



ASSY® SCHRAUBEN – HANDBUCH ZUR ETA-11/0190

Bemessung von Verbindungen und Verstärkungen
im Holzbau



VORWORT

Liebe Kunden,

der Werkstoff Holz nimmt im Bauwesen aufgrund seiner Kohlenstoffbilanz im Vergleich zu mineralischen Baustoffen eine immer wichtigere Rolle ein. Allerdings ist die Planung von Bauwerken aus Holz insbesondere für diejenigen Ingenieure komplex, die bisher wenig oder gar nicht mit dem Werkstoff Holz in Berührung gekommen sind. Besonders der Bereich der Verbindungs- und Verstärkungstechnik mittels Schrauben stellt den Planer durch die Vielfältigkeit der Anschluss- bzw. Verstärkungsmöglichkeiten, die Nachweisverfahren und die zu beachtenden Ausführungsbestimmungen vor Herausforderungen. Das Ziel dieses Handbuchs ist es daher, der Praxis einen verständlichen und anschaulichen Leitfaden rund um das Thema der Verbindungstechnik mit ASSY® Schrauben in Holzbauteilen an die Hand zu geben.

Die mechanischen Kennwerte der ASSY® Schrauben sind in der Europäischen Technischen Bewertung ETA-11/0190 geregelt. Im Zusammenhang mit den Bemessungsnormen DIN EN 1995-1-1:2010, DIN EN 1995-1-1/A2:2014 und DIN EN 1995-1-1/NA:2013 (zusammengefasst nachfolgend als EC5 bezeichnet) liefert das vorliegende Handbuch den Anwendenden ein konsolidiertes Dokument, mit dem sie Verbindungen mit ASSY® Schrauben im Nenndurchmesserbereich von 6 mm bis 14 mm vollständig bemessen können.

Seit der Einführung des EC 5 im Jahre 2010 haben sich im Holzbau zahlreiche technische Weiterentwicklungen ergeben. Diese werden in der zukünftig einzuführenden FprEN1995-1-1, nachfolgend als EC5 Entwurf bezeichnet, geregelt. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieses Handbuchs gehören sie als Weiterentwicklungen der aktuell gültigen Regelungen des EC 5 zum Stand der Technik. Daher sind diese Anpassungen an den entsprechenden Stellen in diesem Handbuch bereits eingearbeitet. Auf die Bereitstellung neuer Bemessungsansätze, für die es nach EC 5 bereits existierende Modelle gibt, wird bewusst

verzichtet, da der EC 5 Entwurf baurechtlich noch nicht eingeführt ist.

Für alle in diesem Dokument angeführten Zulassungen und Normen gilt, dass die jeweils zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieses Handbuchs gültigen Versionen berücksichtigt wurden.

Im ersten Teil des Handbuchs wird zunächst auf allgemeine Themen der ASSY® Schraubentechnik eingegangen, wie etwa die unterschiedlichen Schraubentypen und deren Anwendung, die Ausführungsbestimmungen sowie die generellen Bemessungsgrundlagen (Abschnitt 1 und 2). Der zweite Teil des Handbuchs beschäftigt sich ausführlich mit der Tragfähigkeit und der geometrischen Auslegung unterschiedlich gestalteter geschraubter Verbindungen (Abschnitt 3 und 4), wobei die Theorie mit zahlreichen Rechenbeispielen veranschaulicht wird. Im dritten Teil des Handbuchs wird schließlich auf spezifische Themen, wie zum Beispiel die Verstärkung von Holzbauteilen mittels Schrauben, eingegangen (Abschnitt 6 bis 11).

Herzliche Grüße aus Künzelsau



Thomas Klenk
Geschäftsführer Ressort Markt

Die Autoren

Das vorliegende Handbuch wurde durch die folgenden Autoren verfasst:

- Henning Ernst – SWG Engineering, Rülzheim
- Georg Krüger – SWG Engineering, Rülzheim
- Dr.-Ing. Dietrich Töws – SWG Engineering, Rülzheim
- Maximilian Westermayr – Adolf Würth GmbH & Co. KG, Künzelsau
- Dr.-Ing. Lukas Windeck – SWG Engineering, Rülzheim

Die Lektoren

Das technische Lektorat des vorliegenden Handbuchs erfolgte durch folgende Lektoren:

- Prof. Dr.-Ing. Hans Joachim Blaß – BE Ingenieure GmbH, Karlsruhe
- Univ.-Prof. Dr.-Ing. Philipp Dietsch – Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe

SERVICES RUND UM ASSY® HOLZSCHRAUBEN – WUERTH.DE/ASSY

- Produktübersichten und -news
- Zulassungen & Gutachten
- Bemessungshilfen
- Tools zur korrekten Auswahl und Planung



www.wuerth.de/assy



KOSTENLOSE WÜRTH BEMESSUNGSHILFEN FÜR DEN HOLZBAU

Würth Technical Software II

Schnelle und einfache Holzbaubemessungssoftware

Optimieren Sie Ihre Holzbauverbindungen und sparen Sie wertvolle Zeit durch die Verwendung der unterschiedlichen Module unserer Würth Technical Software II.

- Vielseitig – Module für zahlreiche Anwendungen im modernen Holzbau
- Intuitive Bedienung – für effizientes und zeitsparendes Arbeiten
- Validierte Software – mit Zulassungen und umfassenden Produktinformationen
- Prüffähiger Statikausdruck – für eine sichere Dokumentation
- Ständige Weiterentwicklung – orientiert an den Anforderungen unserer Kunden

Kostenloser Download und weitere Informationen unter
www.wuerth.de/holzbausoftware



Bemessungsservice Bautechnik

Vorbemessung von Anwendungen und Anschlüssen

Auf Grundlage aktueller Normen, Vorschriften und Regelwerken sowie unseren Zulassungen bzw. Europäischen Technischen Bewertungen (ETA) erstellen wir Ihnen die passende Produktvorbemessung für Ihr Projekt in Deutschland.

- Kostenfreier Service
- Für verschiedene Anwendungen
- Einfache Nutzung über die Web-Formulare – am Desktop oder Mobilgerät

Mehr erfahren unter
www.wuerth.de/bemessungsservice



Dieser Service ist exklusiv für unsere Handwerkskunden der Adolf Würth GmbH & Co. KG.

**Lasttabellen und Anwendungshilfen
finden Sie unter**
www.wuerth.de/assy

INHALTSVERZEICHNIS

Vorwort	2
1 Schrauben und Material	8
1.1 Zulassung und Überwachung	9
1.2 Schraubentypen und deren Anwendungen	9
1.2.1 Teilgewindeschrauben	9
1.2.2 Vollgewindeschrauben	10
1.3 Kopfformen	11
1.4 Schraubenspitze	12
1.5 Korrosion	13
1.6 Auslegung einer geschraubten Verbindung	14
1.7 Für die Bemessung erforderliche Kennwerte mechanischer Eigenschaften der Schrauben	14
1.8 Baustoffe, die befestigt werden dürfen	15
2 Ausführung	16
2.1 Vorbohren/Pilotbohrung	17
2.2 Einschrauben	18
3 Schrauben axial beansprucht	20
3.1 Versagensmechanismen axial beanspruchter Schrauben	21
3.2 Charakteristischer Kopfdurchziehewiderstand	21
3.3 Charakteristischer Ausziehewiderstand	23
3.4 Charakteristischer Zugwiderstand einer Schraube	26
3.5 Charakteristischer Knickwiderstand	26
3.5.1 Elastisch gebettetes Knicken	28
3.5.2 Freies Knicken	30
3.6 Tragwiderstand axial beanspruchter Schrauben	31
3.7 Bemessungswerte der Tragfähigkeit von Verbindungen mit planmäßig ausschließlich axial beanspruchten Schrauben	33
3.7.1 Bemessungswert der Tragfähigkeit von Verbindungen mit axial auf Zug beanspruchten Schrauben	33
3.7.2 Bemessungswert der Tragfähigkeit von Verbindungen mit axial auf Druck beanspruchten Schrauben	33
3.7.3 Wirksame Anzahl der Verbindungsmittel	33
3.8 Mindestbauteilabmessungen und Mindestabstände für axial beanspruchte Schrauben	34
3.8.1 Allgemeines	34
3.8.1.1 Mindestbauteildicken	36
3.8.1.2 Mindestachs- und Randabstände	36
3.8.2 Mindestabstände und Mindestbauteilmaße für axial beanspruchte Schrauben in Bauteilen aus Vollholz (ST/FST)	37
3.8.3 Mindestabstände und Mindestbauteilmaße für axial beanspruchte Schrauben in Bauteilen aus Furnierschichtholz (LVL) aus Nadelholz	39
3.8.4 Mindestabstände und Mindestbauteilmaße für axial beanspruchte Schrauben in Brettschichtholz aus Furnierschichtholz (GLVL) aus Buche nach ETA-14/0354	40
3.8.5 Mindestabstände und Mindestbauteilmaße für axial beanspruchte Schrauben in Brettsperrholz (CLT)	41
3.8.6 Mindestabstände und Mindestbauteilmaße für faserparallel im Hirnholz von Vollholzprodukten (SWB) und Furnierschichtholz (LVL) angeordnete Schrauben	42
3.9 Durch Schrauben induzierte Versagensmechanismen an den beteiligten Bauteilen – Blockscheren	42
3.10 Bemessung axial beanspruchter Schrauben unter Brandbeanspruchung	44
3.11 Verschiebungsmodul axial beanspruchter Schrauben	46
3.11.1 Verschiebungsmodul in Holz-Holz-, Holzwerkstoff-Holz- und Stahl-Holz-Verbindungen	46
3.12 Rechenbeispiele	46
3.12.1 Scherverbindungen mit geneigten, axial beanspruchten Schrauben	46
3.12.1.1 Allgemeines	46
3.12.1.2 Berechnung des axialen Tragwiderstands einer Schraube	47
3.12.1.3 Blockschernachweis	48

3.12.2	Gekreuzte Schrauben – Anschluss Hauptträger – Nebenträger	49
3.12.2.1	Allgemeines	49
3.12.2.2	Tragwiderstand der auf Zug beanspruchten Schraube HT- NT	50
3.12.2.3	Tragwiderstand der auf Druck beanspruchten Schraube NT- HT	51
3.12.2.4	Tragwiderstand eines Schraubenkreuzes	51
3.12.2.5	Tragfähigkeit der Verbindung	52
4	Schrauben lateral beansprucht	53
4.1	Allgemeines	54
4.2	Versagensmechanismen	54
4.3	Charakteristischer Tragwiderstand einer lateral beanspruchten Schraube	55
4.3.1	Traganteil $F_{D,k}$ in Holz-Holz- und Holzwerkstoff-Holz-Verbindungen	55
4.3.2	Traganteil $F_{D,k}$ in Stahl-Holz-Verbindungen	56
4.3.3	Anteil des Seileffekts $F_{rp,k}$	58
4.4	Lochleibungsfestigkeit	58
4.5	Bemessungswert des Tragwiderstands einer auf Abscheren beanspruchten Schraube	61
4.6	Bemessungswert der Tragfähigkeit einer auf Abscheren beanspruchten Verbindung	61
4.6.1	Bemessungswert der Tragfähigkeit	61
4.6.2	Wirksame Anzahl der Verbindungsmittel	61
4.7	Mindestbauteilabmessungen und Mindestabstände lateral beanspruchter Schrauben	64
4.7.1	Allgemeines	64
4.7.1.1	Mindestbauteildicken	64
4.7.1.2	Mindestachs- und Randabstände	65
4.7.2	Mindestabstände und Mindestbauteildicken für lateral beanspruchte Schrauben in Vollholz (ST/FST)	66
4.7.3	Mindestabstände und Mindestbauteildicken für lateral beanspruchte Schrauben in Furnierschichtholz (LVL) aus Nadelholz	68
4.7.4	Mindestabstände und Mindestbauteildicken für lateral beanspruchte Schrauben in Brettschichtholz aus Furnierschichtholz (GLVL) aus Buche nach ETA-14/0354	69
4.7.5	Mindestabstände und Mindestbauteildicken für lateral beanspruchte Schrauben in Brettsperrholz (CLT)	70
4.7.6	Hirnholzverschraubung	71
4.7.7	Beispiele zu Abständen, wirksamer Schraubenanzahl und Bauteildicke	72
4.8	Durch Schrauben induzierte Versagensmechanismen an den beteiligten Bauteilen – Blockscheren	82
4.8.1	Allgemein	82
4.8.2	Blockscherversagen nach EC 5	82
4.9	Geschraubte Verbindungen mit Zwischenschicht	84
4.9.1	Allgemeines	84
4.9.2	Tragwiderstand einer Schraube in verschieblicher Zwischenschicht	85
4.9.3	Tragwiderstand einer Schraube in unverschieblicher Zwischenschicht	86
4.10	Mehrschnittige Verbindungen	87
4.10.1	Allgemeines	87
4.10.2	Berechnung der Tragwiderstände einer Schraube in mehrschnittigen Verbindungen	87
4.10.3	Plausibilitätskriterien	87
4.11	Heißbemessung von auf Abscheren beanspruchten, geschraubte Verbindungen nach EC 5 Teil 1-2	88
4.11.1	Vereinfachte Regeln für ungeschützte Verbindungen	88
4.11.2	Vereinfachte Regeln für geschützte Verbindungen	89
4.11.3	Vereinfachte Regeln für Verbindungen mit innenliegenden Stahlblechen	89
4.11.4	Beginn des Abbrandes	90
4.11.5	Abbrandraten	90
4.11.6	Verbindungen mit außenliegenden Stahlblechen	91
4.12	Verschiebungsmodul auf Abscheren beanspruchter Schrauben	91
4.12.1	Verschiebungsmodul von Holz-Holz-, Holzwerkstoff-Holz- sowie Stahl-Holz-Verbindungen	91
4.13	Rechenbeispiele	92
4.13.1	Verbindung mit auf Abscheren beanspruchten Schrauben	92
4.13.1.1	Allgemeine Angaben	92
4.13.1.2	Axialer Tragwiderstand	93
4.13.1.3	Abschertragfähigkeit	93
4.13.1.4	Heißbemessung	95
4.13.2	Stahl-Holz-Verbindung mit lateral beanspruchten Schrauben	97
4.13.2.1	Allgemeines	97
4.13.2.2	Axialer Tragwiderstand	98
4.13.2.3	Abschertragfähigkeit	98
4.13.2.4	Blockschertragfähigkeit nach EC 5	99

5	Kombinierte Beanspruchungen	101
6	Querzugverstärkung	103
6.1	Allgemeines	104
6.2	Ausklinkungen	105
6.2.1	Allgemeines	105
6.2.2	Unverstärkte Ausklinkungen	105
6.2.3	Verstärkung	106
6.2.4	Rechenbeispiel	107
6.2.4.1	Allgemeine Informationen	107
6.2.4.2	Nachweis der Schubspannung im Restquerschnitt	107
6.2.4.3	Nachweis der unverstärkten Ausklinkung	108
6.2.4.4	Nachweis der verstärkten Ausklinkung	108
6.3	Durchbrüche	110
6.3.1	Nachweise für unverstärkte Durchbrüche	111
6.3.2	Nachweis für verstärkte Durchbrüche	112
6.3.3	Rechenbeispiel	113
6.3.4	Ausführungsvarianten	116
6.4	Queranschluss	117
6.4.1	Nachweis für unverstärkte Queranschlüsse	117
6.4.2	Queranschlüsse mit mehreren Verbindungsmittelspalten	118
6.4.3	Verstärkung von Queranschlüssen mit Vollgewindeschrauben	120
6.4.4	Rechenbeispiel	121
7	Querdruck und Querdruckverstärkung	125
7.1	Querdrucknachweis nach EC 5 (unverstärkt)	126
7.2	Auflagerverstärkung	127
7.2.1	Bemessung	127
7.2.2	Rechenbeispiel	130
7.3	Lastdurchleitung	133
7.3.1	Bemessung	133
7.3.2	Rechenbeispiele	136
7.3.2.1	Lastdurchleitung mit sich übergreifenden Schrauben	136
7.3.2.2	Lastdurchleitung mit durchgehenden Schrauben	139
8	Spaltverstärkung von Verbindungen mit stiftförmigen Verbindungsmitteln	142
8.1	Allgemeines	143
8.2	Rechenbeispiel	144
9	Bauteilverstärkungen	146
9.1	Beispiel Trägersaufdopplung	147
9.1.1	Allgemeines	147
9.1.2	Angaben zum Bestand und der Verstärkung	147
9.1.3	Nachweis des Bestandes	147
9.1.4	Nachweis der Verstärkung	148
9.2	Beispiel seitliche Verstärkung	151
9.2.1	Allgemeines	151
9.2.2	Rechenbeispiel	152
9.2.3	Nachweis des Bestandes	153
9.2.4	Nachweis des verstärkten Systems	154
9.2.5	Nachweis der Vollgewindeschrauben	156

10 Befestigung von Aufdach-Dämmsystemen	158
10.1 Allgemeines	159
10.2 Parallel geneigte Schrauben – Befestigung von Aufdach-Dämmsystemen aus druckfesten Dämmstoffen	160
10.2.1 Statisches Modell	160
10.2.2 Bemessung der Konterlatten	161
10.2.3 Bemessung der Wärmedämmung	162
10.2.4 Bemessung der Schrauben	162
10.3 Schrauben mit wechselnder Neigung – Befestigung von Aufdach-Dämmsystemen aus druckweichen Dämmstoffen	163
10.3.1 Mechanisches Modell	163
10.3.2 Bemessung der Schrauben	164
11 Schubverstärkung	165
11.1 Allgemeines	166
11.2 Bauteilbemessung	166
Anhang	169
Anhang A – Materialbezeichnungen und -kennwerte	169
Anhang B – n_{ef} nach Lantos	171
Literaturverzeichnis	172
Formelzeichen im Handbuch	174

1 SCHRAUBEN UND MATERIAL



1.1 Zulassung und Überwachung

ASSY® Holzbauschrauben sind gemäß der Bauproduktenverordnung durch die Europäische Technische Bewertung ETA-11/0190, den entsprechenden Leistungserklärungen sowie der CE-Kennzeichnung für die Vermarktung im Europäischen Wirtschaftsraum zugelassen. Die durch externe Versuchsreihen festgeschriebenen Leistungsmerkmale der ETA-11/0190, wie z. B. die Zugtragfähigkeit oder der Ausziehparameter, werden fortlaufend durch verpflichtende werkseigene Produktionskontrollen sowie zusätzlich auf freiwilliger Basis durch externe Fremdüberwachungsstellen kontrolliert und sichergestellt. Dies stellt die Verwendung eines effizienten und sicheren Produkts mit höchster Qualität sicher.

1.2 Schraubentypen und deren Anwendungen

Die Wahl der richtigen Schraube stellt für den Anwender oft eine Herausforderung dar, da in Abhängigkeit der Anwendungen spezielle Schraubentypen entwickelt wurden, die den Anforderungen der jeweiligen Anwendung bestmöglich gerecht werden. Um die Wahl des richtigen Schraubentyps bei der Vielzahl an verfügbaren Schraubentypen zu erleichtern, können Schrauben zunächst in zwei Gruppen eingeteilt werden: Teilgewindeschrauben und Vollgewindeschrauben.

1.2.1 Teilgewindeschrauben

Teilgewindeschrauben haben ausgehend von der Schraubenspitze lediglich über einen Teil der gesamten Schraubenlänge ein Holzgewinde, siehe Bild 1. Die übrige Schraubenlänge besteht aus dem gewindelosen Schraubenschaft und dem Schraubenkopf.

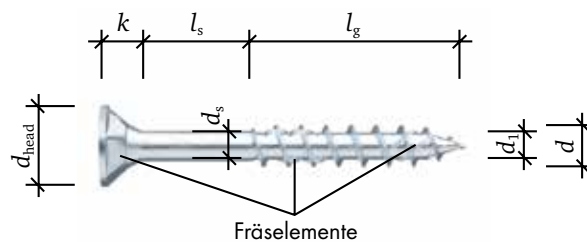


Bild 1: Teilgewindeschraube mit Bezeichnungen ihrer Bestandteile.

Teilgewindeschrauben werden in der Regel dann verwendet, wenn zwei Holzbauteile ohne Spalt zusammengezogen und dadurch miteinander verbunden werden sollen. Dabei wird zunächst durch das zu befestigende Bauteil A in das Bauteil B geschraubt, sodass der Gewindeteil nach Abschluss des Schraubvorgangs vollständig in Bauteil B verankert ist. Der Schraubenkopf beginnt während des Verschraubens die Bauteile A und B zusammenzuziehen, sobald dieser auf die Oberfläche von Bauteil A trifft, siehe Bild 2.

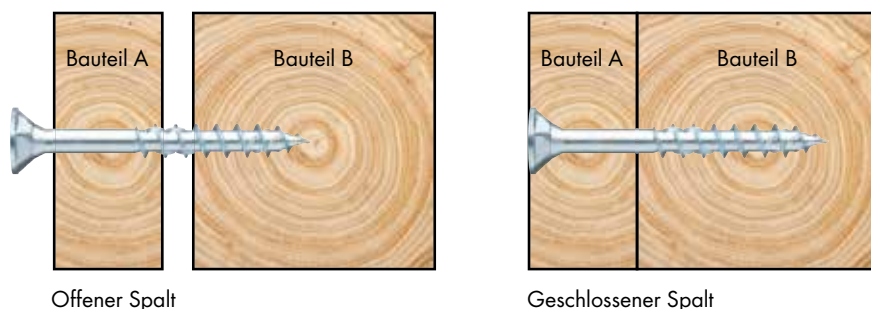


Bild 2: Teilgewindeschraube mit Bauteilen während der Montage (links) und nach der Montage (rechts).

Fräselemente an der Schraubenspitze, am Übergang zum Schraubenschaft und bei Senkköpfen an der Unterseite des Schraubenkopfes gewährleisten eine Reduzierung des Einschraubdrehmoments sowie ein sauberes Versenken des Schraubenkopfes. Eine Besonderheit der ASSY® Schrauben ist dabei der integrierte Schaftfräser; siehe Fräselemente im Gewinde am Übergang zum Schaft in Bild 1. Durch die über den Schaftfräser hinausragenden Gewindeflanken des Schraubengewindes wird die Verletzungsgefahr durch den scharfen Schaftfräser, welcher bei konventionellen Schrauben zwischen dem Gewinde und dem Schaft liegt, minimiert. Das Grobganggewinde der Teilgewindeschrauben mit hoher Gewindesteigung verkürzt im Vergleich zu Schrauben mit Eingangsgewinde die Eindrehzeit und ermöglicht dabei ein zeiteffizientes Verschrauben.

Eine Sonderform der Teilgewindeschraube stellt die Doppelgewindeschraube dar, siehe Bild 3. Die Doppelgewindeschrauben ASSY® Isotop, ASSY® P und ASSY® PII sind in der Grundform ebenfalls Teilgewindeschrauben, die jedoch unterhalb des Schraubenkopfes zusätzlich ein zweites Gewinde aufweisen.

