III} = \gamma_Q \cdot \frac{\pm w_{z,k} \cdot l}{2} = 1,50 \cdot \frac{\pm 0,826 \cdot 2,90}{2} = \pm 1,80 \text{ kN/m}$$

$$m_{y,d,III} = \gamma_Q \cdot \frac{\pm w_{z,k} \cdot l^2}{8} = 1,50 \cdot \frac{\pm 0,826 \cdot 2,90^2}{8} = \pm 1,30 \text{ kNm/m}$$

Einwirkungskombination IV: ständige Einwirkung günstig

$$n_{d,IV} = \gamma_{G,inf} \cdot g_k = 0,90 \cdot 30,0 = 27,0 \text{ kN/m}$$

- abhebende Kraft am Wandende

$$F_{2,t,Ed,IV} = F_{2,v,Ed,III} \cdot \frac{h}{b} - \frac{n_{d,IV}}{2} = 42,8 \cdot \frac{2,90}{4,50} - \frac{27,0}{2} = 14,1 \text{ kN}$$

Nachweisführung für die Wand Y2

Nutzungs-kategorie: NKL 1

Aufbau der Wand: BSP aus Grundmaterial C 24 nach EN 338 (mit $k_{sys} = 1,20$),
3-schichtig (30-20-30 mm), $t_{clt} = 80 \text{ mm}$

Baustoffkennwerte

Modifikationsbeiwert: $k_{mod} = 1,00$

Tab. III.5

Teilsicherheitsbeiwert: $\gamma_M = 1,25$

Tab. III.3

Bemessungswerte

$$f_{m,lay,d} = k_{mod} \cdot \frac{k_{sys} \cdot f_{m,lay,k}}{\gamma_M} = 1,00 \cdot \frac{28,8}{1,25} = 23,0 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,0,lay,d} = k_{mod} \cdot \frac{k_{sys} \cdot f_{c,0,k}}{\gamma_M} = 1,00 \cdot \frac{25,2}{1,25} = 20,2 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,0,lay,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,0,lay,k}}{\gamma_M} = 1,00 \cdot \frac{3,50}{1,25} = 2,80 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{r,lay,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{r,lay,k}}{\gamma_M} = 1,00 \cdot \frac{1,00}{1,25} = 0,800 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{tor,lay,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{tor,lay,k}}{\gamma_M} = 1,00 \cdot \frac{2,50}{1,25} = 2,00 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,90,lay,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,90,lay,k}}{\gamma_M} = 1,00 \cdot \frac{3,00}{1,25} = 2,40 \text{ N/mm}^2$$

Querschnittswerte

$$A_{clt,x} = A_{clt,ef} = b \cdot \sum t_{längs} = 1.000 \cdot 2 \cdot 30,0 = 6,00 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

$$A_{clt,y} = b \cdot \sum t_{quer} = 1.000 \cdot 20,0 = 2,00 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

$$I_{clt} = \sum I_{eig} + \sum A_i \cdot e_{z,i}^2 = 1.000 \cdot \left(2 \cdot \frac{30,0^3}{12} + 2 \cdot 30,0 \cdot 25,0^2 \right) = 4,20 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$W_{\text{clt},y,\text{Rand}} = \frac{I_{\text{clt}}}{z_{\text{Rand}}} = \frac{4,20 \cdot 10^7}{40,0} = 1,05 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$S_{\text{clt},\tau} = b \cdot t_1 \cdot \frac{1}{2} \cdot (t_{\text{clt}} - t_1) = 1.000 \cdot 30,0 \cdot \frac{1}{2} \cdot (80,0 - 30,0) = 7,50 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

$$i_{\text{clt}} = \sqrt{\frac{I_{\text{clt}}}{A_{\text{clt},\text{ef}}}} = \sqrt{\frac{4,20 \cdot 10^7}{6,00 \cdot 10^4}} = 26,5 \text{ mm}$$

Knickbeiwert

• um die y-Achse

$$\lambda_{\text{clt},y} = \frac{l_k}{i_{\text{clt}}} = \frac{1,00 \cdot 2.900}{26,5} = 109 \quad \rightarrow k_{\text{clt},c,y} = 0,280$$

• um die z-Achse

$$\rightarrow k_{\text{clt},c,z} = 1,00 \text{ (in der Ebene keine Knickgefahr)}$$

Nachweisführung

• für die Lastfallkombination II

Normalspannungen

$$\sigma_{c,0,d,\text{II}} = \frac{n_{d,\text{II}}}{A_{\text{clt},\text{ef}}} = \frac{68,8 \cdot 10^3}{6,00 \cdot 10^4} = 1,15 \text{ N/mm}^2$$

Biegespannungen

$$\sigma_{m,y,d,\text{II}} = \frac{m_{y,d,\text{II}}}{W_{\text{clt},y,\text{Rand}}} = \frac{0,781 \cdot 10^6}{1,05 \cdot 10^6} = 0,744 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

mit $\sigma_{m,z,d,i} = 0 \text{ N/mm}^2$

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

$$= \frac{1,15}{0,280 \cdot 20,2} + \frac{0,744}{1,00 \cdot 23,0} + 0 =$$

$$= 0,203 + 0,0323 + 0 = 0,24 < 1$$

$$(2) \quad \frac{\sigma_{c,0,d,\text{II}}}{k_{\text{clt},c,z} \cdot f_{c,0,\text{lay},d}} + \left(\frac{\sigma_{m,y,d,\text{II}}}{k_{\text{crit}} \cdot f_{\text{clt},m,\text{lay},d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,z,d,\text{II}}}{f_{\text{clt},m,\text{lay},d}} =$$

$$= \frac{1,15}{1,00 \cdot 20,2} + \left(\frac{0,744}{1,00 \cdot 23,0} \right)^2 + 0 =$$

$$= 0,0569 + 0,00105 + 0 = 0,058 < 1$$

• für die Lastfallkombination III

$$\sigma_{c,0,d,\text{III}} = \frac{n_{d,\text{III}}}{A_{\text{clt},\text{ef}}} = \frac{60,7 \cdot 10^3}{6,00 \cdot 10^4} = 1,01 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,y,d,\text{III}} = \frac{m_{y,d,\text{III}}}{W_{\text{clt},y,\text{Rand}}} = \frac{1,30 \cdot 10^6}{1,05 \cdot 10^6} = 1,24 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d,\text{III}}}{k_{\text{clt},c,y} \cdot f_{c,0,\text{lay},d}} + \frac{\sigma_{m,y,d,\text{III}}}{k_{\text{crit}} \cdot f_{m,y,\text{lay},d}} + \left(\frac{\sigma_{m,z,d,\text{III}}}{f_{m,z,\text{lay},d}} \right)^2 =$$

$$= \frac{1,01}{0,280 \cdot 20,2} + \frac{1,24}{1,00 \cdot 23,0} + 0 =$$

$$= 0,179 + 0,0539 + 0 = 0,23 < 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d,\text{III}}}{k_{\text{clt},c,z} \cdot f_{c,0,\text{lay},d}} + \left(\frac{\sigma_{m,y,d,\text{III}}}{k_{\text{crit}} \cdot f_{m,y,\text{lay},d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,z,d,\text{III}}}{f_{m,z,\text{lay},d}} =$$

$$= \frac{1,01}{1,00 \cdot 20,2} + \left(\frac{1,24}{1,00 \cdot 23,0} \right)^2 + 0 =$$

$$= 0,0500 + 0,00291 + 0 = 0,053 < 1$$

Schub aus der Plattentragwirkung

Schubspannungen

$$\tau_{r,d,\text{III}} = \tau_{v,d,\text{III}} = \frac{v_{z,d,\text{III}} \cdot S_{\text{clt},\tau}}{I_{\text{clt}} \cdot b} = \frac{1,80 \cdot 10^3 \cdot 7,50 \cdot 10^5}{4,20 \cdot 10^7 \cdot 1.000} = 0,0321 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis (Rollschub)

$$\frac{\tau_{r,d,\text{III}}}{f_{r,\text{lay},d}} = \frac{0,0321}{0,800} = 0,040 < 1$$

Schub aus der Scheibentragswirkung

$$\min(A_{\text{clt},x}, A_{\text{clt},y}) = \min \left\{ \begin{array}{l} 6,00 \cdot 10^4 \\ 2,00 \cdot 10^4 \end{array} \right\} = 2,00 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

$$\tau_{v,0,d,III} = \frac{w_{z,y,d,III}}{\min(A_{\text{clt},x}, A_{\text{clt},y})} = \frac{9,50 \cdot 10^3}{2,00 \cdot 10^4} = 0,475 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\tau_{v,d,III} + \tau_{v,0,d,III}}{f_{v,0,lay,d}} = \frac{0,0321 + 0,475}{2,80} = 0,18 < 1$$

Nachweis der Torsionsschubspannungen (Annahme: kleinste Brettbreite $a = 80,0 \text{ mm}$)

$$\tau_{\text{tor},d,III} = 3 \cdot \tau_{v,0,d,III} \cdot \frac{t_{\text{max}}}{a} = 3 \cdot 0,475 \cdot \frac{30,0}{80,0} = 0,534 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\tau_{\text{tor},d,III}}{f_{\text{tor},lay,d}} = \frac{0,534}{2,00} = 0,27 < 1$$

Anschluss der Wand an das darunterliegende Geschoß

• Übertragung der Schubbeanspruchung in der Ebene

zu übertragende Schubkraft: $F_{2/3,d} = F_{2,v,Ed,III} = 42,8 \text{ kN}$ und

$$F_{4/5,d} = v_{z,d,III} = 1,80 \cdot (4,50 + 2,0/2) = 9,90 \text{ kN}$$

→ gemäß ÖNORM B 1995-1-1:2019, Abschnitt K.10 ist für die Verbindung von Brettsperrholz mit massiven Bauteilen (z. B. mit Winkelverbindern) ein Maximalabstand von $e_{\text{max}} = 1.000 \text{ mm}$ einzuhalten.

gewählt: 6 x Stahlwinkel mit $R_{2,k} = R_{3,k} = 11,2 \text{ kN}$ sowie $R_{4,k} = R_{5,k} = 6,10 / k_{\text{mod}}$ mit Rillennägeln $4,0 \times 60 \text{ mm}$

Bemessungswerte

$$R_{2,d} = R_{3,d} = \frac{R_{2/3,k}}{\gamma_{M,Verb}} = \frac{11,2}{1,30} = 8,62 \text{ kN}$$

$$R_{4,d} = R_{5,d} = \frac{6,10}{k_{\text{mod}}} \cdot \frac{1}{\gamma_{M,Verb}} [\text{kN}] = \frac{6,10}{1,00} \cdot \frac{1}{1,30} = 4,69 \text{ kN}$$

Nachweis

$$\sqrt{\left(\frac{F_{1,d}}{n \cdot R_{1,d}} + \frac{F_{4/5,d}}{n \cdot R_{4/5,d}} \right)^2 + \left(\frac{F_{2/3,d}}{n \cdot R_{2/3,d}} \right)^2} = \sqrt{\left(0 + \frac{42,8}{6 \cdot 8,62} \right)^2 + \left(\frac{9,90}{6 \cdot 4,69} \right)^2} = \sqrt{0,685 + 0,124} = 0,90 < 1$$

• Nachweis des Zugankers (an beiden Wandenden)

zu übertragende Schubkraft: $F_{t,Ed} = F_{2,t,Ed,IV} = 14,1 \text{ kN}$
 gewählt: Zuganker $F_{1,k} = \min \{ (n-3,5) \cdot 2,36 [\text{kN}]; 31,0 [\text{kN}]; 43,0/k_{\text{mod}} [\text{kN}] \}$ mit Rillennägeln $4,0 \times 60 \text{ mm}$
 und maximaler Anzahl der Rillennägeln je Zuganker: $n = 18$

Bemessungswert der Tragfähigkeit eines Zugankers

$$R_{1,d} = \min \left\{ \begin{array}{l} (n-3,5) \cdot 2,36 [\text{kN}] \\ 31,0 [\text{kN}] \\ 43,0 / k_{\text{mod}} [\text{kN}] \end{array} \right\} \cdot \frac{1}{\gamma_{M,Verb}} = \min \left\{ \begin{array}{l} (18-3,5) \cdot 2,36 = 34,2 [\text{kN}] \\ 31,0 [\text{kN}] \\ 43,0 / 1,00 = 43,0 [\text{kN}] \end{array} \right\} \cdot \frac{1}{1,30} = \min \left\{ \begin{array}{l} 26,3 \text{ kN} \\ 23,8 \text{ kN} \\ 33,1 \text{ kN} \end{array} \right\} = 23,8 \text{ kN}$$

Nachweis

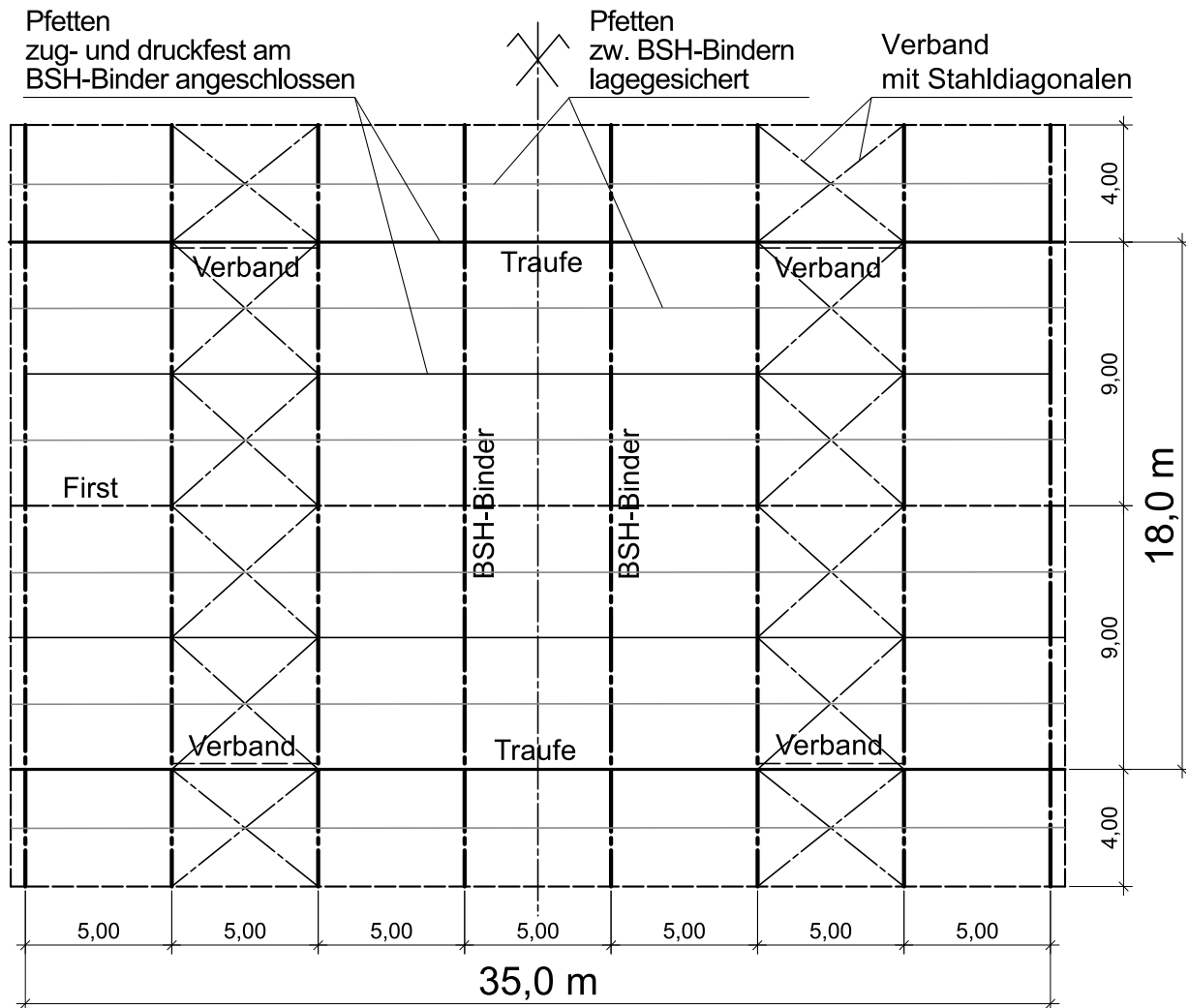
$$\frac{F_{t,Ed}}{R_{1,d}} = \frac{14,1}{23,8} = 0,59 < 1$$

Anmerkung:

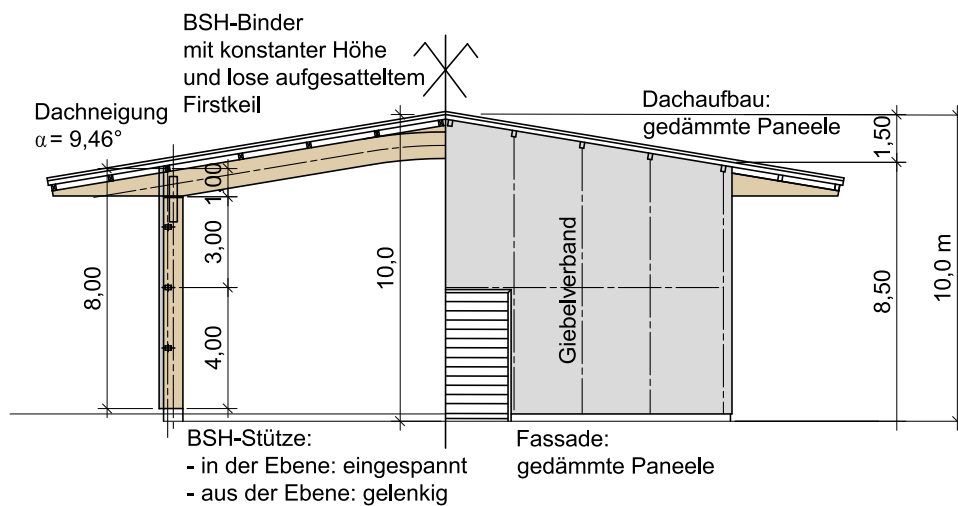
Zusätzlich zu den dargestellten Nachweisen ist zu zeigen, dass die einwirkenden Beanspruchungen in die darunterliegende Betonkonstruktion eingeleitet werden können!

IX.2 HALLE

Grundriss



Schnitt / Ansicht



gegeben:

Abmessungen: Länge $l = 35,0 \text{ m}$ (Binderabstand: $e = 5 \text{ m}$)
 Breite $b = 18,0 \text{ m}$
 Auskragung $l_{KA} = 4,00 \text{ m}$
 Traufenhöhe $h = 8,50 \text{ m}$, Firsthöhe $h = 10,0 \text{ m}$
 Dachneigung: $\alpha = \arctan(1,50/9,00) = 9,46^\circ$
 Standort: Zeltweg

Einwirkungen

ständige Einwirkungen (Eigengewicht)

Eigengewicht Binder (Abschätzung mit $h/l = 1/17$)	$g_{k,1} = 5,00 \cdot 0,180 \cdot 18,0 / 17 \approx 1,00 \text{ kN/m}$
Dachaufbau (inkl. Windverband) (Abschätzung)	$g_{k,2} = 0,300 \text{ kN/m}^2 \cdot 5,00 = 1,50 \text{ kN/m}$
Summe Eigengewicht Dach/Binder	$g_k = g_{k,1} + g_{k,2} = 1,00 + 1,50 = 2,50 \text{ kN/m}$
Eigengewicht Stütze (Abschätzung $b/h = 180/640 \text{ mm}$)	$g_{k,1} = 5,00 \cdot 0,180 \cdot 0,640 = 0,576 \text{ kN/m}$
Dachaufbau (inkl. Windverband)	$g_{k,2} = 0,200 \text{ kN/m}^2 \cdot 5,00 = 1,00 \text{ kN/m}$
Summe Eigengewicht Wand/Stütze	$g_k = g_{k,1} + g_{k,2} = 0,576 + 1,00 = 1,58 \approx 1,60 \text{ kN/m}$

Schnee

charakteristischer Wert der Schneelast (am Boden; lt. www.hora.gv.at): $s_k^* = 1,30 \text{ kN/m}^2$
 Formbeiwert für ein Satteldach: $\mu_2 = 0,8$ (für $\alpha \leq 30^\circ$)
 charakteristischer Wert der Schneelast (am Dach): $s_k^\square = \mu \cdot s_k^* = 0,8 \cdot 1,30 = 1,04 \text{ kN/m}^2$
 Einwirkung aus Schnee auf den Binder: $s_k = s_k^\square \cdot e = 1,04 \cdot 5,00 = 5,20 \text{ kN/m}$

Wind

Basisgeschwindigkeitsdruck: $q_{b,0} = 0,360 \text{ kN/m}^2$
 Geländekategorie: II

Spitzengeschwindigkeitsdruck:

$$q_p = q_{b,0} \cdot 2,1 \cdot \left(\frac{z}{10} \right)^{0,24} = 0,360 \cdot 2,1 \cdot \left(\frac{10,0}{10} \right)^{0,24} = 0,756 \text{ kN/m}^2$$

Winddruck auf Oberflächen

auf die Außenflächen einwirkender Winddruck nach EN 1991-1-4:2011, Abschnitt 5.1 [11]	auf die Innenflächen einwirkender Winddruck nach EN 1991-1-4:2011, Abschnitt 5.2 [11]
$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe}$	$w_i = q_p(z_i) \cdot c_{pi}$
$w_{res} = w_e - w_i = q_p(z_e) \cdot c_{pe} - q_p(z_i) \cdot c_{pi}$	

Windwirkung auf die Wände

Ermittlung der Druckbeiwerte für prismatische Körper nach ÖNORM B 1991-1-4:2019 [12], Tab. 4 und Tab. 5

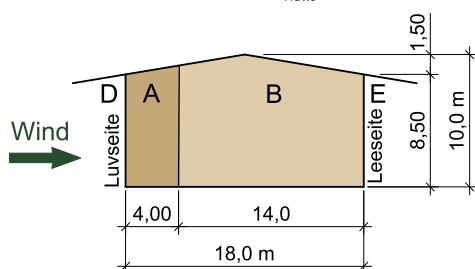
- Außen- und Innendruckbeiwerte für die Wände

Wandfläche	Außendruckbeiwert $c_{pe,10}$ bei Anströmung		Innendruckbeiwert c_{pi}
	normal zum First ($\Theta = 0^\circ$) d/b = 18,0/35,0 = 0,514 h/b = 10,0/35,0 = 0,286 ≤ 0,5	parallel zum First ($\Theta = 90^\circ$) d/b = 35,0/18,0 = 1,94 h/b = 8,50/18,0 = 0,472 ≤ 0,5	
Bereich A	- 1,00	- 1,00	+ 0,20 / - 0,30 nach EN 1991-1-4 , Abschnitt 7.2.9 (6), Anmerkung 2
Bereich B	- 0,70	- 0,70	
Bereich C	–	- 0,40	
Bereich D	+ 0,800		
Bereich E	- 0,313	- 0,159	

Windrichtung normal zum First

$$e = \min(l_{\text{Halle}}; 2 \cdot h_{\text{First}}) = \min(35,0; 2 \cdot 10,0) = 20,0 \text{ m}$$

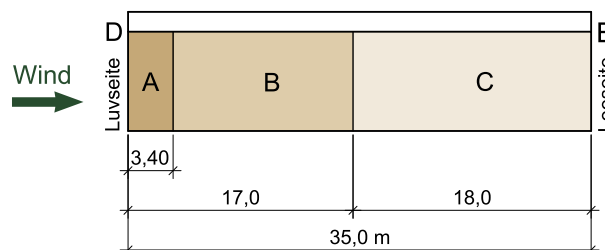
Ansicht: $e = 20,0 \text{ m} > d = b_{\text{Halle}} = 18,0 \text{ m}$



Windrichtung parallel zum First

$$e = \min(b_{\text{Halle}}; 2 \cdot h_{\text{Traufe}}) = \min(18,0; 2 \cdot 8,50) = 17,0 \text{ m}$$

Ansicht: $e = 17,0 \text{ m} < d = l_{\text{Halle}} = 35,0 \text{ m}$



Kombinationen der Winddrücke auf die Wandflächen aus Außen- und Innendruckbeiwerten

Wandfläche	Winddrücke [kN/m²]			
	mit $c_{pi} = +0,20$		mit $c_{pi} = -0,30$	
	normal zum First	parallel zum First	normal zum First	parallel zum First
Bereich A	$0,756 \cdot (-1,00 - 0,20) = -0,907$		$0,756 \cdot (-1,00 - (-0,30)) = -0,529$	
Bereich B	$0,756 \cdot (-0,70 - 0,20) = -0,680$		$0,756 \cdot (-0,70 - (-0,30)) = -0,302$	
Bereich C	-	$0,756 \cdot (-0,40 - 0,20) = -0,454$	-	$0,756 \cdot (-0,40 - (-0,30)) = -0,0756$
Bereich D	$0,756 \cdot (+0,80 - 0,20) = +0,454$		$0,756 \cdot (+0,80 - (-0,30)) = +0,832$	
Bereich E	$0,756 \cdot (-0,313 - 0,20) = -0,388$	$0,756 \cdot (-0,159 - 0,20) = +0,271$	$0,756 \cdot (-0,313 - (-0,30)) = -0,00983$	$0,756 \cdot (-0,159 - (-0,30)) = +0,107$

zum Vergleich: mit der Vereinfachung in ÖNORM B 1991-1-4:2019 [12], Tabelle 4 und Tabelle 5

Wandfläche	Außendruckbeiwert $c_{pe,10}$	Innendruckbeiwert c_{pi}	Winddrücke [kN/m²]	
	für alle d/b und $h/b \leq 5^a)$		mit $c_{pi} = +0,20$	mit $c_{pi} = -0,30$
Bereich A	- 1,20	+ 0,2 / - 0,3 nach EN 1991-1-4 , Abschnitt 7.2.9 (6), Anmerkung 2	$0,756 \cdot (-1,20 - 0,20) = -1,06$	$0,756 \cdot (-1,20 - (-0,30)) = -0,680$
Bereich B, C	- 0,90		$0,756 \cdot (-0,90 - 0,20) = -0,832$	$0,756 \cdot (-0,90 - (-0,30)) = -0,454$
Bereich D	+ 0,80		$0,756 \cdot (+0,80 - 0,20) = +0,454$	$0,756 \cdot (+0,80 - (-0,30)) = +0,832$
Bereich E	- 0,45		$0,756 \cdot (-0,45 - 0,20) = -0,491$	$0,756 \cdot (-0,45 - (-0,30)) = -0,113$

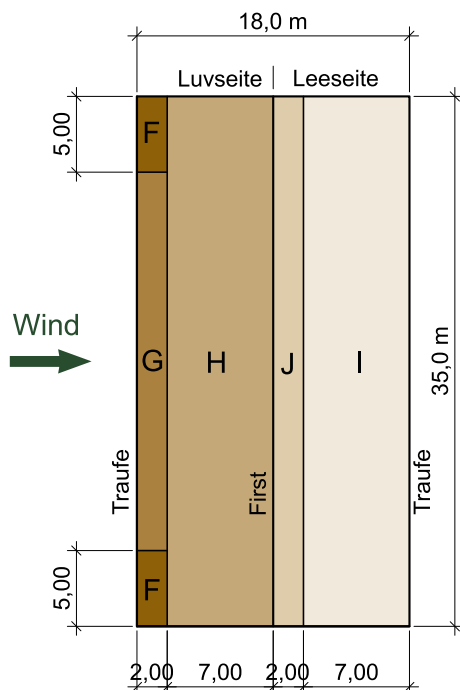
a) bei Anströmung normal zum First: $h/b = 10,0 / 35,0 = 0,286$
bei Anströmung parallel zum First: $h/b = 8,50 / 18,0 = 0,472$

