

HANDBUCH 2

Nachweisführung für Tragwerke
aus Holz nach Eurocode 5



Leonardo da Vinci Pilot Projekt

CZ/06/B/F/PP/168007

Lehr- und Lernunterlagen für die Bemessung
und Konstruktion von Tragwerken aus Holz



Education and Culture

Leonardo da Vinci



TEMTIS



Leonardo da Vinci



Leonardo da Vinci Pilot Projekt
CZ/06/B/F/PP/168007

Lehr- und Lernunterlagen für die Bemessung
und Konstruktion von Tragwerken aus Holz –
TEMTIS

HANDBUCH 2 – NACHWEISFÜHRUNG FÜR TRAGWERKE AUS HOLZ NACH EUROCODE 5

Dezember 2008

Leonardo da Vinci Pilot Projekt

„Lehr- und Lernunterlagen für die Bemessung und Konstruktion von Tragwerken aus Holz – TEMTIS“

Handbuch 2 – Nachweisführung für Tragwerke aus Holz nach Eurocode 5

Dieses Projekt wurde aus Mitteln der Europäischen Kommission gefördert. Die Inhalte dieser Veröffentlichung geben die persönliche Sicht der jeweiligen Autoren zum Themenbereich wieder, weshalb die Europäische Kommission für den Inhalt keine Verantwortung übernehmen kann.

© 2008 bei den Autoren der Beiträge

Erste Ausgabe 2008



Leonardo da Vinci

Handbuch 2



VORWORT

Dieses Handbuch bezieht sich auf die Festlegungen und Regelungen für die Bemessung und Konstruktion von Tragwerken aus Holz nach europäischen Normen und auf in Europa erhältliche Produkte.

Die Inhalte dieses Handbuches sind eng an die Bestimmungen des Eurocode 5 (EC5), der zukünftigen europäischen Norm für den Entwurf und die Konstruktion von Tragwerken aus Holz, angelehnt jedoch nicht wörtlich übernommen.

Zur Entwicklung eines besseren Verständnisses der Bemessungsregeln nach Eurocode 5 wurden in diesem Handbuch Anwendungsbeispiele (Kapitel 12) ausgearbeitet.

Der Zweck dieses Handbuches liegt darin den Leser in die Bemessung und Konstruktion von Holztragwerken nach Eurocode 5 einzuführen. Es ist so ausgelegt, dass die Inhalte sowohl als Unterlage an Ausbildungsstätten, als auch für ein Selbststudium geeignet sein sollen.

Abschließend möchte der Verantwortliche des Arbeitspaketes WP4 – Handbuch 2 – seinen Dank an alle beteiligten Autoren richten (siehe Autorenverzeichnis). Ein spezieller Dank geht an Herrn Kolbein BELL / Norwegische Universität für Forschung und Technologie für das Editieren der englischen Ausgabe dieses Handbuches.

Petr KUKLÍK
Prag, Oktober 2008



Leonardo da Vinci

Handbuch 2



VORWORT ZUR DEUTSCHSPRACHIGEN VERSION

Ergänzend zum Vorwort der englischen Originalausgabe dieses Handbuches wird festgehalten, dass der Inhalt des Originals so weit als möglich, und sinngemäß in die deutsche Sprache übersetzt wurde. Insbesondere wird darauf hingewiesen, dass die Passagen aus EN 1995-1-1 „Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau“ nicht wortwörtlich übernommen, sondern frei übersetzt wurden. Eine Haftung für den Inhalt kann deshalb nicht übernommen werden. In jedem Fall sind für die Bemessung und Konstruktion von Tragwerken aus Holz die jeweiligen Originalausgaben der entsprechenden Normen heranzuziehen.

Manfred AUGUSTIN
Graz, Dezember 2008



AUTORENVERZEICHNIS

Manfred AUGUSTIN (Kapitel 12 / Beispiele 12.5b, 12.6b, 12.7)

Technische Universität Graz
Institut für Holzbau und Holztechnologie
Inffeldgasse 24, A-8010 Graz
manfred.augustin@lignum.tugraz.at
<http://www.lignum.at>

Kolbein BELL (Kapitel 12 / Beispiele 12.6a, 12.9)

Norwegische Universität für Forschung und Technologie
Abteilung für konstruktiven Ingenieurbau
Rich. Birkelands vei 1a, N0-7491 Trondheim
kolbein.bell@ntnu.no
<http://www.ntnu.no>

Petr KUKLÍK (Kapitel 1-11 und 13, Kapitel 12 / Beispiele 12.1, 12.2, 12.3)

Tschechische Technische Universität in Prag
Abteilung für Stahl- und Holzbau
Thákurova 7, CZ-166 29 Prague 6
kuklik@fsv.cvut.cz
<http://www.ocel-drevo.fsv.cvut.cz>



Leonardo da Vinci

Handbuch 2



Antonín LOKAJ (Kapitel 12 / Beispiele 12.5a, 12.8)

Technische Universität Ostrau
Fakultät für Bauingenieurwesen
L. Podéště 1875, CZ-708 33 Ostrava
antonin.lokaj@vsb.cz
<http://www.fast.vsb.cz>

Miroslav PREMROV (Kapitel 12 / Beispiel 12.4)

Universität Marburg
Fakultät für Bauingenieurwesen
Smetanova ulica 17, SI-2000 Maribor
miroslav.premrov@uni-mb.si
<http://www.fg.uni-mb.si>



1 Einführung

Seit Anbeginn der Menschheit haben die Früchte und das Holz der Bäume die Menschheit mit Nahrungsmitteln und (Bau-) Materialien für Bauwerke, zum Heizen und für Werkzeuge versorgt. Holz ist eines der ältesten Baumaterialien, das schon von unseren Vorfahren genutzt wurde und die meisten von uns verspüren eine große Anziehung zur Schönheit und den besonderen Eigenschaften dieses natürlichen Materials, das sehr oft in unserer Arbeits- und Wohnumgebung verwendet wird.

Holz ist das älteste bekannte Baumaterial, das sowohl Zug- als auch Druckkräfte übertragen kann, wobei es auf Grund der Verfügbarkeit vorwiegend als stabförmiges Produkt Verwendung findet. Es weist ein sehr gutes Gewichts- zu Festigkeitsverhältnis („Reißlänge“) auf, und ist leicht zu bearbeiten und zu verbinden. Gegenüber anderen Materialien zeichnet es sich durch gute Eigenschaften in anspruchsvoller Umgebung und bei hohen Temperaturbeanspruchungen (auch gegenüber Brandbeanspruchungen) aus, es korrodiert nicht, und viele Holzarten – sofern die jeweiligen Detailpunkte entsprechend ausgebildet sind – bieten eine hohe Dauerhaftigkeit. Die einzigartigen Eigenschaften von Holz haben es zu einem Eckpfeiler im Fortschritt der Zivilisation und der Gesellschaft – wie wir sie heute kennen – werden lassen.

Holz wurde und wird, seit dem der Mensch mit Werkzeugen umzugehen lernte für die Herstellung von Hochbauten, Brücken, im Tiefbau, für militärische Zwecke, für Boote usw. herangezogen.

Holz ist ein bemerkenswertes Material. Während die meisten anderen Baumaterialien aus endlichen Ressourcen stammen, welche in ihrer Herstellung enorme Energiemenge verschlingen und somit wesentlich zum Treibhauseffekt beitragen, wachsen Bäume durch die Sonnenenergie auf natürlichen Böden, die auch noch durch den waldeigenen Kompost gedüngt werden. Weiters bindet Holz das CO₂ aus der umgebenden Luft und wird durch den Regen gegossen. Auf Grund seines Entstehungsprozesses ist Holz praktisch das einzige Baumaterial das sich vollständig „erneuert“ – bereitgestellt von Bäumen, die entweder aus künstlicher Bewirtschaftung (Plantagen) oder aus der natürlichen Regeneration der Bäume (natürliche Waldbewirtschaftung) stammen.

Gleichzeitig bietet der Wald eine Unzahl von einzigartigen Leistungen und Vorteilen, wie beispielsweise einen wesentlichen Beitrag zum Klimaschutz, zum Wasser- und Lufthaushalt, sowie zur Erholungsfunktion für die Allgemeinheit.

Die volkswirtschaftlichen Leistungen im Rahmen der Herstellung von Produkten der Holz- und bearbeitenden Industrie beeinflussen direkt das Leben von rund 450 Millionen Euro-



päern. Innerhalb der Staaten der Europäischen Union sind 140 Millionen Hektar bewaldet, was im Mittel rund 35% der Landfläche beträgt. Dabei reicht der prozentuelle Anteil an Waldfläche von 1% auf Zypern bis zu 71% in Finnland. Die europäischen Wälder nehmen dabei flächenmäßig und im Wachstum zu, wodurch es zu einem höheren Anteil des im Wald stehenden Holzvolumens (Vorratsmenge) kommt.

Aus der Sicht des Ingenieurs ist im Zuge der Verwendung bzw. für den Ansatz von physikalischen Kenngrößen zu beachten, dass sich „fehlerfreies“ Holz (engl.: „clear wood“) vom Bauholz (engl.: „timber“) ganz wesentlich unterscheiden. Während unter dem (fehlerfreien) Material „Holz“ die Substanz des Stammes und der Äste an sich verstanden werden, das aus Baumstämmen eingeschnitten wird und in vielfältiger Form Verwendung findet, versteht man im Allgemeinen unter „Bauholz“ das für konstruktive, (lastab-) tragende Zwecke herangezogene Produkt in Gebrauchsabmessungen.

In der Hand des gut ausgebildeten Fachmannes, welcher dieses Material einerseits mit großer Leidenschaft, Traditionsbewusstsein aber gleichzeitig auch einem Bezug zur Moderne, sowie dem Verständnis der natürlichen Eigenschaften dieses Materials bearbeitet, hat der Roh- und Werkstoff „Holz“ bedeutende Vorteile im Vergleich mit anderen Baumaterialien aufzuweisen. Mit Hilfe geeigneter Bemessungs- bzw. Nachweismethoden kann damit eine Formensprache und Funktionalität von Holzkonstruktionen erreicht werden, die jener der Baustoffe Beton und Stahl gleichkommt oder diese sogar übertrifft.



2 Bemessung und Nachweisführung von Tragwerken aus Holz

Bevor mit der eigentlichen Bemessung und Nachweisführung von Tragwerken aus Holz begonnen werden kann ist es erforderlich die Tragstruktur zu analysieren und ein geeignetes bau-statisches Modell zu entwickeln. Dabei tritt nicht selten ein Konflikt zwischen einfachen und oftmals auf der konservativen Seite liegenden Modellen auf, welche in der Berechnung einfach handhabbar sind, und komplexeren Modellierungen auf die, einerseits realitätsnaher, aber andererseits in der Berechnung auch oftmals fehleranfälliger sind und bei denen manchmal auch die Gefahr besteht, dass Fehlermechanismen nicht richtig erkannt und beurteilt werden.

Die konstruktive Ausbildung soll in Einklang mit der Ausführbarkeit sein. Für Tragwerke mit komplexen Geometrien ist sicherzustellen, dass deren Ausführung den Berechnungsgrundlagen entspricht. Der Einfluss unvermeidbarer Toleranzen gegenüber der geplanten Geometrie und von Verformungen infolge der aufgetragenen Einwirkungen ist zu berücksichtigen.

Verbindungen bedingen oftmals größere Anschlussbereiche, welche zu exzentrischen Lasteinleitungen führen können. Diese dürfen in der Nachweisführung nicht vernachlässigt werden. Bei der Festlegung des Berechnungsmodells besteht bezüglich dieses Sachverhaltes ein gewisser Spielraum, der jedoch die Gültigkeit der Annahmen nicht einschränken darf.

Die Methoden der Nachweisführung in den Eurocodes bedienen sich sogenannter Grenzzustände, das sind Zustände bei denen die Zuverlässigkeit der Tragstruktur in eindeutiger Weise mit Zuständen verbunden sind ab denen das Bauteil bzw. das Bauwerk definierte Anforderungen nicht mehr erfüllt. Im System der Eurocodes sind das neben Anforderungen an die Dauerhaftigkeit und die Robustheit im speziellen zwei Grenzzustände: der Grenzzustand der Tragfähigkeit und der Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit.

Als Grenzzustand der Tragfähigkeit (engl.: „Ultimate Limit State (ULS)“) werden Zustände bezeichnet die mit dem Versagen des Bauteiles bzw. des Bauwerkes verbunden sind oder in anderer Form zum Einsturz führen können. Diese sind: Verlust des Gleichgewichts, Versagen infolge großer Verformungen, Auftreten von Gelenksmechanismen, Versagen des Querschnittes und Verlust der Tragfähigkeit des Bauteils (Stabilitätsversagen).

Die Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit umfassen Zustände, die das Erscheinungsbild oder die Funktion von Bauteilen in unzulässiger Weise beeinträchtigen, eine unerwünschte (übermäßige) Rissbildung verursachen und die Dauerhaftigkeit des Bauwerkes vermindern können, sowie Schwingungen, die ein Unwohlsein bei den Benutzern verursachen oder die Tragstruktur beschädigen.



In den Eurocodes werden die Unsicherheiten der Modellbildung, des Materials, der Ausführung usw. auf Basis von Teilsicherheitsnachweisen geführt, deren wesentliche Grundlagen und Zusammenhänge in der Folge kurz erläutert werden.

2.1 Grundsätze der Bemessung nach Grenzzuständen

Die Berechnungsmodelle für die verschiedenen Grenzzustände haben, sofern erforderlich folgende Eigenschaften und Bedingungen zu berücksichtigen:

- unterschiedliche Baustoffeigenschaften (z.B. Festigkeit und Steifigkeit);
- unterschiedliches zeitabhängiges Baustoffverhalten (Lasteinwirkungsdauer, Kriechen);
- unterschiedliche Klimabedingungen für die Baustoffe (Temperatur, Feuchte-wechsel);
- unterschiedliche Bemessungssituationen (Bauzustand, Änderungen der Lagerungsbedingungen).

2.1.1 Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Für die Steifigkeiten sind im Rahmen der baustatischen Berechnung folgende Werte zu berücksichtigen:

- für eine linear-elastische Berechnung nach Theorie I. Ordnung von Tragwerken bei denen die Verteilung der inneren Schnittkräfte die Steifigkeitsverteilung innerhalb des Tragwerkes nicht beeinflusst (z.B. wenn alle Bauteile die selben zeitunabhängigen Eigenschaften aufweisen) sind die Mittelwerte anzusetzen;
- für eine linear-elastische Berechnung, bei der die Verteilung der inneren Schnittkräfte die Steifigkeitsverteilung innerhalb der Tragstruktur beeinflusst (z.B. bei Verbundbauteilen mit unterschiedlichen zeitabhängigen Eigenschaften), die Mittelwerte im Endzustand, welche sich aus dem Lastanteil berechnen der die höchsten Spannungen im Verhältnis zur Festigkeit hervorruft;
- für eine linear-elastische Berechnung eines Tragwerkes nach Theorie II. Ordnung die nicht auf die Lasteinwirkungsdauer bezogenen Bemessungswerte.

Der Verschiebungsmodul K_u einer Verbindung im Grenzzustand der Tragfähigkeit ist mit

$$K_u = \frac{2}{3} \cdot K_{ser} \quad (2.1)$$

zu berücksichtigen, wobei K_{ser} der Verschiebungsmodul im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ist.



2.1.2 Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Die Verformungen einer Tragstruktur bzw. eines Bauteiles, welche aus den Einwirkungen (wie Normalkräfte, Querkräfte, Biegemomente und die Nachgiebigkeit der Verbindungen), sowie aus Holzfeuchteänderungen hervorgerufen werden sollen innerhalb angemessener Grenzwerte bleiben. Wobei die Möglichkeit von Beschädigungen von sekundären Bauteilen, wie Decken, Fußböden, Trennwänden und dgl. zu berücksichtigen ist und die funktionalen wie ästhetischen Anforderungen erhalten bleiben müssen.

Die Anfangsverformung u_{inst} (siehe Kapitel 7) ist aus der charakteristischen Lastfallkombination unter Verwendung der Mittelwerte der entsprechenden Elastizitäts-, Schub- und Verschiebungsmoduln zu berechnen.

Die Endverformung u_{fin} (siehe Kapitel 7) ist mit Hilfe der quasi-ständigen Lastfallkombination zu bestimmen.

Besteht das Tragwerk aus Bauteilen oder Komponenten mit unterschiedlichem Kriechverhalten sind die Endverformungen unter Verwendung von Endwerten der Mittelwerte der entsprechenden Elastizitäts-, Schub- und Verschiebungsmoduln zu ermitteln.

Für Tragwerke die aus Bauteilen, Komponenten und Verbindungen mit denselben Kriech-eigenschaften bestehen und unter der Annahme einer lineare Beziehung zwischen den Einwirkungen und den zugehörigen Verformungen können die Endverformungen u_{fin} wie folgt berechnet werden:

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

Es bedeuten:

$$u_{fin,G} = u_{inst,G} \cdot (1 + k_{def}) \quad \text{für eine ständige Einwirkungen G,} \quad (2.3)$$

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

Einwirkung Q_1 ,

$$u_{fin,Q,i} = u_{inst,Q,i} \cdot (\psi_{0,i} + \psi_{2,1} \cdot k_{def}) \quad \text{für begleitende veränderliche} \quad (2.5)$$

Einwirkungen Q_i ($i > 1$).

Mit:

$u_{inst,G}$, $u_{inst,Q,1}$, $u_{inst,Q,i}$ die Anfangsverformungen für die Einwirkungen infolge G, Q_1 und Q_i ,

$\psi_{2,1}$, $\psi_{2,i}$ Kombinationsbeiwerte für den quasi-ständigen Anteil veränderlicher Einwirkungen,

$\psi_{0,i}$ Kombinationsbeiwerte für veränderliche Einwirkungen,

k_{def} Verformungsbeiwert aus Kapitel 3 für Holz und Holzwerkstoffe sowie aus Kapitel 2 für Verbindungen.



Für Schwingungsnachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit sind Mittelwerte der entsprechenden Steifigkeiten zu verwenden.

2.2 Basisvariablen

Die Basisvariablen sind die Einwirkungen, die Materialeigenschaften und die geometrischen Abmessungen.

2.2.1 Einwirkungen und Umgebungseinflüsse

Einwirkungen die zur Bemessung herangezogen werden sind den entsprechen Teilen der EN 1991 zu entnehmen.

Anmerkung 1:

Die entsprechenden Teile der EN 1991 die zur Bemessung heranzuziehen sind umfassen:

- EN 1991-1-1 Dichten, Eigengewichte und Nutzlasten im Hochbau
- EN 1991-1-3 Schneelasten
- EN 1991-1-4 Windlasten
- EN 1991-1-5 Temperatureinwirkungen
- EN 1991-1-6 Einwirkungen während der Ausführung
- EN 1991-1-7 Außergewöhnliche Einwirkungen

Die Lasteinwirkungsdauer und der Feuchtegehalt beeinflussen die Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften von Holz und Holzwerkstoffen und sind für die Berechnung und Bemessung für den mechanischen Widerstand und die Gebrauchstauglichkeit zu berücksichtigen.

– Klassen der Lasteinwirkungsdauer

Die Klassen der Lasteinwirkungsdauer werden durch die Wirkung einer konstanten Last charakterisiert, welche für eine bestimmte Zeitdauer auf das Tragwerk einwirkt. Für eine veränderliche Einwirkung ist die entsprechende Klasse der Lasteinwirkungsdauer unter Berücksichtigung der typischen zeitlichen Lastvariabilität festzulegen.

Die Klassen der Lasteinwirkungsdauer von Einwirkungen sind für Festigkeits- und Steifigkeitsberechnungen in der nachfolgend angeführten Tabelle 2.1 festgelegt.



Klasse der Lasteinwirkungsdauer	Größenordnung der akkumulierten Dauer der charakteristischen Lasteinwirkung
ständig	länger als 10 Jahre
lang	6 Monate – 10 Jahre
mittel	1 Woche – 6 Monate
kurz	kürzer als eine Woche
sehr kurz	

Tab. 2.1 Klassen der Lasteinwirkungsdauer

Anmerkung:

Beispiele für eine Zuordnung von Einwirkungen zur Klasse der Lasteinwirkungsdauer sind in Tab. 2.2 angegeben.

Klasse der Lasteinwirkungsdauer	Beispiele für Einwirkungen
ständig	Eigengewicht
lang	Lagerstoffe
mittel	Verkehrslasten, Schnee
kurz	Schnee, Wind
sehr kurz	Wind und außergewöhnliche Einwirkungen

Tab. 2.2 Beispiele für Zuordnungen von Einwirkungen zu Klassen der Lasteinwirkungsdauer

– Nutzungsklassen

Tragwerke sind einer der nachfolgend angeführten Nutzungsklassen zuzuweisen:

Anmerkung 1:

Das System der Nutzungsklassen dient vornehmlich der Zuordnung von Festigkeitskennwerten und für Verformungsberechnungen unter definierten Umgebungsbedingungen.

Die Nutzungsklasse 1 ist charakterisiert durch einen Feuchtegehalt im Material der bei einer Temperatur von 20°C und einer relativen Luftfeuchtigkeit der umgebenden Luft, welcher den Wert von 65% nur an einigen Wochen pro Jahr überschreitet.



Anmerkung:

In Nutzungsklasse 1 nimmt der mittlere Feuchtegehalt der meisten Nadelhölzer im Allgemeinen keinen höheren Wert als 12% an.

Die Nutzungsklasse 2 ist charakterisiert durch einen Feuchtegehalt im Material, welcher bei einer Temperatur von 20°C und einer relativen Luftfeuchtigkeit der umgebenden Luft, welcher den Wert von 85% nur an einigen Wochen pro Jahr überschreitet, eintritt.

Anmerkung:

In Nutzungsklasse 1 nimmt der mittlere Feuchtegehalt der meisten Nadelhölzer im Allgemeinen keinen höheren Wert als 20% an.

Die Nutzungsklasse 3 ist charakterisiert durch klimatische Bedingungen, welche zu einem höheren Feuchtegehalt als jene in Nutzungsklasse 2 führen.

2.2.2 Baustoffe und Produkteigenschaften

– Einflüsse der Lasteinwirkungsdauer und der Feuchte auf die Festigkeit

Modifikationsfaktoren, die den Einfluss der Lasteinwirkungsdauer und des Feuchtegehaltes auf die Festigkeit berücksichtigen sind in Kapitel 3 angegeben.

In Fällen, in denen eine Verbindung aus zwei Holzelementen mit unterschiedlichen zeitabhängigen Verhalten besteht, ist der Bemessungswert der Tragfähigkeit mit folgendem Modifikationsbeiwert k_{mod} zu ermitteln.

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

wobei $k_{\text{mod},1}$ und $k_{\text{mod},2}$ die jeweiligen Modifikationsbeiwerte der beiden aneinandergefügten Holzelemente sind.

– Einflüsse der Lasteinwirkungsdauer und der Feuchte auf die Verformungen

Für den Fall, dass das Tragwerk aus Bauteilen oder Komponenten mit unterschiedlichem zeitabhängigen Eigenschaften besteht sind für die Berechnung der Endverformungen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit die Endwerte der Mittelwerte des Elastizitätsmoduls $E_{\text{mean,fin}}$, des Schubmoduls $G_{\text{mean,fin}}$ und der Verschiebungsmodul $K_{\text{ser,fin}}$ nach den folgenden Gleichungen zu verwenden:

$$E_{\text{mean,fin}} = \frac{E_{\text{mean}}}{(1 + k_{\text{def}})} \quad (2.7)$$

$$G_{\text{mean,fin}} = \frac{G_{\text{mean}}}{(1 + k_{\text{def}})} \quad (2.8)$$

$$K_{\text{ser,fin}} = \frac{K_{\text{ser}}}{(1 + k_{\text{def}})} \quad (2.9)$$



Wenn die Verteilung der Schnittgrößen durch die Steifigkeitsverteilung im Tragwerk beeinflusst wird sind für die Berechnungen im Grenzzustand der Tragfähigkeit die folgenden Endwerte des Elastizitätsmoduls $E_{mean,fin}$, des Schubmoduls $G_{mean,fin}$ und des Verschiebungsmoduls $K_{ser,fin}$ zu verwenden:

$$E_{mean,fin} = \frac{E_{mean}}{(1 + \psi_2 \cdot k_{def})} \quad (2.10)$$

$$G_{mean,fin} = \frac{G_{mean}}{(1 + \psi_2 \cdot k_{def})} \quad (2.11)$$

$$K_{ser,fin} = \frac{K_{ser}}{(1 + \psi_2 \cdot k_{def})} \quad (2.12)$$

Es bedeuten:

E_{mean} Mittelwert des Elastizitätsmoduls,

G_{mean} Mittelwert des Schubmoduls,

K_{ser} Verschiebungsmodul,

k_{def} Verformungsbeiwert unter Berücksichtigung der maßgebenden Nutzungs-klasse,

ψ_2 Beiwert für den quasi-ständigen Anteil der Einwirkung, welche die größten Spannungen im Verhältnis zur Festigkeit hervorruft (wenn diese Einwirkung eine ständige Einwirkung darstellt, sollte ψ_2 mit 1,0 berücksichtigt werden).

Anmerkung 1:
Werte für k_{def} sind in Kapitel 3 angegeben.

Anmerkung 2:
Werte für ψ_2 sind EN 1990:2002 zu entnehmen.

Besteht eine Verbindung aus Holz bzw. Holzwerkstoffen mit den gleichen zeitabhängigen Eigenschaften, so sind die Werte für k_{def} zu verdoppeln.

Für den Fall, dass eine Verbindung aus zwei unterschiedlichen Holz bzw. Holzwerkstoffelementen mit unterschiedlichen zeitabhängigen Eigenschaften besteht sind die Endverformungen mit dem nachfolgenden Wert für k_{def} zu ermitteln:

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

wobei $k_{def,1}$ und $k_{def,2}$ die Verformungsbeiwerte der beiden beteiligten Holz- bzw. Holzwerkstoffelemente sind.



2.3 Nachweise mit der Methode der Teilsicherheitsbeiwerte

Im Rahmen des Nachweise mit der Methode der Teilsicherheitswerte wird eine niedrige Wahrscheinlichkeit des Erreichens von Beanspruchungswerten höher als jene der Widerstände durch Bemessungskennwerte, die unter Berücksichtigung von Teilsicherheitsbeiwerte bestimmt wurden, erreicht werden. Dabei sind die Bemessungskennwerte aus den charakteristischen Werten der Einwirkungen durch Multiplikation und die charakteristischen Festigkeitswerte durch Division mit diesen zu bestimmen.

2.3.1 Bemessungswert der Baustoffeigenschaft

Der Bemessungswert X_d einer Baustoffeigenschaft ist wie folgt zu bestimmen:

$$X_d = k_{\text{mod}} \cdot \frac{X_k}{\gamma_M} \quad (2.14)$$

Dabei ist

X_k charakteristischer Wert einer Festigkeitseigenschaft,

γ_M Teilsicherheitsbeiwert der Baustoffeigenschaft,

k_{mod} Modifikationsbeiwert zur Berücksichtigung der Lasteinwirkungsdauer und des Feuchtegehaltes

Anmerkung 1:

Werte für k_{mod} sind in Kapitel 3 angegeben.

Anmerkung 2:

Die empfohlenen Teilsicherheitsbeiwerte für die Baustoffeigenschaften (γ_M) sind der nachfolgenden Tabelle 2.3 zu entnehmen. Informationen zu nationalen Festlegungen sind dem nationalen Anhang des jeweiligen Landes zu entnehmen.



Grundkombination:	
- Vollholz	1,3
- Brettschichtholz	1,25
- LVL, Sperrholz, OSB	1,2
- Spanplatten	1,3
- Harte Faserplatten	1,3
- Mittelharte Faserplatten	1,3
- MDF-Faserplatten	1,3
- Weiche Faserplatten	1,3
- Verbindungen	1,3
- Nagelplatten (Stahleigenschaften)	1,25
Außergewöhnliche Lastkombination:	1,0

Tab. 2.3 Empfohlener Teilsicherheitsbeiwert γ_M für Baustoffeigenschaften und Beanspruchbarkeiten

Die Bemessungswerte der Steifigkeitseigenschaften des Bauteils E_d und G_d sind wie folgt zu berechnen:

$$E_d = \frac{E_{mean}}{\gamma_M} \quad (2.15)$$

$$G_d = \frac{G_{mean}}{\gamma_M} \quad (2.16)$$

Dabei ist:

E_{mean} Mittelwert des Elastizitätsmoduls,

G_{mean} Mittelwert des Schubmoduls.



2.3.2 Bemessungswert der geometrischen Abmessungen

Geometrische Größen für Querschnitte und Systeme können als nominelle Werte aus harmonisierten Produktnormen oder Ausführungsplänen entnommen werden.

Bemessungswerte für geometrische Imperfektionen die in EN 1995-1-1 angegeben sind berücksichtigen die Einflüsse von:

- geometrischen Imperfektionen der Bauteile,
- den Effekt von strukturellen Imperfektionen infolge Herstellung und Errichtung,
- Inhomogenitäten der Baustoffe (z.B. durch Äste)

2.3.3 Bemessungswert der Beanspruchbarkeit

Der Bemessungswert R_d der Beanspruchbarkeit (Tragfähigkeit) ist wie folgt zu berechnen:

$$R_d = k_{\text{mod}} \cdot \frac{R_k}{\gamma_M} \quad (2.14)$$

Dabei ist

R_k charakteristischer Wert einer Beanspruchbarkeit,

γ_M Teilsicherheitsbeiwert für eine Baustoffeigenschaft

k_{mod} Modifikationsbeiwert zur Berücksichtigung der Lasteinwirkungsdauer und des Feuchtegehaltes

Anmerkung 1:

Werte für k_{mod} sind in Kapitel 3 angegeben.

Anmerkung 2:

Teilsicherheitsbeiwerte für die Baustoffeigenschaft (γ_M) sind Tabelle 2.3 zu entnehmen.



3 Baustoffeigenschaften

Wie in den anderen Eurocodes sind auch in EN 1995-1-1 (EC 5) keine Werte für die Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften angegeben. Stattdessen sind lediglich die Regelungen für deren Festlegung in Übereinstimmung mit dem Sicherheitskonzept und den Bemessungsregeln angeführt.

3.1 Allgemeines

- Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften

Die Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften sind für die einzelnen Beanspruchungsarten wie sie auch im zu errichtenden Tragwerk auftreten auf Basis von Versuchen, auf Basis von Vergleichen mit ähnlichen Holzarten und Klassen oder Holzwerkstoffen, oder auf Grund bekannter Beziehungen zwischen den verschiedenen Eigenschaften zu bestimmen.

- Spannungs-Dehnungs-Beziehungen

Weil die Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften auf Grundlage eines linearen Zusammenhanges zwischen Spannungen und Dehnungen bestimmt werden, sind auch die Nachweise einzelner Bauteile auf dieser Basis zu führen.

Für Bauteile oder Teile von Bauteilen mit einer Druckbeanspruchung darf auch ein nicht-linearer Zusammenhang (elastisch-plastisch) der Berechnung zugrunde gelegt werden.

- Modifikationsbeiwerte der Festigkeiten zur Berücksichtigung der Nutzungsklassen und Klassen der Lasteinwirkungsdauer

Es sind die Werte für den Modifikationsfaktor k_{mod} gemäß Tabelle 3.1 zu verwenden.

Besteht eine Lastkombination aus Einwirkungen, die unterschiedlichen Klassen der Lasteinwirkungsdauer zugeordnet werden, ist für k_{mod} ein Wert zu verwenden, der zu der Einwirkung mit der kürzesten Lasteinwirkungsdauer gehört, z.B. ist für eine Lastkombination aus ständigen und kurzzeitig wirkenden Einwirkungen für k_{mod} ein Wert zu verwenden, der einer kurzzeitigen Einwirkung entspricht.



Baustoff	Norm	Nutzungs-kl.	Klasse der Lasteinwirkungsdauer				
			Ständige Einwirkung	Lange Einwirkung	Mittlere Einwirkung	Kurze Einwirkung	sehr kurze Einwirkung
Vollholz	EN 14081-1	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Brett-schicht-holz	EN 14080	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Furnier-schicht-holz (LVL)	EN 14374, EN 14279	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Sperrholz	EN 636 - Teil 1, - Teil 2, - Teil 3 - Teil 2, - Teil 3 - Teil 3	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
OSB	EN 300 - OSB / 3 - OSB / 4 - OSB / 3 - OSB / 4	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
		1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,10
		2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
Spann-platten	EN 312 - Teil 4, - Teil 5 - Teil 5 - Teil 6, - Teil 7 - Teil 7	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
		2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
		1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,10
		2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
Holzfaser-platten, hart	EN 622-2 - HB.LA, - HB.HLA1 oder 2 - HB.HLA1 oder 2	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
		2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
Holzfaser-platten, mittelhart	EN 622-3 - MBH.LA1 oder 2 - MBH.HLS1 oder 2 - MBH.HLS1 oder 2	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
		2	-	-	-	0,45	0,80
Holzfaser-platten, MDF	EN 622-5 - MDF.LA, - MDF.HLS - MBH.HLS1 oder 2	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
		2	-	-	-	0,45	0,80

Tab. 3.1 Werte für den Modifikationsfaktor k_{mod}

– Verformungsbeiwerte in Abhängigkeit von der Nutzungsklasse

Für den Verformungsbeiwert sind die Werte aus Tabelle 3.2 in der Berechnung anzusetzen.

Baustoff	Norm	Nutzungsklasse		
		1	2	3
Vollholz	EN 14081-1	0,60	0,80	2,00
Brettschichtholz	EN 14080	0,60	0,80	2,00
Furnierschichtholz (LVL)	EN 14734, EN 14279	0,60	0,80	2,00
Sperrholz	EN 636 Teil 1	0,80	-	-
	Teil 2	0,80	1,00	-
	Teil 3	0,80	1,00	2,50
OSB	EN 300 OSB/2	2,25	-	-
	OSB/3, OSB/4	1,50	2,25	-
Spanplatten	EN 312 Teil 4	2,25	-	-
	Teil 5	2,25	3,00	-
	Teil 6	1,50	-	-
	Teil 7	1,50	2,25	-
Holzfaserplatten, hart	EN 622-2 HB.LA	2,25	-	-
	HB.HLA1, HB.HLA2	2,25	3,00	-
Holzfaserplatten, mittelhart	EN 622-3 MBH.LA1, MBH.LA2	3,00	-	-
	MBH.HLS1, MBH.HLS2	3,00	4,00	-
Holzfaserplatten, MDF	EN 622-5 MDF.LA	2,25	-	-
	MDF.HLS	2,25	3,00	-

Tab. 3.2 k_{def} -Werte für Holz und Holzwerkstoffe

3.2 Vollholz

Vollholz mit rechteckigem Querschnitt hat den Festlegungen von EN 14081-1, Baurundholz für tragende Zwecke jenen von EN 14544 zu entsprechen.

Anmerkung:

Werte für Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften (siehe Tabelle 4) von Vollholz sind in EN 338 angegeben.

Die Festlegung von Festigkeitsklassen und zugeordneten Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften ist unabhängig möglich, weil nahezu kommerziell erhältlichen Nadel- und Laubhölzer einen ähnlichen Zusammenhang zwischen Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften aufweisen.



Vorhandene Versuchsdaten zeigen, dass beinahe alle wichtigen charakteristischen Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften entweder aus der Biegefestigkeit, dem (Biege-) Elastizitätsmodul oder der Rohdichte abgeleitet werden können. Trotzdem ist weiterhin Forschungsbedarf gegeben um den Einfluss der Holzqualität auf diese Zusammenhänge zu untersuchen, sowie darüber Klarheit zu gewinnen, ob die Zuverlässigkeit der verschiedenen Festigkeitsklassen durch Modifikation dieser Zusammenhänge gesteigert werden kann.

Laubholzarten (engl.: „deciduous“) haben einen anderen anatomischen Aufbau im Vergleich mit Nadelhölzern (engl.: „coniferous“). Laubhölzer haben höhere Rohdichten aber keine damit verbundenen signifikant höheren Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften. Aus diesem Grund sind in EN 338 unterschiedliche Festigkeitsklassen für Laub- und Nadelhölzer angeführt. Pappelholz, das in zunehmendem Maße auch im Baubereich eingesetzt wird, hat dem üblichen Rohdichte- zu Festigkeitsverhalten der Nadelhölzer ähnliche Eigenschaften und wurde daher den Nadelhölzern zugeordnet.

Durch den Zusammenhang zwischen Festigkeit, Steifigkeit und Rohdichte kann eine Holzart / Herkunft / Festigkeitsklassen Kombination in eine bestimmte Festigkeitsklasse basierend auf charakteristischen Werten der Biegefestigkeit, des (Biege-) Elastizitätsmoduls und der Rohdichte eingeordnet werden.

In Übereinstimmung mit EN 338 kann eine Holzpopulation daher zu einer Festigkeitsklasse zugeordnet werden, wenn:

- das Holz visuell oder maschinell entsprechend den Festlegungen von EN 14081 nach der Festigkeit sortiert wurde,
- die charakteristischen Festigkeits-, Steifigkeits- und Rohdichtewerte nach EN 384 „Bauholz für tragende Zwecke – Bestimmung charakteristischer Werte für mechanische Eigenschaften und Rohdichte“ bestimmt wurden,
- die charakteristischen Werte der Biegefestigkeit, des (Biege-) Elastizitätsmoduls und der Rohdichte der untersuchten Population größer oder gleich als die korrespondierenden Werte der definierten Festigkeitsklasse sind.

Der Einfluss der Größe des Bauteils (Größeneffekt) darf berücksichtigt werden.

	Pappel und Nadelhölzer											Laubhölzer						
	C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50	D30	D35	D40	D50	D60	D70
Festigkeitseigenschaften [N/mm²]																		
Biegung	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50	30	35	40	50	60	70
Zug parallel	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30	18	21	24	30	36	42
Zug rechtwinklig	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Druck parallel	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29	23	25	26	29	32	34
Druck rechtwinklig	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2	8,0	8,4	8,8	9,7	10,5	13,5
Schub	1,7	1,8	2,0	2,2	2,4	2,5	2,8	3,0	3,4	3,8	3,8	3,8	3,0	3,4	3,8	4,6	5,3	6,0
Steifigkeitseigenschaften [kN/mm²]																		
Mittelwert des Elastizitätsmoduls parallel	7	8	9	9,5	10	11	11,5	12	13	14	15	16	10	10	11	14	17	20
5%-Quantilwert des Elastizitätsmoduls	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4	10,0	10,7	8,0	8,7	9,4	11,8	14,3	16,8
Mittelwert des Elastizitätsmoduls rechtwinklig	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53	0,64	0,69	0,75	0,93	1,13	1,33
Mittelwert des Schubmoduls	0,44	0,5	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00	0,60	0,65	0,70	0,88	1,06	1,25
Rohdichte [kg/m³]																		
Rohdichte	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460	530	560	590	650	700	900
Mittelwert der Rohdichte	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550	640	670	700	780	840	1080
<p>Anmerkung a Die oben angegebenen Werte für die Zug-, Druck- und Schubfestigkeit, das 5%-Quantil des Elastizitätsmoduls, der Mittelwert des Elastizitätsmoduls rechtwinklig zur Faserrichtung und der Mittelwert des Schubmoduls wurden mit den in Anhang A angegebenen Gleichungen berechnet.</p> <p>b Die tabellierten Eigenschaften gelten für Holz mit einem bei 20°C und 65 % relativer Luftfeuchte üblichen Feuchtegehalt.</p> <p>c Es kann sein, dass Bauholz der Klasse C45 und C50 nicht immer zur Verfügung steht.</p> <p>d Die charakteristischen Werte für die Schubfestigkeit beruhen auf der maximal zulässigen Rissstiefe von 50 %.</p>																		

Tab. 3.3 Festigkeitsklassen und charakteristische Eigenschaften gemäß EN 338



Für rechteckige Vollholzquerschnitte mit einer charakteristischen Rohdichte $k \leq 700 \text{ kg/m}^3$ beträgt die Bezugshöhe bei einer Biegebeanspruchung oder die Bezugsbreite (größere Querschnittsabmessung) bei einer Zugbeanspruchung 150 mm. Für kleinere Höhen bei Biegebeanspruchung bzw. Breiten bei Zugbeanspruchung des Vollholzes dürfen die charakteristischen Werte für $f_{m,k}$ und $f_{t,0,k}$ mit den Faktor k_h gemäß der nachfolgenden Gleichung multipliziert werden:

$$k_h = \min \left\{ \begin{array}{l} \left(\frac{150}{h} \right)^{0,2} \\ 1,3 \end{array} \right. \quad (3.1)$$

wobei h die Querschnittshöhe bei biegebeanspruchten oder die Breite bei zugbeanspruchten Bauteilen bezeichnet und in mm einzusetzen ist.

Vollholz, mit einer Holzfeuchte gleich oder über dem Fasersättigungspunkt eingebaut wird und aller Voraussicht unter Belastung austrocknet, ist der k_{def} -Wert nach Tab. 2 um 1,0 zu erhöhen.

Keilzinkenverbindungen haben den Anforderungen nach EN 385 zu entsprechen.

3.3 Brettschichtholz

Brettschichtholz muss den Anforderungen nach EN 14080 entsprechen.

Anmerkung:

Werte der Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften für Brettschichtholz der verschiedenen Festigkeitsklassen sind in EN 1194 enthalten.

Formeln zu Berechnung der mechanischen Eigenschaften von Brettschichtholz in Abhängigkeit von den Eigenschaften der zur Produktion verwendeten Lamellen sind Tab. 3.3 zu entnehmen.

Die grundsätzlichen Anforderungen an die zur Produktion verwendeten Lamellen sind die charakteristische Zugfestigkeit und der Mittelwert des Elastizitätsmoduls. Die Rohdichte der Lamellen stellt einen indikativen Wert dar. Diese Eigenschaften sind entweder den tabellierten Werten aus EN 338 zu entnehmen oder sind auf Basis der Prinzipien von EN 1194 abgeleitete Werte.

Eigenschaft	
Biegung	$f_{m,g,k} = 7 + 1,15 \cdot f_{t,0,l,k}$
Zug	$f_{t,0,g,k} = 5 + 0,8 \cdot f_{t,0,l,k}$ $f_{t,90,g,k} = 0,2 + 0,015 \cdot f_{t,0,l,k}$
Druck	$f_{c,0,g,k} = 7,2 \cdot f_{t,0,l,k}^{0,45}$ $f_{c,90,g,k} = 0,7 \cdot f_{t,0,l,k}^{0,5}$
Schub	$f_{v,g,k} = 0,32 \cdot f_{t,0,l,k}^{0,8}$
Elastizitätsmodul	$E_{0,g,mean} = 1,05 \cdot E_{0,l,mean}$ $E_{0,g,05} = 0,85 \cdot E_{0,l,mean}$ $E_{90,g,mean} = 0,035 \cdot E_{0,l,mean}$
Schubmodul	$G_{g,mean} = 0,065 \cdot E_{0,l,mean}$
Rohdichte	$\rho_{g,k} = 1,10 \cdot \rho_{l,k}$
<p>Anmerkung: Für kombiniertes Brettschichtholz gelten die Gleichungen für die Eigenschaften der einzelnen Querschnittsbereiche. Es wird vorausgesetzt, dass Bereiche mit unterschiedlichen Lamelleneigenschaften mindestens 1/6 der Trägerhöhe erfassen bzw. aus mindestens zwei Lamellen bestehen.</p>	

Tab. 3.4 Mechanische Eigenschaften von Brettschichtholz (in N/mm²)

Der Einfluss der Größe des Bauteils (Größeneffekt) auf die Festigkeit darf berücksichtigt werden.

Für rechteckige Brettschichtholzquerschnitte beträgt die Bezugshöhe bei einer Biegebeanspruchung oder die Bezugsbreite bei einer Zugbeanspruchung 600 mm. Für kleinere Höhen bei Biegebeanspruchung bzw. Breiten bei Zugbeanspruchung des Brettschichtholzes dürfen die charakteristischen Werte für $f_{m,k}$ und $f_{t,0,k}$ mit den Faktor k_h gemäß der nachfolgenden Gleichung multipliziert werden:



$$k_h = \min \left\{ \begin{array}{l} \left(\frac{600}{h} \right)^{0,1} \\ 1,1 \end{array} \right. \quad (3.2)$$

wobei h die Querschnittshöhe bei biegebeanspruchten oder die Breite bei zugbeanspruchten Bauteilen bezeichnet und in mm einzusetzen ist.