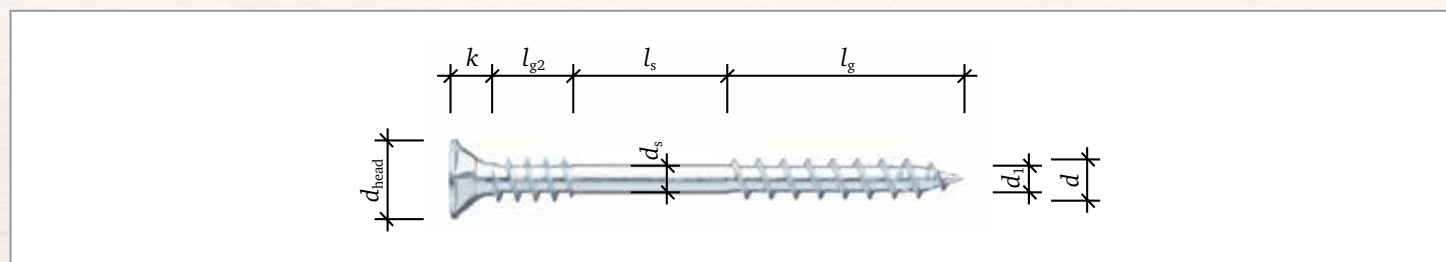


Bild 3: Doppelgewindeschraube mit Bestandteilen.

Durch unterschiedliche Gewindesteigungen (ASSY® PII) bzw. Außendurchmesser (ASSY® P) der beiden Gewinde wird ein Zusammenzug zweier Bauteile von ca. 1 mm ermöglicht, während der Zusammenzug zweier Bauteile bei klassischen Teilgewindeschrauben nicht limitiert ist. Der entscheidende Vorteil der Doppelgewindeschraube liegt in einem wesentlich höheren Kopfdurchziehewiderstand als ihn vergleichbare Teilgewindeschrauben mit Senkkopf aufweisen. Wird also das Durchziehen des Schraubenkopfes durch Bauteil A der maßgebende Versagensfall, so kann mit Doppelgewindeschrauben ein deutlich höherer Tragwiderstand erreicht werden als mit vergleichbaren Senkkopfschrauben.

1.2.2 Vollgewindeschrauben

Bei Vollgewindeschrauben (Bild 4) reicht das Gewinde über die gesamte Schaftlänge. Dadurch wird die Verankerungslänge der Schraube im Holz und damit der Tragwiderstand gegen Herausziehen in Richtung der Schraubenachse maximiert.

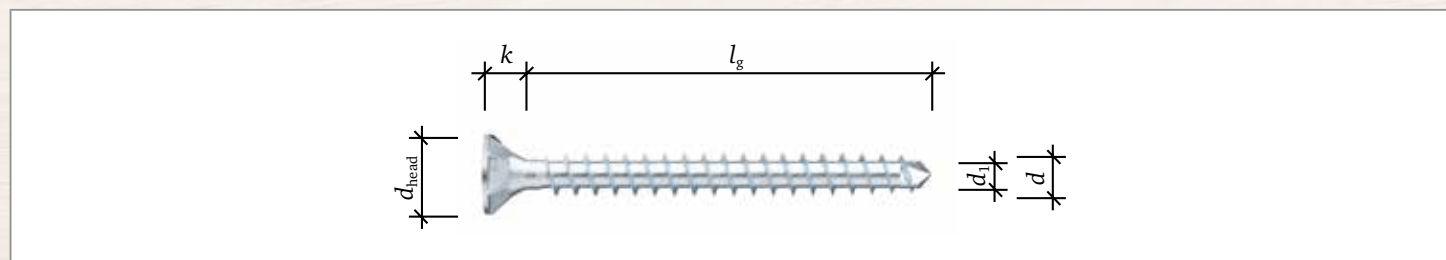














Bild 4: Vollgewindeschraube mit Bestandteilen.

Je mehr Gewindegänge im Holz verankert sind, desto höher ist die benötigte Kraft, um die Schraube aus dem Holz herauszuziehen oder in das Holz einzudrücken. Geht es also darum, hohe Kräfte in Bauteil-Anschlüssen oder -Verstärkungen zu übertragen, die primär in Richtung der Schraubenachse wirken, so sind Vollgewindeschrauben aufgrund ihrer großen Gewindelänge den Teilgewindeschrauben vorzuziehen. Durch die große und fein gestufte Auswahl an Schraubenlängen sind auch große Verankerungstiefen kein Problem. Das spezielle Eingangsgewinde der Vollgewindeschrauben senkt das Einschraubdrehmoment auch bei sehr langen Einschraubtiefen und ermöglicht dadurch ein besser kontrollierbares Verarbeiten, wie beispielsweise das präzise Anziehen der Schrauben bei der Montage von metallischen Anbauteilen auf Holz.

1.3 Kopfformen

Das Schraubenmerkmal mit der wohl größten Vielfalt an Varianten ist der Schraubenkopf. Je nach Einsatzzweck kommen unterschiedlichste Schraubenkopf-Geometrien zum Einsatz. Die Kopfformen lassen sich unterscheiden in solche, die für den Anschluss von Metallteilen auf Holz geeignet sind und solche, die für ein bestmögliches Versenken des Schraubenkopfes im Holzuntergrund oder einen hohen Kopfdurchziehparameter optimiert sind. Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die im Holzbau gängigsten Schraubenkopfformen und deren Kopfdurchmesser d_{head} für die bei ASSY® verfügbaren Nenndurchmesser. Der Nenndurchmesser ist der Gewindeaußendurchmesser d .

Tabelle 1: Schraubenkopfformen mit Nenndurchmesser d und zugehörigen Schraubenkopfdurchmessern d_{head} .

	CSMP	CS	CSMR A2	CSMR-WW	CH	ETX	Pan-JH	Pan	COMBI	WH	WH II	WH A2
												
d in mm	d_{head} in mm	d_{head} in mm	d_{head} in mm	d_{head} in mm	d_{head} in mm	d_{head} in mm	d_{head} in mm	d_{head} in mm	d_{head} in mm	d_{head} in mm	d_{head} in mm	d_{head} in mm
5,0	9,5	9,6 ^a	-	9,5	-	-	8,0	10,0 ^b	-	12,0	-	-
5,5	-	-	10,0	-	6,8 ^c	-	-	-	-	-	-	-
6,0	12,0	12,0 ^d	-	10,4	8,2	-	-	12,0 ^b	9,0	14,0	-	14,0
6,5	-	-	12,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8,0	15,0 ^b	-	-	-	10,0 ^e	-	-	14,5 ^c	12,0	22,1	18,4	18,9
10,0	18,5	20,0	-	-	13,4 ^e	-	-	-	15,0 ^f	25,2	-	-
12,0	22,5	-	-	-	-	-	-	-	17,0 ^f	29,4	-	-
14,0	-	-	-	-	-	18,0	-	-	-	-	-	-

^a Durchmesser auch in A2, 1.4529 oder 1.4539 lieferbar

^b Durchmesser auch in A2 lieferbar

^c Durchmesser nur in A2 lieferbar

^d Durchmesser nur in A2, 1.4529 oder 1.4539 lieferbar

^e Im Fall der ASSY® Isotop, mit einem Gewinde an der Spitze von 8 mm und unter dem Kopf von 10 mm, beträgt der Kopfdurchmesser $d_{\text{head}} = 11$ mm.

^f Im Fall der ASSY® 4 COMBI T haben Schrauben mit Nenndurchmesser 10 mm und 12 mm eine 17er Schlüsselweite und damit darf ein Kopfdurchmesser $d_{\text{head}} = 17$ mm angegeben werden.

Regelwerk: ETA-11/0190

Mit

CSMP	Senkkopf mit Frästaschen
CS	Senkkopf
CSMR A2	Senkkopf mit Fräsrippen an A2-Schrauben
CSMR-WW	Fräsrippen-Senkkopf mit hohem Bund und großem RW-Antrieb
CH	Zylinderkopf
ETX	Außensechsrundkopf
Pan-JH	Balkenschuh-schraubenkopf
Pan	Pan Head
COMBI	Kombikopf mit Schaftverstärkung
WH	Scheibenkopf
WH II	Scheibenkopf II
WH A2	Scheibenkopf an A2-Schrauben (d_{head} bei $d = 8$ mm reduziert)

Schrauben mit **CSMP**-Köpfen bilden mit ihren Frästaschen beim Einschrauben in Holz eine saubere Senkung, finden aber auch in Kegelsenkbohrungen in Anbauteilen aus Stahl einen passgenauen Sitz. Der **CS**-Kopf eignet sich in erster Linie zur Herstellung von Stahl-Holz-Verbindungen, bei denen die Schraubenköpfe bündig mit dem Stahlbauteil abschließen sollen und entsprechend versenkt werden. Zum Versenken in Holz ist die CS-Kopfform aber auch geeignet. Die Kopfformen **CSMR** und **CSMR-WW** sind mit ihren Fräsrippen auf ein sauberes Versenken in Holz optimiert und eignen sich weniger für Stahl-Holz-Verbindungen. Die WW-Variante bietet dabei einen besonders tiefen und sicheren Sitz des Bits im Antrieb des Schraubenkopfes, was ein Abrutschen und Durchdrehen des Bits im Schraubenantrieb verhindert. Durch die sehr reduzierte Geometrie des **CH**-Kopfes entstehen nicht nur sehr unauffällige Holz-Holz-Verbindungen, sondern es treten nur minimale zusätzliche Spaltkräfte beim Versenken des Schraubenkopfes im Holz auf. Der Außenantrieb des **ETX**-Kopfes ermöglicht maximale Kraftübertragung beim Einschraubvorgang und kommt daher bei den Vollgewindeschrauben mit dem größten Durchmesser von 14 mm zum Einsatz.

Für die Realisierung von Stahl-Holz-Verbindungen eignen sich primär Schraubenköpfe, die durch ihre Unterkopfgeometrie einen möglichst passgenauen Sitz im Anbauteil aus Stahl gewährleisten. Ein korrektes Anziehen mit dem Schraubgerät, unter Beachtung der Drehmomentgrenzen, muss dabei sichergestellt werden. Der **Pan-JH**-Kopf ist mit seiner Unterkopfverstärkung eine Weiterentwicklung des **Pan**-Kopfes und bildet eine sichere Verbindung zwischen Stahl und Holz (z. B. in Schubwinkeln oder Zugankern). Der **COMBI**-Kopf eignet sich für hochbeanspruchte Stahl-Holz-Verbindungen, bei denen analog zum Pan-JH-Kopf der Durchmesser der Unterkopfverstärkung passgenau in der Bohrung des Stahlbauteils sitzt und die Unterseite des Sechskantkopfes das Stahlbauteil an das Holzbauteil drückt. Neben dem RW-Innenantrieb ermöglicht der Sechskantkopf eine sichere Übertragung des Einschraubdrehmoments.

Schließlich ermöglichen die Scheibenkopfvarianten **WH** und **WH II** einen sicheren Zusammenzug von Holzbauteilen sowie einen erhöhten Tragwiderstand bei Beanspruchung auf Kopfdurchziehen. Dabei lässt sich der WH II-Kopf optisch ansprechend bündig mit der Holzoberfläche verschrauben.

Viele der aufgezeigten Schraubenköpfe lassen sich darüber hinaus mit diversen Unterlegscheiben kombinieren. Neben den klassischen Unterlegscheiben, wie z. B. Senk- oder DIN-Scheiben, die den Zusammenzug von Bauteilen oder den Kopfdurchziehewiderstand erhöhen, sind diverse Winkelscheiben erhältlich, um beispielsweise präzise 45°-Stahlblech-Holz-Verbindungen herzustellen. Entsprechende Unterlegscheiben sind u.a. im Anhang der ASSY® ETA-11/0190 geregelt.

1.4 Schraubenspitze





Bei ASSY® Schrauben wird hinsichtlich der Schraubenspitze zwischen den klassischen Nadelspitzen und den auf maximale Schneidleistung optimierten Bohrspitzen unterschieden, siehe Bild 5.



Bild 5: Gängige Spitzengeometrien.

Bei der ASSY® Nadelspitze (Tabelle 2 Spalten 2 und 3) reicht das Schraubengewinde bis zur kegelförmigen Schraubenspitze und zeichnet sich durch ein präzises Ansetzen und ein unmittelbares Hereinziehen der Schraube in das Holz aus. Die Fräselemente im Gewinde an der Nadelspitze, siehe Bild 5, führen während des Einschraubprozesses zu einer Reduzierung des Einschraubdrehmoments, in dem sie den Schraubkanal bestmöglich für den danach folgenden Gewindeteil aufweiten. Die mit dem Namenszusatz „plus“ gekennzeichneten ASSY®plus Bohrspitzen (Tabelle 2 Spalten 4 und 5) mit ihren speziellen Schneiden sind auf den durch die Gewindesteigung vorgegebenen Schraubenvorschub während des Einschraubvorgangs abgestimmt und haben im Wesentlichen drei Aufgaben. Zum einen reduziert sich durch die verbesserte Bohrleistung im Vergleich zur klassischen Nadelspitze das Einschraubdrehmoment, was sowohl die Belastung auf die Schraube wie auch auf den Verarbeiter während des Einschraubens minimiert. Weiterhin führt die ASSY®plus Bohrspitze zu einer signifikanten Absenkung der Spaltkräfte während des Einschraubvorgangs. Insbesondere bei geringen Randabständen zwischen den Schrauben im Holzquerschnitt wird die Rissbildung und das Aufspalten des Holzes wirksam reduziert und es können im Vergleich zur klassischen Nadelspitze verringerte Rand- und Mindestabstände nach ETA-11/0190 verwendet werden. Schließlich eignen sich insbesondere die ASSY®plus Zentrier- bzw. Forstnerbohrspitzen (Tabelle 2 Spalte 4) für ein Einschrauben in beschichteten und spröden Holzwerkstoffen, indem ein Abplatzen der Oberflächen verhindert wird. Tabelle 2 zeigt die tragwerksplanerisch wichtigsten Spitzen-Gewindekombinationen. Darüber hinaus sind gemäß ETA-11/0190 weitere Kombinationen möglich.

Tabelle 2: Spitzengeometrien und Gewindekerndurchmesser d_1 in mm.

	ASSY®	ASSY® A2	ASSY®plus	ASSY®plus
				
d in mm	d_1 in mm	d_1 in mm	d_1 in mm	$d_1^{a)}$ in mm
5,0	3,2	3,2	3,2	3,2
6,0	3,9	3,9	3,9	3,8
8,0	5,3	5,0	5,3	5,0
10,0	6,3	-	-	6,2
12,0	7,2	-	-	7,1
14,0	-	-	-	8,5
° ASSY®plus VG 4 Schrauben haben immer eine Bohrspitze ohne Zentrierung				
Regelwerk: ETA-11/0190				

1.5 Korrosion

Die Anforderungen an den Korrosionsschutz von Schrauben sind in EN 1995-1-1 und in Deutschland zusätzlich in DIN SPEC 1052-100 geregelt. Die Anforderungen an den Korrosionsschutz setzen sich zum einen aus den Nutzungsklassen 1-3 nach EN 1995-1-1 und zum anderen aus den Korrosivitätskategorien C1-C5 der DIN EN ISO 12944-2 (siehe Tabelle 3) zusammen. Während die Nutzungsklassen die klimatischen Umgebungsbedingungen beschreiben, dienen die Korrosivitätskategorien der Beschreibung der Korrosivität der Umgebung.

Tabelle 3: Korrosivitätskategorien der Umgebung.

Korrosivitätskategorie	Beispiele typischer Umgebungen (nur informativ)	
	Freiluft	Innenraum
C1 – unbedeutend	–	Beheizte Gebäude mit neutraler Atmosphäre, z. B. Büros, Verkaufsräume, Schulen, Hotels
C2 – gering	Atmosphäre mit geringem Verunreinigungsgrad: meistens ländliche Gebiete	Unbeheizte Gebäude, in denen Kondensation auftreten kann, z. B. Lagerhallen, Sporthallen
C3 – mäßig	Stadt- und Industriemilieu mit mäßiger Schwefeldioxidbelastung: Küstenatmosphäre mit geringer Salzbelastung	Produktionsräume mit hoher Luftfeuchte und gewisser Luftverunreinigung, z. B. Lebensmittelverarbeitungsanlagen, Wäschereien, Brauereien, Molkereien
C4 – stark	Industriemilieu und Küstenatmosphäre mit mäßiger Salzbelastung	Chemieanlagen, Schwimmbäder, küstennahe Werften und Bootshäfen
C5 – sehr stark	Industriebereiche mit hoher Luftfeuchte und aggressiver Atmosphäre und Küstenatmosphäre mit hoher Salzbelastung	Gebäude oder Bereiche mit nahezu ständiger Kondensation und mit starker Verunreinigung
CX – extrem	Offshore-Bereiche mit hoher Salzbelastung und Industriebereiche mit extremer Luftfeuchte und aggressiver Atmosphäre sowie subtropische und tropische Atmosphäre	Industriebereiche mit extremer Luftfeuchte und aggressiver Atmosphäre

Regelwerk: DIN EN ISO 12944-2

Aus dem Zusammenspiel zwischen Nutzungsklasse und Korrosivitätskategorie entstehen in Deutschland die in Tabelle 4 beschriebenen Anforderungen an den Korrosionsschutz.

Tabelle 4: Anforderungen an den Korrosionsschutz.

Korrosionskategorie	C1 – unbedeutend oder C2 – gering			C3 – mäßig		C4 – stark	C5 – sehr stark
	Nutzungsklasse	NKL 1	NKL 2	NKL 3	NKL 1	NKL 2	NKL 3
	Schrauben mit $d > 4$ mm	keine	keine	Fe/Zn 25c ^{a)}	keine ^{b), c)}	keine ^{b), c)}	Mittlere Zinkschichtdicke 55 µm geeigneter nichtrostender Stahl ^{d), e)}

^{a)} Wenn Stahlbleche feuerverzinkt werden, ist Fe/n 12C durch Z275 und Fe/Zn 25C durch Z350 nach EN 10346 zu ersetzen.

Wenn das Schmelztauchverfahren bei stoffförmigen Verbindungsmitteln verwendet wird, ist Fe/Zn 12C durch eine Zinkschicht von mindestens 39 µm und Fe/Zn 25C durch eine Zinkschicht von mindestens 49 µm nach EN ISO 1461 zu ersetzen.

^{b)} Bei Stahlblech-Holzverbindungen mit außen liegenden Blechen müssen Schrauben eine mittlere Zinkschichtdicke von mindestens 7 µm aufweisen.

^{c)} Bei einseitigen Dübeln aus Stahlblech muss eine mittlere Zinkschichtdicke von mindestens 55 µm aufgebracht werden.

^{d)} Z. B. nichtrostende Stähle für die entsprechenden Korrosionswiderstandsklassen nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung Z-30.3-6

^{e)} Bei Verbindungsmitteln, die in ihrem für die Tragfähigkeit relevanten Bereich von Holz oder Holzwerkstoffen vollständig umschlossen sind (z. B. Stabdübel, Vollgewindeschrauben), ist eine mittlere Zinkschichtdicke von mindestens 55 µm ausreichend.

Regelwerk: DIN SPEC 1052-100

Für Schrauben mit einem Durchmesser von $d > 4$ mm bestehen in Nutzungsklasse 1 und 2 keine Anforderungen an den Korrosionsschutz für unbedeutende (C1) oder geringe (C2) Korrosionsbeanspruchung. Schrauben mit einem Durchmesser von $d > 4$ mm müssen für die Verwendung in Nutzungsklasse 3 höhere Zinkschichtdicken aufweisen oder aus nichtrostendem Stahl bestehen, wenn diese in den Korrosionskategorien C1 und C2 eingesetzt werden. Für die Korrosionskategorien C3–C5 bestehen die in der Tabelle aufgeführten besonderen Regelungen hinsichtlich des Korrosionsschutzes.

Als Korrosionsschutz, auch wenn dies z.T. von DIN SPEC 1052-100 nicht gefordert ist, werden ASSY® Schrauben aus Kohlenstoffstahl standardmäßig elektro-galvanisch verzinkt. Bei der elektro-galvanischen Verzinkung entsteht eine Opferschicht aus Zink auf der Schraubenoberfläche mit einer Schichtstärke von mindestens 8 µm für Schrauben mit Durchmesser $d > 4$ mm, die den darunterliegenden Kohlenstoffstahl schützt. Erst nach Abbau der schützenden Zinkschicht in Form von Weißrost kommt es zur Korrosion des Kohlenstoffstahls durch Rotrost. Neben der elektro-galvanischen Verzinkung sind ASSY® Schrauben ohne das gesundheitsschädliche Chrom (VI) zusätzlich blau passiviert, was den Korrosionsschutz weiter verbessert. Bei der Verwendung von gerbsäurehaltigen Holzarten, wie z. B. Eiche, Kastanie, Douglasie oder tropischen Hölzern wie Azobé/Bongossi ist in Bezug auf Korrosion ein besonderes Augenmerk zu legen. Das gleiche gilt für modifizierte Hölzer, z. B. durch Holzschutz- oder Brandschutzanstriche, Imprägnierungen oder Thermoholz. Hölzer mit niedrigem pH-Wert können, meist in Kombination mit erhöhten Holzfeuchten ab 15 %, zu erhöhter Korrosion führen. Ist der Korrosionsschutz elektro-galvanisch verzinkter Schrauben für die Anwendung, etwa in den angesprochenen gerbsäurehaltigen Hölzern mit erhöhter Holzfeuchte oder allgemein in Nutzungsklasse 3 nicht ausreichend, kommen ASSY® Schrauben aus nichtrostendem Stahl zum Einsatz. Je nach erforderlicher

Korrosionswiderstandsklasse (CRC) sind Teilsortimente von ASSY® Schrauben aus den nichtrostenden Stählen A2 für CRCII, A4 für CRCIII oder HCR (1.4539 für CRC IV und 1.4529 für CRC V) verfügbar.

Bei der Befestigung von metallischen Anbauteilen auf Holz mittels Schrauben ist darauf zu achten, dass es nicht zu Kontaktkorrosion kommt. Kontaktkorrosion entsteht bei direktem Kontakt zweier unterschiedlich edler Metalle, z. B. eines mit Kohlenstoffschrauben befestigten Aluminiumblechs, sowie dem Vorhandensein eines korrosiven Mediums an der Kontaktstelle, etwa von Kondenswasser aus erhöhter Luftfeuchtigkeit. Kontaktkorrosion kann vermieden werden, indem eine nicht leitende Schicht zwischen unterschiedlich edle Metalle eingebracht wird.

1.6 Auslegung einer geschraubten Verbindung

Um in der Praxis sichere und effiziente, geschraubte Verbindungen umzusetzen, ist eine korrekte Auslegung und Ausführung essenziell. Dabei gilt der Spruch „eine Schraube ist keine Schraube“, denn aus Sicherheits- und Redundanzgründen müssen tragende Verbindungen immer aus zwei oder mehr Schrauben bestehen. Ausnahmen von dieser Regel sind die Befestigung von Schalungen, Trag- und Konterlatten, Zwischenanschlüssen von Windrispen, Sparren und Pfetten auf Bindern und Rähmen sowie Querriegeln auf Rahmenhölzern, sofern Binder, Rähme und Rahmenhölzer wiederum mit mindestens zwei Schrauben verschraubt sind. Eine weitere Ausnahme bilden Verbindungen, bei denen das Schraubengewinde über eine Länge von mindestens $20 \cdot d$ in das Holz einbindet und die Schraube planmäßig ausschließlich axial beansprucht wird. Hierbei muss für Verbindungen jedoch der Tragwiderstand der Schraube um 50 % herabgesetzt werden. Beim Einsatz der Schraube zur Verstärkung von Holzbauteilen rechtwinklig zur Faserrichtung entfällt die Notwendigkeit der Abminderung des Tragwiderstands.