• Windwirkung auf das Satteldach ($\alpha = 9,46^\circ$)

Ermittlung der Druckbeiwerte nach ÖNORM EN 1991-1-4:2011 [11] für Sattel- und Trogdächer

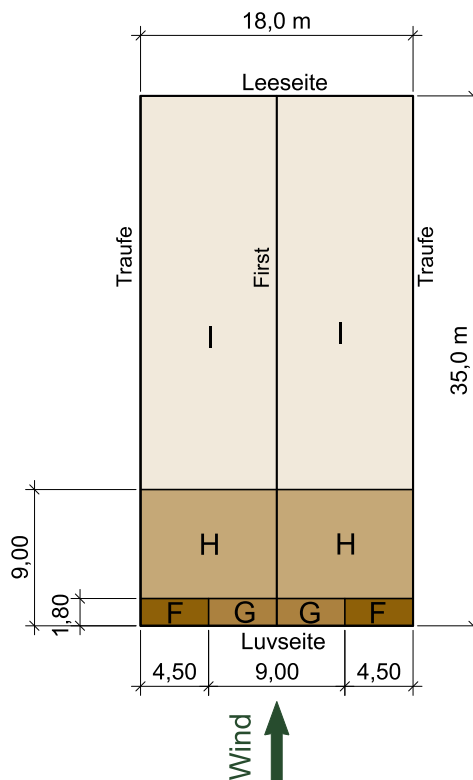
Windrichtung normal zum First

$$e = \min(l_{Halle}; 2 \cdot h_{First}) = \min(35,0; 2 \cdot 10,0) = 20,0 \text{ m}$$



Windrichtung parallel zum First

$$e = \min(b_{Halle}; 2 \cdot h_{First}) = \min(18,0; 2 \cdot 10,0) = 18,0 \text{ m}$$



Außen- und Innendruckbeiwerte auf die Dachfläche

Ermittlung der Druckbeiwerte nach ÖNORM EN 1991-1-4:2011 [11], Tab. 7.4 a und Tab. 7.4 b für Sattel- und Trogdächer

Dachfläche	Außendruckbeiwert $c_{pe,10}$ bei Anströmung			Innendruckbeiwert c_{pi}
	normal zum First ($\Theta = 0^\circ$)		parallel zum First ($\Theta = 90^\circ$)	
	Min	Max		
Bereich F	- 1,34	+ 0,0892	- 1,47	+ 0,2 / - 0,3 nach EN 1991-1-4 , Abschnitt 7.2.9 (6), Anmerkung 2
Bereich G	- 1,02		- 1,30	
Bereich H	- 0,466		- 0,655	
Bereich I	- 0,511	- 0,332	- 0,555	
Bereich J	- 0,335		-	

Kombinationen der Winddrücke auf die Dachflächen aus Außen- und Innendruckbeiwerten

- normal zum First ($\Theta = 0^\circ$)

Dachfläche	Winddrücke [kN/m ²]			
	mit $c_{pi} = +0,20$		mit $c_{pi} = -0,30$	
	Min	Max	Min	Max
Bereich F	$0,756 \cdot (-1,34 - 0,20) =$ - 1,16	$0,756 \cdot (0,0892 - 0,20) =$ - 0,0838	$0,756 \cdot (-1,34 - (-0,30)) =$ - 0,786	$0,756 \cdot (0,0892 - (-0,30)) =$ +0,294
Bereich G	$0,756 \cdot (-1,02 - 0,20) =$ - 0,922		$0,756 \cdot (-1,02 - (-0,30)) =$ - 0,544	
Bereich H	$0,756 \cdot (-0,466 - 0,20) =$ - 0,503		$0,756 \cdot (-0,466 - (-0,30)) =$ - 0,125	
Bereich I	$0,756 \cdot (-0,511 - 0,20) =$ - 0,538	$0,756 \cdot (-0,332 - 0,20) =$ - 0,402	$0,756 \cdot (-0,511 - (-0,30)) =$ - 0,160	$0,756 \cdot (-0,332 - (-0,30)) =$ - 0,0242
Bereich J	$0,756 \cdot (-0,335 - 0,20) =$ - 0,404		$0,756 \cdot (-0,335 - (-0,30)) =$ - 0,0265	

- parallel zum First ($\Theta = 90^\circ$)

Dachfläche	Winddrücke [kN/m ²]	
	mit $c_{pi} = +0,20$	mit $c_{pi} = -0,30$
Bereich F	$0,756 \cdot (-1,47 - 0,20) =$ - 1,26	$0,756 \cdot (-1,47 - (-0,30)) =$ - 0,885
Bereich G	$0,756 \cdot (-1,30 - 0,20) =$ - 1,13	$0,756 \cdot (-1,30 - (-0,30)) =$ - 0,756
Bereich H	$0,756 \cdot (-0,655 - 0,20) =$ - 0,646	$0,756 \cdot (-0,655 - (-0,30)) =$ - 0,268
Bereich I	$0,756 \cdot (-0,555 - 0,20) =$ - 0,571	$0,756 \cdot (-0,555 - (-0,30)) =$ - 0,193

zum Vergleich: mit der Vereinfachung in ÖNORM B 1991-1-4:2019 [12], Tabelle 11

Dachfläche	Außendruckbeiwerte $c_{pe,10}$		Innendruckbeiwert c_{pi}	Winddrücke [kN/m ²]	
	Min	Max		Min	Max
Bereich H, I	- 0,655	+ 0,0892	+ 0,2 / - 0,3 nach EN 1991-1-4 , Abschnitt 7.2.9 (6), Anmerkung 2	$0,756 \cdot (-0,655 - 0,20) =$ -0,646	$0,756 \cdot (0,0892 - (-0,30)) =$ +0,294
Bereich G, J, F	- 1,52	+ 0,200		$0,756 \cdot (-1,52 - 0,20) =$ -1,30	$0,756 \cdot (0,200 - (-0,30)) =$ +0,378

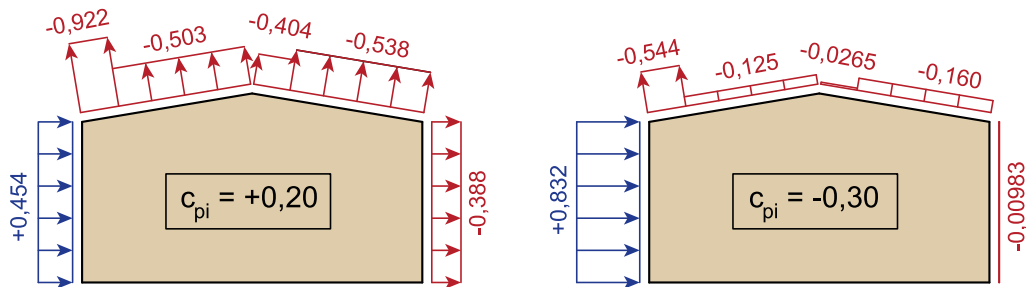
Belastungsbilder Wind

Anmerkung:

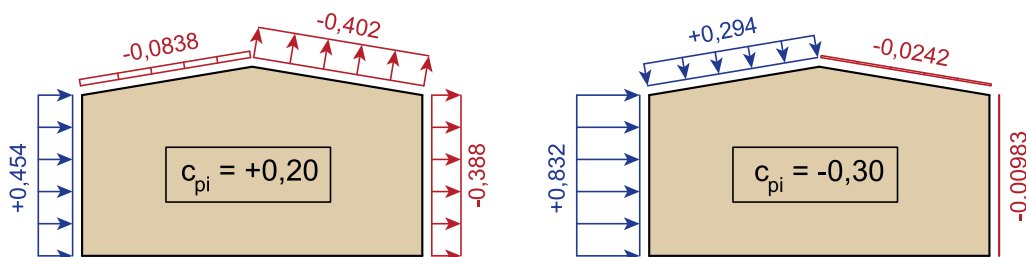
Es wurden jene Bereiche dargestellt, die für die Bemessung des „Regelbinders“ maßgeblich sind. Für den Nachweis des Randbinders ist eine gesonderte Betrachtung erforderlich. Wie im Windingenieurwesen üblich, wurden Bereiche mit Windsog mit einem negativen Vorzeichen angeschrieben und einem, von der Dachfläche zeigenden Pfeil markiert.

normal zum First (Wandbereiche D und E; Dachbereiche G - H - J - I)

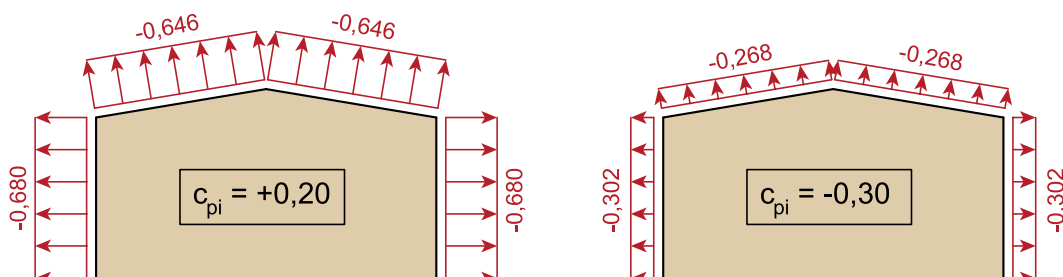
- Minimum



- Maximum



parallel zum First (Wandbereich B, Dachbereich H)



- Kombinationen der Winddrücke am Dachüberstand

Winddrücke im Bereich des Dachüberstandes [kN/m²]	mit $c_{pi} = +0,20$		mit $c_{pi} = -0,30$	
	normal zum First	parallel zum First	normal zum First	parallel zum First
Wand D bzw. B	0,454	- 0,680	0,832	- 0,302
Wand E bzw. B	- 0,388		- 0,00983	
Dach F bzw. H	- 1,16 / - 0,0838	- 0,646	- 0,786 / + 0,294	- 0,268
Dach G bzw. H	- 0,922 / - 0,0838		- 0,544 / + 0,294	
Dach I bzw. H	- 0,538 / - 0,402		- 0,160 / - 0,0242	

Kombination I: Anströmung normal zum First und Innendruck mit $c_{pi} = +0,20$

- luvseitig

Dachüberstand Wand D und Dach G $w_{DÜ,D-G,k} = -w_{D,k} + w_{G,k} = -0,454 + (-0,922) = -1,38 \text{ kN/m}^2$

$$w_{DÜ,D-G,k} = -w_{D,k} + w_{G,k} = -0,454 + (-0,0838) = -0,538 \text{ kN/m}^2$$

- leeseitig

Dachüberstand Wand E und Dach I $w_{DÜ,E-I,k} = -w_{E,k} + w_{I,k} = -(-0,388) + (-0,538) = -0,150 \text{ kN/m}^2$

$$w_{DÜ,E-I,k} = -w_{E,k} + w_{I,k} = -(-0,388) + (-0,402) = -0,0140 \text{ kN/m}^2$$

Kombination II: Anströmung normal zum First und Innendruck mit $c_{pi} = -0,30$

- luvseitig

Dachüberstand Wand D und Dach G $w_{DÜ,D-G,k} = -w_{D,k} + w_{G,k} = -0,832 + (-0,544) = -1,38 \text{ kN/m}^2$

$$w_{DÜ,D-G,k} = -w_{D,k} + w_{G,k} = -0,832 + 0,294 = -0,538 \text{ kN/m}^2$$

- leeseitig

Dachüberstand Wand E und Dach I $w_{DÜ,E-I,k} = -w_{E,k} + w_{I,k} = -(-0,00983) + (-0,160) = -0,150 \text{ kN/m}^2$

$$w_{DÜ,E-I,k} = -w_{E,k} + w_{I,k} = -(-0,00983) + (-0,0242) = -0,0144 \text{ kN/m}^2$$

Kombination III: Anströmung parallel zum First und Innendruck mit $c_{pi} = +0,20$

Dachüberstand Wand B und Dach H $w_{DÜ,B-H,k} = w_{B,k} - w_{H,k} = -(-0,680) + (-0,646) = 0,0340 \text{ kN/m}^2$

Kombination IV: Anströmung parallel zum First und Innendruck mit $c_{pi} = -0,30$

Dachüberstand Wand B und Dach H $w_{DÜ,B-H,k} = -w_{B,k} + w_{H,k} = -(-0,302) + (-0,268) = 0,0340 \text{ kN/m}^2$

Reibungskräfte infolge Wind

Für die vorliegende Geometrie ($A_{fr} = 0$) sind keine Reibungskräfte zu berücksichtigen.

Schnittgrößen und Einwirkungskombinationen für den BSH-Dachbinder

Anmerkung:

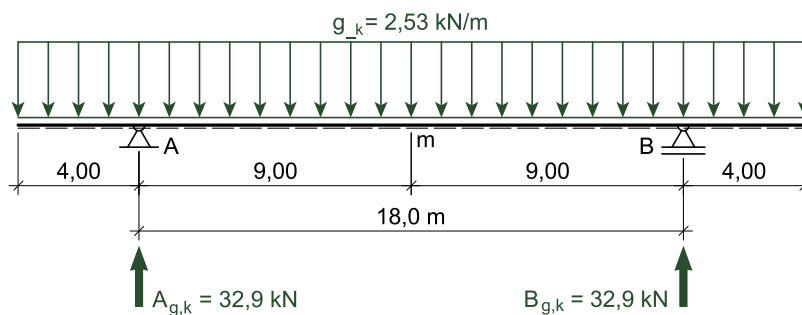
Es wird ausschließlich der „Regelbinder“ (für Wind: Dachfläche G) betrachtet. Vereinfacht wird die ständige Einwirkung am Kragarmbereich wie jene im Feldbereich berücksichtigt. Die in den nachfolgenden Skizzen eingetragenen charakteristischen Werte der Einwirkungen sind auf einen Binderabstand $e = 5,00$ m bezogen.

Schnittgrößen

- ständige Einwirkung – Eigengewicht

Umlegung des Eigengewichts auf die horizontale Projektionsfläche

$$g_{-k} = \frac{g_k}{\cos \alpha} = \frac{2,50}{\cos(9,46)} = 2,53 \text{ kN/m}$$



$$A_{g,k} = B_{g,k} = \frac{g_{-k} \cdot (2 \cdot l_{KA} + l)}{2} = \frac{2,53 \cdot (2 \cdot 4,00 + 18,0)}{2} = 32,9 \text{ kN}$$

$$V_{A, \text{re}, g, k} = -V_{B, \text{li}, g, k} = A_{g,k} - g_{-k} \cdot l_{KA} = 32,9 - 2,53 \cdot 4,00 = 22,8 \text{ kN}$$

$$M_{m, g, k} = A_{g,k} \cdot \left(\frac{l}{2} \right) - \frac{g_{-k} \cdot \left(\frac{l}{2} + l_{KA} \right)^2}{2} = 32,9 \cdot \left(\frac{18,0}{2} \right) - \frac{2,53 \cdot \left(\frac{18,0}{2} + 4,00 \right)^2}{2} = 82,3 \text{ kNm}$$

$$M_{A, g, k} = M_{B, g, k} = -\frac{g_{-k} \cdot l_{KA}^2}{2} = -\frac{2,53 \cdot 4,00^2}{2} = -20,2 \text{ kNm}$$

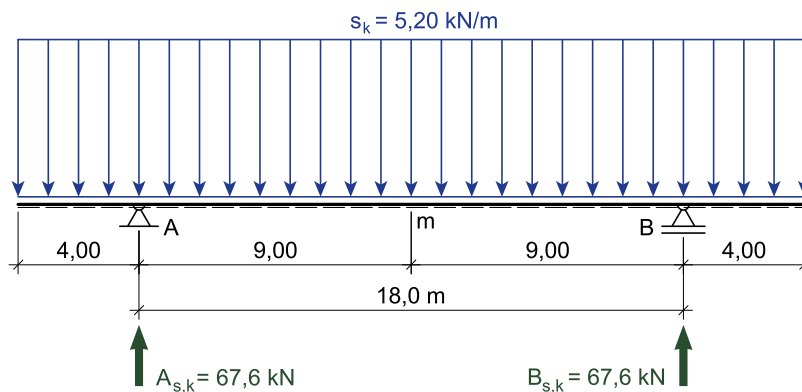
Anmerkung:

Auf die Berücksichtigung von Normalkräften infolge der ständigen Einwirkung wird verzichtet.

- Schnee

Anmerkung:

Es wird der Lastfall „Schnee-Voll“ in die weitere Betrachtung miteinbezogen.



$$A_{s,k} = B_{s,k} = \frac{s_k \cdot (2 \cdot l_{KA} + l)}{2} = \frac{5,20 \cdot (2 \cdot 4,00 + 18,0)}{2} = 67,6 \text{ kN}$$

$$V_{A, \text{re}, s, k} = -V_{B, \text{li}, s, k} = A_{s,k} - s_k \cdot l_{KA} = 67,6 - 5,20 \cdot 4,00 = 46,8 \text{ kN}$$

$$M_{m,s,k} = A_{s,k} \cdot \left(\frac{l}{2}\right) - \frac{s_k \cdot \left(\frac{l}{2} + l_{KA}\right)^2}{2} = 67,6 \cdot \left(\frac{18,0}{2}\right) - \frac{5,20 \cdot \left(\frac{18,0}{2} + 4,00\right)^2}{2} = 169 \text{ kNm}$$

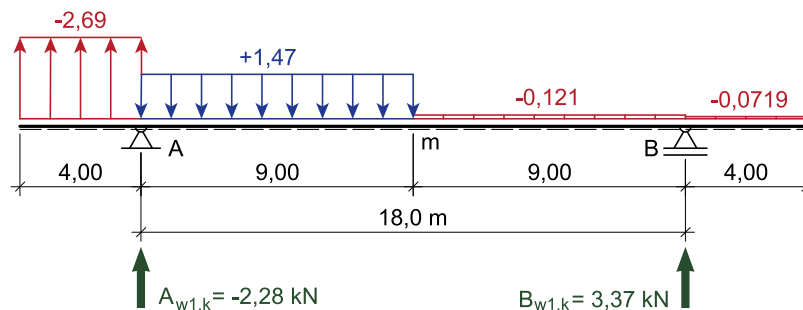
$$M_{A,s,k} = M_{B,s,k} = -\frac{s_k \cdot l_{KA}^2}{2} = -\frac{5,20 \cdot 4,00^2}{2} = -41,6 \text{ kNm}$$

Wind

Anmerkung:

In der weiteren Berechnung wurden die Lastfälle Wind - Maximum mit $c_{pi} = -0,30$, Wind - Minimum mit $c_{pi} = +0,20$ (w2) mit einer Anströmung normal zum First und der Lastfall Wind mit $c_{pi} = +0,20$ (w3) mit einer Anströmung parallel zum First berücksichtigt. Die übrigen Lastfälle wurden vernachlässigt.

Lastfall Wind-w1 (Anströmung normal zum First mit $c_{pi} = -0,30$)



$$B_{w1,k} = \frac{1}{18,0} \cdot \left(2,69 \cdot \frac{4,00^2}{2} + 1,47 \cdot \frac{9,00^2}{2} - 0,121 \cdot 9,00 \cdot \left(9,00 + \frac{9,00}{2} \right) - 0,0719 \cdot 4,0 \cdot \left(18,0 + \frac{4,00}{2} \right) \right) = 3,37 \text{ kN}$$

$$A_{w1,k} = -2,69 \cdot 4,00 + 1,47 \cdot 9,00 - 0,121 \cdot 9,00 - 0,0719 \cdot 4,00 - 3,37 = -2,28 \text{ kN}$$

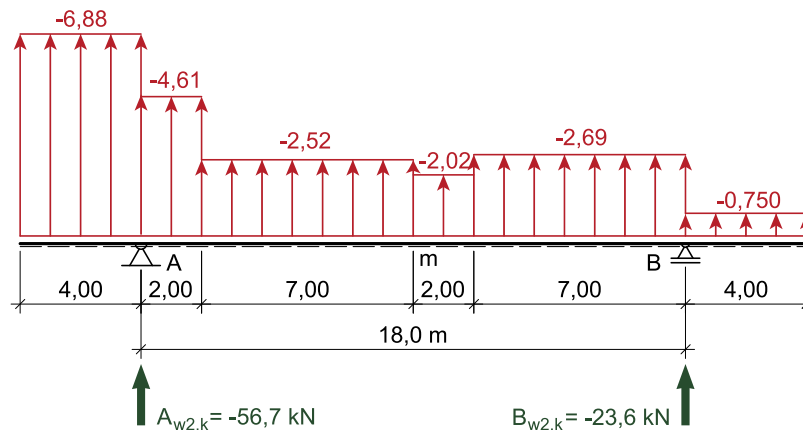
$$V_{A, \text{re}, w1, k} = A_{w1, k} - w_{1, KA, li, k} \cdot l_{KA} = -2,28 + 2,69 \cdot 4,00 = 8,48 \text{ kN}$$

$$M_{m, w1, k} = -2,28 \cdot 9,00 + 2,69 \cdot 4,00 \cdot \left(9,00 + \frac{4,00}{2} \right) - 1,47 \cdot \frac{9,00^2}{2} = 38,3 \text{ kNm}$$

$$M_{A, w1, k} = \frac{w_{1, KA, li, k} \cdot l_{KA}^2}{2} = \frac{2,69 \cdot 4,00^2}{2} = 21,5 \text{ kNm}$$

$$M_{B, w1, k} = \frac{w_{1, KA, re, k} \cdot l_{KA}^2}{2} = \frac{0,0719 \cdot 4,00^2}{2} = 0,575 \text{ kNm}$$

Lastfall Wind-w2 (Anströmung normal zum First mit $c_{pi} = +0,20$)



$$B_{w2,k} = \frac{1}{18,0} \cdot \left(6,88 \cdot \frac{4,00^2}{2} - 4,61 \cdot \frac{2,00^2}{2} - 2,52 \cdot 7,00 \cdot \left(2,00 + \frac{7,00}{2} \right) - 2,02 \cdot 2,00 \cdot \left(9,00 + \frac{2,00}{2} \right) - 2,69 \cdot 7,00 \cdot \left(11,00 + \frac{7,00}{2} \right) - 0,750 \cdot 4,00 \cdot \left(18,00 + \frac{4,00}{2} \right) \right) = -23,6 \text{ kN}$$

$$A_{w2,k} = -6,88 \cdot 4,00 - 4,61 \cdot 2,00 - 2,52 \cdot 7,00 - 2,02 \cdot 2,00 - 2,69 \cdot 7,00 - 0,750 \cdot 4,00 - (-23,6) = -56,7 \text{ kN}$$

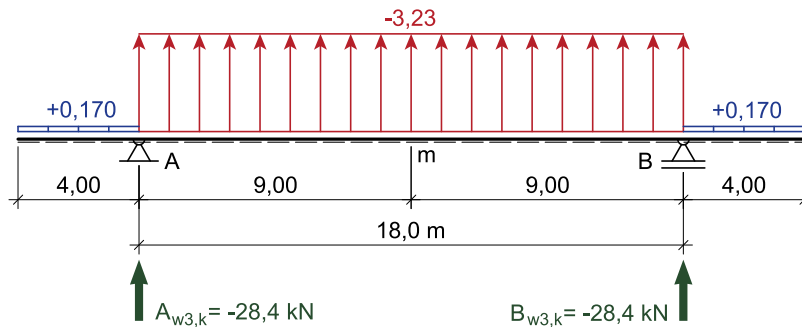
$$V_{A, \text{re}, w2, k} = A_{w2, k} - w_{2, KA, li, k} \cdot l_{KA} = -56,7 + 6,88 \cdot 4,00 = -29,2 \text{ kN}$$

$$M_{m, w2, k} = -56,7 \cdot 9,00 + 6,88 \cdot 4,00 \cdot \left(9,00 + \frac{4,00}{2} \right) + 4,61 \cdot 2,00 \cdot \left(7,00 + \frac{2,00}{2} \right) + 2,52 \cdot \frac{7,00^2}{2} = -72,1 \text{ kNm}$$

$$M_{A, w2, k} = \frac{w_{2, KA, li, k} \cdot l_{KA}^2}{2} = \frac{6,88 \cdot 4,00^2}{2} = 55,0 \text{ kNm}$$

$$M_{B, w2, k} = \frac{w_{2, KA, re, k} \cdot l_{KA}^2}{2} = \frac{0,750 \cdot 4,00^2}{2} = 6,00 \text{ kNm}$$

Lastfall Wind-w3 (Anströmung parallel zum First mit $c_{pi} = +0,20$)



$$A_{w3, k} = B_{w3, k} = w_{3, KA, k} \cdot l_{KA} - w_{3, F, k} \cdot \left(\frac{l}{2} \right) = 0,170 \cdot 4,00 - 3,23 \cdot \left(\frac{18,0}{2} \right) = -28,4 \text{ kN}$$

$$V_{A, \text{re}, w3, k} = -V_{B, li, w3, k} = A_{w3, k} - w_{3, KA, k} \cdot l_{KA} = -28,4 - 0,170 \cdot 4,00 = -29,1 \text{ kN}$$

$$M_{m, w3, k} = -28,4 \cdot 9,00 - 0,170 \cdot 4,00 \cdot \left(9,00 + \frac{4,00}{2} \right) + 3,23 \cdot \frac{9,00^2}{2} = -132 \text{ kNm}$$

$$\min M_{A, w3, k} = \min M_{B, w3, k} = -\frac{w_{3, KA, k} \cdot l_{KA}^2}{2} = -\frac{0,170 \cdot 4,00^2}{2} = -1,36 \text{ kNm}$$

Bemessungsschnittgrößen

Grundkombination

$$E_d = \sum_{j \geq 1} \gamma_{G, j} \cdot G_{k, j} + \gamma_{Q, 1} \cdot Q_{k, 1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q, i} \cdot \psi_{0, i} \cdot Q_{k, i}$$

LFK I: ständige Einwirkung (ungünstig) + Schnee-Voll (führend) + Wind-w1 (begleitend)

$$A_{I, d} = 1,35 \cdot 32,9 + 1,50 \cdot 67,6 + 1,50 \cdot 0,60 \cdot (-2,28) = 144 \text{ kN}$$

$$B_{I, d} = 1,35 \cdot 32,9 + 1,50 \cdot 67,6 + 1,50 \cdot 0,60 \cdot 3,37 = 149 \text{ kN}$$

$$V_{I, A, \text{re}, d} = 1,35 \cdot 22,8 + 1,50 \cdot 46,8 + 1,50 \cdot 0,60 \cdot 8,48 = 109 \text{ kN}$$

$$M_{I, m, d} = 1,35 \cdot 82,3 + 1,50 \cdot 169 + 1,50 \cdot 0,60 \cdot 38,3 = 399 \text{ kNm}$$

$$M_{I, A, d} = 1,35 \cdot (-20,2) + 1,50 \cdot (-41,6) + 1,50 \cdot 0,60 \cdot 21,5 = -70,3 \text{ kNm}$$

$$M_{I, B, d} = 1,35 \cdot (-20,2) + 1,50 \cdot (-41,6) + 1,50 \cdot 0,50 \cdot 0,575 = -89,2 \text{ kNm}$$

LFK II: ständige Einwirkung (ungünstig) + Wind-w1 (führend) + Schnee-Voll (begleitend)

$$\begin{aligned}
 A_{II,d} &= 1,35 \cdot 32,9 + 1,50 \cdot (-2,28) + 1,50 \cdot 0,50 \cdot 67,6 = 91,7 \text{ kN} \\
 B_{II,d} &= 1,35 \cdot 32,9 + 1,50 \cdot 3,37 + 1,50 \cdot 0,50 \cdot 67,6 = 100 \text{ kN} \\
 V_{II,A, \text{re}, d} &= -V_{II,B, \text{li}, d} = 1,35 \cdot 22,8 + 1,50 \cdot 8,48 + 1,50 \cdot 0,50 \cdot 46,8 = 78,6 \text{ kN} \\
 M_{II,m, d} &= 1,35 \cdot 82,3 + 1,50 \cdot 38,3 + 1,50 \cdot 0,50 \cdot 169 = 295 \text{ kNm} \\
 M_{II,A, d} &= 1,35 \cdot (-20,2) + 1,50 \cdot 21,5 + 1,50 \cdot 0,50 \cdot (-41,6) = -26,2 \text{ kNm} \\
 M_{II,B, d} &= 1,35 \cdot (-20,2) + 1,50 \cdot 0,575 + 1,50 \cdot 0,50 \cdot (-41,6) = -57,6 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