Generalkeilzinkenstöße haben die Anforderungen nach EN 387 einzuhalten und dürfen nicht für Bauteile eingesetzt werden in denen sich die Faserrichtung des Holzes in der Verbindung ändert und deren Verwendung in Nutzungsklasse 3 vorgesehen ist.

Der Einfluss der Bauteilgröße (Größeneffekt) bei Beanspruchungen auf Zug rechtwinklig zur Faserrichtung ist zu berücksichtigen.

3.4 Furnierschichtholz (LVL)

Furnierschichtholz (LVL) das für tragende Bauteile Verwendung findet hat den Anforderungen von EN 14374 zu entsprechen.

Für rechteckige Furnierschichtholzquerschnitte bei denen im Wesentlichen alle Furnierlagen in eine Richtung orientiert sind, ist der Einfluss der Querschnittgröße des Bauteiles für die Biege- und Zugfestigkeit in dieser Richtung zu berücksichtigen.

Die Bezugshöhe bei Biegebeanspruchung ist 300 mm. Für andere Höhen als 300 mm ist der charakteristische Wert für $f_{m,k}$ mit dem nachfolgend angegebenen k_h zu multiplizieren:

$$k_h = \min \left\{ \begin{array}{l} \left(\frac{300}{h} \right)^s \\ 1,2 \end{array} \right. \quad (3.2)$$

Es bedeuten:

h Höhe des Bauteiles in mm,

s Exponent des Größeneffektes gemäß den nachstehenden Festlegungen.

Die Bezugslänge bei Zugbeanspruchung beträgt 3000 mm. Für Längen die von dieser Länge abweichen ist der charakteristische Wert für $f_{t,0,k}$ mit dem nachfolgend angeführten Faktor k_l zu multiplizieren:



$$k_l = \min \left\{ \begin{array}{l} \left(\frac{3000}{l} \right)^{s/2} \\ 1,1 \end{array} \right. \quad (3.2)$$

Es bedeuten:

l die Länge in mm.

Der Exponent für den Größeneffekt für Furnierschichtholz (LVL) ist den Festlegungen in EN 14374 zu entnehmen.

Generalkeilzinkenstöße haben die Anforderungen nach EN 387 einzuhalten und dürfen nicht für Bauteile eingesetzt werden in denen sich die Faserrichtung des Holzes in der Verbindung ändert und deren Verwendung in Nutzungsklasse 3 vorgesehen ist.

Für Furnierschichtholz (LVL) bei dem im Wesentlichen alle Furnierschichten in einer Richtung orientiert sind ist der Einfluss der Bauteilgröße auf die Zugfestigkeit rechtwinklig zur Faserrichtung in der Berechnung zu berücksichtigen.

3.5 Holzwerkstoffe

Holzwerkstoffe müssen den Anforderungen nach EN 13986 entsprechen. Wird LVL als plattenförmig beanspruchtes Bauteil eingesetzt sind die Festlegungen nach EN 14279 einzuhalten.

Die Verwendung von weichen Holzfaserverleimplatten entsprechen EN 622-4 ist im Allgemeinen auf Windaussteifungen zu beschränken. Die Bemessung ist auf Basis von Versuchen durchzuführen.

3.6 Klebstoffe

Klebstoffe für lastabtragende Zwecke müssen solche Eigenschaften aufweisen, dass die damit hergestellten Verbindungen eine Festigkeit und Dauerhaftigkeit aufweisen, welche in der vorgesehenen Nutzungsklasse während der gesamten festgelegten Nutzungsdauer des Bauwerkes voll erhalten bleibt.

Klebstoffe, die den Anforderungen nach EN 301 – Typ I entsprechen, dürfen in allen Nutzungsklassen eingesetzt werden.

Klebstoffe, die den Anforderungen nach EN 301 – Typ II entsprechen, dürfen lediglich für Bauteile in den Nutzungsklassen 1 und 2 werden, und auch nur in jenen Fällen, in denen gewährleistet ist, dass diese nicht über längere Zeiträume Temperaturen von über 50°C ausgesetzt sind.

3.7 Metallische Verbindungsmittel

Stiftförmige Verbindungsmittel aus Metall müssen den Anforderungen gemäß EN 14592, Verbindungsmittel aus Metall jenen nach EN 14545 entsprechen.



4 Klebstoffe

Zur Zeit ist lediglich eine harmonisierte europäische Norm für die Klassifizierung von Klebstoffen für lastabtragende Zwecke, die EN 301 „Klebstoffe für tragende Holzbauteile – Phenoplaste und Aminoplaste – Klassifizierung und Leistungsanforderungen“ verfügbar. Die zugehörige Prüfnorm wurde in der Normenreihe EN 302 „Klebstoffe für tragende Holzbauteile – Prüfverfahren“ aufgelegt. Diese beiden Normen beinhalten lediglich Regelungen für Klebstoffe auf Basis von Phenoplasten und Aminoplasten.

Diese Klebstoffe sind dabei in zwei Gruppen unterteilt:

- Typ I – Klebstoffe, die für den Einsatz in allen Umgebungsbedingungen, insbesondere im Außenbereich und für Temperaturen über 50°C geeignet sind und
- Typ II – Klebstoffe, die in beheizten und durchlüfteten Gebäuden, bei Schutz gegen Außenbewitterung bzw. bei kurzzeitiger Bewitterung und bei Temperaturen bis zu höchstens 50°C eingesetzt werden können.

Gemäß EN 1995-1-1 bzw. Eurocode 5 erfüllen derzeit lediglich Klebstoffe nach EN 301 die entsprechenden Anforderungen für lastabtragende Bauteile.

Aktuell verwendete und verfügbare Klebstofftypen- bzw. -arten werden im Folgenden kurz aufgelistet:

- Resorcinformaldehyd (RF)- und Phenolresorcinformaldehyd (PRF)-Harzklebstoffe
RF's und PRF's sind Klebstoffe vom Typ I nach EN 301. Sie werden für die Brettschichtholzherstellung, für Generalkeilzinkenstöße, zur Produktion von I- und Kastenquerschnitten usw. im Innen- und Außenbereich eingesetzt.
- Phenolformaldehyd (PF)-Harzklebstoffe für die Heißverklebung
PF-Klebstoffe für die Heißverklebung entsprechen nicht den Anforderungen nach EN 301.
- Phenolformaldehyd (PF)-Harzklebstoffe für die Kaltverklebung
PF-Klebstoffe für die Kaltverklebung genügen zwar den Anforderungen nach EN 301, die derzeit am Markt erhältlichen Typen haben jedoch Probleme, die Anforderungen der „Säurebeständigkeit“ nach EN 302-3 zu erfüllen.



– Harnstoffformaldehyd (UF)-Harzklebstoffe

Nur die Untergruppe der UF-Harzklebstoffe für die Kaltverklebung sind für lastabtragende Zwecke geeignet. Im Brandfall neigen die Vertreter dieser Klebstoffgruppe zur Delaminierung. UF-Klebstoffe für lastabtragende Zwecke werden den Typ II-Klebstoffen nach EN 301 zugeordnet.

– Melaminharnstoffformaldehyd (MUF)-Harzklebstoffe

Die Klebstoffe dieses Typs für die Kaltverklebung erfüllen die Anforderungen nach EN 301. Sie weisen jedoch oftmals eine geringere Beständigkeit gegenüber den diversen Beanspruchungen als Resorcinharzleime auf und sind z.B. für den Bootsbau bzw. die Einwirkung von Seewasser geeignet. Aus Wirtschaftlichkeitsgründen und wegen der hellen bzw. transparenten Farbe werden sie jedoch häufig verwendet.

– Kaseinleime

Kaseinleime sind die ältesten bekannten Klebstoffe für lastabtragende Zwecke und wurden vor 1920 für die Brettschichtholzherstellung eingesetzt. Kaseinleime erfüllen nicht die Anforderungen nach EN 301.

– Epoxidharzklebstoffe

Epoxidharzklebstoffe weisen sehr gute Eigenschaften in Bezug auf die fugenfüllende Verklebung von Holzbauteilen auf. Sie haben sehr gute Festigkeits- und Steifigkeitskennwerte und die Wetterbeständigkeit liegt zwischen jenen der MUF- und PRF-Klebstoffe.

– Zweikomponenten-Polyurethanklebstoffe

Diese Klebstoffe haben gute Festigkeits- und Dauerhaftigkeitseigenschaften. Die praktische Erfahrung zeigt jedoch, dass zumindest manche Typen dieser Gruppe, nicht wetterbeständig sind.



5 Dauerhaftigkeit

Holz, als biogenes Material, ist, wie Stahl und Eisen gegenüber Korrosion, anfällig gegenüber Angriffen natürlicher Organismen und Pilzen. Unter optimalen Bedingungen halten entsprechend ausgebildete und detaillierte Holztragwerke natürlichen Angriffen über Jahrhunderte stand. Bei weniger optimalen Bedingungen benötigen jedoch viele in großem Umfang verbaute Holzarten eine besondere holzschutzmäßige Behandlung, insbesondere gegenüber Angriffen durch Pilzen und Insekten.

5.1 Dauerhaftigkeit gegenüber biologischen Organismen und Holzersetzung

Holz und Holzwerkstoffe haben entweder eine entsprechende natürliche Dauerhaftigkeit entsprechend EN 350-2 entsprechend den Gefährdungsklassen (definiert in EN 335-1, EN 335-2 und EN 335-3) aufzuweisen oder sind mit Holzschutzmaßnahmen gemäß EN 351-1 und EN 460 zu behandeln.

Anmerkung 1:

Holzschutzmaßnahmen können die Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften beeinflussen.

Anmerkung 2:

Regeln für die Einteilung von Holzschutzmaßnahmen sind in EN 350-2 und EN 355 angegeben.

Metallische Verbindungsmittel und andere lastabtragende Verbindungsmittel müssen, falls erforderlich, entweder aus korrosionsbeständigem Material bestehen oder mit einem Korrosionsschutz versehen sein.



Beispiele für Mindestkorrosionsanforderungen und Baustoffanforderungen für die verschiedenen Nutzungsklassen sind der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen:

Verbindungsmittel	Nutzungsklasse ^b		
	1	2	3
Nägels und Schrauben mit $d \leq 4$ mm	keine	Fe / Zn 12c ^a	Fe / Zn 25c ^a
Bolzen, Stabdübel, Nägel und Holzschrauben mit $d > 4$ mm	keine	keine	Fe / Zn 25c ^a
Klammern	Fe / Zn 12c ^a	Fe / Zn 12c ^a	nichtrostender Stahl
Nagelplatten und Stahlbleche bis 3 mm Dicke	Fe / Zn 12ca	Fe / Zn 12ca	nichtrostender Stahl
Stahlbleche über 3 mm bis zu 5 mm Dicke	keine	Fe / Zn 12ca	Fe / Zn 25ca
Stahlbleche über 5 mm Dicke	keine	keine	Fe / Zn 25ca

^a Bei Feuerverzinkungen ist in der Regel Fe/Zn 12c durch Z275 und Fe/Zn 25c durch Z350 nach EN 10147 zu ersetzen.

^b Bei besonders korrosionsexponierten Bedingungen sollte der Einsatz dickerer Feuerverzinkungen oder nichtrostender Stähle in Betracht gezogen werden.

Tab. 5.1 Beispiele für Mindestanforderungen an Baustoffe oder Korrosionsschutz für Verbindungsmittel (in Anlehnung an ISO 2081)

5.2 Dauerhaftigkeit gegenüber biologischen Angriffen

Die beiden Hauptursachen für Holzschädigungen durch biologische Angriffe sind einerseits Pilz- und Insektenbefall, wobei zu erwähnen bleibt, dass Holz auch durch Meerestiere angegriffen werden kann.

– Pilzbefall

tritt an Bauholz mit einem hohen Holzfeuchtegehalt, besonders zwischen 20 % und 30 %, auf.

– Insektenbefall

wird durch erhöhte Umgebungstemperaturen begünstigt, welche die Entwicklungs- und Ansiedlungsbedingungen für die Insekten fördern.



5.3 Gefährdungsklassen

Die unterschiedlichen Feuchtebelastungen bzw. deren Gefährdungspotenzial sind in EN 1995-1-1 (EC 5) und EN 335-1 „Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten – Definition von Gefährdungsklassen für einen biologischen Befall – Teil 1: Allgemeines“ in unterschiedlicher Form definiert. In EN 1995-1-1 ist eine Einteilung in drei Nutzungsklassen vorgesehen abgestuft nach der Leistungsfähigkeit des Holzes bei verschiedenen Holz (-gleichgewichts) -feuchten statt (siehe Kapitel 2).

In EN 335-1 sind fünf Gefährdungsklassen in Abhängigkeit vom Risiko des biologischen Befalls festgelegt, welche in der Folge kurz beschrieben werden:

– Gefährdungsklasse 1

Situationen, in der das Holz oder die Holzprodukte in feuchtegeschützter Umgebung (z.B. unter einer Überdachung) eingesetzt wird; es vor einer Wetterbeanspruchung vollständig geschützt ist und keiner Befeuchtung ausgesetzt werden kann.

– Gefährdungsklasse 2

Situationen, in der das Holz oder die Holzprodukte in feuchtegeschützter Umgebung (z.B. unter einer Überdachung) eingesetzt wird, in der aber eine hohe Umgebungsfeuchte auftritt, die zu einer gelegentlichen, aber nicht andauernden Befeuchtung führen kann.

– Gefährdungsklasse 3

Situationen, in der das Holz oder die Holzprodukte nicht überdacht sind, aber sich nicht in Erdkontakt befinden. Es ist entweder ständig der Witterung ausgesetzt oder ist vor der Witterung geschützt, wird aber häufig befeuchtet.

– Gefährdungsklasse 4

Situationen, in denen sich das Holz oder die Holzprodukte in Kontakt mit Erde oder Süßwasser befindet und so ständig einer Befeuchtung ausgesetzt ist.

– Gefährdungsklasse 5

Situationen, in denen das Holz oder die Holzprodukte ständig Meerwasser ausgesetzt sind.

5.4 Schutz vor Pilzbefall

Durch eine sorgfältige Konstruktion der Details, insbesondere hinsichtlich einer Holzfeuchtereduktion kann das Risiko eines Pilzbefalls von Holztragwerken deutlich vermindert werden.

5.5 Schutz vor Insektenbefall

In erster Linie sollte ein Schutz vor Insektenbefall durch eine geeignete Auswahl hinsichtlich der natürlichen Widerstandsfähigkeit gegen Insektenbefall der verwendeten Holzart günstig beeinflusst werden. Außerdem sollte überprüft werden, ob die entsprechenden Insektenarten gegenüber denen das Holz resistent ist in der Region auftreten.



6 Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit

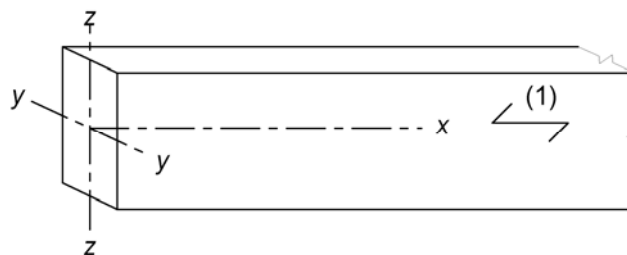
Weltweit werden Tragwerke aus Holz im Allgemeinen auf Basis einer elastischen Berechnung bemessen und nachgewiesen. Dieses Vorgehen ist für Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit, der näherungsweise die Tragfähigkeit des Bauwerkes innerhalb eines kurzen Nutzungszeitraumes (wie z.B. eines Jahres) repräsentiert, sehr gut geeignet. Aber auch für die Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit, welche das Versagen des Tragwerkes unter einer extremen Beanspruchungssituation nachbilden soll, sind elastische Berechnungen des Tragverhaltens bestens geeignet.

6.1 Querschnittsnachweise für in / um eine Richtung beanspruchte Bauteile

Dieser Kapitel behandelt die Nachweisführung einfacher Bauteile die durch eine Einzelbeanspruchung belastet sind.

6.1.1 Allgemeines

Abschnitt 6.1 behandelt geradlinige Vollholz- und Brettschichtholzbauteile sowie lastabtragende Holzwerkstoffbauteile mit konstantem Querschnitt, deren Faserrichtung im Wesentlichen in der Richtung der Stablängsachse orientiert ist. Es wird angenommen, dass die Bauteile lediglich in / um eine ihrer Hauptachsen beansprucht wird (siehe Abb. 6.1).



Legende:

(1) Faserrichtung des Holzes

Abb. 6.1 Achsrichtung der Bauteile



6.1.2 Zug in Faserrichtung

Auf zugbeanspruchte Bauteile sind im Allgemeinen über die gesamte Länge und den gesamten Querschnitt beansprucht, d.h. das jedes Volumenelement bzw. Bereich des Bauteiles das Potenzial besitzt bruchauslösend zu werden. Demgegenüber ist beispielsweise ein biegebeanspruchter Bauteil, der durch eine Gleichlast beansprucht wird, in Längsrichtung lediglich durch ein Biegemoment beansprucht, das vom Wert Null an den Rändern zum Maximalwert in Feldmitte ansteigt. Damit liegt der kritische Bereich hinsichtlich Biegezugbeanspruchung in der Nähe der Feldmitte und lediglich eine Hälfte des Querschnittes ist auf Zug beansprucht. Als Folge ist das Volumen, das lastauslösende Fehlstellen beinhaltet, im Vergleich mit einem auf reinen Zug beanspruchten Stab stark eingeschränkt.

Die Inhomogenitäten und anderen Abweichungen vom ideal orthotropen Baustoff, die für Bauholz charakteristisch sind, werden oftmals als Holzfehler bezeichnet. Wie erwähnt führen diese Holzfehler zu großen Festigkeitseinbußen bei Zugbeanspruchung in Faserrichtung. Für Nadelholz (Fichte, Kiefer, ...) variieren diese typischerweise im Mittel zwischen $f_{t,0} = 10$ bis 35 N/mm^2 .

In EN 1995-1-1 (EC 5) werden die charakteristischen Zugfestigkeitswerte von Vollholz parallel zu Faserrichtung auf eine Bezugsbreite von 150 mm bezogen. Für Breiten von zugbeanspruchten Vollholzbauteilen von weniger als 150 mm dürfen die charakteristischen Werte mit dem Faktor k_h multipliziert werden.

Für Brettschichtholz beträgt die Bezugsbreite 600 mm und kann, analog zum Vollholz, für Breiten kleiner als 600 mm mit dem Faktor k_h multipliziert werden.

Für lange Bretter und Bohlen mit reiner Zugbeanspruchung kann sowohl der Größeneffekt (Längeneffekt) und die über die Länge des Bauteiles variierende Zugfestigkeit in der Bemessung berücksichtigt werden.

Die folgende Gleichung ist zu erfüllen:

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

Dabei ist:

$\sigma_{t,0,d}$ Bemessungswert der Zugspannung in Faserrichtung,

$f_{t,0,d}$ Bemessungswert der Zugfestigkeit in Faserrichtung

6.1.3 Zug rechtwinklig Faserrichtung

Holz weist bei einer Beanspruchung auf Zug rechtwinklig zur Faserrichtung die geringsten Festigkeiten aller Beanspruchungsarten auf. In Bauteilen aus Holz sind Beanspruchungen dieser Art zu vermeiden oder jedenfalls so gering als möglich gehalten werden.

Der Einfluss der Bauteilgröße ist im Zuge der Bemessung zu berücksichtigen.

6.1.4 Druck in Faserrichtung

Bei einer Beanspruchung im Grenzzustand auf Druck in Faserrichtung wird die maximale Tragfähigkeit entweder durch ein Baustoffversagen (siehe Abb. 6.2) oder Ausknicken von „Holzsäulen“ auf. Im Unterschied zum spröden, explosionsartigen Versagen bei zugbeanspruchten Holzbauteilen tritt das Druckversagen leise und stufenartig ein. Das Ausknicken von „Holzsäulen“ ist leise, weil es eigentlich kein Materialversagen darstellt und das „Zerquetschen“ ist verbunden mit Knistergeräuschen. Es ist jedoch zu beachten, dass trotz des „leisen“ Versagens bei dieser Beanspruchungsart Bauteile teilweise oder auch ganz ausfallen können und somit eine Gefahr für Leib und Leben darstellen. Beide möglichen Versagensmodi sind somit mit der gleichen Ernsthaftigkeit zu betrachten, wie es bei den wesentlich dramatischeren Zug- und Biegeversagen erforderlich ist.

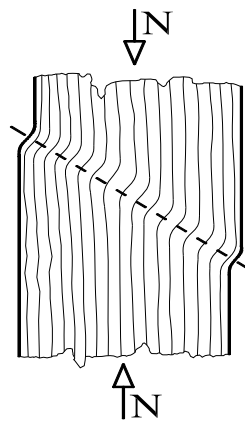


Abb. 6.2 Versagensmechanismus eines auf Druck in Faserrichtung beanspruchten Bauteils

Die Druckfestigkeit parallel zur Faserrichtung wird durch Wuchsunregelmäßigkeiten beeinflusst und beträgt für übliche Nadelhölzer rund $f_{c,0} = 25$ bis 40 N/mm^2 . Dabei wird die erreichbare Festigkeit durch die Testmethode beeinflusst. Wenn der Probekörper zwischen zwei steifen, nicht gelenkig gelagerten (End-) Platten kann das lokale Versagen einiger Holzfasern durch Umlagerung auf den Restquerschnitt ausgeglichen werden. Dies führt zu höheren mittleren Spannungen als es für Prüfungen mit gelenkig gelagerten Lastenleitungsplatten der Fall wäre.

Die folgende Bedingung ist zu erfüllen:

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

Dabei ist:

$\sigma_{c,0,d}$ Bemessungswert der Druckspannung in Faserrichtung,

$f_{c,0,d}$ Bemessungswert der Druckfestigkeit in Faserrichtung

Anmerkung:

Regeln für die Nachweisführung stabilitätsgefährdeter, stabförmiger Bauteile sind in Abschnitt 6.3 angeführt.

6.1.5 Druck rechtwinklig zur Faserrichtung

Die Tragfähigkeit einer Auflagerung oder unter einer Lasteinleitung ist eine Funktion der Zusammendrückbarkeit der Holzfasern. Bei Erreichen der „Quetschgrenze“ treten lokale Eindrückungen bzw. Einpressungen auf. Diese Beanspruchungsart ist ausgeprägt duktil, obwohl in Ausnahmefällen im Lagerungsbereich Zerstörungen von Holzfasern auftreten, die Sekundärbrüche auf Grund von Querkzugbeanspruchung auslösen können.

Die Tragfähigkeit bei Querdruckbeanspruchung ist in komplexer Weise von der Kontaktfläche abhängig. Beansprucht eine Stütze eine Schwelle rechtwinklig zur Faserrichtung variiert die Tragfähigkeit in Abhängigkeit von Ort und Art der Lasteintragung, je nachdem ob die beanspruchten Flächen durch ein- oder zweiseitige Holzfasern „gestützt“ werden.

Diese Erscheinung wird auch anschaulich als „Einhängeeffekt“ bezeichnet. Abb. 6.3 zeigt querdruckbeanspruchte Kontaktfläche mit starken Einpressungen. Der Einfluss von Strukturmerkmalen, wie der Äste, Schrägfasrigkeit usw. auf die Festigkeit rechtwinklig zur Faserrichtung ist klein.

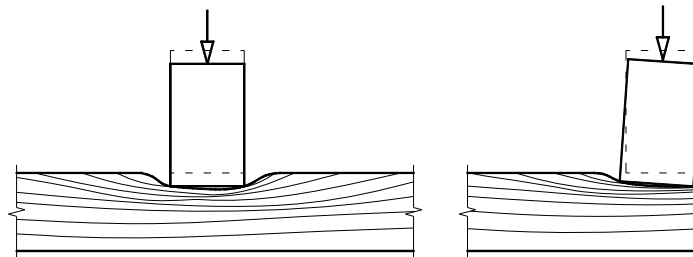


Abb. 6.3 „Einhängeeffekte“ bei Auflagerungen und Lasteinleitungen

Es ist die folgende Bedingung zu erfüllen:

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

Dabei ist:

$\sigma_{c,90,d}$ Bemessungswert der Druckspannung in der Kontaktfläche rechtwinklig zur Faserrichtung,

$f_{c,0,d}$ Bemessungswert der Druckfestigkeit rechtwinklig zur Faserrichtung,

$k_{c,90}$ Beiwert zur Berücksichtigung der Art der Einwirkung, der Spaltgefahr und des Grades der Druckverformung

Der Wert für $k_{c,90}$ ist im Allgemeinen mit 1,0 anzunehmen. Falls die Anordnung der Bauteile den Fällen der folgenden Abschnitte entsprechen dürfen auch höhere Werte, bis zu maximalen Wert von $k_{c,90} = 4,0$ angenommen werden.

Anmerkung:

Falls ein höherer Wert für $k_{c,90}$ in der Berechnung berücksichtigt wird und die Kontaktfläche über die volle Bauteilbreite b reicht können die damit verbundenen Eindrückungen im Grenzzustand der Tragfähigkeit einen Wert von ungefähr 10 % der Bauteilhöhe zu erwarten.

Für einen frei aufliegenden Biegestab (siehe Abb. 6.4) ist der Beiwert $k_{c,90}$ aus den folgenden Gleichungen zu ermitteln:

- wenn der Abstand der Auflagerung vom Ende des Balkens $a \leq h/3$ ist:

$$k_{c,90} = \left(2,38 - \frac{l}{250} \right) \cdot \left(1 + \frac{h}{12 \cdot l} \right) \quad (6.4)$$

- alle Innenstützen:

$$k_{c,90} = \left(2,38 - \frac{l}{250} \right) \cdot \left(1 + \frac{h}{6 \cdot l} \right) \quad (6.5)$$

Dabei ist:

l Aufstandslänge in mm,

h Bauteilhöhe in mm.

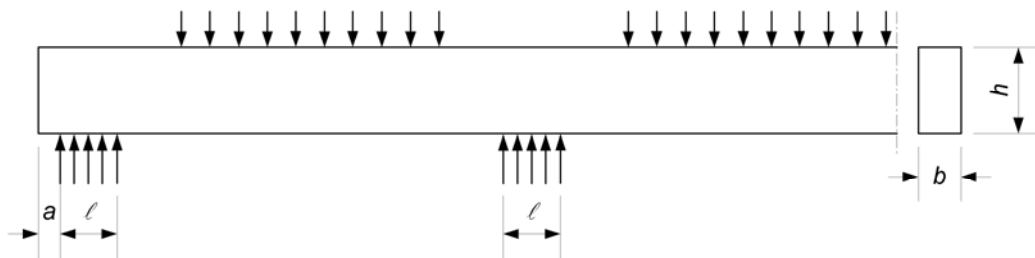


Abb. 6.4 Biegestab auf Stützen

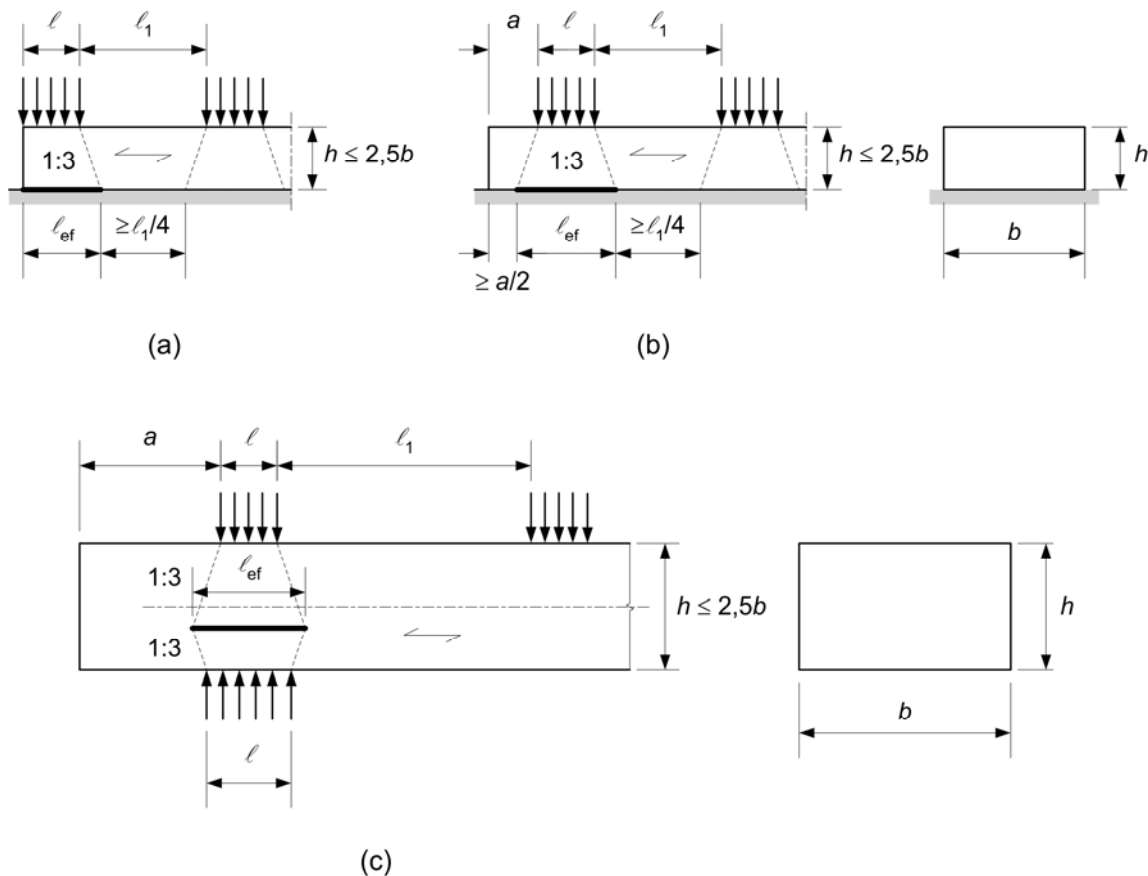
Für einen Bauteil mit einer Höhe $h \leq 2,5 \cdot b$, bei dem eine konzentrierte Last mit einer Kontaktfläche über die gesamte Bauteilbreite b auf eine direkt gegenüberliegende Lagerungsfläche übertragen wird, ist der Beiwert $k_{c,90}$ entsprechend der nachfolgenden Gleichung zu ermitteln (siehe Abb. 6.5):

$$k_{c,90} = \left(2,38 - \frac{l}{250} \right) \cdot \left(\frac{l_{ef}}{l} \right)^{0,5} \tag{6.6}$$

Es bedeuten:

l_{ef} wirksame Verteilungslänge in mm, siehe (5) unten;

h Bauteilhöhe in mm, siehe Bild 6.3 .



Legende:
(a) und (b) kontinuierliche Lagerung
(c) Einzellagerungen

Abb. 6.5 Bestimmung der wirksamen Länge für einen Bauteil mit $h/b \leq 2,5$



Die wirksame Lastverteilungslänge l_{ef} ist mit Hilfe einer Spannungsausbreitungslinie mit einer vertikalen Neigung von 1:3 über die Höhe h ermittelt werden, wobei die so erhaltene Abmessung um einen Abstand $a/2$ von jedem Ende oder einem Abstand $l_1 / 4$ von jeder benachbarten Druckfläche zu vermindern ist (siehe Abb. 6.6).

Für die speziellen, nachfolgend dargestellten Laststellungen ergibt sich die wirksame Länge wie folgt:

- für am Ende des Bauteiles aufgebrachte Lasten

$$l_{ef} = l + \frac{h}{3} \quad (6.7)$$

- für den Fall, dass der Abstand der konzentrierten Last einen Abstand $a \geq 2/3 \cdot h$ vom Ende des Bauteiles aufweist (siehe Abb. 6.5 b)

$$l_{ef} = l + \frac{2 \cdot h}{3} \quad (6.8)$$

Dabei ist:

h der größere Wert aus der Bauteilhöhe in mm oder mindestens 40 mm

Für Bauteile auf Einzelauflagerungen, bei denen die Bedingungen $a \geq h$ und $l_1 \geq 2 \cdot h$ (siehe Abb. 6.5 c) eingehalten sind, ist die wirksame Länge wie folgt zu bestimmen:

$$l_{ef} = 0,5 \cdot \left(l + l_s + \frac{2 \cdot h}{3} \right) \quad (6.9)$$

Dabei ist:

h der größere Wert aus der Bauteilhöhe in mm oder mindestens 40 mm

Für Bauteile mit einer Höhe $h > 2,5 \cdot b$, die durch zwei, an den gegenüberliegenden Seiten angreifende, konzentrierte Kräfte (siehe Abb. 6.6 b) oder durch eine konzentrierte Kraft auf der einen und eine kontinuierliche Auflagerung auf der anderen Seite auf Querdruck beansprucht sind ist der Beiwert $k_{c,90}$ mit Gleichung 6.10 zu ermitteln, wobei vorausgesetzt wird, dass die folgenden Bedingungen eingehalten sind:

- die aufgebrachte Druckkraft wirkt über die volle Bauteilbreite b ,
- die Kontaktlänge l ist kleiner als der größere Wert von h oder 400 mm:



$$k_{c,90} = \frac{l_{ef}}{l} \quad (6.10)$$

Es bedeuten:

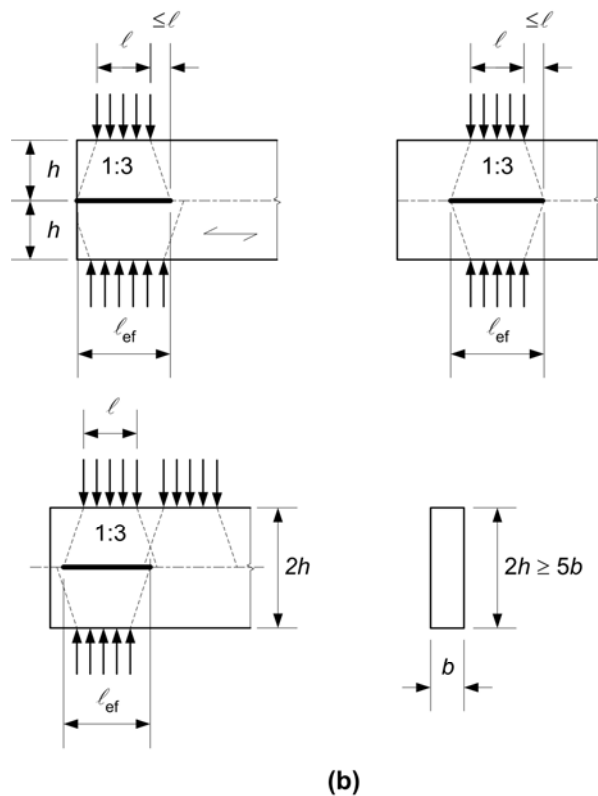
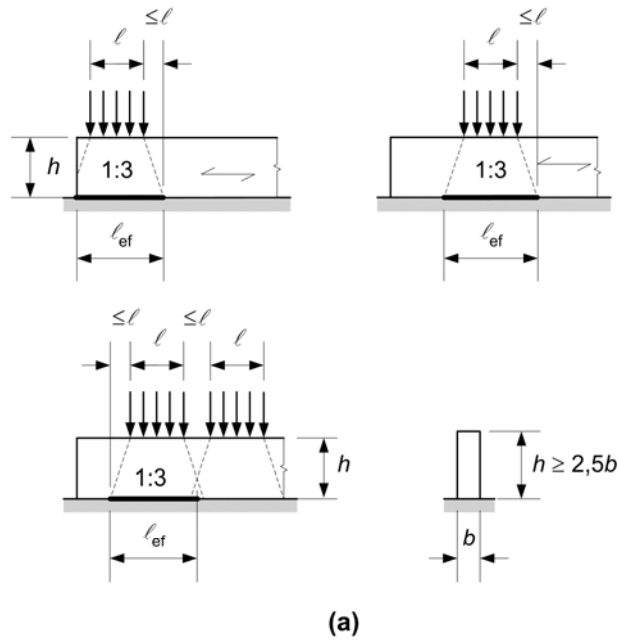
l Kontaktlänge aus Abb. 6.6,

l_{ef} wirksame Länge gemäß Abb. 6.6 .

Die wirksame Lastverteilungslänge sollte die Kontaktlänge an beiden Seiten um nicht mehr als l überschreiten.

Für Bauteile, deren Höhe über den Auflagern linear veränderlich sind (z.B. Untergurte von Fachwerken am Traufpunkt), ist die über den Auflagerlinien liegenden Bauteilhöhe als h heranzuziehen und die wirksame Lastverteilungslänge l_{ef} gleich der Kontaktlänge l anzusetzen.

Wichtig ! In den Ergänzungen zu EN 1995-1-1 / A1 sind abgeänderte Regeln angeführt.
Siehe dazu auch Kapitel 13.



Legende:
(a) und (b) kontinuierliche Unterstützung
(c) Einzelabstutzungen

Abb. 6.6 Bestimmung der wirksamen Lastverteilungslänge für ein Bauteil mit $h/b > 2,5$



6.1.6 Biegung

Die häufigste, in der Praxis auftretende, Beanspruchungsart eines Stabes ist die einachsige Biegung. Wirken die abzutragenden Kräfte nicht in der Ebene der Hauptachsen, so tritt im Biegebalken zweiachsige Biegung auf (d.h. Biegung um beide, die größere und die kleinere Hauptachse). Zusätzlich können noch Normalkräfte auf Zug oder Druck eingeleitet werden, die eine zusätzliche kombinierte Spannungskomponente bewirken. Für Biegebalken mit zweiachsiger Biegung sind die folgenden beiden Anforderungen zu erfüllen:

Es sind die folgenden Bedingungen einzuhalten:

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

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

Es bedeuten:

$\sigma_{m,y,d}$ und $\sigma_{m,z,d}$ Bemessungswerte der Biegespannungen um die Hauptachsen (siehe Bild 6.1)

$f_{m,y,d}$ und $f_{m,z,d}$ zugehörige Bemessungswerte der Biegefestigkeiten.

Anmerkung:

Der Faktor k_m berücksichtigt eine (mögliche) Spannungumlagerung infolge von Inhomogenitäten des Baustoffes im betrachteten Querschnitt.

Der Faktor k_m ist wie folgt zu berücksichtigen:

Für Bauteile aus Vollholz, Brettschichtholz und Furnierschichtholz (LVL)

- mit rechteckigem Querschnitt: $k_m = 0,7$
- für alle anderen Querschnittsformen: $k_m = 1,0$

Für andere Holzwerkstoffe für lastabtragende Zwecke und alle Querschnittsformen: $k_m = 1,0$.

Zusätzlich ist eine Überprüfung des Bauteil Nachweises durchzuführen.

6.1.7 Schub

Werden in Bauteilen Momente durch quer zur Stabachse wirkende Einwirkungen erzeugt treten entsprechend der Elastizitätstheorie auch Schubspannungen auf. Auf Grund des Satzes der zugeordneten Schubspannungen treten die quer zur Stabachse wirkenden immer mit zugehörigen, in Stabachse wirkenden Schubspannungen auf.

Sowohl für Schub mit einer Spannungskomponente parallel zur Faserrichtung (siehe Abb. 6.7 a), als auch für Schub mit beiden Spannungskomponenten rechtwinklig zur Faserrichtung (siehe Abb. 6.7 b) ist die folgende Bedingung einzuhalten:

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

wobei:

τ_d Bemessungswert der Schubspannung,

$f_{v,d}$ Bemessungswert der Schubfestigkeit für die jeweilige Bedingung

Anmerkung:

Die Rollschubfestigkeit beträgt rund das Doppelte der Zugfestigkeit rechtwinklig zur Faserrichtung.

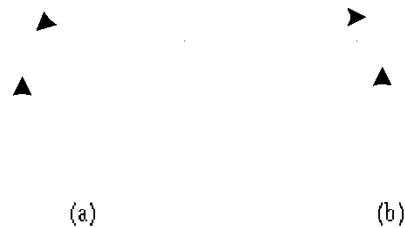


Abb. 6.7 (a) Bauteil mit einer Schubspannungskomponenten in Faserrichtung, (b) Bauteil mit beiden Spannungskomponenten rechtwinklig zur Faserrichtung (Rollschub)

An Auflagern darf der Beitrag zur Querkraft einer Einzellast F , die auf der Oberseite des Biegebalkens innerhalb eines Abstandes h oder h_{ef} vom Auflagerende auftritt unberücksichtigt bleiben (siehe Abb. 6.8). Für Biegestäbe mit einer Ausklinkung über dem Auflager darf diese Reduktion der Querkraft nur angewendet werden, wenn die Ausklinkung an der, dem Auflager gegenüberliegenden Seite angreift.

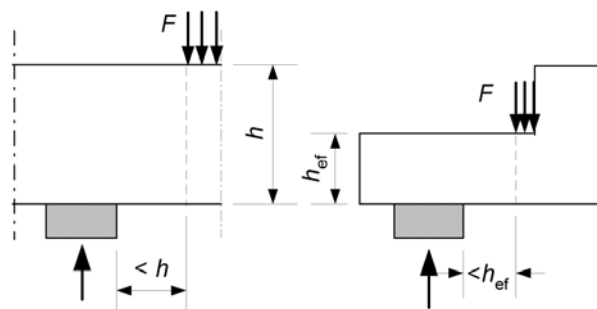


Abb. 6.8 Geometrische Bedingungen für das Auflager, für das die Einzellasten F in der Berechnung der Querkraft vernachlässigt werden darf



Anmerkung:

Wichtig ! In den Ergänzungen zu EN 1995-1-1 / A1 sind abgeänderte Regeln angeführt. Siehe dazu auch Kapitel 13.

6.1.8 Torsion

Torsionsspannungen treten auf wenn aufgebrauchte Einwirkungen zum Verdrillen des Bauteiles entlang von dessen Längsachse führen. Dies tritt auf, wenn z.B. in einen Biegestab Lasten exzentrisch in Bezug auf dessen Querschnittsachse angreifen. Ebenso kann durch eine horizontal wirkende Kraft über einen Exzenterstab eine Kombination aus Schub und Torsion im Bauteil hervorgerufen werden.

Die nachfolgend angeführten Bedingungen sind einzuhalten:

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

mit

$$k_{shape} = \begin{cases} 1,2 & \text{für éinen runden Querschnitt} \\ \min \left\{ \begin{array}{l} 1 + 0,15 \cdot \frac{h}{b} \\ 2,0 \end{array} \right. & \text{für éinen rechteckigen Querschnitt} \end{cases} \quad (6.15)$$

Es bedeuten:

$\tau_{tor,d}$	Bemessungswert der Torsionsspannung
$f_{v,d}$	Bemessungswert der Schubfestigkeit,
k_{shape}	Beiwert in Abhängigkeit von der Querschnittsform
h	größere Querschnittsabmessung,
b	kleinere Querschnittsabmessung

6.2 Nachweise für Querschnitte unter Spannungscombination

Die Nachweisführung vieler Bauteile beschränkt sich auf Einwirkungen von Einzelbeanspruchung wie Biegung, Zug oder Druck. In der Praxis treten jedoch auch vielfach Beanspruchungen durch zwei oder mehrere gleichzeitig wirkende Einwirkungen auf, für im nachfolgenden Bemessungsregeln angegeben sind.

6.2.1 Annahmen

Die Festlegungen von Abschnitt 6.2 gelten für gerade Stäbe aus Vollholz, Brettschichtholz oder lastabtragende Holzwerkstoffbauteile mit konstantem Querschnitt deren Holzfaserrichtung im Wesentlichen in Richtung der Längsachse des Stabes orientiert sind. Es wird angenommen, dass die Bauteile durch Spannungen, welche aus kombinierten

Einwirkungen oder Spannungen die in Richtung von zwei oder drei Hauptachsen wirken, beansprucht sind.

6.2.2 Druck unter einem Winkel zur Faserrichtung

Die Interaktion von Druckspannungen in zwei oder mehr Richtungen ist zu berücksichtigen.