ASSY® Holzbauschrauben sind für statische und quasi-statische Einwirkungen geprüft und zugelassen. Die Verwendung von ASSY® Holzbauschrauben unter ermüdungswirksamen Einwirkungen ist nicht zulässig.

1.7 Für die Bemessung erforderliche Kennwerte mechanischer Eigenschaften der Schrauben

Tabelle 5: Charakteristischer Wert der Streckgrenze $f_{y,k}$ in N/mm².

	$f_{y,k}$	
ASSY®plus VG und ASSY® VG aus Kohlenstoffstahl	900	N/mm ²
Regelwerk: ETA-11/0190		

Tabelle 6: Charakteristisches Fließmoment $M_{y,k}$ in kNm.

Schraubentyp und -material	Gewindeaußendurchmesser d in mm					
	5	6	8	10	12	14
ASSY® aus Kohlenstoffstahl	5,9	10	23	36	58	-
ASSY® aus nichtrostendem Stahl	2,8	5,5	11	20	-	-
ASSY®plus VG aus Kohlenstoffstahl	-	9	23	40	62	86
Regelwerk: ETA-11/0190						

Tabelle 7: Charakteristischer Zugwiderstand $f_{tens,k}$ in kN.

Schraubentyp und -material	Gewindeaußendurchmesser d in mm					
	5	6	8	10	12	14
ASSY® aus Kohlenstoffstahl	7,9	12,5	21,5	26	41	-
ASSY®plus VG aus Kohlenstoffstahl	-	11,5	22	33	47	62
ASSY® aus nichtrostendem Stahl	5,2	8,2	14	19	-	-
Regelwerk: ETA-11/0190						

Tabelle 8: Charakteristischer Ausziehparameter $f_{ax,k}$ in N/mm².

Holzwerkstoff	ρ_k in kg/m ³	$\rho_{ref,k}$ in kg/m ³	Gewindeaußendurchmesser d in mm					
			5	6	8	10	12	14
ST/FST, GL, CLT, SWP, LVL aus Nadelholz	≤ 590	350	13		12	11,5	11	10
LVL aus Buche nach ETA-14/0354	≤ 730	730	35					-
OSB/3, OSB/4	≥ 550	= ρ_k	7,0		-	-	-	-
Spanplatten	≥ 640	= ρ_k	7,0		-	-	-	-
Regelwerk: ETA-11/0190								

Tabelle 9: Charakteristischer Kopfdurchziehparameter $f_{\text{head,k}}$ in N/mm².

$f_{\text{head,k}}$ in N/mm ²	d_{head} in mm	Anwendungsfall, Kopfform	$\rho_{\text{ref,k}}$ in kg/m ³
Für Bauteildicken $t < 12$ mm			
8	≤ 32	Für alle genannten Holzwerkstoffe gilt: $F_{\text{pull,k}} \leq 400$ N	350
Für Bauteildicken $12 \text{ mm} \leq t \leq 20$ mm			
8	≤ 32	Für alle genannten Holzwerkstoffe	350
Für Bauteildicken $t > 20$ mm			
$\min\{19,4 - 0,28 \cdot d_{\text{head}}; 14\}$	-	90° Senkkopf, für alle genannten Holzwerkstoffe	350
$\min\{28,4 - 0,64 \cdot d_{\text{head}}; 15\}$	≤ 30	180° Scheiben- oder Tellerkopf, für alle genannten Holzwerkstoffe	350
13	≤ 19	andere Kopfformen, für alle genannten Holzwerkstoffe	350
10	> 19	andere Kopfformen, für alle genannten Holzwerkstoffe	350
15	-	Jamo und Jamo plus	350
23	-	Unterkopfgewinde	350
18	-	P II Schrauben $d = 8$ mm mit Unterkopfgewinde	350
$40 - 0,5 \cdot d_{\text{head}}$	≤ 25	in LVL aus Buche mit $590 \text{ kg/m}^3 \leq \rho_k \leq 750 \text{ kg/m}^3$ und $t \geq 40$ mm	350
16	25	$d = 8$ mm mit Winkelscheiben in LVL mit $\rho_k \leq 590 \text{ kg/m}^3$	500
32	25	$d = 8$ mm mit Winkelscheiben in LVL aus Buche mit $\rho_k \geq 680 \text{ kg/m}^3$ und $t \geq 40$ mm	730
Regelwerk: ETA-11/0190			

Tabelle 10: Charakteristischer Wert des Bruchdrehmoments $f_{\text{tor,k}}$ in Nm.

Schraubentyp und -material	Gewindeaußendurchmesser d in mm					
	5	6	8	10	12	14
ASSY® aus Kohlenstoffstahl	6,0	10,0	23,0	45,0	65,0	-
ASSY®plus VG aus Kohlenstoffstahl	-	10,5	25,0	47,0	76,0	115
ASSY®-Isotop aus Kohlenstoffstahl	-	-	20,0 ^{a)} 12,0 ^{b)}	-	-	-
ASSY® aus nichtrostendem Stahl	4,0 ^{b)}	7,3 ^{b)}	17,0 ^{b)} 17,5 ^{d)}	30,0 ^{b)}	-	-
^{a)} Charakteristischer Wert des Bruchdrehmoments an Schraubenkopf ^{b)} Charakteristischer Wert des Bruchdrehmoments an Gewindeteil mit Schraubenspitze ^{c)} Charakteristischer Wert des Bruchdrehmoments an Schraubenkopf ASSY® P Schrauben ^{d)} Charakteristischer Wert des Bruchdrehmoments für Solardachschrauben						

1.8 Baustoffe, die befestigt werden dürfen

Baustoffe, die befestigt werden und in tragenden Verbindungen oder Verstärkungen bemessen werden dürfen, sind in Tabelle 58 und Abschnitt 3.2 aufgeführt.

Im EC 5 Entwurf werden zwei Produktgruppen eingeführt, Vollholzprodukte (Solid wood-based, kurz SWB) und furnierbasierte Holzprodukte (Veneer-based, kurz VB). In der ersten Gruppe sind Bauholz (Structural Lumber, kurz SL), Balkenschichtholz (Glued Solid Timber, kurz GST), Brettschichtholz (Glued Laminated timber, kurz GL) und Brettsperrholz (Cross Laminated Timber, kurz CLT) zusammengefasst. Die zweite Gruppe fasst Furnierschichtholz (Laminated Veneer Lumber, kurz LVL), Brettschichtholz aus Furnierschichtholz (Glued Laminated Veneer Lumber, kurz GLVL) und Sperrholz (PlyWood, kurz PW) zusammen. Im vorliegenden Handbuch werden diese Bezeichnungen und Abkürzungen benutzt. Weitere übliche Bezeichnungen nach der Nomenklatur des EC 5 Entwurfs siehe Tabelle 57.

Stahlteile und Plattenwerkstoffe dürfen nur kopfseitig positioniert werden, d.h. Platten dürfen auf Holzbauteile aufgeschraubt, es darf aber nicht durch Holzbauteile in Platten auf der Seite der Schraubenspitze verankert werden. Ist für einen Plattenwerkstoff in Tabelle 8 oder in der zugehörigen Zulassung ein Wert für den Ausziehparameter $f_{\text{ax,k}}$ angegeben (z. B. für Massivholzplatten, Spanplatten oder OSB-Platten) ist eine Verbindung, bei der Schrauben durch ein Holzbauteil in eine solche Platte spitzenseitig verankern, zulässig.

Ist eine Verbindung mit einer Platte zwischen zwei Holzbauteilen angeordnet und mit Schrauben, die in alle drei Bauteile einbinden verschraubt, ist eine solche Verbindung mit Zwischenschicht als tragend zugelassen (siehe Abschnitt 4.9).

2 AUSFÜHRUNG



2.1 Vorbohren/Pilotbohrung

Das Vorbohren der Holzbauteile führt beim Einsatz von Schrauben zu einer Reduzierung

- des Einschraubdrehmoments,
- der Spaltwirkung
- und des Verlaufs der Schrauben im Holzvolumen,

insbesondere bei Verwendung schlanker Schrauben. Hieraus folgt, dass das Vorbohren bzw. die Verwendung von ASSY®plus Schrauben mit Bohrspitze in Nadelholz zu einer Verringerung der erforderlichen Mindestabstände führt. Generell können ASSY® Schrauben mit einem Außendurchmesser $d < 8$ mm, vor allem ASSY®plus Schrauben mit Bohrspitze, aber auch ohne Vorbohrung in Nadelholz eingebracht werden. Schrauben mit einem Außendurchmesser $d \geq 8$ mm dürfen ohne Vorbohrung in den Holzarten Fichte, Tanne und Kiefer eingeschraubt werden. In Laubhölzern mit einer höheren Spaltneigung und einem gesteigerten Einschraubdrehmoment, wie Buchen-, Eichen- oder Eschenholz, muss immer vorgebohrt werden. Die entsprechenden Vorbohrdurchmesser sind in Abhängigkeit vom Außendurchmesser in Tabelle 11 gegeben.

Tabelle 11: Vorbohrdurchmesser für Nadel- und Laubhölzer, sowie Brettschichtholz aus Furnierschichtholz (GLVL) aus Buche.

Gewindeaußendurchmesser d in mm	Nenn Durchmesser des Bohrers mit einer Toleranz von $\pm 0,1$ mm		
	Holzbauteile aus Nadelholz	Holzbauteile aus Buchen-, Eichen- oder Eschenholz	Holzbauteile aus GLVL aus Buche ETA-14/0354
5	3,0	3,5	4,0
6	4,0	4,0	4,5
8	5,0	6,0	6,5
10	6,0	7,0	8,0
12	7,0	8,0	9,0
14	8,0	9,0	11,0

Regelwerk: ETA-11/0190

Eine Ausnahme unter den Regelungen für Laubholz bildet dabei Furnierschichtholz (LVL) aus Buche nach EN 14374 oder ETA-14/0354, in welches mit ASSY® und Jamo-Schrauben, beide aus Kohlenstoffstahl, bis zu gewissen Grenzlängen auch ohne Vorbohren eingeschraubt werden darf. Diese Grenzlängen entsprechen den Werten in Tabelle 12.

Tabelle 12: In Buchen-Furnierschichtholz (LVL) ohne Vorbohren zulässige Gewindelänge.

Gewindeaußendurchmesser d in mm	Maximale Einschraubtiefe des Gewindebereichs der Schrauben ohne Vorbohren in mm	
	ASSY®plus und Jamo plus	ASSY® und Jamo-Schrauben ohne Bohrspitze
5	-	50
6	30	60
7	-	70
7,5	-	75
8	48	80
10	80	100
12	96	-

Regelwerk: ETA-11/0190

Sollen Schrauben mit längeren als den in Tabelle 12 angegebenen Gewindebereichen in Furnierschichtholz (LVL) aus Buche nach EN 14374 oder nach ETA-14/0354 eingedreht werden, sind die Vorbohrungen über die gesamte Schraubenlänge mit den in Tabelle 11, Spalte 4 angegebenen Durchmessern auszuführen.

Schrauben aus nichtrostendem Stahl dürfen in Bauteile aus Nadelholz ohne Vorbohren eingedreht werden. Bauteile aus Laubholz müssen für Schrauben aus nichtrostendem Stahl vorgebohrt werden.

Bei der Anordnung von sich kreuzenden Schrauben ist darauf zu achten, dass es bei der Ausführung nicht zu Kollisionen der Schrauben untereinander kommt. Bei Kollisionen können sich die Gewinde abschürfen, wodurch der erforderliche Auszieh Widerstand der Schraube nicht mehr gewährleistet werden kann. Aus diesem Grund wird empfohlen, sich kreuzende Schrauben mit ausreichend Abstand zu planen oder bei der Ausführung mit Pilotbohrungen zu arbeiten.

In Fällen, wenn eine Vorbohrung nicht zwingend erforderlich ist, empfiehlt sich ggf. die Durchführung sogenannter Pilotbohrungen. Bei Pilotbohrungen wird nicht über die gesamte Schraubenlänge vorgebohrt, sondern in der Regel über 10 bis 50 % der Schraubenlänge. Dies führt insbesondere bei ASSY®plus Schrauben mit Bohrspitze zu einem schnelleren Anbeißen der Schrauben im Holz, zu einem niedrigeren Einschraubdrehmoment und zur Sicherstellung der korrekten Position der Schraube im Holzbauteil. Letzteres ist vor allem bei schlanken Schrauben und geringen Mindest- bzw. Randabständen wichtig. Bei ASSY®plus Vollgewindeschrauben mit einem Außendurchmesser von 14 mm und einer Schraubenlänge von $l \geq 800$ mm ist in Nadelholz eine Pilotbohrung

über eine Länge von $\geq 10\%$ der Schraubenlänge mit einem Durchmesser von 8 mm verpflichtend. Um eine korrekte Lage und Winkel der Bohrung sicherzustellen, eignen sich entsprechende Bohrlehren oder Bohrstände und bei sehr langen Schrauben Tiefloch-Bohrsysteme. Bei der Ausführung von Aufdach-Dämmsystemen muss die Schraube in einem Vorgang von der Konterlattung durch den Dämmstoff in den Sparren eingeschraubt werden.

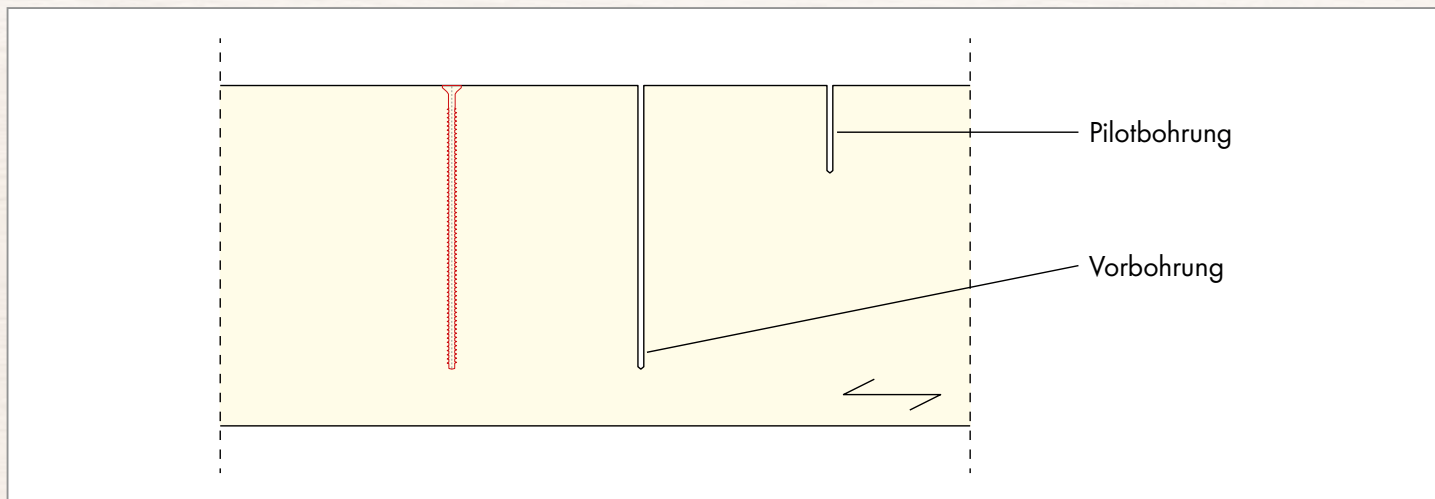


Bild 6: Bauteil vorgebohrt und mit Pilotbohrung.

2.2 Einschrauben

Es ist darauf zu achten, dass zum Zeitpunkt des Einschraubens die Holzfeuchte der Bauteile der späteren Gleichgewichts-Holzfeuchte am Einbauort entspricht.

$$\omega_{\text{mean, Montage}} \triangleq \omega_{\text{mean, Einbauort}} \quad (2.1)$$

Holzfeuchteänderungen des Bauteils können zu hohen Eigenspannungen in den Schrauben sowie dem umgebenden Holz und zu Rissbildung in Holzbau-teilen führen, beides verbunden mit einer Herabsetzung der Tragfähigkeit. Die Größenordnung dieser Effekte ist abhängig von der Länge der Schraube/ des Schraubengewindes, der Neigung der Schraube zur Faser und der Anzahl nebeneinanderliegender Schrauben, wobei alle drei Einflussgrößen sich mit zunehmender Größe negativ auswirken. Bei vormontierten geschraubten Verbindungen ist während des Transports und der Montage der Bauteile daher ein ausreichender Wetterschutz sicherzustellen.

Um die korrekte Schraubenposition, etwa den Einschraubwinkel, im Holzvolumen reproduzierbar zu gewährleisten, sollten entsprechende Einschraubhilfen oder Setzschablonen (siehe Bild 7) verwendet werden. Vor dem Einschrauben ist wichtig, dass die zu verbindenden Bauteile z. B. durch Schraubzwingen gesichert sind. Dies verhindert die Bildung von Fugen und ein Auseinanderklaffen der Bauteile während des Einschraubvorgangs.

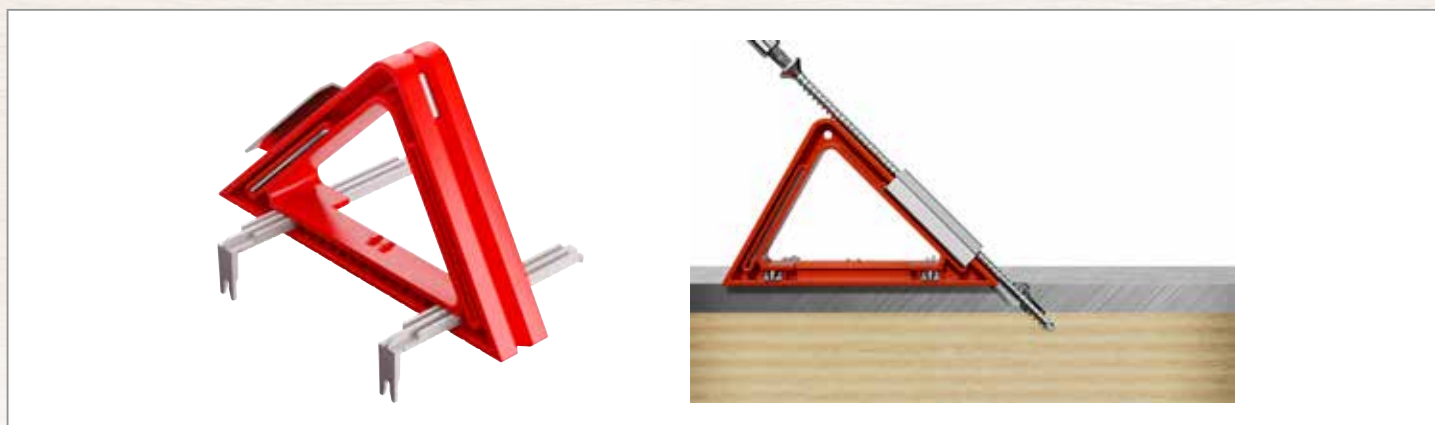


Bild 7: Einschraubhilfe.

Es ist darauf zu achten, dass die Schrauben nicht in Schwindrisse oder dergleichen eingeschraubt werden.

Die Mehrfachverwendung von Schrauben, d.h. Schrauben werden nach Erstverwendung aus einem Bauteil herausgedreht und anschließend erneut in ein anderes Bauteil hineingedreht, ist nicht zulässig.

Das Einschrauben von langen Schrauben sollte ohne Unterbrechung bis zum Erreichen der finalen Schraubenposition erfolgen. Zum einen kann der Wärmeeintrag durch das Einschrauben ein Aufschmelzen von Holzbestandteilen bewirken, welche bei einer Unterbrechung des Einschraubvorgangs abkühlen und zu einem Verkleben der Schraube mit dem Holz führen können. Zum anderen lässt sich bei Fortsetzen des Einschraubvorgangs nach einer Unterbrechung ein erhöhtes initiales Weiterdrehmoment feststellen, was durch die Haftreibung des Schraubengewindes und -schafts im Holz zu erklären ist.

Trifft der Schraubenkopf auf die Holzoberfläche und wird bündig versenkt, wird dies als „weicher Schraubfall“ bezeichnet. Bei Schrauben mit Pan-, Top-, Scheiben-, Balkenschuh-, Kombi-, Sechskant- und Außensechskant-Rundkopf wird der Schraubenkopf nicht versenkt und steht über die Holzoberfläche über. Im Gegensatz zum weichen Schraubfall trifft beim harten Schraubfall der Schraubenkopf auf ein Anbauteil aus Stahl. Schrauben in Stahl-Holz-Verbindungen sollten jeweils in einem Arbeitsgang bis kurz vor Kopfauflage eingeschraubt werden. Kurz vor der Kopfauflage empfiehlt es sich, die Eindrehgeschwindigkeit zu reduzieren, sodass es nicht durch plötzliche Kopfauflage am Stahlbauteil und dem dadurch schlagartigen Drehmomentanstieg zu einer Überbeanspruchung der Schraube kommt. Die restlichen Gewindegänge bis zur Kopfauflage am Stahlbauteil sind kontrolliert einzudrehen und mit definiertem Drehmoment anzuziehen, um eine Überbeanspruchung der Schrauben auszuschließen und eine gleichmäßige Lastverteilung auf die einzelnen Schrauben sicherzustellen. Die folgende Verfahrensweise wird empfohlen:

- Einschrauben in einem Arbeitsgang bis kurz vor Kopfauflage
- Unmittelbar anschließend Messung des Weiterdrehmoments M_W mit konstanter Weiterdrehgeschwindigkeit über ca. eine vollständige Umdrehung
- Berechnung des maximal zulässigen Anzug-Drehmoments $M_{A,max}$ nach folgender Gleichung:

$$M_{A,max} = M_W \cdot 1,2 < 0,9 \cdot f_{tor,k}$$
- Anzug der Schraube bis zur Kopfauflage mit dem berechneten Anzug-Drehmoment.

Mit dieser Vorgehensweise soll sichergestellt werden, dass die Schrauben nicht mit mehr Drehmoment als nötig bis maximal 90% des Bruchdrehmoments $f_{tor,k}$ (Werte für $f_{tor,k}$ siehe Tabelle 10) angezogen werden. Generell eignen sich für den Anzug von Schrauben mit definiertem Drehmoment Drehmomentenschlüssel oder sonstige drehmomentkontrollierte Schraubgeräte.

Nicht geeignet sind alle Schraubgeräte, die zu einem Anzug der Schrauben mit undefiniertem Drehmoment führen. Insbesondere Schlagschrauber sollten keinesfalls für das Anziehen von Schrauben in Stahl-Holz-Verbindungen verwendet werden. Nach der Montage der Stahlbauteile sollte unbedingt die einwandfreie Ausführung der Verbindung kontrolliert werden. Dazu gehört die Sichtkontrolle aller zugänglichen Bauteile auf Beschädigungen und insbesondere die Kontrolle des korrekten Sitzes der Schraubenköpfe am Stahlbauteil.

Es ist ein optimaler Formschluss zwischen Schraubenkopf und Anbauteil aus Stahl sicherzustellen, z. B. die Ausführung von passenden Senkungen im Anbauteil bei der Verwendung von Senkkopfschrauben. Die Bohrung im Anbauteil, insbesondere die Auflagefläche des Schraubenkopfes ist präzise auszuführen, sodass der Schraubenkopf flächig an dem Anbauteil anliegt. Schraubenköpfe mit Fräsrippen (CSMR) eignen sich nicht zur Befestigung von Anbauteilen aus Stahl.