LFK III: ständige Einwirkung (ungünstig) + Schnee-Voll (führend)

$$\begin{aligned}
 A_{III,d} &= B_{III,d} = 1,35 \cdot 32,9 + 1,50 \cdot 67,6 = 146 \text{ kN} \\
 V_{III,A, \text{re}, d} &= V_{III,B, \text{li}, d} = 1,35 \cdot 22,8 + 1,50 \cdot 46,8 = 101 \text{ kN} \\
 M_{III,m, d} &= 1,35 \cdot 82,3 + 1,50 \cdot 169 = 365 \text{ kNm} \\
 M_{III,A, d} &= M_{III,B, d} = 1,35 \cdot (-20,2) + 1,50 \cdot (-41,6) = -89,7 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

LFK IV: ständige Einwirkung (ungünstig) + Wind-w1 (führend)

$$\begin{aligned}
 A_{IV,d} &= 1,35 \cdot 32,9 + 1,50 \cdot (-2,28) = 41,0 \text{ kN} \\
 B_{IV,d} &= 1,35 \cdot 32,9 + 1,50 \cdot 3,37 = 49,5 \text{ kN} \\
 V_{IV,A, \text{re}, d} &= 1,35 \cdot 22,8 + 1,50 \cdot 8,48 = 43,5 \text{ kN} \\
 M_{IV,m, d} &= 1,35 \cdot 82,3 + 1,50 \cdot 38,3 = 169 \text{ kNm} \\
 M_{IV,B, d} &= 1,35 \cdot (-20,2) + 1,50 \cdot 0,575 = -26,4 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

LFK V: ständige Einwirkung (günstig) + Wind-w2 (führend)

$$\begin{aligned}
 A_{V,d} &= 1,00 \cdot 32,9 + 1,50 \cdot (-56,7) = -52,2 \text{ kN} \\
 V_{V,A, \text{li}, d} &= 1,00 \cdot ((-2,53) \cdot 4,00) + 1,50 \cdot (6,88 \cdot 4,00) = 31,2 \text{ kN} \\
 V_{V,A, \text{re}, d} &= 1,00 \cdot 22,8 + 1,50 \cdot (-29,2) = -21,0 \text{ kN} \\
 M_{V,m, d} &= 1,00 \cdot 82,3 + 1,50 \cdot (-72,1) = -25,9 \text{ kNm} \\
 M_{V,A, d} &= 1,00 \cdot (-20,2) + 1,50 \cdot 55,0 = 62,3 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

LFK VI: ständige Einwirkung (günstig) + Wind-w3 (führend)

$$\begin{aligned}
 A_{VI,d} &= B_{VI,d} = 1,00 \cdot 32,9 + 1,50 \cdot (-28,4) = -9,70 \text{ kN} \\
 V_{VI,A, \text{re}, d} &= 1,00 \cdot 22,8 + 1,50 \cdot (-29,1) = -20,9 \text{ kN} \\
 M_{VI,m, d} &= 1,00 \cdot 82,3 + 1,50 \cdot (-132) = -116 \text{ kNm} \\
 M_{VI,A, d} &= M_{VI,B, d} = 1,00 \cdot (-20,2) + 1,50 \cdot (-1,36) = -22,2 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

LFK VII: ständige Einwirkung (ungünstig) + Schnee-Voll (führend) + Wind-w3 (begleitend)

$$M_{VII,A, d} = M_{VII,B, d} = 1,35 \cdot (-20,2) + 1,50 \cdot (-41,6) + 1,50 \cdot 0,60 \cdot (-1,36) = -90,9 \text{ kNm}$$

LFK VIII: ständige Einwirkung (ungünstig) + Wind-w3 (führend) + Schnee-Voll (begleitend)

$$M_{VIII,m, d} = 1,35 \cdot 82,3 + 1,50 \cdot (-132) + 1,50 \cdot 0,50 \cdot 169 = 39,9 \text{ kNm}$$

Nachweisführung des BSH-Dachbinder

Ausführung als gekrümmter ($r_{in} = 15,0$ m) parallelgurtiger BSH-Träger mit lose aufgesatteltem Firstkeil

Material: BSH GL 24c

Querschnitt (Annahme): $b/h = 180/880$ mm

LFK I, LFK II und LFK IV: KLED „kurz/sehr kurz“ NKL 2 $\rightarrow k_{mod} = 1,00$

LFK III: KLED „kurz“ NKL 2 $\rightarrow k_{mod} = 0,90$

• Biegespannungen im gekrümmten Trägerbereich

Beiwerte mit $\alpha_{ap} = 0^\circ$ (lose aufgesattelter Firstkeil)

$$k_1 = 1 + 1,4 \cdot \tan \alpha_{ap} + 5,4 \cdot \tan^2 \alpha_{ap} = 1 + 1,4 \cdot \tan(0) + 5,4 \cdot \tan^2(0) = 1,00$$

$$k_2 = 0,35 - 8 \cdot \tan \alpha_{ap} = 0,35 - 8 \cdot \tan(0) = 0,350$$

$$k_3 = 0,6 + 8,3 \cdot \tan \alpha_{ap} - 7,8 \cdot \tan^2 \alpha_{ap} = 0,6 + 8,3 \cdot \tan(0) - 7,8 \cdot \tan^2(0) = 0,600$$

$$k_4 = 6 \cdot \tan^2 \alpha_{ap} = 6 \cdot \tan^2(0) = 0$$

$$r = r_{in} + \frac{h_{ap}}{2} = 15,0 + \frac{0,880}{2} = 15,4 \text{ m}$$

$$k_l = k_1 + k_2 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right) + k_3 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^2 + k_4 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^3 = 1,00 + 0,350 \cdot \left(\frac{0,880}{15,4}\right) + 0,600 \cdot \left(\frac{0,880}{15,4}\right)^2 + 0 \cdot \left(\frac{0,880}{15,4}\right)^3 = 1,02$$

$$r_{in} = 15.000 \text{ mm} > 240 \cdot t = 240 \cdot 40,0 = 9.600 \text{ mm} \rightarrow k_r = 1,00$$

Querschnittswert

$$W_{ap} = \frac{b \cdot h_{ap}^2}{6} = \frac{180 \cdot 880^2}{6} = 2,32 \cdot 10^7 \text{ mm}^3$$

Bemessungswerte

für $k_{mod} = 1,00$

$$f_{m,g,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,g,k}}{\gamma_M} = 1,00 \cdot \frac{24,0}{1,25} = 19,2 \text{ N/mm}^2$$

Biegespannungen

für $M_{ap,d} = M_{l,m,d} = 399 \text{ kNm}$

$$\sigma_{m,d} = k_l \cdot \frac{M_{ap,d}}{W_{ap}} = 1,02 \cdot \frac{399 \cdot 10^6}{2,32 \cdot 10^7} = 17,5 \text{ N/mm}^2$$

Nachweise

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_r \cdot f_{m,g,d}} = \frac{17,5}{1,00 \cdot 19,2} = 0,91 < 1$$

für $k_{mod} = 0,90$

$$f_{m,g,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,g,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{24,0}{1,25} = 17,3 \text{ N/mm}^2$$

für $M_{ap,d} = M_{III,m,d} = 365 \text{ kNm}$

$$\sigma_{m,d} = k_l \cdot \frac{M_{ap,d}}{W_{ap}} = 1,02 \cdot \frac{365 \cdot 10^6}{2,32 \cdot 10^7} = 16,0 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_r \cdot f_{m,g,d}} = \frac{16,0}{1,00 \cdot 17,3} = 0,92 < 1$$

- Querzugspannungen im gekrümmten Trägerbereich

Beiwerte

$$k_5 = 0,2 \cdot \tan \alpha_{ap} = 0,2 \cdot \tan(0) = 0$$

$$k_6 = 0,25 - 1,5 \cdot \tan \alpha_{ap} + 2,6 \cdot \tan^2 \alpha_{ap} = 0,25 - 1,5 \cdot \tan(0) + 2,6 \cdot \tan^2(0) = 0,250$$

$$k_7 = 2,1 \cdot \tan \alpha_{ap} - 4 \cdot \tan^2 \alpha_{ap} = 2,1 \cdot \tan(0) - 4 \cdot \tan^2(0) = 0$$

$$k_p = k_5 + k_6 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r} \right) + k_7 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^2 = 0 + 0,250 \cdot \left(\frac{0,880}{15,4} \right) + 0 \cdot \left(\frac{0,880}{15,4} \right)^2 = 0,0143$$

querzugbeanspruchtes Volumen

$$V = \frac{\beta \cdot \pi}{180} \cdot b \cdot (h_{ap}^2 + 2 \cdot r_{in} \cdot h_{ap}) = \frac{9,46 \cdot \pi}{180} \cdot 0,180 \cdot (0,880^2 + 2 \cdot 15,0 \cdot 0,880) = 0,808 \text{ m}^3$$

Überprüfung Volumen

$$V_b \approx l \cdot b \cdot h \approx \frac{18,0}{\cos(9,46)} \cdot 0,180 \cdot 0,880 \approx 2,89 \text{ m}^3$$

$$V \leq \frac{2}{3} \cdot V_b : 0,808 \text{ m}^3 < \frac{2}{3} \cdot 2,89 \text{ m}^3 = 1,93 \text{ m}^3 \rightarrow \text{Bedingung eingehalten!}$$

Volumenfaktor

$$k_{vol} = \left(\frac{0,01}{V} \right)^{0,2} = \left(\frac{0,01}{0,808} \right)^{0,2} = 0,415$$

Verteilungsfaktor

$$k_{dis} = 1,40$$

Bemessungswerte

$$\text{für } k_{mod} = 1,00$$

$$f_{t,90,g,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{t,90,g,k}}{\gamma_M} = 1,00 \cdot \frac{0,500}{1,25} = 0,400 \text{ N/mm}^2$$

Querzugspannungen

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \cdot \frac{M_{ap,d}}{W_{ap}} = 0,0143 \cdot \frac{399 \cdot 10^6}{2,32 \cdot 10^7} = 0,246 \text{ N/mm}^2$$

Nachweise

$$\frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{vol} \cdot k_{dis} \cdot f_{t,90,g,d}} = \frac{0,246}{0,415 \cdot 1,40 \cdot 0,400} = 1,06 > 1$$

$$\text{für } k_{mod} = 0,90$$

$$f_{t,90,g,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{t,90,g,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{0,500}{1,25} = 0,360 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \cdot \frac{M_{ap,d}}{W_{ap}} = 0,0143 \cdot \frac{365 \cdot 10^6}{2,32 \cdot 10^7} = 0,225 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{vol} \cdot k_{dis} \cdot f_{t,90,g,d}} = \frac{0,225}{0,415 \cdot 1,40 \cdot 0,360} = 1,08 > 1$$

→ Querzugverstärkung im Bereich des gekrümmten Trägerteils erforderlich!

Querzugverstärkung im Bereich des gekrümmten Trägerteils

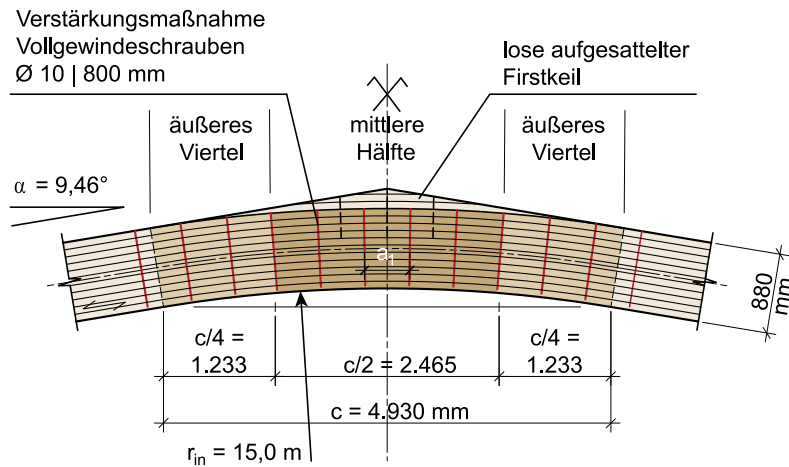
Breite an der Unterkante über den eine Querzugverstärkung anzuordnen ist

$$\frac{c}{2} = r_{in} \cdot \sin \alpha \rightarrow c = 2 \cdot r_{in} \cdot \sin(\alpha) = 2 \cdot 15,0 \cdot \sin(9,46) = 4,93 \text{ m}$$

gewählte Verstärkungsmaßnahme:

Vollgewindeschrauben Ø10 | 800 mm ($f_{ax,k} = 12,5 \text{ N/mm}^2$ | $F_{tens,k} = 40,0 \text{ kN}$) (Daten aus bauaufsichtlicher Zulassung)

Skizze zur Lage der Verstärkungen



Einschraubtiefe

→ mit Zylinderkopf, versenkt | $l_{ef,1} = l_{ef,2} = 400 \text{ mm}$

$$k_d = \min \left\{ \frac{d}{8} = \min \left\{ \frac{10,0}{8} = 1,25 = 1,00 \right. \right.$$

$$F_{ax,90,Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} F_{ax,90,Rd} \\ F_{tens,d} \end{array} \right. = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{f_{ax,k} \cdot d \cdot l_{ef,2} \cdot k_d}{1,2 \cdot \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_{M,Verb}} \\ \frac{f_{tens,k}}{\gamma_{M2}} \end{array} \right. = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{12,5 \cdot 10,00 \cdot 400 \cdot 1,00}{1,2 \cdot \cos^2 90 + \sin^2 90} \cdot \frac{1,00}{1,30} = 38.462 \text{ N} \\ \frac{40.000}{1,25} = 32.000 \text{ N} \end{array} \right. = 32,0 \text{ kN}$$

• in der mittleren Hälfte

$$F_{t,90,d;Innen} = \frac{\sigma_{t,90,d} \cdot b \cdot a_1}{n} \leq F_{ax,Rd}$$

$$a_{1,req;Innen} = \frac{F_{ax,Rd} \cdot n}{\sigma_{t,90,d} \cdot b} = \frac{32.000 \cdot 1,00}{0,246 \cdot 180} = 723 \text{ mm} > 0,75 \cdot h = 0,75 \cdot 880 = 660 \text{ mm}$$

gewählt: 6 x Vollgewindeschrauben Ø10 | 800 mm in einem Abstand $a_{1,prov;Innen} = 500 \text{ mm}$

• in den äußeren Vierteln

$$F_{t,90,d;Außen} = \frac{2}{3} \cdot \frac{\sigma_{t,90,d} \cdot b \cdot a_1}{n} \leq F_{ax,Rd}$$

$$a_{1,req;Außen} = \frac{3}{2} \cdot \frac{F_{ax,Rd} \cdot n}{\sigma_{t,90,d} \cdot b} = \frac{3}{2} \cdot \frac{32.000 \cdot 1,00}{0,246 \cdot 180} = 1.084 \text{ mm} > 0,75 \cdot h = 0,75 \cdot 880 = 660 \text{ mm}$$

gewählt: 3 x Vollgewindeschrauben Ø10 | 800 mm in einem Abstand $a_{1,prov;Außen} = 500 \text{ mm}$

• Biegedrillknicken (Kippen) im Firstbereich (Stelle des maximalen Moments)

Anmerkung:

Der Kippnachweis wird im gekrümmten Trägerbereich geführt.

kritische Kippspannung

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{l_{ef} \cdot h} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 180^2}{\approx 0,9 \cdot 4.580 \cdot 880} \cdot 9.100 = 63,4 \text{ N/mm}^2$$

bezogener Kippschlankheitsgrad

$$\lambda_{\text{rel,m}} = \sqrt{\frac{f_{\text{m,g,k}}}{\sigma_{\text{m,crit}}}} = \sqrt{\frac{24,0}{63,4}} = 0,615 < \lambda_{\text{rel,m,grenz}} = 0,75 \rightarrow k_{\text{crit}} = 1,00 \rightarrow \text{keine Kippgefahr!}$$

- Biegespannungen im Kragarmbereich

Querschnittswerte

$$h_A \approx h_{\text{Stütze}} - \frac{b_{\text{Stütze}}}{2} \cdot \sin \alpha \approx 880 - \frac{640}{2} \cdot \sin(9,46) \approx 827 \text{ mm}$$

$$W_A = \frac{b \cdot h_A^2}{6} = \frac{180 \cdot 827^2}{6} = 2,05 \cdot 10^7 \text{ mm}^3$$

negatives Kragarmmoment $M_{\text{st,d}} = \min M_{\text{III,A,d}} = -89,7 \text{ kNm} \rightarrow$ angeschnittener Rand im Druckbereich ($k_{\text{mod}} = 0,90$)

Biegespannungen

- am faserparallelen Rand (oberer Rand) (Zug)

$$\sigma_{\text{m,0,d}} = (1 + 4 \cdot \tan^2 \alpha) \cdot \frac{M_d}{W_A} = (1 + 4 \cdot \tan^2(9,46)) \cdot \frac{|-89,7 \cdot 10^6|}{2,05 \cdot 10^7} = 4,86 \text{ N/mm}^2$$

- am angeschnittenen Rand (unterer Rand) (Druck)

$$\sigma_{\text{m,\alpha,d}} = (1 - 4 \cdot \tan^2 \alpha) \cdot \frac{M_d}{W_A} = (1 - 4 \cdot \tan^2(9,46)) \cdot \frac{|-89,7 \cdot 10^6|}{2,05 \cdot 10^7} = 3,89 \text{ N/mm}^2$$

Beiwert für Druckspannungen im angeschnittenen Bereich

$$k_{\text{m,\alpha,c}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{\text{m,g,d}}}{1,5 \cdot f_{\text{v,g,d}}} \cdot \tan \alpha \right)^2 + \left(\frac{f_{\text{m,g,d}}}{f_{\text{c,90,g,d}}} \cdot \tan^2 \alpha \right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{17,3}{1,5 \cdot 1,80} \cdot \tan(9,46) \right)^2 + \left(\frac{17,3}{1,80} \cdot \tan^2(9,46) \right)^2}} = 0,673$$

Nachweise an den Rändern

oben

$$\frac{\sigma_{\text{m,0,d,neg M}}}{f_{\text{m,g,d}}} = \frac{4,86}{17,3} = 0,28 < 1$$

unten

$$\frac{\sigma_{\text{m,\alpha,d,neg M}}}{k_{\text{m,\alpha,t}} \cdot f_{\text{m,g,d}}} = \frac{3,89}{0,673 \cdot 17,3} = 0,33 < 1$$

positives Kragarmmoment $M_d = \min M_{\text{V,A,d}} = 62,3 \text{ kNm} \rightarrow$ angeschnittener Rand im Zugbereich ($k_{\text{mod}} = 1,00$)

Biegespannungen

- am faserparallelen Rand

$$\sigma_{\text{m,0,d}} = (1 + 4 \cdot \tan^2 \alpha) \cdot \frac{M_d}{W_A} = (1 + 4 \cdot \tan^2(9,46)) \cdot \frac{62,3 \cdot 10^6}{2,05 \cdot 10^7} = 3,38 \text{ N/mm}^2$$

- am angeschnittenen Rand

$$\sigma_{\text{m,\alpha,d}} = (1 - 4 \cdot \tan^2 \alpha) \cdot \frac{M_d}{W_A} = (1 - 4 \cdot \tan^2(9,46)) \cdot \frac{62,3 \cdot 10^6}{2,05 \cdot 10^7} = 2,70 \text{ N/mm}^2$$

Beiwert für Zugspannungen im angeschnittenen Bereich

$$k_{\text{m,\alpha,t}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{\text{m,g,d}}}{0,75 \cdot f_{\text{v,g,d}}} \cdot \tan \alpha \right)^2 + \left(\frac{f_{\text{m,g,d}}}{f_{\text{t,90,g,d}}} \cdot \tan^2 \alpha \right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{19,2}{0,75 \cdot 2,00} \cdot \tan(9,46) \right)^2 + \left(\frac{19,2}{0,400} \cdot \tan^2(9,46) \right)^2}} = 0,369$$

Nachweise an den Rändern

oben

$$\frac{\sigma_{m,0,d;pos M}}{f_{m,g,d}} = \frac{3,38}{19,2} = 0,18 < 1$$

unten

$$\frac{\sigma_{m,\alpha,d;pos M}}{k_{m,\alpha,t} \cdot f_{m,g,d}} = \frac{2,70}{0,369 \cdot 19,2} = 0,38 < 1$$

- Biegedrillknicken (Kippen) im Auflagerbereich (Kragarm)

$$\frac{l_{ef,K\ddot{A}}}{l_{K\ddot{A}}} = 0,5 \text{ mit } l_{K\ddot{A}} = 4,00 \text{ m} \rightarrow l_{ef,K\ddot{A}} = 0,5 \cdot 4,00 = 2,00 \text{ m}$$

$$\sigma_{m,crit;K\ddot{A}} = \frac{0,78 \cdot b^2}{l_{ef,K\ddot{A}} \cdot h_A} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 180^2}{2,000 \cdot 827} \cdot 9,100 = 139 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda_{rel,m;K\ddot{A}} = \sqrt{\frac{f_{m,g,k}}{\sigma_{m,crit;K\ddot{A}}}} = \sqrt{\frac{24,0}{139}} = 0,416 < \lambda_{rel,m;grenz} = 0,75 \rightarrow k_{crit} = 1,00 \rightarrow \text{keine Kippgefahr!}$$

- Schubspannungen am Auflager

Bemessungswerte

für $k_{mod} = 1,00$

$$f_{v,g,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,g,k}}{\gamma_M} = 1,00 \cdot \frac{2,50}{1,25} = 2,00 \text{ N/mm}^2$$

für $k_{mod} = 0,90$

$$f_{v,g,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,g,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{2,50}{1,25} = 1,80 \text{ N/mm}^2$$

Schubspannungen

$$\tau_{A,d} = 1,50 \cdot \frac{V_{I,A,red}}{b \cdot h_A} = 1,50 \cdot \frac{109 \cdot 10^3}{180 \cdot 827} = 1,10 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{A,d} = 1,50 \cdot \frac{V_{III,A,red}}{b \cdot h_A} = 1,50 \cdot \frac{101 \cdot 10^3}{180 \cdot 827} = 1,02 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\tau_{A,d}}{f_{v,g,d}} = \frac{1,10}{2,00} = 0,55 < 1$$

$$\frac{\tau_{A,d}}{f_{v,g,d}} = \frac{1,02}{1,80} = 0,57 < 1$$

- Auflagerpressung

wirksame Auflagerfläche (Elastomerelager $l/b = 200/180 \text{ mm}$)

$$A_{ef} = b \cdot (l + 2 \cdot 30 \cdot \cos \alpha) = 180 \cdot (200 + 2 \cdot 30 \cdot \cos(9,46)) = 4,67 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

Druckspannung

$$\sigma_{c,\alpha,d;B} = \frac{B_{I,d}}{A_{ef}} = \frac{149 \cdot 10^3}{4,67 \cdot 10^4} = 3,19 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{c,\alpha,d;B} = \frac{B_{III,d}}{A_{ef}} = \frac{146 \cdot 10^3}{4,67 \cdot 10^4} = 3,13 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswert der Druckfestigkeit parallel zu Faserrichtung ($\alpha = 0^\circ$)

für $k_{mod} = 1,00$

$$f_{c,0,g,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,0,g,k}}{\gamma_M} = 1,00 \cdot \frac{21,5}{1,25} = 17,2 \text{ N/mm}^2$$

für $k_{mod} = 0,90$

$$f_{c,0,g,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,0,g,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{21,5}{1,25} = 15,5 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswert der Druckfestigkeit normal zur Faserrichtung ($\alpha = 90^\circ$)

für $k_{mod} = 1,00$

$$f_{c,90,g,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,90,g,k}}{\gamma_M} = 1,00 \cdot \frac{2,50}{1,25} = 2,00 \text{ N/mm}^2$$

für $k_{mod} = 0,90$

$$f_{c,90,g,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,90,g,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{2,50}{1,25} = 1,80 \text{ N/mm}^2$$

$k_{c,90}$ -Beiwert für BSH bei einer Einzelauflagerung: $k_{c,90} = 1,75$

Druckfestigkeit unter einem Winkel $\alpha = 90,0 - 9,46 = 80,5^\circ$

$$\begin{aligned} &\text{für } k_{\text{mod}} = 1,00 \\ f_{c,\alpha,g,d} &= \frac{f_{c,0,g,d}}{\frac{f_{c,0,g,d}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,g,d}} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \\ &= \frac{17,2}{\frac{17,2}{1,75 \cdot 2,00} \cdot \sin^2(80,5) + \cos^2(80,5)} = \\ &= 3,58 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Nachweis

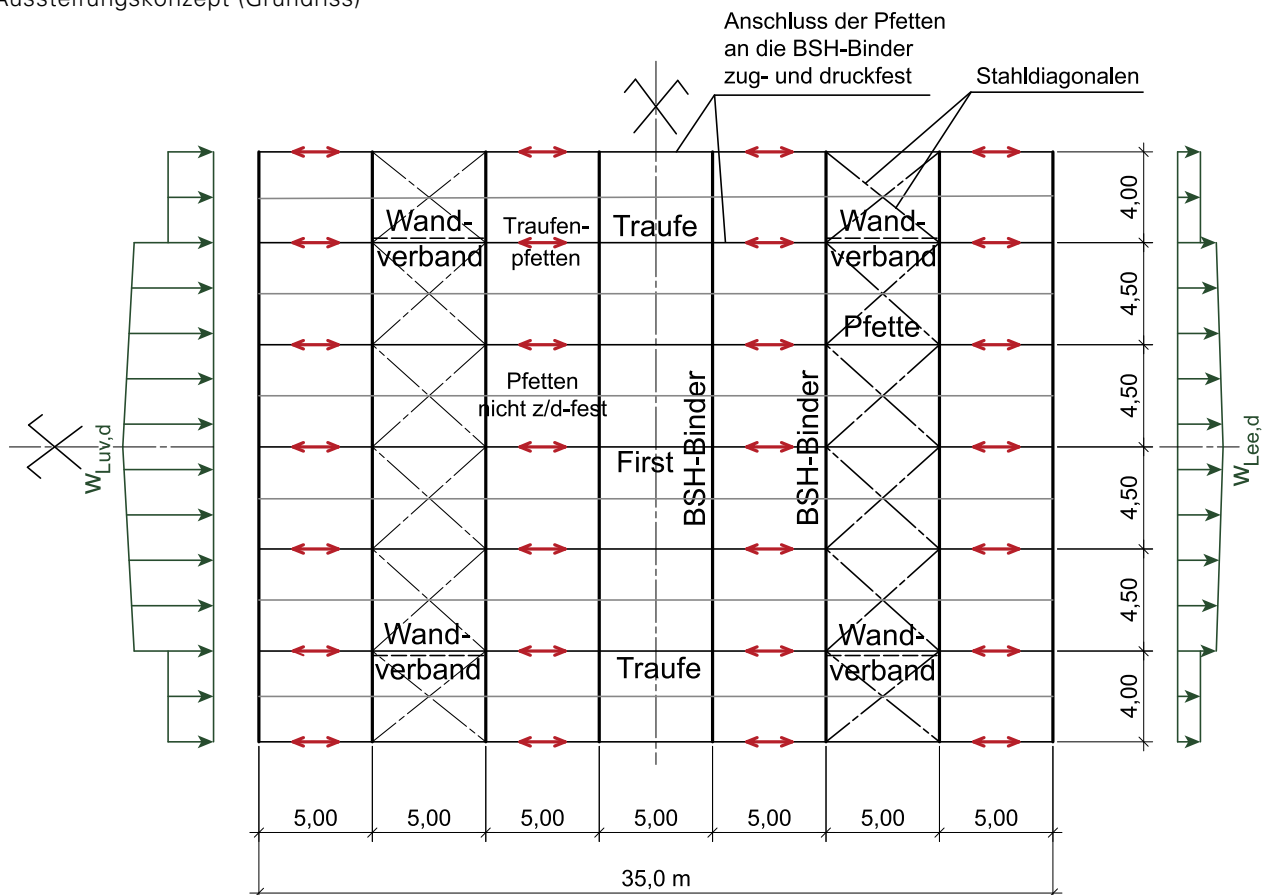
$$\frac{\sigma_{c,\alpha,d;B}}{f_{c,\alpha,g,d}} = \frac{3,19}{3,58} = 0,89 < 1$$

$$\begin{aligned} &\text{für } k_{\text{mod}} = 0,90 \\ f_{c,\alpha,g,d} &= \frac{f_{c,0,g,d}}{\frac{f_{c,0,g,d}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,g,d}} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \\ &= \frac{15,5}{\frac{15,5}{1,75 \cdot 1,80} \cdot \sin^2(80,5) + \cos^2(80,5)} = \\ &= 3,22 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\frac{\sigma_{c,\alpha,d;B}}{f_{c,\alpha,g,d}} = \frac{3,13}{3,22} = 0,97 < 1$$