Die Druckspannungen unter einem Winkel α zur Faserrichtung (siehe Abb. 6.9) haben der folgenden Bedingung zu genügen:

$$\sigma_{c,\alpha,d} \leq \frac{f_{c,0,d}}{\frac{f_{c,0,d}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad (6.16)$$

Es bedeuten:

$\sigma_{c,\alpha,d}$ Druckspannung unter einem Winkel zur Faserrichtung

$k_{c,90}$ Beiwert nach 6.1.5, der den Einfluss der Spannungen rechtwinklig zur Faserrichtung berücksichtigt.

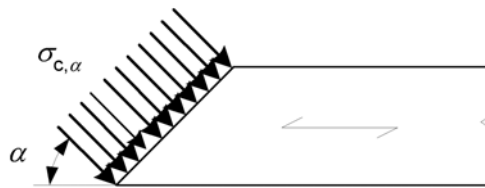


Abb. 6.9 Druckspannungen unter einem Winkel zur Faserrichtung

6.2.3 Biegung und Zug

Die nachfolgenden Bedingungen sind einzuhalten:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (6.17)$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (6.18)$$

Für k_m sind die Werte nach 6.1.6 verwenden.



6.2.4 Biegung und Druck

Die nachfolgenden Bedingungen sind einzuhalten:

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (6.19)$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (6.20)$$

Für k_m sind die Werte nach 6.1.6 verwenden.

Anmerkung:

Eine Methode zur Überprüfung der Stabilität der Bauteile ist in 6.3 angegeben.

6.3 Stabilität von Bauteilen

6.3.1 Allgemeines

Wird ein schlanker Stab durch eine in Achsrichtung einwirkende Druckkraft beansprucht, tritt in diesem eine Tendenz auf seitlich auszuweichen (Abb. 6.10). Diese Instabilitätserscheinung wird als (Biege-) Knicken bezeichnet. Die Tragfähigkeit von schlanken Bauteilen hängt dabei nicht nur von der Festigkeit des Baustoffes sondern auch von dessen Steifigkeit, im Falle von Druckstäben aus Holz vorwiegend von der Biegesteifigkeit, ab. Aus diesem Grund ist der Elastizitätsmodul, neben der Druck- und Biegefestigkeit, eine wichtige Baustoffeigenschaft für die Tragfähigkeit von schlanken Druckstäben. Die durch das seitliche Ausweichen auftretenden, zusätzlichen Biegespannungen sind im Zuge des Bauteilnachweises zu berücksichtigen.

Beim Nachweis von Biegestäben, bei denen es in erster Linie auf eine ausreichenden Tragfähigkeit und Steifigkeit auf Biegung um die Hauptachse ankommt, wird üblicherweise das Verhalten in der vertikalen Ebene betrachtet. Das führt zu einer Querschnittsform, bei der die Steifigkeit um eine (Haupt-) Achse wesentlich größer als jene um die zweite (Haupt-) Achse ist. Wenn ein schlanker Bauteil in Richtung der steiferen Achse beansprucht wird (in achsialer Richtung bei einem Druckstab) tritt eine Tendenz auf in Richtung der weicheren Achse auszuweichen (durch seitliches Ausweichen im Falle eines Druckstabes). Der Widerstand eines gelenkig gelagerten und durch Biegemomente um die vertikale Ebene beanspruchten Balkens gegen dieses seitliche Ausweichen wird als Biegedrillknicken (Kippen im Falle reiner Momentenbeanspruchung) bezeichnet. Beim Biegedrillknicken kommt es dabei zu einer Querverformung des Stabes aus der Ebene und einem Verdrillen des Querschnittes (Abb. 6.11).



Abb. 6.10 Beidseitig gelenkig gelagerter, unverschieblich gehaltener Druckstab

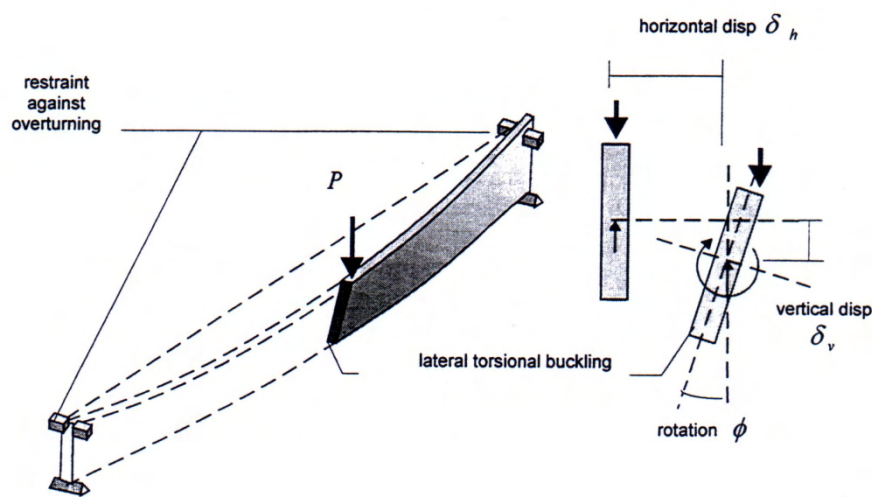


Abb. 6.11 Kippen eines beidseitig gabelgelagerten Biegeträgers

6.3.2 Annahmen

Die Biegespannungen aus einer spannungslosen Vorverformung und Anfangskrummungen, aus Ausmittigkeiten und eingepragten Durchbiegungen sind zusätzlich zu einwirkenden Querlasten zu berücksichtigen.

Für die Nachweise gegen Knicken und Biegedrillknicken sind die charakteristischen Eigenschaften, z.B. $E_{0,05}$ zu verwenden.

Die Stabilität für Stützen, die durch Druck oder eine kombinierte Einwirkung aus Druck und Biegung beansprucht werden, ist nach den Bestimmungen von Abschnitt 6.3.2 nachzuweisen.

Die Stabilität von Biegeträgern, die durch Biegung oder Druck und Biegung beansprucht werden, ist nach den Bestimmungen von Abschnitt 6.3.3 nachzuweisen.

6.3.3 Nachweisführung von Druckstäben bei reiner Druckkraft oder einer Kombination aus Druck und Biegung

Die relative Schlankheit ergibt sich aus:

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

und

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

Es bedeuten:

λ_y und $\lambda_{rel,y}$ Schlankheit bzw. bezogene Schlankheit für Biegung um die y-Achse (Ausbiegung in z-Richtung),

λ_z und $\lambda_{rel,z}$ Schlankheit bzw. bezogene Schlankheit für Biegung um die z-Achse (Ausbiegung in y-Richtung),

$E_{0,05}$ 5%-Quantil des Elastizitätsmoduls in Faserrichtung

Sind sowohl $\lambda_{rel,z} \leq 0,3$ als auch $\lambda_{rel,y} \leq 0,3$ sind die Spannungsnachweise 6.19 und 6.20 aus Abschnitt 6.2.4 einzuhalten.

In allen anderen Fällen haben die Spannungen, die sich durch die Durchbiegung erhöhen, den folgenden Gleichungen zu genügen:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (6.23)$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (6.24)$$

mit den Definitionen für die Variablen:

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

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



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

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

Es bedeuten:

β_c Imperfektionsbeiwert für Imperfektionen nach 10.2.1 (1)

$$\beta_c = \begin{cases} 0,2 & \text{für Vollholz} \\ 0,1 & \text{für Brettschichtholz und Furnierschichtholz (LVL)} \end{cases} \quad (6.29)$$

k_m Werte nach 6.1.6

6.3.4 Nachweisführung von Biegestäben bei Momentenbeanspruchung oder einer Kombination aus Biegung und Druck

Die Stabilität eines Biegestabes gegen Biegedrillknicken ist sowohl für den Fall einer reinen Momentenbeanspruchung (M_y) um die starke Achse (y-Achse) also auch für eine kombinierte Beanspruchung auf Biegung (Biegemoment M_y) und Drucknormalkraft (N_c) nachzuweisen.

Der bezogene Kippschlankheitsgrad ist dabei wie folgt zu berechnen:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} \quad (6.30)$$

Dabei ist:

$\sigma_{m,crit}$ kritische Biegespannung nach der klassischen Stabilitätstheorie, berechnet mit den 5%-Quantilwerten der Steifigkeiten.

Die kritische Biegespannung ergibt sich dabei zu:

$$\sigma_{m,crit} = \frac{M_{y,crit}}{W_y} = \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_z \cdot G_{0,05} \cdot I_{tor}}}{l_{ef} \cdot W_y} \quad (6.31)$$

wobei:

$E_{0,05}$ 5%-Quantilwert des Elastizitätsmodul parallel zur Faserrichtung,

$G_{0,05}$ 5%-Quantilwert des Schubmoduls parallel zur Faserrichtung,

I_z Flächenmoment 2. Grades um die schwächere Achse (z-Achse),

I_{tor} Torsionsträgheitsmoment,



l_{ef} wirksame Länge des Biegestabes, abhängig von den Lagerungsbedingungen und der Art der Lasteinwirkung nach Tab. 6.1 ,

W_y Widerstandsmoment um die starke Achse (y-Achse)

Für Nadelhölzer mit vollem, rechteckigem Querschnitt ist $\sigma_{m,crit}$ wie folgt zu berechnen:

$$\sigma_{m,crit} = \frac{M_{y,crit}}{W_y} = \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_z \cdot G_{0,05} \cdot I_{tor}}}{l_{ef} \cdot W_y} \quad (6.32)$$

wobei:

b Breite des Querschnittes,

h Höhe des Querschnittes.

Für den Fall einer reinen Momentenbeanspruchung M_y um die starke Achse (y-Achse) müssen die Spannungen der folgenden Gleichung genügen:

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} \cdot f_{m,d} \quad (6.32)$$

Es bedeuten:

$\sigma_{m,d}$ Breite des Querschnittes,

$f_{m,d}$ Höhe des Querschnittes,

k_{crit} Beiwert zur Berücksichtigung der zusätzlichen Spannungen infolge seitlichen Ausweichens

Art des Biegestabes	Art der Belastung	l_{ef} / l^a
Einfach gestützt	Konstantes Biegemoment	1,0
	Gleichmäßig verteilte Belastung	0,9
	Einzellast in Feldmitte	0,8
Auskragend	Gleichmäßig verteilte Belastung	0,5
	Einzellast am frei Kragende	0,8

^a Das Verhältnis zwischen der effektiven Länge l_{ef} und der Spannweite l ist gültig für Biegebalken mit einer Gabellagerung an den Enden des Trägers ausreichend gegen Verdrehen gehalten ist und einer in der Schwerachse des Querschnittes angreifenden Belastung. Wenn die Belastung am Druckrand des Biegeträgers eingeleitet wird ist l_{ef} um $2 \cdot h$ zu vergrößern. Für den Fall der Kräfteinleitung am Zugrand ist l_{ef} um $0,5 \cdot h$ zu verringern.

Tab. 6.1 Effektive Länge als Verhältnis der Spannweite

Bei Biegeträgern mit einer spannungslosen seitlichen Vorkrümmung innerhalb der in Abschnitt 10 festgelegten Grenzen darf k_{crit} mit Hilfe der nachfolgenden Gleichung bestimmt werden:

$$k_{crit} = \begin{cases} 1 & \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m} & \text{für } 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} & 1,4 < \lambda_{rel,m} \end{cases} \quad (6.32)$$

Für Biegeträger, bei denen ein seitliches Ausweichen über die gesamte Länge verhindert wird und die an den Auflager gegen Verdrehen (Gabellagerung) gesichert sind darf der Faktor k_{crit} mit 1,0 in Rechnung gestellt werden.

Für Fälle, in denen eine Kombination aus einer Momentenbeanspruchung M_y um die y -Achse und einer Druckkraft (N_c), auftritt ist die folgende Bedingung zu erfüllen:

$$\sigma_{m,crit} = \frac{M_{y,crit}}{W_y} = \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_z \cdot G_{0,05} \cdot I_{tor}}}{l_{ef} \cdot W_y} \quad (6.32)$$



Dabei ist:

$\sigma_{m,d}$	Bemessungswert der Biegespannung,
$\sigma_{c,d}$	Bemessungswert der Druckspannung,
$f_{c,0,d}$	Bemessungswert der Druckfestigkeit in Faserrichtung,
$k_{c,z}$	Beiwert nach Gleichung 6.26

6.4 Nachweise für Querschnitte in Bauteilen mit veränderlichem Querschnitt oder gekrümmter Form

Bedingt durch die baupraktischen Erfordernisse hinsichtlich des Bereiches der Abmessungen der Querschnitte und –formen sowie der Trägerlängen wird für die verschiedenen Träger in einem umfangreichen Maße Brettschichtholz eingesetzt. Mit diesem Produkt ist es ohne größere Probleme möglich die in diesem Abschnitt im Weiteren behandelten Pult- und Satteldachträger, sowie gekrümmte Träger in wirtschaftlicher Weise herzustellen.

Nur in seltenen Fällen kommt für die genannten Trägerarten Vollholz zum Einsatz. Dies ist in erster Linie durch die Schwierigkeiten bedingt mit diesem Baustoff entsprechende Querschnittsgrößen und Trägerlängen zu erreichen und die auftretenden Momentenbeanspruchungen um die starke Achse zuverlässig abzutragen.

6.4.1 Allgemeines

Die kombinierte Beanspruchung durch Normalkräfte und Biegemomente ist in der Bemessung zu berücksichtigen.

Die relevanten Nachweise nach Abschnitte 6.2 und 6.3 sollten geführt werden bzw. sind zu überprüfen.

Die Spannung in einem, durch eine Normalkraft beanspruchten Querschnitt ist nach der folgenden Gleichung zu berechnen:

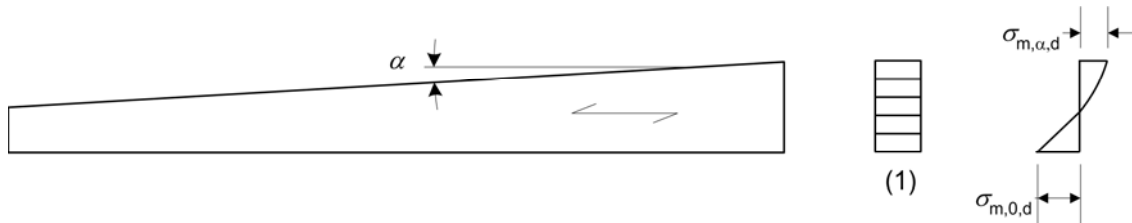
$$\sigma_N = \frac{N}{A} \quad (6.32)$$

Es bedeuten:

σ_N	Normalspannung
N	Normalkraft,
A	Querschnittsfläche,

6.4.2 Pulldachträger

Der Einfluss des Faseranschnittwinkels auf die Spannungen am angeschnittenen Rand ist zu berücksichtigen.



Legende:
(1) Querschnitt

Abb. 6.12 Pulldachträger

Die Bemessungswerte der Biegespannungen $\sigma_{m,\alpha,d}$ und $\sigma_{m,0,d}$ (siehe Abb. 6.12) sind wie folgt zu bestimmen:

$$\sigma_{m,\alpha,d} = \sigma_{m,0,d} = \frac{6 \cdot M_d}{b \cdot h^2} \quad (6.37)$$

An den außenliegenden Holzfasern des angeschnittenen Randes ist die folgende Bedingung einzuhalten:

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

Es bedeuten:

$\sigma_{m,\alpha,d}$ Bemessungswert der Biegespannung unter einem Winkel zur Faserrichtung,

$f_{m,d}$ Bemessungswert der Biegefestigkeit,

$k_{m,\alpha}$ Beiwert, der wie folgt zu berechnen ist:

– für Zugspannungen parallel zum angeschnittenen Rand

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

- für Druckspannungen parallel zum angeschnittenen Rand

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

6.4.3 Satteldachträger, gekrümmte Träger und Satteldachträger mit gekrümmten Untergurt

Dieser Bestimmungen dieses Abschnittes sind ausschließlich für Bauteile aus Brettschichtholz und Furnierschichtholz (LVL) anzuwenden.

Die Anforderungen von Abschnitt 6.4.2 gelten für die geraden Bereiche des Biegestabes mit angeschnittenen Holzfasern.

Im Firstbereich (siehe Abb. 6.13) müssen die Biegespannungen den folgenden Anforderungen genügen:

$$\sigma_{m,d} \leq k_r \cdot f_{m,d} \quad (6.41)$$

Dabei ist:

k_r Beiwert zur Berücksichtigung der verminderten Festigkeit infolge des Biegens der Lamellen während der Herstellung

Anmerkung:

Bei gekrümmten Trägern und Satteldachträgern mit gekrümmten Untergurt reicht der Firstbereich über den gekrümmten Bereich des Trägers

Die Biegespannung im Firstbereich ist dabei mit der folgenden Gleichung zu ermitteln:

$$\sigma_{m,d} = k_l \cdot \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot h_{ap}^2} \quad (6.42)$$

mit:

$$k_l = k_1 + k_2 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r} \right) + k_3 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^2 + k_4 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^3 \quad (6.43)$$



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

$$k_2 = 0,35 - 8 \cdot \tan \alpha_{ap} \quad (6.45)$$

$$k_3 = 0,6 + 8,3 \cdot \tan \alpha_{ap} - 7,8 \cdot \tan^2 \alpha_{ap} \quad (6.46)$$

$$k_4 = 6 \cdot \tan^2 \alpha_{ap} \quad (6.47)$$

$$r = r_{in} + 0,5 \cdot h_{ap} \quad (6.48)$$

wobei:

$M_{ap,d}$ Bemessungsmoment im Firstquerschnitt,

h_{ap} Höhe des Biegestabes im First (siehe Abb. 6.13),

b Trägerbreite,

r_{in} Innenradius (siehe Abb. 6.13),

α_{ap} Ansnittswinkel im Firstbereich (siehe Bild 6.13)

Für Satteldachträger mit geradem Untergurt ist der Beiwert $k_r = 1,0$. Für gekrümmte Träger (mit konstantem Querschnitt) und für Satteldachträger mit gekrümmten Untergurt ist k_r nach den folgenden Gleichungen zu berechnen:

$$k_r = \begin{cases} 1 & \text{für } \frac{r_{in}}{t} \geq 240 \\ 0,76 + 0,001 \cdot \frac{r_{in}}{t} & \text{für } \frac{r_{in}}{t} < 240 \end{cases} \quad (6.49)$$

Dabei ist:

r_{in} Innenradius (siehe Abb. 6.13),

t Lamellendicke.

Im Firstbereich ist für den Bemessungswert der größten Zugspannung rechtwinklig zur Faserrichtung $\sigma_{t,90,d}$ die folgende Bedingung einzuhalten:

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



mit

$$k_{vol} = \begin{cases} 1,0 & \text{für} & \text{Vollholz} \\ \left(\frac{V_0}{V}\right)^{0,2} & \text{für} & \text{Brettschichtholz und Furnierschichtholz mit} \\ & & \text{allen Furnieren in Richtung der Stabachse} \end{cases} \quad (6.51)$$

$$k_{dis} = \begin{cases} 1,4 & \text{für} & \text{Satteldachträger mit geradem Untergurt und} \\ & & \text{konzentrisch gekrümmte Träger mit gekrümmten} \\ & & \text{Untergurt} \\ 1,7 & \text{für} & \text{Satteldachträger mit gekrümmten Untergurt} \end{cases} \quad (6.52)$$

Dabei ist:

- k_{dis} Beiwert zur Berücksichtigung der Spannungsverteilung im Firstbereich,
- k_{vol} Volumenfaktor,
- $f_{t,90,d}$ Bemessungswert der Zugfestigkeit rechtwinklig zur Faserrichtung,
- V_0 Bezugsvolumen ($V_0 = 0,01 \text{ m}^3$)
- V querzugbeanspruchtes Volumen im Firstbereich in m^3 (siehe Abb. 6.13),
wobei dieses nicht größer als mit $2/3 \cdot V_b$, wobei V_b das gesamte Volumen
des Trägers in m^3 ist.

Für eine kombinierte Beanspruchung durch Zug rechtwinklig zur Faserrichtung und Schub ist die folgende Bedingung zu erfüllen:

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} + \frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d}} \leq 1 \quad (6.53)$$

Es bedeuten:

- τ_d Bemessungswert der Schubspannung,
- $f_{v,d}$ Bemessungswert der Schubfestigkeit,
- $\sigma_{t,90,d}$ Bemessungswert der Zugspannung rechtwinklig zur Faserrichtung,
- k_{dis} und k_{vol} Beiwerte nach 6.51 und 6.52



Die größte Zugspannung rechtwinklig zur Faserrichtung auf Grund der Momentenbeanspruchung ist wie folgt zu berechnen:

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

oder alternativ zu Gleichung 6.54 mit:

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \cdot \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot h_{ap}^2} - 0,6 \cdot \frac{p_d}{b} \quad (6.55)$$

Es bedeuten:

p_d Gleichförmig verteilte (Auf-) Last im (oberen) Bereich des Biegeträgers über den Firstbereich wirkend,

b Trägerbreite,

$M_{ap,d}$ Bemessungswert des Momentes im Firstbereich, welches Zugspannungen rechtwinklig zur Faserrichtung hervorruft

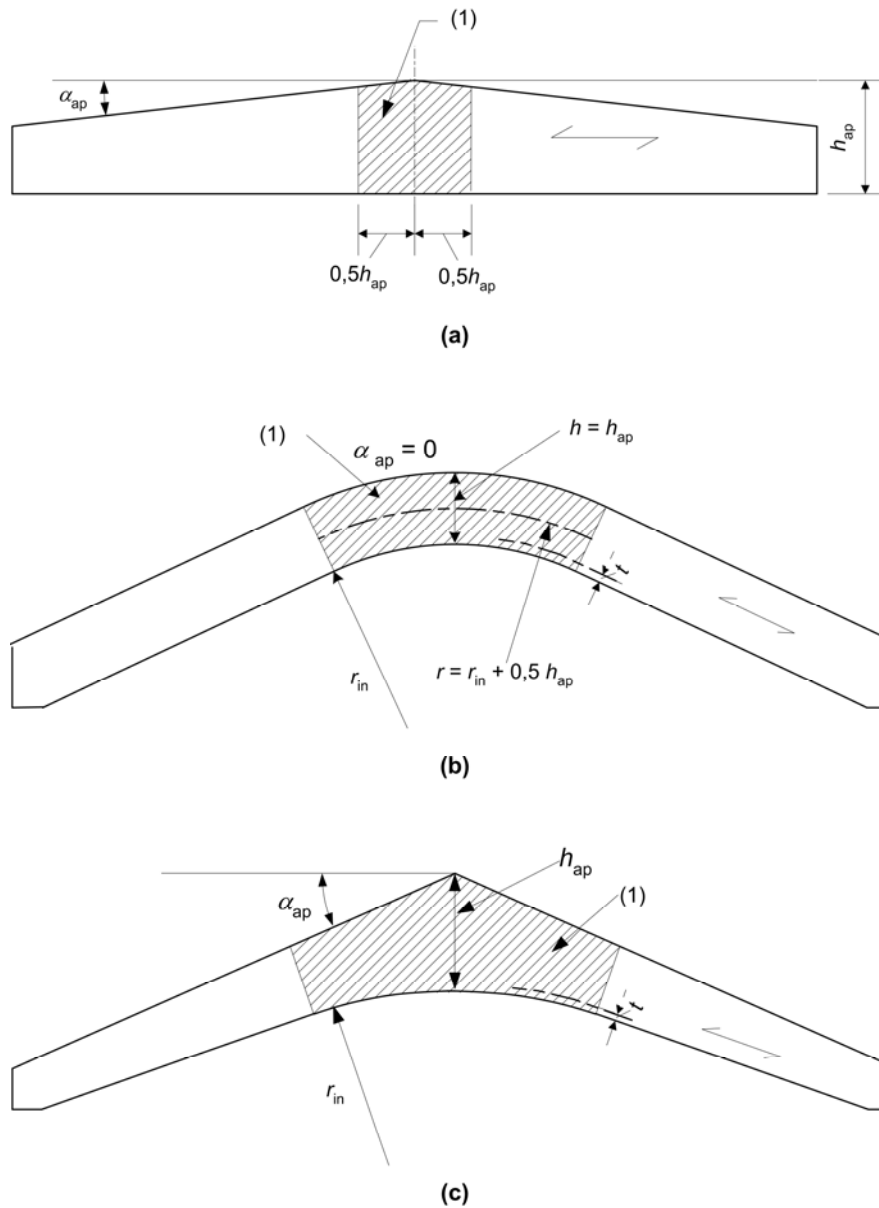
mit:

$$k_p = k_5 + k_6 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r} \right) + k_7 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^2 \quad (6.56)$$

$$k_5 = 0,2 \cdot \tan \alpha_{ap} \quad (6.57)$$

$$k_6 = 0,25 - 1,5 \cdot \tan \alpha_{ap} + 2,6 \cdot \tan^2 \alpha_{ap} \quad (6.58)$$

$$k_7 = 2,1 \cdot \tan \alpha_{ap} - 4 \cdot \tan^2 \alpha_{ap} \quad (6.59)$$



Legende:

(1) Firstbereich

Anmerkung:

Bei gekrümmten Trägern und Satteldachträgern mit gekrümmten Untergurt reicht der Firstbereich über den gekrümmten Bereich des Trägers

Abb. 6.13 Satteldachträger mit geradem Untergurt (a), gekrümmter Träger (b) und Satteldachträger mit gekrümmten Untergurt (c) mit einer Faserrichtung des Holzes in Richtung des unteren Randes des Biegestabes

6.5 Ausgeklinkte Bauteile

6.5.1 Allgemeines

Für den Nachweis der Tragfähigkeit sind die Auswirkungen von Spannungskonzentrationen durch Ausklinkungen zu berücksichtigen.

Der Einfluss von Spannungskonzentrationen im Bereich von Ausklinkungen kann für die folgenden Fälle unberücksichtigt bleiben:

- Zug oder Druck parallel zu Faserrichtung,
- Biegung mit Zugspannungen im Bereich der Ausklinkung, wenn der Answinkel nicht größer als $1:i = 1:10$ ist, d.h. $i \geq 10$ (siehe Abb. 6.14 a),
- Biegung mit Druckspannungen in der Ausklinkung (siehe Abb. 6.14 b),

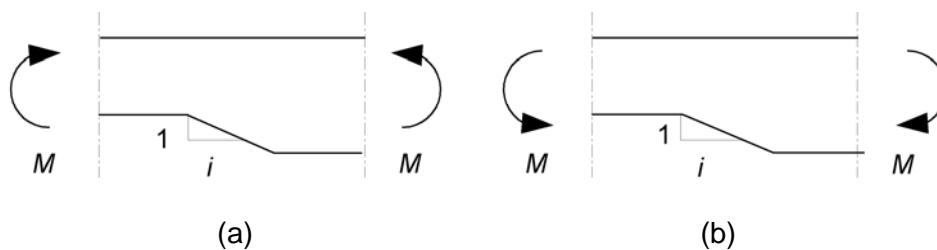


Abb. 6.14 Biegung an einer Ausklinkung: a) mit Zugspannungen an der Ausklinkung, b) mit Druckspannungen an der Ausklinkung

6.5.2 Biegestäbe mit Ausklinkungen am Auflager

Für Biegeträger mit einem rechteckigen Querschnitt und im Wesentlichen parallel zur Bauteilachse verlaufenden Faserrichtung sind die Schubspannungen am ausgeklinkten Auflager unter Verwendung der wirksamen (reduzierten) Höhe h_{ef} zu führen (siehe Abb. 6.15).

Es ist nachzuweisen, dass die folgende Bedingung eingehalten ist:

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

Wobei k_v ein Abminderungsbeiwert mit folgender Definition ist:

- Für Biegeträger mit einer Ausklinkung an der dem Auflager gegenüberliegenden Seite (siehe Abb. 6.15 b),

$$k_v = 1,0 \quad (6.61)$$

- Für Biegeträger mit einem, auf der Seite der Ausklinkung liegenden, Auflager (siehe Abb. 6.15 a),

$$k_v = \min \left\{ \frac{k_n \cdot \left(1 + \frac{1,1 \cdot i^{1,5}}{\sqrt{h}} \right)}{\sqrt{h} \cdot (\sqrt{\alpha \cdot (1-\alpha)}) + 0,8 \cdot \frac{x}{h} \cdot \sqrt{\frac{1}{\alpha} - \alpha^2}} \right. \quad (6.61)$$

wobei:

i Neigung (Anschnittwinkel) der Ausklinkung (siehe Abb. 6.15 a),

h Höhe des Biegestabes in mm,

x Abstand zwischen der Wirkungslinie des Auflagers und der Ecke der Ausklinkung;

$$\alpha = \frac{h_{ef}}{h}$$

$$k_n = \begin{cases} 4,5 & \text{Furnierschichtholz} \\ 5 & \text{für Vollholz} \\ 6,5 & \text{Brettschichtholz} \end{cases}$$

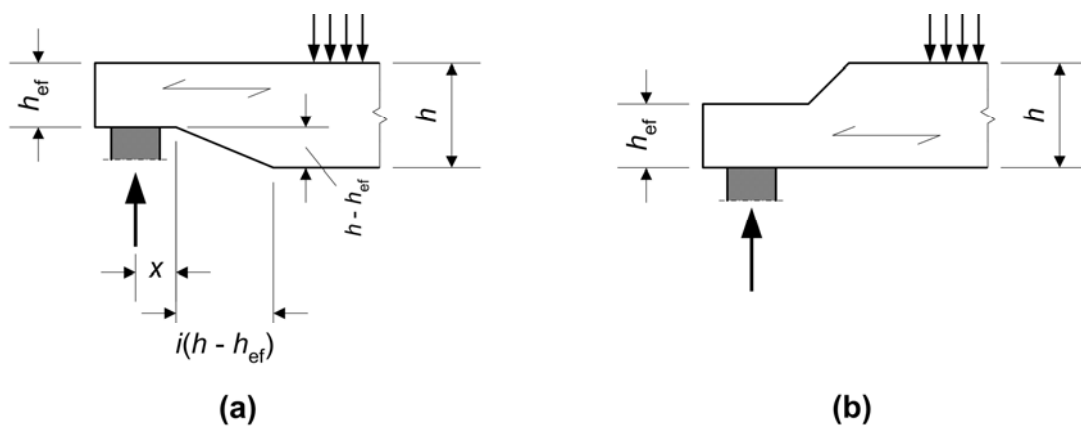


Abb. 6.15 Ausklinkungen an den Enden eines Biegeträgers

6.6 Systemfestigkeit

Sind mehrere, gleichartige Bauteile, Komponenten oder zusammengesetzte Querschnitte in gleichbleibenden Abständen angeordnet und in Querrichtung durch ein kontinuierliches Lastverteilungssystem miteinander verbunden dürfen die Festigkeitseigenschaften der Bauteile mit dem Systemfestigkeitsfaktor k_{sys} multipliziert werden.

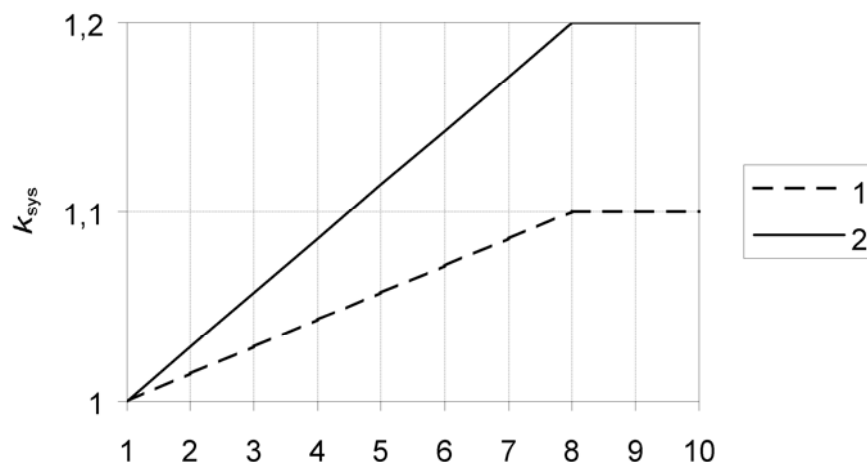
Unter der Voraussetzung, dass das kontinuierliche Lastverteilungssystem in der Lage ist die einwirkende Belastung zwischen den einzelnen Bauteilen zu übertragen ist der Faktor mit 1,10 in Rechnung zu stellen.

Der Nachweis der Beanspruchbarkeit des kontinuierlichen Lastverteilungssystems ist unter der Annahme einer kurzzeitigen Lasteinwirkungsdauer durchzuführen.

Anmerkung:

Für Sparren mit einem maximalen Abstand von 1,20 m kann angenommen werden, dass durch die Dachlatten, Pfetten und Verschalungen die Lasten zu den benachbarten Feldern übertragen werden können. Vorausgesetzt wird dabei, dass diese lastverteilenden Bauteile über mindestens zwei Felder reichen und auftretende Stöße versetzt angeordnet sind.

Für lamellierte Decken sind die Werte für k_{sys} nach Abb. 6.16 zu verwenden.



Legende:

- 1 vernagelte oder verschraubte Lamellen
- 2 quervorgespannte oder verklebte Lamellen

Abb. 6.16 Beiwert k_{sys} zur Berücksichtigung der Systemfestigkeit für geklebte Decken aus Voll- und Brettschichtholz



7 Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Im Rahmen der Nachweisführung haben Tragwerke grundsätzlich den Anforderungen von zwei wesentlichen Nachweisen zu entsprechen. Zum einen ist die Sicherheit der Tragstruktur, üblicherweise ausgedrückt durch die Tragfähigkeit, nachzuweisen und zum anderen sind die Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit zu erfüllen. Diese bezieht sich auf die Eignung des Bauwerkes bzw. der Bauteile die Funktion und das Aussehen im üblichen Gebrauch über die Nutzungsdauer in ausreichender Weise zu gewährleisten.

7.1 Nachgiebigkeit der Verbindungen

Für Verbindungen mit stiftförmigen Verbindungsmitteln und Dübel besonderer Bauart sind die Verschiebungsmoduln K_{ser} pro Scherfuge und Verbindungsmittel unter Gebrauchslast der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen, dabei sind ρ_m in kg/m^3 und d oder d_c in mm einzusetzen. Für die Definition von d_c siehe auch Abschnitt 8.9.

Verbindungsmittel	K_{ser}
Stabdübel Bolzen mit oder ohne Lochspiel ^a Schrauben Nägels (vorgebohrt)	$\frac{\rho_m^{1,5} \cdot d}{23}$
Nägels (nicht vorgebohrt)	$\frac{\rho_m^{1,5} \cdot d^{0,8}}{30}$
Klammern	$\frac{\rho_m^{1,5} \cdot d^{0,8}}{80}$
Ringdübel Typ A nach EN 912 Scheibendübel Typ B nach EN 912	$\frac{\rho_m \cdot d_c}{2}$
Scheibendübel mit Zähnen: - Dübeltyp C1 bis C9 nach EN 912 - Dübeltyp C10 und C11 nach EN 912	$\frac{1,5 \cdot \rho_m \cdot d_c}{4}$ $\frac{\rho_m \cdot d_c}{2}$
^a Das Lochspiel ist zusätzlich zu der Verschiebung hinzuzurechnen.	

Tab. 7.1 Werte für K_{ser} für stiftförmige Verbindungsmittel und Dübel besonderer Bauart in N/mm für Holz-Holz und Holzwerkstoff-Holz Verbindungen

Unterscheiden sich die Mittelwerte der Rohdichte $\rho_{m,1}$ und $\rho_{m,2}$ der beiden verbundenen Holz- bzw. Holzwerkstoffbauteile ist für ρ_m der nachfolgend angeführte Wert für die Berechnung zu verwenden.

$$\rho_m = \sqrt{\rho_{m,1} \cdot \rho_{m,2}} \quad (7.1)$$

Für Holz-Stahlblechverbindungen oder Verbindungen von Holz-Beton-Verbundkonstruktionen ist für K_{ser} unter Berücksichtigung von ρ_m für das Holzbauteil der doppelte Wert zu verwenden.

7.2 Grenzwerte für die Durchbiegung von Biegestäben

Auf Grund der Tatsache, dass veränderliche Einwirkungen (wie Nutzlasten auf Decken und Schneelasten auf Dächern) bei Holztragwerken in der Lastintensität oftmals dominieren, kommt es zu nicht zu vernachlässigenden Streuungen der Durchbiegungen im Zuge der Nutzungsdauer dieser Bauwerke. Diesem Umstand sollte in einer vernünftigen Festlegung von Grenzwerten für den Gebrauchstauglichkeitsnachweis Rechnung getragen werden.

Die Anteile der Verformung und ihre Bezeichnungen, welche aus der Einwirkungskombination herrühren, sind der nachfolgenden Abb. 7.1 zu entnehmen.

Es bedeuten:

- w_c Überhöhung (falls vorhanden);
- w_{inst} Anfangsdurchbiegung;
- w_{creep} Durchbiegung infolge Kriechens;
- w_{fin} Enddurchbiegung;
- $w_{net,fin}$ gesamte Enddurchbiegung (Enddurchbiegung abzüglich Überhöhung).

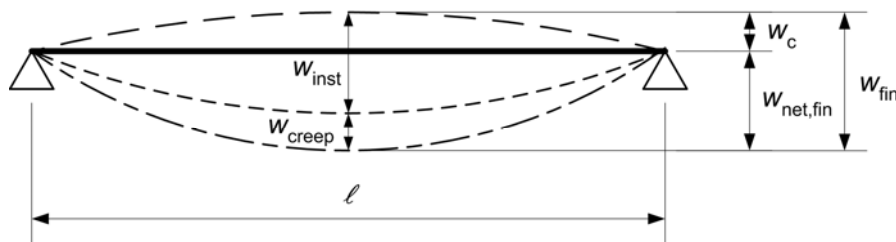


Abb. 7.1 Anteile der Durchbiegung

Die gesamte Enddurchbiegung bezogen auf eine die Auflager verbindenden Gerade $w_{net,fin}$ sollte wie folgt angenommen werden.

$$w_{net,fin} = w_{inst} + w_{creep} - w_c = w_{fin} - w_c \quad (7.2)$$



Anmerkung:

Der empfohlene Bereich der Verformungsgrenzwerte für Biegebalken der Spannweite l ist in der nachfolgenden Tabelle angegeben und hängt von der, als geeignet angesehenen, Verformungsgröße ab.

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

Tab. 7.2 Beispiele für Grenzwerte der Durchbiegung von Biegestäben

7.3 Schwingungen

In vielen Fällen werden durch die auftretenden Einwirkungen Schwingungen in Tragwerken induziert, welche zu einer reduzierten Gebrauchstauglichkeit führen können. Dies betrifft in erster Linie das Wohlbefinden der menschlichen Wahrnehmung, weil der Mensch häufig in der Lage ist bereits geringste Vibrationen zu fühlen. Unter den verschiedenen Möglichkeiten der Schwingungsanregung für Holzbauwerke sind insbesondere jene durch menschliche Aktivitäten sowie die durch Maschinen verursachten Schwingungsanregungen von praktischer Relevanz. Wobei die Ursachen der durch Menschen verursachten Schwingungen nicht nur durch den Fußauftritt beim Gehen, sondern auch das Springen von Kindern auf Decken usw. in Betracht gezogen werden muss. Zwei zu beachtende Anregungsarten sind daher für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit von besonderer Relevanz:

- Beeinflussung des menschlichen Wohlbefindens durch das Gehen
- Beeinflussung des menschlichen Wohlbefindens durch, von Maschinen verursachte Schwingungen.

7.3.1 Allgemeines

Es soll sichergestellt werden, dass durch die auftretenden Einwirkungen in den Bauteilen, den einzelnen Komponenten oder dem gesamten Bauwerk keine Schwingungserscheinungen auftreten, welche die Funktion der Tragstruktur beeinflussen oder nicht als akzeptabel erachtete Einschränkungen des menschlichen Wohlbefindens verursachen.

Das Schwingungsverhalten der betrachteten Tragstruktur soll durch Messung bestimmt oder durch Berechnung unter Einbeziehung der im eingebauten Zustand zu erwartenden Steifigkeit des Bauteiles, der Komponenten oder des Bauwerkes, sowie der Schwingungsdämpfung ermittelt werden.

Liegen keine genaueren Werte für die Berechnung vor ist für das modale Schwingungsmaß der Wert $\zeta = 0,01$ (d.h. 1 %) zu verwenden.



7.3.2 Durch Maschinen verursachte Schwingungen

Durch rotierende Bauteile von Maschinen oder andere Betriebseinrichtungen verursachte Schwingungen sind für die zu erwartenden, ungünstigsten Kombinationen von ständigen und veränderlichen Lasten zu begrenzen.

Für Deckenschwingungen kann ein zulässiges Maß für länger wirkende Einwirkungen aus Bild 5a im Anhang von ISO 2631-2 entnommen werden, wobei die dort angegebenen Werte mit dem Faktor 1,0 zu multiplizieren sind.

7.3.3 Wohnungsdecken

Für Wohnungsdecken mit einer Eigenfrequenz von gleich oder weniger als 8 Hz ($f_1 \leq 8$ Hz) sollten spezielle Untersuchungen vorgenommen werden.

Für Wohnungsdecken mit einer Eigenfrequenz größer 8 Hz ($f_1 > 8$ Hz) sollten die nachfolgend angeführten Anforderungen eingehalten werden:

$$\frac{w}{F} \leq a \quad \text{mm / kN} \quad (7.3)$$

und

$$v \leq b^{(f_1 \cdot \zeta - 1)} \quad \text{m / (Ns}^2) \quad (7.4)$$

Es bedeuten:

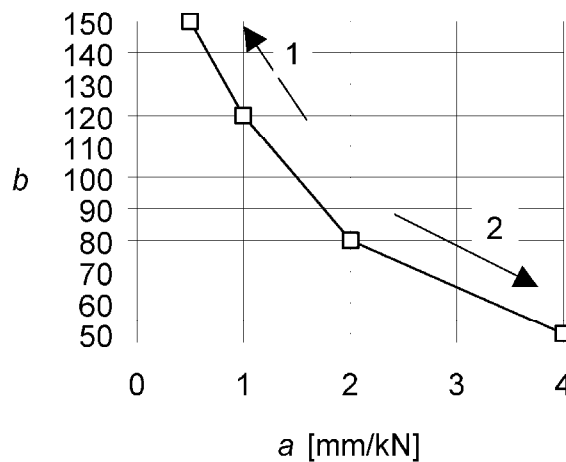
w größte vertikale Anfangsdurchbiegung infolge einer konzentrierten vertikalen statischen Einzellast F, an beliebiger Stelle wirkend und unter Berücksichtigung der Lastverteilung ermittelt;

v Einheitsimpulsgeschwindigkeit, d.h. der maximale Anfangswert der vertikalen Schwingungsgeschwindigkeitsamplitude der Decke (in m/s) infolge eines an derjenigen Stelle der Decke aufgetragenen idealen Einheitsimpulses (1 Ns), der die größte Eigenfrequenz erzeugt. Anteile über 40 Hz dürfen vernachlässigt werden.

ζ modaler Dämpfungsgrad

Anmerkung:

Der empfohlene Bereich der Grenzwerte a und b sowie den Zusammenhang zwischen a und b sind der nachfolgenden Abbildung zu entnehmen.



Legende:

(1) besseres Verhalten

(2) schlechteres Verhalten

Abb. 7.2 Empfohlener Bereich und Zusammenhang für die Parameter a und b

Die Berechnungen sind unter der Annahme durchzuführen, dass die Wohnungsdecke unbelastet ist, d.h. es ist nur das Eigengewicht und andere ständige Einwirkungen zu berücksichtigen.

Für rechteckige, an allen vier Rändern gelenkig gelagerte Decken mit den Gesamtabmessungen $l \times b$ und Holzträgern mit der Spannweite l kann die erste Eigenfrequenz f_1 näherungsweise mit der folgenden Formel berechnet werden:

$$f_1 = \frac{\pi}{2 \cdot l^2} \cdot \sqrt{\frac{(E \cdot I)_l}{m}} \quad (7.5)$$

Es bedeuten:

m Masse pro Flächeneinheit in kg / m^2 ;

l Deckenspannweite in m ;

$(E \cdot I)_l$ äquivalente Plattenbiegesteifigkeit der Decke um eine Achse rechtwinklig zur Balkenrichtung in Nm^2 / m



Für rechteckige, an allen vier Rändern gelenkig gelagerte Decken mit den Gesamtabmessungen $l \times b$ kann der Wert der Einheitsimpulsgeschwindigkeit v mit der folgenden Formel berechnet werden:

$$v = \frac{4 \cdot (0,1 + 0,6 \cdot n_{40})}{m \cdot b \cdot l + 200} \quad (7.6)$$

Es bedeuten:

- v Einheitsimpulsgeschwindigkeit in $\text{m} / (\text{Ns}^2)$;
 n_{40} Anzahl der Schwingungen 1. Ordnung mit Resonanzfrequenz bis 40 Hz;
 b Deckenbreite in m;
 m Masse pro Flächeneinheit in kg / m^2 ;
 l Deckenspannweite in m.