Das Schraubengewinde darf nicht in Kontakt mit der Bohrung des Anbauteils kommen, um eine Beschädigung des Schraubengewindes sowie eine Schiefstellung des Schraubenkopfes im Anbauteil zu verhindern.

Die Regelungen sind so auch für die Befestigung von Unterlegscheiben anzuwenden. Die Unterlegscheiben müssen dabei bündig mit der Holzoberfläche bzw. der Oberfläche des Anbauteils aus Stahl sein.

3 SCHRAUBEN AXIAL BEANSPRUCHT



3.1 Versagensmechanismen axial beanspruchter Schrauben

Bei axial beanspruchten Schrauben können folgende Versagensmechanismen auftreten:

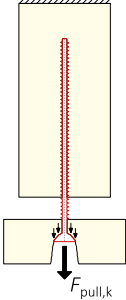
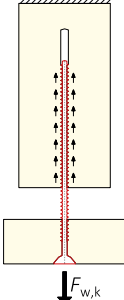
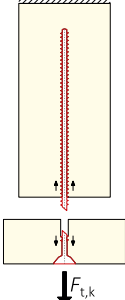
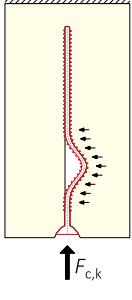
Widerstandsgröße	Charakteristischer Kopfdurchzieh Widerstand	Charakteristischer Auszieh Widerstand	Charakteristischer Zug Widerstand	Charakteristischer Knick Widerstand
Formelzeichen	$F_{\text{pull,k}}$	$F_{\text{w,k}}$	$F_{\text{t,k}}$	$F_{\text{c,k}}$
Schematische Darstellung				
Beschreibung	Ein- bzw. Durchziehen des Schraubenkopfes	Herausziehen des Gewindes der Schraube	Abreißen der Schraube	Ausknicken der Schraube bei axialer Druckbeanspruchung
Abschnitt	3.2	3.3	3.4	3.5

Bild 8: Versagensmechanismen bei axial beanspruchten Schrauben.

3.2 Charakteristischer Kopfdurchzieh Widerstand

Der charakteristische Kopfdurchzieh Widerstand lässt sich berechnen zu:

$$F_{\text{pull,k}} = f_{\text{head,k}} \cdot d_{\text{head}}^2 \cdot \left(\frac{\rho_k}{\rho_{\text{ref,k}}} \right)^{0,8} \quad (3.1)$$

Mit:

$f_{\text{head,k}}$	Charakteristischer Kopfdurchziehparameter in N/mm ² nach Tabelle 13
d_{head}	Kopfdurchmesser oder Außendurchmesser der Unterlegscheibe in mm
ρ_k	Charakteristische Rohdichte des kopfseitigen Bauteils in kg/m ³
$\rho_{\text{ref,k}}$	Bezugsrohndichte in kg/m ³

Für die selbstbohrenden ASSY® Holzschrauben gelten in Kombination mit den Materialien der folgenden Liste die charakteristischen Werte des Kopfdurchziehparameters $f_{\text{head,k}}$ nach Tabelle 13.

- Vollholz (ST/FST) aus Nadelholz, Buche, Eiche oder Esche nach EN 14081-1,
- Balkenschichtholz (GST) aus Nadelholz nach EN 14080 oder nach nationalen Bestimmungen, die am Einbauort gelten,
- Brettschichtholz (GL) aus Nadelholz nach EN 14080,
- Brettschichtholz (GL) aus Buche, Eiche oder Esche gemäß Europäischer Technischer Bewertung oder den am Ort des Einbaus geltenden nationalen Bestimmungen,
- Brettsperrholz (CLT) aus Nadelholz nach Europäischer Technischer Bewertung oder nach den am Ort des Einbaus geltenden nationalen Bestimmungen,
- Massivholzplatten (SWP) nach EN 13353 und EN 13986,
- Furnierschichtholz (LVL) aus Nadelholz nach EN 14374,
- Brettschichtholz aus Furnierschichtholz (GLVL) aus Buche nach ETA-14/0354,
- Sperrholz (PW) nach EN 636 und EN 13986,
- Oriented Strand Board (OSB) nach EN 300 und EN 13986 mit $\rho_k \geq 550 \text{ kg/m}^3$,
- Spanplatten nach EN 312 und EN 13986,
- Faserplatten nach EN 622-2, EN 622-3 und EN 13986,
- Zementgebundene Spanplatten nach EN 634-2 und EN 13986
- Gipskartonplatten für tragende Anwendungen nach Europäischer Technischer Bewertung mit $\rho_k \geq 650 \text{ kg/m}^3$,
- Fermacell Gipsfaserplatten nach ETA-03/0050.

Tabelle 13: Charakteristischer Kopfdurchziehparameter $f_{\text{head,k}}$ in N/mm².

$f_{\text{head,k}}$ in N/mm ²	d_{head} in mm	Anwendungsfall, Kopfform	$\rho_{\text{ref,k}}$ in kg/m ³
Für Bauteildicken $t < 12$ mm			
8	≤ 32	Für alle genannten Holzwerkstoffe gilt: $F_{\text{pull,k}} \leq 400$ N	350
Für Bauteildicken $12 \text{ mm} \leq t \leq 20$ mm			
8	≤ 32	Für alle genannten Holzwerkstoffe	350
Für Bauteildicken $t > 20$ mm			
$\min\{19,4 - 0,28 \cdot d_{\text{head}}'; 14\}$	–	90° Senkkopf, für alle genannten Holzwerkstoffe	350
$\min\{28,4 - 0,64 \cdot d_{\text{head}}'; 15\}$	≤ 30	180° Scheiben- oder Tellerkopf, für alle genannten Holzwerkstoffe	350
13	≤ 19	andere Kopfformen, für alle genannten Holzwerkstoffe	350
10	> 19	andere Kopfformen, für alle genannten Holzwerkstoffe	350
15	–	Jamo und Jamo plus	350
23	–	Unterkopfgewinde	350
18	–	P II Schrauben $d = 8$ mm mit Unterkopfgewinde	350
$40 - 0,5 \cdot d_{\text{head}}$	≤ 25	in LVL aus Buche mit $590 \text{ kg/m}^3 \leq \rho_k \leq 750 \text{ kg/m}^3$, $t \geq 40$ mm	350
16	25	$d = 8$ mm mit Winkelscheiben in LVL mit $\rho_k \leq 590 \text{ kg/m}^3$	500
32	25	$d = 8$ mm mit Winkelscheiben in LVL aus Buche oder GLVL nach ETA-14/0354 mit $\rho_k \geq 680 \text{ kg/m}^3$ und $t \geq 40$ mm	730
Regelwerk: ETA-11/0190			

In Abhängigkeit der Materialien, dürfen deren Rohdichten wie folgt in Rechnung gestellt werden:

- Buchen-, Eichen- oder Eschenholz $\rho_k \leq 590 \text{ kg/m}^3$
- Furnierschichtholz (LVL) aus Nadelholz $\rho_k \leq 590 \text{ kg/m}^3$
- Furnierschichtholz (LVL) aus Buche und GLVL (ETA-14/0354) $\rho_k \leq 730 \text{ kg/m}^3$
- Alle aufgelisteten Holzwerkstoffe $\rho_k \leq 380 \text{ kg/m}^3$

Für den Kopfdurchmesser gilt: $d_{\text{head}} \geq 1,8 \cdot d_s$ wobei d_s der Durchmesser des glatten Schafts oder des Gewindekerns ist. Falls $d_{\text{head}} < 1,8 \cdot d_s$ ist, beträgt der charakteristische Wert des Kopfdurchzieh Widerstands $F_{\text{pull,k}} = 0$ kN.

Für Holzwerkstoffe sind die Mindestbauteildicken von $1,2 \cdot d$ (mit d als Gewindeaußendurchmesser) und nach den Angaben in Tabelle 14 einzuhalten.

Tabelle 14: Mindestdicke t der Holzwerkstoffe.

Holzwerkstoff	Mindestdicke t in mm	Werkstoffnorm
Sperrholz	6	DIN EN 636
Faserplatten	6	DIN EN 622-2 DIN EN 622-3
OSB	8	DIN EN 300
Spanplatten	8	DIN EN 312
Zementgebundene Spanplatten	8	DIN EN 634-2
Massivholzplatten	12	DIN EN 13353
Regelwerk: ETA-11/0190		

In $F_{\text{pull,k}}$ bzw. $f_{\text{head,k}}$ für Unterlegscheiben mit $d_{\text{head}} > 32$ mm ist das Verfahren nach EC 5, Abschnitt 8.5.2 anzuwenden.

Bei allen ASSY® Schrauben mit Vollgewinde und ASSY® Schrauben mit einem Gewindeteil unterhalb des Kopfes darf der Auszieh Widerstand des Gewindeanteils im schraubenkopfseitigen Holzbauteil anstelle des Kopfdurchzieh Widerstands angesetzt werden (siehe Bild 9). Das gilt auch für ASSY® Schrauben mit Teilgewinde, sofern ausreichend Gewindeanteil im kopfseitigen Holzbauteil einbindet; es gilt $l_w \geq 4 \cdot d$. In Bild 9 sind verschiedene Situationen dargestellt. Links eine ASSY®plus VG mit CSMP-Kopf, in der Mitte und rechts eine ASSY® Schraube mit Teilgewinde und WH-Kopf (Mitte) und einem COMBI-Kopf und Unterlegscheibe (rechts). Es darf jeweils der Maximalwert aus den charakteristischen Widerständen bezüglich Kopfdurchziehen und Ausziehen des Gewindeteils in Ansatz gebracht werden.

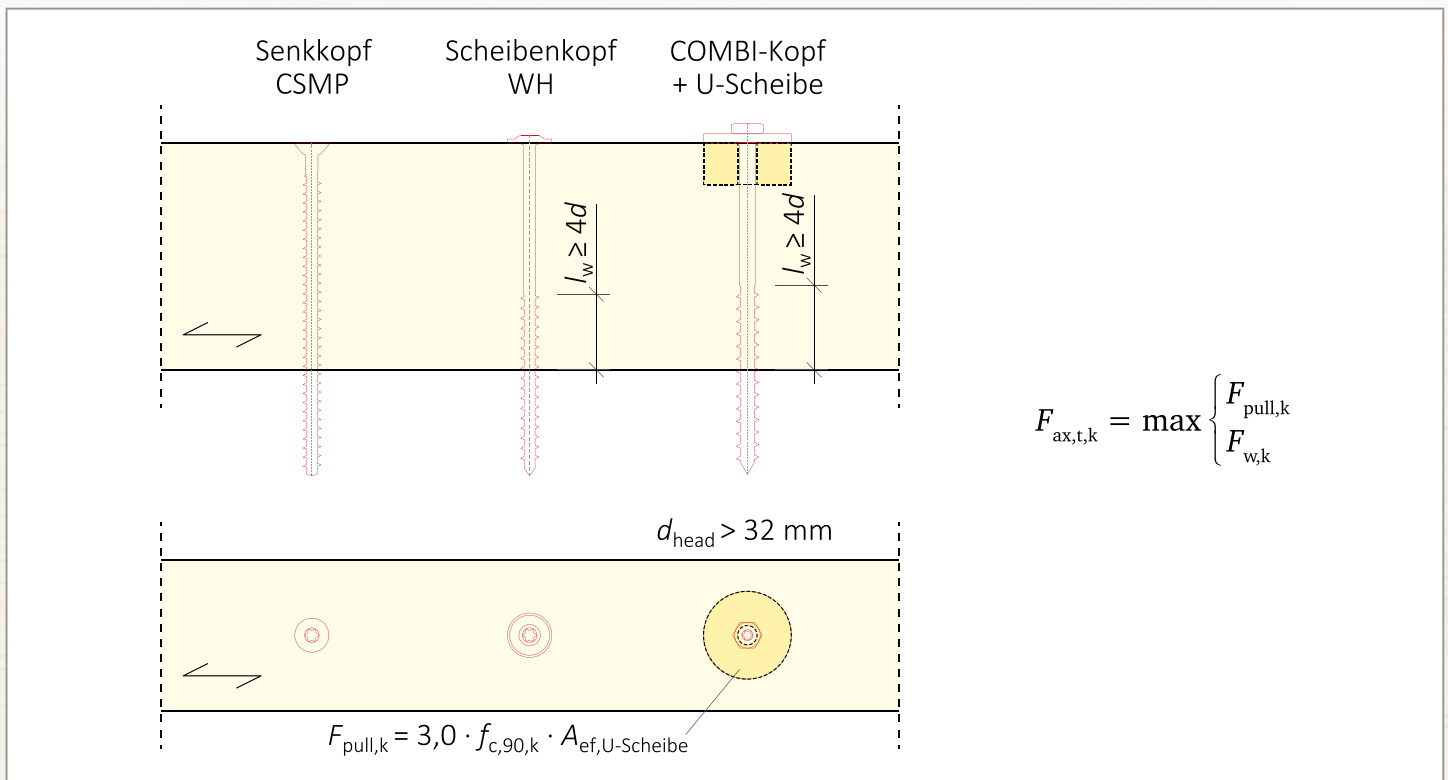


Bild 9: Widerstand gegen Kopfdurchziehen oder gegen Ausziehen des Gewindeteils im kopfseitigen Bauteil.

In Stahl-Holz-Verbindungen ist der Kopfdurchziehewiderstand der Schrauben nicht maßgebend.

3.3 Charakteristischer Ausziehewiderstand

Der charakteristische Ausziehewiderstand einer Schraube gilt für beide Beanspruchungen in Achsrichtung (Zug und Druck) und ist allgemein nach Gl. (3.2) zu berechnen. Für die Winkeldefinitionen ε und β wird auf Bild 10 verwiesen.

$$F_{w,k} = \frac{k_{ax} \cdot f_{ax,k} \cdot d \cdot l_w}{k_{\beta}} \cdot \left(\frac{\rho_k}{\rho_{\text{ref},k}} \right)^{0,8} \quad (3.2)$$

Mit:

k_{ax} Beiwert zur Berücksichtigung des Winkels ε zwischen Schraubenachse und Faserrichtung

$$k_{ax} = 1,0 \quad \text{für } 30^\circ \leq \varepsilon \leq 90^\circ \quad (3.3)$$

$$k_{ax} = a + \frac{b \cdot \varepsilon}{30^\circ} \quad \text{für } 0^\circ \leq \varepsilon < 30^\circ \quad (3.4)$$

Mit

$$a = \begin{cases} 0,3 & \text{für ST/FST, GL, CLT, SWP} \\ 0,5 & \text{für LVL, GLVL (inkl. LVL, GLVL aus Buche (ETA-14/0354))} \end{cases}$$

$$b = \begin{cases} 0,7 & \text{für ST/FST, GL, CLT, SWP} \\ 0,5 & \text{für LVL, GLVL (inkl. LVL, GLVL aus Buche (ETA-14/0354))} \end{cases}$$

Hinweis:

Der Beiwert k_{ax} darf für $\varepsilon \geq 15^\circ$ und $l_w \geq 20 d$ auch wie folgt berechnet werden:

$$k_{ax} = \frac{1}{1,2 \cdot \cos^2 \varepsilon + \sin^2 \varepsilon} \quad (3.5)$$

Diese Betrachtung führt bei LVL im Bereich von $15^\circ \leq \varepsilon \leq 21^\circ$ und bei allen anderen Materialien in den Bereichen $15^\circ \leq \varepsilon \leq 24^\circ$ zu einer geringfügigen Steigerung des Tragwiderstands gegenüber der Anwendung der Gl. (3.4).

k_β	Beiwert zur Berücksichtigung des Winkels β zwischen Schraubenachse und Deckfläche
$k_\beta = 1$	für ST, GL, GST, CLT und SWP
$k_\beta = 1,5 \cdot \cos^2 \beta + \sin^2 \beta$	für LVL
$f_{ax,k}$	Charakteristischer Ausziehparameter in N/mm ² nach Tabelle 15
d	Gewindeaußendurchmesser in mm
l_w	Verankerungslänge des Gewindebereichs einer Schraube (einschließlich Schraubenspitze) in mm
ρ_k	Charakteristische Rohdichte des Holzbauteils in kg/m ³
$\rho_{ref,k}$	Bezugsrohddichte in kg/m ³
β	Winkel zwischen Schraubenachse und Deckfläche
ε	Winkel zwischen Schraubenachse und Faserrichtung Für $0^\circ \leq \varepsilon \leq 90^\circ$ darf die im Bauteil vorhandene Gewindelänge vollständig angesetzt werden.

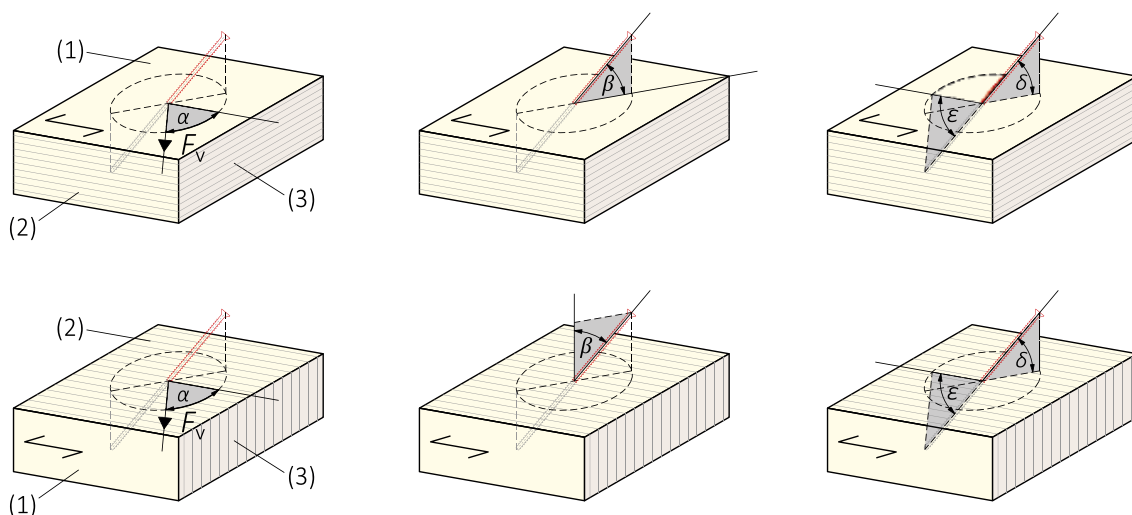


Bild 10: Definition der Winkel an Schraube und Bauteil. (1) Deckfläche, (2) Schmalfäche, (3) Hirnholzfläche, Winkel zwischen (α) Kraft und Faserrichtung, (β) Schraubenachse und Deckfläche, (δ) Schraubenachse und Scherfuge, (ε) Schraubenachse und Faserrichtung.

Tabelle 15: Charakteristischer Ausziehparameter $f_{ax,k}$ in N/mm².

Holzwerkstoff	ρ_k in kg/m ³	$\rho_{ref,k}$ in kg/m ³	Gewindeaußendurchmesser d in mm					
			5	6	8	10	12	14
ST/FST, GL, CLT, SWP, LVL aus Nadelholz	≤ 590	350	13		12	11,5	11	10
GLVL aus Buche (ETA-14/0354)	≥ 730	730	35,0					-
OSB/3, OSB/4	≥ 550	$= \rho_k$	7,0		-	-	-	-
Spanplatten	≥ 640	$= \rho_k$	7,0		-	-	-	-

Regelwerk: ETA-11/0190

Die charakteristischen Werte der Ausziehparameter gelten auch für Brettsperrholz-Lagen aus Nadelholz.

Binden Schrauben einer Verbindung in Brettsperrholz in mehr als eine Lage ein, darf die charakteristische Ausziehtragfähigkeit als Summe der Einzeltragfähigkeiten der Brettlagen in Ansatz gebracht werden, unabhängig ob in Seitenfläche oder Schmalfläche eingeschraubt wird. Es sind die Parameter Verankerungslänge l_w , Winkel zwischen Schraubenachse und Faserrichtung ε und die charakteristische Rohdichte ρ_k in der jeweiligen Brettlage zu berücksichtigen.

Für in Schmalflächen eingedrehte Schrauben sind folgende Regelungen unabhängig voneinander gültig.

Größengleichung (unabhängig vom Winkel ε und der Position in den Brettlagen)

Der charakteristische Auszieh Widerstand von Schrauben, die in der Schmalfläche von Brettsperrholz angeordnet werden, darf unabhängig von deren Lage und Winkel zwischen Schraubenachse und Faserrichtung anhand Gl. (3.6) berechnet werden ($F_{w,k}$ in N, d und l_w in mm).

$$F_{w,k} = 20 \cdot d^{0,8} \cdot l_w^{0,9} \quad (3.6)$$

Definierte Position in inneren Brettlagen

Binden Schrauben in der Schmalfläche von Brettsperrholz in eine einzelne innenliegende Brettlage ein, darf der charakteristische Auszieh Widerstand nach Gl. (3.2) angesetzt werden. Innenliegend bedeutet bei Brettsperrholz mit z. B. 5 Lagen, Lage 2 bis 4. Es gelten die Abstände zwischen den Schrauben und zu den Rändern der Brettlage wie für Vollholz nach Tabelle 30, allerdings darf der Abstand zur Klebefuge auf $2 \cdot d$ reduziert werden, siehe dazu Bild 11. In diesem Fall darf ausschließlich mit $\varepsilon = 90^\circ$ eingeschraubt werden (Bild 11, links: Einschrauben in Lage 3 zulässig; rechts: Einschrauben in Lage 2 und 4 zulässig).

Die jeweiligen Regelungen der Brettsperrholzzulassungen sind zu beachten.

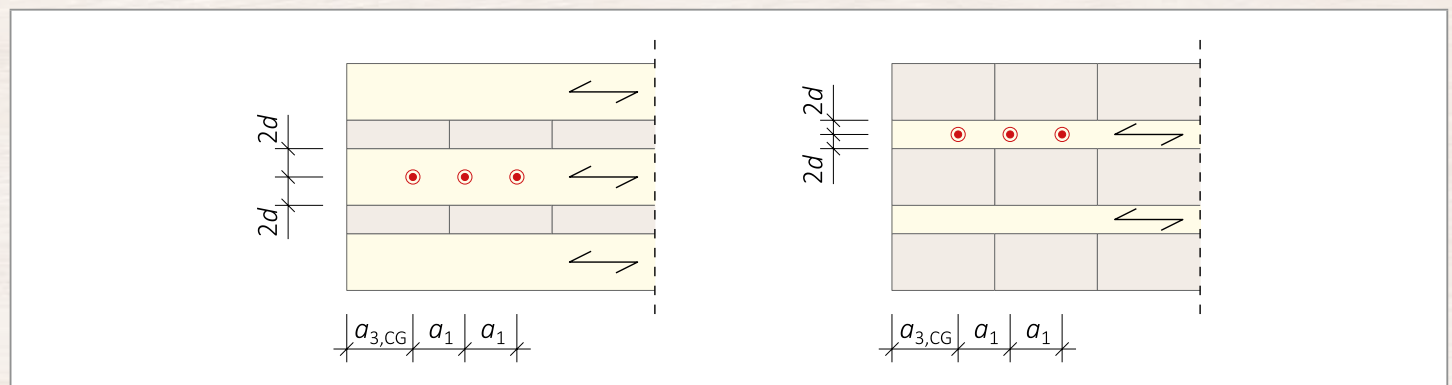


Bild 11: Definierte Schraubenposition bei inneren Brettlagen der Schmalfläche.