Nachweis der Aussteifungsverbände (Stabilisierungs- und Windverbände)

Aussteifungskonzept (Grundriss)



mittlere Normalkraft im BSH-Binder

$$\sigma_{m,crit}^* = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}^*} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 180^2}{880 \cdot \approx 0,9 \cdot \frac{18.000}{\cos(9,46)}} \cdot 9.100 = 15,9 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda_{\text{rel,m}}^* = \sqrt{\frac{f_{\text{m,k}}}{\sigma_{\text{m,crit}}^*}} = \sqrt{\frac{24,0}{15,9}} = 1,23$$

$$\text{für } 0,75 < \lambda_{\text{rel,m}} \leq 1,4 \text{ ist: } k_{\text{crit}}^* = 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{\text{rel,m}}^* = 1,56 - 0,75 \cdot 1,23 = 0,638$$

$$N_{\text{DV,d}} = (1 - k_{\text{crit}}^*) \cdot \frac{M_{\text{m,d}}}{h} = (1 - 0,638) \cdot \frac{399}{0,880} = 164 \text{ kN}$$

Bemessungswert der Stabilisierungskraft F_d in jeder Einzelabstützung

(in den Kipphalterungen bzw. zug- und druckfest an die Binder angeschlossenen Pfetten)

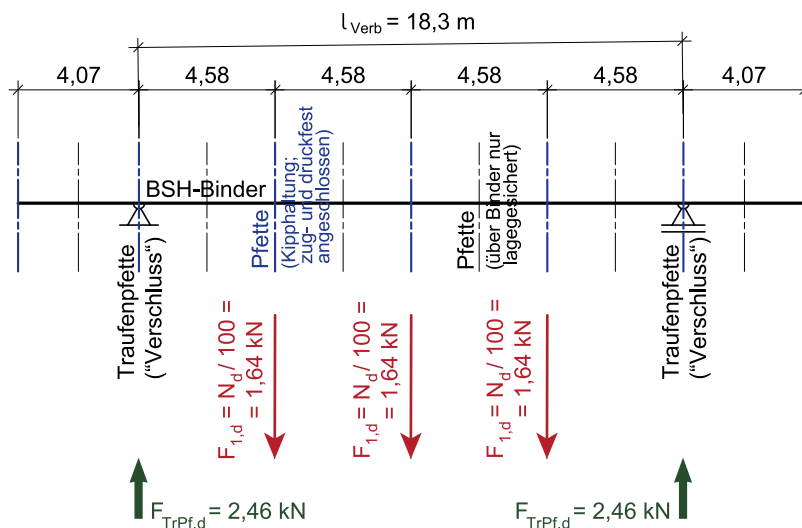
$$F_{\text{DV,1,d}} = \pm \frac{N_{\text{DV,d}}}{k_{\text{f,2}}} = \pm \frac{164}{100} = \pm 1,64 \text{ kN}$$

Der Maximalwert der Stabilisierungskraft pro BSH-Binder („Verschlusskraft“) tritt in der Traufenpfette (bzw. den Gabellagern auf) und beträgt aus Gleichgewichtsgründen

$$F_{\text{DV,TrPf,d}} = n_{\text{TrPf}} \cdot F_{\text{DV,1,d}} = (1 + 0,5) \cdot 1,64 = \pm 2,46 \text{ kN}$$

Anmerkungen:

- 1) Werden mehrere Binder gegen einen Aufsteifungsverband abgestützt, summieren sich die Kräfte in den Einzelabstützungen bzw. den Traufenpfetten („Verschlüssen“) bis zur Abtragung in den Aussteifungsverband.
- 2) Die Pfette im Kragarmbereich ist nicht kippgefährdet und liefert daher keine Stabilisierungskraft. Weiters gilt es zu beachten, dass das Moment im Kragarmbereich auch ein negatives Vorzeichen aufweist, d. h. eine allfällige Kipphalterung wäre auch am unteren Rand anzuordnen.
- 3) Gegebenenfalls ist zu überprüfen, ob die Normalkräfte in den Pfetten (Kipphalterungen) auf Grund spannungsloser Vorverformungen (Imperfektionen; maximal zulässige horizontale Verformung $l/500$) einen größeren Betrag annehmen als die Stabilisierungskräfte. Diese Kräfte können analog zur Aussteifungersatzlast für den Dachaussteifungsverband mit $n = 1$ unter Berücksichtigung der Einflussbreite pro Pfette ($q_{\text{DV,n=1,d}}^*$) berechnet werden. Der größere Wert aus der Einzelabstützung und der Verformung ist für die Bemessung heranzuziehen.
- 4) Zusätzlich ist der Nachweis zu erbringen, dass die Einzelabstützung bzw. deren Anschluss an den Aussteifungsverband ausreichend steif ist um die der Berechnung zugrundeliegende Biegelinie zu erreichen (Mindestfedersteifigkeit $C = k_s \cdot N_d/a$ mit $k_s = 4$).



Aussteifungersatzlast $q_{\text{DV,d}}^*$ für den Dachaussteifungsverband (Wind- und Stabilisierungsverband)

$$k_l = \min \left\{ \frac{1}{\sqrt{\frac{15}{l_{\text{Verb}}}}} \right\} = \min \left\{ \frac{1}{\sqrt{\frac{15}{18,3}}} \right\} = \min \left\{ \frac{1}{0,905} \right\} = 0,905$$

$$n = \frac{\text{Anzahl Felder}}{\text{Anzahl Verbände}} = \frac{7}{2} = 3,50$$

Anmerkung:

Die Giebelbinder werden auf Grund der geringeren Lasteinwirkungsfläche jeweils mit dem Faktor 1/2, die beiden BSH-Binder des Dachaussteifungsverbandes jeweils mit dem Faktor 1 berücksichtigt. Auf den Ansatz von Abtriebskräften auf Grund einer Schrägstellung der Giebelstützen wurde verzichtet.

$$q_{DV,d}^* = k_l \cdot \frac{n \cdot N_{DV,d}}{k_{f,3} \cdot l_{Verb}} = 0,905 \cdot \frac{3,50 \cdot 164}{30 \cdot 18,3} = \pm 0,946 \text{ kN/m}$$

Berechnung der Kräfte in den Stäben des Dachaussteifungsverbandes

Anmerkung:

Die Kragarme sind nicht kippgefährdet ($k_{crit} = 1,00$). Damit ergibt sich die Aussteifungsersatzlast zu Null. Weiters werden lediglich Stabkräfte ermittelt, die für die spätere Nachweisführung von Relevanz sind.

Lastfallkombination DV I: Wind-Anströmung parallel zum First mit dem Innendruckbeiwert $c_{pi} = -0,30$

• Windbelastung der Giebelwand

$$w_{DV I, Traufe, d} = \gamma_q \cdot w_{D,k} \cdot \frac{h_{Traufe}}{2} = 1,50 \cdot 0,832 \cdot \frac{8,50}{2} = 5,30 \text{ kN/m}$$

$$w_{DV I, First, d} = \gamma_q \cdot w_{D,k} \cdot \frac{h_{First}}{2} = 1,50 \cdot 0,832 \cdot \frac{10,0}{2} = 6,24 \text{ kN/m}$$

• Windbelastung auf den Kragarm

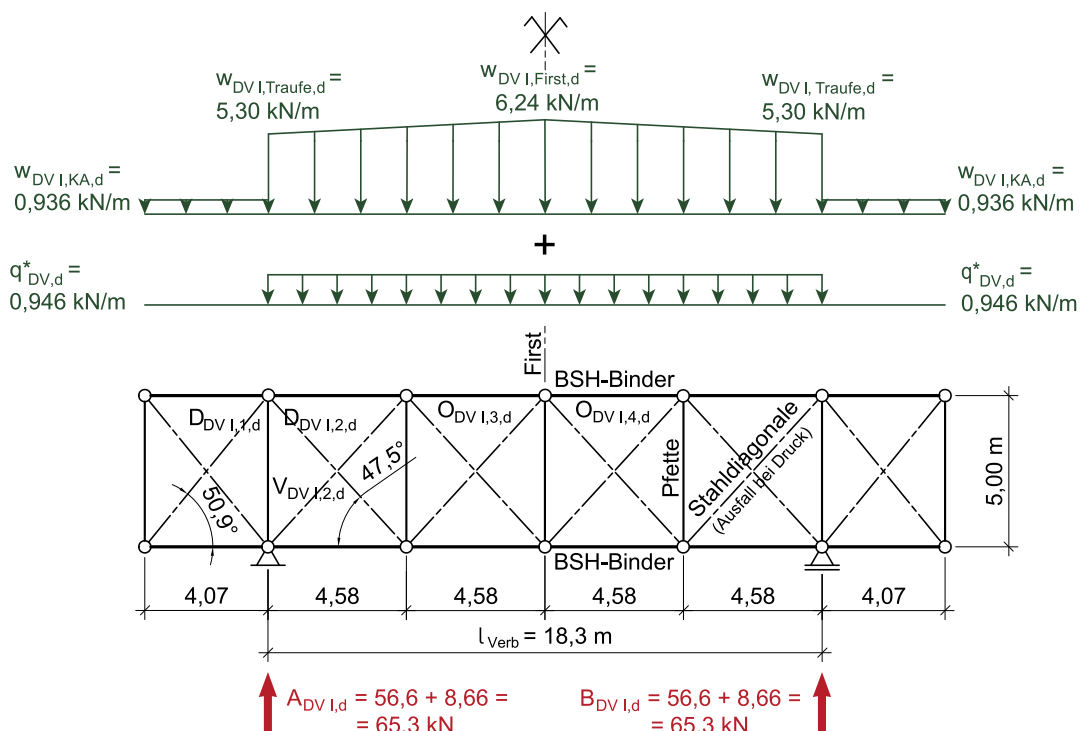
$$w_{DV I, KA, d} = \gamma_q \cdot w_{D,k} \cdot h_{KA} = 1,50 \cdot 0,832 \cdot \approx 0,750 = 0,936 \text{ kN/m}$$

Anmerkung:

Vereinfachend wird angenommen, dass die gesamte Windbeanspruchung der Giebelwand auf der Luvseite in den angrenzenden Dachaussteifungsverband abgetragen wird. Auf der Leeseite ergibt sich für den Aussteifungsverband damit eine geringere Beanspruchung.

Die Stabilisierungersatzlast bildet innerhalb des Dachaussteifungsverbandes eine Kräftegleichgewichtsgruppe und ist daher nicht in die weitere Konstruktion bzw. in die Fundierung weiterzuleiten.

Einwirkungen und statisches System des Dachaussteifungsverbandes – DV I (Wind parallel zum First)



- Auflager- und Querkräfte von der Windbeanspruchung

$$A_{\text{Wind,DV I,d}} = B_{\text{Wind,DV I,d}} = w_{\text{DV I,K A,d}} \cdot l_{\text{KA}} + \frac{l_{\text{Verb}}}{2} \cdot \frac{1}{2} (w_{\text{DV I,Traufe,d}} + w_{\text{DV I,First,d}}) = 0,936 \cdot 4,07 + \frac{18,3}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot (5,30 + 6,24) = 56,6 \text{ kN}$$

$$V_{\text{Wind,DV I,A,li,d}} = w_{\text{DV I,K A,d}} \cdot l_{\text{KA}} = -0,936 \cdot 4,07 = -3,81 \text{ kN}$$

$$V_{\text{Wind,DV I,A,re,d}} = A_{\text{Wind,DV I,d}} + V_{\text{Wind,DV I,A,li,d}} = 56,6 + (-3,81) = 52,8 \text{ kN}$$

- Auflager- und Querkräfte von der Aussteifungsersatzlast

$$A_{\text{DV,d}}^* = B_{\text{DV,d}}^* = V_{\text{DV,A,re,d}}^* = -V_{\text{DV,B,li,d}}^* = \frac{q_{\text{DV,d}}^* \cdot l_{\text{Verb}}}{2} = \frac{0,946 \cdot 18,3}{2} = 8,66 \text{ kN}$$

- Stabkräfte im Dachaussteifungsverband

$$V_{\text{DV I,2,d}} = A_{\text{DV I,d}} = A_{\text{Wind,DV I,d}} + A_{\text{DV,d}}^* = 56,6 + 8,66 = 65,3 \text{ kN}$$

$$M_{\text{DV I,m,d}} = A_{\text{DV I,d}} \cdot \frac{l_{\text{Verb}}}{2} - w_{\text{DV I,K A,d}} \cdot l_{\text{KA}} \cdot \left(\frac{l_{\text{KA}}}{2} + \frac{l_{\text{Verb}}}{2} \right) - (w_{\text{DV I,Traufe,d}} + q_{\text{DV,d}}^*) \cdot \frac{\left(\frac{l_{\text{Verb}}}{2} \right)^2}{2} - \frac{1}{2} \cdot \frac{l_{\text{Verb}}}{2} \cdot (w_{\text{DV I,First,d}} - w_{\text{DV I,Traufe,d}}) \cdot \frac{\left(\frac{l_{\text{Verb}}}{2} \right)}{3} =$$

$$= 65,3 \cdot \frac{18,3}{2} - 0,936 \cdot 4,07 \cdot \left(\frac{4,07}{2} + \frac{18,3}{2} \right) - (5,30 + 0,946) \cdot \frac{\left(\frac{18,3}{2} \right)^2}{2} - \frac{1}{2} \cdot \frac{18,3}{2} \cdot (6,24 - 5,30) \cdot \frac{\left(\frac{18,3}{2} \right)}{3} = 280 \text{ kNm}$$

$$D_{\text{DV I,1,d}} = \frac{V_{\text{Wind,DV I,A,li,d}}}{2 \cdot \sin \beta} = \frac{|-3,81|}{2 \cdot \sin(50,9)} = 2,45 \text{ kN}$$

$$D_{\text{DV I,2,d}} = \frac{V_{\text{Wind,DV I,A,re,d}} + V_{\text{DV,A,re,d}}^* + F_{\text{Wind,DV I,A,d}} + F_{\text{DV,A,d}}^*}{\sin \delta} = \frac{52,8 + 8,66 - \frac{1}{2} \cdot (5,30 + 5,54) \cdot \frac{4,58}{2} - 0,946 \cdot \frac{4,58}{2}}{\sin(47,5)} = 63,6 \text{ kN}$$

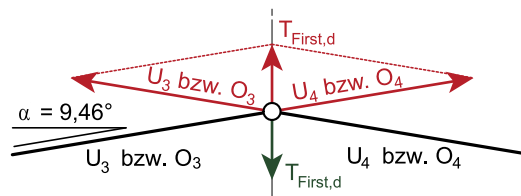
$$O_{\text{DV I,3,d}} = O_{\text{DV I,4,d}} = -\frac{M_{\text{DV I,m,d}}}{h_{\text{Verb}}} = -\frac{280}{5,00} = -56,0 \text{ kN}$$

Umlenkraft am First

$$T_{\text{DV I,First,d}} = -C_{\text{DV I,First,d}} = 2 \cdot |O_{\text{DV I,3 bzw. 4}}| \cdot \sin \alpha = 2 \cdot 56,0 \cdot \sin(9,46) = 18,4 \text{ kN}$$

Anmerkung:

Der Aussteifungsverband ist im Firstpunkt für diese Kraft zu verankern. Sowohl die Ober- und Untergurkraft, als auch die Umlenkraft am First wirken als zusätzliche Beanspruchung auf die Binder des Dachaussteifungsverbandes ein und sind bei deren Nachweisführung zu berücksichtigen. Auf deren Nachweisführung wurde aus Platzgründen verzichtet.



Lastfallkombination DV II: Wind-Anströmung normal zum First mit dem Innendruckbeiwert $c_{pi} = -0,30$

- Windbelastung im Giebelbereich A

$$w_{\text{DV II,K A,A,d}} = \gamma_Q \cdot w_{\text{A,k}} \cdot h_{\text{KA}} = 1,50 \cdot (-0,529) \cdot \approx 0,750 = -0,595 \text{ kN/m}$$

$$w_{\text{DV II,Traufe,A,d}} = \gamma_Q \cdot w_{\text{A,k}} \cdot \frac{h_{\text{Traufe}}}{2} = 1,50 \cdot (-0,529) \cdot \frac{8,50}{2} = -3,37 \text{ kN/m}$$

$$w_{\text{DV II,A,1,d}} = \gamma_Q \cdot w_{\text{A,k}} \cdot \frac{h_1}{2} = 1,50 \cdot (-0,529) \cdot \frac{9,17}{2} = -3,64 \text{ kN/m}$$

- Windbelastung im Giebelbereich B

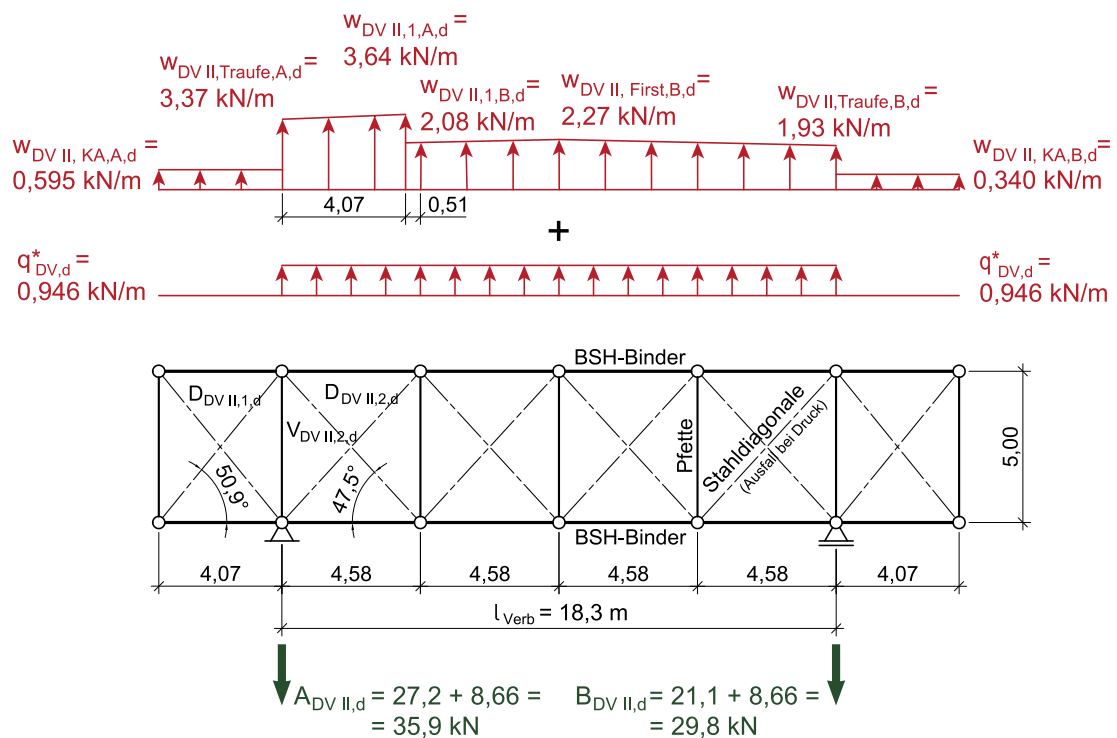
$$w_{DV II, B, 1, d} = \gamma_Q \cdot w_{B, k} \cdot \frac{h_1}{2} = 1,50 \cdot (-0,302) \cdot \frac{9,17}{2} = -2,08 \text{ kN/m}$$

$$w_{DV II, First, B, d} = \gamma_Q \cdot w_{B, k} \cdot \frac{h_{First}}{2} = 1,50 \cdot (-0,302) \cdot \frac{10,0}{2} = -2,27 \text{ kN/m}$$

$$w_{DV II, Traufe, B, d} = \gamma_Q \cdot w_{B, k} \cdot \frac{h_{Traufe}}{2} = 1,50 \cdot (-0,302) \cdot \frac{8,50}{2} = -1,93 \text{ kN/m}$$

$$w_{DV II, KA, B, d} = \gamma_Q \cdot w_{B, k} \cdot h_{KA} = 1,50 \cdot (-0,302) \approx 0,750 = -0,340 \text{ kN/m}$$

Einwirkungen und statisches System des Dachaussteifungsverbandes – DV II (Wind normal zum First)



Anmerkung:

Die Windkräfte und die Aussteifungsersatzlast sind Sogkräfte und wurden im Sinne der Baustatik mit entsprechender Pfeilrichtung und dazugehörigem Vorzeichen in der Skizze eingetragen.

- Auflager- und Querkräfte von der Windbeanspruchung

$$A_{Wind, DV II, d} = \frac{1}{18,3} \cdot \left(0,595 \cdot 4,07 \cdot \left(18,3 + \frac{4,07}{2} \right) + 3,37 \cdot 4,07 \cdot \left(18,3 - \frac{4,07}{2} \right) + \frac{1}{2} \cdot 4,07 \cdot (3,64 - 3,37) \cdot \left(18,3 - \frac{2}{3} \cdot 4,07 \right) + 2,08 \cdot (9,15 - 4,07) \cdot \left(9,15 + \frac{1}{2} \cdot (9,15 - 4,07) \right) + \frac{1}{2} \cdot (9,15 - 4,07) \cdot (2,27 - 2,08) \cdot \left(9,15 + \frac{1}{3} \cdot (9,15 - 4,07) \right) + 1,93 \cdot \frac{9,15^2}{2} + \frac{1}{2} \cdot 9,15 \cdot (2,27 - 1,93) \cdot \frac{2}{3} \cdot 9,15 - 0,340 \cdot \frac{4,07^2}{2} \right) = 27,2 \text{ kN}$$

$$B_{Wind, DV II, d} = 4,07 \cdot \left[0,595 + 0,340 + \frac{1}{2} \cdot (3,37 + 3,64) \right] + (9,15 - 4,07) \cdot \frac{1}{2} \cdot (2,08 + 2,27) + 9,15 \cdot \frac{1}{2} \cdot (2,27 + 1,93) - 27,2 = 21,1 \text{ kN}$$

$$V_{Wind, DV II, A, li, d} = w_{DV II, KA} \cdot l_{KA} = 0,595 \cdot 4,07 = 2,42 \text{ kN}$$

$$V_{Wind, DV II, A, re, d} = A_{Wind, DV II, d} - V_{Wind, DV II, A, li, d} = -27,2 + 2,42 = -24,8 \text{ kN}$$

- Stabkräfte im Dachaussteifungsverband

$$D_{DVII,1,d} = \frac{V_{wind,DVII,A,i,d}}{2 \cdot \sin \beta} = \frac{2,42}{2 \cdot \sin(50,9)} = 1,56 \text{ kN}$$

$$D_{DVII,2,d} = \frac{V_{wind,DVII,A,re,d} + V_{DV,A,re,d}^* - F_{wind,DVII,A,d} - F_{DV,A,d}^*}{\sin \delta} = \frac{24,8 + 8,66 - \frac{1}{2} \cdot (3,37 + 3,64) \cdot \frac{4,58}{2} - 0,946 \cdot \frac{4,58}{2}}{\sin(47,5)} = 31,6 \text{ kN}$$

$$V_{DVII,2,d} = A_{Wind,DVII,d} + A_{DV,d}^* \cdot D_{DVII,1,d} \cdot \sin(\beta) - D_{DVII,2,d} \cdot \sin(\delta) = 27,2 + 8,66 - 1,56 \cdot \sin(50,9) - 31,6 \cdot \sin(47,5) = 11,4 \text{ kN}$$

Anmerkung:

Neben der Dimensionierung der Stäbe des Dachaussteifungsverbandes ist nachzuweisen, dass der Verband ausreichend steif ist. Nach ÖNORM EN 1995-1-1:2019 [1] soll die horizontale Durchbiegung des Aussteifungsverbandes aus der äußeren Einwirkung (z. B. Wind) und der Aussteifungsersatzlast $q_{DV,d}^*$ den Wert $l/500$ nicht übersteigen. In diesem Beispiel wurde aus Platzgründen auf die Nachweisführung verzichtet.