Der Wert für n_{40} darf mit der folgenden Formel berechnet werden:

$$n_{40} = \left\{ \left[\left(\frac{40}{f_1} \right)^2 - 1 \right] \cdot \left(\frac{b}{l} \right)^4 \cdot \frac{(E \cdot I)_l}{(E \cdot I)_b} \right\}^{0,25} \quad (7.7)$$

Dabei ist:

- $(E \cdot I)_b$ äquivalente Plattenbiegesteifigkeit der Decke in Nm^2 / m um eine Achse in Richtung der Balken, mit $(E \cdot I)_b < (E \cdot I)_l$.



8 Verbindungen mit metallischen Verbindungsmitteln

Die Gebrauchstauglichkeit und die Dauerhaftigkeit für tragende Holzkonstruktionen werden in wesentlichem Maße von den Verbindungen der einzelnen Elemente beeinflusst. Für die gängigen Verbindungen ist dabei zu unterscheiden zwischen zimmermannsmäßigen Verbindungen und Verbindungen mit mechanischen Verbindungsmitteln (ingenieurmäßigen), die mittels mehrerer Verbindungsmittelarten hergestellt werden können.

Für ein gegebenes Bauwerk wird die Wahl des Verbindungsmittelsystems nicht nur durch die Belastungsart und die Tragfähigkeiten, sondern zusätzlich durch ästhetische Anforderungen, Kosteneffizienz des Bauwerkes und Herstellungsbedingungen beeinflusst. Weiters sind die Errichtungsmethode und die Vorlieben des Tragwerkskonstruktors oder Architekten zu beachten. Es ist daher unmöglich eindeutige Festlegungen oder Regeln festzulegen, die eine Zuordnung von Tragwerk zu Verbindungsmittel ermöglicht. Die grundsätzliche Überlegung zur Verbindungstechnik lässt am Besten so ausdrücken: Je einfacher die Verbindung gestaltet ist und je weniger Verbindungsmittel benötigt werden desto besser ist im Allgemeinen die Tragstruktur.

Die traditionell verwendeten mechanischen Verbindungsmittel lassen sich, in Abhängigkeit wie die Kräfte zwischen den Verbindungsmitteln übertragen werden, prinzipiell in zwei Gruppen unterteilen:

Die Hauptgruppe bilden die stiftförmigen, auf Abscheren beanspruchten Verbindungsmittel. Die Kraftübertragung dabei sowohl durch die Biegebeanspruchung des Verbindungsmittels als auch durch Lochleibungs- bzw. Schubkräfte im Bereich der Kontaktfläche des Stiftes mit dem Holz erreicht. Klammern, Nägel, Holzschrauben (auf Abscheren), bolzen und Stabdübel sowie Passbolzen können dieser Gruppe zugeordnet werden.

Die zweite Gruppe bilden die Dübel besonderer Bauart (Einlassdübel, Einpressdübel, Einpress- und Einlassdübel) sowie Nagelplatten bei denen die Kraftübertragung vorwiegend über große Lasteinleitungsbereiche an der Oberfläche der Bauteile erfolgt, weshalb sie gelegentlich auch als flächenhaft wirkende mechanische Verbindungsmittel bezeichnet werden.

Die neuesten Entwicklungen werden durch eine dritte Gruppe charakterisiert, bei der die Lastübertragung in sehr effizienter Weise durch eine Beanspruchung der Verbindungsmittel vorwiegend auf Herausziehen. Selbstbohrende Vollgewindeschrauben und (vorgebohrte) Vollgewindestangen sowie eingeklebte, auf Herausziehen beanspruchte, Gewindestangen können dieser Gruppe zugeordnet werden.

Im weiteren Verlauf dieses Kapitels werden einschränkend ausschließlich auf Abscheren beanspruchte Verbindungsmittel behandelt.

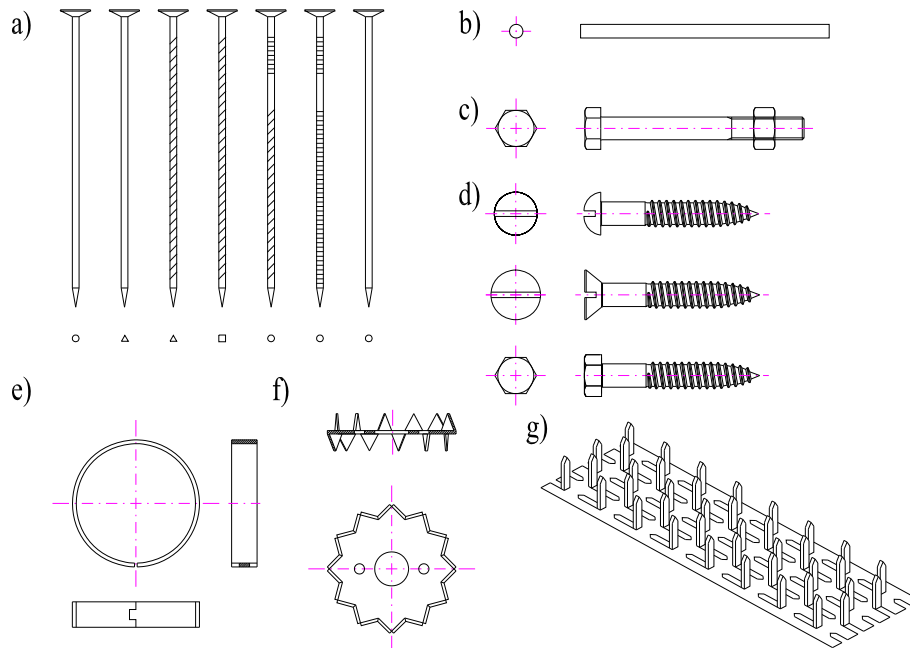


Abb. 8.1 Metallische Verbindungsmittel

a. Nägel, b. Stabdübel bzw. Passbolzen, c. Bolzen, d. (Holz-) Schrauben, e. Einlassdübel (Ringdübel), f. Einpressdübel (Bulldog), g. Nagelplatte

8.1 Allgemeines

Es existiert eine große Palette an Konfigurationen und Beanspruchungsarten von Verbindungen.

8.1.1 Anforderungen an Verbindungsmittel

Sofern im folgenden Kapitel keine Regelungen angegeben sind ist die Tragfähigkeit und Steifigkeit von Verbindungen aus Versuchen nach EN 1075, EN 1380, EN 1381, EN 26891 und EN 28971 zu bestimmen. Für den Fall, dass in den entsprechenden Normen sowohl Versuche mit einer Zug-, als auch einer Druckbeanspruchung angegeben werden, sind die Versuche zur Bestimmung der charakteristischen Tragfähigkeit als Zugversuche durchzuführen.

8.1.2 Verbindungen mit mehreren Verbindungsmitteln

Die Anordnung und GröÙer der Verbindungsmittel in einer Verbindung, sowie deren Abstände untereinander und von den Rändern sind so zu wählen, dass die zu erwartenden Festigkeiten und Steifigkeiten erreicht werden können.



Es ist zu beachten, dass die Tragfähigkeit einer Verbindung mit mehreren Verbindungsmitteln desselben Typs und derselben Abmessungen geringer sein kann als die Summe der Einzeltragfähigkeiten jedes einzelnen Verbindungsmittels.

Besteht eine Verbindung aus verschiedenen Arten von Verbindungsmitteln, oder ist die Steifigkeit der Scherfugen einer Verbindung mit mehreren Scherflächen unterschiedlich, ist das Tragverhalten der gesamten Verbindung unter Berücksichtigung der Nachgiebigkeiten der Verbindungsmittel nachzuweisen.

Die effektive (wirksame) charakteristische Tragfähigkeit $F_{v,ef,Rk}$ einer Verbindungsmittelreihe, deren Verbindungsmittel in Faserrichtung hintereinander liegen, sollte entsprechend der nachfolgenden Gleichung berechnet werden:

$$F_{v,ef,Rk} = n_{ef} \cdot F_{v,Rk} \quad (8.1)$$

Es bedeuten:

$F_{v,ef,Rk}$ effektive (wirksame) charakteristische Tragfähigkeit parallel zu einer Verbindungsmittelreihe, deren Verbindungsmittel in Faserrichtung hintereinander liegend angeordnet sind

n_{ef} effektive (wirksame) Anzahl der Verbindungsmittel, die in Faserrichtung hintereinander liegen

$F_{v,Rk}$ charakteristische Tragfähigkeit eines Verbindungsmittels in Faserrichtung

Anmerkung:

Gleichungen zur Ermittlung von Werten für n_{ef} für in Faserrichtung hintereinander liegende Verbindungsmittel sind in Abschnitt 8.3.11 und 8.5.1.1 angeführt.

Für schräg zur Verbindungsmittelreihe wirkende Kräfte ist nachzuweisen, dass die Kraftkomponente parallel zur Verbindungsmittelreihe kleiner oder gleich der rechnerischen Tragfähigkeit nach Gleich 8.1 ist.

8.1.3 Mehrschnittige Verbindungen

Für mehrschnittige Verbindungen ist die Tragfähigkeit pro Scherfuge unter der Annahme durchzuführen, dass jede Scherfuge Teil einer Anzahl von zweischnittigen Verbindungen ist.

Um die Tragfähigkeit einer einzelnen Scherfuge in mehrschnittigen Verbindungen kombinieren zu können, muss der maßgebende Versagensmechanismus des Verbindungsmittels in der entsprechenden Scherfuge mit jenem anderer Scherfugen verträglich (kompatibel) sein. Weiters ist zu beachten, dass keine Kombination der Versagensmechanismen (a), (b), (g) und (h) aus Abb. 8.2 oder der Versagensmechanismen (c), (f) und (j / l) aus Abb. 8.3 mit anderen Versagensmechanismen eintreten kann.

8.1.4 Verbindungsmittelkräfte unter einem Winkel zur Faserrichtung

Wirkt eine Kraft in einer Verbindung unter einem Winkel zur Faserrichtung an (Abb. 8.2) ist die Möglichkeit des Aufreißens der Verbindung durch eine Querkraftbeanspruchung infolge der Kraftkomponente $F_{Ed} \cdot \sin \alpha$ zu beachten.



Um die Möglichkeit des Querkraftversagens infolge der Querkraft $F_{Ed} \cdot \sin \alpha$ so gering wie möglich zu halten ist die folgende Bedingung einzuhalten:

$$F_{v,Ed} \leq F_{90,Rd} \quad (8.2)$$

mit

$$F_{v,Ed} = \max \begin{cases} F_{v,Ed,1} \\ F_{v,Ed,2} \end{cases} \quad (8.3)$$

Es bedeuten:

$F_{90,Rk}$ Bemessungswert der Querkraft, ermittelt aus der charakteristischen Querkraft $F_{90,Rk}$ nach Abschnitt 2.3.3,

$F_{v,Ed,1}, F_{v,Ed,2}$ Bemessungswerte der Tragfähigkeit auf beiden Seiten der Verbindung (siehe Abb. 8.2).

Für Nadelholz ergibt sich die charakteristische Querkrafttragfähigkeit für die in Abb. 8.1 dargestellte Konfiguration zu:

$$F_{90,Rk} = 14 \cdot b \cdot w \cdot \sqrt{\frac{h_e}{\left(1 - \frac{h_e}{h}\right)}} \quad (8.4)$$

wobei:

$$w = \begin{cases} \max \begin{cases} \left(\frac{w_{pl}}{100}\right)^{0,35} \\ 1 \end{cases} & \text{für } \textit{Nagelplatten} \\ 1 & \textit{alle anderen Verbindungen} \end{cases} \quad (8.4)$$

sowie:

$F_{90,Rk}$ charakteristischer Wert der Querkraftbeanspruchbarkeit in N,

w Modifikationsfaktor,

h_e Abstand des am weitest entfernten Verbindungsmittels oder Nagelplattenrandes vom beanspruchten Rand (siehe Abb. 8.2),

h Höhe des Holzbauteiles in mm,

b Breite des Holzbauteiles in mm,

w_{pl} Breite der Nagelplatte parallel zur Faserrichtung in mm.

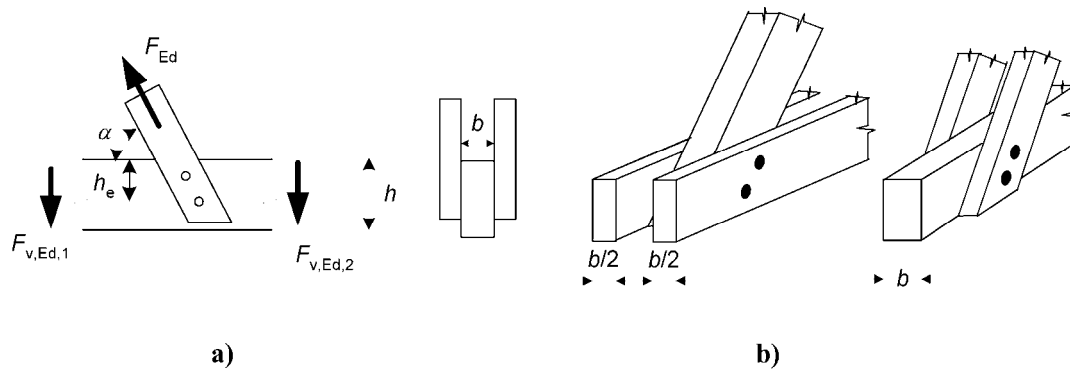


Abb. 8.2 Durch eine Verbindung übertragene, schräg angreifende Kraft (Schräganschluss)

8.1.5 Wechselbeanspruchungen

Die charakteristische Tragfähigkeit einer Verbindung ist abzumindern, falls die Verbindung durch wechselnde Schnittkräfte (innere Kräfte) mit langer und mittlerer Lasteinwirkungsdauer beansprucht wird.

Der Einfluss auf die Tragfähigkeit von Verbindungen durch Einwirkungen mit langer oder mittlerer Lasteinwirkungsdauer, die zu wechselnden Beanspruchungen durch Bemessungskräfte auf Zug $F_{t,Ed}$ und Druck $F_{c,Ed}$ führen ist rechnerisch durch Bemessung der Verbindung mit $(F_{t,Ed} + 0,5 \cdot F_{c,Ed})$ und $(F_{c,Ed} + 0,5 \cdot F_{t,Ed})$ zu berücksichtigen.

8.2 Tragfähigkeit metallischer, stiftförmiger Verbindungsmittel auf Abscheren

Das Versagen von auf Abscheren beanspruchten Verbindungen bzw. Verbindungsmitteln wird sowohl durch die Lochleibungsfestigkeit des Holzes, als auch das Verhalten des Verbindungsmittels bei Biegung (Fließmoment) beeinflusst.

8.2.1 Allgemeines

Bei der Ermittlung der Tragfähigkeit von Verbindungen mit metallischen, stiftförmigen Verbindungsmitteln sind die Einflüsse der Fließgrenze, der Lochleibungsfestigkeit und der Ausziehfestigkeit der Verbindungsmittel zu berücksichtigen.

8.2.2 Holz-Holz und Holzwerkstoff-Holz-Verbindungen

Die charakteristische Tragfähigkeit von Nägeln, Klammern, Bolzen, Stabdübeln bzw. Passbolzen und Schrauben pro Scherfuge und Verbindungsmittel sind als Kleinstwerte der nachstehend angeführten Gleichungen zu ermitteln:

– für einschnittige Verbindungen

$$\left. \begin{aligned}
 & f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d && \text{(a)} \\
 & f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d && \text{(b)} \\
 & \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{1 + \beta} \cdot \left[\sqrt{\beta + 2 \cdot \beta^2 \cdot \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right]} + \beta^3 \cdot \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 - \beta \cdot \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} && \text{(c)} \\
 & 1,05 \cdot \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \cdot \left[\sqrt{2 \cdot \beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} && \text{(d)} \\
 & 1,05 \cdot \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{1 + 2 \cdot \beta} \cdot \left[\sqrt{2 \cdot \beta^2 \cdot (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (1 + 2 \cdot \beta) \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} && \text{(e)} \\
 & 1,15 \cdot \frac{\sqrt{2 \cdot \beta}}{\sqrt{1 + \beta}} \cdot \left[\sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} && \text{(f)}
 \end{aligned} \right\} F_{v,RK} =$$

(8.6)

– für zweischnittige Verbindungen

$$\left. \begin{aligned}
 & f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d && \text{(g)} \\
 & 0,5 \cdot f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d && \text{(h)} \\
 & 1,05 \cdot \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \cdot \left[\sqrt{2 \cdot \beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} && \text{(j)} \\
 & 1,15 \cdot \frac{\sqrt{2 \cdot \beta}}{\sqrt{1 + \beta}} \cdot \left[\sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} && \text{(k)}
 \end{aligned} \right\} F_{v,RK} =$$

(8.7)



mit

$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}} \quad (8.8)$$

und

- $F_{v,Rk}$ charakteristischer Wert der Tragfähigkeit pro Scherfuge und Verbindungsmittel,
- t_i Holz- oder Holzwerkstoffdicke oder Einbindetiefe, mit i entweder 1 oder 2 (siehe auch Abschnitt 8.3 bis 8.7),
- $F_{h,i,k}$ charakteristischer Wert der Lochleibungsfestigkeit im Holzteil i ,
- d Durchmesser des Verbindungsmittels,
- $M_{y,Rk}$ charakteristisches Fließmoment des Verbindungsmittels,
- b Verhältnis der Lochleibungsfestigkeiten zweier Holzteile,
- $F_{ax,Rk}$ charakteristischer Wert des Ausziehwiderstandes des Verbindungsmittels.

Anmerkung:

Das plastische Verhalten von Verbindungen kann durch Verwendung verhältnismäßig schlanker Verbindungsmittel erreicht werden. In diesem Fall treten die Versagensmechanismen (f) und (k) auf.

In den Ausdrücken 8.6 und 8.7 stellt der erste Summand auf der rechten Seite der Gleichung die Tragfähigkeit nach der Fließtheorie von Johansen dar, während der zweite Summand $F_{ax,Rk} / 4$ den Beitrag der Seilwirkung („Seileffektes“) enthält. Der Beitrag der Seilwirkung zur Tragfähigkeit ist auf die nachfolgend angeführten Prozentsätze des Anteiles nach Johansen zu begrenzen:

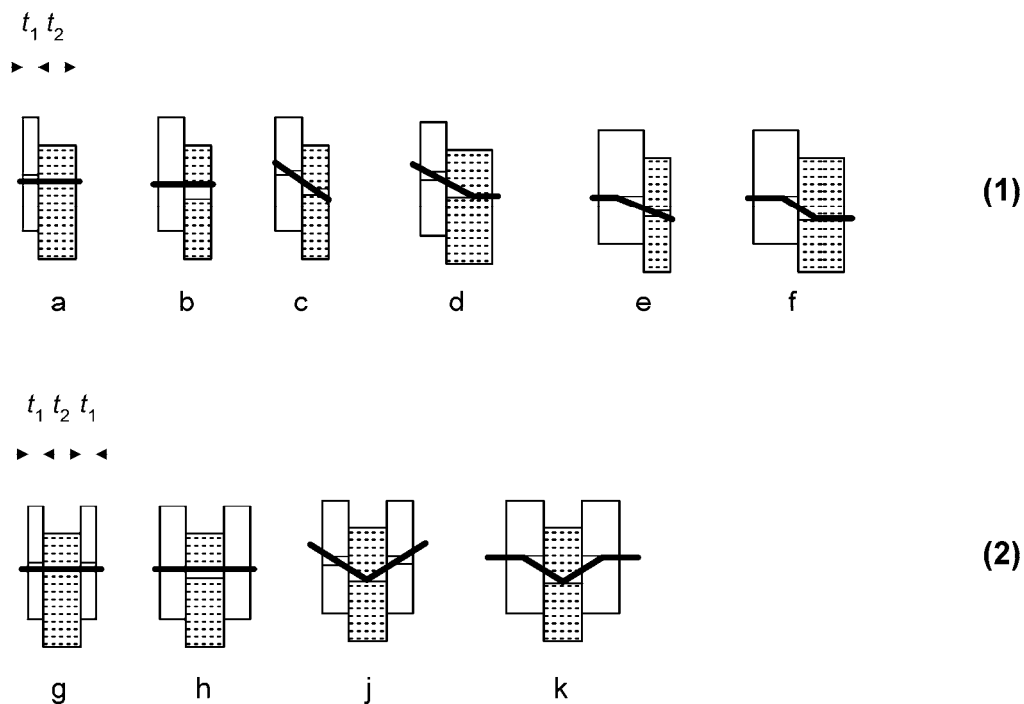
–	Runde Nägel	15 %
–	Quadratische Nägel	25 %
–	Andere Nägel	50 %
–	Schrauben	100 %
–	Bolzen	25 %
–	Stabdübel	0 %

Ist der Wert für $F_{ax,Rk}$ nicht bekannt, ist der Anteil aus der Seilwirkung mit dem Wert 0 zu berücksichtigen.

Für einschnittige Verbindungsmittel ergibt sich der charakteristische Auszieh Widerstand $F_{ax,Rk}$ als kleinerer Wert des Auszieh Widerstandes der beiden Holzteile. Die oben genannten, verschiedenen Versagensmechanismen sind in Abb. 8.2 dargestellt. Für den Auszieh Widerstand $F_{ax,Rk}$ von Bolzen darf der Widerstand durch die Unterlagscheiben angesetzt werden (siehe Abschnitt 8.5.2).

Sind im Folgenden keine anderen Regelungen angeführt ist die charakteristische Lochleibungs festigkeit $f_{h,k}$ gemäß EN 383 und EN 14358 zu bestimmen.

Sind im Folgenden keine anderen Regelungen angeführt ist das charakteristische Fließmoment $M_{y,k}$ gemäß EN 409 und EN 14358 zu bestimmen.



Anmerkung:

Die einzelnen Buchstaben entsprechen den Bezeichnungen in Gleichung 8.6 und 8.7.

Legende:

- (1) einschnittig
- (2) zweischnittig

Abb. 8.3 Versagensmechanismen für Holz- und Holzwerkstoff-Verbindungen

8.2.3 Stahl-Holz-Verbindungen

Die charakteristische Tragfähigkeit einer Stahlblech-Holz-Verbindung hängt von der Dicke der Stahlbleche ab. Stahlbleche mit einer Dicke kleiner gleich $0,5 \cdot d$ werden als dünne Bleche klassifiziert, solche mit einer Dicke größer gleich d mit einer Durchmessertoleranz kleiner als $0,1 \cdot d$ als dicke Bleche bezeichnet. Die charakteristische Tragfähigkeit von Stahl-Holz-Verbindungen mit Stahlblechdicken zwischen dünnen und dicken Blechen ist durch lineare Interpolation zwischen den Grenzwerten für dünne und dicke Bleche zu ermitteln.

Die Spannungsnachweise für das Stahlblech sind zu führen.

Die charakteristische Tragfähigkeit pro Scherfuge und Verbindungsmittel für Nägel, Bolzen, Stabdübel und Passbolzen sowie Schrauben ergibt sich als Kleinstwert aus den folgenden Gleichungen:

- für ein dünnes Stahlblech und eine einschnittige Verbindung

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

- für ein dickes Stahlblech und eine einschnittige Verbindung

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



- für ein innen liegendes Stahlblech jeder Dicke und eine zweischnittige Verbindung

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

- für ein dünnes, außenliegendes Stahlblech und eine zweischnittige Verbindung

$$F_{v,RK} = \begin{cases} 0,5 \cdot f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d & \text{(j)} \\ 1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,2,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(k)} \end{cases}$$

- für ein dickes, außenliegendes Stahlblech und eine zweischnittige Verbindung

$$F_{v,RK} = \begin{cases} 0,5 \cdot f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d & \text{(l)} \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(m)} \end{cases}$$

Es bedeuten:

- $F_{v,RK}$ charakteristischer Wert der Tragfähigkeit pro Scherfuge und Verbindungsmittel,
- $f_{h,k}$ charakteristischer Wert der Lochleibungsfähigkeit im Holzbauteil,
- t_1 Kleinstwert aus Dicke des Seitenholzes und der Eindringtiefe,
- t_2 Dicke des Mittelholzes,
- d Durchmesser des Verbindungsmittels,

$M_{y,Rk}$ charakteristischer Wert des Fließmomentes des Verbindungsmittels,

$F_{ax,Rk}$ charakteristischer Wert des Ausziehwiderstandes des Verbindungsmittels

Anmerkung 1:

Die unterschiedlichen Versagensmechanismen sind Abb. 8.3 dargestellt.

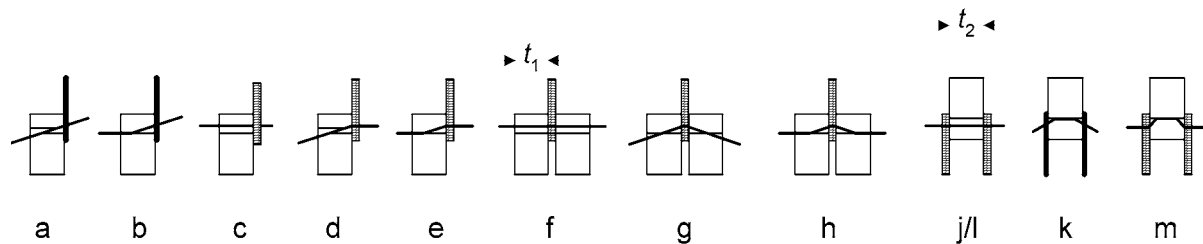


Abb. 8.4 Versagensmechanismen für Stahl-Holz-Verbindungen

Für die Begrenzung der Werte des Seileffektes $F_{ax,Rk}$ sind die Regelungen nach Abschnitt 8.2.2 anzuwenden.

Bei der Ermittlung der Tragfähigkeit von Stahl-Holz-Verbindungen mit belasteten Hirnholzenden ist zu berücksichtigen, dass ein Versagen entlang des Umfangs der Verbindungsmittelgruppe die Tragfähigkeit reduzieren bzw. begrenzen kann.

8.3 Verbindungen mit Nägeln

Nägel sind die am häufigsten für Holzkonstruktionen eingesetzten Verbindungsmittel.

8.3.1 Beanspruchung rechtwinklig zur Nagelachse (Abscheren)

Die Versagensmechanismen von rechtwinklig zu ihrer Längsachse auf Abscheren beanspruchten Nägeln werden durch das Überschreiten der Lochleibungsspannung und/oder des Fließmomentes des Nagels beeinflusst.

8.3.1.1 Allgemeines

Die Bezeichnungen für die Dicken von ein- und zweischnittigen Verbindungen (siehe Abb. 8.4) sind wie folgt festgelegt:

- t_1 Holzdicke auf der Seite des Nagelkopfes in einer einschnittigen Verbindung;
die kleinere der Holzdicken auf der Seite des Nagelkopfes und die Einbindetiefe auf der Seite der Nagelspitze in einer zweischnittigen Verbindung,
- t_2 Einbindetiefe auf der Seite der Nagelspitze in einer einschnittigen Verbindung;
die Mittelteildicke in einer zweischnittigen Verbindung.



Holz sollte vorgebohrt werden, wenn:

- die charakteristische Rohdichte des Holzes größer als 500 kg/m³ ist,
- der Nageldurchmesser größer als 8 mm ist.

Für Nägel mit quadratischem Querschnitt und profilierte Nägel ist für den Nageldurchmesser d das Seitenmaß in die Berechnung einzuführen.

Für glattschaftige Nägel aus Draht mit einer Mindestzugfestigkeit von 600 N/mm² ist der charakteristische Wert des Fließmomentes aus der folgenden Gleichung zu bestimmen:

$$M_{y,Rk} = \begin{cases} 0,3 \cdot f_u \cdot d^{2,6} & \text{für Nägel mit } \textit{rundem Querschnitt} \\ 0,45 \cdot f_u \cdot d^{2,6} & \text{für Nägel mit } \textit{quadratischem Querschnitt} \end{cases} \quad (8.14)$$

Es bedeuten:

$M_{y,Rk}$ charakteristischer Wert des Fließmomentes in Nmm,

d Nageldurchmesser oder Seitenmaß (gemäß EN 14592) in mm,

f_u Zugfestigkeit des Drahtes in N/mm².

Bei der Ermittlung der Tragfähigkeit von Nägeln mit einem Durchmesser von bis zu 8 mm sind die folgenden charakteristischen Werte der Lochleibungsfestigkeiten in N/mm² für Holz und Furnierschichtholz (LVL) zu verwenden:

- ohne vorgebohrte Nagellöchern

$$f_{h,k} = 0,082 \cdot \rho_k \cdot d^{-0,3} \quad (8.15)$$

- mit vorgebohrten Nagellöchern

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

Dabei ist:

ρ_k die charakteristische Rohdichte des Holzes in kg/m³,

d Nageldurchmesser in mm.

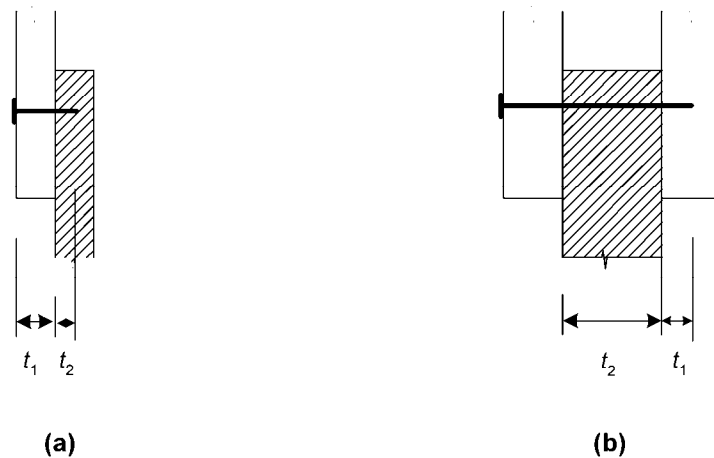


Abb. 8.5 Definition von t_1 und t_2 in (a) einschnittigen und (b) zweischnittigen Nagelverbindungen

Für Nägel mit einem Durchmesser größer als 8 mm sind für die Ermittlung der charakteristischen Werte der Lochleibungsfestigkeit die Festlegungen für Bolzen gemäß Abschnitt 8.5.1 anzuwenden.

In einer Verbindung mit drei Holzteilen dürfen sich die Nägel im Mittelteil überlappen, falls das Maß $(t - t_2)$ größer als $4 \cdot d$ ist (siehe Abb. 8.6).

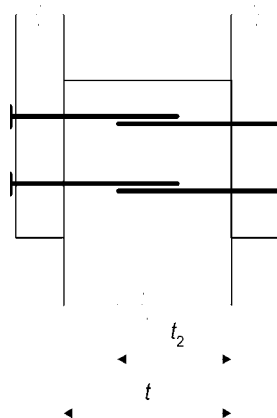


Abb. 8.6 Übergreifende Nägel

Für eine Reihe von n Nägeln in Faserrichtung ist die Tragfähigkeit in Faserrichtung (siehe Abschnitt 8.1.2) mit einer wirksamen Anzahl von Nägeln n_{ef} nach Gleichung 8.17 zu berechnen, sofern die Nägel dieser Reihe rechtwinklig zur Faserrichtung nicht um mindestens $1 \cdot d$ gegeneinander versetzt angeordnet sind.

$$n_{ef} = n^{k_{ef}} \tag{8.16}$$

Dabei sind:

n_{ef} wirksame Nagelanzahl in Faserrichtung und in einer Reihe,

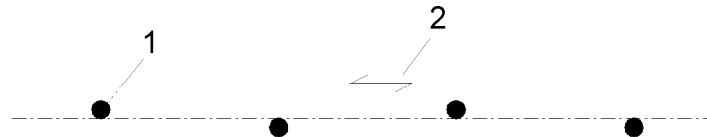
n Nagelanzahl in Faserrichtung und in einer Reihe,

k_{ef} Beiwert nach Tab. 8.1

Nagelabstand ^a	k_{ef}	
	nicht vorgebohrt	Vorgebohrt
$a_1 \geq 14 \cdot d$	1,0	1,0
$a_1 = 10 \cdot d$	0,85	0,85
$a_1 = 7 \cdot d$	0,7	0,7
$a_1 = 4 \cdot d$	-	0,5

^a Für Zwischenwerte der Nagelabstände dürfen die Werte für k_{ef} linear interpoliert werden.

Tab. 8.1 Werte für k_{ef}



Legende:
(1) Nagel
(2) Faserrichtung

Abb. 8.7 Nägel in einer Reihe in Faserrichtung und rechtwinklig dazu um d versetzte angeordnet

Ein Anschluss sollte mindestens aus zwei Nägeln bestehen.

8.3.1.2 Holz-Holz-Nagelverbindungen

Bei glattschaftigen Nägeln muss die Eindringtiefe auf der Seite der Nagelspitze mindestens $8 \cdot d$ betragen.

Für alle anderen, nicht glattschaftigen Nägel, gemäß den Festlegungen von EN 14592, soll die Eindringtiefe auf der Seite der Nagelspitze mindestens $6 \cdot d$ betragen.

Glattschaftige Nägel im Hirnholz dürfen planmäßig keine Kräfte übernehmen.



Ergänzend und alternativ zur oben stehenden Regelung gelten für Nägel in Hirnholz folgende Festlegungen:

- In Sekundärbauteilen dürfen glattschaftige Nägel verwendet werden. Die Bemessungswerte der Tragfähigkeit sind dabei zu 1/3 der Werte bei rechtwinklig zur Faserrichtung eingeschlagenen Nägeln anzunehmen.
- Nägel mit anderen als glattem Schaft, die den Festlegungen von EN 14592 entsprechen, dürfen auch für andere als Sekundärbauteile verwendet werden. Die Bemessungswerte der Tragfähigkeit sind dabei zu 1/3 der Werte für glattschaftige Nägel eines äquivalenten Durchmessers von rechtwinklig zur Faserrichtung eingeschlagenen Nägeln zu berücksichtigen, wenn sichergestellt ist dass:
 - die Nägel nur auf Abscheren beansprucht werden,
 - der Verbindung aus mindestens drei Nägeln besteht,
 - die Eindringtiefe auf der Seite der Nagelspitze mindestens $10 \cdot d$ beträgt,
 - die Verbindung nicht den Umweltbedingungen von Nutzungsklasse 3 ausgesetzt ist,
 - die Abstände untereinander sowie zu den Hirnholzenden und Rändern nach Tab. 8.2 eingehalten werden.

Anmerkung:

Ein Beispiel für eine Sekundärtragstruktur sind an Sparren befestigte Gesimsbretter.

Mindestabstände untereinander sowie zu den Hirnholzenden und Rändern sind in Tab. 8.2 angegeben (siehe auch Abb. 8.7).

Die Bezeichnungen bedeuten dabei:

- | | |
|-----------|--|
| a_1 | Abstand der Verbindungsmittel innerhalb einer Reihe in Faserrichtung, |
| a_2 | Abstand der Verbindungsmittel innerhalb rechtwinklig zur Faserrichtung, |
| $a_{3,c}$ | Abstand zwischen dem Verbindungsmittel und dem unbeanspruchtem Hirnholzende, |
| $a_{3,t}$ | Abstand zwischen dem Verbindungsmittel und dem beanspruchten Hirnholzende, |
| $a_{4,c}$ | Abstand zwischen dem Verbindungsmittel und dem unbeanspruchten Rand, |
| $a_{4,t}$ | Abstand zwischen dem Verbindungsmittel und dem beanspruchten Rand, |
| α | Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung |

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

Tab. 8.2 Mindestabstände von Nägeln

Die Hölzer sind vorzubohren, wenn die Dicke der Hölzer kleiner ist als

$$t = \max \left\{ \begin{array}{l} 7 \cdot d \\ (13 \cdot d - 30) \cdot \frac{\rho_k}{400} \end{array} \right. \quad (8.18)$$

Es bedeuten:

t Mindestholzdicke um ein Aufspalten zu vermeiden, in mm

ρ_k charakteristischer Wert der Rohdichte in kg/m^3 ,

d Nageldurchmesser in mm

Besonders spaltgefährdete Hölzer sollten vorgebohrt werden, wenn die Holzdicke kleiner ist als:

$$n_{ef} = n^{k_{ef}} \quad (8.19)$$

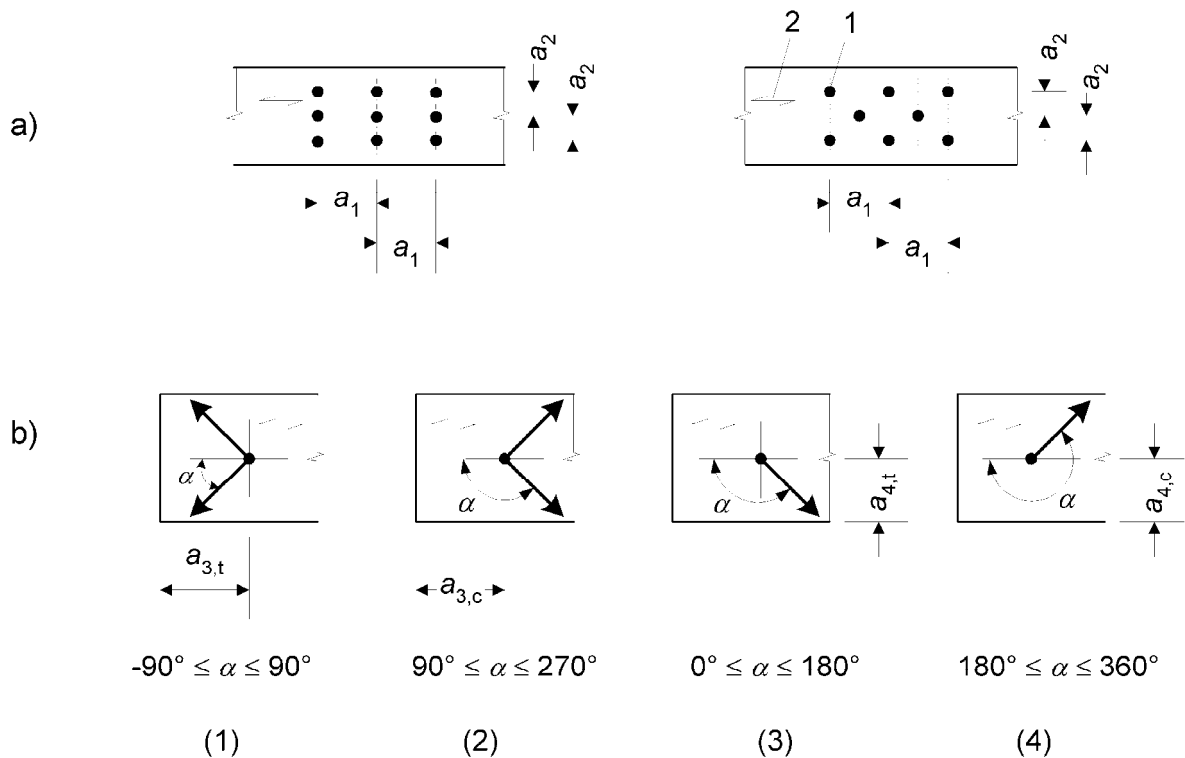
Gleichung 8.19 darf durch Gleichung 8.18 ersetzt werden, wenn sichergestellt ist, dass folgende Randabstände eingehalten werden:

$$a_4 \geq 10 \cdot d \quad \text{für } \rho_k \leq 420 \text{ kg/m}^3$$

$$a_4 \geq 14 \cdot d \quad \text{für } 420 \text{ kg/m}^3 \leq \rho_k \leq 500 \text{ kg/m}^3$$

Anmerkung:

Beispiele für besonders spaltgefährdete Holzarten sind Weißtanne (*albies alba*), Douglasie (*pseudotsuga menziesii*) und Fichte (*picea abies*).



Legende:

- (1) beanspruchtes Hirnholzende
- (2) unbeanspruchtes Hirnholzende
- (3) beanspruchter Rand
- (4) unbeanspruchter Rand

- 1 Verbindungsmittel
- 2 Faserrichtung des Holzes

Abb. 8.8 Verbindungsmittelabstände;
 (a) Abstände in Faserrichtung in einer Reihe und rechtwinklig zur Faserrichtung zwischen den Reihen, (b) Abstände zu den Hirnholzenden und von den Rändern



8.3.1.3 Holzwerkstoff-Holz-Nagelverbindungen

Als Mindestabstände für Holzwerkstoff-Holz-Nagelverbindungen dürfen jene nach Tab. 8.2 multipliziert mit dem Faktor 0,85 herangezogen werden. Die Abstände zum Hirnholz und zu den Rändern sind dabei unverändert zu übernehmen, außer es erfolgen im Folgenden andere Festlegungen.

Die Mindestabstände zum Hirnholz und zu den Rändern sollten bei Bauteilen aus Sperrholz mit $3 \cdot d$ für den unbeanspruchten Rand (oder das Hirnholzende) und $(3 + 4 \cdot \sin \alpha) \cdot d$ für einen beanspruchten Rand (oder ein Hirnholzende) eingehalten werden, wobei α der Winkel zwischen der Krafrichtung und dem beanspruchten Rand (oder des Hirnholzendes) ist.

Bei Nägeln mit einem Kopfdurchmesser von mindestens $2 \cdot d$ betragen die charakteristischen Lochleibungsfestigkeiten:

- für Sperrholz

$$f_{h,k} = 0,11 \cdot \rho_k \cdot d^{-0,3} \quad (8.20)$$

Dabei ist:

- $f_{h,k}$ charakteristischer Wert der Lochleibungsfestigkeit in N/mm²,
- ρ_k charakteristischer Wert der Rohdichte des Sperrholzes in kg/m³,
- d Nageldurchmesser in mm

- für harte Faserplatten nach EN 622-2

$$f_{h,k} = 30 \cdot d^{-0,3} \cdot t^{0,6} \quad (8.21)$$

Dabei ist:

- $f_{h,k}$ charakteristischer Wert der Lochleibungsfestigkeit in N/mm²,
- d Nageldurchmesser in mm
- t Plattendicke in mm

- für Spannplatten und OSB

$$f_{h,k} = 65 \cdot d^{-0,7} \cdot t^{0,1} \quad (8.21)$$

Dabei ist:

- $f_{h,k}$ charakteristischer Wert der Lochleibungsfestigkeit in N/mm²,
- d Nageldurchmesser in mm
- t Plattendicke in mm



8.3.1.4 Stahlblech-Holz-Nagelverbindungen

Für die Mindestabstände der Nägel zu den Hirnholzenden sowie den Ränder sind die Regelungen aus Tab. 8.2 anzuwenden. Für die Mindestabstände der Nägel untereinander sind die Werte aus Tab. 8.2 mit dem Faktor 0,7 zu multiplizieren.

8.3.2 Beanspruchung in Richtung der Nagelachse (Herausziehen)

Glattschaftige Nägel dürfen nicht bei einer Beanspruchung durch eine Einwirkung mit ständiger oder langer Lasteinwirkungsdauer verwendet werden.

Anmerkung:

Wichtig ! In den Ergänzungen zu EN 1995-1-1 / A1 sind neue Regelungen angeführt. Siehe dazu auch Kapitel 13.

Bei profilierten Nägeln ist nur die Länge des profilierten Schaftteiles für die Kraftübertragung in Schaftrichtung rechnerisch berücksichtigt werden.

Nägel in Hirnholz sind in der Regel für eine Kraftübertragung in Schaftrichtung nicht geeignet.