3.4 Charakteristischer Zugwiderstand einer Schraube

Der charakteristische Zugwiderstand einer Schraube entspricht der maximalen, axialen Zugkraft, bei der die Schraube in ihrem Stahlquerschnitt versagt (abreißt). Werte können Tabelle 16 entnommen werden. Es gilt dabei:

$$F_{t,k} = f_{tens,k} \quad (3.7)$$

Tabelle 16: Charakteristischer Zugwiderstand $f_{tens,k}$ in kN.

Schraubentyp und -material	Gewindeaußendurchmesser d in mm					
	5	6	8	10	12	14
ASSY® aus Kohlenstoffstahl	7,9	12,5	21,5	26	41	-
ASSY®plus VG aus Kohlenstoffstahl	-	12,5	22	33	45	62
ASSY® aus nichtrostendem Stahl	5,8	8,2	14	19	-	-

Regelwerk: ETA-11/0190

3.5 Charakteristischer Knickwiderstand

Schrauben, die eine axiale Druckbeanspruchung erfahren, können auf Knicken versagen (siehe Bild 12). Für die Berechnung des charakteristischen Knickwiderstands gelten folgende Voraussetzungen:

- Schrauben vom Typ ASSY®plus VG und ASSY® mit Vollgewinde oder Doppelgewinde
- Schrauben in Holzbaustoffen aus Nadel- oder Laubholz, Vollholz (ST/FST), Furnierschichtholz (LVL), Balkenschichtholz (GST), Brettschichtholz (GL) und Brettsperrholz (CLT)
- Winkel ε zwischen Schraubenachse und Faserrichtung mit $0^\circ \leq \varepsilon \leq 90^\circ$

Der charakteristische Knickwiderstand einer Schraube wird allgemein nach Gl. (3.8) berechnet. Für eine elastisch gebettete Schraube wird der weitere Berechnungsverlauf entsprechend EC 5 Entwurf nach den Gln. (3.12), (3.13), (3.14) und (3.15) durchgeführt. Für eine Schraube, die in einem Teilbereich ungehindert frei knicken kann, wird der weitere Berechnungsverlauf nach den Gln. (3.16) und (3.17) durchgeführt.

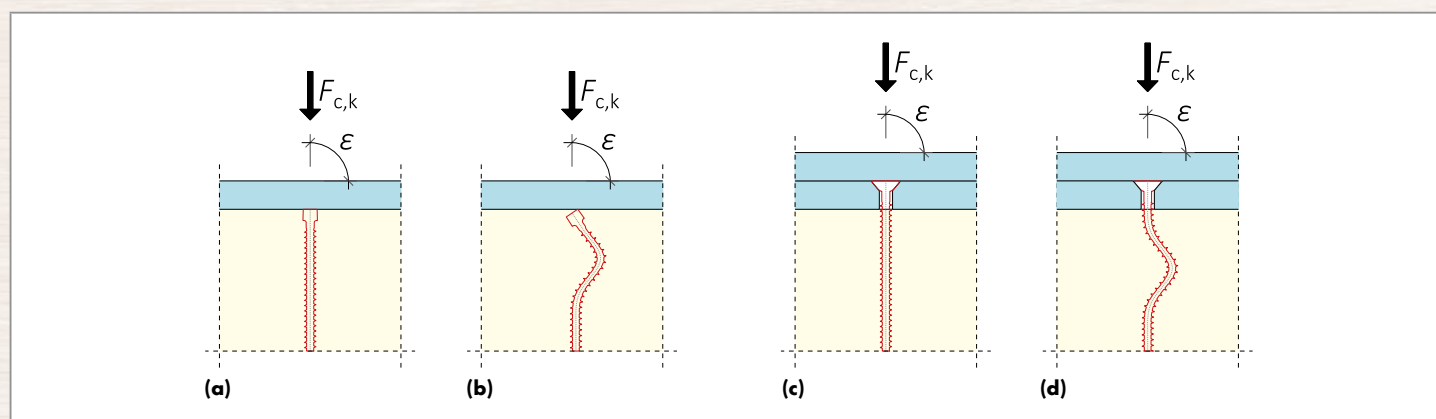


Bild 12: Gebettete, axial auf Druck beanspruchte Schraube vor Erreichen der Knicktragfähigkeit (a, c), nach Erreichen der Knicktragfähigkeit (b, d), mit nicht eingespanntem (a, b)/mit eingespanntem Kopf (c, d).

Voraussetzungen für eingespannten Kopf (c, d): 1. Kopffläche bündig mit Plattenoberfläche; 2. Mindestdicke der Platte: Gewindeaußendurchmesser d

$$F_{c,k} = \phi_c \cdot N_{pl,k} \quad (3.8)$$

Mit:

$$N_{pl,k} = \pi \cdot \frac{d_1^2}{4} \cdot f_{y,k} \quad (3.9)$$

$$\phi_c = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}_k^2}} \quad (3.10)$$

$$\phi = 0,5 \cdot \left[1 + 0,49 \cdot (\bar{\lambda}_k - 0,2) + \bar{\lambda}_k^2 \right] \quad (3.11)$$

Knicken mit elastischer Bettung

$$\bar{\lambda}_k = \sqrt{\frac{N_{pl,k}}{N_{ki,k}}} \quad (3.12)$$

$$N_{ki,k} = \begin{cases} \sqrt{c_h \cdot E_s \cdot I_s} & \text{Kopf nicht eingespannt} \\ 2 \cdot \sqrt{c_h \cdot E_s \cdot I_s} & \text{Kopf eingespannt} \end{cases} \quad (3.13)$$

$$c_h = (0,19 + 0,012 \cdot d) \cdot \rho_k \cdot \left(\frac{90^\circ + \varepsilon}{180^\circ} \right) \quad (3.14)$$

$$I_s = \frac{\pi \cdot d_1^4}{64} \quad (3.15)$$

Freies Knicken

$$\bar{\lambda}_k = \frac{l_{ef} \cdot 4}{d_1 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{E_s}{f_{y,k}}}} \quad (3.16)$$

$$l_{ef} = l_{ne} + 20 \text{ mm} \quad (3.17)$$

Mit:

$N_{pl,k}$	Charakteristischer Wert der Normalkrafttragfähigkeit des Nettoquerschnitts in N
ϕ_c	Abminderungsbeiwert beim Knicken einer Schraube (-)
d_1	Gewindekerndurchmesser in mm nach Tabelle 17
$f_{y,k} = 900$	Charakteristischer Wert der Streckgrenze von gehärtetem Kohlenstoffstahl in N/mm ²
ϕ	Beiwert (-)
$\bar{\lambda}_k$	Bezogener Schlankheitsgrad (-)
$N_{ki,k}$	Charakteristische, ideal-elastische Knicklast einer Schraube in N
c_h	Elastische Bettung einer Schraube in N/mm ²
$E_s = 210.000$	Elastizitätsmodul des Stahls in N/mm ²
I_s	Flächenträgheitsmoment 2. Grades für den Kreisquerschnitt in mm ⁴
l_{ef}	Rechnerisch anzusetzende Schraubenlänge (siehe Abschnitt 3.5.2) in mm
l_{ne}	Nicht gebettete Schraubenlänge (siehe Tabelle 26) in mm

Tabelle 17: Gewindekerndurchmesser d_i in mm für alle ASSY® Schrauben mit Vollgewinde.

	Gewindeaußendurchmesser d in mm					
	5	6	8	10	12	14
d_i für ASSY®plus VG	-	3,8	5,0	6,2	7,1	8,5
d_i für ASSY® mit Vollgewinde	3,2	3,9	-	-	-	-

Regelwerk: ETA-11/0190

3.5.1 Elastisch gebettetes Knicken

Für aus Kohlenstoffstahl gefertigte ASSY® Schrauben mit Vollgewinde kann der charakteristische Knickwiderstand $F_{c,k}$ gemäß Gl. (3.8) Tabelle 18 bis Tabelle 25 für verschiedene charakteristische Rohdichten ρ_k und **Winkel** ε entnommen werden. Die höheren Werte sind nur bei konstruktiver Ausführung Kopf eingespannt (siehe Bild 12 c und d) zulässig.

Tabelle 18: Charakteristischer Knickwiderstand $F_{c,k}$ in kN, mit $\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$ (z. B. C24).

	Kopf nicht eingespannt						Kopf eingespannt			
ε	$d = 6 \text{ mm}$		$d = 8 \text{ mm}$		$d = 10 \text{ mm}$		$d = 12 \text{ mm}$		$d = 14 \text{ mm}$	
0°	5,43	7,29	9,62	12,8	15,1	19,9	20,2	26,4	29,5	38,2
30°	5,85	7,60	10,3	13,3	16,2	20,7	21,6	27,4	31,5	39,6
45°	6,02	7,72	10,6	13,5	16,7	21,0	22,2	27,8	32,3	40,1
60°	6,17	7,83	10,9	13,7	17,0	21,3	22,7	28,1	33,0	40,6
90°	6,42	8,00	11,3	14,0	17,7	21,7	23,5	28,7	34,2	41,4
Regelwerk: EC 5 Entwurf										
mit $f_{yk} = 900 \text{ N/mm}^2$										

Regelwerk: EC 5 Entwurf

mit $f_{y,k} = 900 \text{ N/mm}^2$

Tabelle 19: Charakteristischer Knickwiderstand $F_{c,k}$ in kN, mit $\rho_k = 365 \text{ kg/m}^3$ (z. B. GL 24c).

	Kopf nicht eingespannt						Kopf eingespannt			
ε	$d = 6 \text{ mm}$		$d = 8 \text{ mm}$		$d = 10 \text{ mm}$		$d = 12 \text{ mm}$		$d = 14 \text{ mm}$	
0°	5,49	7,34	9,73	12,9	15,3	20,0	20,4	26,5	29,8	38,4
30°	5,91	7,65	10,5	13,4	16,4	20,8	21,8	27,5	31,8	39,8
45°	6,08	7,77	10,7	13,6	16,8	21,1	22,4	27,9	32,6	40,3
60°	6,23	7,87	11,0	13,8	17,2	21,4	22,9	28,2	33,3	40,8
90°	6,48	8,04	11,4	14,0	17,8	21,8	23,7	28,8	34,4	41,5
Regelwerk: EC 5 Entwurf										
mit $f_{t,k} = 900 \text{ N/mm}^2$										

Regelwerk: EC 5 Entwurf

mit $f_{y,k} = 900 \text{ N/mm}^2$

Tabelle 20: Charakteristischer Knickwiderstand $F_{c,k}$ in kN, mit $\rho_k = 390 \text{ kg/m}^3$ (z. B. GL 28c, GL 30c).

	Kopf nicht eingespannt						Kopf eingespannt			
ε	$d = 6 \text{ mm}$		$d = 8 \text{ mm}$		$d = 10 \text{ mm}$		$d = 12 \text{ mm}$		$d = 14 \text{ mm}$	
0°	5,59	7,41	9,90	13,0	15,5	20,2	20,7	26,8	30,2	38,7
30°	6,01	7,71	10,6	13,5	16,6	21,0	22,2	27,7	32,2	40,1
45°	6,17	7,83	10,9	13,7	17,1	21,3	22,7	28,1	33,0	40,6
60°	6,32	7,93	11,1	13,9	17,4	21,5	23,2	28,4	33,7	41,1
90°	6,57	8,10	11,6	14,1	18,1	21,9	24,0	29,0	34,9	41,8
Regelwerk: EC 5 Entwurf										

mit $f_{yk} = 900 \text{ N/mm}^2$

Regelwerk: EC 5 Entwurf

mit $f_{y,k} = 900 \text{ N/mm}^2$

Tabelle 21: Charakteristischer Knickwiderstand $F_{c,k}$ in kN, mit $\rho_k = 385 \text{ kg/m}^3$ (z. B. GL 24h).

	Kopf nicht eingespannt						Kopf eingespannt			
ε	$d = 6 \text{ mm}$		$d = 8 \text{ mm}$		$d = 10 \text{ mm}$		$d = 12 \text{ mm}$		$d = 14 \text{ mm}$	
0°	5,57	7,40	9,87	13,0	15,5	20,2	20,7	26,7	30,1	38,7
30°	5,99	7,70	10,6	13,5	16,6	20,9	22,1	27,7	32,1	40,0
45°	6,16	7,82	10,9	13,7	17,0	21,2	22,7	28,1	32,9	40,6
60°	6,30	7,92	11,1	13,8	17,4	21,5	23,1	28,4	33,6	41,0
90°	6,55	8,08	11,5	14,1	18,0	21,9	24,0	28,9	34,8	41,8
Regelwerk: EC 5 Entwurf										
mit $f_{yk} = 900 \text{ N/mm}^2$										

Regelwerk: EC 5 Entwurf

mit $f_{y,k} = 900 \text{ N/mm}^2$

Tabelle 22: Charakteristischer Knickwiderstand $F_{c,k}$ in kN, mit $\rho_k = 425 \text{ kg/m}^3$ (z. B. GL 28h, GL 30h).

ε	Kopf nicht eingespannt						Kopf eingespannt			
	$d = 6 \text{ mm}$		$d = 8 \text{ mm}$		$d = 10 \text{ mm}$		$d = 12 \text{ mm}$		$d = 14 \text{ mm}$	
0°	5,72	7,50	10,1	13,2	15,9	20,4	21,2	27,1	30,8	39,1
30°	6,13	7,80	10,8	13,6	16,9	21,2	22,6	28,0	32,8	40,5
45°	6,29	7,91	11,1	13,8	17,4	21,5	23,1	28,4	33,6	41,0
60°	6,44	8,01	11,3	14,0	17,7	21,7	23,6	28,7	34,3	41,4
90°	6,68	8,17	11,8	14,3	18,4	22,1	24,4	29,2	35,4	42,2

Regelwerk: EC 5 Entwurf mit $f_{y,k} = 900 \text{ N/mm}^2$

Tabelle 23: Charakteristischer Knickwiderstand $F_{c,k}$ in kN, mit $\rho_k = 480 \text{ kg/m}^3$ z. B. LVL aus Nadelholz, flachkant oder hochkant, siehe Bild 13.

ε	Kopf nicht eingespannt						Kopf eingespannt			
	$d = 6 \text{ mm}$		$d = 8 \text{ mm}$		$d = 10 \text{ mm}$		$d = 12 \text{ mm}$		$d = 14 \text{ mm}$	
0°	5,89	7,63	10,4	13,4	16,3	20,8	21,8	27,5	31,7	39,7
30°	6,30	7,92	11,1	13,8	17,4	21,5	23,1	28,4	33,6	41,0
45°	6,46	8,02	11,4	14,0	17,8	21,8	23,7	28,7	34,4	41,5
60°	6,60	8,12	11,6	14,2	18,2	22,0	24,1	29,1	35,0	41,9
90°	6,84	8,27	12,0	14,4	18,8	22,4	24,9	29,5	36,1	42,6

Regelwerk: EC 5 Entwurf mit $f_{y,k} = 900 \text{ N/mm}^2$

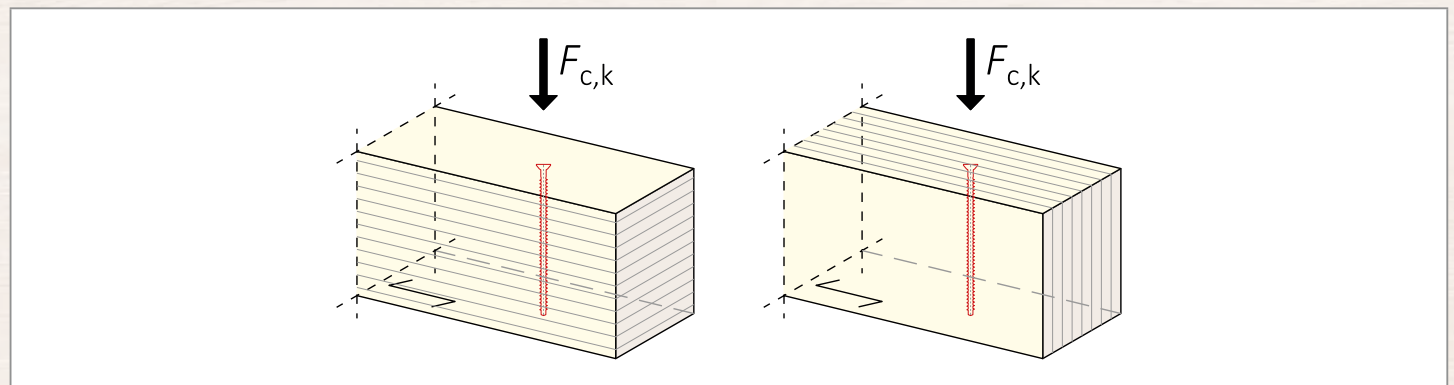


Bild 13: LVL-P_{flatwise} (liegende Lagen; links); LVL-P_{edgewise} (stehende Lagen; rechts)

Tabelle 24: Charakteristischer Knickwiderstand $F_{c,k}$ in kN, mit $\rho_k = 600 \text{ kg/m}^3$ z. B. GL aus Birke (ETA-19/0031).

ε	Kopf nicht eingespannt						Kopf eingespannt			
	$d = 6 \text{ mm}$		$d = 8 \text{ mm}$		$d = 10 \text{ mm}$		$d = 12 \text{ mm}$		$d = 14 \text{ mm}$	
0°	6,21	7,85	11,0	13,7	17,1	21,3	22,8	28,2	33,2	40,7
30°	6,60	8,12	11,6	14,2	18,2	22,0	24,1	29,1	35,0	41,9
45°	6,75	8,22	11,9	14,4	18,5	22,2	24,6	29,4	35,7	42,4
60°	6,89	8,31	12,1	14,5	18,9	22,5	25,1	29,7	36,3	42,8
90°	7,11	8,45	12,5	14,7	19,4	22,8	25,8	30,1	37,4	43,4

Regelwerk: EC 5 Entwurf mit $f_{y,k} = 900 \text{ N/mm}^2$

Tabelle 25: Charakteristischer Knickwiderstand $F_{c,k}$ in kN, mit $\rho_k = 730 \text{ kg/m}^3$ z. B. GLVL aus Buche (ETA-14/0354).

ε	Kopf nicht eingespannt						Kopf eingespannt			
	$d = 6 \text{ mm}$		$d = 8 \text{ mm}$		$d = 10 \text{ mm}$		$d = 12 \text{ mm}$		$d = 14 \text{ mm}$	
0°	6,48	8,04	11,4	14,0	17,8	21,8	23,7	28,8	34,4	41,5
30°	6,85	8,28	12,1	14,5	18,8	22,4	25,0	29,6	36,2	42,7
45°	7,00	8,38	12,3	14,6	19,2	22,6	25,4	29,9	36,8	43,1
60°	7,13	8,46	12,5	14,8	19,5	22,9	25,8	30,2	37,4	43,5
90°	7,34	8,59	12,9	15,0	20,0	23,2	26,5	30,6	38,4	44,1

Regelwerk: EC 5 Entwurf mit $f_{y,k} = 900 \text{ N/mm}^2$

3.5.2 Freies Knicken

Für aus Kohlenstoffstahl gefertigte ASSY® Schrauben mit Voll- oder Doppelgewinde kann der charakteristische Knickwiderstand $F_{c,k}$ gemäß Gl. (3.8) Tabelle 26 entnommen werden. Die Werte der Tabelle 26 beruhen auf der Annahme des zweiten Eulerfalls, wobei die Knicklänge der Länge des Schraubenabschnitts zwischen den Bauteilen zzgl. beidseitig 10 mm (Einbindelänge) entspricht (siehe Bild 14 und Gl. (3.17)).

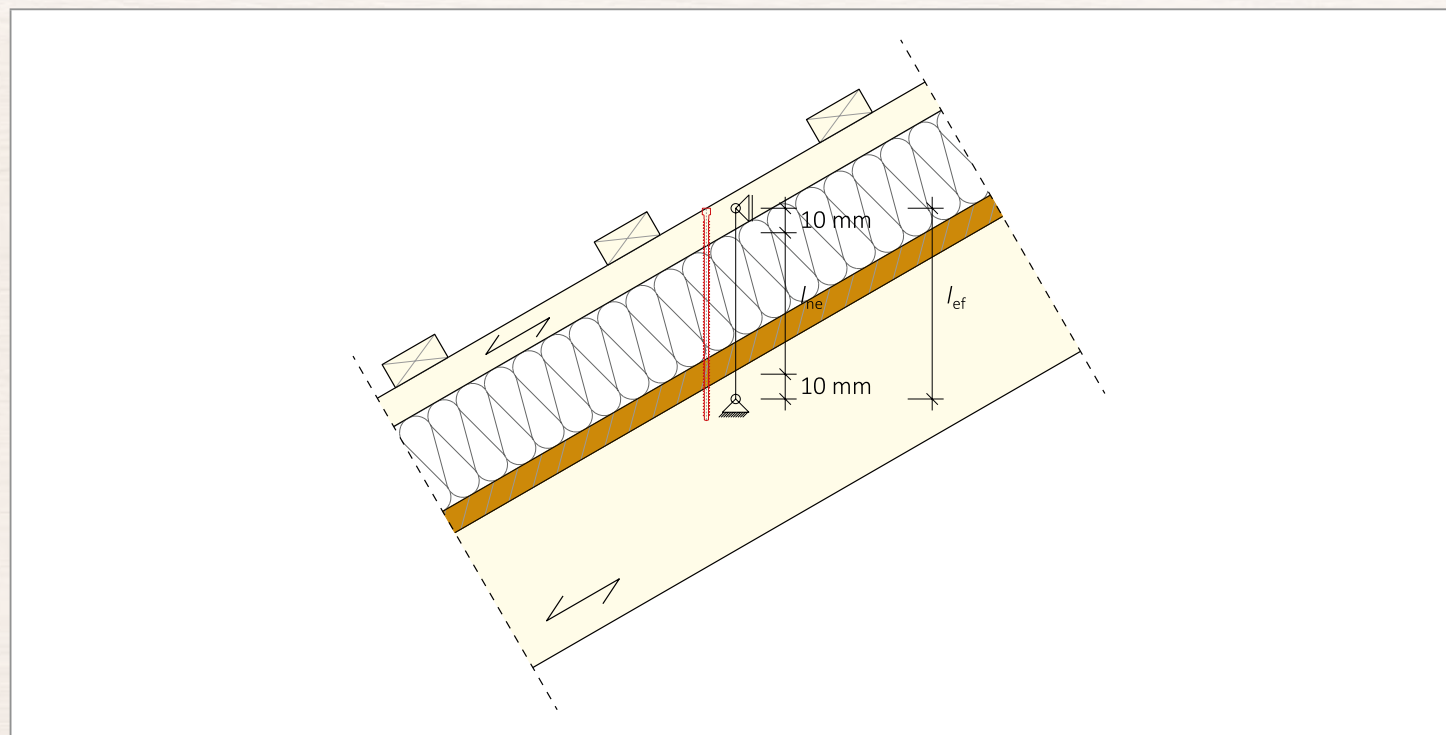


Bild 14: Beispiel eines statischen Systems für eine nicht gebettete, frei knickende Schraube

Tabelle 26: Charakteristischer Knickwiderstand $F_{c,k}$ in kN für eine Schraube mit nicht gebettetem Schaftteil.

nicht gebettete Schraubenlänge l_{nc} in mm	ASSY®plus VG Gewindeaußendurchmesser d in mm					ASSY® Isotop
	6	8	10	12	14	8/10 ^{a)}
≤ 100	1,11	3,21	8,07	12,9	21,0	10,1
120	0,84	2,45	6,27	10,2	16,9	8,30
140	0,66	1,93	4,99	8,19	13,7	6,84
160	0,53	1,56	4,05	6,70	11,3	5,70
180	0,43	1,28	3,35	5,57	9,48	4,79
200	-	1,07	2,82	4,69	8,03	4,08
220	-	0,91	2,41	4,01	6,89	3,51
240	-	0,78	2,08	3,48	5,96	3,04
260	-	0,68	1,81	3,03	5,21	2,67
280	-	0,59	1,59	2,66	4,61	2,35
300	-	0,53	1,40	2,36	4,09	2,10
320	-	0,47	1,25	2,10	3,65	1,88
340	-	0,42	1,12	1,89	3,28	1,69
360	-	0,37	1,01	1,70	2,96	1,53
380	-	0,34	0,92	1,55	2,69	1,45
400	-	0,31	0,83	1,42	2,45	1,26
420	-	0,28	0,77	1,30	2,25	1,16
440	-	0,26	0,70	1,18	2,06	1,06
460	-	0,24	0,65	1,10	1,90	0,99
480	-	0,22	0,59	1,01	1,76	0,91

^{a)} Die ASSY® Isotop hat an der Spitze ein Gewinde mit 8 mm und unter dem Kopf ein Gewinde mit 10 mm (mit einem Kerndurchmesser 7,05 mm).