Berechnung der Kräfte in den Stäben des Wandaussteifungsverbandes

- Bemessungswert der Stabilisierungskraft F_d in jeder Einzelabstützung

(in der Knickhalterungen bzw. dem zug- und druckfest an die Binder angeschlossene Querriegel)

maximaler Bemessungswert der Stützenkraft (Annahme: Stütze $b/h = 180/640$ mm aus GL 28c)

$$\min N_d = B_{l,d} + \gamma_G \cdot (\gamma_{Holz} \cdot b \cdot h \cdot h_{Stütze} + g_{Wandaufbau} \cdot e \cdot h_{Traufte}) = -149 - 1,35 \cdot (5,00 \cdot 0,180 \cdot 0,640 \cdot 7,00 + 0,200 \cdot 5,00 \cdot 8,25) = -149 - 16,6 = -166 \text{ kN}$$

Stabilisierungskraft F_d in einer Einzelabstützung

$$F_{wv,1,d} = \pm \frac{|\min N_d|}{k_{f,2}} = \pm \frac{|-166|}{100} = \pm 1,66 \text{ kN}$$

- Aussteifungsersatzlast $q_{wv,d}^*$ für den Wandaussteifungsverband

Anmerkung:

Der folgende Ansatz für die Aussteifungsersatzlast $q_{wv,d}^*$ druckbeanspruchter Bauteile (Stützen) wird analog zu jenen von Biegeträgern ermittelt und ist in dieser Form nicht in ÖNORM EN 1995-1-1:2019 [1] angeführt (siehe auch Abschnitt 26.3.4 in [15]). Ergänzend wird die Aussteifungsersatzlast $q_{wv,d}^*$ näherungsweise mit Hilfe des Hinweises aus SIA 265 ermittelt, wonach „Für Kragkonstruktionen als Bezugsgröße die doppelte Kraglänge gilt“.

$$\lambda_z^* = \frac{\beta_z \cdot l_{k,z}}{0,289 \cdot b} = \frac{1,00 \cdot 7,000}{0,289 \cdot 180} = 135 \rightarrow k_{c,z}^* = 0,223$$

$$N_{wv,d}^* = (1 - k_{c,z}^*) \cdot \min N_d = (1 - 0,223) \cdot |-166| = 129 \text{ kN}$$

$$q_{wv,d}^* = \frac{n \cdot N_{wv,d}^*}{k_{f,3} \cdot 2 \cdot h_{Stütze}} = \frac{3,50 \cdot 129}{30 \cdot 2 \cdot 7,00} = \pm 1,08 \text{ kN/m}$$

- Kraft am Stützenkopf:

$$N_{wv,o,d}^* = q_{wv,d}^* \cdot \frac{h_{Stütze,oben}}{2} = \pm 1,08 \cdot \frac{3,00}{2} = \pm 1,62 \text{ kN}$$

- Kraft auf Höhe des Querriegels:

$$N_{wv,qR,d}^* = q_{wv,d}^* \cdot \frac{h_{Stütze,unten} + h_{Stütze,oben}}{2} = \pm 1,08 \cdot \frac{4,00 + 3,00}{2} = \pm 3,78 \text{ kN}$$

- abtreibende Kräfte auf Grund einer Schiefstellung der Stützen

Schiefstellungswinkel

$$\phi = 0,005 \cdot \sqrt{\frac{5}{h}} = 0,005 \cdot \sqrt{\frac{5,00}{7,00}} = 0,00423 \text{ rad} \quad \text{mit } h \text{ in [m]}$$

abtreibende Kraft je Verband mit $\min N_d = B_{l,d} = 149 \text{ kN}$

$$H_{n,d} = n \cdot H_{l,d} = n \cdot \phi \cdot N_d = 3,50 \cdot 0,00423 \cdot 149 = 3,50 \cdot 0,630 = 2,21 \text{ kN}$$

Anmerkung:

Es ist der höhere Wert aus der Stabilisierungskraft der Einzelabstützung und der Aussteifungsersatzlast mit der abtreibenden Kraft auf Grund der Schiefstellung der Stütze in der Berechnung zu berücksichtigen.

statisches System und Kräfte im Wandaussteifungsverband

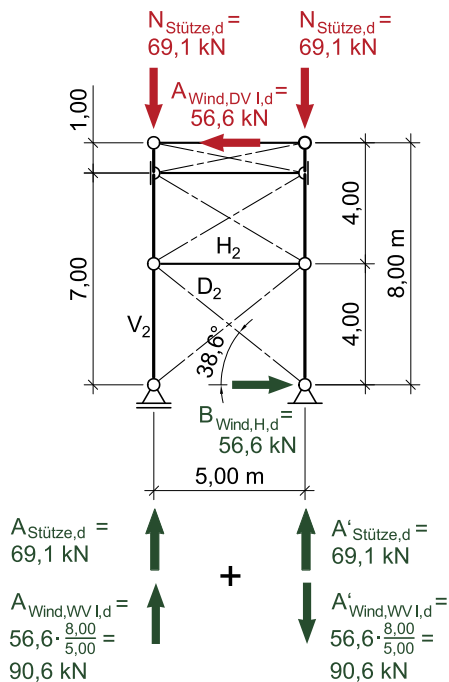
exemplarisch dargestellt für den Lastfall: Eigengewicht + Wind-w3 (f) + Schnee (b)

ständige Einwirkung in der Stütze (Eigengewicht vom Dach und Eigengewicht des anteiligen Wandaufbaus)

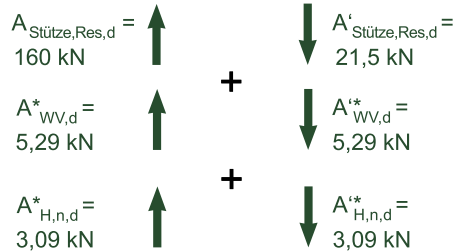
$$A_{\text{Stütze,g,k}} = B_{\text{Stütze,g,k}} = A_{\text{g,k}} + \gamma_{\text{Holz}} \cdot b \cdot h \cdot h_{\text{Stütze}} + g_{\text{Wandaufbau}} \cdot b \cdot h_{\text{Traufe}} = 32,9 + 5,00 \cdot 0,180 \cdot 0,640 \cdot 7,00 + 0,200 \cdot 5,00 \cdot 8,25 = 45,2 \text{ kN}$$

$$N_{\text{Stütze,d}} = \gamma_G \cdot A_{\text{Stütze,g,k}} + \gamma_Q \cdot A_{\text{w3,k}} + \gamma_Q \cdot \psi_{0,s} \cdot A_{s,k} = 1,35 \cdot 45,2 + 1,50 \cdot (-28,4) + 1,50 \cdot 0,50 \cdot 67,6 = 69,1 \text{ kN}$$

- für die betrachtete Einwirkungskombination
Eigengewicht + Wind-w3 (f) + Schnee (b)



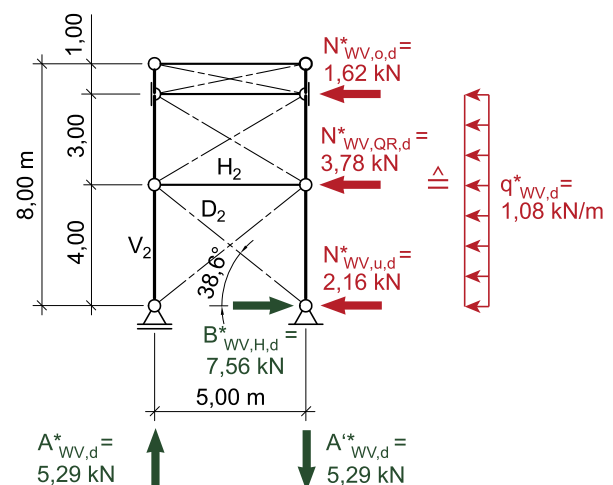
resultierende Stützenkräfte aus der LFK und der Kraft vom Dachaussteifungsverband



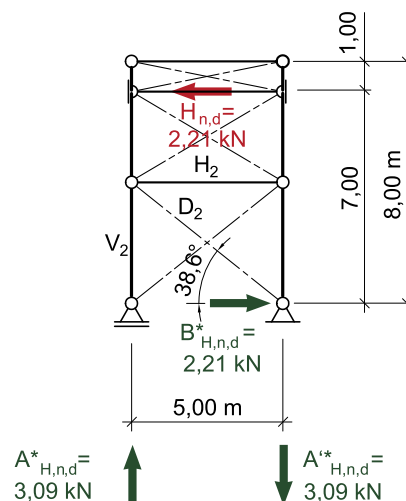
Bemessungswerte der Verbandsstützen inkl. den Kräften aus der Aussteifung und Stützenschiefstellung



- für die Aussteifungserstlast $q^*_{\text{WV,d}}$



- auf Grund der Schiefstellung der Stützen



Horizontalkraft (= horizontale Auflagerkraft)

$$H_{WV,d} = A_{Wind,DV,I,d} + N_{WV,o,d}^* + N_{WV,QR,d}^* + H_{n,d} = 56,6 + 1,62 + 3,78 + 2,21 = 64,2 \text{ kN}$$

Maximalkraft in der Diagonale

$$D_{WV,2,d} = \frac{H_{WV,d}}{\cos \alpha} = \frac{64,2}{\cos(38,6)} = 82,1 \text{ kN}$$

Maximalwert der abhebenden Lagerkraft für die Stützen des Windverbandes (Wind parallel)

Lagesicherung EQU laut EN 1990

Lastfallkombination: Eigengewicht (günstig) und Wind – Lastfall Wind-w2 (Anströmung normal zum First)

Auflagerkraft vom Windverband im Dach für diese Lastfallkombination (nicht ausgewiesen): $A_{DV III,d} = 52,9 \text{ kN}$

$$A_{vert,w2,d} = \gamma_{G,sup} \cdot A_{Stütze,g,k} + \gamma_Q \cdot A_{w2,k} = 0,90 \cdot (-45,2) + 1,50 \cdot 56,7 = 44,4 \text{ kN (abhebend!)}$$

$$A_{vert,WV,d} = \pm \left(A_{DV III,d} \cdot h_{Stütze} + (N_{WV,o,d}^* + H_{n,d}) \cdot h_{Stütze} + N_{WV,QR,d}^* \cdot h_{QR} \right) \cdot \frac{1}{b} = (52,9 \cdot 7,75 + (1,62 + 2,21) \cdot 7,00 + 3,78 \cdot 4,00) \cdot \frac{1}{5,00} = \pm 90,4 \text{ kN}$$

$$A_{vert,d} = A_{vert,w2,d} + A_{vert,WV,d} = 44,4 + 90,4 = 135 \text{ kN (abhebend!)}$$

Anmerkung:

Die Stütze ist auf die (abhebende) Zugkraft $A_{vert,d}$ zu verankern!

Nachweisführung Stütze

- Bemessungsschnittgrößen für die Regelstütze

Lastfallkombination I: minimale Normalkraft in der Stütze (Eigengewicht + Schnee (f) + Wind-w1 (b))

Normalkraft

$$N_{Stütze,A,d} = \gamma_G \cdot A_{Stütze,g,k} + \gamma_Q \cdot A_{s,k} + \gamma_Q \cdot \psi_{0,w} \cdot A_{w1,k} = 1,35 \cdot (-45,2) + 1,50 \cdot (-67,6) + 1,50 \cdot 0,60 \cdot 2,28 = -160 \text{ kN}$$

$$\min N_{Stütze,d} = B_{I,Stütze,d} = \gamma_G \cdot B_{Stütze,g,k} + \gamma_Q \cdot B_{s,k} + \gamma_Q \cdot \psi_{0,w} \cdot B_{w1,k} = 1,35 \cdot (-45,2) + 1,50 \cdot (-67,6) + 1,50 \cdot 0,60 \cdot (-3,37) = -165 \text{ kN}$$

Moment

$$\text{zug } M_{Stütze,A,d} = \gamma_Q \cdot \psi_{0,w} \cdot w_{D,k} \cdot b \cdot \left(\Delta h \cdot h_{Stütze} + \frac{h_{Stütze}^2}{2} \right) + H_{1,d} \cdot h_{Stütze} = 1,50 \cdot 0,60 \cdot 0,832 \cdot 5,00 \cdot \left(1,00 \cdot 7,00 + \frac{7,00^2}{2} \right) + 0,630 \cdot 7,00 = 122 \text{ kNm}$$

$$\text{zug } M_{Stütze,B,d} = \gamma_Q \cdot \psi_{0,w} \cdot w_{E,k} \cdot b \cdot \left(\Delta h \cdot h_{Stütze} + \frac{h_{Stütze}^2}{2} \right) + H_{1,d} \cdot h_{Stütze} = 1,50 \cdot 0,60 \cdot (-0,00983) \cdot 5,00 \cdot \left(1,00 \cdot 7,00 + \frac{7,00^2}{2} \right) + (-0,630) \cdot 7,00 = -5,80 \text{ kNm}$$

Lastfallkombination II: minimales Moment in der Stütze (Eigengewicht + Wind-w1 (f) + Schnee (b))

Normalkraft

$$\text{zug } N_{Stütze,A,d} = \gamma_G \cdot A_{Stütze,g,k} + \gamma_Q \cdot A_{w1,k} + \gamma_Q \cdot \psi_{0,s} \cdot A_{s,k} = 1,35 \cdot (-45,2) + 1,50 \cdot 2,28 + 1,50 \cdot 0,50 \cdot (-67,6) = -108 \text{ kN}$$

$$\text{zug } N_{Stütze,B,d} = \gamma_G \cdot B_{Stütze,g,k} + \gamma_Q \cdot B_{w1,k} + \gamma_Q \cdot \psi_{0,s} \cdot B_{s,k} = 1,35 \cdot (-45,2) + 1,50 \cdot (-3,37) + 1,50 \cdot 0,50 \cdot (-67,6) = -117 \text{ kN}$$

Moment

$$\max M_{Stütze,d} = M_{Stütze,A,d} = \gamma_Q \cdot w_{D,k} \cdot b \cdot \left(\Delta h \cdot h_{Stütze} + \frac{h_{Stütze}^2}{2} \right) + H_{1,d} \cdot h_{Stütze} = 1,50 \cdot 0,832 \cdot 5,00 \cdot \left(1,00 \cdot 7,00 + \frac{7,00^2}{2} \right) + 0,630 \cdot 7,00 = 201 \text{ kNm}$$

$$M_{Stütze,B,d} = \gamma_Q \cdot w_{D,k} \cdot b \cdot \left(\Delta h \cdot h_{Stütze} + \frac{h_{Stütze}^2}{2} \right) + H_{1,d} \cdot h_{Stütze} = 1,50 \cdot (-0,00983) \cdot 5,00 \cdot \left(1,00 \cdot 7,00 + \frac{7,00^2}{2} \right) + (-0,630) \cdot 7,00 = -6,73 \text{ kNm}$$

Bemessungsschnittgrößen für die Stützen des Wandaussteifungsverbandes

Lastfallkombination Stütze I: minimale Normalkraft in der Stütze (Eigengewicht + Schnee (f) + Wind-w1 (b))

$$\begin{aligned} \min N_{\text{Stütze,A,d}} &= \gamma_G \cdot A_{\text{Stütze,g,k}} + \gamma_Q \cdot A_{s,k} + \gamma_Q \cdot \psi_{0,w} \cdot A_{w1,k} + \left(A_{\text{Wind,DV II,d}} \cdot \psi_{0,w} \cdot h_{\text{VV}} + (N_{\text{VV,o,d}}^* + H_{n,d}) \cdot h_{\text{Stütze}} + N_{\text{VV,QR,d}}^* \cdot h_{\text{QR}} \right) \cdot \frac{1}{b} = \\ &= 1,35 \cdot (-45,2) + 1,50 \cdot (-67,6) + 1,50 \cdot 0,60 \cdot 2,28 - \left(27,2 \cdot 0,60 \cdot 7,75 + (1,62 + 2,21) \cdot 7,00 + 3,78 \cdot 4,00 \right) \cdot \frac{1}{5,00} = -194 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{zug } M_{\text{Stütze,A,d}} = \gamma_Q \cdot \psi_{0,w} \cdot w_{D,k} \cdot b \cdot \left(\Delta h \cdot h_{\text{Stütze}} + \frac{h_{\text{Stütze}}^2}{2} \right) + H_{1,d} \cdot h_{\text{Stütze}} = 1,50 \cdot 0,60 \cdot 0,832 \cdot 5,00 \cdot \left(1,00 \cdot 7,00 + \frac{7,00^2}{2} \right) + 0,630 \cdot 7,00 = 122 \text{ kNm}$$

Lastfallkombination Stütze II: minimales Moment in der Stütze (Eigengewicht + Wind-w1 (f) + Schnee (b))

$$\begin{aligned} \text{zug } N_{\text{Stütze,A,d}} &= \gamma_G \cdot A_{\text{Stütze,g,k}} + \gamma_Q \cdot A_{w1,k} + \gamma_Q \cdot \psi_{0,s} \cdot A_{s,k} + \left(A_{\text{Wind,DV II,d}} \cdot h_{\text{VV}} + (N_{\text{VV,o,d}}^* + H_{n,d}) \cdot h_{\text{Stütze}} + N_{\text{VV,QR,d}}^* \cdot h_{\text{QR}} \right) \cdot \frac{1}{b} = \\ &= 1,35 \cdot (-45,2) + 1,50 \cdot 2,28 + 1,50 \cdot 0,50 \cdot (-67,6) - \left(27,2 \cdot 7,75 + (1,62 + 2,21) \cdot 7,00 + 3,78 \cdot 4,00 \right) \cdot \frac{1}{5,00} = -159 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\max M_{\text{Stütze,d}} = M_{\text{Stütze,A,d}} = \gamma_Q \cdot w_{D,k} \cdot b \cdot \left(\Delta h \cdot h_{\text{Stütze}} + \frac{h_{\text{Stütze}}^2}{2} \right) + H_{1,d} \cdot h_{\text{Stütze}} = 1,50 \cdot 0,832 \cdot 5,00 \cdot \left(1,00 \cdot 7,00 + \frac{7,00^2}{2} \right) + 0,630 \cdot 7,00 = 201 \text{ kNm}$$

Nachweisführung der Stütze (des Wandaussteifungsverbandes)

statisch-konstruktive Ausführung:

- um die starke Achse (y-Achse) elastisch eingespannt,
- um die schwache Achse (z-Achse) an den Enden gelenkig gelagert und
- in einem Abstand von 4,00 m vom Stützenfuß durch einen Querriegel gestützt

Querschnitt (Annahme): $b/h = 180/640 \text{ mm}$

Baustoff: BSH GL 28c

• Querschnittswerte

Querschnittsfläche: $A = b \cdot h = 180 \cdot 640 = 1,15 \cdot 10^5 \text{ mm}^2$

Widerstandsmoment: $W_y = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{180 \cdot 640^2}{6} = 1,23 \cdot 10^7 \text{ mm}^3$

Knicklängenbeiwert um die y-Achse

$$\begin{aligned} \beta_y &= \sqrt{4 + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{l \cdot K_\phi}} \approx 2,80 \\ \lambda_y &= \frac{\beta_y \cdot l_y}{0,289 \cdot h} = \frac{2,80 \cdot 7.000}{0,289 \cdot 640} = 106 \\ &\rightarrow k_{c,y} = 0,353 \end{aligned}$$

Knicklängenbeiwert um die z-Achse

$$\begin{aligned} \beta_z &= 1,00 \\ \lambda_z &= \frac{\beta_z \cdot l_z}{0,289 \cdot b} = \frac{1,00 \cdot 4.000}{0,289 \cdot 180} = 76,9 \\ &\rightarrow k_{c,z} = 0,620 \end{aligned}$$

Kippbeiwert

$$\frac{l_{ef} \cdot h}{b^2} = \frac{0,5 \cdot 7.000 \cdot 640}{180^2} = 69,1 < \left(\frac{l_{ef} \cdot h}{b^2} \right)_{\text{grenz}} = 177 \rightarrow k_{\text{crit}} = 1,00$$

• Nachweisführung

LFK I: ständige Einwirkung (ungünstig)

+ Schnee-Voll (führend)

+ Wind-w1 (begleitend)

Spannungen

$$\sigma_{c,0,d;StI} = \frac{\min N_{Stütze,d}}{A} = \frac{-194 \cdot 10^3}{1,15 \cdot 10^5} = 1,69 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,d;StI} = \frac{\text{zug } M_{Stütze,d}}{W_y} = \frac{122 \cdot 10^6}{1,23 \cdot 10^7} = 9,92 \text{ N/mm}^2$$

Biegung mit Längskraft um die y-Achse

- Biegeknicke (mit $\sigma_{m,z,d} = 0$)

$$\frac{\sigma_{c,0,d;StI}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,g,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d;StI}}{f_{m,y,g,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d;StI}}{f_{m,z,g,d}} = \frac{1,69}{0,353 \cdot 19,2} + \frac{9,92}{22,4} + 0 = 0,249 + 0,443 + 0 = 0,69 < 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d;StI}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,g,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d;StI}}{f_{m,y,g,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d;StI}}{f_{m,z,g,d}} = \frac{1,69}{0,620 \cdot 19,2} + 0,7 \cdot \frac{9,92}{22,4} + 0 = 0,142 + 0,310 + 0 = 0,45 < 1$$

- Biegedrillknicken

$$\frac{\sigma_{c,0,d;StI}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,g,d}} + \left(\frac{\sigma_{m,d;StI}}{k_{crit} \cdot f_{m,g,d}} \right)^2 = \frac{1,69}{0,620 \cdot 19,2} + \left(\frac{9,92}{1,00 \cdot 22,4} \right)^2 = 0,142 + 0,196 = 0,34 < 1$$

Schubnachweis

Bemessungswert der Querkraft

$$V_{z,d;St} = \gamma_Q \cdot w_{1,D,k} \cdot e \cdot (\Delta h + h_{Stütze}) + H_{1,d} = 1,50 \cdot 0,832 \cdot 5,00 \cdot 8,00 + 0,630 = 50,6 \text{ kN}$$

Schubspannung

$$\tau_{z,d;St} = 1,50 \cdot \frac{V_{z,d;St}}{A} = 1,50 \cdot \frac{50,6 \cdot 10^3}{1,15 \cdot 10^5} = 0,660 \text{ N/mm}^2$$

Schubnachweis

$$\frac{\tau_{z,d;St}}{f_{v,g,d}} = \frac{0,660}{2,00} = 0,33 < 1$$

LFK II: ständige Einwirkung (ungünstig)

+ Wind-w1 (führend)

+ Schnee-Voll (begleitend)

$$\sigma_{c,0,d;StII} = \frac{\text{zug } N_{Stütze,d}}{A} = \frac{-159 \cdot 10^3}{1,15 \cdot 10^5} = 1,38 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,d;StII} = \frac{\max M_{Stütze,d}}{W_y} = \frac{201 \cdot 10^6}{1,23 \cdot 10^7} = 16,3 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d;StII}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,g,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d;StII}}{f_{m,y,g,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d;StII}}{f_{m,z,g,d}} = \frac{1,38}{0,353 \cdot 19,2} + \frac{16,3}{22,4} + 0 = 0,204 + 0,728 + 0 = 0,93 < 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d;StII}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,g,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d;StII}}{f_{m,y,g,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d;StII}}{f_{m,z,g,d}} = \frac{1,38}{0,620 \cdot 19,2} + 0,7 \cdot \frac{16,3}{22,4} + 0 = 0,116 + 0,509 + 0 = 0,63 < 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d;StII}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,g,d}} + \left(\frac{\sigma_{m,d;StII}}{k_{crit} \cdot f_{m,g,d}} \right)^2 = \frac{1,38}{0,620 \cdot 19,2} + \left(\frac{16,3}{1,00 \cdot 22,4} \right)^2 = 0,116 + 0,530 = 0,65 < 1$$

Bemessung der Pfette

statisch-konstruktive Ausführung:

- Die Pfetten werden im halben Abstand zwischen den Knotenpunkten des Dachaussteifungsverbandes zwischen den Bindern „eingehängt“ (Abstand $e = 4,58 / 2 = 2,29$ m).
- Pfetten, die an die Knotenpunkte des Dachaussteifungsverbandes angeschlossen werden, sind mit den BSH-Bindern zug- und druckfest verbunden.
- Die nicht zug- und druckfest angeschlossenen Pfetten werden zwischen den BSH-Bindern bzw. dem Dachaussteifungsverband lagegesichert angeordnet.
- Die Nachweisführung erfolgt auf Grund der größten Beanspruchung für die Pfetten bzw. „Vertikalen“ des Dachaussteifungsverbandes.

Anmerkung:

Vereinfacht wird die Pfette als Einfeldträger nachgewiesen. Aus Übersichtsgründen wird auf die Berücksichtigung der windbeanspruchten Randzonen verzichtet.

Querschnitt (Annahme): $b/h = 140/200$ mm

Baustoff: VH C 24

• Querschnittswerte

Querschnittsfläche: $A = b \cdot h = 140 \cdot 200 = 2,80 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$

Widerstandsmoment: $W_y = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{140 \cdot 200^2}{6} = 9,33 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$

• Einwirkungen und Schnittgrößen

$$g_{Pf,k} = \gamma_{Holz} \cdot b \cdot h + g_{Dachaufbau,k} \cdot \frac{e}{2} = 5,00 \cdot 0,140 \cdot 0,200 + 0,300 \cdot \frac{4,58}{2} = 0,827 \text{ kN/m}$$

$$s_{Pf,k} = s_k \cdot \frac{e}{2} = 1,04 \cdot \frac{4,58}{2} = 2,38 \text{ kN/m}$$

$$\min w_{Pf,k} = w_{w3,k} \cdot \frac{e}{2} = (-0,646) \cdot \frac{4,58}{2} = -1,48 \text{ kN} \quad (\text{aus Lastfall Wind-w3 – parallel zum First})$$

$$\max w_{Pf,k} = w_{w1,k} \cdot \frac{e}{2} = 0,294 \cdot \frac{4,58}{2} = 0,673 \text{ kN/m} \quad (\text{aus Lastfall Wind-w1 – normal zum First})$$

Lastfallkombination Pfette I: Eigengewicht + Wind w-3 (f)

$$N_{PfI,d} = V_{DVI,2,d} = -65,3 \text{ kN}$$

$$q_{PfI,d} = \gamma_{G,sup} \cdot g_{Pf,k} + \gamma_Q \cdot \min w_{Pf,k} = 1,00 \cdot 0,827 + 1,50 \cdot (-1,48) = -1,39 \text{ kN/m}$$

$$M_{PfI,d} = \frac{q_{PfI,d} \cdot l_{Pfette}^2}{8} = \frac{(-1,39) \cdot 5,00^2}{8} = -4,34 \text{ kNm}$$

$$\lambda_z = \frac{\beta_z \cdot l_{z,Pf}}{0,289 \cdot b} = \frac{1,00 \cdot 5,000}{0,289 \cdot 140} = 124 \rightarrow k_{c,z} = 0,205$$

Spannungen

$$\sigma_{c,0,d,PfI} = \frac{N_{PfI,d}}{A} = \frac{65,3 \cdot 10^3}{2,80 \cdot 10^4} = 2,33 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,d,PfI} = \frac{M_{PfI,d}}{W_y} = \frac{[-4,34 \cdot 10^6]}{9,33 \cdot 10^5} = 4,65 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{c,0,d,PfI}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + \left(\frac{\sigma_{m,d,PfI}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \right)^2 = \frac{2,33}{0,205 \cdot 16,2} + \left(\frac{4,65}{1,00 \cdot 18,5} \right)^2 = 0,702 + 0,0632 = 0,77 < 1$$

Lastfallkombination Pfette II: Eigengewicht + Schnee (f) + Wind w-3 (b)

$$N_{PfII,d} = V_{DVII,2,d} = 11,4 \text{ kN}$$

$$q_{PfII,d} = \gamma_G \cdot g_{Pf,k} + \gamma_Q \cdot s_k + \gamma_Q \cdot \psi_{0,w} \cdot \max w_{Pf,k} = 1,35 \cdot 0,827 + 1,50 \cdot 2,38 + 1,50 \cdot 0,60 \cdot 0,673 = 5,29 \text{ kN/m}$$

$$M_{PfII,d} = \frac{q_{PfII,d} \cdot l_{Pfette}^2}{8} = \frac{5,29 \cdot 5,00^2}{8} = 16,5 \text{ kNm}$$

Spannungen

$$\sigma_{t,0,d,PfII} = \frac{N_{PfII,d}}{A} = \frac{11,4 \cdot 10^3}{2,80 \cdot 10^4} = 0,407 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,d,PfII} = \frac{M_{PfII,d}}{W_y} = \frac{16,5 \cdot 10^6}{9,33 \cdot 10^5} = 17,7 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{t,0,d,PfII}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,d,PfII}}{f_{m,d}} = \frac{0,407}{11,2} + \frac{17,7}{18,5} = 0,0363 + 0,957 = 0,99 < 1$$

Bemessung Stahldiagonale

Anmerkung:

Auf eine Abstufung des Durchmessers wird verzichtet. Es werden sowohl für den Dach-, als auch für den Wandaussteifungsverband Stahlstäbe mit demselben Durchmesser verwendet.

Bemessungswert der Einwirkung: $\max N_{Dia,d} = D_{WV,2,d} = 82,1 \text{ kN}$

Baustoff: Betonstabstähle aus BST 550 ($f_{y,k} = 550 \text{ N/mm}^2$) mit aufgedrehtem Gewinde an den Enden sowie geeigneten Gabelköpfen

Fließspannung: $f_{y,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_s} = \frac{550}{1,25} = 440 \text{ N/mm}^2$

erforderlicher Spannungsquerschnitt: $A_{sp,req} = \frac{\max N_{Dia,d}}{f_{y,d}} = \frac{82,1 \cdot 10^3}{440} = 187 \text{ mm}^2$

gewählt: BST 550-Stahlstäbe Ø 20 mm ($A_{sp} = 258 \text{ mm}^2$)

Querriegel – vertikaler Windverband

Annahme:

Die Wandpaneele sind horizontal orientiert und mit den Stützen verschraubt, sodass die Querriegel im vertikalen Windverband keine Windkräfte abzutragen haben.