Der charakteristische Wert des Auszieh Widerstandes $F_{ax,Rk}$ für eine Nagelung rechtwinklig zur Faserrichtung (Abb. 8.8 (a)) und für eine Schrägnagelung (Abb. 8.8 (b)) ist als kleinster Wert der folgenden Bedingungen zu ermitteln:

- für glattschaftige Nägel

$$F_{ax,Rk} = \begin{cases} f_{ax,k} \cdot d \cdot t_{pen} \\ f_{ax,k} \cdot d \cdot t + f_{head,k} \cdot d_h^2 \end{cases} \quad (8.23)$$

- für Nägel mit einem anderen als glatten Schaft gemäß EN 14592

$$F_{ax,Rk} = \begin{cases} f_{ax,k} \cdot d \cdot t_{pen} \\ f_{head,k} \cdot d_h^2 \end{cases} \quad (8.24)$$

Dabei ist:

$f_{ax,k}$	charakteristischer Wert der Ausziehfestigkeit auf der Seite der Nagelspitze,
$f_{head,k}$	charakteristischer Wert der Kopfdurchziehfestigkeit,
d	Nageldurchmesser gemäß den Festlegungen in Abschnitt 8.3.1.1,
t_{pen}	Eindringtiefe auf der Seite der Nagelspitze oder Länge des profilierten Schaftteils im Bauteil in dem die Nagelspitze eingeschlagen ist,
t	Dicke des Bauteiles auf der Seite auf welcher der Nagelkopf eingeschlagen ist,
d_h	Kopfdurchmesser des Verbindungsmittels

Die charakteristischen Werte der Festigkeiten $f_{ax,k}$ und $f_{head,k}$ sollten, falls nicht im Folgenden anders festgelegt wird, durch Versuche entsprechend der Festlegungen in EN 1382, EN 1383 und EN 14358 ermittelt werden.

Für glattschaftige Nägel mit einer Eindringtiefe auf der Seite der Nagelspitze von mindestens $12 \cdot d$ sind die charakteristischen Werte der Auszieh- und Kopfdurchziehfestigkeiten aus den folgenden Gleichungen zu bestimmen.

$$f_{ax,k} = 20 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2 \quad (8.25)$$

$$f_{head,k} = 70 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2 \quad (8.26)$$

mit

ρ_k charakteristische Wert der Rohdichte in kg/m^3

Für glattschaftige Nägel hat die Eindringtiefe t_{pen} mindestens $8 \cdot d$ zu betragen. Für Nägel mit einer Eindringtiefe auf der Seite der Nagelspitze kleiner als $12 \cdot d$ ist die Ausziehfestigkeit mit $(t_{pen}/4 \cdot d - 2)$ zu multiplizieren. Für Nägel mit profiliertem Schaft soll die Eindringtiefe mindestens $6 \cdot d$ betragen. Für Nägel mit einer Eindringtiefe auf der Seite der Nagelspitze kleiner als $8 \cdot d$ ist die Ausziehfestigkeit mit $(t_{pen}/2 \cdot d - 3)$ zu multiplizieren.

Für Bauholz, das mit einer Holzfeuchte eingebaut wird, dass den Fasersättigungspunkt erreicht oder überschreitet und voraussichtlich unter Lasteinwirkung austrocknet, sind die Werte von $f_{ax,k}$ und $f_{head,k}$ mit dem Faktor $2/3$ zu multiplizieren.

Die Abstände von rechtwinklig zur Nagelachse beanspruchten Nägeln gelten auch für in Schafrichtung beanspruchte Nägel.

Für eine Schrägnagelung hat der Abstand zum beanspruchten Rand mindestens $10 \cdot d$ betragen (siehe Abb. 8.9 (b)). Eine Verbindung durch eine Schrägnagelung soll aus mindestens zwei Nägeln bestehen.

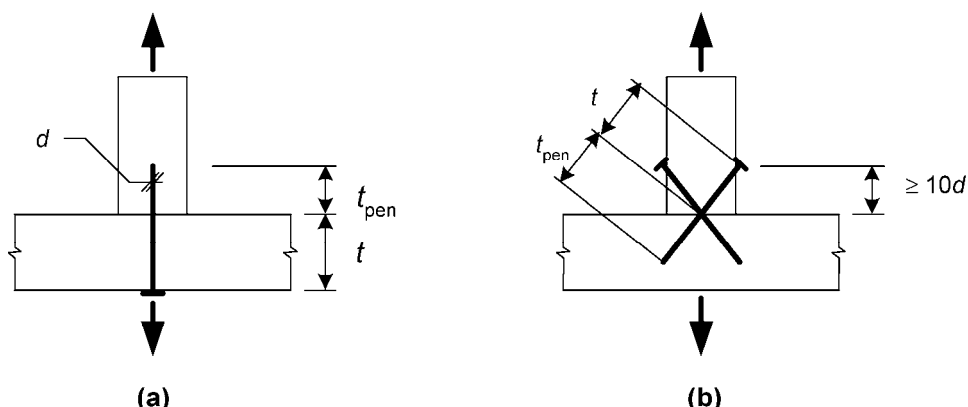


Abb. 8.9 (a) Nagelung rechtwinklig zur Faserrichtung und (b) Schrägnagelung



8.3.3 Kombinierte Beanspruchung von Nägeln

Für Verbindungen, die durch eine Kombination aus Kräften in Richtung der Nagelachse ($F_{ax,Ed}$) und rechtwinklig zur Nagelachse ($F_{v,Ed}$) beansprucht werden sollten die folgenden Bedingungen erfüllt sein:

- für glattschaftige Nägel

$$\frac{F_{ax,Ed}}{F_{ax,Rd}} + \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \leq 1 \quad (8.27)$$

- für Nägel mit anderen als glatten Schaft, wie in EN 14545 definiert

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

Dabei ist:

$F_{ax,Rd}$ und $F_{v,Rd}$ Bemessungswerte der Tragfähigkeiten der Verbindung bei einer Beanspruchung in Richtung der Nagelachse bzw. rechtwinklig zur Nagelachse

8.4 Verbindungen mit Klammern

Die in Abschnitt 8.3 gelten, außer den Ausdrücken 8.15, 8.16 und 8.19 auch für Klammern mit rundem oder annähernd rundem oder rechteckigem Querschnitt mit abgeschrägten oder symmetrischen Schenkelspitzen.

Für Klammern mit rechteckigem Querschnitt sollte der Durchmesser d aus der Quadratwurzel des Produktes der beiden Abmessungen bestimmt werden.

Die Breite b des Klammerrückens hat mindestens $6 \cdot d$ und die Einbindetiefe t_2 mindestens $14 \cdot d$ betragen (siehe Abb. 8.9).

Ein Anschluss sollte mindestens aus zwei Klammern bestehen.

Der Bemessungswert der Tragfähigkeit rechtwinklig zum Klammerschaft pro Klammer und Scherfuge ist wie jener zweier Nägel mit äquivalentem Durchmesser zu bestimmen. Vorausgesetzt wird dabei, dass der Winkel zwischen dem Klammerrücken und der Faserrichtung unter dem Klammerrücken größer als 30° beträgt (siehe Abb. 8.10). Beträgt der Winkel zwischen dem Klammerrücken und der darunter liegenden Faserrichtung weniger oder gleich 30° ist der Bemessungswert der Tragfähigkeit mit dem Faktor 0,7 abzumindern.

Für Klammern, die aus einem Draht mit der Mindestzugfestigkeit von 800 N/mm^2 hergestellt wurden sollte das charakteristische Fließmoment pro Klammerschaft entsprechend der nachfolgend angeführten Gleichung bestimmt werden:

$$M_{y,Rk} = 240 \cdot d^{2,6} \quad (8.29)$$

Es bedeuten:

- $M_{y,Rk}$ charakteristisches Fließmoment in Nmm,
 d Durchmesser des Klammerschaftes in mm

Für eine Reihe, in Faserrichtung hintereinander angeordneten, Klammern mit der Anzahl n ist die Tragfähigkeit in dieser Richtung unter Verwendung der wirksamen Anzahl von Verbindungsmitteln n_{ef} nach Abschnitt 8.3.1.1 – Gleichung 8.17 zu ermitteln.

Die Mindestabstände von Klammern untereinander und zu den Enden und Ränder sind in Tab. 8.3 angegeben und in Abb. 8.10 dargestellt, wobei Θ der Winkel zwischen dem Klammerrücken und der Faserrichtung ist.

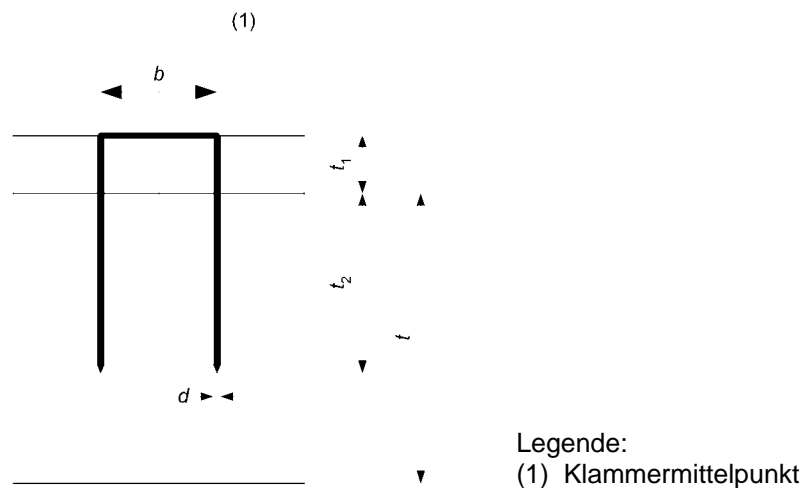


Abb. 8.10 Klammerabmessungen

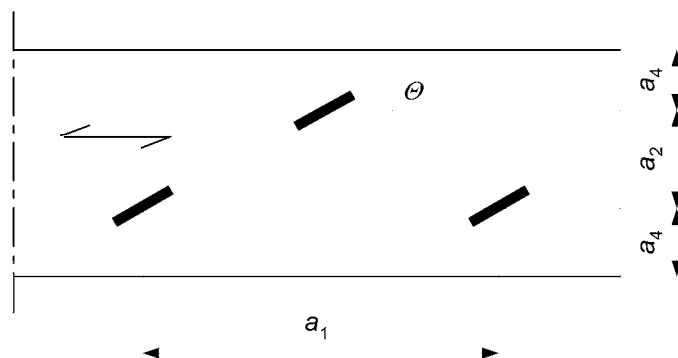


Abb. 8.11 Definitionen der Abstände bei Klammerverbindungen

Abstände (siehe Abb. 8.7)	Winkel	Mindestabstände
a_1 (in Faserrichtung) Für $\Theta \geq 30^\circ$ für $\Theta < 30^\circ$	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(10 + 5 \cdot \cos \alpha) \cdot d$ $(15 + 5 \cdot \cos \alpha) \cdot d$
a_2 (rechtwinklig zur Faserrichtung)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$15 \cdot d$
$a_{3,t}$ (beanspruchtes Hirnholzende)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$(15 + 5 \cdot \cos \alpha) \cdot d$
$a_{3,c}$ (unbeanspruchtes Hirnholzende)	$90^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$15 \cdot d$
$a_{4,t}$ (beanspruchter Rand)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$(15 + 5 \cdot \sin \alpha) \cdot d$
$a_{4,c}$ (unbeanspruchter Rand)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$10 \cdot d$

Tab. 8.3 Mindestabstände von Klammern

8.5 Verbindungen mit Bolzen

Bolzen werden in, mit etwas Lochspiel vorgebohrte, Löcher eingebracht.

8.5.1 Beanspruchung rechtwinklig zur Bolzenachse (Abscheren)

Die Versagensursachen von rechtwinklig zu ihrer Längsachse auf Abscheren beanspruchten Bolzen werden durch das Überschreiten der Lochleibungsspannung und/oder des Fließmomentes des Bolzens beeinflusst.

8.5.1.1 Allgemeines und Holz-Holz-Bolzenverbindungen

Der charakteristische Wert für das Fließmoment sollte mit der nachfolgenden Gleichung berechnet werden:

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

Dabei sind:

$M_{y,Rk}$ charakteristischer Wert des Fließmomentes in Nmm,

$f_{u,k}$ charakteristischer Wert der Zugfestigkeit in N/mm²,

d Durchmesser des Bolzens in mm.

Für Bolzen mit einem Durchmesser bis zu 30 mm sind die folgenden Gleichungen zur Ermittlung der charakteristischen Lochleibungsfestigkeit von Holz und Furnierschichtholz (LVL) bei einem Winkel α zur bzw. in Faserrichtung maßgebend:

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad (8.31)$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k \quad (8.32)$$

wobei:

$$k_{90} = \begin{cases} 1,35 + 0,015 \cdot d & \text{Nadelhölzer} \\ 1,30 + 0,015 \cdot d & \text{für Furnierschichtholz (LVL)} \\ 0,90 + 0,015 \cdot d & \text{Laubhölzer} \end{cases} \quad (8.33)$$

$f_{h,0,k}$ charakteristische Lochleibungsfestigkeit in Faserrichtung in N/mm²,

ρ_k charakteristischer Wert der Rohdichte des Holzes in kg/m³,

α Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung,

d Bolzendurchmesser in mm.

Die Mindestabstände der Bolzen untereinander, sowie zu den Hirnholzenden und Rändern sind der nachfolgenden Tab. 8.7 zu entnehmen.

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

Tab. 8.4 Mindestabstände von Bolzen



Für eine Reihe von n Bolzen in Faserrichtung des Holzes (siehe Abb. 8.1.2 (4)) ist die Tragfähigkeit in Faserrichtung unter Berücksichtigung der wirksamen Bolzenanzahl n_{ef} zu ermitteln. n_{ef} ist dabei wie folgt definiert:

$$n_{ef} = \min \left\{ \begin{array}{l} n \\ n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13 \cdot d}} \end{array} \right. \quad (8.34)$$

wobei:

- a_1 Abstand der Bolzen in Faserrichtung,
- d Bolzendurchmesser,
- n Anzahl der Bolzen einer Reihe in Faserrichtung.

Für Kräfte, die rechtwinklig zur Faserrichtung wirken ist die wirksame Verbindungsmittelanzahl einer Reihe in Faserrichtung mit

$$n_{ef} = n \quad (8.35)$$

zu berücksichtigen.

Für Winkel α der Kraft- und Faserrichtung zwischen $0 < \alpha < 90^\circ$ ist der Wert für die effektive Verbindungsmittelanzahl n_{ef} durch lineare Interpolation der Werte aus Gleichung 8.34 und 8.35 zu ermitteln.

Anforderungen an die Mindestmaße und Dicken der Unterlagscheiben in Abhängigkeit vom Bolzendurchmesser sind in Abschnitt 10.4.3 festgehalten.

8.5.1.2 Holzwerkstoff-Holz-Bolzenverbindungen

Bei Sperrholz ist die nachfolgend angegebene Gleichung zur Ermittlung des Wertes der Lochleibungsfestigkeit (in N/mm²) für alle Winkel zur Faserrichtung der Deckfurniere zu verwenden.

$$f_{h,k} = 0,11 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k \quad (8.36)$$

wobei bedeuten:

- ρ_k charakteristischer Wert der Rohdichte des Sperrholzes in kg/m³,
- d Bolzendurchmesser in mm



Für Spanplatten und OSB-Platten ist der die Lochleibungsfestigkeit in N/mm² für alle Winkel der Faserrichtung der Decklagen mit der folgenden Gleichung zu ermitteln:

$$f_{h,k} = 50 \cdot d^{-0,6} \cdot t^{0,2} \quad (8.37)$$

wobei:

d Bolzendurchmesser in mm,

t Plattendicke in mm.

8.5.1.3 Stahl-Holz-Bolzenverbindungen

Für Stahl-Holz-Bolzenverbindungen gelten die Festlegungen nach Abschnitt 8.2.3 .

8.5.2 Beanspruchung in Richtung der Bolzenachse (Herausziehen)

Die Tragfähigkeit in Richtung der Bolzenachse und des Ausziehwiderstandes eines Bolzens ergibt sich als kleinerer Wert der nachfolgend angeführten Festlegungen:

- Zugfestigkeit des Bolzens,
- Tragfähigkeit der Unterlagscheibe oder (für Stahl-Holz-Bolzenverbindungen) des Stahlbleches.

Die Tragfähigkeit einer Unterlagscheibe ergibt sich unter Annahme eines charakteristischen Wertes der Druckspannung in der Kontaktfläche von $3,0 \cdot f_{c,90,k}$.

Die Tragfähigkeit pro Bolzen ist aus jener einer kreisrunden Unterlagscheibe mit dem kleineren Wert für den Durchmesser aus

- $12 \cdot t$, wobei t die Stahlblechdicke ist oder aus
- $4 \cdot d$, mit d als Bolzendurchmesser

zu begrenzen.

8.6 Verbindungen mit Stabdübeln oder Passbolzen

Es gelten die Festlegungen aus Abschnitt 8.5.1, ausgenommen hiervon sind die Mindestabstände für die Stabdübel oder Passbolzen untereinander, zu den Hirnholzenden und den Rändern.

Die Stabdübeldurchmesser d sollen größer als 6 mm und kleiner als 30 mm sein.

Die Mindestabstände untereinander sowie zu den Hirnholzenden und Rändern sind Tab. 8.5, mit den Bezeichnungen nach Abb. 8.7 , zu entnehmen.

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

Tab. 8.5 Mindestabstände von Stabdübeln

Anforderungen an Toleranzen für Stabdübellöcher sind in 10.4.4 angegeben.

8.7 Verbindungen mit Holzschrauben

Schrauben werden in vorgebohrte Löcher mit einem Durchmesser kleiner als der Außendurchmesser eingebracht.

8.7.1 Beanspruchung rechtwinklig zur Schraubenachse (Abscheren)

Bei der Bestimmung der Tragfähigkeit ist der Einfluss des Schraubengewindes durch Berücksichtigung eines wirksamen Durchmessers d_{ef} zu berücksichtigen.

Für Schrauben mit teilweise glattem Schaft, bei denen der Außendurchmesser des Gewindeteils gleich dem Schaftdurchmesser ist, gelten die Festlegungen nach Abschnitt 8.2, wobei vorausgesetzt wird, dass:

- der Durchmesser des Schaftteiles als wirksamer Durchmesser d_{ef} angenommen wird,
- der glatte (Schaft-) Teil der Schraube eine Mindesteinbindetiefe von $4 \cdot d$ in das Holzteil beträgt, in dem sich der Gewindeteil befindet.

Werden diese Anforderungen nicht erfüllt, ist bei der Bestimmung der Tragfähigkeit ein effektiver Durchmesser mit dem 1,1-fachen Durchmesser des Gewindekerns zu berücksichtigen.

Für Schrauben mit einem teilweise glattem Schaft und einem Durchmesser $d > 6 \text{ mm}$ gelten die Festlegungen nach Abschnitt 8.5.1 .



Für Schrauben mit einem teilweise glattem Schaft und einem Durchmesser $d \leq 6$ mm sind die Bestimmungen nach Abschnitt 8.3.1 anzuwenden.

Anforderungen an die konstruktive Ausbildung und die Kontrolle von Schraubenverbindungen sind Abschnitt 10.4.5 zu entnehmen.

8.7.2 Beanspruchung in Richtung der Schraubenachse (Herausziehen)

Bei der Bestimmung der Tragfähigkeit von in Richtung der Schraubenachse beanspruchten Schrauben sind die folgenden Versagensmechanismen nachzuweisen:

- der Auszieh Widerstand des eingeschraubten Teils der Schraube,
- für Schrauben, die in Kombination mit Stahlblechen eingesetzt werden, muss der Abreißwiderstand des Kopfes höher sein als die Zugfestigkeit der Schraube,
- der Widerstand des Schraubenkopfes gegen Durchziehen,
- die Zugfestigkeit der Schraube,
- für in Verbindung mit Stahlblechen verwendete Schrauben ist der Widerstand gegen Abscheren entlang des Umfanges einer Gruppe von Schrauben (Blockscherversagen)

Mindestabstände von Schrauben untereinander, sowie zu den Hirnholzenden und zu den Rändern sind der nachfolgenden Tab. 8.6 zu entnehmen.

Schrauben eingedreht	Mindestabstand untereinander	Mindestabstand vom Holzrand
rechtwinklig zur Faserrichtung	$4 \cdot d$	$4 \cdot d$
in Hirnholzflächen	$4 \cdot d$	$2,5 \cdot d$

Tab. 8.6 Mindestabstände von in Richtung der Schraubenachse beanspruchten Schrauben

Die kleinste Einbindetiefe des Gewindeteils auf der Seite der Schraubenspitze muss $6 \cdot d$ betragen.

Der charakteristische Auszieh Widerstand von Schraubenverbindungen mit einer Beanspruchung in Richtung der Schraubenlängsachse ist mit

$$F_{ax,\alpha,Rk} = n_{ef} \cdot (\pi \cdot d \cdot l_{ef})^{0,8} \cdot f_{ax,\alpha,k} \quad (8.38)$$

zu ermitteln.



Dabei bedeuten:

- $F_{ax,\alpha,Rk}$ charakteristischer Auszieh Widerstand einer Schraube unter einem Winkel α zur Faserrichtung,
- n_{ef} wirksame Anzahl der Schrauben,
- d Außendurchmesser des Gewindeteils,
- l_{ef} Eindringtiefe des Gewindeteils abzüglich eines Schraubendurchmessers auf der Seite der Schraubenspitze,
- $f_{ax,\alpha,k}$ charakteristischer Wert der Ausziehfestigkeit einer Schraube unter einem Winkel α zur Faserrichtung

Der charakteristische Wert der Ausziehfestigkeit unter einem Winkel α zur Faserrichtung ist wie folgt zu berechnen:

$$f_{ax,\alpha,k} = \frac{f_{ax,k}}{\sin^2 \alpha + 1,5 \cdot \cos^2 \alpha} \quad (8.39)$$

mit

$$f_{ax,\alpha,k} = 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot \rho_k^{1,5} \quad (8.40)$$

Es bedeuten:

- $f_{ax,a,k}$ charakteristischer Wert der Ausziehfestigkeit einer Schraube unter einem Winkel α zur Faserrichtung,
- $f_{ax,k}$ charakteristischer Wert der Ausziehfestigkeit einer Schraube rechtwinklig zur Faserrichtung,
- ρ_k charakteristischer Wert der Rohdichte in kg/m^3

Anmerkung:

Versagensmechanismen im Stahlblech oder im Holz um die Schraube sind spröde, d.h. es tritt eine geringe Bruchverformung auf, weshalb die Möglichkeiten einer Spannungsumlagerung begrenzt sind.

Der Widerstand gegen Durchziehen des Schraubenkopfes ist gemäß den Bestimmungen von EN 1383 zu bestimmen.



Für eine Verbindung mit einer Gruppe von Schrauben, die in Richtung der Schraubenlängsachse beansprucht wird, ist die wirksame (effektive) Schraubenanzahl mit der nachfolgenden Gleichung zu berechnen.

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

Dabei ist:

n_{ef} wirksame Anzahl der Schrauben,

n Anzahl der Schrauben in einer Verbindung, die in Richtung der Schraubenlängsachse beansprucht wird, zusammenwirken.

8.7.3 Kombinierte Beanspruchung von Schrauben

Für, durch rechtwinklig und in Richtung der Schraubenlängsachse, kombiniert beanspruchte Schrauben sind die Festlegungen nach Abschnitt 8.28 einzuhalten.



9 Zusammengesetzte Bauteile und Wandscheiben

Zusammengesetzte Bauteile und Wandscheiben haben im Verhältnis zu ihrem Eigengewicht eine vergleichsweise hohe Tragfähigkeit und Steifigkeit

9.1 Zusammengesetzte Bauteile

Zusammengesetzte Bauteile bestehen aus mindestens zwei Einzelbauteilen.

9.1.1 Geklebte Biegeträger mit dünnen Stegen

Unter der Annahme eines linearen Dehnungsverlaufes über die Querschnittshöhe des Stabes sollten die Normalspannungen in den Holzgurten den folgenden Gleichungen genügen:

$$\sigma_{f,c,max,d} \leq f_{m,d} \quad (9.1)$$

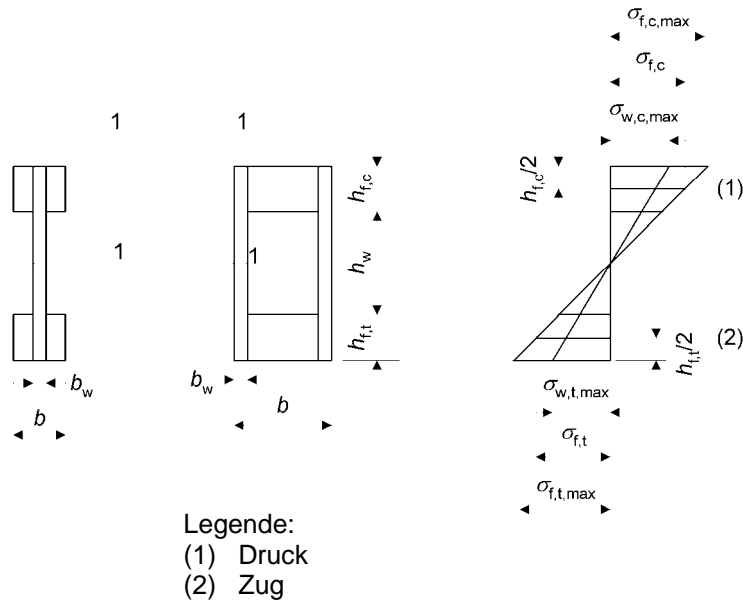
$$\sigma_{f,t,max,d} \leq f_{m,d} \quad (9.2)$$

$$\sigma_{f,c,d} \leq k_c \cdot f_{c,0,d} \quad (9.3)$$

$$\sigma_{f,t,d} \leq f_{f,0,d} \quad (9.4)$$

Dabei ist:

$\sigma_{f,c,max,d}$	Bemessungswert der Randspannung im Druckgurt;
$\sigma_{f,t,max,d}$	Bemessungswert der Randspannung im Zuggurt;
$\sigma_{f,c,d}$	Bemessungswert der Schwerpunktspannung im Druckgurt;
$\sigma_{f,t,d}$	Bemessungswert der Schwerpunktspannung im Zuggurt;
k_c	Knickbeiwert



Tab. 9.1 Geklebte Biegeträger mit dünnen Stegen

Der Knickbeiwert k_c darf (konservativ; besonders für Kastenquerschnitte) nach Abschnitt 6.3.2 mit

$$\lambda_z = \sqrt{12} \cdot \left(\frac{l_c}{b} \right) \tag{9.5}$$

ermittelt werden.

Wobei:

l_c Abstand zwischen den Stellen, an denen ein seitliches Ausweichen des Druckgurtes verhindert wird;

b siehe Abb. 9.1

Für den Fall, dass für den Bauteilnachweis (seitliches Ausknicken) des ganzen Biegestabes eine besondere Untersuchungen durchgeführt wird darf $k_c = 1,0$ angenommen werden.

Die Normalspannungen in den Stegen sollten folgende Bedingungen erfüllen:

$$\sigma_{w,c,d} \leq f_{c,w,d} \tag{9.6}$$

$$\sigma_{w,t,d} \leq f_{t,w,d} \tag{9.7}$$



wobei:

$\sigma_{f,c,d}$ und $\sigma_{f,t,d}$ Bemessungswert der Druck- bzw. Zugspannung in den Stegen;

$f_{c,w,d}$ und $f_{t,w,d}$ Bemessungswert der Biegedruck- bzw. Biegezugfestigkeit der Stege.

Sind keine anderen Werte bekannt, sind für die Bemessungswerte der Biegedruck- bzw. Biegezugfestigkeit der Stege die Bemessungswerte der Zug- bzw. Druckfestigkeit zu verwenden.

Es ist nachzuweisen, dass alle geklebten Stöße über eine ausreichende Tragfähigkeit verfügen.

Falls kein genauere Beulnachweis des Steges geführt wird, ist nachzuweisen, dass:

$$h_w \leq 70 \cdot b_w \quad (9.8)$$

und

$$F_{v,w,Ed} \leq \begin{cases} b_w \cdot h_w \cdot \left(1 + \frac{0,5 \cdot (h_{f,t} + h_{f,c})}{h_w} \right) \cdot f_{v,0,d} \\ 35 \cdot b_w^2 \cdot \left(1 + \frac{0,5 \cdot (h_{f,t} + h_{f,c})}{h_w} \right) \cdot f_{v,0,d} \end{cases} \quad \text{für} \quad \begin{cases} h_w \leq 35 \cdot b_w \\ 35 \cdot b_w \leq h_w \leq 70 \cdot b_w \end{cases} \quad (9.9)$$

Dabei ist:

$F_{v,w,Ed}$ Bemessungswert der Schubbeanspruchung in jedem Steg,

h_w lichte Steghöhe,

$h_{f,c}$ Druckgurthöhe,

$h_{f,t}$ Zuggurthöhe,

b_w Stegdicke jedes Steges,

$f_{w,0,d}$ Bemessungswert der Schubfestigkeit bei Scheibenbeanspruchung

Für Stege aus Holzwerkstoffen ist nachzuweisen, dass im Querschnitt 1-1 von Abb. 9.1 gilt:

$$\tau_{mean,d} \leq \begin{cases} f_{v,90,d} \\ f_{v,90,d} \cdot \left(\frac{4 \cdot b_{ef}}{h_f} \right)^{0,8} \end{cases} \quad \text{für} \quad \begin{cases} h_f \leq 4 \cdot b_{ef} \\ h_f > 4 \cdot b_{ef} \end{cases} \quad (9.10)$$



wobei :

$\tau_{\text{mean,d}}$ Bemessungswert der Schubspannung unter der Annahme einer gleichmäßigen Schubspannungsverteilung über die Breite des Querschnittes 1-1,

$f_{v,90,d}$ Bemessungswert der Rollschubfestigkeit des Steges,

h_f entweder $h_{f,c}$ oder $h_{f,t}$.

$$b_{ef} = \begin{cases} b_w & \text{für } \textit{Kastenträger} \\ b_w / 2 & \text{für } \textit{I-Träger} \end{cases} \quad (9.11)$$

9.1.2 Geklebte Tafелеlemente

In diesem Abschnitt wird ein linearer Verlauf der Dehnungen über die Höhe der Elemente angenommen.

Beim Festigkeitsnachweis der Tafелеlemente ist die nichtlineare Spannungsverteilung über die Beplankungsbreite auf Grund der Schubverformungen und des Beulens der Beplankung zu berücksichtigen.

Für den Fall, dass kein genauere Nachweis geführt wird, ist das zusammengesetzte Tafелеlement als eine Anzahl von I- oder U-Trägern (siehe Abb. 9.2) mit folgenden wirk-samen Beplankungsbreiten b_{ef} betrachtet werden:

- für I-Querschnitte

$$b_{ef} = b_{c,ef} + b_w \quad (\text{oder } b_{ef} = b_{t,ef} + b_w) \quad (9.12)$$

- für U-Querschnitte

$$b_{ef} = 0,5 \cdot b_{c,ef} + b_w \quad (\text{oder } b_{ef} = 0,5 \cdot b_{t,ef} + b_w) \quad (9.13)$$

Die Werte für $b_{c,ef}$ und $b_{t,ef}$ dürfen dabei nicht größer als der unter Berücksichtigung der Schubverformung ermittelte Wert aus Tab. 9.1 angesetzt werden. Außerdem sollen in der Regel die Werte $b_{c,ef}$ jene des Größtwertes unter Berücksichtigung des Beplankungsaus-beulens gemäß Tab. 9.1 nicht überschreiten.

Die maximal in Rechnung zu stellenden Werte für die wirksame (effektive) Beplankungs-breite unter Berücksichtigung des Schubverformungseinflusses und des Ausbeulens der Beplankung sind der Tab. 9.1 zu entnehmen, wobei l der Feldweite des Balkens entspricht.



	Schubverformung	Ausbeulen
Sperrholz mit der Faserrichtung der Deckfurniere: - parallel zu den Stegen - rechtwinklig zu den Stegen	$0,1 \cdot l$ $0,1 \cdot l$	$20 \cdot h_f$ $25 \cdot h_f$
OSB-Platten	$0,15 \cdot l$	$25 \cdot h_f$
Holzspanplatten oder Holzfaserplatten mit beliebiger Faserorientierung	$0,2 \cdot l$	$30 \cdot h_f$

Tab. 9.1 Größtwerte der wirksamen Beplankungsbreiten unter Berücksichtigung des Einflusses der Schubverformung und des Ausbeulens

Wird kein speziellerer Nachweis des Ausbeulens der Beplankung geführt, sollten die tatsächlichen Beplankungsbreiten nicht größer als die doppelte Beplankungsbreite infolge des Ausbeulens gemäß Tab. 9.1 sein.

Für Rippen von Tafелеlementen ist für die Schnitte 1-1 eines I-förmigen Querschnittes entsprechend Bild 9.2 nachzuweisen, dass:

$$\tau_{mean,d} \leq \begin{cases} f_{v,90,d} & \text{für } b_w \leq 8 \cdot h_f \\ f_{v,90,d} \cdot \left(\frac{4 \cdot h_f}{b_w} \right)^{0,8} & \text{für } b_w > 8 \cdot h_f \end{cases} \quad (9.14)$$

Es bedeuten:

$\tau_{mean,d}$ Bemessungswert der Schubspannung im Querschnitt 1-1 unter der Annahme einer gleichmäßig verteilten Spannungsverteilung,

$f_{v,90,d}$ Bemessungswert der Rollschubspannung der Beplankung.

Im Schnitt 1-1 eines U-förmigen Querschnittes sollte derselbe Nachweis

Die Normalspannungen in den Beplankungen sollten unter Berücksichtigung der jeweils wirksamen Beplankungsbreite die nachfolgenden Bedingungen erfüllen:

$$\sigma_{f,c,d} \leq f_{f,c,d} \quad (9.15)$$

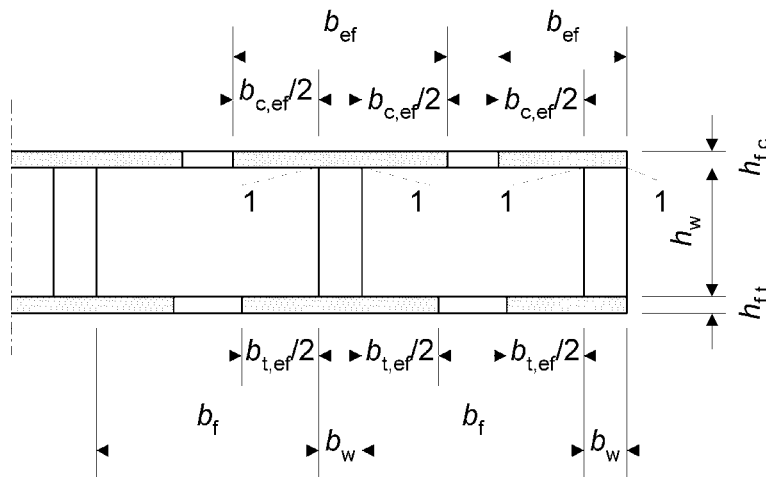
$$\sigma_{f,t,d} \leq f_{f,t,d} \quad (9.16)$$

Es bedeuten:

- $\sigma_{f,c,d}$ Bemessungswert der mittleren Druckspannung in der Beplankung;
 $\sigma_{f,t,d}$ Bemessungswert der mittleren Zugspannung in der Beplankung;
 $f_{f,c,d}$ Bemessungswert der Druckfestigkeit der Beplankung ;
 $f_{f,t,d}$ Bemessungswert der Zugfestigkeit der Beplankung;

Es ist nachzuweisen, dass alle geklebten Stöße eine ausreichende Tragfähigkeit besitzen.

Die Normalspannungen in den Holzrippen sollten gemäß Bedingung (9.6) bis (9.7) nach 9.1.1 erfüllen.



Tab. 9.2 Tafелеlement

9.1.3 Nachgiebig verbundene Biegestäbe

Wird der Querschnitt eines lastabtragenden Bauteiles aus mehreren Teilen zusammengesetzt und werden diese mit Hilfe von mechanischen Verbindungsmitteln miteinander verbunden so ist der Einfluss der Nachgiebigkeit in den Verbindungen zu berücksichtigen.

Die Berechnungen sind im Allgemeinen auf Basis eines linearen Zusammenhanges zwischen den Kräften und der Verformungen zu führen.

Wird der Verbindungsmittelabstand in der Längsrichtung entsprechend dem Querkraftverlauf zwischen s_{\min} und s_{\max} ($< 4 \cdot s_{\min}$) abgestuft, ist für den wirksamen Verbindungsmittelabstand s_{ef} der Wert der nachfolgenden Gleichung zu berücksichtigen:

$$s_{ef} = 0,75 \cdot s_{\min} + 0,25 \cdot s_{\max} \quad (9.17)$$



Anmerkung:

Eine Methode zur Berechnung der Tragfähigkeit des mittels mechanischer Verbindungsmittel zusammengesetzten Biegebalkens ist in Kapitel 10 angegeben.

9.1.4 Druckstäbe mit nachgiebigen und verklebten Verbindungen

Die Verformungen infolge der Nachgiebigkeit der Verbindungen durch Schub und Biegung in den Zwischenhölzern, Bindehölzern, Einzelstäben und Gurten sowie infolge von Normalspannungen in Gitterstäben sind beim Spannungsnachweis zu berücksichtigen.

Anmerkung:

Eine Methode zur Berechnung der Tragfähigkeit von I-förmigen und kastenförmigen Druckstäben, gespreizten und vergitterten Druckstäben ist in Kapitel 11 angegeben.

9.2 Wandscheiben

Um rahmenförmige Tragwerke aus Holz gegen Querlasten zu stabilisieren werden oftmals Aussteifungen aus Wandscheiben eingesetzt.

9.2.1 Allgemeines

Wandscheiben sind sowohl gegenüber horizontal als auch vertikal angreifenden Einwirkungen in beiden Richtungen zu bemessen.

Die Wandscheibe soll dabei ausreichend verankert werden um ein Kippen oder Gleiten zu vermeiden.

Wandscheiben sind in ihrer Ebene durch Plattenwerkstoffe, Diagonalaussteifungen oder biegesteife Verbindungen auszusteifen um eine definierte Tragfähigkeit als Schubwand aufzuweisen.

Die Wandscheibentragfähigkeit ist entweder durch Versuche nach EN 594 zu bestimmen oder durch Berechnung mittels geeigneter Modelle nachzuweisen.

Die Bemessung der Wandscheiben muss sowohl den Aufbau der Baustoffe bzw. deren Eigenschaften als auch den geometrischen Wandaufbau berücksichtigen.

Das Verhalten von Wandscheiben gegenüber Einwirkungen ist so zu begrenzen, dass die Konstruktion eine entsprechende Gebrauchstauglichkeit behält.

9.2.2 Vereinfachter Nachweis von Wandscheiben – Methode A

Der, in diesem Abschnitt angeführte, vereinfachte Nachweis für Wandscheiben darf nur für solche mit einer Endverankerung, d.h. vertikale Bauteile werden am Scheibenende unmittelbar mit der Unterkonstruktion verbunden, angewendet werden.

Der Bemessungswert der Tragfähigkeit $F_{v,Rd}$ (der Bemessungswert der Scheibenbeanspruchung) unter Einwirkung einer Kraft $F_{v,Ed}$, die am oberen Ende (Kopf) einer auskragenden, gegen Abheben (durch vertikale Einwirkungen oder durch Verankerungskräfte) gesicherten Wandtafel angreift, ist mit dem nachfolgend angeführten, vereinfachten Bemessungsver-



fahren zu ermitteln. Die Festlegungen gelten dabei für Wände aus einer oder mehreren Tafeln, wobei jede Wandtafel aus einer einseitigen Plattenbeplankung auf einem Holzrahmen besteht.

Es wird dabei vorausgesetzt, dass:

- der Abstand der Verbindungsmittel entlang der Umfangsränder jeder Platte konstant ist,
- die Breite jeder Platte mindestens $h / 4$ beträgt.

Für eine aus mehreren Wandtafeln zusammengesetzten Wand ist der Bemessungswert der Wandscheibentragfähigkeit einer Wand entsprechend der nachfolgenden Gleichung berechnet werden:

$$F_{v,Rd} = \sum F_{i,v,Rd} \quad (9.18)$$

mit:

$F_{i,v,Rd}$ Bemessungswert der Wandscheibentragfähigkeit einer einzelnen Wandtafel

Der Bemessungswert der Wandscheibentragfähigkeit jeder Wandtafel $F_{i,v,Rd}$ gegenüber der zugeordneten Einwirkung $F_{i,v,Ed}$ nach Bild 9.3 sollte wie folgt ermittelt werden:

$$F_{i,v,Rd} = \frac{F_{f,Rd} \cdot b_i \cdot c_i}{s} \quad (9.19)$$

Dabei ist:

$F_{f,Rd}$ Bemessungswert der Beanspruchbarkeit auf Abscheren eines einzelnen Verbindungsmittels,

b_i Wandscheibenbreite,

s Abstand der Verbindungsmittel

und

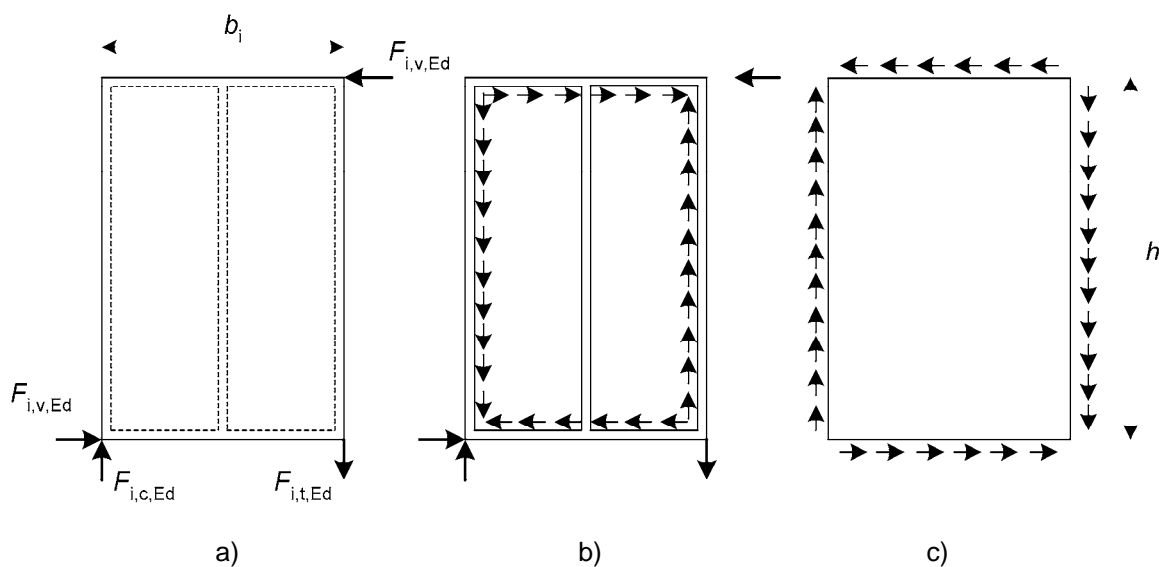
$$c_i = \begin{cases} 1 & b_i \geq b_0 \\ \frac{b_i}{b_0} & b_i < b_0 \end{cases} \quad \text{für} \quad (9.20)$$

Dabei ist:

$$b_0 = h / 2$$

h Wandhöhe.

Für die Verbindungsmittel entlang der Ränder einer einzelnen Wandtafel ist der Bemessungswert nach Kapitel 8 mit dem Faktor 1,2 zu multiplizieren. Bei der Ermittlung des Verbindungsmittelabstandes nach den Festlegungen in Kapitel 8 sind die Ränder dabei als unbeanspruchbar anzunehmen.



Tab. 9.3 Einwirkende Kräfte auf: a) Wandscheiben, b) Stabwerk, c) Beplankung

Wandscheiben, mit einer Tür- oder ein Fensteröffnung sind bei der Berechnung der Wandscheibentragfähigkeiten nicht zu berücksichtigen.

Für Wandscheiben mit beidseitiger Beplankung gelten folgende Festlegungen:

- wenn die Beplankungen und Verbindungsmittel gleicher Art und Abmessung sind, kann die Gesamttragfähigkeit dieser Wandscheibe aus der Summe der Tragfähigkeit der einzelnen Seiten ermittelt werden,
- werden unterschiedliche Beplankungen herangezogen, dürfen – wenn kein anderer Nachweis geführt wird – bei Verwendung von Verbindungsmitteln mit ähnlichem Verschiebungsmodul, 75% der Wandscheibentragfähigkeit der schwächeren Seite in Rechnung gestellt werden. In anderen Fällen sollten nicht mehr als 50% angesetzt werden.