Regelwerk: ETA-11/0190

3.6 Tragwiderstand axial beanspruchter Schrauben

Der charakteristische Tragwiderstand $F_{ax,t,k}$ sowie der Bemessungswert des Tragwiderstands $F_{ax,t,d}$ einer axial auf Zug beanspruchten Schraube ist der kleinste Wert der Widerstände, welcher sich aus den möglichen Versagensmechanismen ergibt.

Daraus folgt für eine axial auf Zug beanspruchte Schraube der charakteristische Tragwiderstand $F_{ax,t,k}$ nach Gl. (3.18) und der Bemessungswert des Tragwiderstands $F_{ax,t,d}$ nach Gl. (3.19):

$$F_{ax,t,k} = \min \begin{cases} F_{w,k} \\ F_{pull,k} \\ F_{t,k} \end{cases} \quad (3.18)$$

$$F_{ax,t,d} = \min \begin{cases} \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot \begin{cases} F_{w,k} \\ F_{pull,k} \end{cases} \\ \frac{F_{t,k}}{\gamma_M} \end{cases} = \min \begin{cases} F_{w,d} \\ F_{pull,d} \\ F_{t,d} \end{cases} \quad (3.19)$$

Mit:

$$\gamma_M = 1,3 \text{ nach EC 5 NA Deutschland}$$

Für eine axial auf Druck beanspruchte Schraube ergibt sich der charakteristische Tragwiderstand $F_{ax,c,k}$ nach Gl. (3.20) und der Bemessungswert des Tragwiderstands $F_{ax,c,d}$ nach Gl. (3.21):

$$F_{ax,c,k} = \min \begin{cases} F_{w,k} \\ F_{c,k} \end{cases} \quad (3.20)$$

$$F_{ax,c,d} = \min \begin{cases} \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot F_{w,k} \\ \frac{F_{c,k}}{\gamma_{M1}} \end{cases} = \min \begin{cases} F_{w,d} \\ F_{c,d} \end{cases} \quad (3.21)$$

Mit:

$$\gamma_M = 1,3 \text{ nach EC 5 NA Deutschland und } \gamma_{M1} = 1,1 \text{ nach EC 3-1-1 NA Deutschland}$$

Der Bemessungswert des Tragwiderstands einer axial auf Zug ($F_{ax,t,d}$) bzw. axial auf Druck beanspruchten Schraube ($F_{ax,c,d}$) in einer Verbindung ist der Mindestwert des Widerstands in jedem Bauteil, welche die Schraube miteinander verbinden soll. Der Bemessungswert des Tragwiderstands der Schraube ist dabei der Minimalwert aller Versagensmechanismen, die sich für die betrachtete Verbindung einstellen können. Anzahl und Art der möglichen Versagensmechanismen ergeben sich in Abhängigkeit folgender Randparameter:

- Art der Verbindung wie z. B. Stahl-Holz- oder Holz-Holz- bzw. Holzwerkstoff-Holz-Verbindung
- Schraubentyp wie Teil- oder Vollgewinde
- Richtung der Beanspruchung, d.h. herausziehen oder hineindrücken der Schraube

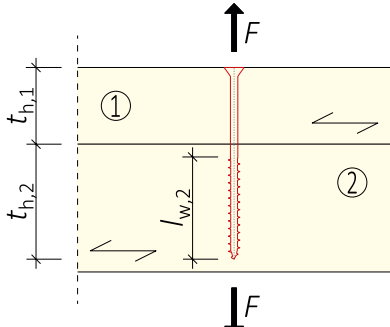
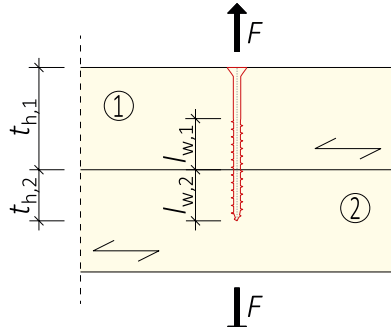
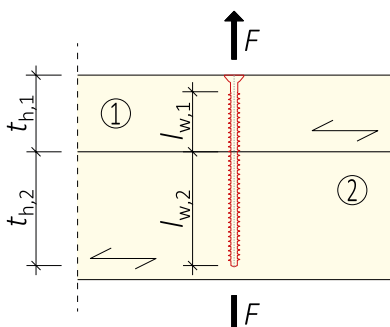
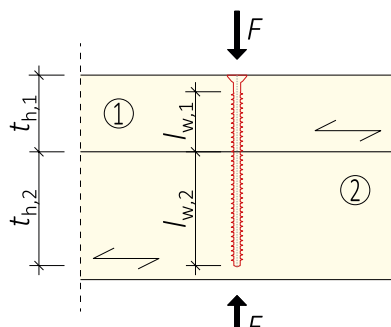
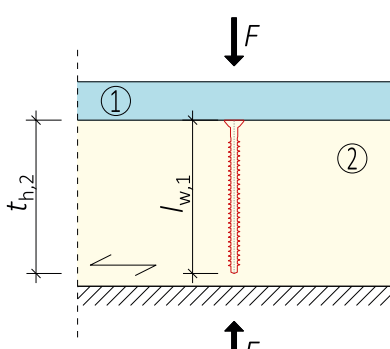
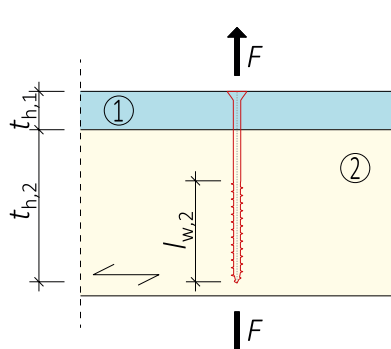
<p>Holz-Holz-Verbindung mit Teilgewindeschraube, Verankerungslänge $l_{w,1} = 0$</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Bauteil</th> <th>Bemessungswerte</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>$F_{t,d}, F_{pull,d}$</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>$F_{w,d}, F_{t,d}$</td> </tr> </tbody> </table>	Bauteil	Bemessungswerte	1	$F_{t,d}, F_{pull,d}$	2	$F_{w,d}, F_{t,d}$	<p>Holz-Holz-Verbindung mit Teilgewindeschraube, Verankerungslänge $l_{w,1} > 0$</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Bauteil</th> <th>Bemessungswerte</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>$F_{w,d}, F_{t,d}, F_{pull,d}$</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>$F_{w,d}, F_{t,d}$</td> </tr> </tbody> </table>	Bauteil	Bemessungswerte	1	$F_{w,d}, F_{t,d}, F_{pull,d}$	2	$F_{w,d}, F_{t,d}$
Bauteil	Bemessungswerte												
1	$F_{t,d}, F_{pull,d}$												
2	$F_{w,d}, F_{t,d}$												
Bauteil	Bemessungswerte												
1	$F_{w,d}, F_{t,d}, F_{pull,d}$												
2	$F_{w,d}, F_{t,d}$												
<p>Holz-Holz-Verbindung mit Vollgewindeschraube, Verankerungslänge $l_{w,1} > 0$</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Bauteil</th> <th>Bemessungswerte</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>$F_{w,d}, F_{t,d}$</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>$F_{w,d}, F_{t,d}$</td> </tr> </tbody> </table>	Bauteil	Bemessungswerte	1	$F_{w,d}, F_{t,d}$	2	$F_{w,d}, F_{t,d}$	<p>Holz-Holz-Verbindung mit Vollgewindeschraube, Verankerungslänge $l_{w,1} > 0$</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Bauteil</th> <th>Bemessungswerte</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>$F_{w,d}, F_{c,d}$</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>$F_{w,d}, F_{c,d}$</td> </tr> </tbody> </table>	Bauteil	Bemessungswerte	1	$F_{w,d}, F_{c,d}$	2	$F_{w,d}, F_{c,d}$
Bauteil	Bemessungswerte												
1	$F_{w,d}, F_{t,d}$												
2	$F_{w,d}, F_{t,d}$												
Bauteil	Bemessungswerte												
1	$F_{w,d}, F_{c,d}$												
2	$F_{w,d}, F_{c,d}$												
<p>Stahl-Holz-Verbindung mit Vollgewindeschraube, Verankerungslänge $l_{w,1} > 0$</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Bauteil</th> <th>Bemessungswerte</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>$F_{w,d}, F_{c,d}$</td> </tr> </tbody> </table>	Bauteil	Bemessungswerte	1	-	2	$F_{w,d}, F_{c,d}$	<p>Stahl-Holz-Verbindung mit Teilgewindeschraube, Verankerungslänge $l_{w,1} = 0$</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Bauteil</th> <th>Bemessungswerte</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>$F_{t,d}$</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>$F_{w,d}, F_{t,d}$</td> </tr> </tbody> </table>	Bauteil	Bemessungswerte	1	$F_{t,d}$	2	$F_{w,d}, F_{t,d}$
Bauteil	Bemessungswerte												
1	-												
2	$F_{w,d}, F_{c,d}$												
Bauteil	Bemessungswerte												
1	$F_{t,d}$												
2	$F_{w,d}, F_{t,d}$												

Bild 15: Übersicht möglicher Randparameter und der zugehörigen, erforderlichen Bemessungswerte.

3.7 Bemessungswerte der Tragfähigkeit von Verbindungen mit planmäßig ausschließlich axial beanspruchten Schrauben

3.7.1 Bemessungswert der Tragfähigkeit von Verbindungen mit axial auf Zug beanspruchten Schrauben

Der Bemessungswert der Tragfähigkeit einer Verbindung mit auf Zug beanspruchten Schrauben $F_{ax,t,Rd}$ ergibt sich allgemein aus:

$$F_{ax,t,Rd} = n_{ef} \cdot F_{ax,t,d} \quad (3.22)$$

Mit:

n_{ef} Wirksame Anzahl der Verbindungsmittel nach Abschnitt 3.7.3

$F_{ax,t,d}$ Bemessungswert des Tragwiderstands einer auf Zug beanspruchten Schraube nach Gl. (3.19)

3.7.2 Bemessungswert der Tragfähigkeit von Verbindungen mit axial auf Druck beanspruchten Schrauben

Der Bemessungswert der Tragfähigkeit einer Verbindung mit auf Druck beanspruchten Schrauben $F_{ax,c,Rd}$ ergibt sich allgemein aus:

$$F_{ax,c,Rd} = n_{ef} \cdot F_{ax,c,d} \quad (3.23)$$

Mit:

n_{ef} Wirksame Anzahl der Verbindungsmittel nach Abschnitt 3.7.3

$F_{ax,c,d}$ Bemessungswert des Tragwiderstands einer auf Druck beanspruchten Schraube nach Gl. (3.21)

3.7.3 Wirksame Anzahl der Verbindungsmittel

Bei axial beanspruchten Schrauben gelten für die wirksame Schraubenanzahl folgende Gleichungen:

Querzug-, Querdruk-, Schubverstärkungen und Lastdurchleitungen		
	$n_{ef} = n$	(3.24)
Kontinuierliche Verbindungen und kontinuierliche Lasteinleitungen (z. B. Trägerverstärkung, Aufdachdämmung)		
	$n_{ef} = n$	(3.25)
Holz-Holz- und Holzwerkstoff-Holz-Verbindungen		
Je Verbindungsmittelgruppe mit $n \leq 10$	$n_{ef} = n^{a), b)}$	(3.26)
Je Verbindungsmittelgruppe mit $n > 10$	$n_{ef} = 0,9 \cdot n$	(3.27)
Paarweise, sich kreuzende zug-/druckbeanspruchte Schrauben, wobei n_x die Anzahl der Schraubenkreuze bzw. -paare ist (mit $n_x > 10$)	$n_{ef} = n_x^{0,9}$	(3.28)
Stahlblech-Holz-Verbindungen		
Je VM-Gruppe mit $30^\circ \leq \delta \leq 60^\circ$ in Scherverbindungen mit geneigten, axial beanspruchten Schrauben	$n_{ef} = 0,9 \cdot n$	(3.29)
Für alle anderen Stahlblech-Holz-Verbindungen	$n_{ef} = n^{0,9}$	(3.30)

a) für paarweise, sich kreuzende zug-/druckbeanspruchte Schrauben gilt entsprechend (mit $n_x \leq 10$): $n_{ef} = n_x$

b) Bei Anwendung der Gleichung (3.26) ist ein zusätzlicher Nachweis auf Blockscheren zu führen. Falls Gleichung (3.27) für Verbindungsmittelgruppen $n \leq 10$ angewendet wird, kann auf den zusätzlichen Blockschernachweis verzichtet werden.

3.8 Mindestbauteilabmessungen und Mindestabstände für axial beanspruchte Schrauben

3.8.1 Allgemeines

Unabhängig ob Schrauben axial oder lateral beansprucht werden, hängen zulässige Bauteilabmessungen, Achs- und Randabstände vom Kraft-Faser-Winkel α , dem Holz bzw. Holzwerkstoff, der Geometrie der Schraubenspitze und davon ab, ob die Bauteile vor dem Einschrauben vorgebohrt sind.

Die Tabellen 30 bis 36 entsprechen den Angaben der ETA-11/0190.

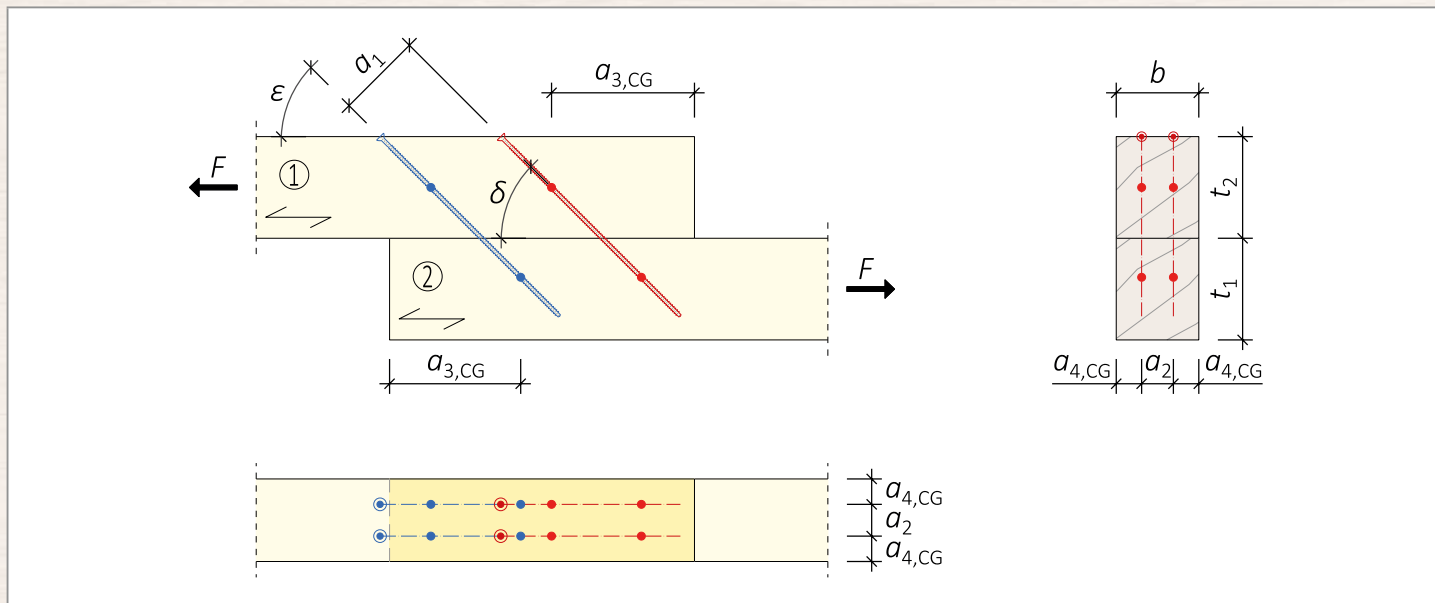


Bild 16: Mindestabstände und Winkelangaben für zur Faserrichtung geneigte Schrauben, $\delta = \varepsilon$.

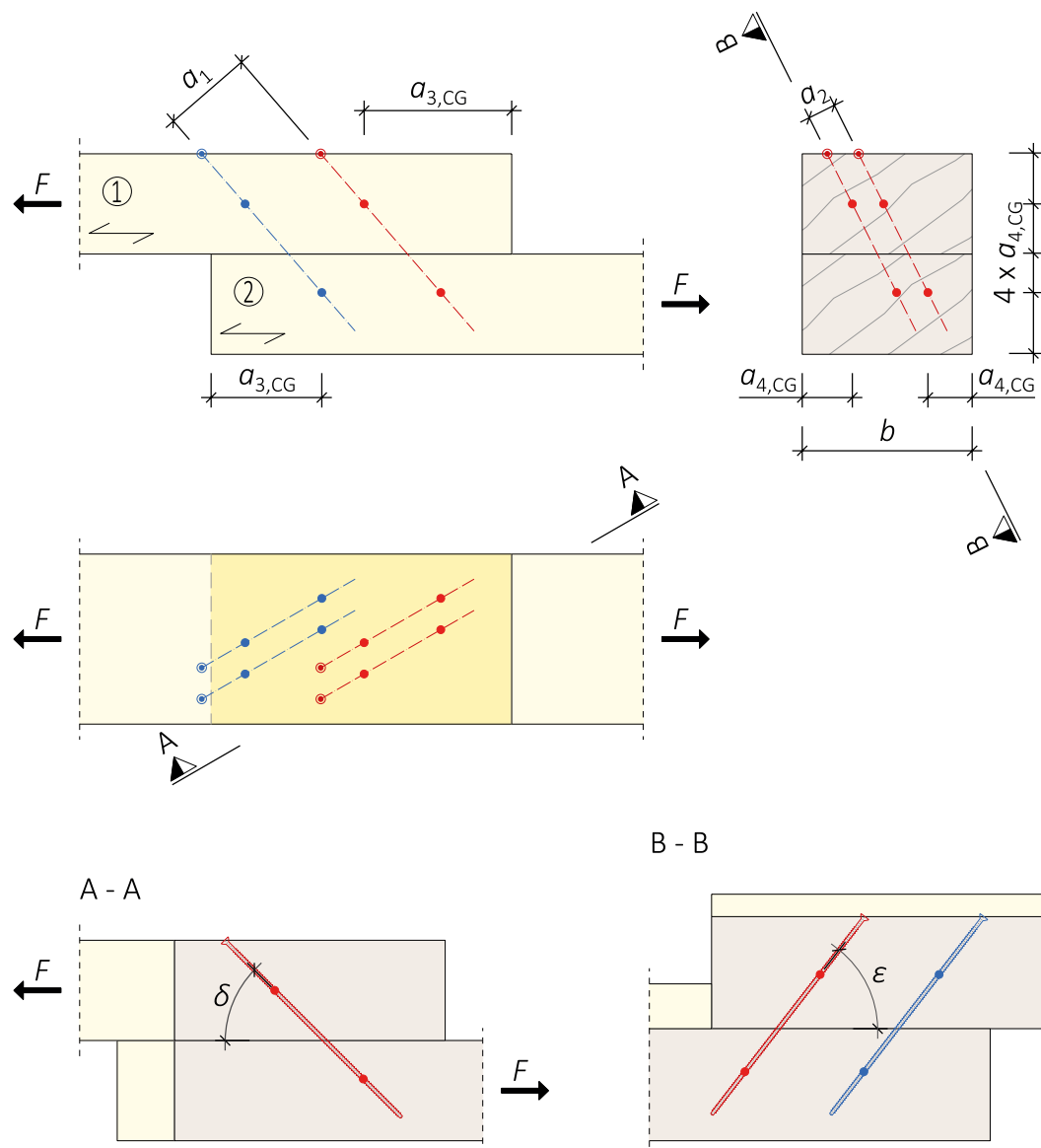


Bild 17: Mindestabstände und Winkelangaben für in zwei Richtungen geneigte Schrauben, $\delta \neq \epsilon$.

a_1	Mindestabstand zweier Verbindungsmittel parallel zur Faserrichtung
a_2	Mindestabstand zweier Verbindungsmittel rechtwinklig zur Faserrichtung
$a_{3,CG}$	Mindestabstand zwischen Rand und Schraubenschwerpunkt (Centre of Gravity) im Bauteil parallel zur Faserrichtung
$a_{4,CG}$	Mindestabstand zwischen Rand und Schraubenschwerpunkt (Centre of Gravity) rechtwinklig zur Faserrichtung
a_x	Mindestabstand zwischen zwei Schrauben eines Schraubenkreuzes
b	Bauteilbreite
t_1	Dicke von Bauteil 1
t_2	Dicke von Bauteil 2
F	Einwirkende Kraft
α	Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung
β	Winkel zwischen Schraubenachse und Deckfläche
δ	Winkel zwischen Schraubenachse und Scherfuge
ϵ	Winkel zwischen Schraubenachse und Faserrichtung
1	Bauteil 1 (in einer Verbindung)
2	Bauteil 2 (in einer Verbindung)

3.8.1.1 Mindestbauteildicken

Die erforderlichen Mindestabmessungen der Bauteile beim Einsatz von nicht vorgebohrten ASSY® Schrauben beziehen sich auf die Regelung des EC 5:

- Bauteile aus besonders spaltgefährdeten Holzarten (z. B. Weißtanne, Douglasie, u.a.) sollten vorgebohrt werden, wenn deren Dicke t kleiner ist als:

$$t = \max \left\{ \begin{array}{l} 14d \\ (13d - 30) \frac{\rho_k}{200} \end{array} \right. \quad (3.31)$$

- Für Holzprodukte aus Kiefer oder Holzprodukte aus anderen Holzarten mit Randabständen $a_{4,CG} \geq 10 d$ mit $\rho_k \leq 420 \text{ kg/m}^3$ bzw. mit $a_{4,CG} \geq 14 d$ mit $420 \text{ kg/m}^3 < \rho_k \leq 500 \text{ kg/m}^3$ sollten vorgebohrt werden, wenn deren Dicke t kleiner ist als:

$$t = \max \left\{ \begin{array}{l} 7d \\ (13d - 30) \frac{\rho_k}{400} \end{array} \right. \quad (3.32)$$

Siehe auch Tabelle 30 und 31, weniger/besonders spaltgefährdete Holzart.