Querschnitt (Annahme): $b/h = 200/140 \text{ mm}$ (liegend eingebaut)

Baustoff: VH C 24

• Querschnittswerte

Querschnittsfläche: $A = b \cdot h = 200 \cdot 140 = 2,80 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$

$$W_z = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{200 \cdot 140^2}{6} = 6,53 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

Widerstandsmoment:

Einwirkungen und Schnittgrößen: $N_{QR,d} = -H_{WV,d} = -64,2 \text{ kN}$

$$g_{QR,y,d} = \gamma_G \cdot \gamma_{Holz} \cdot b \cdot h = 1,35 \cdot 5,00 \cdot 0,200 \cdot 0,140 = 0,189 \text{ kN/m}$$

$$M_{QR,z,d} = \frac{g_{QR,y,d} \cdot l^2}{8} = \frac{0,189 \cdot 5,00^2}{8} = 0,591 \text{ kNm}$$

$$\lambda_z = \frac{\beta_z \cdot l_{z,QR}}{0,289 \cdot h} = \frac{1,00 \cdot 5,000}{0,289 \cdot 140} = 124 \rightarrow k_{c,z} = 0,205$$

Spannungen

$$\sigma_{c,0,d;QR} = \frac{N_{QR,d}}{A} = \frac{-64,2 \cdot 10^3}{2,80 \cdot 10^4} = 2,29 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{z,m,d;QR} = \frac{M_{QR,z,d}}{W_z} = \frac{0,591 \cdot 10^6}{6,53 \cdot 10^5} = 0,905 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{c,0,d;QR}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + \left(\frac{\sigma_{z,m,d;QR}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \right)^2 = \frac{2,29}{0,205 \cdot 16,2} + \left(\frac{0,905}{1,00 \cdot 18,5} \right)^2 = 0,690 + 0,00239 = 0,69 < 1$$

Stützenkopfdetail – Gabellagerung

statisch-konstruktive Gestaltung:

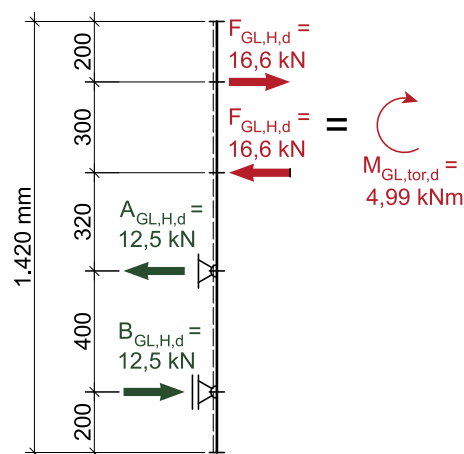
- Gabellager mit zwei außenliegenden, mittels Dübel besonderer Bauart angeschlossenen Holzlaschen

Querschnitt (Annahme): $b/h = 2 \times 320/100 \text{ mm}$

Baustoff: BSH GL 24h

Anmerkung:

Die nachfolgend ausgeführte Berechnung ist nicht Teil von ÖNORM EN 1995-1-1 und ÖNORM B 1995-1-1. Sie entstammt DIN 1052:2008.

Bemessungswert des Ersatztorsionsmoments $M_{tor,d}$ der Gabellagerung

$$M_{GL,tor,d} = \frac{\max M_d}{80} = \frac{M_{I,m,d}}{80} = \frac{399}{80} = \pm 4,99 \text{ kNm}$$

Umrechnung in ein Kräftepaar

$$T_{GL,tor,d} = -C_{GL,tor,d} = \frac{\pm M_{GL,tor,d}}{b_{Binder} + 2 \cdot \frac{h_{La}}{2}} = \frac{\pm 4,99}{0,180 + 2 \cdot \frac{0,100}{2}} = \pm 17,8 \text{ kN}$$

Bemessungswert der Zugkraft in der Gabellagerung unter Berücksichtigung der äußeren Einwirkungen

Anmerkung:

Es wird angenommen, dass die (horizontalen) Auflagerkräfte des Dachaussteifungsverbandes rund 0,75 m über der Unterkante der Binder eingeleitet werden.

$$T_{GL,d} = \left(A_{V,d} + A_{DV III,d} \cdot \frac{\Delta h_{DV}}{h} \right) \cdot \frac{1}{n_{Laschen}} + T_{GL,tor,d} = \left(52,2 + 52,9 \cdot \frac{\approx 0,750}{5,00} \right) \cdot \frac{1}{2} + 17,8 = 47,9 \text{ kN}$$

Ausführung: Anschluss je Holzlasche mittels 2 x Dübel besonderer Bauart (Ringdübel Typ A1), $d_c = 126 \text{ mm}$, $h_c = 30 \text{ mm} (= 2 \cdot h_e)$

Beiwerte für die gewählten Dübel besonderer Bauart

$$k_1 = \min \left\{ \frac{1}{\frac{t_1}{3 \cdot h_e}} = \min \left\{ \frac{1}{\frac{100}{3 \cdot 15,0}} = 2,22 = 1 \right. \right. \\ \left. \left. \frac{t_2}{5 \cdot h_e} \right\} \frac{180}{5 \cdot 15,0} = 2,40 \right.$$

$$k_2 = \min \left\{ \frac{k_a}{\frac{a_{3,t}}{2 \cdot d_c}} = \min \left\{ \frac{1,00}{\frac{200}{2 \cdot 126}} = 0,794 \right. \right. \\ \left. \left. \frac{1,00}{2 \cdot 126} = 0,794 \right. \right.$$

$k_a = 1,00$... Verbindung mit mehr als einem Ringdübel je Scherfuge

$$k_3 = \min \left\{ \frac{1,75}{\frac{\rho_k}{350}} = \min \left\{ \frac{1,75}{\frac{375}{350}} = 1,07 \right. \right. \\ \left. \left. \frac{1,75}{350} = 1,07 \right. \right.$$

mit $\rho_k = \sqrt{\rho_{k,1} \cdot \rho_{k,2}} = \sqrt{385 \cdot 365} = 375 \text{ kg/m}^3$ für den Anschluss der Holzlaschen an den Binder

$k_4 = 1,0$... für eine Holz-Holz-Verbindung

charakteristischer Wert der Tragfähigkeit eines Dübels besonderer Bauart

$$F_{V,0,Rk} = \min \left\{ \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot (35 \cdot d_c^{1,5})}{k_1 \cdot k_3 \cdot h_e \cdot (35 \cdot d_c)} = \min \left\{ \frac{1,00 \cdot 0,794 \cdot 1,07 \cdot 1,00 \cdot (35 \cdot 126^{1,5})}{1,00 \cdot 1,07 \cdot 15,0 \cdot (35 \cdot 126)} = 42,056 \text{ N} = 42,1 \text{ kN} \right. \right.$$

$$k_{90} = 1,3 + 0,001 \cdot d_c = 1,3 + 0,001 \cdot 126 = 1,43$$

$$F_{V,\alpha,Rk} = \frac{F_{V,0,Rk}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{42,056}{1,43 \cdot \sin^2 (90 - 9,46) + \cos^2 (90 - 9,46)} = 29,651 \text{ N} = 29,7 \text{ kN}$$

$$n_{ef} = 2 + \left(1 - \frac{n}{20} \right) \cdot (n - 2) = 2 + \left(1 - \frac{2}{20} \right) \cdot (2 - 2) = 2$$

charakteristischer Wert der Tragfähigkeit eines Bolzens Bolzen Ø 16 mm | 5.6

$$f_{h,1,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_{g,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 16,0) \cdot 385 = 26,5 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,2,k} = \frac{0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_{g,k}}{(1,35 + 0,015 \cdot d) \cdot \sin^2 (90 - \alpha) + \cos^2 (90 - \alpha)} = \frac{0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 16,0) \cdot 365}{(1,35 + 0,015 \cdot 16,0) \cdot \sin^2 (90,0 - 9,46) + \cos^2 (90,0 - 9,46)} = 16,0 \text{ N/mm}^2$$

$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}} = \frac{16,0}{26,5} = 0,604$$

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 500 \cdot 16,0^{2,6} = 202.676 \text{ Nmm}$$

$$F_{v,Rk;Bolzen} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{0,5 \cdot f_{h,12k} \cdot t_2 \cdot d} \\ 1,05 \cdot \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \cdot \left[\sqrt{2 \cdot \beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,k}}{4} = \\ 1,15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,k}}{4} \\ 1,05 \cdot \frac{26,5 \cdot 100 \cdot 16,0}{2 + 0,604} \cdot \left[\sqrt{2 \cdot 0,604 \cdot (1 + 0,604) + \frac{4 \cdot 0,604 \cdot (2 + 0,604) \cdot 202.676}{26,5 \cdot 16,0 \cdot 100^2}} - 0,604 \right] = \\ 1,15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 0,604}{1 + 0,604}} \cdot \sqrt{2 \cdot 202.676 \cdot 26,5 \cdot 16,0} + 0 \\ 42.400 \text{ N} \\ 23.040 \text{ N} \\ 15.252 \text{ N} \\ 13.084 \text{ N} \end{array} \right. = \min \left\{ \begin{array}{l} 42.400 \text{ N} \\ 23.040 \text{ N} \\ 15.252 \text{ N} \\ 13.084 \text{ N} \end{array} \right. = 13,1 \text{ kN}$$

Anmerkung:

Auf Grund der annähernd gleichen Steifigkeit darf der charakteristische Wert der Tragfähigkeit des Dübels besonderer Bauart und des Bolzens addiert werden.

$$R_{V,Rd} = n_{ef} \cdot \frac{(F_{V,\alpha,Rk;DübBA} + F_{v,Rk;Bolzen})}{\gamma_{M,Verb}} = 2 \cdot \frac{(29,7 + 13,1)}{1,30} = 65,8 \text{ kN}$$

Nachweis

$$\frac{T_{GL,d}}{R_{v,Rd}} = \frac{47,9}{65,8} = 0,73 < 1$$

Sicherung des Dübels besonderer Bauart mit einem Bolzen Ø 16 mm | 5.6 und zugehöriger Unterlagsscheibe

$d_a = 68 \text{ mm}$ | $d_i = 17,5 \text{ mm}$ | $t = 6 \text{ mm}$

$$A_{ef} = \frac{(d_a^2 - d_i^2) \cdot \pi}{4} + d_a \cdot 2 \cdot 30 \text{ mm} = \frac{(68,0^2 - 17,5^2) \cdot \pi}{4} + 68,0 \cdot 2 \cdot 30 \text{ mm} = 7.471 \text{ mm}^2$$

$$f_{c,90,g,d} = k_{c,90} \cdot k_{mod} \cdot \frac{f_{c,90,g,k}}{\gamma_{M,Verb}} = 3,0 \cdot 1,00 \cdot \frac{2,50}{1,30} = 5,77 \text{ N/mm}^2$$

$$R_{c,90,d} = f_{c,90,g,d} \cdot A_{ef} = 5,77 \cdot 7.471 = 43.108 \text{ N} = 43,1 \text{ kN}$$

$$F_{ax,Rd} = \frac{0,9 \cdot f_{u,k}}{\gamma_{M2}} \cdot A_{sp} = \frac{0,9 \cdot 600}{1,25} \cdot 157 = 67.824 \text{ N} = 67,8 \text{ kN}$$

$$F_{GL,Ed} = \frac{M_{GL,tor,d}}{s} = \frac{4,99 \cdot 10^6}{300} = 16.633 \text{ N} = 16,6 \text{ kN}$$

Nachweis

$$\frac{F_{GL,Ed}}{R_{c,90,d}} = \frac{16,6}{43,1} = 0,39 < 1$$

Anmerkung:

Auf den kombinierten Nachweis des Bolzens wurde verzichtet!

Nettospannungsnachweis in der Holzlasche

Querschnittswerte

$$A_n = b \cdot h - d_c \cdot h_e - (d + 2 \text{ mm}) \cdot (b - h_e) = 320 \cdot 100 - 126 \cdot 15,0 - (16,0 + 2,00) \cdot (100 - 15,0) = 2,86 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

$$e_z = \frac{320 \cdot 100 \cdot 50,0 - 126 \cdot 15,0 \cdot \frac{15,0}{2} - 18,0 \cdot (100 - 15,0) \cdot \left(15,0 + \frac{1}{2} \cdot (100 - 15,0)\right)}{320 \cdot 100 - 126 \cdot 15,0 - 18,0 \cdot (100 - 15,0)} = 52,4 \text{ mm}$$

$$I_n = \frac{320 \cdot 100^3}{12} - \frac{126 \cdot 15,0^3}{12} - \frac{18,0 \cdot (100 - 15,0)^3}{12} +$$

$$+ 320 \cdot 100 \cdot (50,0 - 52,4)^2 - 126 \cdot 15,0 \cdot (7,50 - 52,4)^2 - 18,0 \cdot (100 - 15,0) \cdot \left(15,0 + \frac{1}{2} \cdot (100 - 15,0) - 52,4\right)^2 = 2,20 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$\min W = \frac{I_n}{\max z} = \frac{2,20 \cdot 10^7}{52,4} = 4,20 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

Spannungen

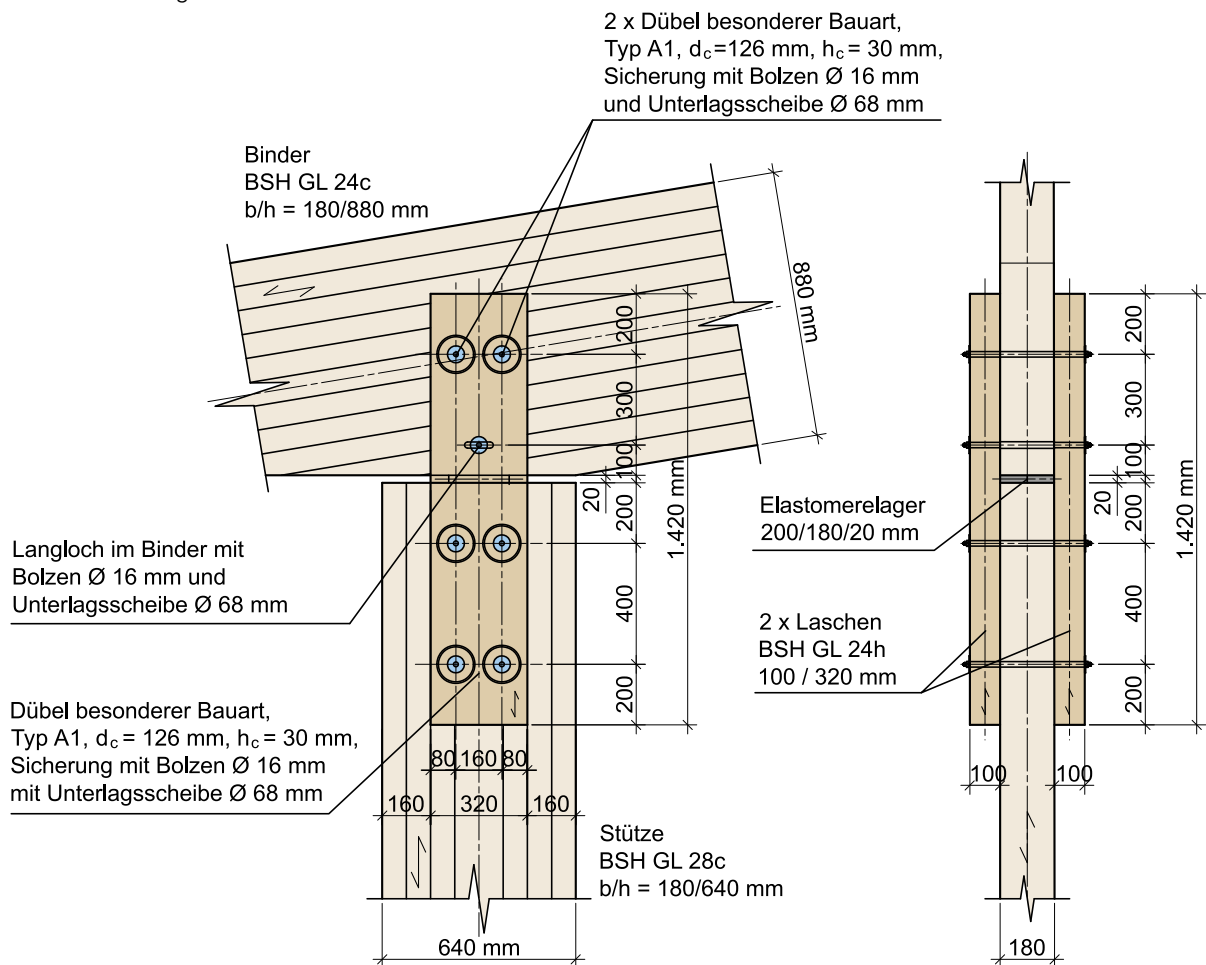
$$\sigma_{t,0,d;La} = \frac{T_{GL,d}}{A_n} = \frac{47,9 \cdot 10^3}{2,86 \cdot 10^4} = 1,67 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{n;m,d} = \frac{\left| -M_{tor,d} + T_{GL,d} \cdot \frac{1}{2} \cdot (h_{La} - h_e) \right|}{\min W} = \frac{\left| -4,99 \cdot 10^6 + 47,8 \cdot 10^3 \cdot \frac{1}{2} \cdot (100 - 15) \right|}{4,20 \cdot 10^5} = 7,04 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{n;t,0,d}}{f_{t,0,g,d}} + \frac{\sigma_{n;m,d}}{f_{m,g,d}} = \frac{1,67}{15,4} + \frac{7,04}{19,2} = 0,108 + 0,367 = 0,48 < 1$$

Skizze des Gabellagers

**Stützenfußdetail**

Gleichgewicht

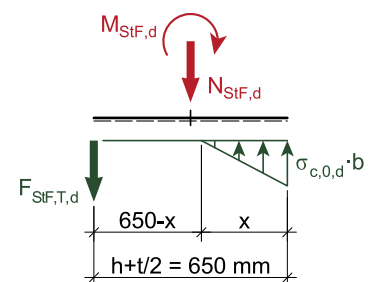
$$\sum F_z = 0: F_{StF,t,d} + N_{StF,d} - \frac{1}{2} \cdot \sigma_{c,0,d} \cdot b \cdot x = 0$$

$$\sum M_A = 0: M_{StF,d} + N_{StF,d} \cdot \left(\frac{h}{2} + \frac{t}{2} \right) - \frac{1}{2} \cdot \sigma_{c,0,d} \cdot b \cdot x \cdot \left(h + \frac{t}{2} - \frac{x}{3} \right) = 0$$

Ermittlung des Abstandes x

$$x^2 - \frac{1}{2} \cdot (6 \cdot h + 3 \cdot t) \cdot x + \frac{6 \cdot \left(M_{StF,d} + N_{StF,d} \cdot \left(\frac{h}{2} + \frac{t}{2} \right) \right)}{\sigma_{c,0,d} \cdot b} = 0$$

$$x_{1,2} = \frac{3}{4} \cdot (2 \cdot h + t) \pm \sqrt{\left(\frac{9}{16} \right) \cdot (2 \cdot h + t)^2 - \frac{6 \cdot \left(M_{StF,A,d} + \frac{1}{2} \cdot N_{StF,A,d} \cdot (h + t) \right)}{\sigma_{c,0,d} \cdot b}}$$



→ Im Grenzfall erreicht die Spannung parallel zur Faser $\sigma_{c,0,d}$ den Bemessungswert der Festigkeit $f_{c,0,g,d}$

Lastfallkombination Stützenfuss I: Eigengewicht (günstig) + Wind-w

$$\begin{aligned} \text{zug } N_{\text{StFI,A,d}} &= \gamma_G \cdot A_{\text{Stütze,g,k}} + \gamma_Q \cdot A_{\text{w1,k}} + \left(A_{\text{Wind,DV II,d}} \cdot h_{\text{wv}} + (N_{\text{wv,o,d}}^* + H_{\text{n,d}}) \cdot h_{\text{Stütze}} + N_{\text{wv,qR,d}}^* \cdot h_{\text{qR}} \right) \cdot \frac{1}{b} = \\ &= 1,00 \cdot (-45,2) + 1,50 \cdot 2,28 + \left(27,2 \cdot 7,75 + (1,62 + 2,21) \cdot 7,00 + 3,78 \cdot 4,00 \right) \cdot \frac{1}{5,00} = 8,77 \text{ kN (abhebend!)} \\ \max M_{\text{StFI,A,d}} &= \gamma_Q \cdot w_{\text{D,k}} \cdot b \cdot \left(\Delta h \cdot h_{\text{Stütze}} + \frac{h_{\text{Stütze}}^2}{2} \right) + H_{\text{l,d}} \cdot h_{\text{Stütze}} = 1,50 \cdot 0,832 \cdot 5,00 \cdot \left(1,00 \cdot 7,00 + \frac{7,00^2}{2} \right) + 0,630 \cdot 7,00 = 201 \text{ kNm} \\ x_{1,2\text{I}} &= \frac{3}{4} \cdot (2 \cdot 640 + 20,0) \pm \sqrt{\left(\frac{9}{16} \right) \cdot \left(\frac{2 \cdot 640 + 20,0}{4} \right)^2 - \frac{6 \cdot \left(201 \cdot 10^6 + (-8,77) \cdot 10^3 \cdot \frac{1}{2} \cdot (640 + 20) \right)}{19,2 \cdot 180}} = 975 \pm 779 = \begin{matrix} 1.754 \text{ mm} \\ 196 \text{ mm} \end{matrix} \\ F_{\text{StFI,C,dI}} &= \frac{1}{2} \cdot f_{\text{c,0,d}} \cdot b \cdot x_{2\text{I}} = \frac{1}{2} \cdot 19,2 \cdot 180 \cdot 196 = 338.688 \text{ N} = 339 \text{ kN} \\ F_{\text{StFI,T,dI}} &= \frac{1}{2} \cdot f_{\text{c,0,d}} \cdot b \cdot x_{2\text{I}} - N_{\text{StFI,d}} = \frac{1}{2} \cdot 19,2 \cdot 180 \cdot 196 - (-8,77) \cdot 10^3 = 347.458 \text{ N} = 347 \text{ kN} \end{aligned}$$

Lastfallkombination Stützenfuss II: Eigengewicht (günstig) + Wind-w2 mit $c_{pi} = +0,20$

$$\begin{aligned} \max N_{\text{StFII,A,d}} &= \gamma_G \cdot A_{\text{Stütze,g,k}} + \gamma_Q \cdot A_{\text{w1,k}} + \left(A_{\text{Wind,DV II,d}} \cdot h_{\text{wv}} + (N_{\text{wv,o,d}}^* + H_{\text{n,d}}) \cdot h_{\text{Stütze}} + N_{\text{wv,qR,d}}^* \cdot h_{\text{qR}} \right) \cdot \frac{1}{b} = \\ &= 1,00 \cdot (-45,2) + 1,50 \cdot 56,7 + \left(52,9 \cdot 7,75 + (1,62 + 2,21) \cdot 7,00 + 3,78 \cdot 4,00 \right) \cdot \frac{1}{5,00} = 130 \text{ kN (abhebend!)} \\ \text{zug } M_{\text{StFII,A,d}} &= \gamma_Q \cdot w_{\text{D,k}} \cdot b \cdot \left(\Delta h \cdot h_{\text{Stütze}} + \frac{h_{\text{Stütze}}^2}{2} \right) + H_{\text{l,d}} \cdot h_{\text{Stütze}} = 1,50 \cdot 0,454 \cdot 5,00 \cdot \left(1,00 \cdot 7,00 + \frac{7,00^2}{2} \right) + 0,630 \cdot 7,00 = 112 \text{ kNm} \\ x_{1,2\text{II}} &= \frac{3}{4} \cdot (2 \cdot 640 + 20,0) \pm \sqrt{\left(\frac{9}{16} \right) \cdot \left(\frac{2 \cdot 640 + 20,0}{4} \right)^2 - \frac{6 \cdot \left(112 \cdot 10^6 + (-130) \cdot 10^3 \cdot \frac{1}{2} \cdot (640 + 20) \right)}{19,2 \cdot 180}} = 975 \pm 911 = \begin{matrix} 1.886 \text{ mm} \\ 64 \text{ mm} \end{matrix} \\ F_{\text{StFII,C,dII}} &= \frac{1}{2} \cdot f_{\text{c,0,d}} \cdot b \cdot x = \frac{1}{2} \cdot 19,2 \cdot 180 \cdot 64 = 110.592 \text{ N} = 111 \text{ kN} \\ F_{\text{StFII,T,dII}} &= \frac{1}{2} \cdot f_{\text{c,0,d}} \cdot b \cdot x - N_{\text{StFI,d}} = \frac{1}{2} \cdot 19,2 \cdot 180 \cdot 64 - (-130) \cdot 10^3 = 240.592 \text{ N} = 241 \text{ kN} \end{aligned}$$

Nachweisführung des Stützenfußes

Einleitung der Zugkraft in die Stahllasche mit Vollgewindeschrauben $\varnothing 10 \mid 550 \text{ mm}$ ($f_{\text{ax,k}} = 11,0 \text{ N/mm}^2$, $f_{\text{tens,k}} = 33,0 \text{ kN}$, Daten aus einer bauaufsichtlichen Zulassung)

Tragfähigkeit

$$\begin{aligned} l_{\text{ef,1}} &= l - \sqrt{2} \cdot t = 550 - \sqrt{2} \cdot 20,0 = 522 \text{ mm} \\ F_{1,\text{ax,Rd}} &= \min \left\{ \begin{matrix} f_{\text{ax,k}} \cdot d \cdot l_{\text{ef,1}} \cdot \frac{k_{\text{mod}}}{\gamma_{\text{M,Verb}}} \\ \frac{f_{\text{tens,k}}}{\gamma_{\text{M,2}}} \end{matrix} \right\} = \min \left\{ \begin{matrix} 11,0 \cdot 10,0 \cdot 522 \cdot \frac{1,00}{1,30} = 44.169 \text{ N} \\ \frac{33.000}{1,25} = 26.400 \text{ N} \end{matrix} \right\} = 26,4 \text{ kN} \\ R_{1,\text{ax,Rd}} &= F_{1,\text{ax,Rd}} \cdot (\cos \alpha + \mu_0 \cdot \sin \alpha) = 26,4 \cdot (\cos(45,0) + 0,25 \cdot \sin(45,0)) = 23,3 \text{ kN} \\ \frac{F_{\text{StFI,T,dI}}}{n_1^{0,9} \cdot R_{1,\text{ax,Rd}}} &\leq 1 \rightarrow n_1 = \left(\frac{F_{\text{StFI,T,dI}}}{R_{1,\text{ax,Rd}}} \right)^{\frac{10}{9}} = \left(\frac{347}{23,3} \right)^{\frac{10}{9}} = 20,1 \end{aligned}$$

gewählt: 8 x 3 Vollgewindeschrauben $\varnothing 10 \mid 550 \text{ mm}$ ($n_1 = 24$)

Querkraft

Anmerkung:

Die Querkraft wird über die zuunterst eingebrachten, annähernd horizontal liegenden VG-Schrauben abgetragen.