Die äußeren Kräfte $F_{i,c,Ed}$ und $F_{i,t,Ed}$ nach Bild 9.3 sind wie folgt zu bestimmen:

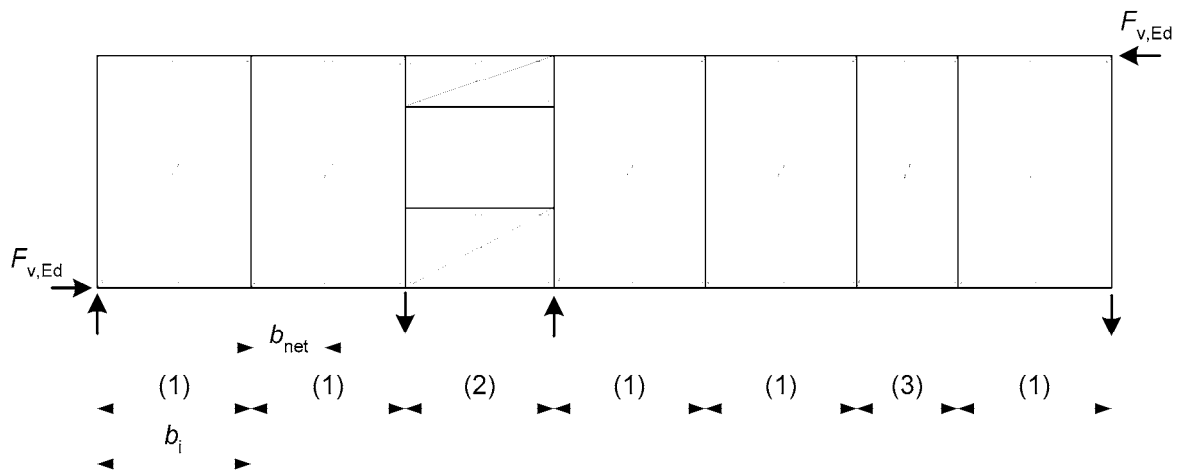
$$F_{i,c,Ed} = F_{i,t,Ed} = \frac{F_{i,v,Ed} \cdot h}{b_i} \quad (9.21)$$

Dabei ist:

h Wandhöhe

Diese Kräfte können entweder auf die Beplankungen der benachbarten Wandscheibe oder auf die darüber oder darunter liegende Konstruktion weitergeleitet werden. Sind Zugkräfte an die darunter liegende Konstruktion zu übertragen, ist die Wandscheibe durch steife Verbindungsmittel zu verankern. Das Ausknicken der Pfosten ist nach den Festlegungen von Abschnitt 6.3.2 zu überprüfen bzw. nachzuweisen. An Stellen an denen die Pfosten Kräfte auf horizontal liegende Rahmenbauteile übertragen sind die Spannungen rechtwinklig zur Faserrichtung in den horizontalen Bauteilen nach den Regelungen von Abschnitt 6.1.5 nachzuweisen (Querdrucknachweis).

Die äußeren Kräfte, die an den Wandtafeln mit Tür- oder Fensteröffnungen, sowie in Wandtafeln mit geringerer Breite auftreten (siehe Abb. 9.4) sollten in ähnlicher Weise an die darüber oder darunter situierte Konstruktion weitergeleitet werden.



Legende:

- (1) Wandscheibe (normale Breite)
- (2) Wandscheibe mit Fenster
- (3) Wandscheibe (kleinerer Breite)

Tab. 9.4 Beispiel für die Zusammensetzung einer Wandscheibe mit einer Wandtafel mit Fensteröffnung und einer Wandscheibe geringerer Breite

Beulen infolge Schubbeanspruchung der Beplankung darf vernachlässigt werden, wenn die Bedingung $\frac{b_{net}}{t} \leq 100$ eingehalten wird.



Dabei ist:

b_{net} lichter Abstand zwischen den Pfosten,

t Dicke der Beplankung

Um den Mittelpfosten für die Beplankung in der Berechnung der Schubtragfähigkeit berücksichtigen zu können, darf der Abstand der Verbindungsmittel im Mittelpfosten nicht mehr als doppelt so groß sein, wie jener der Beplankungsränder.

Wenn eine Wand aus vorgefertigten Wandtafeln besteht ist die Übertragung der Schubkräfte zwischen den einzelnen Wandtafeln nachzuweisen.

In den Kontaktflächen zwischen vertikalen Pfosten und horizontalen Holzbauteilen sind die Druckspannungen rechtwinklig zur Faserrichtung in den horizontalen Holzbauteilen nachzuweisen.



10 Nachgiebig verbundene Biegestäbe

Die Querschnitte von nachgiebig verbundenen Biegestäben sind aus mehreren Teilen aufgebaut, die durch mechanisch wirkende Verbindungsmittel miteinander verbunden sind. Die Verbindungsmittel übertragen dabei im Wesentlichen Schubkräften.

10.1 Vereinfachter Nachweis

Der vereinfachte Nachweis basiert auf der Annahme, dass für die Einzelteile die technische Biegetheorie gilt und die Schubverformungen vernachlässigt werden können.

10.1.1 Querschnitte

In diesem Kapitel werden die Berechnungsgrundlagen und –methoden für die in Abb. 10.1 dargestellten Querschnittsformen dargestellt.

10.1.2 Annahmen

Das erläuterte Rechenverfahren basiert auf der linearen Elastizitätstheorie und beruht auf folgenden Annahmen:

Die Biegeträger sind Einfeldträger mit der Spannweite l . Für Durchlaufträger ist für die Spannweite in den nachfolgend angeführten Gleichungen für das betrachtete Feld der Wert $0,8 \cdot l$ und für Kragträger ist die doppelte Kraglänge einzusetzen.

Die einzelnen Querschnittsteile (aus Holz oder Holzwerkstoffen) sind entweder ungestoßen oder mit geklebten Stößen ausgeführt.

Die einzelnen Querschnittsteile sind miteinander durch mechanische Verbindungsmittel mit dem Verschiebungsmodul K verbunden.

Der Abstand s der Verbindungsmittel untereinander ist konstant oder variiert entsprechend der Querkraftlinie zwischen s_{\min} und s_{\max} , wobei für die Abstufung $s_{\max} \leq 4 \cdot s_{\min}$ einzuhalten ist.

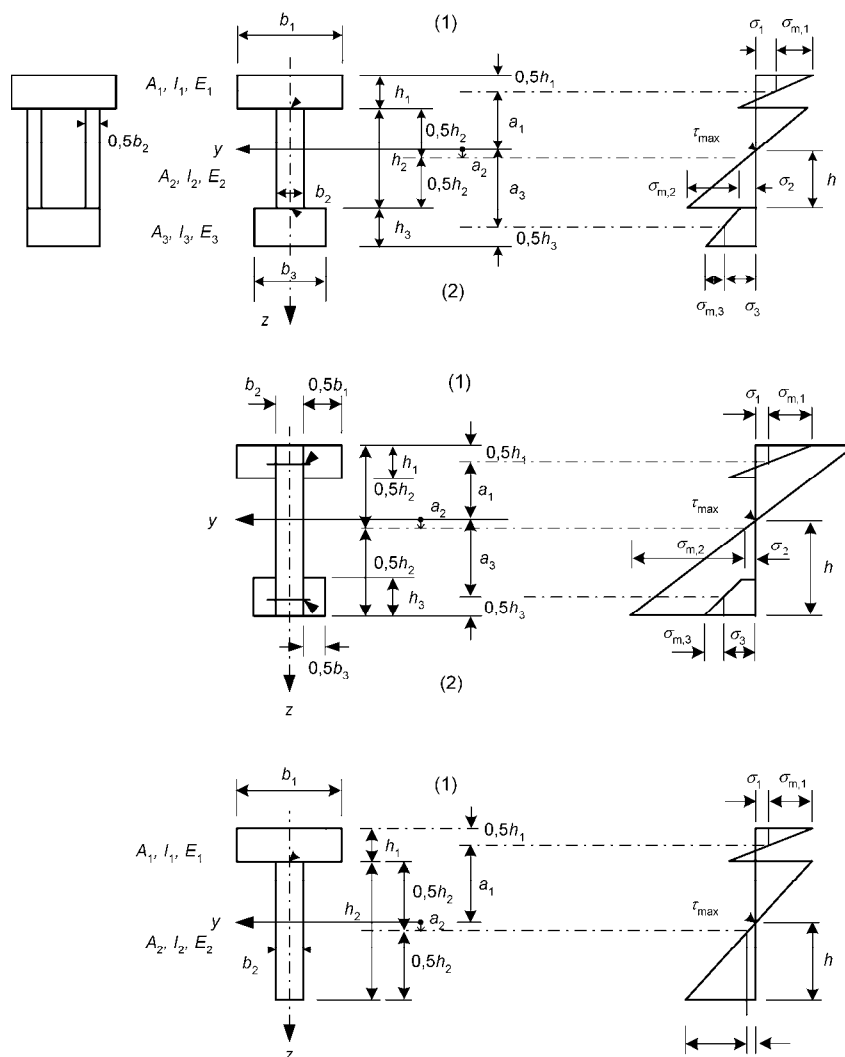
Die Belastung wirkt in z -Richtung und verursacht ein sinus- oder parabelförmiges Moment $M = M(x)$ und eine Querkraft $V = V(x)$.

10.1.3 Abstände der Verbindungsmittel

Wenn Gurt aus zwei Teilen besteht, die mit dem Steg verbunden sind, oder wenn der Steg zweiteilig ausgeführt ist (wie z.B. bei einem Hohlkastenquerschnitt) ist der Abstand der Verbindungsmittel s_i aus der Summe der Verbindungsmittel pro Längeneinheit in den beiden Anschlussflächen zu ermitteln.

10.1.4 Durchbiegungen infolge von Biegemomenten

Durchbiegungen sind unter Verwendung der effektiven Biegesteifigkeit $(E \cdot I)_{ef}$ in Übereinstimmung mit den Regelungen nach Abschnitt 10.2 zu bestimmen.



Legende:

- | | | | |
|-----|----------------|---------------------------|--------------|
| (1) | Abstand: s_1 | Verschiebungsmodul: K_1 | Kraft: F_1 |
| (2) | Abstand: s_3 | Verschiebungsmodul: K_3 | Kraft: F_3 |

Abb. 10.1 Querschnitte (links) und Verlauf der Biegespannungen (rechts).
 Alle Maße sind positiv definiert mit Ausnahme des Wertes für a_2 ,
 der in der dargestellten Form positiv angegeben ist.



10.2 Wirksame Biegesteifigkeit

Die wirksame Biegesteifigkeit ist wie folgt zu ermitteln:

$$(E \cdot I)_{ef} = \sum_{i=1}^3 (E_i \cdot I_i + \gamma_i \cdot E_i \cdot A_i \cdot a_i^2) \quad (10.1)$$

mit dem Mittelwert des Elastizitätsmodul E und mit:

$$A_i = b_i \cdot h_i \quad (10.2)$$

$$I_i = \frac{b_i \cdot h_i^3}{12} \quad (10.3)$$

$$\gamma_2 = 1 \quad (10.4)$$

$$\gamma_i = \left[\frac{1 + \pi^2 \cdot E_i \cdot A_i \cdot s_i}{K_i \cdot l^2} \right]^{-1} \quad \text{für } i = 1 \text{ und } i = 3 \quad (10.5)$$

$$a_2 = \frac{\gamma_1 \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot (h_1 + h_2) - \gamma_3 \cdot E_3 \cdot A_3 \cdot (h_2 + h_3)}{2 \cdot \sum_{i=1}^3 \gamma_i \cdot E_i \cdot A_i} \quad (10.6)$$

mit den Bezeichnungen aus Abb. 10.1 .

Wobei für:

$K_i = K_{ser,i}$ für Berechnungen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit;

$K_i = K_{u,i}$ für Berechnungen im Grenzzustand der Tragfähigkeit;

zu verwenden sind.

Bei T-Querschnitten gilt $h_3 = 0$.

10.3 Normalspannungen

Die Normalspannungen können mit den beiden nachstehend angeführten Formeln ermittelt werden:

$$\sigma_i = \frac{\gamma_i \cdot E_i \cdot A_i \cdot a_i}{(E \cdot I)_{ef}} \cdot M \quad (10.7)$$

$$\sigma_{m,i} = \frac{0,5 \cdot E_i \cdot h_i}{(E \cdot I)_{ef}} \cdot M \quad (10.8)$$



10.4 Größte Schubspannung

Die maximalen Schubspannungen treten dort auf, wo die Normalspannungen zu Null werden. Die größten Schubspannungen im Steg (Teil 2 in Abb. 10.1) können mit der folgenden Formel berechnet werden:

$$\tau_{2,\max} = \frac{\gamma_3 \cdot E_3 \cdot A_3 \cdot a_3 + 0,5 \cdot E_2 \cdot b_2 \cdot h_2^2}{b_2 \cdot (E \cdot I)_{ef}} \cdot V \quad (10.9)$$

10.5 Beanspruchung der Verbindungsmittel

Die Beanspruchung der Verbindungsmittel ergibt sich zu:

$$F_i = \frac{\gamma_i \cdot E_i \cdot A_i \cdot a_i \cdot s_i}{(E \cdot I)_{ef}} \cdot V \quad (10.10)$$

wobei

$i = 1$ bzw. 3 ;

$s_i = s_i(x)$ der in 10.1.3 definierte Verbindungsmittelabstand ist.



11 Zusammengesetzte Druckstäbe

Die Beanspruchbarkeit von schlanken Druckstäben wird im Allgemeinen durch die kritische Knicklast bestimmt. Die Höhe der Knicklast ist dabei von der Bauteilschlankheit abhängig, d.h. um die Knicklast zu erhöhen ist eine Verminderung der Schlankheit erforderlich. Dieser Umstand kann in Form von zwei Maßnahmen erreicht werden: einerseits durch Reduktion der Knicklänge, sowie durch eine Vergrößerung des Trägheitsradius um die zu betrachtende Knickebene.

11.1 Allgemeines

Die Knicklänge von Druckstäben kann durch den Einbau von Aussteifungen oder Zwischenabstützungen in der Richtung des Ausknickens vermindert werden. Die Erhöhung des Trägheitsradius kann dabei einerseits durch größere Abmessungen der Bauteile oder durch den Einbau von Bauteilen, die als mehrteiligen Druckstäben ausgebildet sind, erreicht werden.

11.1.1 Annahmen

Die im Folgenden genannten Formeln und Festlegungen sind unter folgenden Annahmen gültig:

- die Stützen der Länge l sind beidseitig unverschieblich gelenkig gelagert,
- die einzelnen Teil sind nicht gestoßen,
- die Stütze ist durch die Normalkraft F_c belastet, welche im Schwerpunkt des Querschnittes angreift (siehe 11.2.3).

11.1.2 Tragfähigkeit

Für das Ausknicken in y -Richtung (siehe Abb. 11.1 und 11.3) lässt sich die Tragfähigkeit des zusammengesetzten Druckstabes aus der Summe der Tragfähigkeiten der Einzelstäbe ermitteln.

Für das Ausknicken in die z -Richtung (siehe Abb. 11.1 und 11.3) ist nachzuweisen, dass die folgenden Gleichungen eingehalten sind.

$$\sigma_{c,0,d} \leq k_c \cdot f_{c,0,d} \quad (11.1)$$



Wobei:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{F_{c,d}}{A_{tot}} \quad (11.2)$$

Es bedeuten:

A_{tot} Gesamtquerschnittsfläche

k_c Knickbeiwert nach 6.3.2 mit der bezogenen Schlankheit λ_{ref} nach Abschnitt 11.2 – 11.4

11.2 Druckstäbe mit kontinuierlicher mechanischer Verbindung

11.2.1 Wirksamer Schlankheitsgrad

Der wirksame Schlankheitsgrad ergibt sich zu:

$$\lambda_{ef} = l \cdot \sqrt{\frac{A_{tot}}{I_{ef}}} \quad (11.3)$$

mit

$$I_{ef} = \frac{(E \cdot I)_{ef}}{E_{mean}} \quad (11.4)$$

wobei $(E \cdot I)_{ef}$ entsprechend der Festlegungen in Kapitel 10 zu ermitteln ist.

11.2.2 Beanspruchung der Verbindungsmittel

Die Beanspruchung der Verbindungsmittel in gemäß der Festlegungen in Kapitel 10 zu bestimmen, wobei

$$V_d = \begin{cases} \frac{F_{c,d}}{120 \cdot k_c} & \lambda_{ef} < 30 \\ \frac{F_{c,d} \cdot \lambda_{ef}}{3600 \cdot k_c} & \text{für } 30 \leq \lambda_{ef} < 60 \\ \frac{F_{c,d}}{60 \cdot k_c} & 60 \leq \lambda_{ef} \end{cases} \quad (11.5)$$



11.2.3 Kombinierte Beanspruchungen

In Fällen, in denen neben der Normalkraft auch kleine (Zusatz-) Momente (z.B. aus Eigengewicht) wirken sind die Festlegungen nach 6.3.2 zu beachten.

11.3 Mehrteilige gespreizte Stäbe mit Zwischen- oder Bindehölzern

11.3.1 Annahmen

Die folgenden Festlegungen gelten für die in Abb. 11.1 dargestellten Druckstäbe, d.h. für mehrteilige gespreizte Rahmenstäbe mit Zwischen- oder Bindehölzern. Die Verbindung der Einzelstäbe kann dabei mittels Nagelung, Verklebung oder mittels geeigneten Dübeln besonderer Bauart (mit Verbolzung) erfolgen.

Es sind die folgenden Annahmen gültig:

- der Gesamtquerschnitt besteht aus zwei, drei oder vier Einzelstäben,
- der Gesamtquerschnitt ist bezüglich beider Querschnittsachsen symmetrisch aufgebaut,
- die Anzahl der Felder der Rahmenstäbe beträgt mindestens drei, d.h. die Einzelstäbe sind zumindest an den Enden, sowie in den Drittelpunkten miteinander verbunden,
- der lichte Abstand a zwischen den Einzelstäben beträgt höchstens das Dreifache der Einzelstabdicke h bei Druckstäben mit Zwischenhölzern und nicht mehr als das Sechsfache der Einzelstabdicke h bei Druckstäben mit Bindehölzern,
- die Verbindungen, die Zwischenhölzer und die Bindehölzer sind nach Abschnitt 11.2.2 nachzuweisen,
- die Länge l_2 des Zwischenholzes erfüllt die Bedingung $l_2 / a \leq 1,5$;
- in jeder Scherfuge sind mindestens vier Nägel oder zwei Bolzen mit Dübeln besonderer Bauart anzuordnen. Bei genagelten Rahmenstäben enthalten die Querverbindungen in Richtung des Druckstabes an den Stabenden mindestens vier Nägel in einer Reihe hintereinander,
- die Bindehölzer erfüllen die Bedingung: $l_2 / a \leq 2$;
- die Druckstäbe werden durch Normalkräfte die im Schwerpunkt des Gesamtquerschnittes angreifen beansprucht.

Für Druckstäbe mit zwei Einzelstäben sind A_{tot} und I_{tot} wie folgt zu ermitteln:

$$A_{tot} = 2 \cdot A \tag{11.6}$$

$$I_{tot} = \frac{b \cdot [(2 \cdot h + a)^3 - a^3]}{12} \tag{11.7}$$

Für Druckstäbe mit drei Einzelstäben sind A_{tot} und I_{tot} wie folgt zu ermitteln:

$$A_{tot} = 3 \cdot A \tag{11.8}$$

$$I_{tot} = \frac{b \cdot [(3 \cdot h + 2 \cdot a)^3 - (h + 2 \cdot a)^3 + h^3]}{12} \tag{11.9}$$

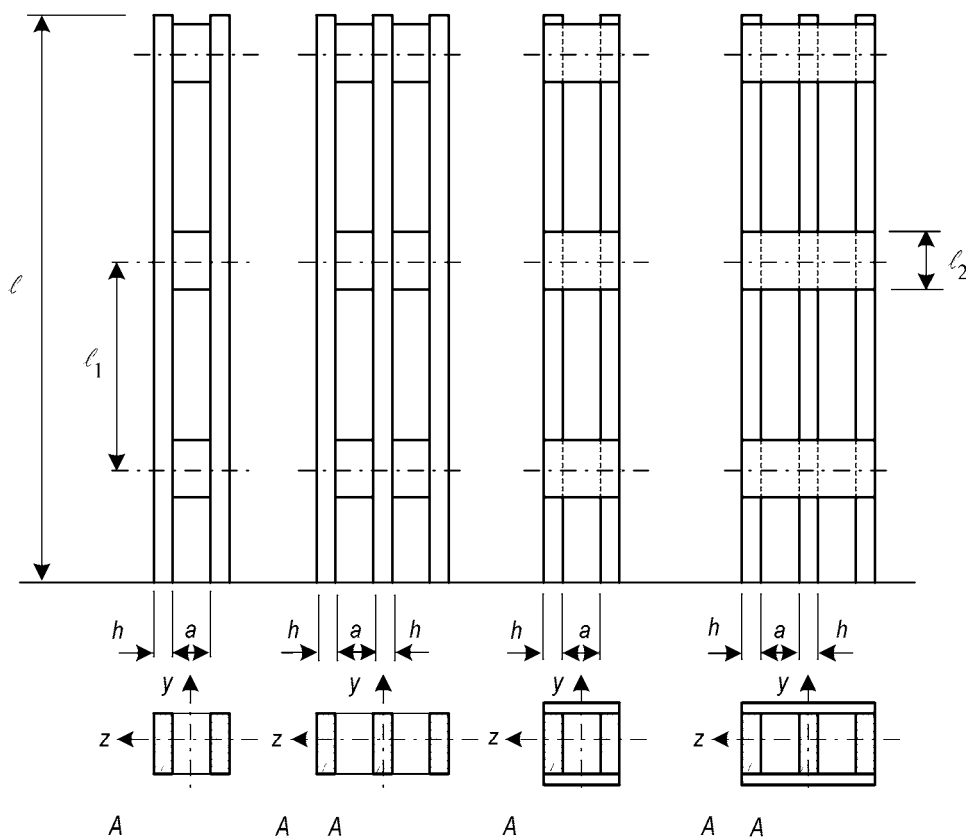


Abb. 11.1 Mehrteilige gespreizte Druckstäbe



11.3.2 Tragfähigkeit bei Beanspruchung in Stabrichtung

Für das Ausknicken in y-Richtung (siehe Abb. 11.1) lässt sich die Tragfähigkeit des mehrteiligen gespreizten Druckstabes als Summe der Tragfähigkeit der Einzelstäbe ermitteln.

Für das Ausknicken in z-Richtung gelten die Festlegungen nach 11.1.2 mit

$$\lambda_{ef} = \sqrt{\lambda^2 + \eta \cdot \frac{n}{2} \cdot \lambda_1^2} \quad (11.10)$$

Es bedeuten:

λ Schlankheitsgrad eines mehrteiligen Druckstabes mit derselben Länge und Querschnittsfläche (A_{tot}) und demselben Wert des Flächenmomentes 2. Grades (I_{tot}), d.h.

$$\lambda = l \cdot \sqrt{\frac{A_{tot}}{I_{tot}}} \quad (11.11)$$

λ_1 Schlankheit eines Einzelstabes, wobei dieser als Mindestwert mit 30 in Gleichung 11.13 einzusetzen

$$\lambda_1 = \sqrt{12} \cdot \frac{l_1}{h} \quad (11.12)$$

n Anzahl der Einzelstäbe

η Beiwert nach Tabelle 11.1

Klasse der Lasteinwirkungsdauer	Zwischenhölzer			Bindehölzer	
	geklebt	genagelt	verbolzt	geklebt	genagelt
ständig / lang	1	4	3,5	3	6
mittel / kurz	1	3	3,5	2	4,5
^b Mit Dübeln besonderer Bauart					

Tab. 11.1 Beiwert η

11.3.3 Beanspruchung der Verbindungsmittel sowie der Zwischen- und Bindehölzer

Die Beanspruchungen der Verbindungsmittel, sowie der Zwischen- und Bindehölzer sind in Abb. 11.2, mit V_d nach Abschnitt 11.2.2, dargestellt.

Die in den Zwischen- und Bindehölzer wirkende Querkraft in Abb. 11.2 ist gemäß der folgenden Gleichung zu berechnen:

$$T_d = \frac{V_d \cdot l_1}{a_1} \quad (11.13)$$

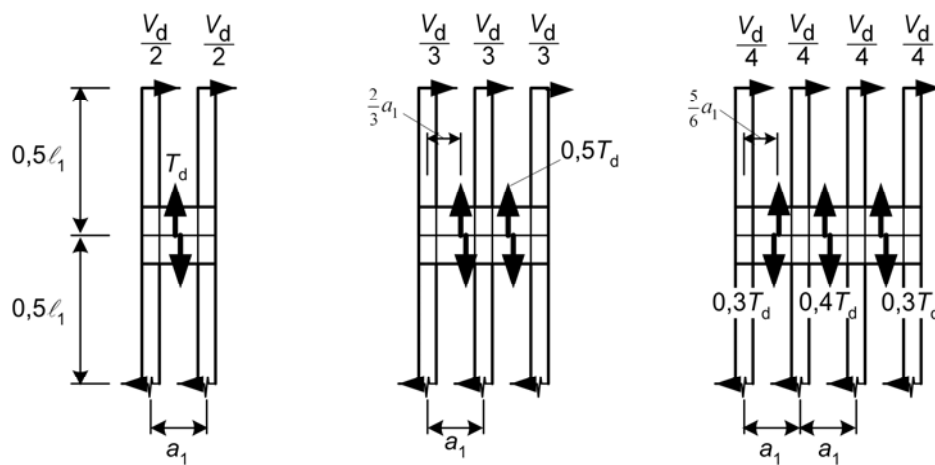


Abb. 11.2 Querkraftverteilung und Belastung der Binde- oder Zwischenhölzer



12 ANWENDUNGSBEISPIELE ZU EN 1995-1-1 (EUROCODE 5)

12.1 Beispiel 1: Stütze mit Vollholzquerschnitt

Stütze mit Vollholzquerschnitt 100 x 100 mm, Knicklänge $l = 3\,000$ mm.

Festigkeitsklasse C22 nach EN 338 ($f_{c,0,k} = 20$ N/mm² und $E_{0,05} = 6\,700$ N/mm²).

Bemessungswert der Druckkraft $N_d = 30$ kN (mittlere Lasteinwirkungsdauer),
Nutzungsstufe 1.

Bemessungswert der Druckkraft

$$f_{c,0,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M} = 0,8 \frac{20}{1,3} = 12,3 \text{ MPa}$$

Bemessungswert der Druckspannung

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{30 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3} = 3,0 \text{ MPa}$$

(geometrische) Schlankheit

$$\lambda = \frac{\ell_{\text{ef}}}{i} = \frac{3\,000}{0,289 \cdot 100} = 103,8$$



Kritische Knickspannung

$$\sigma_{c,crit} = \pi^2 \frac{E_{0,05}}{\lambda^2} = 3,14^2 \frac{6\,700}{103,8^2} = 6,1 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}} = \sqrt{\frac{20}{6,1}} = 1,8$$

$$k = 0,5 \left[1 + \beta_c (\lambda_{rel} - 0,3) + \lambda_{rel}^2 \right] = 0,5 \left[1 + 0,2(1,8 - 0,3) + 1,8^2 \right] = 2,27$$

Knickbeiwert

$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}} = \frac{1}{2,27 + \sqrt{2,27^2 - 1,8^2}} = 0,29$$

Knicknachweis

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c f_{c,0,d}} \leq 1$$

$$\frac{3,0}{0,29 \cdot 12,4} = 0,83 < 1$$



12.2 Beispiel 2: Biegebalken mit Vollholzquerschnitt

Einfeldträger mit einem Querschnitt von 50 x 200 mm, Spannweite $\ell = 3\,500$ mm.

Festigkeitsklasse Vollholz C22 nach EN 338 ($f_{m,k} = 22$ N/mm², $f_{v,k} = 2,4$ N/mm², $E_{0,05} = 6\,700$ N/mm²).

Bemessungswert der Gleichlast von 2 kN/m (mittlere Lasteinwirkungsdauer),
Nutzungsstufe 1.

Bemessungswerte der Biege- und Schubfestigkeit

$$f_{m,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,8 \frac{22,0}{1,3} = 13,5 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,8 \frac{2,4}{1,3} = 1,48 \text{ MPa}$$

- Biegung (es wird angenommen, dass der Biegedruckrand des Balkens über die gesamte Länge kontinuierlich gegen Kippen gehalten ist)

Biegenachweis

$$\sigma_{m,d} \leq f_{m,d}$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_d}{W} = \frac{1}{8} \frac{q_d \ell^2}{W} = \frac{1}{8} \frac{2 \cdot 3500^2 \cdot 6}{50 \cdot 200^2} = 9,2 \text{ MPa} < 13,5 \text{ MPa}$$

- Biegung (es wird angenommen, dass der Balken nicht kontinuierlich gehalten ist)

Kritische Kippspannung

$$\sigma_{m,\text{crit}} = \frac{0,78 b^2 E_{0,05}}{h \ell_{\text{ef}}} = \frac{0,78 \cdot 50^2 \cdot 6700}{200 \cdot (0,9 \cdot 3500 + 400)} = 18,4 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{\text{rel,m}} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,\text{crit}}}} = \sqrt{\frac{22}{18,4}} = 1,06$$



$$k_{\text{crit}} = 1,56 - 0,75 \lambda_{\text{rel,m}} = 1,56 - 0,75 \cdot 1,06 = 0,76$$

$$k_{\text{crit}} \cdot f_{\text{m,d}} = 0,76 \cdot 13,5 = 10,3 \text{ MPa}$$

Kippnachweis

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

$$\sigma_{\text{m,d}} = \frac{M_{\text{d}}}{W} = \frac{1}{8} \frac{q_{\text{d}} \ell^2}{W} = \frac{2 \cdot 3500^2 \cdot 6}{8 \cdot 50 \cdot 200^2} = 9,2 \text{ MPa} < 10,3 \text{ MPa}$$

– Schub

$$\tau_{\text{v,d}} \leq f_{\text{v,d}}$$

Wirksame Breite

$$b_{\text{ef}} = k_{\text{cr}} b$$

$k_{\text{cr}} = 0,67$ berücksichtigt das Auftreten von Schwindrissen bei einer zu schnellen Trocknung des Holzes

Schubnachweis

$$\tau_{\text{v,d}} = \frac{3 V_{\text{d}}}{2 A} = \frac{3 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 3500}{2 \cdot 2 \cdot 0,67 \cdot 50 \cdot 200} = 0,78 \text{ MPa} < 1,48 \text{ MPa}$$

12.3 Beispiel 3: Versatz

Versatz mit einer Strebe der Querschnittsabmessungen 140 x 140 mm, (siehe Abbildung unten (die Einschnitttiefe beträgt 45 mm, die Abscherlänge im Gurt 250 mm und der Neigungswinkel der Strebe $\beta = 45^\circ$).

Bemessungswerte der Baustoffeigenschaften sind: $f_{c,0,d} = 11,03 \text{ N/mm}^2$, $f_{c,90,d} = 2,21 \text{ N/mm}^2$, $f_{v,d} = 1,32 \text{ N/mm}^2$.

Bemessungswert der Druckkraft $N_d = 55 \text{ kN}$.

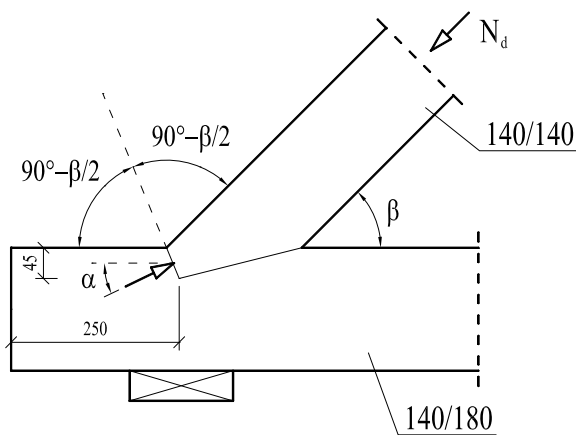


Abb. 12.1 Versatz

Bemessungswert der Druckfestigkeit unter einem Winkel schräg zur Faserrichtung

$$f_{c,\alpha,d} = \frac{f_{c,0,d}}{\frac{f_{c,0,d}}{k_{c,90} f_{c,90,d}} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{11,03}{\frac{11,03}{2,81} \sin^2 22,5^\circ + \cos^2 22,5^\circ} = 7,72 \text{ MPa}$$

Nachweise

$$\sigma_{c,\alpha,d} = \frac{N_d \cos^2 \alpha}{b t_z} = \frac{55 \cdot 10^3 \cos^2 22,5^\circ}{140 \cdot 45} = 7,45 \text{ MPa} < 7,72 \text{ MPa}$$

$$\tau_{v,d} = \frac{N_d \cos \beta}{b \ell_z} = \frac{55 \cdot 10^3 \cos 45^\circ}{140 \cdot 250} = 1,11 \text{ MPa} < 1,32 \text{ MPa}$$

12.4 Beispiel 4: Wandtafel aus Holz

Die nachfolgend abgebildete Wandtafel (siehe Abb. 12.2) wird durch eine horizontal wirkende Kraft mit dem Bemessungswert von $F_{H,d,tot} = 25 \text{ kN}$ (mittlere Lasteinwirkungsdauer) an der Oberkante der Wand belastet.

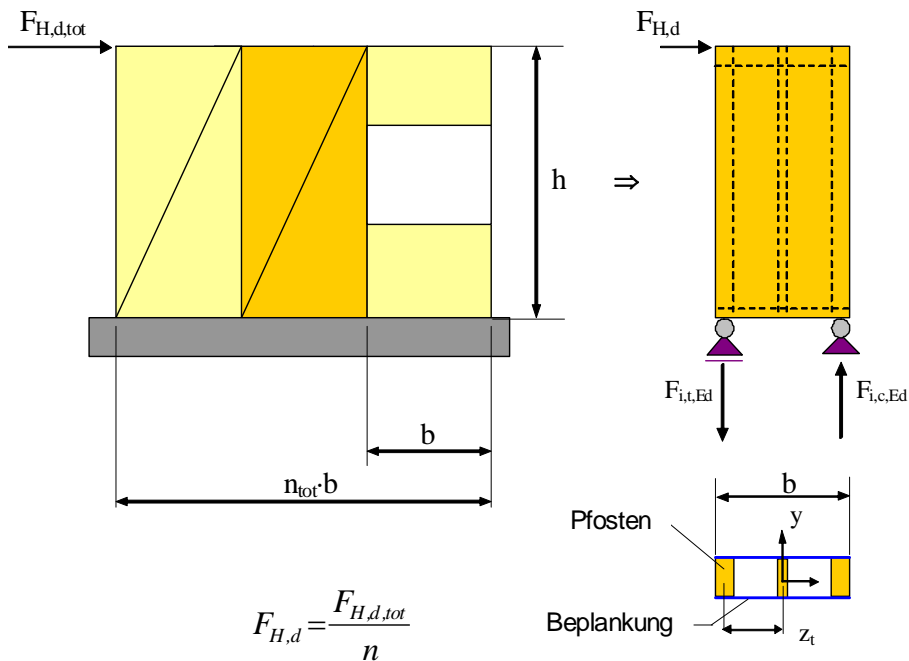


Abb. 12.2 Wandaufbau

Das betrachtete Einzelwandelement weist die Abmessungen $h = 2635 \text{ mm}$ und $b = 1250 \text{ mm}$ auf und besteht aus Vollholzpfeilen ($2 \times 90 \times 90 \text{ mm}$ und $1 \times 44 \times 90 \text{ mm}$) und Holzriegeln ($2 \times 80 \times 90 \text{ mm}$). Die Beplankung aus Sperrholz hat eine Dicke von $t = 15 \text{ mm}$ und ist mittels Klammern mit dem Durchmesser $\varnothing 1,53 \text{ mm}$ und einer Länge $l = 35 \text{ mm}$ an dem Holzrahmen befestigt. Der mittlere Verbindungsmittelabstand beträgt $s = 75 \text{ mm}$ (siehe Abb. 12.2).

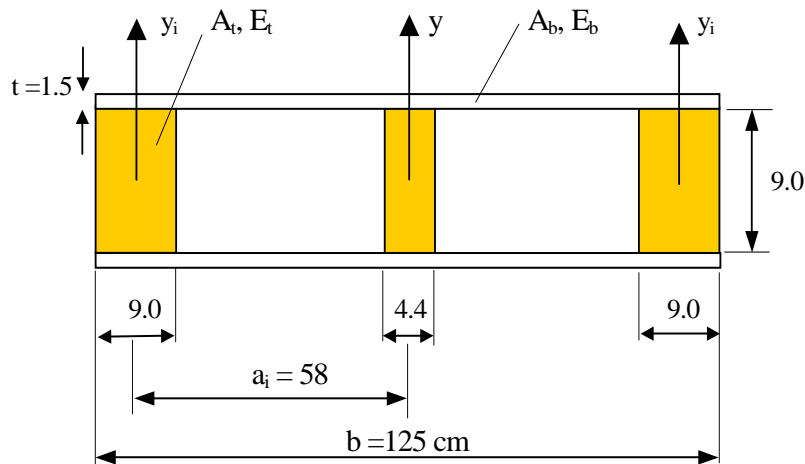


Abb. 12.3 Querschnitt eines Einzelwandelementes

Die Baustoffeigenschaften entsprechen der Festigkeitsklasse C 22 nach EN 338 für die Pfosten und Riegel. Für die Sperrholz-Bepankung sind die Kennwerte für „Swediam plywood boards (S-plywood)“ aus Steck: „Holzwerkstoffe – Sperrholz, Holzbauwerke: Bemessung und Baustoffe nach Eurocode 5, Step 1“, 1995 entnommen. Alle Baustoffeigenschaften können der nachfolgenden Tab. 12.1 entnommen werden.

	$E_{0,m}$ [N/mm ²]	$f_{m,k}$ [N/mm ²]	$f_{t,0,k}$ [N/mm ²]	$f_{c,0,k}$ [N/mm ²]	ρ_k [kg/m ³]	ρ_m [kg/m ³]
C22	10 000	22,0	13,0	20,0	340,0	410,0
S – plywood*	9 200	23,0	15,0	15,0	410,0	410,0

* Die angegebenen Werte gelten für eine Plattendicke von 12 mm.

Tab. 12.1 Baustoffeigenschaften der eingesetzten Materialien

- a) Charakteristischer Wert des Fließmomentes der Klammer

$$M_{y,Rk} = 240 \cdot d^{2.6} = 240 \cdot 1,53^{2.6} = 725,12 \text{ Nmm}$$

- b) Charakteristischer Wert der Lochleibungsfestigkeit

für Sperrholz: $f_{h,1,k} = 0.11 \cdot \rho_k \cdot d^{-0.3} = 0,11 \cdot 410 \cdot 1,53^{-0.3} = 39,70 \text{ N/mm}^2$



für Vollholz: $f_{h,2,k} = 0,082 \cdot \rho_k \cdot d^{-0,3} = 0,082 \cdot 340 \cdot 1,53^{-0,3} = 24,54 \text{ N/mm}^2$

- c) Charakteristischer Wert der Tragfähigkeit auf Abscheren eines Verbindungsmittels ($t_1 = 15 \text{ mm}$, $t_2 = 20 \text{ mm}$).

Die charakteristische Tragfähigkeit auf Abscheren pro Klammer und Scherfuge ist wie die Tragfähigkeit zweier Nägel mit äquivalentem Durchmesser zu ermitteln.

$$F_{f,Rk} = 2 \cdot f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d = 1822,14 \text{ N}$$

$$F_{f,Rk} = 2 \cdot f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d = 1501,88 \text{ N}$$

$$F_{v,Rk} = 2 \cdot \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{1 + \beta} \cdot \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 \cdot \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \cdot \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \cdot \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} = 678,04 \text{ N}$$

$$F_{f,Rk} = 2 \cdot 1,05 \cdot \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \cdot \left[\sqrt{2\beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4\beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} = 667,10 \text{ N}$$

$$F_{f,Rk} = 2 \cdot 1,05 \cdot \frac{f_{h,1,k} \cdot t_2 \cdot d}{2 + \beta} \cdot \left[\sqrt{2\beta^2 \cdot (1 + \beta) + \frac{4\beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_2^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} = 705,88 \text{ N}$$

$$F_{f,Rk} = 2 \cdot 1,15 \cdot \frac{\sqrt{2\beta}}{\sqrt{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} = 596,67 \text{ N}$$

$$F_{f,Rk} = 596,67 \text{ N}$$

- d) Charakteristischer Wert der Schubbeanspruchbarkeit einer einzelnen Wandtafel (EN 1995-1-1, Methode A)

$$F_{i,v,Rk} = 2 \cdot \frac{F_{f,Rk} \cdot b_i \cdot c_i}{s} = 2 \cdot \frac{596,67 \cdot 125,0 \cdot 0,949}{7,5} = 18874,66 \text{ N} = 18,87 \text{ kN}$$

$$c_i = \frac{b_i}{b_0} = \frac{125 \cdot 2}{263,5} = 0,949; \quad b_0 = \frac{h}{2}$$

- e) Charakteristischer Wert der Schubbeanspruchbarkeit der gesamten Wandtafel (das Wandelement mit der Öffnung wird nicht berücksichtigt)

$$F_{v,Rk} = \sum F_{i,v,Rk} = 2 \cdot 18,87 \text{ kN} = 37,74 \text{ kN}$$



- f) Bemessungswert der Schubtragfähigkeit der gesamten Wandscheibe ($k_{\text{mod}} = 0,9$)

$$F_{v,Rd} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{37,74}{1,30} = 26,13 \text{ kN}$$

- g) Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit

$$F_{v,Rd} > F_{H,d,\text{tot}}$$

$$26,13 \text{ kN} > 25,0 \text{ kN}$$

- h) Bemessungswert der äußeren Kräfte an den Auflagern (siehe Abb. 12.2)

$$F_{i,c,Ed} = F_{i,t,Ed} = \frac{F_{H,d} \cdot h}{b} = \frac{25,0 \cdot 263,5}{2 \cdot 125} = 26,35 \text{ kN}$$

12.5 Beispiel 5a: Pulldachträger mit einer Spannweite von 12 m

Bemessung eines Pulldachträgers (Abb. 12.4). Material: Brettschichtholz (GL 24h), Nutzungsklasse 1, Charakteristische Werte Einwirkungen: Eigengewicht $g_k = 4,5 \text{ kN/m}$, Schnee $s_k = 4,5 \text{ kN/m}$.

Geometrische Abmessungen des Trägers:

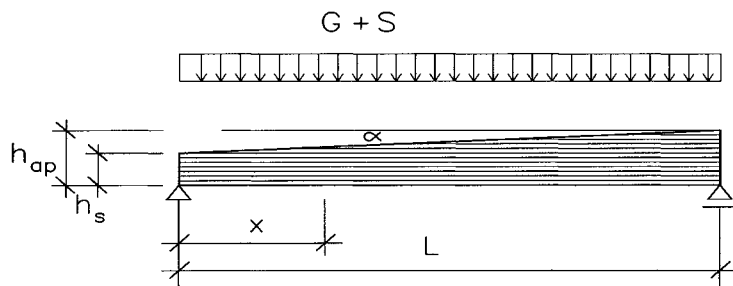


Abb. 12.4 Skizze des Pulldachträgers

Spannweite: $L = 12\,000 \text{ mm}$

Höhe des Trägers im Firstbereich: $h_{ap} = 1\,200 \text{ mm}$

Anschnittwinkel: $\alpha = 3^\circ$

Trägerbreite: $b = 140 \text{ mm}$

Überhöhung des Trägers : $w_c = 30 \text{ mm}$

$f_{m,g,k} = 24 \text{ MPa}$

$f_{v,g,k} = 2,7 \text{ MPa}$

$f_{c,90,g,k} = 2,7 \text{ MPa}$

$f_{t,90,g,k} = 0,4 \text{ MPa}$

$E_{0,\text{mean},g} = 11\,600 \text{ MPa}$

Der Träger ist gegen Biegedrillknicken (Kippen) gesichert.