Die Regelung gemäß Gl. (3.32) darf ebenso für die Befestigung von Schalungen, Trag- oder Konterlattungen und für die Zwischenanschlüsse von Windrispen sowie von Querriegeln auf Rahmenhölzern für alle Holzarten angewendet werden, wenn diese Bauteile mit mindestens zwei Schrauben angeschlossen sind.

Tabelle 27: Mindestbauteildicken bei Einsatz von ASSY®plus Schrauben, **nicht** vorgebohrt.

Gewindeaußendurchmesser d in mm	≤ 6	8	10	12	14
Mindestbauteildicke t_{\min} in mm	24	30	40	80	100
Regelwerk: ETA-11/0190					

Die Mindestbauteildicken nach Tabelle 27 gelten auch für **nicht** vorgebohrte ASSY® Schrauben wenn der Abstand der Schrauben untereinander, in Faserichtung sowie zum Hirnholze mindestens $25 \cdot d$ beträgt.

Für Holzwerkstoffplatten sowie für Furnierschichtholz mit Querlagen (LVL-C) ist diese Regel nicht anwendbar.

Unter Einsatz planmäßig ausschließlich axial beanspruchter Schrauben und Ansatz der verringerten Mindestabstände ($a_1 = 5 \cdot d$; $a_2 = 2,5 \cdot d$; $a_{3,CG} = 5 \cdot d$; $a_{4,CG} = 3 \cdot d$; $a_1 \cdot a_2 = 25 \cdot d^2$), gelten für die Mindestwerte der Bauteildicke und -breite die Werte gemäß Tabelle 28 und 29.

Tabelle 28: Mindestbauteildicke und -breite für **Bauteile aus Vollholzprodukten** (SWB) bei Einsatz von ASSY®plus Schrauben.

Gewindeaußendurchmesser d in mm	6	8	10	12	14
Mindestbauteildicke t_{\min} in mm	60	80	100	120	140
Mindestbauteildicke b_{\min} in mm	60	64	80	96	112
Regelwerk: ETA-11/0190					

Tabelle 29: Mindestbauteildicke und -breite für **Bauteile aus Furnierschichtholz** (LVL) **aus Nadelholz** bei Einsatz von ASSY®plus Schrauben.

Gewindeaußendurchmesser d in mm	6	8	10	12	14
Mindestbauteildicke t_{\min} in mm	36	48	60	72	84
Mindestbauteildicke b_{\min} in mm	60	64	80	96	112
Regelwerk: ETA-11/0190					

3.8.1.2 Mindestachs- und Randabstände

Die erforderlichen Mindestabstände von axial beanspruchten Schrauben beziehen sich immer auf den Gewindeschwerpunkt der Schrauben in dem betrachteten Bauteil (siehe Bild 16).

Es gelten die Abstände nach EC 5 (in den Tabellen 30 bis 33 sind das die Abstände in den Spalten zwei und drei).

Bei ASSY®plus Schrauben oder in Vollholzprodukten (SWB) oder Furnierholzprodukten (VB) sind verringerte Achsabstände zwischen den axial beanspruchten Schrauben zulässig (siehe Tabelle 30 bis 33, Abstände Spalte eins). Dabei müssen folgende Bedingungen zwingend eingehalten werden:

1. $a_1 \geq 5 \cdot d$
2. $a_2 \geq 2,5 \cdot d$ und
3. $a_1 \cdot a_2 \geq 25 \cdot d^2$

Bei sich kreuzenden Schrauben, die in Vollholzprodukte (SWB) oder Furnierholzprodukte (VB) eingedreht werden, ist ein Mindestabstand der Schrauben von $a_x = 1,5 \cdot d$ im Kreuzungspunkt zu gewährleisten. Durch geeignete Maßnahmen ist sicherzustellen, dass eine Kollision der Schrauben beim Eindrehen vermieden wird.

3.8.2 Mindestabstände und Mindestbauteilmaße für axial beanspruchte Schrauben in Bauteilen aus Vollholz (ST/FST)

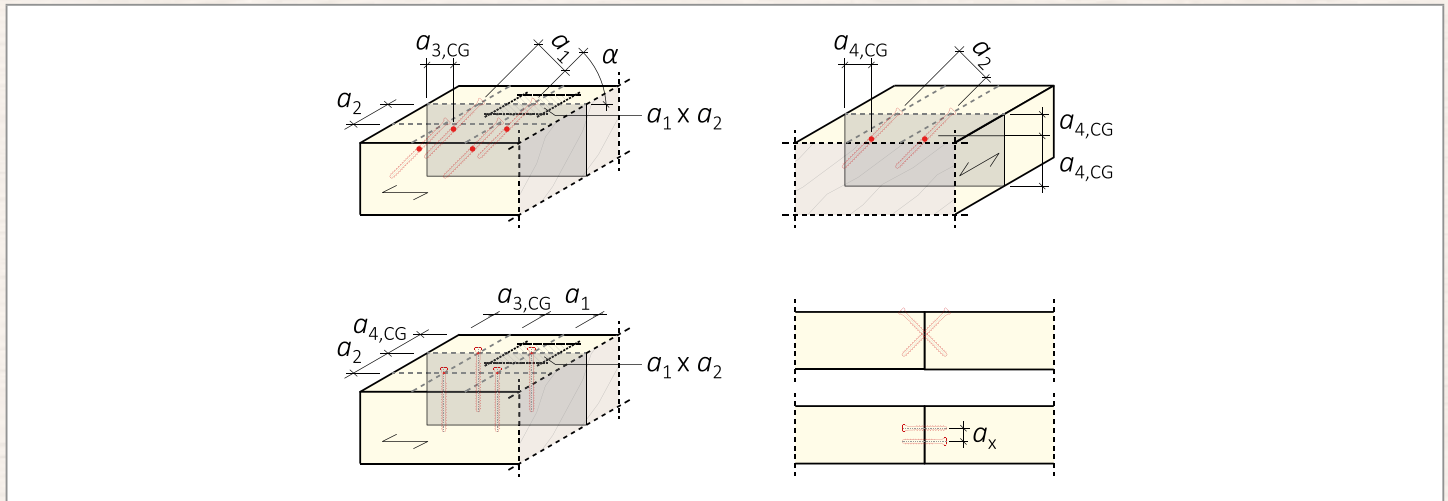


Bild 18: Abstände und Winkel in Vollholz (ST/FST).

Tabelle 30: Mindestabstände und Mindestbauteilabmessungen für axial beanspruchte Schrauben in **Vollholz** (ST/FST), **Balkenschichtholz** (GST) oder **Brettschichtholz** (GL) mit $\rho_k \leq 420 \text{ kg/m}^3$.

	ASSY®plus: nicht vorgebohrt	ASSY®plus: nicht vorgebohrt ASSY®: vorgebohrt	ASSY®: nicht vorgebohrt												
a_1	5 d	$(4 + \cos \alpha) d$	$k_a (5 + 7 \cos \alpha) d^{a)}$												
a_2	2,5 d	$(3 + \sin \alpha) d$	5 d												
$a_{3,CG}$	5 d	7 d	$k_a 10 d^{a)}$												
$a_{4,CG}$	3 d	3 d	5 d 10 d ^{b)}												
$a_1 \times a_2$	25 d ²	keine Vorgaben	keine Vorgaben												
a_x	1,5 d	1,5 d	1,5 d												
Mindestbauteilabmessungen für unterschiedliche Gewindeaußendurchmesser d															
d	6	8	10	12	14	6	8	10	12	14	6	8	10	12	14
t _{min}	60	80	100	120	140	24	30	40	80	100					
b _{min}	60	64	80	96	112										
Weniger spaltgefährdete Holzart. Nach NDP zu 8.3.1.2(7) gültig für Kiefer (Pinus sylvestris) ^{c)}															
t _{min} (ρ _k = 350 kg/m³)											42	65	88	110	133
t _{min} (ρ _k = 420 kg/m³)											50	78	105	132	160
Besonders spaltgefährdete Holzarten. Nach NDP zu 8.3.1.2(7) gültig für alle Holzarten ^{c)} außer Kiefer															
t _{min} (ρ _k = 350 kg/m³)											84	130	175	221	266
t _{min} (ρ _k = 420 kg/m³)											101	155	210	265	320
Tabellenwerte in mm. Angaben gelten auch in Verbindungen zwischen Vollholz (ST/FST), Balkenschichtholz (GST) oder Brettschichtholz (GL) mit Holzwerkstoffen nach Tabelle 14 oder mit Stahlblechen															
^{a)} Allgemein $k_a = 1,0$, für Douglasie gilt $k_a = 1,5$															
^{b)} Mindestwert für Bauteile aus besonders spaltgefährdeten Holzarten, bei denen die Regeln der Mindestholzdicken für weniger spaltgefährdetes Holz (Kiefer) angewendet werden können.															
^{c)} Für andere charakteristische Rohdichten siehe Abschnitt 3.8.1															
Regelwerk: ETA-11/0190, EC 5 (Abstände in Spalte 2 und 3, auf ρ _k bezogene t _{min})															

Tabelle 31: Mindestabstände und Mindestbauteilabmessungen für axial beanspruchte Schrauben in **Vollholz** (ST/FST), **Balkenschichtholz** (GST) oder **Brettschichtholz** (GL) mit $\rho_k > 420 \text{ kg/m}^3$.

	ASSY®plus: nicht vorgebohrt $\rho_k > 500 \text{ kg/m}^3$: immer vorgebohrt	ASSY®plus: nicht vorgebohrt ASSY®: vorgebohrt $\rho_k > 500 \text{ kg/m}^3$: immer vorgebohrt	ASSY®: nicht vorgebohrt $420 \text{ kg/m}^3 < \rho_k \leq 500 \text{ kg/m}^3$												
a_1	$5 d$	$(4 + \cos \alpha) d$	$k_a (7 + 8 \cos \alpha) d^{a)}$												
a_2	$2,5 d$	$(3 + \sin \alpha) d$	$7 d$												
$a_{3,CG}$	$5 d$	$7 d$	$k_a 15 d^{a)}$												
$a_{4,CG}$	$3 d$	$3 d$	$7 d$ $14 d^{b)}$												
$a_1 \times a_2$	$25 d^2$	keine Vorgaben	keine Vorgaben												
a_x	$1,5 d$	$1,5 d$	$1,5 d$												
Mindestbauteilabmessungen für unterschiedliche Gewindeaußendurchmesser d															
d	6	8	10	12	14	6	8	10	12	14	6	8	10	12	14
t_{\min}	60	80	100	120	140	24	30	40	80	100					
b_{\min}	60	64	80	96	112										
Weniger spaltgefährdete Holzart. Nach NDP zu 8.3.1.2(7) gültig für Kiefer (Pinus sylvestris) ^{c)}															
$t_{\min} (\rho_k = 425 \text{ kg/m}^3)$											51	79	106	134	162
$t_{\min} (\rho_k = 500 \text{ kg/m}^3)$											60	93	125	158	190
Besonders spaltgefährdete Holzarten. Nach NDP zu 8.3.1.2(7) gültig für alle Holzarten ^{c)} außer Kiefer															
$t_{\min} (\rho_k = 425 \text{ kg/m}^3)$											102	157	212	268	323
$t_{\min} (\rho_k = 500 \text{ kg/m}^3)$											120	185	250	315	380
Tabellenwerte in mm. Angaben gelten auch in Verbindungen zwischen Vollholz (ST/FST), Balkenschichtholz (GST) oder Brettschichtholz (GL) mit Holzwerkstoffen nach Tabelle 14 oder mit Stahlblechen															
^{a)} Allgemein $k_a = 1,0$, für Douglasie gilt $k_a = 1,5$															
^{b)} Mindestwert für Bauteile aus besonders spaltgefährdeten Holzarten, bei denen die Regeln der Mindestholzdicken für weniger spaltgefährdetes Holz (Kiefer) angewendet werden können.															
^{c)} Für andere charakteristische Rohdichten siehe Abschnitt 3.8.1															
Regelwerk: ETA-11/0190, EC 5 (Abstände in Spalte 2 und 3, auf ρ_k bezogene t_{\min})															

3.8.3 Mindestabstände und Mindestbauteilmaße für axial beanspruchte Schrauben in Bauteilen aus Furnierschichtholz (LVL) aus Nadelholz

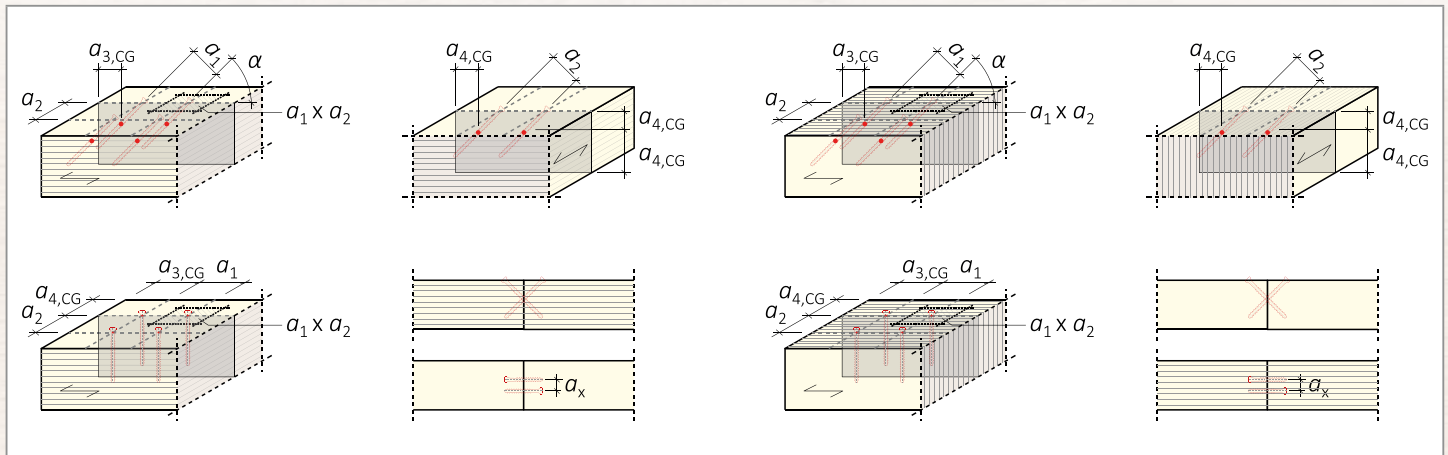


Bild 19: Abstände und Winkel in Furnierschichtholz (LVL) aus Nadelholz bei Montage in der Deckfläche (links, $\beta = 90^\circ$) und in der Schmalfläche (rechts, $\beta = 0^\circ$).

Tabelle 32: Mindestabstände und Mindestbauteilabmessungen für axial beanspruchte Schrauben in **Furnierschichtholz (LVL) aus Nadelholz** nach DIN EN 13986, DIN EN 14279 und DIN EN 14374.

	ASSY®plus: nicht vorgebohrt	ASSY®plus: nicht vorgebohrt ASSY®: vorgebohrt	ASSY®: nicht vorgebohrt												
a_1	5 d	$(4 + \cos \alpha) d$	$(5 + 7 \cos \alpha) d$												
a_2	2,5 d	$(3 + \sin \alpha) d$	5 d												
$a_{3,CG}$	5 d	7 d	10 d ^{a)}												
$a_{4,CG}$	3 d	3 d	5 d ^{a)}												
$a_1 \times a_2$	25 d ²	keine Vorgaben	keine Vorgaben												
a_x	1,5 d	1,5 d	1,5 d												
Mindestbauteilabmessungen für unterschiedliche Gewindeaußendurchmesser d															
d	6	8	10	12	14	6	8	10	12	14	6	8	10	12	14
t _{min}	36	48	60	72	84	24	30	40	80	100	72 ^{b)}	96 ^{b)}	120 ^{b)}	144 ^{b)}	168 ^{b)}
b _{min}	60	64	80	96	112										
Tabellenwerte in mm. Angaben gelten auch in Verbindungen zwischen Furnierschichtholz mit Holzwerkstoffen nach Tabelle 14 oder mit Stahlblechen. Bauteile mit charakteristischen Rohdichten $\rho_k > 500 \text{ kg/m}^3$ müssen vor Eindrehen der Schrauben vorgebohrt werden. ^{a)} bei LVL-C nach Bauartgenehmigung Z-9.1-890 darf $a_{3,CG}$ zu 5d und $a_{4,CG}$ zu 3d gesetzt werden. ^{b)} $t_{\min} = 12 \cdot d$. Für LVL-S nach Z-9.1-847 gilt: Für nicht vorgebohrte Schrauben des Typs ASSY® bei Anordnung in der Deckfläche $t_{\min} = \max\{(12d - 36\text{mm}); 5d\}$															
Regelwerk: ETA-11/0190, EC 5 (Abstände in Spalte 2 und 3)															

3.8.4 Mindestabstände und Mindestbauteilmaße für axial beanspruchte Schrauben in Brett-schichtholz aus Furnierschichtholz (GLVL) aus Buche nach ETA-14/0354

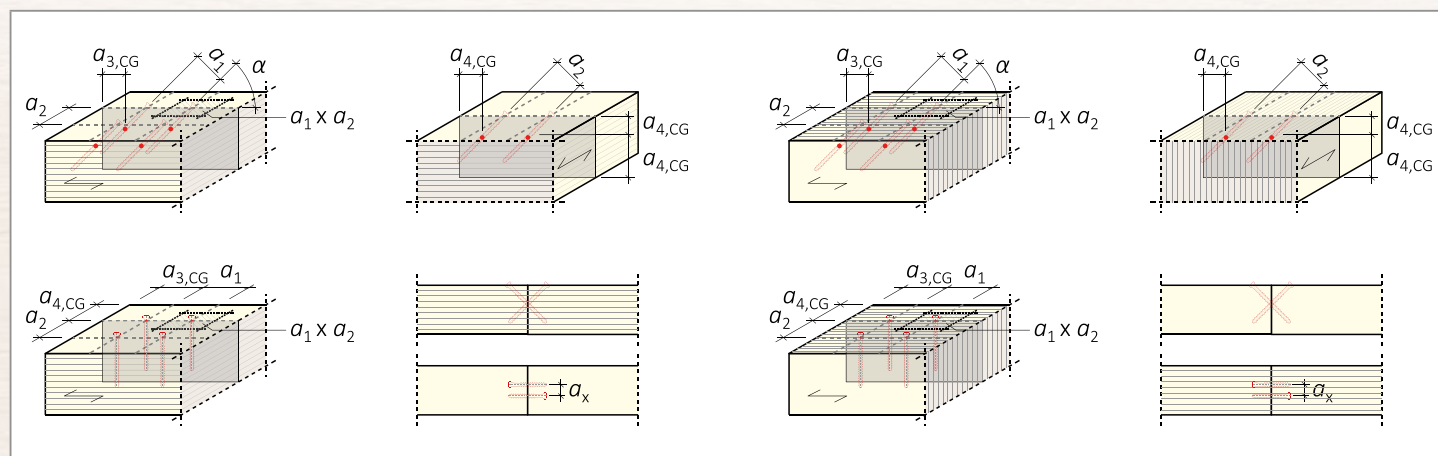


Bild 20: Abstände und Winkel in Furnierschichtholz (LVL) aus Buche bei Montage in der Deckfläche (links, $\beta = 90^\circ$) und in der Schmalfläche (rechts, $\beta = 0^\circ$).

Tabelle 33: Mindestabstände und Mindestbauteilabmessungen für axial beanspruchte Schrauben in Brett-schichtholz aus Furnierschichtholz (GLVL) aus Buche (ETA-14/0354).

	ASSY®plus: vorgebohrt	ASSY®plus: vorgebohrt ASSY®: vorgebohrt	ASSY®plus: nicht vorgebohrt ASSY®: nicht vorgebohrt										
a_1	5 d	$(4 + \cos \alpha) d$	$(7 + 8 \cos \alpha) d$										
a_2	2,5 d	$(3 + \sin \alpha) d$	7 d										
$a_{3,CG}$	5 d	7 d	15 d										
$a_{4,CG}$	3 d	3 d	7 d										
$a_1 \times a_2$	25 d^2	keine Vorgaben	keine Vorgaben										
a_x	1,5 d	1,5 d	1,5 d										
Mindestbauteilabmessungen für unterschiedliche Gewindeaußendurchmesser d													
d	6	8	10	12	14	6	8	10	12	6	8	10	12
t_{\min}	60	80	100	120	140	42 ^{a)}	56 ^{a)}	70 ^{a)}	84 ^{a)}	42 ^{a)}	56 ^{a)}	70 ^{a)}	84 ^{a)}
b_{\min}	60	64	80	96	112								
Tabellenwerte in mm. Angaben gelten auch in Verbindungen zwischen GLVL aus Buche mit Holzwerkstoffen nach Tabelle 14 oder mit Stahlblechen. ^{a)} Mindestdicken $t \geq 7 d$ gültig für $5 \leq d \leq 12$, Typ S; für Typ Q ist keine Mindestdicke erforderlich.													
Regelwerk: ETA-11/0190, EC 5 (Abstände in Spalte 2 und 3)													

Die Einschraubtiefe ohne Vorbohren in GLVL aus Buche (ETA-14/0354) ist begrenzt. In Tabelle 34 sind maximal zulässige Einbindetiefen des Gewindebereichs der Schraube $l_{w,max}$ angegeben, die ohne Vorbohren eingeschraubt werden dürfen.

Tabelle 34: Maximal zulässige Einbindetiefe des Gewindebereichs $l_{w,max}$ ohne Vorbohren.

	ASSY®plus				ASSY®					
Gewindeaußendurchmesser d in mm	6	8	10	12	5	6	7	7,5	8	10
Einbindetiefe $l_{w,max}$ in mm	30	48	80	96	50	60	70	75	80	100

Regelwerk: ETA-11/0190

3.8.5 Mindestabstände und Mindestbauteilmaße für axial beanspruchte Schrauben in Brettsperrholz (CLT)

Sofern den Zulassungen der Brettsperrholzhersteller keine anderslautenden Angaben zu entnehmen sind, gelten die Mindestwerte für Achs- und Randabstände für Schrauben in Brettsperrholz (CLT) nach Tabelle 35. Für die Definition der Faserrichtung ist die Faserrichtung der Decklage zugrunde zu legen. Die Mindestabstände in den Schmalfächen sind unabhängig vom Winkel zwischen Schraubenachse und Faserrichtung.