Einleitung der Querkraft in die Stahlflasche mit Vollgewindeschrauben $\varnothing 10 \mid 400 \text{ mm}$ ($f_{ax,k} = 11,0 \text{ N/mm}^2$, $f_{tens,k} = 33,0 \text{ kN}$ aus bauaufsichtlicher Zulassung)

Tragfähigkeit

$$l_{ef,2} = l - \frac{t}{\cos \alpha} = 400 - \frac{20}{\cos(15,0)} = 379 \text{ mm}$$

$$F_{2,ax,Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{ax,k} \cdot d \cdot l_{ef,2} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_{M,Verb}} \\ \frac{f_{tens,k}}{\gamma_{M,2}} \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 11,0 \cdot 10,0 \cdot 379 \cdot \frac{1,00}{1,30} = 32.069 \text{ N} \\ \frac{33.000}{1,25} = 26.400 \text{ N} \end{array} \right\} = 26,4 \text{ kN}$$

$$R_{2,ax,Rd} = F_{2,ax,Rd} \cdot (\cos \alpha + \mu_0 \cdot \sin \alpha) = 26,4 \cdot (\cos(15,0) + 0 \cdot \sin(15,0)) = 25,5 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{StF,d}}{n_2^{0,9} \cdot R_{2,ax,Rd}} \leq 1 \rightarrow n_2 = \left(\frac{V_{StF,d}}{R_{2,ax,Rd}} \right)^{\frac{10}{9}} = \left(\frac{50,6}{25,5} \right)^{\frac{10}{9}} = 2,14$$

gewählt: 1 x 3 Vollgewindeschrauben $\varnothing 10 \mid 400 \text{ mm}$ ($n_2 = 3$)

Schraubenabstände untereinander und zu den Rändern

			erforderlich	vorhanden
a_1	[mm]	$\geq 7 \cdot d$	70 mm	70,7 mm
a_2	[mm]	$\geq 5 \cdot d$	50 mm	50 mm
$a_{1,CG}$	[mm]	$\geq 10 \cdot d$	100 mm	242 mm
$a_{2,CG}$	[mm]	$\geq 4 \cdot d$	40 mm	40 mm

Nachweis der Stahlflasche

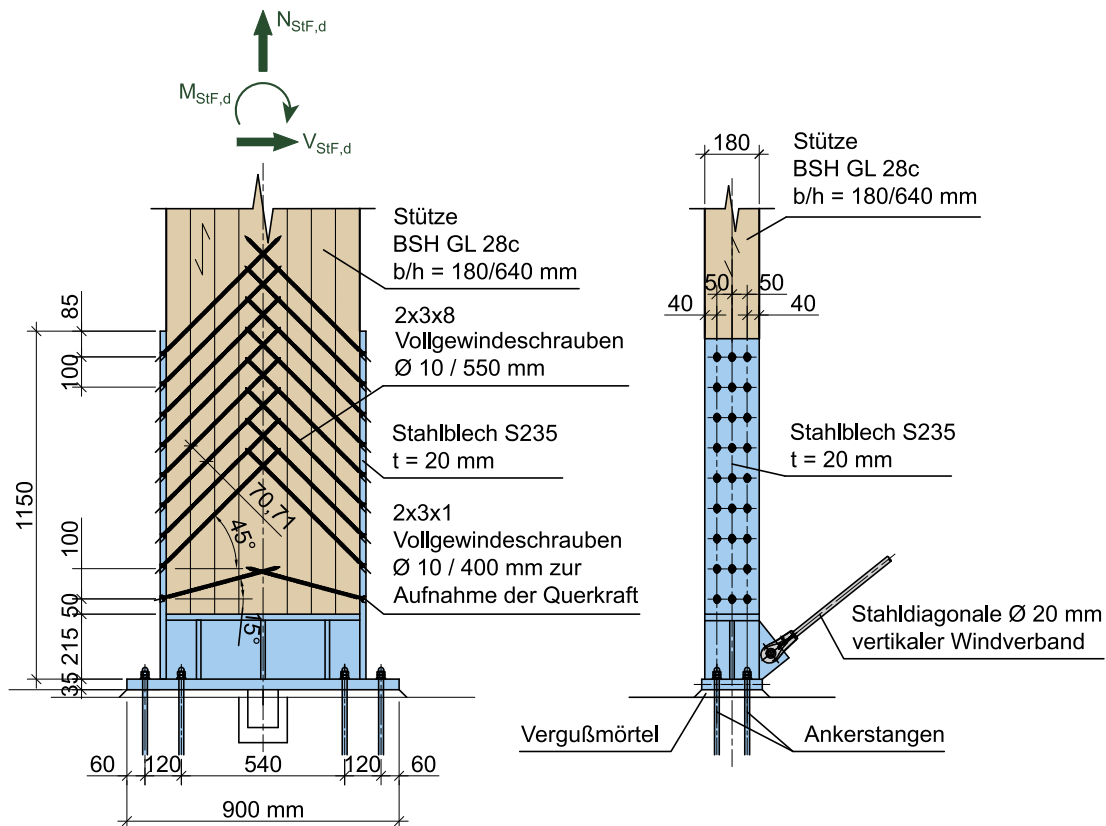
$$A_{n,Stahlflasche} = 180 \cdot 20,0 - 3 \cdot \left[8,65 \cdot 20,0 + \frac{1}{2} \cdot (20,0 + 11,0) \cdot 3,00 + 8,35 \cdot 11,0 \right] = 2,67 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{t,d,Stahlflasche} = \frac{F_{StF,T,d}}{A_n} = \frac{347 \cdot 10^3}{2,67 \cdot 10^3} = 130 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{t,d,Stahlflasche}}{f_{y,d}} = \frac{130}{235} = 0,55 < 1$$

Skizze des Stützenfussdetails



Anmerkung:

Ergänzend zum Nachweis des Stützenfusses im Grenzzustand der Tragfähigkeit ist der Nachweis der Verformung des Stützenkopfes im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit zu führen. Auf dessen Durchführung wurde hier aus Platzgründen verzichtet.

Giebelstütze

statisch-konstruktive Ausführung:

Es wird angenommen, dass die Giebelstütze im Grundrisse in einem Abstand von 4,58 m angeordnet sind und vom First bis zum Fußpunkt durchläuft. Vertikal ist die Giebelstütze in einem maximalen Abstand $a = 4.000$ mm gegen Knicken in der Ebene und Kippen gestützt ist.

Querschnitt: $b/h = 140/400$ mm

Baustoff: BSH GL28c

Einwirkungen (Eigengewicht (ungünstig) und Wind parallel zum First)

$$N_d = G_d = \gamma_G \cdot (\gamma_{Holz} \cdot b \cdot h + g_{Wand,k} \cdot b) \cdot h_{Stütze} = 1,35 \cdot (5,00 \cdot 0,140 \cdot 0,400 + 0,200 \cdot 4,58) \cdot \approx 10,0 = 16,1 \text{ kN}$$

$$w_{z,d} = \gamma_Q \cdot w_{D,k} \cdot b = 1,50 \cdot 0,832 \cdot 4,58 = 5,72 \text{ kN / m}$$

Schnittgrößen

$$V_{z,d} = \frac{w_{z,d} \cdot h_{Stütze}}{2} = \frac{5,72 \cdot \approx 10,0}{2} = 28,6 \text{ kN}$$

$$M_{y,d} = \frac{w_{z,d} \cdot h_{Stütze}^2}{8} = \frac{5,72 \cdot \approx 10,0^2}{8} = 71,5 \text{ kNm}$$

Querschnittswerte

$$A = b \cdot h = 140 \cdot 400 = 5,60 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

$$W_y = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{140 \cdot 400^2}{6} = 3,73 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

Nachweisführung

$$\lambda_y = \frac{\beta_y \cdot l_y}{0,289 \cdot h} = \frac{1,00 \cdot 10.000}{0,289 \cdot 400} = 86,5$$

$$\lambda_z = \frac{\beta_z \cdot l_z}{0,289 \cdot b} = \frac{1,00 \cdot 4.000}{0,289 \cdot 140} = 98,9$$

$$\rightarrow k_{c,y} = 0,511$$

$$\rightarrow k_{c,z} = 0,402$$

$$\frac{l_{ef} \cdot h}{b^2} = \frac{\approx 0,9 \cdot 4.000 \cdot 400}{140^2} = 73,5 < \left(\frac{l_{ef} \cdot h}{b^2} \right)_{\text{grenz}} = 177 \rightarrow k_{\text{crit}} = 1,00$$

Spannungen

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{16,1 \cdot 10^3}{5,60 \cdot 10^4} = 0,288 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{71,5 \cdot 10^6}{3,73 \cdot 10^6} = 19,2 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

- Biegeknicken (mit $\sigma_{m,z,d} = 0$)

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,g,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,g,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,g,d}} = \frac{0,288}{0,511 \cdot 19,2} + \frac{19,2}{1,00 \cdot 22,4} + 0 = 0,0294 + 0,857 + 0 = 0,89 < 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,g,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,g,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,g,d}} = \frac{0,288}{0,402 \cdot 19,2} + 0,7 \cdot \frac{19,2}{1,00 \cdot 22,4} + 0 = 0,0373 + 0,600 + 0 = 0,64 < 1$$

- Biegedrillknicken

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,g,d}} + \left(\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{\text{crit}} \cdot f_{m,g,d}} \right)^2 = \frac{0,288}{0,402 \cdot 19,2} + \left(\frac{19,2}{1,00 \cdot 22,4} \right)^2 = 0,0373 + 0,735 = 0,77 < 1$$

Schubnachweis

Schubspannung

$$\tau_{z,d} = 1,5 \cdot \frac{V_{z,d}}{A} = 1,5 \cdot \frac{28,6 \cdot 10^3}{5,60 \cdot 10^4} = 0,766 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis

$$\frac{\tau_{z,d}}{f_{v,d}} = \frac{0,766}{2,00} = 0,38 < 1$$



LITERATURVERZEICHNIS

Literaturverzeichnis

L.3 - L.4

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] ÖNORM EN 1995-1-1:2019, „Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten, Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau (konsolidierte Fassung)“, Austrian Standards International, Wien, 2019
- [2] ÖNORM B 1995-1-1:2019, „Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten, Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau (Konsolidierte Version mit nationalen Festlegungen, nationalen Erläuterungen und nationalen Ergänzungen zur Umsetzung der ÖNORM EN 1995-1-1)“, Austrian Standards International, Wien, 2019
- [3] ÖNORM EN 1995-1-2:2011, „Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten, Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall (konsolidierte Fassung)“, Austrian Standards Institute/Österreichisches Normungsinstitut (ON), Wien, 2011
- [4] ÖNORM B 1995-1-2:2011, „Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten, Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Bemessung für den Brandfall; Nationale Festlegungen zur ÖNORM EN 1995-1-2, nationale Erläuterungen und nationale Ergänzungen“, Austrian Standards Institute/Österreichisches Normungsinstitut (ON), Wien, 2011
- [5] ONR CEN/TS 19103:2022, „Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Berechnung von Holz-Beton-Verbundbauteilen – Allgemeine Regeln für den Hochbau“, Austrian Standards International, Wien, 2022
- [6] ÖNORM EN 1992-1-1:2015, „Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken, Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau (konsolidierte Fassung)“, Austrian Standards Institute/Österreichisches Normungsinstitut (ON), Wien, 2015
- [7] ÖNORM EN 1991-1-1:2011, „Eurocode 1 – Einwirkungen auf Tragwerke; Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen – Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau (konsolidierte Fassung)“, Austrian Standards Institute/Österreichisches Normungsinstitut (ON), Wien, 2011
- [8] ÖNORM B 1991-1-1:2017, „Eurocode 1 – Einwirkungen auf Tragwerke; Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen – Wichten, Eigengewicht, Nutzlasten im Hochbau; Nationale Festlegungen zu ÖNORM EN 1991-1-1 und nationale Ergänzungen“, Austrian Standards Institute/Österreichisches Normungsinstitut, Wien, 2017
- [9] ÖNORM EN 1991-1-3:2016, Eurocode 1 – Einwirkungen auf Tragwerke; Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen – Schneelasten (konsolidierte Fassung)“, Austrian Standards Institute/Österreichisches Normungsinstitut, Wien, 2016
- [10] ÖNORM B 1991-1-3:2022, Eurocode 1 – Einwirkungen auf Tragwerke; Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen – Schneelasten; Nationale Festlegungen zur ÖNORM EN 1991-1-3, nationale Erläuterungen und nationale Ergänzungen“, Austrian Standards International, Wien, 2022
- [11] ÖNORM EN 1991-1-4:2011, Eurocode 1 – Einwirkungen auf Tragwerke; Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen – Windlasten (konsolidierte Fassung)“, Austrian Standards Institute/Österreichisches Normungsinstitut (ON), Wien, 2011
- [12] ÖNORM B 1991-1-4:2019, Eurocode 1 – Einwirkungen auf Tragwerke; Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen – Windlasten; Nationale Festlegungen zu ÖNORM EN 1991-1-4 und nationale Ergänzungen“, Austrian Standards Institute/Österreichisches Normungsinstitut (ON), Wien, 2011

- [13] M. Augustin, W. Luggin, G. Flatscher, „Tabellenwerk zur Nachweisführung von Holzbauteilen nach ÖNORM EN 1995-1-1 und ÖNORM B 1995-1-1“, 2. erweiterte Auflage, Österreichischer Ingenieurholzbauverband (IHBV), Wien/Graz, 2020
- [14] G. Dröge, „Grundzüge des Holzbaues – Band 1: Konstruktionselemente“, 2. Auflage, Verlag Ernst & Sohn, Berlin, 1993
- [15] H. Neuhaus, „Ingenieurholzbau; Grundlagen – Bemessung – Nachweise – Beispiele“, 2. vollständig überarbeitete Auflage, Verlag Vieweg + Teubner, Wiesbaden, 2009
- [16] F. Colling, „Holzbau – Grundlagen und Bemessung nach EC 5“, 3. Auflage, Springer Fachmedien, Wiesbaden, 2012
- [17] F. Colling, „Holzbau – Beispiele; Musterlösungen und Bemessungstabellen nach EC 5“, 3. Auflage, Springer Fachmedien, Wiesbaden, 2012
- [18] W. Rug, W. Mönck, „Holzbau – Bemessung und Konstruktion“, 15. vollständig überarbeitete Auflage, HUSS-MEDIEN GmbH, Berlin, 2008
- [19] Fördergesellschaft Holzbau und Ausbau mbH, DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (Hrsg.), „DIN 1052 – Praxishandbuch Holzbau“, Beuth Verlag GmbH, Berlin und WEKA MEDIA GmbH & Co KG, Kissing, 2010
- [20] K. Lißner, W. Rug, „Der Eurocode 5 für Deutschland; Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines - Allgemeine Regeln für den Holzbau; Kommentierte Fassung“, Beuth Verlag GmbH, Berlin und Verlag Ernst & Sohn, Berlin, 2016
- [21] G. Schickhofer, et al., „Holzbau - Nachweisführungen für Konstruktionen aus Holz“, Skriptum Version 1.1, Institut für Holzbau und Holztechnologie, Technische Universität Graz, 2006
- [22] J. Schänzlin, „Zur Bemessung von Holz-Beton-Verbunddecken“, Bericht, Version vom 30.11.2019, Institut für Holzbau, Fakultät Bauingenieurwesen, Hochschule Biberach, 2019
- [23] K. Rautenstrauch, et al., „Baupraktische Dimensionierung von Holz-Beton-Verbunddecken“, 6. Informationstag des IKI, Bauhaus-Universität Weimar, 2003
- [24] St. Loebus, St. Winter, „Zweiachsige Tragwirkung bei Holz-Beton-Verbundkonstruktionen – Entwicklung von Bemessungsverfahren und Konstruktionsdetails für zweiachsige Lastabtragung bei der Holz-Beton-Verbundbauweise“, Forschungsbericht, 189 Seiten, Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion, Technische Universität München, 2017
- [25] M. Wallner-Novak, P. Wörle, „Aussteifungssysteme im Holz-Hochbau“, 1. Auflage, Österreichischer Ingenieurholzbauverband IHBV, Wien, 2021
- [26] F. Colling, „Aussteifung von Gebäuden in Holztafelbauart – Grundlagen, Beanspruchungen, Nachweise nach DIN und EUROCODE“, 1. Auflage, Ingenieurbüro Holzbau GmbH & Co. KG., Karlsruhe, 2011
- [27] R. Pischl, W. Platzer, K. Angerer, „Bemessungshilfen für tragende Holzbauteile“, Bundesholzwirtschaftsrat Wien, 1985



ANHANG A

Vereinfachte Nachweisführung für Biegeträger mit rechteckigem Querschnitt

VEREINFACHTE NACHWEISFÜHRUNG FÜR BIEGETRÄGER MIT RECHTECKIGEM QUERSCHNITT

Allgemeines

Das „Standardbauteil“ im Holzbau ist der **ausschliesslich auf Biegung beanspruchte Einfeldbalken** mit einer **Beanspruchung durch eine Gleichlast**. Im Tabellenwerk [13] sind auf den Seiten IV.21 bis IV.37 Tabellen zur überschlägigen Abschätzungen der erforderlichen Querschnittsabmessungen für häufig verwendete Vollholz- und Brettschichtholzfestigkeitsklassen angegeführt. Es wird ausdrücklich festgehalten, dass diese Tabellen für eine rasche Vordimensionierung bzw. zur Kostenabschätzung dienen sollen. Keinesfalls kann damit eine detaillierte statische Berechnung ersetzt werden.

Als Eingangswerte dienen einerseits die Spannweite l und andererseits der Bemessungswert der Einwirkung q_d . Nach Wahl einer passenden Querschnittsbreite b kann die erforderliche Querschnittshöhe h für den jeweiligen Baustoff direkt aus der Tabelle abgelesen werden.

Hintergrund zu den Tabellen zur Abschätzung der Querschnittsabmessungen im Tabellenwerk

Für biegebeanspruchte Bauteile sind grundsätzlich:

- im Grenzzustand der Tragfähigkeit
der Nachweis der Biege- (rand-) spannungen und
der Nachweis der Schubspannungen
- im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit
der Nachweis der Durchbiegung

zu führen.

In speziellen Fällen ist

- im Grenzzustand der Tragfähigkeit
der Kippnachweis
- und/oder
- im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit
der Schwingungsnachweis (bei Wohnungsdecken)

zu erbringen.

Zu erwähnen ist weiters, dass beim Nachweis der Durchbiegung im Holzbau, auf Grund der relativ geringen ständigen Einwirkungen (Eigengewicht), im Allgemeinen die seltene (charakteristische) Einwirkungskombination bemessungsrelevant wird. Der Grenzwert für diese Einwirkungskombination beträgt im Allgemeinen **$l/300$** . Die Tabellen auf Seite IV.21 bis IV.37 des Tabellenwerkes sowie die nachfolgende Darstellung sind auf diesen Grenzwert bezogen.

Für **biegebeanspruchte Holzbauteile mit einem hohem Anteil an ständigen Einwirkungen** (z. B. Fußbodenaufbauten mit schwerer Schüttung und dickeren Betonestrichen) sollte die übliche detaillierte Nachweisführung durchgeführt werden. Für solche Konstruktionen sind die angesprochenen Tabellen **nicht unmittelbar geeignet**.

Die folgenden Gleichungen gelten ausschließlich für den, im Holzbau üblichen, **Rechteckquerschnitt**:

Grundsätzlich sind für biegebeanspruchte Holzbauteile der Schubnachweis, der Biegenachweis und der Formänderungsnachweis („Durchbiegungsnachweis“) zu führen. Für die beiden ULS-Nachweise „Biegung“ und „Schub“ ist nachzuweisen, dass die Spannungen aus dem Bemessungswert der Einwirkungen kleiner oder gleich dem jeweiligen Bemessungswert der Festigkeit sind. Die auftretenden Spannungen sind vom Bemessungswert der Einwirkung, der Spannweite und den Querschnittsabmessungen abhängig. Im Grenzfall, d. h. wenn die auftretenden Spannungen mit der Festigkeit übereinstimmen, lassen sich damit die Gleichungen für die Biegung und den Schub in Abhängigkeit vom h/l -Verhältnis angeben.

Ähnliche Überlegungen lassen sich für den Durchbiegungsnachweis anstellen, wobei dort darauf zu achten ist, dass die Einwirkung E_d ohne Berücksichtigung der Teilsicherheitsbeiwerte zu berücksichtigen ist.

Wie die l/h -Verhältnisse in der nachfolgenden Tabelle zeigen, unterliegen die l/h -Verhältnisse einer erstaunlichen Ordnung, wodurch diese Gleichungen relativ leicht zu merken sind. Im Unterschied zu den geläufigen l/h -Werten sind die angeführten Gleichungen im Rahmen der erwähnten Randbedingungen exakt.

	Schnittgröße/ Verformung	Spannung und Grenzwert- bedingung	Zusammenhang l/h
Schub	$V_d = \frac{q_d \cdot l}{2}$	$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{b \cdot h} \leq f_{v,d}$	$\frac{l}{h} = 2 \cdot \frac{10}{5} \cdot \left(\frac{f_{v,d}}{3} \cdot \frac{b}{q_d} \right)^{1/1}$
Biegung	$M_d = \frac{q_d \cdot l^2}{8}$	$\sigma_d = \frac{M_d}{W} = \frac{6 \cdot M_d}{b \cdot h^2} \leq f_{m,d}$	$\frac{l}{h} = 2 \cdot \frac{5}{5} \cdot \left(\frac{f_{m,d}}{3} \cdot \frac{b}{q_d} \right)^{1/2}$
Durchbiegung	$w = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I} \leq \frac{l}{300}$		$\frac{l}{h} = 2 \cdot \frac{1}{5} \cdot \left(\frac{E}{3} \cdot \frac{b}{q} \right)^{1/3}$

Werden die l/h -Verhältnisse über die (b/q_d) - bzw. (b/q) - Werte in einem Diagramm aufgetragen, ergeben sich die, in der nachfolgenden Abbildung gezeigten, girlandenförmigen Verläufe, von denen jeweils die Kurve mit dem geringsten h/l -Wert bemessungsrelevant ist. Bei sehr hohen Einwirkungen, d. h. geringen (b/q_d) -Werten und/oder geringen Spannweiten wird der Schubnachweis relevant; dieser Fall tritt in der Praxis jedoch selten auf. Im Allgemeinen wird für kleinere/mittlere Belastungen und/oder Spannweiten der Biegenachweis schlagend, typischerweise ist auf Grund der relativ hohen Festigkeit des Holzes jedoch die Durchbiegungsanforderung für die Querschnittsdimensionierung maßgebend.

Die Werte in den Tabellen des Tabellenwerkes wurden auf Basis der geschilderten Überlegungen ermittelt. Dazu wurden die h/l -Werte für die einzelnen Nachweise in einem Tabellenkalkulationsprogramm ermittelt, deren Kleinstwert berechnet und die, für die Spannweite und Querschnittsbreite erforderliche Querschnittshöhe so abgefragt, dass für diese Höhen im 20 mm Abstand (Vollholz) bzw. 40 mm Differenz (BSH) ausgegeben werden konnten. Für Querschnitte mit einem Verhältnis der Querschnittsabmessungen von rund $h/b > 4$ ist zusätzlich zu überprüfen, ob ein Kippen des Querschnittes auftreten kann.

Wie schon erläutert, gelten die Tabellen ausschließlich für biegebeanspruchte Einfeldträger unter Gleichlast. Treten davon abweichende Einwirkungssituationen (z. B. Einzellast quer und längs des Balken) auf, sind die Angaben in den Tabellen ungültig und die jeweiligen detaillierten Nachweise zu führen. Zweck der Tabellen ist es für die angesprochene Bemessungssituation rasch zu einer zielführend Abschätzung von Querschnittsabmessungen zu kommen. Der „genaue“ Nachweis und dessen Dokumentation im Falle einer Bausausführung ist davon unbeschadet im Detail zu führen.

Im Folgenden werden Gleichungen zur Abgrenzung der jeweiligen Bereiche hergeleitet:

Abgrenzung Bereich Schub – Biegung

Ermittlung der Abszissenkoordinate durch Gleichsetzen der h/l-Beziehungen für Schub und Biegung

$$2 \cdot \frac{10}{5} \cdot \left(\frac{f_{v,d}}{3} \cdot \frac{b}{q_d} \right)^{\frac{1}{3}} = 2 \cdot \frac{5}{5} \cdot \left(\frac{f_{m,d}}{3} \cdot \frac{b}{q_d} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\rightarrow \frac{b}{q_d} = \frac{3}{4} \cdot \frac{f_{m,d}}{f_{v,d}^2}$$

$$\rightarrow \frac{l}{h} = 2 \cdot \frac{10}{5} \cdot \frac{f_{v,d}}{3} \cdot \frac{b}{q_d} = 2 \cdot \frac{10}{5} \cdot \frac{f_{v,d}}{3} \cdot \frac{3}{4} \cdot \frac{f_{m,d}}{f_{v,d}^2} = \frac{f_{m,d}}{f_{v,d}}$$

Abgrenzung Bereich Biegung – Schub

Ermittlung der Abszissenkoordinate durch Gleichsetzen der h/l-Beziehungen für Biegung und Durchbiegung

$$2 \cdot \frac{5}{5} \cdot \left(\frac{f_{m,d}}{3} \cdot \frac{b}{q_d} \right)^{\frac{1}{2}} = 2 \cdot \frac{1}{5} \cdot \left(\frac{E}{3} \cdot \frac{b}{q} \right)^{\frac{1}{3}} \quad \text{mit } q_d = \eta \cdot q$$

$$\rightarrow \left(\frac{b}{q_d} \right) = \frac{1}{5^6} \cdot \left(\frac{f_{m,d}}{3} \right)^{-3} \cdot \left(\frac{E}{3} \cdot \eta \right)^2 = \frac{3}{5^6} \cdot \frac{E^2}{f_{m,d}^3} \cdot \eta^2$$

$$\rightarrow \frac{l}{h} = 2 \cdot \frac{5}{5} \cdot \left(\frac{f_{m,d}}{3} \cdot \frac{b}{q_d} \right)^{\frac{1}{2}} = 2 \cdot \left(\frac{f_{m,d}}{3} \cdot \frac{3}{5^6} \cdot \frac{E^2}{f_{m,d}^3} \cdot \eta^2 \right)^{\frac{1}{2}} = \frac{2}{5^3} \cdot \frac{E}{f_{m,d}} \cdot \eta$$