Bemessungswert der Biegefestigkeit

$$f_{m,g,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{m,g,k}}{\gamma_M} = 0,9 \frac{24}{1,25} = 17,28 \text{ MPa}$$

Bemessungswert der Schubfestigkeit

$$f_{v,g,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{v,g,k}}{\gamma_M} = 0,9 \frac{2,7}{1,25} = 1,94 \text{ MPa}$$

Bemessungswert der Druckfestigkeit rechtwinklig zur Faserrichtung

$$f_{c,90,g,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{c,90,g,k}}{\gamma_M} = 0,9 \frac{2,7}{1,25} = 1,94 \text{ MPa}$$

Grundkombination der Einwirkungen

$$q_d = 1,35g_k + 1,5p_k = 1,35 \cdot 4,5 + 1,5 \cdot 4,5 = 12,825 \text{ kN/m}$$

Auflagerkraft

$$V_d = q_d \frac{L}{2} = 12,825 \frac{12}{2} = 76,95 \text{ kN}$$

Höhe über dem Auflager

$$h_s = h_{\text{ap}} - tg \alpha \cdot L = 1,2 - tg 3^0 \cdot 12 = 0,571 \text{ m}$$

Nachweise

- a) Schub über dem Auflager

$$\tau_{v,d} = \frac{3V_d}{2bh_0} = \frac{3 \cdot 76,95 \cdot 10^3}{2 \cdot 140 \cdot 571} = 1,44 \text{ MPa} < 1,94 \text{ MPa}$$



- b) Biegung an der maßgebenden Stelle mit der höchsten Beanspruchung

Stelle der größten Beanspruchung

$$x = \frac{L}{1 + \frac{h_{ap}}{h_s}} = \frac{12}{1 + \frac{1,2}{0,571}} = 3,87 \text{ m}$$

Trägerhöhe an der Stelle der größten Beanspruchung

$$h_x = \frac{2 \cdot h_{ap}}{1 + \frac{h_{ap}}{h_s}} = \frac{2 \cdot 1,2}{1 + \frac{1,2}{0,571}} = 0,774 \text{ m}$$

Biegemoment an der Stelle der größten Beanspruchung

$$M_d = V_d x - \frac{q_d x^2}{2} = 76,95 \cdot 3,87 - \frac{12,825 \cdot 3,87^2}{2} = 201,76 \text{ kNm}$$

Biegespannungen an der Stelle der größten Beanspruchung

$$\sigma_{m,0,d} = \sigma_{m,a,d} = \frac{6M_d}{bh_x^2}$$

$$\sigma_{m,0,d} \leq f_{m,g,d}$$

$$\sigma_{m,0,d} = \frac{6 \cdot 201,76 \cdot 10^6}{140 \cdot 774^2} = 14,43 \text{ MPa} < 17,28 \text{ MPa} \Rightarrow \text{allowed}$$

$$\sigma_{m,a,d} \leq k_{m,a} \cdot f_{m,g,d}$$

$$k_{m,a} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{m,g,d}}{1,5 f_{v,g,d}} \operatorname{tg} \alpha \right)^2 + \left(\frac{f_{m,g,d}}{f_{c,90,g,d}} \operatorname{tg}^2 \alpha \right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{17,28}{1,5 \cdot 1,94} \operatorname{tg} 30^\circ \right)^2 + \left(\frac{17,28}{1,94} \operatorname{tg}^2 30^\circ \right)^2}} = 0,9112$$

$$\sigma_{m,a,d} = 14,43 \text{ MPa} < 0,9112 \cdot 17,28 = 15,74 \text{ MPa} \Rightarrow \text{allowed}$$

– c) Durchbiegung

$$w_m = k_u \cdot w_0$$

mit Koeffizient k_u aus Abb. 12.5:

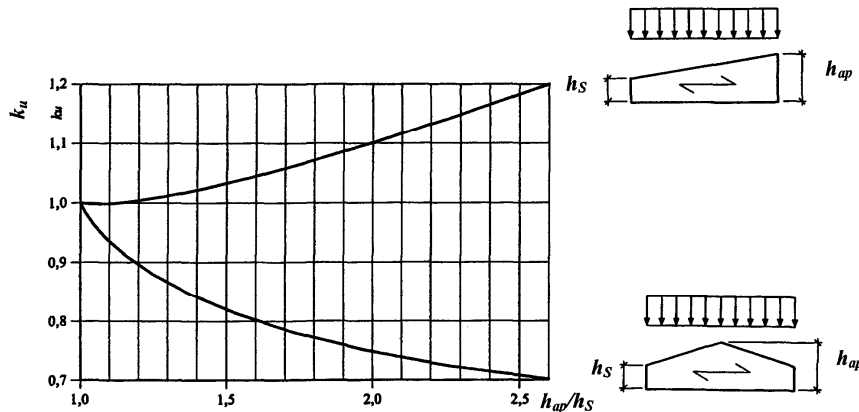


Abb. 12.5 Koeffizient k_u

$$h_0 = \frac{h_s + h_{ap}}{2} = \frac{0,571 + 1,2}{2} = 0,886 \text{ m}$$

$$\frac{h_{ap}}{h_s} = \frac{1,2}{0,571} = 2,10 \Rightarrow k_u = 1,1166$$

$$k_{\text{def}} = 0,6$$

– c1) Anfangsdurchbiegung

$$w_{\text{inst,g}} = k_u \cdot \frac{5 \cdot g \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I_y} = 1,1166 \cdot \frac{5 \cdot 4,5 \cdot 12^4 \cdot 10^{12} \cdot 12}{384 \cdot 11600 \cdot 140 \cdot 886^3} = 14,42 \text{ mm}$$

$$w_{\text{inst,s}} = k_u \cdot \frac{5 \cdot s \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I_y} = 1,1166 \cdot \frac{5 \cdot 4,5 \cdot 12^4 \cdot 10^{12} \cdot 12}{384 \cdot 11600 \cdot 140 \cdot 886^3} = 14,42 \text{ mm}$$

$$w_{\text{inst}} = w_{\text{inst,g}} + w_{\text{inst,s}} = 14,42 + 14,42 = 28,84 \text{ mm} = \frac{L}{416} < \frac{L}{400} \Rightarrow \text{allowed}$$



- c2) Endgültige Durchbiegungen

$$w_{\text{fin,g}} = w_{\text{inst,g}} \cdot (1 + k_{\text{def}}) = 14,42 \cdot (1 + 0,6) = 23,07 \text{ mm}$$

$$w_{\text{fin,s}} = w_{\text{inst,s}} \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{\text{def}}) = 14,42 \cdot (1 + 0 \cdot 0,6) = 14,42 \text{ mm}$$

$$w_{\text{fin}} = w_{\text{fin,g}} + w_{\text{fin,s}} = 23,07 + 14,42 = 37,49 \text{ mm} = \frac{L}{320} < \frac{L}{250} \Rightarrow \text{allowed}$$

- c3) Gesamte Enddurchbiegung

$$w_{\text{net,fin}} = w_{\text{fin}} - w_{\text{c}} = 37,49 - 30 = 7,49 \text{ mm} = \frac{L}{1602} < \frac{L}{300} \Rightarrow \text{allowed}$$

12.6 Beispiel 5b: Pultdachträger mit einer Spannweite von 15 m

Statisches System und Einwirkungen:

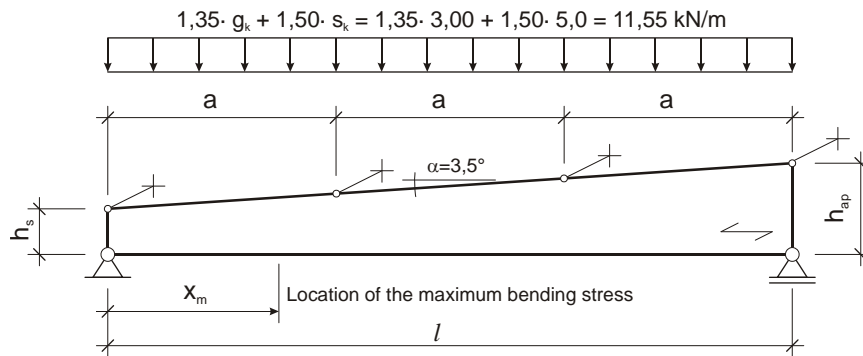


Abb. 12.6 Statisches System und Einwirkungen des Pultdachträgers

Material:

Brettschichtholz GL28h (gemäß EN 14080), $\gamma_M = 1,25$;

Nutzungsklasse 1, Klasse der Lasteinwirkungsdauer „kurz“ (Schnee): $k_{mod} = 0,90$

Abmessungen:

$b = 180 \text{ mm}$, $h_s = 450 \text{ mm}$, $h_{ap} = 1370 \text{ mm}$, $l = 15000 \text{ mm}$, $a = 5000 \text{ mm}$

mit a ... Abstand der Kipphalterungen

Bemessungswerte – Baustoffe:

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{28,0}{1,25} = 20,16 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{3,2}{1,25} = 2,30 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,90,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,90,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{3,0}{1,25} = 2,16 \text{ N/mm}^2$$



Bemessungswerte – Schnittkräfte:

Stelle der größten Beanspruchung:

$$x_m = \frac{l}{\left(1 + \frac{h_{ap}}{h_s}\right)} = \frac{15\,000}{\left(1 + \frac{1\,370}{450}\right)} = 3\,709 \text{ mm}$$

Höhe des Trägers an der Stelle der größten Beanspruchung:

$$h_{x_m} = h_s + \frac{(h_{ap} - h_s)}{l} \cdot x_m = 450 + \frac{(1\,370 - 450)}{15\,000} \cdot 3\,709 = 677 \text{ mm}$$

Schnittkräfte an der Stelle der größten Beanspruchung:

$$V_d = \frac{(g_d + s_d) \cdot l}{2} = \frac{11,55 \cdot 15,00}{2} = 86,63 \text{ kN}$$

$$M_{x_m,d} = V_d \cdot x_m - (g_d + s_d) \cdot \frac{x_m^2}{2} = 86,33 \cdot 3,71 - 11,55 \cdot \frac{3,71^2}{2} = 240,80 \text{ kNm}$$

Nachweise:

Biegung (an der Stelle mit der größten Biegespannung)

- an der am weitesten außen liegenden Faser des Trägers in der Zugzone (nicht angeschnittene Fasern)

$$\sigma_{m,\alpha,d} = \sigma_{m,0,d} = \frac{6 \cdot M_d}{b \cdot h_{x_m}^2} = \frac{6 \cdot 240,80 \cdot 10^6}{180 \cdot 677^2} = 17,51 \text{ N/mm}^2$$

Mit: $\alpha = 0 \rightarrow k_{m,\alpha} = 1,0$

$$\frac{\sigma_{m,0,d}}{k_{m,\alpha} \cdot f_{m,d}} = \frac{17,51}{1,0 \cdot 20,16} = 0,87 < 1,0$$



- an der am weitesten außen liegenden Faser des Trägers in der Druckzone (angeschnittene Fasern)

$$\sigma_{m,\alpha,d} = \sigma_{m,0,d} = \frac{6 \cdot M_d}{b \cdot h_{x_m}^2} = \frac{6 \cdot 240,80 \cdot 10^6}{180 \cdot 677^2} = 17,51 \text{ N/mm}^2$$

Mit $\alpha = 3,5^\circ$:

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

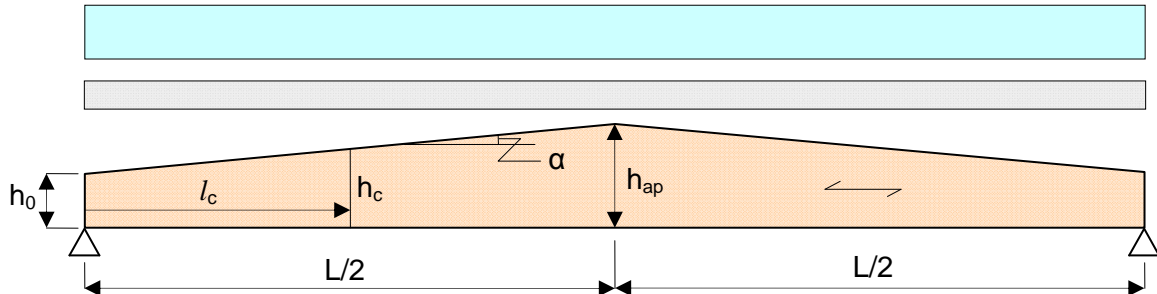
$$= \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{20,16}{1,5 \cdot 2,16} \cdot \tan 3,5 \right)^2 + \left(\frac{20,16}{2,30} \cdot \tan^2 3,5 \right)^2}} = 0,93$$

$$\frac{\sigma_{m,0,d}}{k_{m,\alpha} \cdot f_{m,d}} = \frac{17,51}{0,93 \cdot 20,16} = 0,93 < 1,0$$

Schubspannungen (an den Auflagern)

$$\tau_d = 1,5 \cdot \frac{V_d}{b \cdot h} = 1,5 \cdot \frac{86,63 \cdot 10^3}{180 \cdot 450} = 1,60 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{1,60}{2,30} = 0,70 < 1,0$$

12.7 Beispiel 6a: Satteldachträger mit einer Spannweite von 20 m

$$h_0 = 600 \text{ mm}, h_{ap} = 1\,100 \text{ mm}, L = 20\,000 \text{ mm}, \text{Breite des Trägers: } b = 190 \text{ mm}$$

Abb. 12.7 Statisches System mit Abmessungen und Einwirkungen eines Satteldachträgers

Brettschichtholz: GL36c

$$f_{m,k} = 36 \text{ MPa}, f_{v,k} = 3,8 \text{ MPa}, f_{c,90,k} = 3,3 \text{ MPa},$$

$$f_{t,90,k} = 0,5 \text{ MPa}$$

Lasteinwirkungsdauer: „kurz“ mit $p = 1,5 \cdot 7,0 + 1,2 \cdot 2,0 = 12,9 \text{ kN/m}$ Nutzungsstufe: 2 $\rightarrow k_{mod} = 0,9$ Annahme: Der Träger ist durch Verbände ausreichend gegen Kippen aussteift ($k_{crit} = 1$).

Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Bemessungswert der Festigkeiten:

$$f_d = k_{mod} \frac{f_k}{\gamma_M} = 0,9 \frac{f_k}{1,25} = 0,72 \cdot f_k \quad \rightarrow \quad f_{m,d} = 0,72 \cdot 36 = 25,9 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = 0,72 \cdot 3,8 = 2,74 \text{ MPa}; \quad f_{c,90,d} = 0,72 \cdot 3,3 = 2,38 \text{ MPa}; \quad f_{t,90,d} = 0,72 \cdot 0,5 = 0,36 \text{ MPa}$$



Der kritische, bemessungsrelevante Querschnitt auf Biegung für eine gleichmäßig verteilte Last tritt in einer Entfernung $L_c = L(h_0/2h_{ap}) = 20\,000 (600/2 \cdot 1100) = 5\,450$ vom Auflager auf und hat dort die Querschnittshöhe:

$$h_c = h_0 + (h_{ap} - h_0) \cdot 2L_c / L = 600 + 273 = 873 \text{ mm}$$

Also: $\tan \alpha = (h_{ap} - h_0) / (0,5 \cdot L) = (1100 - 600) / 10\,000 = 0,05$

Nominelle Biegespannung an der kritischen Querschnittsstelle:

$$\sigma_{m,\alpha,d} = \frac{M_c}{W_c} = \frac{0,5 \cdot p L_c (L - L_c)}{b h_c^2 / 6} = \frac{3 \cdot 12,9 \cdot 5,45 (20 - 5,45) \cdot 10^6}{190 \cdot 873^2} = 21,2 \text{ MPa}$$

Erforderlicher Nachweis nach Gleichung (6.38),

$$\sigma_{m,\alpha,d} \leq k_{m,\alpha} f_{m,d},$$

wobei der Abminderungsfaktor für die Druckbiegespannung am angeschnittenen Rand mit Hilfe der folgenden Formel zu ermitteln ist (6.40):

$$k_{m,\alpha} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{m,d}}{1,5 f_{v,d}} \tan \alpha \right)^2 + \left(\frac{f_{m,d}}{f_{c,90,d}} \tan^2 \alpha \right)^2}} = 0,953$$

Daraus $k_{m,\alpha} f_{m,d} = 0,953 \cdot 25,9 = 24,7 \text{ MPa} > \sigma_{m,\alpha,d} = 21,2 \text{ MPa}$

Die Biegespannung am First ergibt sich mit Gleichung (6.42) zu:

$$\sigma_{m,d} = k_\ell \frac{6 M_{ap,d}}{b h_{ap}^2} \quad \text{wobei} \quad k_\ell = 1 + 1,4 \tan \alpha + 5,4 \tan^2 \alpha = 1,084$$

$$\sigma_{m,d} = 1,084 \frac{6 \cdot 12,9 \cdot 20^2 / 8}{190 \cdot 1100^2} 10^6 = 18,2 \text{ MPa}$$



Es ist nachzuweisen, dass (6.41) eingehalten ist: $\sigma_{m,d} \leq k_r f_{m,d}$

Mit $k_r = 1,0$ (siehe 6.49) liegt der Bemessungswert der Biegespannung deutlich unter dem Bemessungswert der Biegefestigkeit.

Die größten Zugspannungen rechtwinklig zur Faserrichtung im Firstbereich ergeben sich nach (6.54) zu:

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \frac{6 M_{ap,d}}{b h_{ap}^2} \quad \text{wobei: } k_p = k_s = 0,2 \tan \alpha = 0,01 \quad (\text{siehe Glg. 6.56})$$

$$\sigma_{t,90,d} = 0,01 \frac{6 \cdot 12,9 \cdot 20^2 / 8}{190 \cdot 1100^2} 10^6 = 0,17 \text{ MPa}$$

Die Nachweisbedingung lautet (6.53):

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} + \frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{dis} k_{vol} f_{t,90,d}} = \frac{0}{2,74} + \frac{0,17}{1,4 \cdot 0,53 \cdot 0,36} = 0,63 < 1$$

Der Größtenfaktor k_{vol} , wurde unter Berücksichtigung des Volumens:

$$V = 0,19 \cdot 1,1 \cdot 1,1 = 0,23 \text{ m}^3$$

nach Gleichung 6.51 bestimmt.

Die Schubspannungen dürfen nach den Regelungen der derzeit gültigen Normenversion die Schubspannungen τ_d nicht überschreiten. Mit der Änderung A1 ist die Reduktion der Querschnittsbreite mit dem Faktor k_{cr} zu berücksichtigen. Der entsprechende Wert für Brettschichtholz beträgt $k_{cr} = 0,67$, d.h. dass für Brettschichtholz der Wert

$$k_{cr} \tau_d = 0,67 \cdot 2,74 = 1,83 \text{ MPa}$$

nicht überschritten werden darf.



Die maximale Schubspannung über dem Auflager beträgt,

$$\tau_d = \frac{3}{2} \frac{V}{A} = \frac{3 \cdot 129\,000}{190 \cdot 600} = 1,70 \text{ MPa} < 1,83 \text{ MPa}$$

Schlussfolgerung: Alle Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit sind erfüllt.

Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Die maximale Durchbiegung für diesen Träger infolge einer Einwirkung mit einer gleichmäßig verteilten Belastung wurde über eine Computerstatik ermittelt und ergibt einen Vergrößerungsfaktor von 1,63 gegenüber einem vergleichbaren Träger mit einer konstanten Trägerhöhe von $h_{ap} = 1100 \text{ mm}$.

Für Brettschichtholz der Festigkeitsklasse GL36c gilt: $E_0 = 14\,700 \text{ MPa}$ aus Abschnitt 2.1.2:

$$w_{inst} = 1,63 \frac{5 \cdot p \cdot 20\,000^4}{384 \cdot 14\,700 \cdot 190 \cdot 1100^3 / 12} = 10,96 \cdot p$$

$$w_{net,fin} = w_{inst,G} (1 + k_{def}) + w_{inst,Q} (1 + \psi_{2,1} k_{def})$$

$$w_{net,fin} = 10,96 \cdot 2 (1 + 0,8) + 10,96 \cdot 7 (1 + 0,2 \cdot 0,8) = 39,5 + 89,0 = 128,5 \text{ mm}$$

In anderen Worten ergibt die Verformung $w_{net,fin} = L/155$, was somit signifikant über den empfohlenen Werten aus Tab. 7.2 liegt.

Schlussfolgerung:

Die Durchbiegungen sind also, in Abhängigkeit vom Typ des Gebäudes, zu hoch. Es sollte daher eine Überhöhung von rund 100 mm im Rahmen der Produktion der Träger ausgeführt werden.

12.8 Beispiel 6b: Satteldachbinder mit einer Spannweite von 24 m

Statisches System und Einwirkungen:

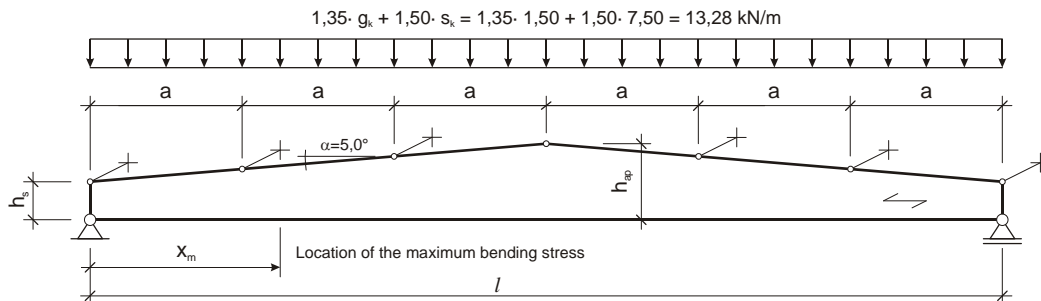


Abb. 12.8 Statisches System, Abmessungen und Einwirkungen

Material:

Brettschichtholz der Festigkeitsklasse GL24h (nach EN 14080), $\gamma_M = 1,25$;

Nutzungsstufe 2, Klasse der Lasteinwirkungsdauer „kurz“ (Schnee): $k_{mod} = 0,90$

Abmessungen:

$b = 180 \text{ mm}$, $h_s = 750 \text{ mm}$, $h_{ap} = 1800 \text{ mm}$, $l = 24000 \text{ mm}$, $a = 4000 \text{ mm}$ (Abstand der Kipphalterungen bzw. Pfetten)

Bemessungswerte – Material:

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{24,0}{1,25} = 17,28 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{2,7}{1,25} = 1,94 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,90,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,90,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{2,7}{1,25} = 1,94 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{t,90,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{t,90,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{0,4}{1,25} = 0,29 \text{ N/mm}^2$$



Bemessungswerte – Schnittkräfte:

Stelle der größten Beanspruchung:

$$x_m = \frac{l \cdot h_s}{2 \cdot h_{ap}} = \frac{24\,000 \cdot 750}{2 \cdot 1\,800} = 5\,000 \text{ mm}$$

Trägerhöhe an der Stelle der größten Beanspruchung:

$$h_{x_m} = h_s + \frac{(h_{ap} - h_s)}{l} \cdot x_m = 750 + \frac{(1\,800 - 750)}{24\,000} \cdot 5\,000 = 1\,188 \text{ mm}$$

Schnittkräfte an der Stelle der größten Beanspruchung:

$$V_d = \frac{(g_d + s_d) \cdot l}{2} = \frac{13,28 \cdot 24,00}{2} = 159,36 \text{ kN}$$

$$M_{x_m,d} = V_d \cdot x_m - (g_d + s_d) \cdot \frac{x_m^2}{2} = 159,36 \cdot 5,00 - 13,28 \cdot \frac{5,00^2}{2} = 630,80 \text{ kNm}$$

$$M_{ap,d} = \frac{(g_d + s_d) \cdot l^2}{8} = \frac{13,28 \cdot 24,00^2}{8} = 956,16 \text{ kNm}$$

Nachweise an der Stelle der größten Beanspruchung:

- an der am weitesten außen liegenden Faser des Trägers in der Zugzone (nicht angeschnittene Fasern)

$$\sigma_{m,\alpha,d} = \sigma_{m,0,d} = \frac{6 \cdot M_d}{b \cdot h_{x_m}^2} = \frac{6 \cdot 630,80 \cdot 10^6}{180 \cdot 1\,188^2} = 14,90 \text{ N/mm}^2$$

Mit: $\alpha = 0 \rightarrow k_{m,\alpha} = 1,0$

$$\frac{\sigma_{m,0,d}}{k_{m,\alpha} \cdot f_{m,d}} = \frac{14,90}{1,0 \cdot 17,28} = 0,86 < 1,0$$



- an der am weitesten außen liegenden Faser des Trägers in der Druckzone (angeschnittene Fasern)

$$\sigma_{m,\alpha,d} = \sigma_{m,0,d} = \frac{6 \cdot M_d}{b \cdot h_{x_m}^2} = \frac{6 \cdot 630,80 \cdot 10^6}{180 \cdot 1188^2} = 14,90 \text{ N/mm}^2$$

Mit $\alpha = 5^\circ$:

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

$$= \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{17,28}{1,5 \cdot 1,94} \cdot \tan 5 \right)^2 + \left(\frac{17,28}{1,94} \cdot \tan^2 5 \right)^2}} = 0,89$$

$$\frac{\sigma_{m,0,d}}{k_{m,\alpha} \cdot f_{m,d}} = \frac{14,90}{0,89 \cdot 17,28} = 0,97 < 1,0$$

Nachweis der Schubspannungen (über den Auflagern)

$$\tau_d = 1,5 \cdot \frac{V_d}{b \cdot h} = 1,5 \cdot \frac{159,36 \cdot 10^3}{180 \cdot 750} = 1,77 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{1,77}{1,94} = 0,91 < 1,0$$

Nachweise im Firstbereich

Biegespannungen

$$\sigma_{m,ap,d} = k_\ell \cdot \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot h_{ap}^2}$$

$$\text{Mit: } k_\ell = k_1 + k_2 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r} \right) + k_3 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^2 + k_4 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^3, \alpha_{ap} = 5^\circ \text{ und } r = \infty \rightarrow \left(\frac{h_{ap}}{r} \right) = 0$$

$$k_\ell = k_1 = 1 + 1,4 \cdot \tan \alpha_{ap} + 5,4 \cdot \tan^2 \alpha_{ap} = 1 + 1,4 \cdot \tan 5 + 5,4 \cdot \tan^2 5 = 1,16$$



$$\sigma_{m,ap,d} = k_{\ell} \cdot \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot h_{ap}^2} = 1,16 \cdot \frac{6 \cdot 956,16 \cdot 10^6}{180 \cdot 1800^2} = 11,41 \text{ N/mm}^2$$

Mit $k_r = 1,0$ für Satteldachträger:

$$\frac{\sigma_{m,ap,d}}{k_r \cdot f_{m,d}} = \frac{11,41}{1,0 \cdot 17,28} = 0,66 < 1,0$$

Zugspannungen rechtwinklig zur Faserrichtung im Firstbereich

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

$$\text{Mit: } k_p = k_5 + k_6 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right) + k_7 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^2, \alpha_{ap} = 5^\circ \text{ und } r = \infty \rightarrow \left(\frac{h_{ap}}{r}\right) = 0$$

$$k_p = k_5 = 0,2 \cdot \tan \alpha_{ap} = 0,2 \cdot \tan 5 = 0,0175$$

$$\sigma_{t,90,ap,d} = k_p \cdot \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot h_{ap}^2} = 0,0175 \cdot \frac{6 \cdot 956,16 \cdot 10^6}{180 \cdot 1800^2} = 0,17 \text{ N/mm}^2$$

Mit dem Bezugsvolumen $V_0 = 0,01 \text{ m}^3$ und

$$V = b \cdot h_{ap}^2 \cdot \left(1 - \frac{\tan \alpha_{ap}}{4}\right) = 0,18 \cdot 1,80^2 \cdot \left(1 - \frac{\tan 5,0}{4}\right) = 0,57 \text{ m}^3 \text{ ergibt sich der Volumenfaktor:}$$

$$k_{vol} = \left(\frac{V_0}{V}\right)^{0,2} = \left(\frac{0,01}{0,57}\right)^{0,2} = 0,45 \text{ und}$$

$k_{dis} = 1,4$ für Satteldachträger

$$\frac{\sigma_{t,90,ap,d}}{k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d}} = \frac{0,17}{1,4 \cdot 0,45 \cdot 0,29} = 0,93 < 1,0$$

Anmerkung:

Nachdem der First symmetrisch in Bezug zur Tragwerksgeometrie liegt und keine Schubspannung an dieser Stelle vorkommen, tritt im Firstbereich keine kombinierte Einwirkung von Zug rechtwinklig zur Faserrichtung und Schub auf.

12.9 Beispiel 7: Gekrümmter Träger

Statisches System, Abmessungen und Einwirkungen:

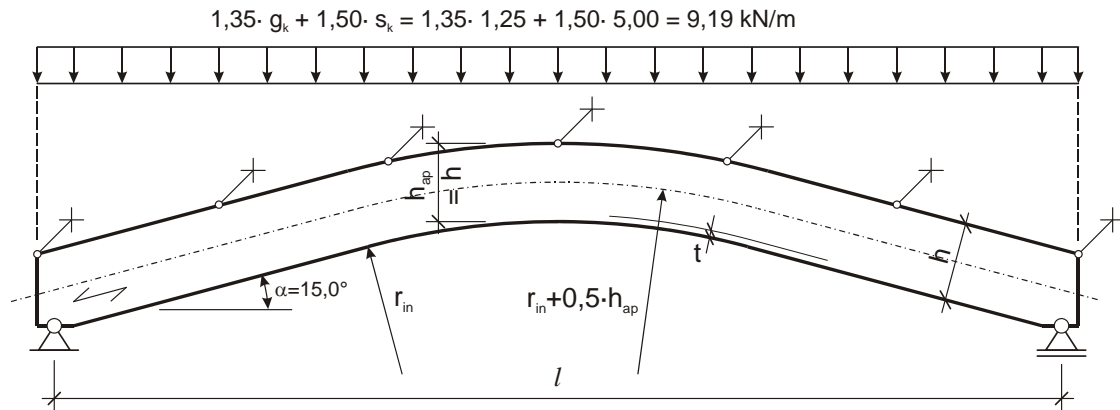


Abb. 12.9 Statisches System, Abmessungen und Einwirkungen

Material:

Brettschichtholz der Festigkeitsklasse GL28h (nach EN 14080), $\gamma_M = 1,25$;

Nutzungsklasse 2, Klasse der Lasteinwirkungsdauer „kurz“ (Schnee): $k_{mod} = 0,90$

Abmessungen:

$b = 180 \text{ mm}$, $h = h_{ap} = 1\,600 \text{ mm}$, $l = 20\,000 \text{ mm}$, $r_{in} = 15\,000 \text{ mm}$, $t = 40 \text{ mm}$

Bemessungswerte – Material:

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{28,0}{1,25} = 20,16 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{t,90,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{t,90,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{0,45}{1,25} = 0,32 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswerte – Schnittgrößen:

$$V_d = \frac{(g_d + s_d) \cdot l}{2} = \frac{9,19 \cdot 20,00}{2} = 91,90 \text{ kN}$$



$$M_{\max,d} = M_{\text{ap},d} = \frac{(g_d + s_d) \cdot l^2}{8} = \frac{9,19 \cdot 20,00^2}{8} = 459,50 \text{ kNm}$$

Nachweise

Biegespannungen

$$\sigma_{\text{m,max,d}} = \sigma_{\text{m,ap,d}} = k_\ell \cdot \frac{6 \cdot M_{\text{ap},d}}{b \cdot h_{\text{ap}}^2}$$

$$\text{Mit: } k_\ell = k_1 + k_2 \cdot \left(\frac{h_{\text{ap}}}{r}\right) + k_3 \cdot \left(\frac{h_{\text{ap}}}{r}\right)^2 + k_4 \cdot \left(\frac{h_{\text{ap}}}{r}\right)^3 \text{ und } \alpha_{\text{ap}} = 0^\circ$$

$$k_1 = 1 + 1,4 \cdot \tan \alpha_{\text{ap}} + 5,4 \cdot \tan^2 \alpha_{\text{ap}} = 1 + 1,4 \cdot \tan 0 + 5,4 \cdot \tan^2 0 = 1,00$$

$$k_2 = 0,35 - 8 \cdot \tan \alpha_{\text{ap}} = 0,35 - 8 \cdot \tan 0 = 0,35$$

$$k_3 = 0,6 + 8,3 \cdot \tan \alpha_{\text{ap}} - 7,8 \cdot \tan^2 \alpha_{\text{ap}} = 0,6 + 8,3 \cdot \tan 0 - 7,8 \cdot \tan^2 0 = 0,60$$

$$k_4 = 6 \cdot \tan^2 \alpha_{\text{ap}} = 6 \cdot \tan^2 0 = 0$$

$$r = r_{\text{in}} + 0,5 \cdot h_{\text{ap}} = 15\,000 + 0,5 \cdot 1\,600 = 15\,800 \text{ mm}$$

$$k_\ell = 1,00 + 0,35 \cdot \left(\frac{1\,600}{15\,800}\right) + 0,60 \cdot \left(\frac{1\,600}{15\,800}\right)^2 + 0 \cdot \left(\frac{1\,600}{15\,800}\right)^3 = 1,04$$

$$\sigma_{\text{m,ap,d}} = k_\ell \cdot \frac{6 \cdot M_{\text{ap},d}}{b \cdot h_{\text{ap}}^2} = 1,04 \cdot \frac{6 \cdot 459,50 \cdot 10^6}{180 \cdot 1\,600^2} = 6,22 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Mit } \frac{r_{\text{in}}}{t} = \frac{15\,000}{40} = 375 > 240 : k_r = 1,00 \text{ für gekrümmte Träger}$$

$$\frac{\sigma_{\text{m,ap,d}}}{k_r \cdot f_{\text{m,d}}} = \frac{6,22}{1,00 \cdot 20,16} = 0,31 < 1,0$$



Zug rechtwinklig zur Faserrichtung

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

mit: $k_p = k_5 + k_6 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right) + k_7 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^2$ und $\alpha_{ap} = 0^\circ$:

$$k_5 = 0,2 \cdot \tan \alpha_{ap} = 0,2 \cdot \tan 0 = 0$$

$$k_6 = 0,25 - 1,5 \cdot \tan \alpha_{ap} + 2,6 \cdot \tan^2 \alpha_{ap} = 0,25 - 1,50 \cdot \tan 0 + 2,6 \cdot \tan^2 0 = 0,25$$

$$k_7 = 2,1 \cdot \tan \alpha_{ap} - 4 \cdot \tan^2 \alpha_{ap} = 2,1 \cdot \tan 0 - 4 \cdot \tan^2 0 = 0$$

$$k_p = 0 + 0,25 \cdot \left(\frac{1600}{15800}\right) + 0 \cdot \left(\frac{1600}{15800}\right)^2 = 0,0253$$

$$\sigma_{t,90,ap,d} = k_p \cdot \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot h_{ap}^2} = 0,0253 \cdot \frac{6 \cdot 459,50 \cdot 10^6}{180 \cdot 1600^2} = 0,15 \text{ N/mm}^2$$

Mit dem Bezugsvolumen $V_0 = 0,01 \text{ m}^3$ und

$$V = \frac{\beta \cdot \pi}{180} \cdot b \cdot (h_{ap}^2 + 2 \cdot r_{in} \cdot h_{ap}) = \frac{15 \cdot \pi}{180} \cdot 0,18 \cdot (1,60^2 + 2 \cdot 15,00 \cdot 1,60) = 2,38 \text{ m}^3$$

ergibt sich der Volumenfaktor k_{vol} zu:

$$k_{vol} = \left(\frac{V_0}{V}\right)^{0,2} = \left(\frac{0,01}{2,38}\right)^{0,2} = 0,335 \text{ und}$$

$k_{dis} = 1,4$ für gekrümmte Träger

$$\frac{\sigma_{t,90,ap,d}}{k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d}} = \frac{0,15}{1,4 \cdot 0,335 \cdot 0,32} = 1,00 = 1,0$$

12.10 Beispiel 8: Biegesteifer Stoß

Entwurf und Nachweisführung eines biegesteifen Stoßes in der Ecke eines Dreigelenkrahmens. Material: Brettschichtholz (GL 24h), Nutzungsklasse 1.

Geometrische Abmessungen des Rahmens:

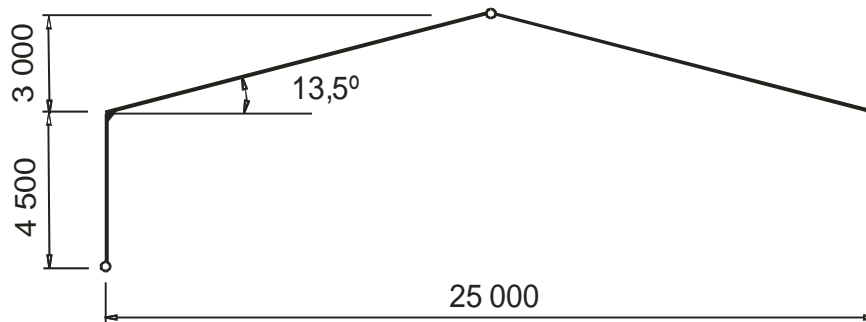


Abb. 12.10 Statisches System, Abmessungen und Einwirkungen

Spannweite:	$L = 25 \text{ m}$
Höhe des Riegels:	$h_R = 1\,480 \text{ mm}$
Breite des Riegels:	$b_R = 200 \text{ mm}$
Höhe der Stütze:	$h_C = 1\,480 \text{ mm}$
Breite der Stütze:	$b_C = 2 \times 120 \text{ mm}$
Neigungswinkel des Riegels:	$\alpha = 13,5^\circ$

Baustoffeigenschaften:

Brettschichtholz (charakteristische Werte):

$$f_{m,g,k} = 24 \text{ MPa}$$

$$f_{v,g,k} = 2,7 \text{ MPa}$$

$$\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$$

Stabdübel:

Stahlgüte S235 \varnothing 24 mm (4.6): $f_{u,k} = 400 \text{ MPa}$



Bemessungswert der Biegefestigkeit

$$f_{m,g,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{m,g,k}}{\gamma_M} = 0,9 \frac{24}{1,25} = 17,28 \text{ MPa}$$

Bemessungswert der Schubfestigkeit

$$f_{v,g,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{v,g,k}}{\gamma_M} = 0,9 \frac{2,7}{1,25} = 1,94 \text{ MPa}$$

Bemessungswerte der Schnittgrößen in der Rahmenecke:

Stütze : $M_d = 676,8 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$, $V_{d,C} = 150,4 \cdot 10^3 \text{ N}$, $N_{d,C} = 178,1 \cdot 10^3 \text{ N}$

Riegel: $M_d = 676,8 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$, $V_{d,R} = 138,1 \cdot 10^3 \text{ N}$, $N_{d,R} = 187,8 \cdot 10^3 \text{ N}$

Entwurf und Nachweisführung für den Stabdübelkreis:

Äußerer Stabdübelkreis:

$$r_1 \leq 0,5 h - 4 d = 0,5 \cdot 1480 - 4 \cdot 24 = 644 \text{ mm} \quad \Rightarrow r_1 = 644 \text{ mm}$$

Innerer Stabdübelkreis:

$$r_2 \leq r_1 - 5 d = 644 - 5 \cdot 24 = 524 \text{ mm} \quad \Rightarrow r_2 = 524 \text{ mm}$$

Anzahl der Stabdübel im inneren und äußeren Kreis:

$$n_1 \leq \frac{2 \pi r_1}{6 d} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 644}{6 \cdot 24} = 28,1 \text{ ks} \quad \Rightarrow n_1 = 28$$

$$n_2 \leq \frac{2 \pi r_2}{6 d} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 524}{6 \cdot 24} = 22,8 \text{ ks} \quad \Rightarrow n_2 = 22$$

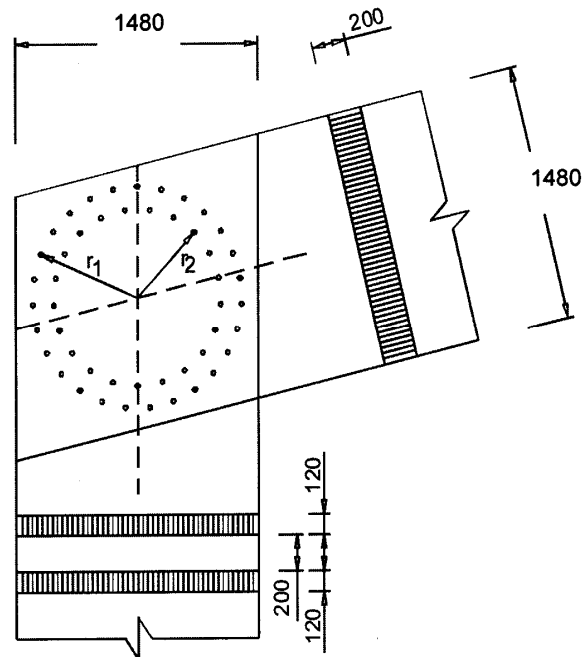


Abb. 12.11 Statisches System, Abmessungen und Einwirkungen

Beanspruchung der Stabdübel

Kräfte pro Stabdübel in der Stütze und dem Riegel des Rahmens auf Grund des Biegemomentes:

$$F_M = M_d \frac{r_1}{n_1 r_1^2 + n_2 r_2^2} = 676,8 \cdot 10^6 \frac{644}{28 \cdot 644^2 + 22 \cdot 524^2} = 24,69 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Kräfte pro Stabdübel in der Stütze des Rahmens auf Grund des Quer- und Normalkraft:

$$F_{V,C} = \frac{V_{d,C}}{n_1 + n_2} = \frac{150,4 \cdot 10^3}{28 + 22} = 3,00 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$F_{N,C} = \frac{N_{d,C}}{n_1 + n_2} = \frac{178,1 \cdot 10^3}{28 + 22} = 3,56 \cdot 10^3 \text{ N}$$



Kräfte pro Stabdübel im Riegel des Rahmens auf Grund des Quer- und Normalkraft:

$$F_{V,R} = \frac{V_{d,R}}{n_1 + n_2} = \frac{138,1 \cdot 10^3}{28 + 22} = 2,76 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$F_{N,R} = \frac{N_{d,R}}{n_1 + n_2} = \frac{187,8 \cdot 10^3}{28 + 22} = 3,76 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Gesamtkraft auf den Stabdübel in Richtung des Riegels und der Stütze des Rahmens:

$$F_{d,C} = \sqrt{(F_M + F_{V,C})^2 + F_{N,C}^2} = \sqrt{(24,69 \cdot 10^3 + 3,00 \cdot 10^3)^2 + (3,56 \cdot 10^3)^2} = 27,92 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$F_{d,R} = \sqrt{(F_M + F_{V,R})^2 + F_{N,R}^2} = \sqrt{(24,69 \cdot 10^3 + 2,76 \cdot 10^3)^2 + (3,76 \cdot 10^3)^2} = 27,71 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Querkraft in der Stütze und im Riegel an der Stelle des Rahmenecks:

$$V_M = \left(\frac{M_d}{\pi} \frac{n_1 r_1 + n_2 r_2}{n_1 r_1^2 + n_2 r_2^2} \right) = \left(\frac{676,8 \cdot 10^6}{\pi} \frac{28 \cdot 644 + 22 \cdot 524}{28 \cdot 644^2 + 22 \cdot 524^2} \right) = 360,74 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$F_{V,d,C} = V_M - \frac{V_{d,C}}{2} = 360,74 \cdot 10^3 - \frac{150,4 \cdot 10^3}{2} = 285,5 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$F_{V,d,R} = V_M - \frac{V_{d,R}}{2} = 360,74 \cdot 10^3 - \frac{138,1 \cdot 10^3}{2} = 291,7 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Mechanische Eigenschaften des Stabdübels

Lochleibungsfestigkeit in Faserrichtung (charakteristische Werte):

$$f_{h,0,k} = 0,082 (1 - 0,01 d) \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 24) \cdot 380 = 23,68 \text{ MPa}$$

Tragfähigkeit pro Stabdübel in Richtung der Stützenachse:

Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung:

$$\alpha_1 = \arctan \left(\frac{F_M + F_{V,C}}{F_{N,C}} \right) = \arctan \left(\frac{24,69 \cdot 10^3 + 3,0 \cdot 10^3}{3,56 \cdot 10^3} \right) = 82,7^\circ$$

$$\alpha_2 = \alpha - \left(\frac{\pi}{2} - \alpha_1 \right) = 13,5 - (90 - 82,7) = 6,2^\circ$$