Abgrenzung Bereich Schub – Durchbiegung

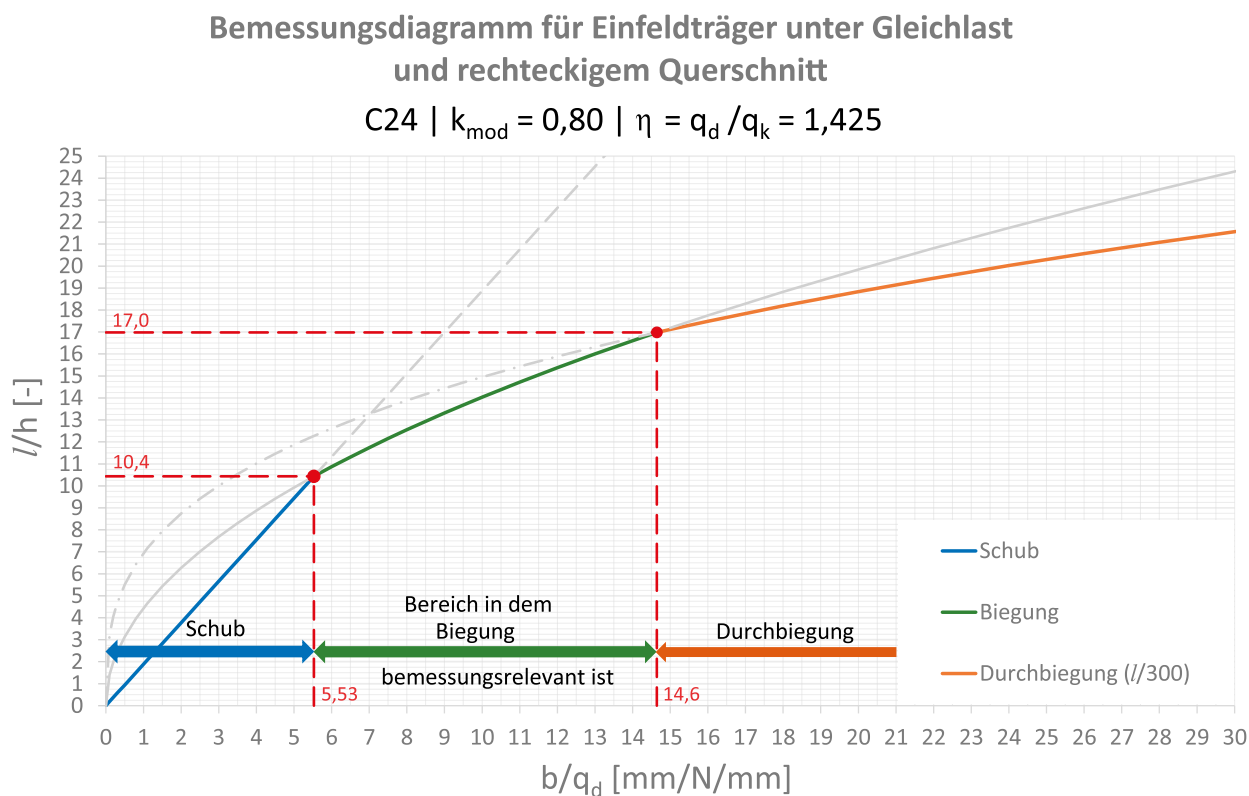
Ermittlung der Abszissenkoordinate durch Gleichsetzen der h/l-Beziehungen für Schub und Durchbiegung

$$2 \cdot \frac{10}{5} \cdot \left(\frac{f_{v,d}}{3} \cdot \frac{b}{q_d} \right)^{\frac{1}{3}} = 2 \cdot \frac{1}{5} \cdot \left(\frac{E}{3} \cdot \frac{b}{q} \right)^{\frac{1}{3}} \quad \text{mit } q_d = \eta \cdot q$$

$$\rightarrow \frac{b}{q_d} = \left(\frac{3^2}{10^3} \cdot \frac{E}{f_{v,d}^3} \cdot \eta \right)^{\frac{1}{2}}$$

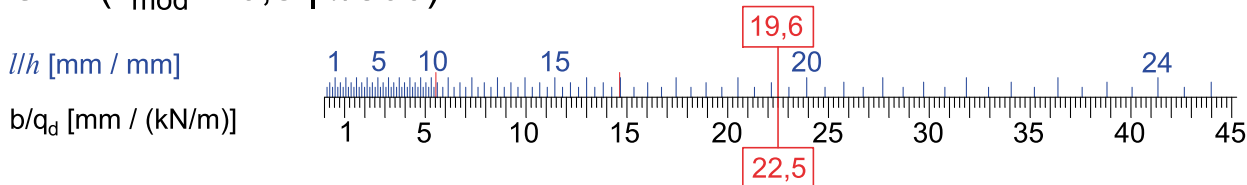
$$\rightarrow \frac{l}{h} = 2 \cdot \frac{10}{5} \cdot \frac{f_{v,d}}{3} \cdot \frac{b}{q_d} = 2 \cdot \frac{10}{5} \cdot \frac{f_{v,d}}{3} \cdot \left(\frac{3^2}{10^3} \cdot \frac{E}{f_{v,d}^3} \cdot \eta \right)^{\frac{1}{2}} = 2 \cdot \frac{10}{5} \cdot \frac{3}{3} \cdot \frac{1}{10} \cdot \left(\frac{f_{v,d}^2}{10} \cdot \frac{E}{f_{v,d}^3} \cdot \eta \right)^{\frac{1}{2}} = \frac{2}{5 \cdot \sqrt{10}} \cdot \sqrt{\frac{E}{f_{v,d}}} \cdot \eta$$

In der nachfolgenden Abbildung sind die erläuterten Zusammenhänge exemplarisch für Vollholz der Festigkeitsklasse C24 nach EN 338 für eine mittlere Klasse der Lasteinwirkung in der Nutzungsklasse 1 dargestellt. Das Verhältnis der Bemessungswerte im Grenzzustand der Tragfähigkeit bzw. der Gebrauchstauglichkeit (Durchbiegung) wurde mit $\eta = 1,425$ angenommen, d. h. der charakteristische Wert für den ständigen ist gleich dem veränderlichen Einwirkungsanteil ($\Sigma Q_k / \Sigma G_k = 1,00$).



Die Darstellung der Zusammenhänge aus der obigen Abbildung lassen sich weiter verdichten, wenn die einzelnen Kurvenbereich auf die Koordinatenachsen projiziert werden und die beiden Achsen übereinander aufgetragen werden. Exemplarisch wird ein solches Doppelleiter-Nomogramm nachfolgend dargestellt.

C24 ($k_{\text{mod}} = 0,8$ | $l/300$)



Die Anwendung der gezeigten graphischen Bemessungshilfen wird nachfolgend an Hand eines Beispiels gezeigt.

Beispiel

gegeben:

Spannweite:	$l = 4,25 \text{ m}$
charakt. Wert der ständigen Einwirkung:	$g_k = 2,50 \text{ kN/m}^2$
charakt. Wert der veränderlichen Einwirkung:	$p_k = 2,50 \text{ kN/m}^2$
Abstand der Biegebalken:	$s = 0,75 \text{ m}$
Material:	VH C24

Einwirkungen

$$q = (g_k + p_k) \cdot s = (2,50 + 2,50) \cdot 0,750 = 3,75 \text{ kN/m}$$

$$q_d = (\gamma_G \cdot g_k + \gamma_Q \cdot p_k) \cdot s = (1,35 \cdot 2,50 + 1,50 \cdot 2,50) \cdot 0,750 = 5,34 \text{ kN/m}$$

$$\eta = \frac{q_d}{q} = \frac{5,34}{3,75} = 1,425$$

Abschätzung der Querschnittshöhe mit Diagramm

gewählte Breite: $b = 120 \text{ mm}$

$$\frac{b}{q_d} = \frac{120}{5,34} = 22,5 \rightarrow \text{aus Diagramm: } \frac{l}{h} = 19,6 \text{ (relevanter Nachweis: Durchbiegung)}$$

Abschätzung der Querschnittshöhe

$$h = \frac{l}{\text{Faktor}} = \frac{4.250}{19,6} = 217 \text{ mm}$$

Querschnitt: $b/h = 120/220 \text{ mm}$

Querschnittshöhe aus den l/h- Zusammenhängen

Baustoffkennwerte

charakt. Wert der Biegefestigkeit:	$f_{m,k} = 24,0 \text{ N/mm}^2$	Tab. III.18
charakt. Wert der Schubfestigkeit:	$f_{v,k} = 2,30 \text{ N/mm}^2$	Tab. III.18
E-Modul:	$E_{0,mean} = 11.000 \text{ N/mm}^2$	Tab. III.18
Modifikationsbeiwert:	$k_{mod} = 0,80$	Tab. III.5
Teilsicherheitsbeiwert:	$\gamma_M = 1,30$	Tab. III.3

• für Schub

$$\left(\frac{b}{q_d} \right)_{\text{grenz, Schub}} = \frac{3}{4} \cdot \frac{f_{m,d}}{f_{v,d}^2} = \frac{3}{4} \cdot \frac{14,8}{1,42^2} = 5,50$$

• für Biegung

$$\left(\frac{b}{q_d} \right)_{\text{grenz, Biegung}} = \frac{3}{5^6} \cdot \frac{E^2}{f_{m,d}^3} \cdot \eta^2 = \frac{3}{5^6} \cdot \frac{11.000^2}{14,8^3} \cdot 1,42^2 = 14,6$$

Überprüfung des bemessungsrelevanten Nachweises

$$\rightarrow \left(\frac{b}{q_d} \right)_{\text{Schub}} = 5,50 < \left(\frac{b}{q_d} \right)_{\text{Biegung}} = 14,6 < \left(\frac{b}{q_d} \right)_{\text{prov}} = 22,5 \rightarrow \text{Durchbiegung bemessungsrelevant}$$

Kontrolle der Durchbiegung für den optimalen Querschnitt

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{120 \cdot 217^3}{12} = 1,02 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

$$w = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I} = \frac{5}{384} \cdot \frac{3,75 \cdot 4,250^4}{1,10 \cdot 10^4 \cdot 1,02 \cdot 10^8} = 14,2 \text{ mm}$$

$$w_{\text{grenz,inst}} = \frac{l}{300} = \frac{4,250}{300} = 14,2 \text{ mm}$$

Querschnitt mit Hilfe der Querschnittstabellen im Tabellenwerk

Eingangswerte:

Spannweite: $l = 4,250 \text{ m}$

Bemessungswert der Einwirkung: $q_d = 5,34 \text{ kN/m}$

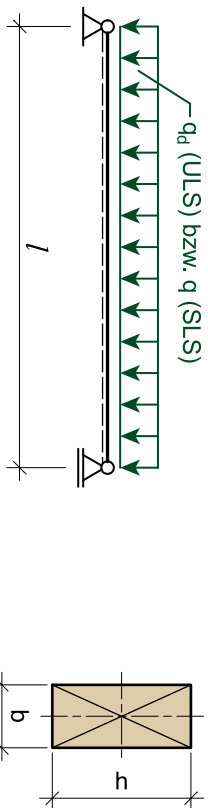
(gewählte) Querschnittsbreite: $b = 120 \text{ mm}$

Querschnitt: $b/h = 120/220 \text{ mm}$

Tab. IV.16

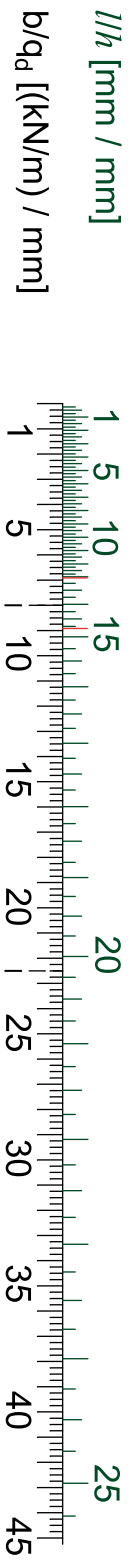
Nomogramme für Voll- und Brettschichtholz

Auf den folgenden Seiten sind Nomogramme für (ausschließlich) biegebeanspruchte Träger aus Voll- und Brettschichtholz für die Modifikationsfaktoren $k_{\text{mod}} = 0,80$ und $k_{\text{mod}} = 1,00$ sowie dem Verhältnis der ständigen zur veränderlichen Einwirkung $\eta = 1,425$ angegeben. Mit ihnen kann eine ausreichend genaue Vordimensionierung erfolgen. Gegebenenfalls ist das Biegedrillknicken („Kippen“) zusätzlich zu überprüfen.

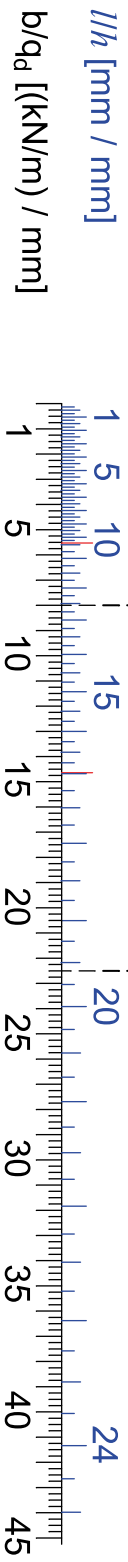


Nomogramm zur Abschätzung der Querschnittshöhe eines Vollholz-Balkens für einen Einfeldträger unter Gleichlast

C30 ($k_{\text{mod}} = 0,8 \mid l/300$)



C24 ($k_{\text{mod}} = 0,8 \mid l/300$)



Beispiel:

gegeben: $q_d = 5,34$ kN/m (ULS - Grundkombination)

gewählt: $b = 120$ mm

→ z. B. für $b / q_d = 120 / 5,34 = 22,5$

→ z. B. für $b / q_d = 8,00$

z. B. Spannweite $l = 4,250$ mm

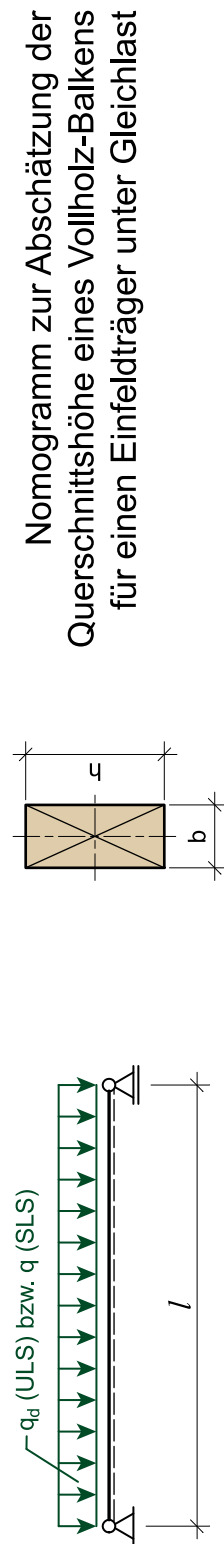
→ für C24: $l / h = 19,6$

→ für C30: $l / h = 20,2$

→ für C24: $h = 4,250 / 19,6 = 217$ mm

→ für C30: $h = 4,250 / 20,2 = 210$ mm

- für Vollholz und den Modifikationsfaktor $k_{\text{mod}} = 1,00$



C30 ($k_{\text{mod}} = 1,00 \mid l/300$)

l/h [mm / mm]

b/q_d [(kN/m) / mm]



C24 ($k_{\text{mod}} = 1,00 \mid l/300$)

l/h [mm / mm]

b/q_d [(kN/m) / mm]



Beispiel:

gegeben: $q_d = 5,34 \text{ kN/m}$ (ULS - Grundkombination)

gewählt: $b = 120 \text{ mm}$

→ z. B. für $b/q_d = 120 / 5,34 = 22,5$

→ z. B. für $b/q_d = 8,00$

→

für C24: $l/h = 19,6$
für C30: $l/h = 20,15$

z. B. Spannweite $l = 4.250 \text{ mm}$

für C24: $h = 4.250 / 19,6 = 217 \text{ mm}$

für C30: $h = 4.250 / 20,15 = 211 \text{ mm}$

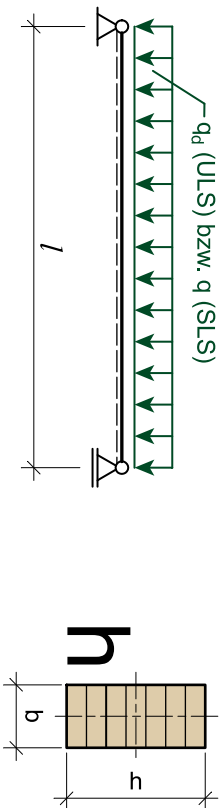
→

für C24: $l/h = 13,9$
für C30: $l/h = 14,3$

für C24: $h = 4.250 / 13,9 = 306 \text{ mm}$

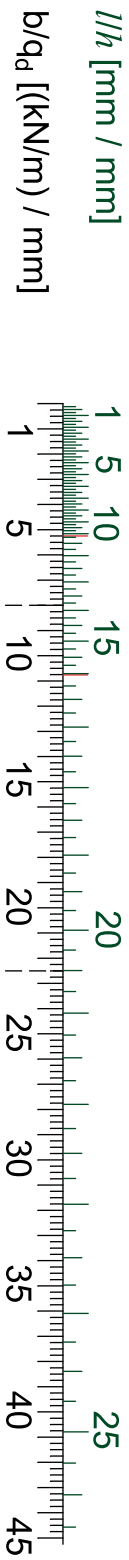
für C30: $h = 4.250 / 14,3 = 297 \text{ mm}$

- für Brettschichtholz mit homogenem Querschnittsaufbau und den Modifikationsfaktor $k_{mod} = 0,80$

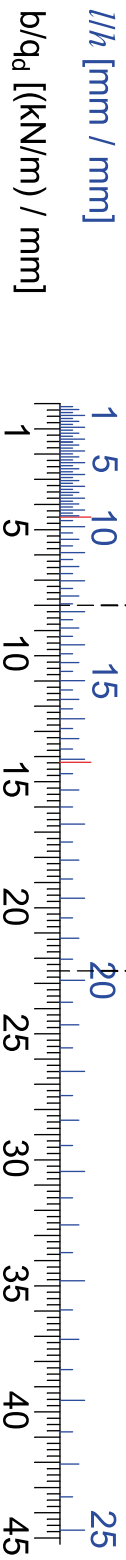


Nomogramm zur Abschätzung der Querschnittshöhe eines BSH-Balkens für einen Einfeldträger unter Gleichlast

GL 28h ($k_{mod} = 0,8 \mid l/300$)



GL 24h ($k_{mod} = 0,8 \mid l/300$)



Beispiel:

gegeben: $q_d = 5,34$ kN/m (ULS - Grundkombination)

gewählt: $b = 120$ mm

→ z. B. für $b / q_d = 120 / 5,34 = 22,5$

→ z. B. für $b / q_d = 8,00$

z. B. Spannweite $l = 4,250$ mm

→ für GL 24h: $l / h = 19,9$

→ für GL 28h: $l / h = 20,5$

→ für GL 24h: $h = 4,250 / 19,9 = 214$ mm

→ für GL 28h: $h = 4,250 / 20,5 = 207$ mm

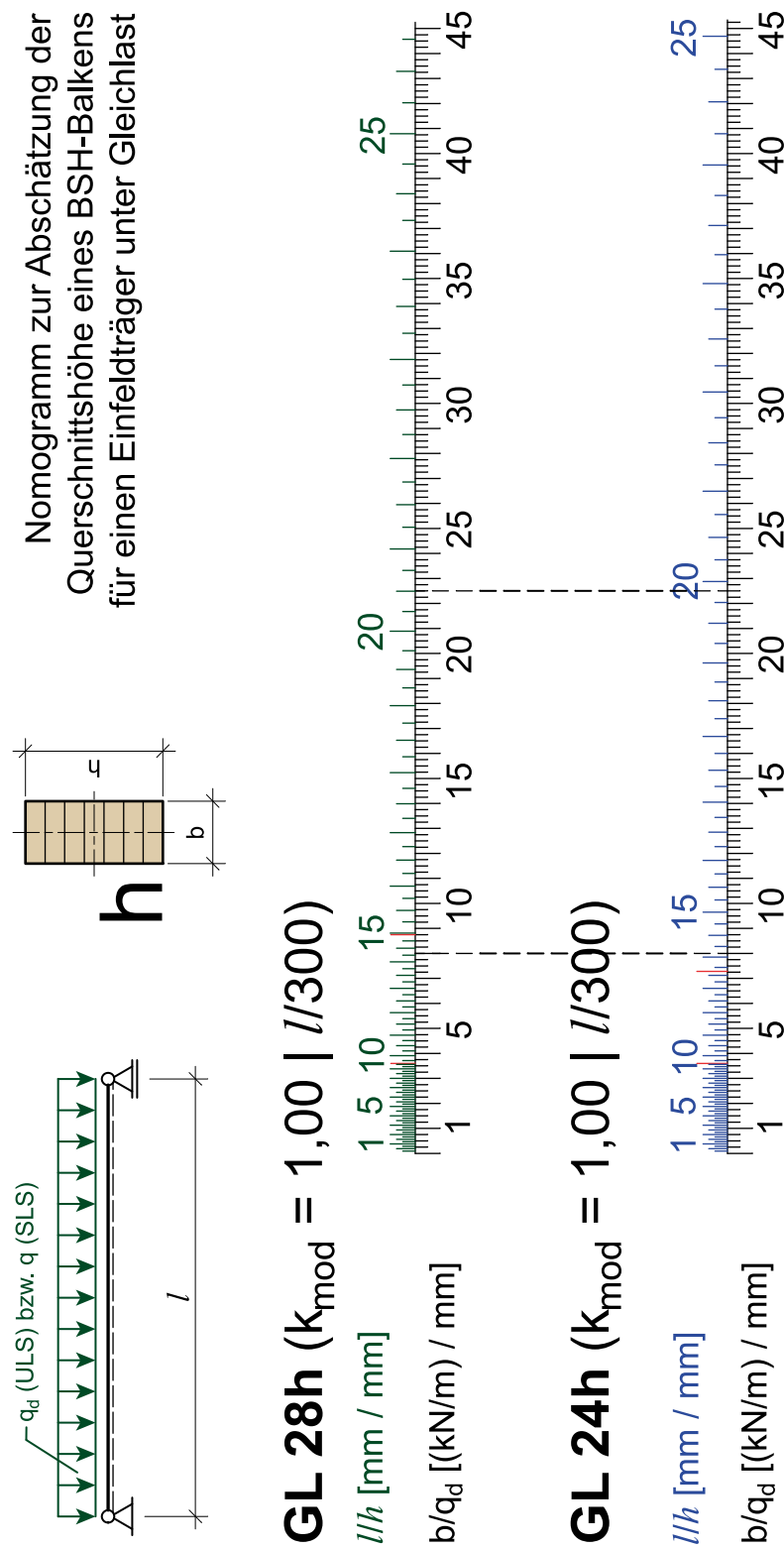
→ für GL 24h: $l / h = 12,8$

→ für GL 28h: $l / h = 13,8$

→ für GL 24h: $h = 4,250 / 12,8 = 332$ mm

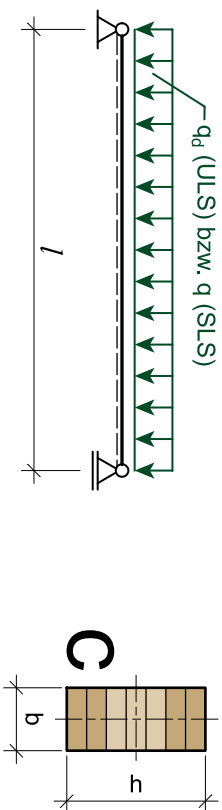
→ für GL 28h: $h = 4,250 / 13,8 = 308$ mm

- für Brettschichtholz mit homogenem Querschnittsaufbau und den Modifikationsfaktor $k_{\text{mod}} = 1,00$



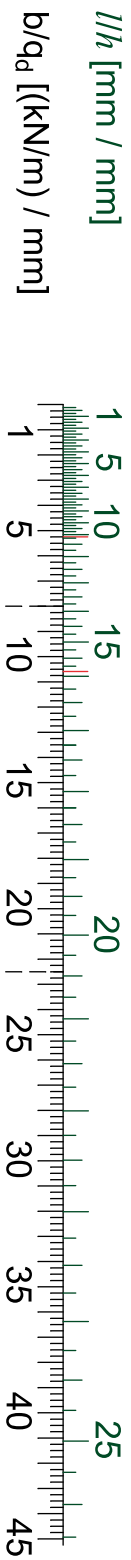
Beispiel:				z. B. Spannweite $l = 4.250$ mm
gegeben:	$q_d = 5,34$ kN/m (ULS - Grundkombination)	→	für GL 24h: $l/h = 19,9$	für GL 24h: $h = 4.250 / 19,9 = 214$ mm
gewählt:	$b = 120$ mm	→	für GL 28h: $l/h = 20,5$	für GL 28h: $h = 4.250 / 20,5 = 207$ mm
→ z. B. für	$b/q_d = 120 / 5,34 = 22,5$	→	für GL 24h: $l/h = 14,1$	für GL 24h: $h = 4.250 / 14,1 = 301$ mm
→ z. B. für	$b/q_d = 8,00$	→	für GL 28h: $l/h = 14,3$	für GL 28h: $h = 4.250 / 14,3 = 297$ mm

- für Brettschichtholz mit kombiniertem Querschnittsaufbau und den Modifikationsfaktor $k_{\text{mod}} = 0,80$

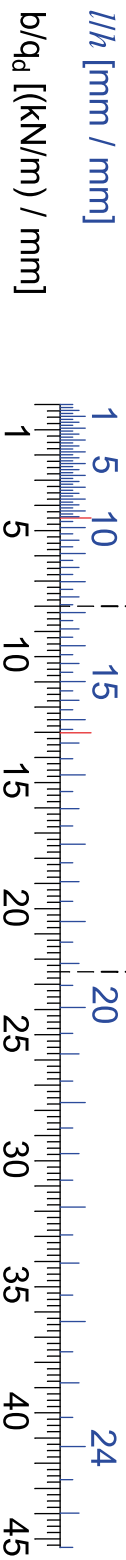


Nomogramm zur Abschätzung der Querschnittshöhe eines BSH-Balkens für einen Einfeldträger unter Gleichlast

GL 28c ($k_{\text{mod}} = 0,8 \mid l/300$)



GL 24c ($k_{\text{mod}} = 0,8 \mid l/300$)



Beispiel:

gegeben: $q_d = 5,34 \text{ kN/m}$ (ULS - Grundkombination)
gewählt: $b = 120 \text{ mm}$

→ z. B. für $b / q_d = 120 / 5,34 = 22,5$

→ z. B. für $b / q_d = 8,00$

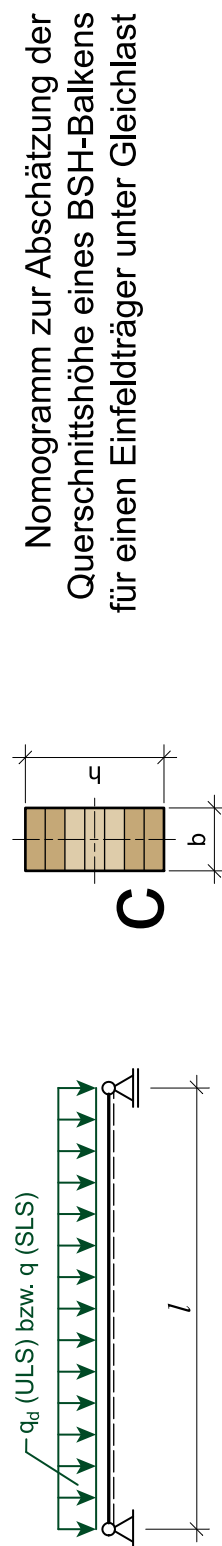
z. B. Spannweite $l = 4,250 \text{ mm}$

→ für GL 24c: $l / h = 19,6$
→ für GL 28c: $l / h = 20,4$

→ für GL 24c: $l / h = 12,8$
→ für GL 28c: $l / h = 13,8$

→ für GL 24c: $h = 4,250 / 12,8 = 332 \text{ mm}$
→ für GL 28c: $h = 4,250 / 13,8 = 308 \text{ mm}$

- Schichtholz mit kombiniertem Querschnittsaufbau und den Modifikationsfaktor $k_{mod} = 1,00$



GL 28c ($k_{mod} = 1,00 \mid l/300$)

l/h [mm / mm]

b/q_d [(kN/m) / mm]



GL 24c ($k_{mod} = 1,00 \mid l/300$)

l/h [mm / mm]

b/q_d [(kN/m) / mm]



Beispiel:

gegeben: $q_d = 5,34$ kN/m (ULS - Grundkombination)

gewählt: $b = 120$ mm

→ z. B. für $b/q_d = 120 / 5,34 = 22,5$

→ z. B. für $b/q_d = 8,00$

z. B. Spannweite $l = 4,250$ mm

für GL 24c: $h = 4,250 / 19,6 = 217$ mm

für GL 28c: $h = 4,250 / 20,4 = 208$ mm

für GL 24c: $h = 4,250 / 13,85 = 307$ mm

für GL 28c: $h = 4,250 / 14,0 = 304$ mm



**Österreichischer
Ingenieurholzbauverband (IHBV)**

Vorsitzender DI (FH) Holzbaumeister Johannes Lederbauer
Geschäftsführer Mag. Dieter Lechner

Schwarzenbergplatz 4,
1030 Wien, Austria
T +43 (0) 1 712 26 01 - 12
F +43 (0) 1 713 03 09
office@ihbv.at
www.ihbv.at

IHBV