Lochleibungsfestigkeit (charakteristische Werte):

$$k_{90} = 1,35 + 0,015 d = 1,35 + 0,015 \cdot 24 = 1,71$$

$$f_{h,1,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha_1 + \cos^2 \alpha_1} = \frac{23,68}{1,71 \cdot \sin^2 82,7 + \cos^2 82,7} = 13,94 \text{ MPa}$$

$$f_{h,2,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha_2 + \cos^2 \alpha_2} = \frac{23,68}{1,71 \cdot \sin^2 6,2 + \cos^2 6,2} = 23,49 \text{ MPa}$$

$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}} = \frac{23,49}{13,94} = 1,685$$

Fließmoment (charakteristische Werte):

$$M_{y,Rk} = 0,3 f_{u,k} d^{2,6} = 0,3 \cdot 400 \cdot 24^{2,6} = 465,3 \cdot 10^3 \text{ Nmm}$$

Tragfähigkeit pro Stabdübel und Scherfuge

$$t_1 = 120 \text{ mm} \quad t_2 = 200 \text{ mm}$$

$$F_{v,Rk,C} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d = 13,94 \cdot 120 \cdot 24 = 40,1 \cdot 10^3 \text{ N} \\ 0,5 \cdot f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d = 0,5 \cdot 23,49 \cdot 200 \cdot 24 = 56,4 \cdot 10^3 \text{ N} \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2 \beta (1 + \beta) + \frac{4 \beta (2 + \beta) M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right] + \left[\frac{F_{ax,Rk}}{4} \right]^* = \\ = 1,05 \frac{13,94 \cdot 120 \cdot 24}{2 + 1,685} \cdot \left[\sqrt{2 \cdot 1,685 \cdot (1 + 1,685) + \frac{4 \cdot 1,685 \cdot (2 + 1,685) \cdot 465,3 \cdot 10^3}{13,94 \cdot 120^2 \cdot 24}} - 1,685 \right] = 19,4 \cdot 10^3 \text{ N} \\ 1,15 \sqrt{\frac{2 \beta}{1 + \beta}} \sqrt{2 M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \left[\frac{F_{ax,Rk}}{4} \right]^* = \\ = 1,15 \sqrt{\frac{2 \cdot 1,685}{1 + 1,685}} \sqrt{2 \cdot 465,3 \cdot 10^3 \cdot 13,94 \cdot 24} = 22,7 \cdot 10^3 \text{ N} \\ * F_{ax,Rk} = 0 \end{array} \right.$$

$$F_{v,Rd,C} = \frac{k_{mod} \cdot F_{v,Rk}}{\gamma_M} = \frac{0,9 \cdot 19,4 \cdot 10^3}{1,25} = 13,97 \cdot 10^3 \text{ N}$$



Tragfähigkeit pro Stabdübel in Richtung der Riegelachse:

Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung

$$\alpha_2 = \arctg\left(\frac{F_M + F_{V,R}}{F_{N,R}}\right) = \arctg\left(\frac{24.69 \cdot 10^3 + 2.76 \cdot 10^3}{3.76 \cdot 10^3}\right) = 82.2^\circ$$

$$\alpha_1 = \frac{\pi}{2} + \alpha - \alpha_2 = 90 + 13.5 - 82.2 = 21.3^\circ$$

Lochleibungsfestigkeit (charakteristische Werte):

$$f_{h,1,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha_1 + \cos^2 \alpha_1} = \frac{23.68}{1.71 \cdot \sin^2 21.3 + \cos^2 21.3} = 21.65 \text{ MPa}$$

$$f_{h,2,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha_2 + \cos^2 \alpha_2} = \frac{23.68}{1.71 \cdot \sin^2 82.2 + \cos^2 82.2} = 13.95 \text{ MPa}$$

$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}} = \frac{13.95}{21.65} = 0.644$$

Tragfähigkeit pro Stabdübel und Scherfuge

$$t_1 = 120 \text{ mm}, \quad t_2 = 200 \text{ mm}$$

$$F_{v,Rk,R} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d = 21.65 \cdot 120 \cdot 24 = 62.4 \cdot 10^3 \text{ N} \\ 0.5 \cdot f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d = 0.5 \cdot 13.95 \cdot 200 \cdot 24 = 33.5 \cdot 10^3 \text{ N} \\ 1.05 \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right] + \left[\frac{F_{ax,Rk}}{4} \right]^* = \\ = 1.05 \frac{21.65 \cdot 120 \cdot 24}{2 + 0.644} \cdot \left[\sqrt{2 \cdot 0.644 \cdot (1 + 0.644) + \frac{4 \cdot 0.644 \cdot (2 + 0.644) \cdot 465.3 \cdot 10^3}{21.65 \cdot 120^2 \cdot 24}} - 0.644 \right] = 23.5 \cdot 10^3 \text{ N} \\ 1.15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \left[\frac{F_{ax,Rk}}{4} \right]^* = \\ = 1.15 \sqrt{\frac{2 \cdot 0.644}{1 + 0.644}} \sqrt{2 \cdot 465.3 \cdot 10^3 \cdot 21.65 \cdot 24} = 22.4 \cdot 10^3 \text{ N} \\ * F_{ax,Rk} = 0 \end{array} \right.$$

$$F_{v,Rd,R} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot F_{v,Rk}}{\gamma_M} = \frac{0.9 \cdot 22.4 \cdot 10^3}{1.25} = 16.13 \cdot 10^3 \text{ N}$$



Nachweise

a) Nachweis der Tragfähigkeit der Verbindung in der Rahmenecke

– Stütze:

$$F_{d,C} = 27,92 \cdot 10^3 \text{ N} \leq 2 \cdot F_{v,Rd,C} = 2 \cdot 13,97 \cdot 10^3 = 27,94 \cdot 10^3 \text{ N} \quad \Rightarrow \text{Nachweis erfüllt !}$$

– Riegel:

$$F_{d,R} = 27,71 \cdot 10^3 \text{ N} \leq 2 \cdot F_{v,Rd,R} = 2 \cdot 16,13 \cdot 10^3 = 32,26 \cdot 10^3 \text{ N} \quad \Rightarrow \text{Nachweis erfüllt !}$$

b) Nachweisführung der Schubspannungen in der Rahmenecke

– Stütze:

$$\tau_{v,C} = \frac{3 \cdot F_{V,d,C}}{2 \cdot b \cdot h} = \frac{3 \cdot 285,5 \cdot 10^3}{2 \cdot 2 \cdot 120 \cdot 1480} = 1,21 \text{ MPa} \leq f_{v,g,d} = 1,94 \text{ MPa} \quad \Rightarrow \text{Nachweis erfüllt !}$$

– Riegel:

$$\tau_{v,R} = \frac{3 \cdot F_{V,d,R}}{2 \cdot b \cdot h} = \frac{3 \cdot 291,7 \cdot 10^3}{2 \cdot 200 \cdot 1480} = 1,48 \text{ MPa} \leq f_{v,g,d} = 1,94 \text{ MPa} \quad \Rightarrow \text{Nachweis erfüllt !}$$

12.11 Beispiel 9: Verbindung mit einer Kraft unter einem Winkel α

Statisches System, Bauteile und Baustoffe, Geometrie, Abmessungen und einwirkende Kraft:

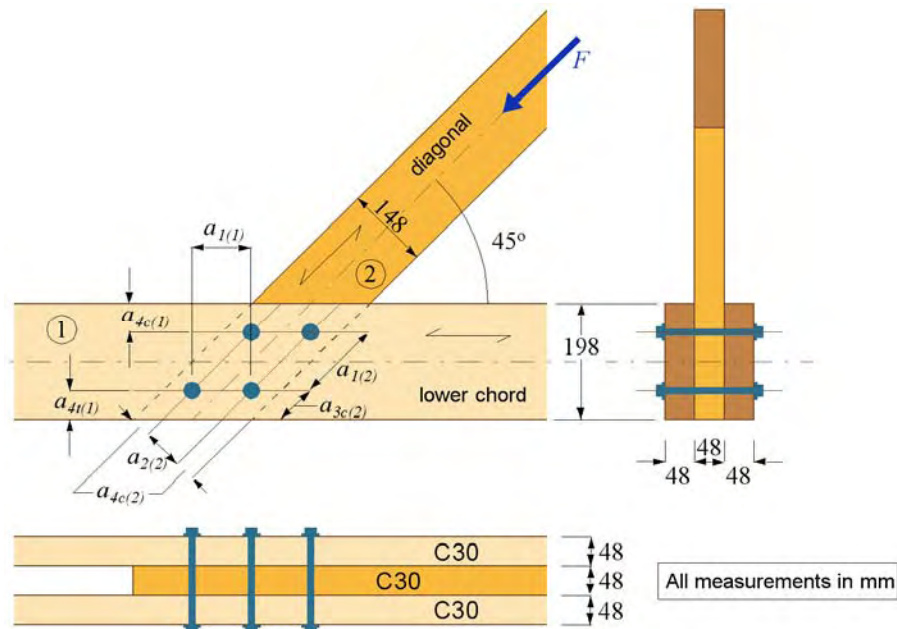


Abb. 12.12 Statisches System, Bauteile und Baustoffe, Geometrie und Abmessungen sowie einwirkende Kraft

Aufgabenstellung:

Ermittlung der größten einwirkenden Kraft, die mit der dargestellten Bolzenverbindung übertragen werden kann.

Weitere Angaben:

- Charakteristische Zugfestigkeit des Bolzenmaterials: $f_{u,k} = 800 \text{ MPa}$
- Holzqualität: C30 (alle Bauteile): $\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$
- Klasse der Lasteinwirkungsdauer: “kurz” und Nutzungsklasse: 2

Die Mindestrandabstände untereinander sowie zu den Rand- und Hirnholzenden sind für 4 (2 x 2) Bolzen auszulegen. Für die Diagonale folgt daraus eine Gesamtbreite von zumindest $3d + 4d + 3d = 10d$, wobei d der Bolzendurchmesser ist. Mit der gegebenen Breite der Diagonale folgt daraus $d = 14 \text{ mm}$ für den größten möglichen Bolzendurchmesser



Als Versagensmechanismen für die Ermittlung der Tragfähigkeit pro Verbindungsmittel und Scherfuge von zweischnittigen Holz-Holz-Verbindungen können die Fälle **g**, **h**, **j** und **k** von Gleichung 8.7 auftreten.

Das Fließmoment der Bolzen ergibt sich zu:

$$M_{y,Rk} = 0,3 f_{u,k} d^{2,6} = 0,3 \cdot 800 \cdot 14^{2,6} = 229160 \text{ Nmm}$$

Vorgängig wird eine Kraft F angesetzt, die in der Faserrichtung der Diagonale wirkt und mit dem Untergurt einen Winkel von 45° einnimmt.

Mit:

$$k_{90} = 1,35 + 0,015d = 1,35 + 0,21 = 1,56$$

kann somit die charakteristische Lochleibungsfestigkeit (Gleichungen 8.32 und 8.31) zu:

$$f_{h,2,k} = 0,082 (1 - 0,01 d) \rho_k = 0,082 \cdot 0,86 \cdot 380 = 26,8 \text{ MPa (Diagonale)}$$

$$f_{h,1,k} = \frac{f_{h,2,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{26,8}{1,56 \cdot 0,5 + 0,5} = 20,9 \text{ MPa (Untergurt)}$$

ermittelt werden.

Der Wert für das Verhältnis der Lochleibungsfestigkeiten beträgt damit: $\rightarrow \beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}} = 1,28$.

Unter der Vernachlässigung der Seilwirkung kann in weiterer Folge die charakteristische Tragfähigkeit pro Bolzen und Scherfuge mit den Gleichungen 8.7 für die einzelnen Versagensmechanismen berechnet werden. Diese ergeben sich für die einzelnen Versagensmechanismen zu:

g: 14 070 N **h:** 9 005 N **j:** 9 530 N **k:** 14 125 N

Die Tragfähigkeit wird durch den kleinsten Wert repräsentiert; für dieses Beispiel durch den Versagensmechanismus **h**, bei dem kein Anteil aus dem Seileffekt auftritt.



Um die wirksame Verbindungsmittelanzahl dieses Anschlusses zu bestimmen, wird die Kenntnis des Abstandes a_1 benötigt (siehe Abb. 12.12). Somit ergibt sich für diese Verbindung:

$$a_{4t(1)} = 55 \text{ mm} > (2 + 2 \sin 45^\circ)d = 48 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad a_{3c(2)} = 78 \text{ mm} > 4d = 56 \text{ mm}$$

$$a_{4c(1)} = 50 \text{ mm} > 3d = 42 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad a_{1(2)} = 131 \text{ mm} > 5d = 70 \text{ mm}$$

$$a_{2(2)} = 60 \text{ mm} > 4d = 56 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad a_{4c(2)} = 44 \text{ mm} > 3d = 42 \text{ mm}$$

Mit $n = 2$ ergibt sich:

$$n_{ef(2)} = \min \left\{ n^{0,9} \sqrt[4]{\frac{a_{1(2)}}{13d}}, n \right\} = \min \{1,72, 2\} = 1,72.$$

Die Tragfähigkeit der gesamten Verbindung ist somit:

$$F_{k(2)} = (1,72 \cdot 2) \cdot 9\,005 \cdot 2 = 61\,955 = \underline{\underline{62,0 \text{ kN}}}$$

Nach Abschnitt 8.1.2 (5) ist zusätzlich die Tragfähigkeit der horizontalen Komponente der Kraft F zu untersuchen. Diese führt zu einer Kraft von $0,71 F$ im Untergurt (in Faserrichtung), welche auf die Diagonale zu übertragen ist.

$$\text{Mit } n = 2 \text{ und } a_{1(1)} = \sqrt{2a_{2(2)}^2} = 85 \text{ mm ergibt sich: } n_{ef(1)} = 1,54$$

In weiterer Folge ist eine Neuberechnung pro Bolzen und Scherfuge erforderlich, weil die Kraft jetzt in Richtung der Faser des Untergurtes, aber unter einem Winkel von 45° in Bezug auf die Diagonale wirkt.

Daraus lässt sich berechnen:

$$f_{h,1,k} = 26,8 \text{ MPa} \quad \text{und} \quad f_{h,2,k} = 20,9 \text{ MPa} \quad \rightarrow \quad \beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}} = 0,78$$

Unter abermaliger Vernachlässigung der Seilwirkung kann nun unter Verwendung der Gleichungen 8.7 ergeben sich die folgenden charakteristischen Tragfähigkeiten pro Bolzen und Scherfuge zu:

$$\mathbf{g: 18\,010 \text{ N} \quad \underline{\mathbf{h: 7\,035 \text{ N}}} \quad \mathbf{j: 10\,023 \text{ N} \quad \mathbf{k: 14\,125 \text{ N}}$$



Wieder ist Versagensmechanismus h maßgebend, und die Tragfähigkeit der gesamten Verbindung ergibt sich zu:

$$F_{k(1)} = (1,54 \cdot 2) \cdot 7035 \cdot 2 / 0,71 = 61035 \text{ N} = \underline{61,0 \text{ kN}}$$

Obwohl die horizontale Komponente der Kraft F wesentlich geringer ist, wird die Tragfähigkeit der gesamten Verbindung also durch diesen Fall bestimmt.

Mit $k_{\text{mod}} = 0,9$ und $\gamma_M = 1,3$ kann der Bemessungswert der Tragfähigkeit für diese Verbindung somit zu

$$F_d = F_k \frac{k_{\text{mod}}}{\gamma_M} = 61,0 \cdot 0,9 / 1,3 = \underline{42,2 \text{ kN}}$$

bestimmt werden.

Die Querkzugtragfähigkeit der Verbindung ergibt sich nach Gleichung 8.4 zu:

$$F_{90, \text{Rk}} = 14 b w \sqrt{\frac{h_e}{\left(1 - \frac{h_e}{h}\right)}} = 14 \cdot (2 \cdot 48) \cdot 1 \sqrt{\frac{198 - 55}{\left(1 - \frac{198 - 55}{198}\right)}} = 30\,495 = 30,5 \text{ kN}$$

Unter der Annahme, dass die vertikale Komponente von F , die sich zu: $0,71 \cdot 61,0 = 43,3 \text{ kN}$ errechnen lässt, in zwei gleich große Querkräfte auf den beiden Seiten der Verbindung aufteilt, ergibt sich somit kein Problem für die Querkzugtragfähigkeit.



13 ANHANG: ERGÄNZUNG A1 ZU EN 1995-1-1 (EUROCODE 5)

Die Änderung A1 zu EN 1995-1-1 (Eurocode 5) beinhaltet einige neue Festlegungen gegenüber der ursprünglichen Ausgabe, die im Folgenden erläutert werden. Die Nummerierung der einzelnen Abschnitte bezieht sich dabei auf die Nummerierung in der Originalausgabe.

6.1.5 Druck rechtwinklig zur Faserrichtung

Es ist die folgende Bedingung zu erfüllen:

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

mit

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

Dabei ist:

$\sigma_{c,90,d}$ Bemessungswert der Druckspannung in der wirksamen Kontaktfläche rechtwinklig zur Faserrichtung,

$F_{c,90,d}$ Bemessungswert der Druckkraft rechtwinklig zur Faserrichtung,

$f_{c,0,d}$ Bemessungswert der Druckfestigkeit rechtwinklig zur Faserrichtung,

$k_{c,90}$ Beiwert zur Berücksichtigung der Art der Einwirkung, der Spaltgefahr und des Grades der Druckverformung

Die wirksame Kontaktfläche rechtwinklig zur Faserrichtung A_{ef} sollte unter Berücksichtigung einer wirksamen Kontaktlänge bestimmt werden, wobei die vorhandene Kontaktlänge l auf jeder Seite um 30 mm, jedoch nicht mehr als um a , l oder $l/2$ (siehe Abb. 6.4) zu vergrößern ist.

Der Wert für $k_{c,90}$ ist im Allgemeinen mit 1,0 anzunehmen. Falls die Anordnung und die Beanspruchungssituation der Bauteile den nachfolgend geschilderten Fällen entsprechen, dürfen auch höhere Werte, bis zu maximalen Wert von $k_{c,90} = 1,75$ angenommen werden.

Für Bauteile mit einer kontinuierlichen Lagerung, bei denen $l_1 \geq 2 \cdot h$ gilt (siehe Abb. 6.4a) ergibt sich der Wert für $k_{c,90}$ zu:

- $k_{c,90} = 1,25$ für Vollholz aus Nadelholz
- $k_{c,90} = 1,50$ für Brettschichtholz aus Nadelhölzern

wobei h die Bauteilhöhe und l die Kontaktlänge sind.

Für Bauteile mit einer Einzellagerung, bei denen $l_1 \geq 2 \cdot h$ gilt (siehe Abb. 6.4b) ergibt sich der Wert für $k_{c,90}$ zu:

- $k_{c,90} = 1,50$ für Vollholz aus Nadelholz
- $k_{c,90} = 1,75$ für Brettschichtholz aus Nadelhölzern unter Einhaltung der Bedingung $l \leq 400$ mm

wobei h die Bauteilhöhe und l die Kontaktlänge sind.

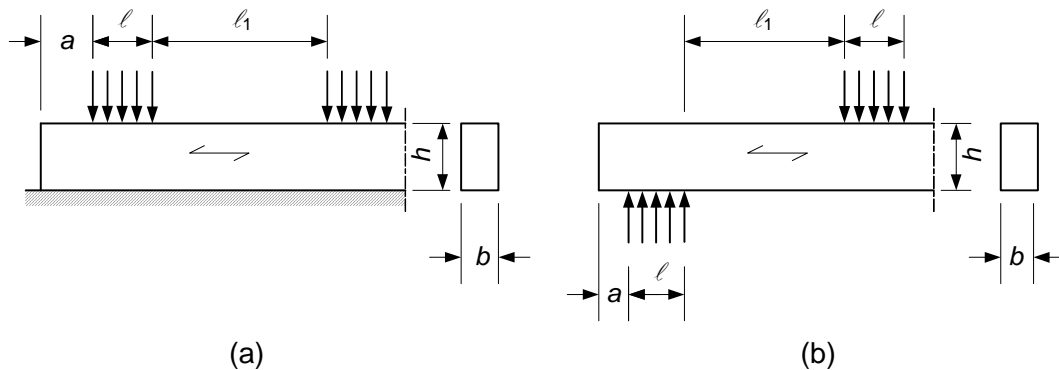


Abb. 6.4 Bauteil mit einer (a) kontinuierlichen Lagerung und (b) Einzellagerung

Anmerkung:

Die Abb. 6.5 und 6.6, sowie die Gleichungen 6.4 bis 6.10 sind außer Kraft gesetzt.

6.1.7 Schub

Sowohl für Schub mit einer Spannungskomponente parallel zur Faserrichtung (siehe Abb. 6.7 a), als auch für Schub mit beiden Spannungskomponenten rechtwinklig zur Faserrichtung (siehe Abb. 6.7 b) ist die folgende Bedingung einzuhalten:

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

Es bedeuten:

τ_d Bemessungswert der Schubspannung,

$f_{v,d}$ Bemessungswert der Schubfestigkeit für die jeweilige Bedingung

Anmerkung:

Die Rollschubfestigkeit beträgt rund das Doppelte der Zugfestigkeit rechtwinklig zur Faserrichtung.

Für den Nachweis des Widerstandes eines biegebeanspruchten Bauteiles auf Schub ist der Einfluss von Rissen durch Berücksichtigung einer wirksamen Bauteilbreite zu berücksichtigen:

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b \quad (6.13a)$$

wobei b die Breite des betrachteten Bauteilabschnittes ist.

Anmerkung:

Die empfohlenen Werte für k_{cr} sind:

$k_{cr} = 0,67$	für Vollholz,
$k_{cr} = 0,67$	für Brettschichtholz,
$k_{cr} = 1,00$	für andere Holzwerkstoffe gemäß EN 13986 und EN 14374.

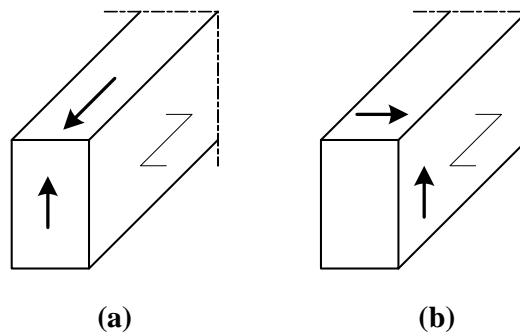


Abb. 6.7 (a) Bauteile mit einer Schubspannungskomponente in Faserrichtung, (b) Bauteil mit beiden Spannungskomponenten rechtwinklig zur Faserrichtung (Rollschub)

An Auflagern darf der Beitrag zur Querkraft einer Einzellast F , die auf der Oberseite des Biegebalkens innerhalb eines Abstandes h oder h_{ef} vom Auflagerende auftritt unberücksichtigt bleiben (siehe Abb. 6.8). Für Biegestäbe mit einer Ausklinkung über dem Auflager darf diese Reduktion der Querkraft nur angewendet werden, wenn die Ausklinkung an der, dem Auflager gegenüberliegenden Seite angreift.

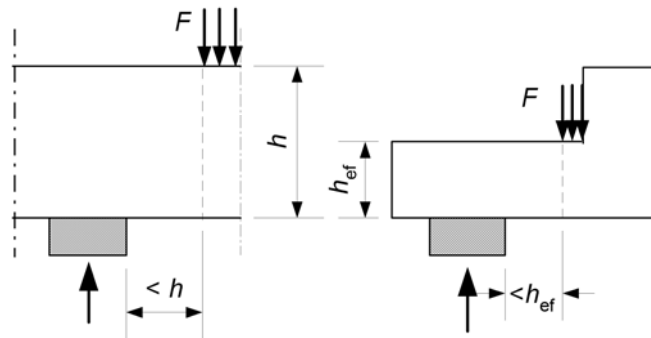


Abb. 6.8 Geometrische Bedingungen für das Auflager, für das die Einzellasten F in der Berechnung der Querkraft vernachlässigt werden darf

8.3.1 Beanspruchung rechtwinklig zur Nagelachse (Abscheren)

8.3.1.1 Allgemeines

Holz sollte vorgebohrt werden, wenn:

- die charakteristische Rohdichte des Holzes größer als 500 kg/m^3 ist,
- der Nageldurchmesser größer als 6 mm ist.

8.3.2 Beanspruchung in Richtung der Nagelachse (Herausziehen)

Bei einer Beanspruchung durch eine Einwirkung mit ständiger oder langer Lasteinwirkungsdauer in Richtung der Nagelachse (auf Herausziehen) sind profilierte Nägel zu verwenden.

Anmerkung:

In EN 14592 ist folgende Definition von profilierten Nägeln angegeben: Nagel mit einem, über eine Mindestlänge von $4,5 \cdot d$ ($4,5$ mal dem Nenndurchmesser), profilierten oder verformten (verwundenen) Schaft und mit einem Wert für den charakteristischen Ausziehparameter $f_{ax,k}$ von größer gleich 6 N/mm^2 . Dieser ist an Holz (-proben) mit einer charakteristischen Rohdichte von 350 kg/m^3 , welches vorher bis zur Massekonstanz im Normklima bei 20°C und 65% relativer Luftfeuchte konditioniert wurde.

8.7.2 Beanspruchung in Richtung der Schraubenachse (Herausziehen)

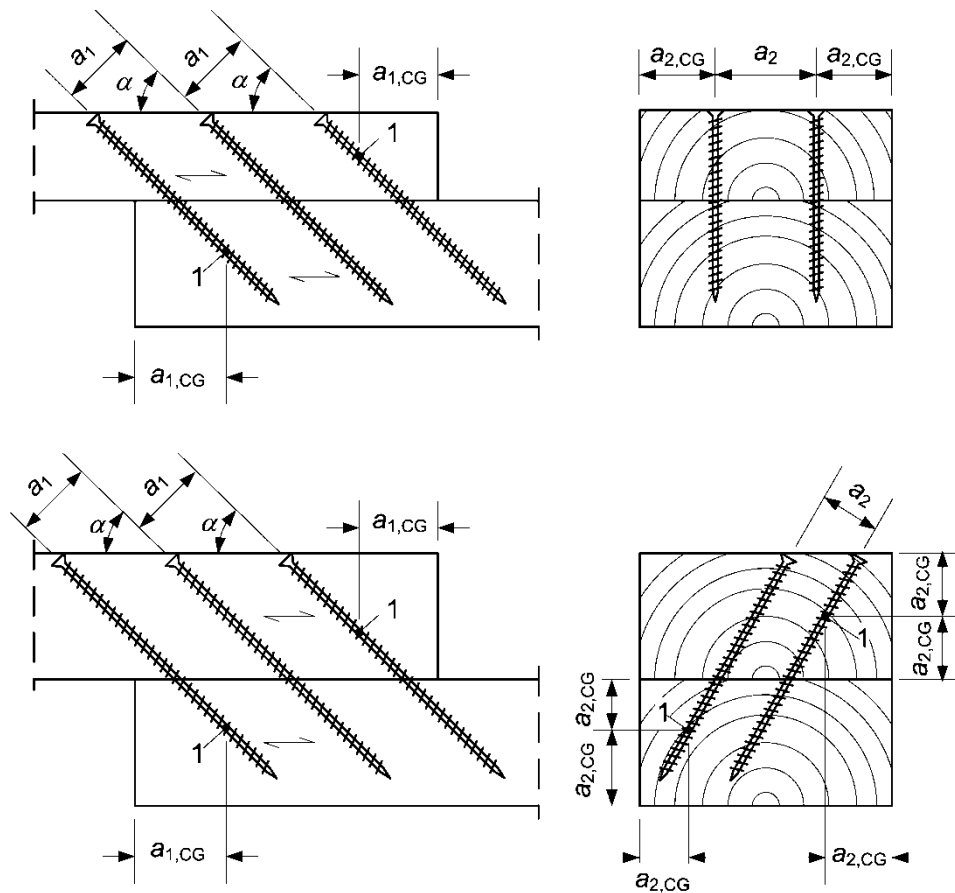
Bei der Bestimmung der Tragfähigkeit von in Richtung der Schraubenachse beanspruchten Schrauben sind die nachfolgend angeführten Versagensmechanismen nachzuweisen:

- der Auszieh Widerstand des eingeschraubten Teiles der Schraube,
- für Schrauben, die in Kombination mit Stahlblechen eingesetzt werden, muss der Abreißwiderstand des Kopfes höher sein als die Zugfestigkeit der Schraube,
- der Widerstand des Schraubenkopfes gegen Durchziehen,
- die Zugfestigkeit der Schraube,
- das Ausknicken von auf Druck beanspruchten Schrauben,
- für in Verbindung mit Stahlblechen verwendete Schrauben ist der Widerstand gegen Abscheren entlang des Umfanges einer Gruppe von Schrauben (Blockscherversagen).

Mindestabstände für Schrauben, die in Richtung der Schraubenachse beansprucht sind, untereinander, sowie zu den Hirnholzenden und zu den Rändern (siehe Abb. 8.11a) sind der nachfolgenden Tab. 8.6 zu entnehmen, wobei vorausgesetzt wird, dass die Bedingung $t \geq 12 \cdot d$ für die Holzdicke eingehalten ist.

Mindestschraubenabstand in einer Ebene in Faserrichtung	Mindestschraubenabstand rechtwinklig zu einer Ebene in Faserrichtung	Mindesthirnholzabstand des Schwerpunktes des eingeschraubten Gewindeteiles der Schraube im Bauteil	Mindestrandabstand des Schwerpunktes des eingeschraubten Gewindeteiles der Schraube im Bauteil
a_1	a_2	$a_{1,CG}$	$a_{2,CG}$
$7 \cdot d$	$5 \cdot d$	$10 \cdot d$	$4 \cdot d$

Tab. 8.6 Mindestabstände von in Richtung der Schraubenachse beanspruchten Schrauben



Legende: 1 Schwerpunkt des eingeschraubten Gewindeteiles der Schraube im Bauteil

Abb. 8.11a Mindestabstände von Schrauben

Die kleinste Einbindetiefe des Gewindeteils auf der Seite der Schraubenspitze muss $6 \cdot d$ betragen.

Für Holzverbindungen mit Schrauben, die den Regelungen nach EN 14592 entsprechen, d.h. mit:

- $6 \text{ mm} \leq d \leq 12 \text{ mm}$,
- $0,6 \leq d_1/d \leq 0,75$,

wobei:

d Gewindeaußendurchmesser,

d_1 Gewindeinnendurchmesser,



darf der charakteristische Auszieh Widerstand wie folgt bestimmt werden:

$$F_{ax,\alpha,Rk} = \frac{n_{ef} \cdot f_{ax,k} \cdot d \cdot l_{ef} \cdot k_d}{1,2 \cdot \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} \quad (8.38)$$

mit:

$$f_{ax,k} = 0,52 \cdot d^{-0,5} \cdot l_{ef}^{-0,1} \cdot \rho_k^{0,8} \quad (8.39)$$

$$k_d = \min \begin{cases} d/8 \\ 1 \end{cases} \quad (8.40)$$

Es bedeuten:

$F_{ax,\alpha,Rk}$ charakteristischer Auszieh Widerstand einer Schraubenverbindung mit einem Winkel α zur Faserrichtung in N,

$f_{ax,k}$ charakteristischer Wert der Ausziehfestigkeit einer Schraube rechtwinklig zur Faserrichtung in N/mm²,

n_{ef} wirksame Schraubenanzahl (siehe Abschnitt 8.7.2 (8)),

l_{ef} Eindringtiefe des Gewindeteiles in mm,

ρ_k charakteristische Rohdichte in kg/m³,

α Winkel zwischen der Schraubenachse und der Faserrichtung, mit $\alpha \geq 30^\circ$.

Anmerkung:

Versagensmechanismen im Stahlblech oder im Holz um die Schraube sind spröde, d.h. es tritt eine geringe Bruchverformung auf, weshalb die Möglichkeiten einer Spannungsumlagerung begrenzt sind.

Wenn die Anforderungen an den Außen- oder Innengewindedurchmesser nicht eingehalten werden, ist der charakteristische Auszieh Widerstand $F_{ax,\alpha,Rk}$ wie folgt zu bestimmen:

$$F_{ax,\alpha,Rk} = \frac{n_{ef} \cdot f_{ax,k} \cdot d \cdot l_{ef}}{1,2 \cdot \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} \cdot \left(\frac{\rho_k}{\rho_a} \right)^{0,8} \quad (8.40a)$$

mit:

$f_{ax,k}$ charakteristischer Wert des Ausziehparameters rechtwinklig zur Faserrichtung nach EN 14592 für die zugehörige Rohdichte ρ_a ,

ρ_a zugehörige Rohdichte für $f_{ax,k}$ in kg/m³,



Für den charakteristischen Wert des Kopfdurchzieh Widerstandes von Schraubenverbindungen, die in ihrer Längsachse beansprucht sind, ist wie folgt zu bestimmen:

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

mit:

$F_{ax,\alpha,Rk}$ charakteristischer Wert der Tragfähigkeit gegen Kopfdurchziehen einer Schraube bei einem Winkel α zur Faserrichtung in N, mit $\alpha \geq 30^\circ$.

$f_{head,k}$ charakteristischer Kopfdurchziehparameter einer Schraube nach EN 14592 für die zugehörige Rohdichte ρ_a ,

d_h Durchmesser des Schraubenkopfes in mm.

Der charakteristische Wert der Beanspruchbarkeit der Verbindung auf Zug (Kopfabreißen oder Zugtragfähigkeit des Schaftes) ergibt sich zu:

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

wobei:

$f_{tens,k}$ charakteristischer Wert der Zugtragfähigkeit der Schraube nach EN 14592,

n_{ef} wirksame Schraubenanzahl (siehe Abschnitt 8.7.2 (8)).

Für eine Verbindung mit einer Gruppe von Schrauben, die in Richtung der Schraubenlängsachse beansprucht wird, ist die wirksame (effektive) Schraubenanzahl mit der nachfolgenden Gleichung zu berechnen.

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

Dabei ist:

n_{ef} wirksame Anzahl der Schrauben,

n Anzahl der Schrauben in einer Verbindung, die in Richtung der Schraubenlängsachse beansprucht wird, zusammenwirken.



Für Schrauben in Nadelhölzern mit einem glatten Schaftdurchmesser $d \leq 6$ mm ist ein Vorbohren nicht erforderlich. Für die Verwendung von Schrauben in Laubhölzern und für Schrauben in Nadelhölzern mit einem Durchmesser $d > 6$ mm ist ein Vorbohren unter Einhaltung der folgenden Regelungen erforderlich:

- das Bohrloch für den Schaft soll denselben Durchmesser und dieselbe Bohrtiefe wie der Schaft aufweisen,
- das Bohrloch für den Gewindeteil soll einen Durchmesser von rund 70% des Schaftdurchmessers haben.

Für Rohdichten der Hölzer größer als 500 kg/m^3 ist der Durchmesser für das Vorbohren aus Versuchen zu bestimmen.

Werden die Schraubenlöcher von selbstbohrenden Holzschrauben vorgebohrt, darf der Durchmesser nicht größer als der Innengewindedurchmesser (Kerndurchmesser) sein.



14 LITERATUR UND NORMEN

12.1 Bücher

- [1] Breyer, D.E.;
“Design of Wood Structures”,
McGraw-Hill Book Company, 1980
- [2] Kollmann, F.P.; Cote, W.A.;
„Principles of Wood Science and Technology – Volume 1: Solid Wood”,
Springer Verlag, Berlin, 1967
- [3] “Timber Engineering”,
ISBN 90-5645-001-8, Centrum Hout, 1995

12.2 Normen

12.2.1 Eurocode 5

- [4] EN 1995-1-1: 2006
“Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 1-1:
Allgemeines - Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau“
- [5] EN 1995-1-2: 2006
„Eurocode 5: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauten - Teil 1-2:
Allgemeine Regeln - Bemessung für den Brandfall“
- [6] EN 1995-2: 2006
„Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 2: Brücken“

12.2.2 ISO-Normen

- [7] ISO 2081: 2007
„Metallische Überzüge - Galvanische Zinküberzüge auf Eisenwerkstoffen mit
zusätzlicher Behandlung“
- [8] ISO 2631-2: 2007
„Mechanische Schwingungen und Stöße - Bewertung der Auswirkung von
Ganzkörperschwingungen auf den Menschen - Teil 2:
Schwingungen in Gebäuden (1 Hz bis 80 Hz)“



12.2.3 EN-Normen

- [9] EN 300: 2006
„Platten aus langen, flachen, ausgerichteten Spänen (OSB) -
Definitionen, Klassifizierung und Anforderungen“
- [10] EN 301: 2006
„Klebstoffe für tragende Holzbauteile - Phenoplaste und Aminoplaste -
Klassifizierung und Leistungsanforderungen“
- [11] EN 312-4: 1996
„Spanplatten - Anforderungen - Teil 4:
Anforderungen an Platten für tragende Zwecke zur Verwendung im Trockenbereich“
- [12] EN 312-5:1997
„Spanplatten - Anforderungen - Teil 5:
Anforderungen an Platten für tragende Zwecke zur Verwendung im Feuchtbereich“
- [13] EN 312-6:1996
„Spanplatten - Anforderungen - Teil 6:
Anforderungen an hochbelastbare Platten für tragende Zwecke zur Verwendung im
Trockenbereich“
- [14] EN 312-6:1997
„Spanplatten - Anforderungen - Teil 7:
Anforderungen an hochbelastbare Platten für tragende Zwecke zur Verwendung im
Feuchtbereich“
- [15] EN 335-1: 2006
„Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten - Definition der Gebrauchsklassen -
Teil 1: Allgemeines“
- [16] EN 335-2: 2006
„Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten - Definition der Gebrauchsklassen -
Teil 2: Anwendung bei Vollholz“
- [17] EN 335-3: 1995
„Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten - Definition der Gefährdungsklassen für
einen biologischen Befall - Teil 3: Anwendung bei Holzwerkstoffen“
- [18] EN 350-2: 1994
„Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten - Natürliche Dauerhaftigkeit von Vollholz
- Teil 2: Leitfaden für die natürliche Dauerhaftigkeit und Tränkbarkeit von
ausgewählten Holzarten von besonderer Bedeutung in Europa“
- [19] EN 351-1: 2007
„Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten - Mit Holzschutzmitteln behandeltes
Vollholz - Teil 1: Klassifizierung der Schutzmitteleindringung und –aufnahme“
- [20] EN 383: 2007
„Holzbauwerke - Prüfverfahren - Bestimmung der Lochleibungsfestigkeit und
Bettungswerte für stiftförmige Verbindungsmittel“



- [21] EN 385: 2008
„Keilzinkenverbindungen im Bauholz - Leistungsanforderungen und Mindestanforderungen an die Herstellung“
- [22] EN 387: 2002
„Brettschichtholz - Universal-Keilzinkenverbindungen - Leistungsanforderungen und Mindestanforderungen an die Herstellung“
- [23] EN 409: 1993
„Holzbauwerke - Prüfverfahren - Bestimmung des Fließmoments von stiftförmigen Verbindungsmitteln – Nägel“
- [24] EN 460: 1994
„Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten - Natürliche Dauerhaftigkeit von Vollholz - Leitfaden für die Anforderungen an die Dauerhaftigkeit von Holz für die Anforderungen an die Dauerhaftigkeit von Holz für die Anwendung in den Gefährdungsklassen“
- [25] EN 594: 1996
„Holzbauwerke - Prüfverfahren - Tragfähigkeit und Steifigkeit von Wänden in Holztafelbauart (Wandscheiben)“
- [26] EN 622-2: 2006
„Faserplatten - Anforderungen - Teil 2: Anforderungen an harte Platten“
- [27] EN 622-3: 2004
„Faserplatten - Anforderungen - Teil 3: Anforderungen an mittelharte Platten“
- [28] EN 622-4: 1997
„Faserplatten - Anforderungen - Teil 4: Anforderungen an poröse Platten“
- [29] EN 622-5: 2006
„Faserplatten - Anforderungen - Teil 5: Anforderungen an Platten nach dem Trockenverfahren (MDF)“
- [30] EN 636-1: 1997
„Sperrholz – Anforderungen – Teil 1: Anforderungen an Sperrholz zur Verwendung im Trockenbereich“
- [31] EN 636-2: 1997
„Sperrholz – Anforderungen – Teil 2: Anforderungen an Sperrholz zur Verwendung im Feuchtbereich“
- [32] EN 636-3: 1997
„Sperrholz – Anforderungen – Teil 3: Anforderungen an Sperrholz zur Verwendung im Außenbereich“
- [33] EN 912: 1999
„Holzverbindungsmittel - Spezifikationen für Dübel besonderer Bauart für Holz“



- [34] EN 1075: 1999
„Holzbauwerke - Prüfverfahren - Verbindungen mit Nagelplatten“
- [35] EN 1380: 1999
„Holzbauwerke - Prüfverfahren - Tragende Nagelverbindungen“
- [36] EN 1381: 1999
„Holzbauwerke - Prüfverfahren - Tragende Klammerverbindungen“
- [37] EN 1382: 1999
„Holzbauwerke - Prüfverfahren - Ausziehtragfähigkeit von Holzverbindungsmiteln“
- [38] EN 1383: 1999
„Holzbauwerke - Prüfverfahren - Prüfung von Holzverbindungsmiteln auf Kopfdurchziehen“
- [39] EN 1990:2002
„Eurocode – Grundlagen der Tragwerksplanung“
- [40] EN 1991-1-1: 2003
„Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-1:
Allgemeine Einwirkungen - Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau“
- [41] EN 1991-1-3: 2005
„Eurocode 1 - Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-3:
Allgemeine Einwirkungen, Schneelasten“
- [42] EN 1991-1-4: 2005
„Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-4:
Allgemeine Einwirkungen – Windlasten“
- [43] EN 1991-1-5: 2004
„Eurocode 1 - Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-5:
Allgemeine Einwirkungen – Temperatureinwirkungen“
- [44] EN 1991-1-6: 2005
„Eurocode 1 - Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-6:
Allgemeine Einwirkungen - Einwirkungen während der Bauausführung“
- [45] EN 1991-1-7: 2007
„Eurocode 1 - Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-7:
Allgemeine Einwirkungen - Außergewöhnliche Einwirkungen“
- [46] EN 10147:2000
„Kontinuierlich feuerverzinktes Band und Blech aus Baustählen –
Technische Lieferbedingungen“
- [47] EN 13271: 2004
„Holzverbindungsmitel - Charakteristische Tragfähigkeiten und
Verschiebungsmoduln für Verbindungen mit Dübeln besonderer Bauart“



- [48] EN 13986: 2005 04
„Holzwerkstoffe zur Verwendung im Bauwesen - Eigenschaften, Bewertung der Konformität und Kennzeichnung“
- [49] EN 14080: 2005
„Holzbauwerke - Brettschichtholz – Anforderungen“
- [50] EN 14081-1: 2006
„Holzbauwerke - Nach Festigkeit sortiertes Bauholz für tragende Zwecke mit rechteckigem Querschnitt - Teil 1: Allgemeine Anforderungen“
- [51] EN 14250: 2005
„Holzbauwerke - Produktanforderungen an vorgefertigte Fachwerkträger mit Nagelplatten“
- [52] EN 14279: 2005
„Furnierschichtholz (LVL) - Definitionen, Klassifizierung und Spezifikationen“
- [53] EN 14358: 2007
„Holzbauwerke - Berechnung der 5%-Quantile für charakteristische Werte und Annahmekriterien für Proben“
- [54] EN 14374: 2005
„Holzbauwerke - Furnierschichtholz für tragende Zwecke – Anforderungen“
- [55] EN 14544: 2006
„Holzbauwerke - Rundholz für tragende Zwecke – Anforderungen“
- [56] EN 14545: 2002
„Holzbauwerke - Verbindungselemente – Anforderungen“
- [57] EN 14592: 2003
„Holzbauwerke - Stifförmige Verbindungsmittel – Anforderungen“
- [58] EN 26891: 1991
„Holzbauwerke - Verbindungen mit mechanischen Verbindungsmitteln - Allgemeine Grundsätze für die Ermittlung der Tragfähigkeit und des Verformungsverhaltens“
- [59] EN 28970: 1991
„Holzbauwerke - Prüfung von Verbindungen mit mechanischen Verbindungsmitteln - Anforderungen an die Rohdichte des Holzes (ISO 8970:1989)“