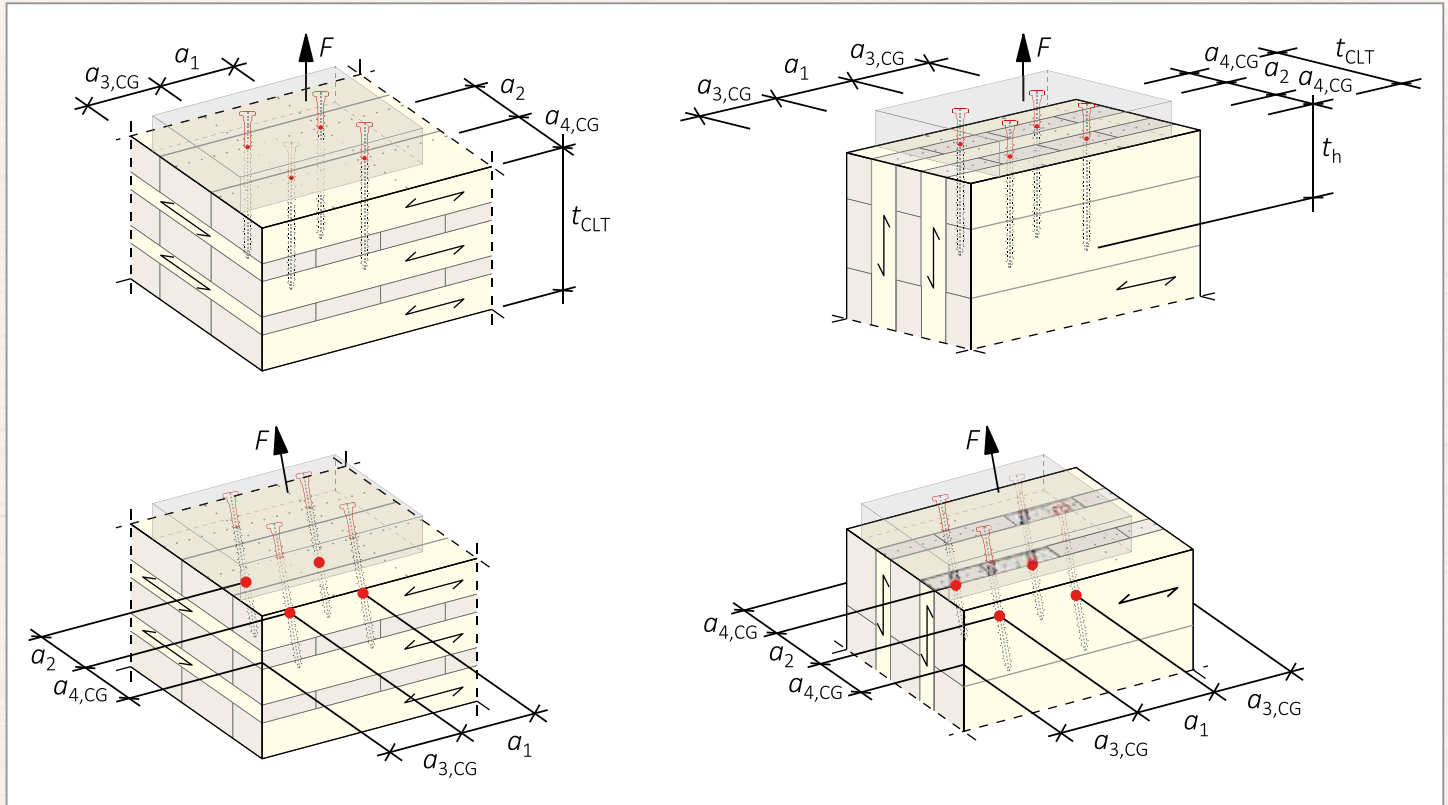


Bild 21: Abstände und Formelzeichen in Brettsperrholz (CLT) Seitenfläche (links) und Schmalfäche (rechts).

Tabelle 35: Mindestabstände bei der Verschraubung in die Seitenflächen oder Schmalfächen von **Brettsperrholz (CLT) aus Nadelholz**.

	ASSY®plus: nicht vorgebohrt ASSY®: nicht vorgebohrt									
	Seitenfläche					Schmalfäche				
a_1	$4 d$					$10 d$				
a_2	$2,5 d$					$4 d$				
$a_{3,CG}$	$6 d$					$7 d$				
$a_{4,CG}$	$2,5 d$					$3 d$				
$a_1 \times a_2$	keine Vorgabe					keine Vorgabe				
a_x	$1,5 d$					$1,5 d$				
Mindestbauteildicken t_{CLT} und -einbindetiefen t_h für unterschiedliche Gewindeaußendurchmesser d										
d	6	8	10	12	14	6	8	10	12	14
t_{CLT}	60	80	100	120	140	60	80	100	120	140
t_h	keine Vorgaben					60	80	100	120	140
Tabellenwerte in mm. Angaben gelten auch in Verbindungen zwischen Brettsperrholz (CLT) und Stahlblechen. Schrauben in der Schmalfäche, die nur in der äußersten Lage (Decklage) einbinden, sind nicht zulässig. Bei doppelten Randlagen (zwei gleichgerichtete Randlagen) zählt die innere Randlage als eigene Lage. Ergänzende Regelung „Definierte Position in inneren Brettlagen“ in Abschnitt 3.3.										
Regelwerk: ETA-11/0190										

3.8.6 Mindestabstände und Mindestbauteilmaße für faserparallel im Hirnholz von Vollholzprodukten (SWB) und Furnierschichtholz (LVL) angeordnete Schrauben

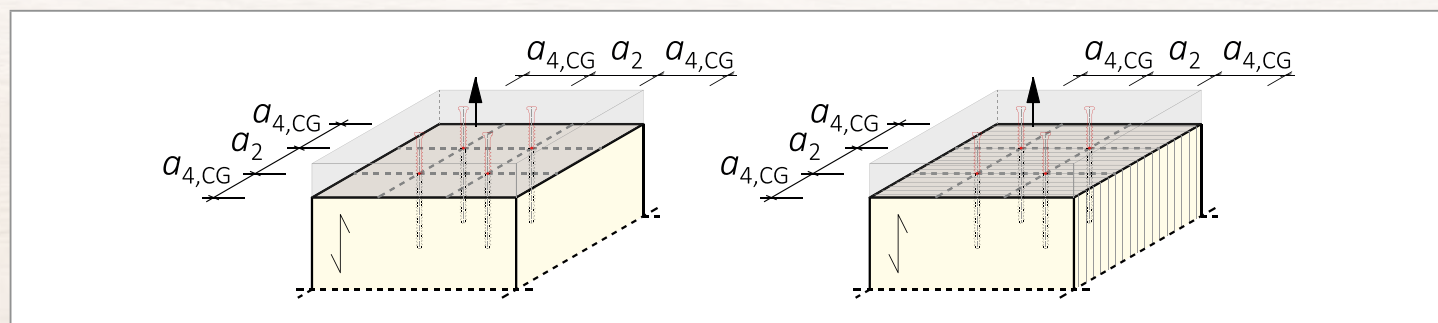


Bild 22: Definition der Rand- und Achsabstände von Schrauben mit faserparalleler Anordnung im Hirnholz ($\varepsilon = 0^\circ$) von Vollholzprodukten (links) und Furnierschichtholz (rechts).

Tabelle 36: Mindestabstände für axial beanspruchte Schrauben in Hirnholzflächen mit Winkel zwischen Schraubenachse und Faserrichtung $\varepsilon = 0^\circ$, Bauteile aus **Vollholz** (ST/FST), **Balkenschichtholz** (GST), **Brettschichtholz** (GL) oder **Furnierschichtholz** (LVL).

	ASSY®plus: nicht vorgebohrt ^{a)} ASSY®: vorgebohrt		ASSY®: nicht vorgebohrt		
			$\rho_k \leq 420 \text{ kg/m}^3$	$420 \text{ kg/m}^3 < \rho_k \leq 500 \text{ kg/m}^3$	
a_2	3 d		5 d	7 d	
$a_{4,CG}$	3 d		5 d	7 d	
Mindesteinbindetiefen t_h für unterschiedliche Gewindeaußendurchmesser d					
d	6	8	10	12	14
t_h	120	160	200	240	280
Tabellenwerte in mm. Angaben gelten auch in Verbindungen zwischen Vollholz (ST/FST), Balkenschichtholz (GST) oder Brettschichtholz (GL) mit Holzwerkstoffen nach Tabelle 14 oder mit Stahlblechen. ^{a)} Bauteile mit einer charakteristischen Rohdichte $\rho_k > 500 \text{ kg/m}^3$ müssen generell vorgebohrt werden.					
Regelwerk: ETA-11/0190, vergleiche EC 5 (Tabelle 8.2)					

3.9 Durch Schrauben induzierte Versagensmechanismen an den beteiligten Bauteilen – Blockscheren

Ein Blockscherversagen quer zur Faserrichtung, bei dem ein von einer Schraubengruppe umgriffener Block aus der Holzmatrix herausgezogen wird, kann auftreten. Blaß und Flaig (2019) haben gezeigt, dass ein solches Versagen durch die Abminderung der wirksamen Schraubenanzahl auf $n_{ef} < n$ (vgl. Abschnitt 3.7.3) mit abgedeckt ist und somit nicht berücksichtigt werden muss. Wird die effektive Schraubenanzahl als $n_{ef} = n$ angesetzt, ist dieses Versagen jedoch zu berücksichtigen.

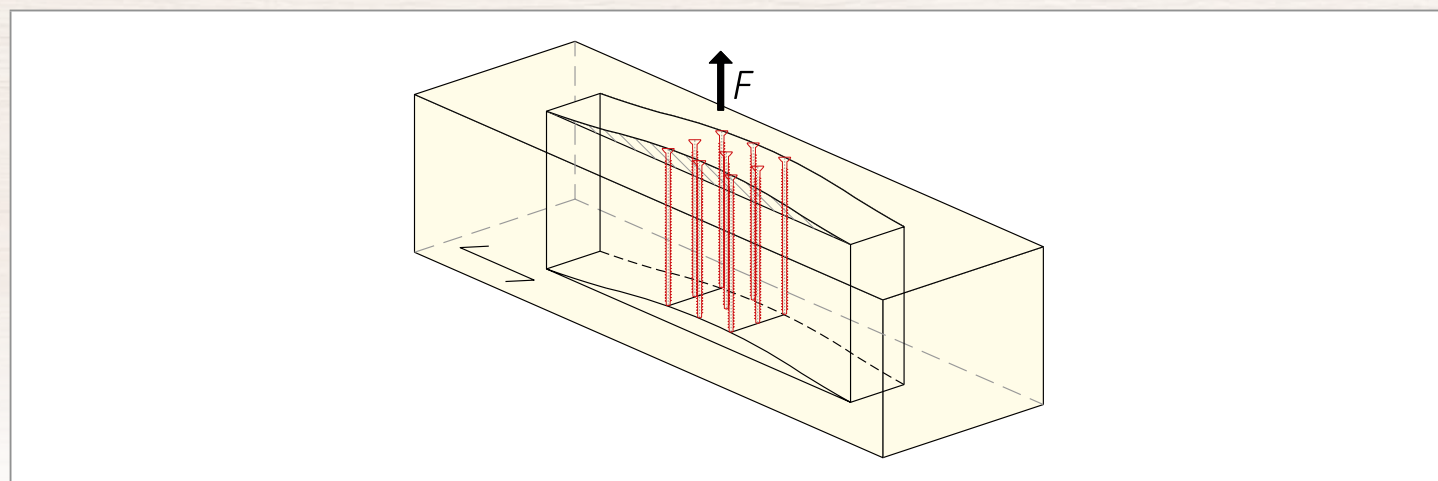


Bild 23: Blockscherversagen bei axial beanspruchten, geschraubten Verbindungen.

Werden jedoch schräg eingedrehte Schrauben im Einflussbereich des Hirnholzendes in Richtung des Hirnholzes beansprucht, kann ein von diesen Schrauben umgriffener Block herausgezogen werden, siehe Bild 24. Die geneigten Schrauben bilden dabei kein Fließgelenk aus, so dass die zur Scherfuge senkrecht projizierte Einschraubtiefe t_1 gleich der wirksamen Einbindetiefe t_{ef} gesetzt wird. Um diesen Versagensmechanismus zu verhindern, muss für das Bauteil die charakteristische Blockschertragfähigkeit $F_{bs,ax,Rk}$ nachgewiesen werden:

$$F_{bs,ax,Rk} = \max \begin{cases} 0,7 \cdot A_{net,v} \cdot f_{v,k} \\ 1,5 \cdot A_{net,t} \cdot f_{t,0,k} \end{cases} \quad (3.33)$$

Mit:

$f_{v,k}$ Charakteristischer Wert der Schubfestigkeit des Holzes
 $f_{t,0,k}$ Charakteristischer Wert der Zugfestigkeit des Holzes parallel zur Faserrichtung

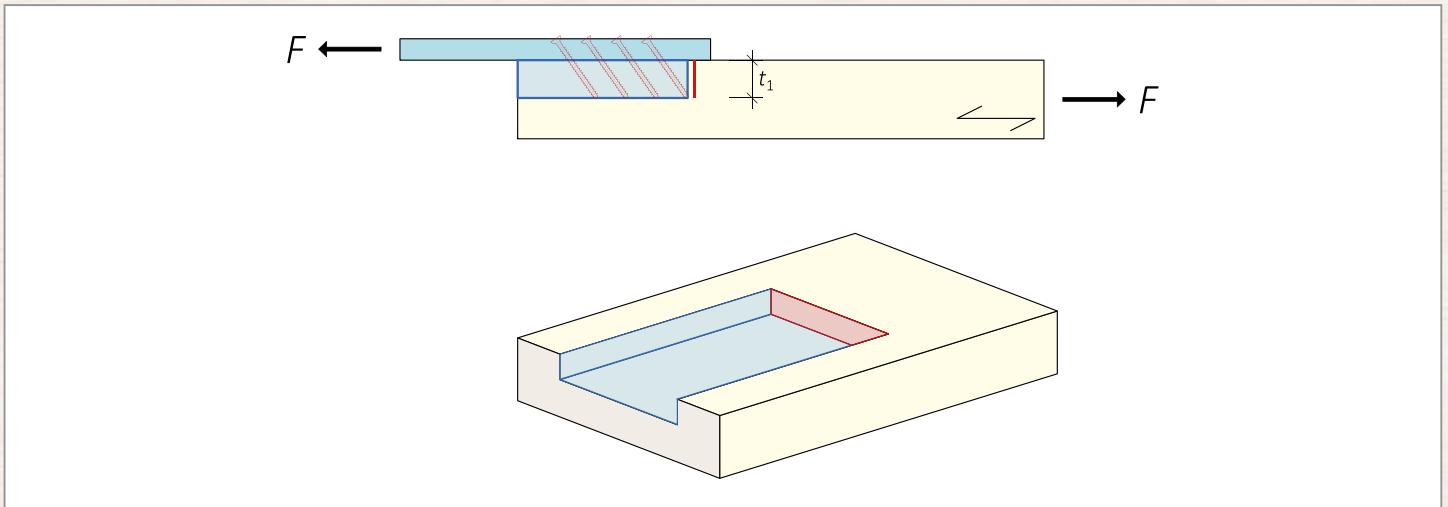


Bild 24: Blockscherversagen bei Zugscherverbindungen (Fall 2).

Analog zum Blockscherversagen nach EC 5 für lateral beanspruchte Verbindungsmittel (siehe Kapitel 4.8) ist die charakteristische Blockschertragfähigkeit für zwei unterschiedliche Fälle zu ermitteln. Der Fall mit der geringeren Blockschertragfähigkeit ist maßgebend. Für Fall 1 (Versagen über die gesamte Querschnittshöhe) werden die Nettoscherfläche $A_{net,v}$ nach Gl. (4.26) und die Nettozugfläche $A_{net,t}$ nach Gl. (4.27) ermittelt. Für Fall 2 (Versagen über einen Teil der Querschnittshöhe) werden die Nettoscherfläche $A_{net,v}$ nach Gl. (3.34) und die Nettozugfläche $A_{net,t}$ nach Gl. (3.35) berechnet. Zur Bestimmung der entsprechenden Abmessungen ist Bild 25 zu verwenden.

$$A_{net,v} = (2 \cdot t_1 + b_1) \cdot \left(l_v + \sum_i \left(\frac{a_{1,i}}{\sin \delta} \right) \right) + b_1 \cdot 0,5 \cdot l_w \cdot \cos \delta \quad (3.34)$$

$$A_{net,t} = t_1 \cdot b_1 \quad (3.35)$$

Mit:

$b_1 = \sum_{i=1}^n a_{2,i} - \sum_{i=1}^{n-1} d$ Nettobreite des Anschlusses
 $t_1 = l_w \cdot \sin \delta$ Einbindetiefe senkrecht zur Scherfuge projiziert
 $l_v = a_{3,CG,ist}$ Abstand zwischen Rand und Schraubenschwerpunkt der ersten Schraubenreihe im Holz parallel zur Faserrichtung
 $\sum_i a_{1,i}$ Summe der i Abstände zwischen Schrauben parallel zur Faserrichtung
 l_w Verankerungslänge des Gewindebereichs einer Schraube
 δ Winkel zwischen Schraubenachse und Scherfuge
 $\sum_{i=1}^n a_{2,i}$ Summe der n Abstände zwischen Schrauben quer zur Faserrichtung
 $\sum_{i=1}^{n-1} d$ Summe der $(n-1)$ Gewindeaußendurchmesser der Schrauben

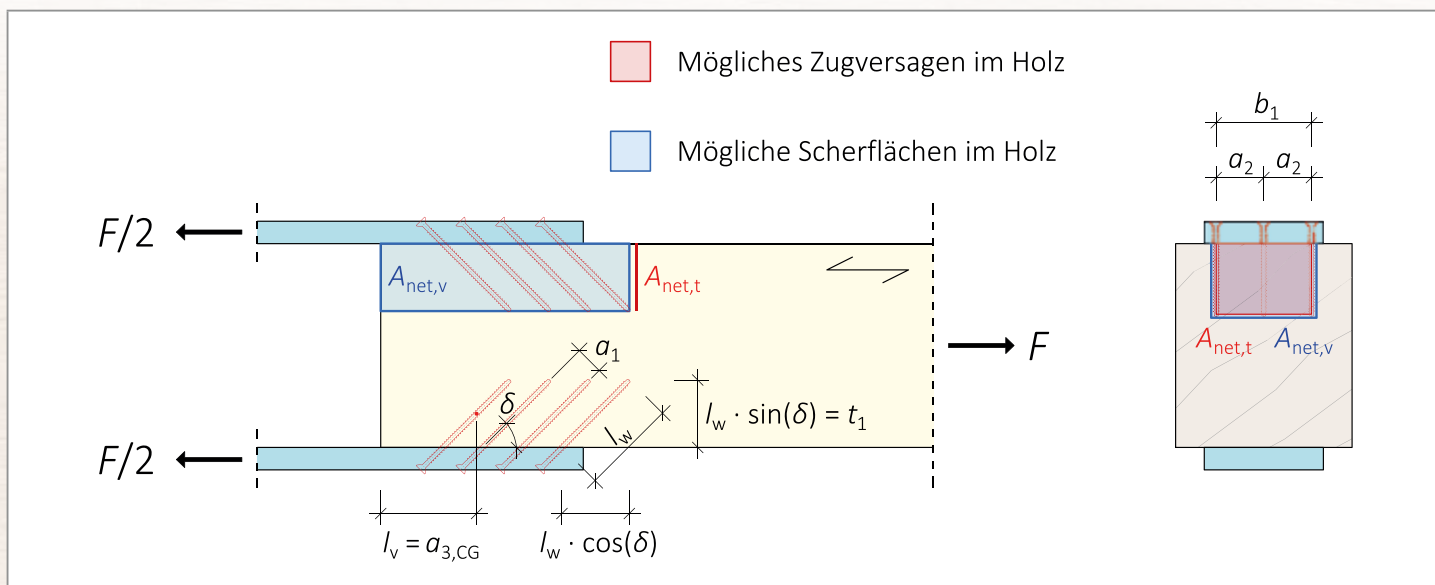


Bild 25: Mitwirkende Flächen für den Nachweis auf Blockscheren bei Scherverbindungen mit geneigten, axial beanspruchten Schrauben.

3.10 Bemessung axial beanspruchter Schrauben unter Brandbeanspruchung

Die Bemessung von Verbindungen mit axial beanspruchten Schrauben unter Brandbeanspruchung erfolgt entkoppelt vom Brandverhalten der Bauteile. Die verbleibende Resttragfähigkeit der Schrauben im Brandfall ist ausschließlich von den Abständen der Schrauben vom Bauteilrand abhängig. Fugen müssen geschlossen sein oder wie Ränder betrachtet werden.

Auf Herausziehen beanspruchte Schrauben sind generell vor einer direkten Brandbeanspruchung zu schützen (Versenken oder Abdecken mit Holz, Holzwerkstoffen oder sonstigen geeigneten Materialien) bzw. sollten mit ausreichend Abstand zu den angrenzenden Bauteilrändern geplant und eingebracht werden. Der Bemessungswert des axialen Tragwiderstands im Brandfall $F_{ax,t,d,fi}$ kann nach Gl. (3.36) berechnet werden. Dieser Ansatz gilt für in diesem Dokument geregelte Schraubendurchmesser und Schraubenkopfformen in Holzwerkstoffen nach Tabelle 50.

$$F_{ax,t,d,fi} = \eta \cdot \frac{F_{ax,t,R20}}{\gamma_{M,fi}} \quad (3.36)$$

Mit:

η Abminderungsfaktor, siehe Gl. (3.38)
 $F_{ax,t,R20}$ 20 %-Fraktilwert des Tragwiderstands einer Schraube

$$F_{ax,t,R20} = k_{fi} \cdot F_{ax,t,k} \quad (3.37)$$

Mit:

k_{fi} Umrechnungsfaktor von 5 %-Fraktilwerten auf 20 %-Fraktilwerte, für axial beanspruchte Verbindungsmittel 1,05
 $F_{ax,t,k}$ Charakteristischer Tragwiderstand einer auf Zug beanspruchten Schraube nach Abschnitt 3.6
 $\gamma_{M,fi}$ Teilsicherheitsbeiwert für Holz im Brandfall, i.d.R. 1,0

Der Abminderungsfaktor η zur Modifikation des axialen Tragwiderstands wird mit Gl. (3.38) berechnet.

$$\eta = \begin{cases} 0 & \text{für } a_{1,fi} \leq 0,6 \cdot t_{d,fi} \\ \frac{0,44 \cdot a_{1,fi} - 0,264 \cdot t_{d,fi}}{0,2 \cdot t_{d,fi} + 5} & \text{für } 0,6 \cdot t_{d,fi} \leq a_{1,fi} \leq 0,8 \cdot t_{d,fi} + 5 \\ \frac{0,56 \cdot a_{1,fi} - 0,36 \cdot t_{d,fi} + 7,32}{0,2 \cdot t_{d,fi} + 23} & \text{für } 0,8 \cdot t_{d,fi} + 5 \leq a_{1,fi} \leq t_{d,fi} + 28 \\ 1,0 & \text{für } a_{1,fi} \geq t_{d,fi} + 28 \end{cases} \quad (3.38)$$

Mit:

$a_{1,fi}$ Seitliche Überdeckung in mm, siehe Bild 26

$t_{d,fi}$ Erforderliche Feuerwiderstandsdauer in Minuten

Weiterhin sind die Bedingungen der Gln. (3.39) und (3.40) einzuhalten.

$$a_{2,fi} \geq a_{1,fi} + 40 \quad (3.39)$$

$$a_{3,fi} \geq a_{1,fi} + 20 \quad (3.40)$$

Gilt $a_{2,fi} = a_{1,fi}$ sowie $a_{3,fi} \geq a_{1,fi} + 20$ mm (für mittig im Bauteil angeordnete Schrauben), sollte der Umrechnungsfaktor η nach Gl. (3.38) mit einer um 25 % erhöhten erforderlichen Feuerwiderstandsdauer $t_{d,fi}$ berechnet werden.

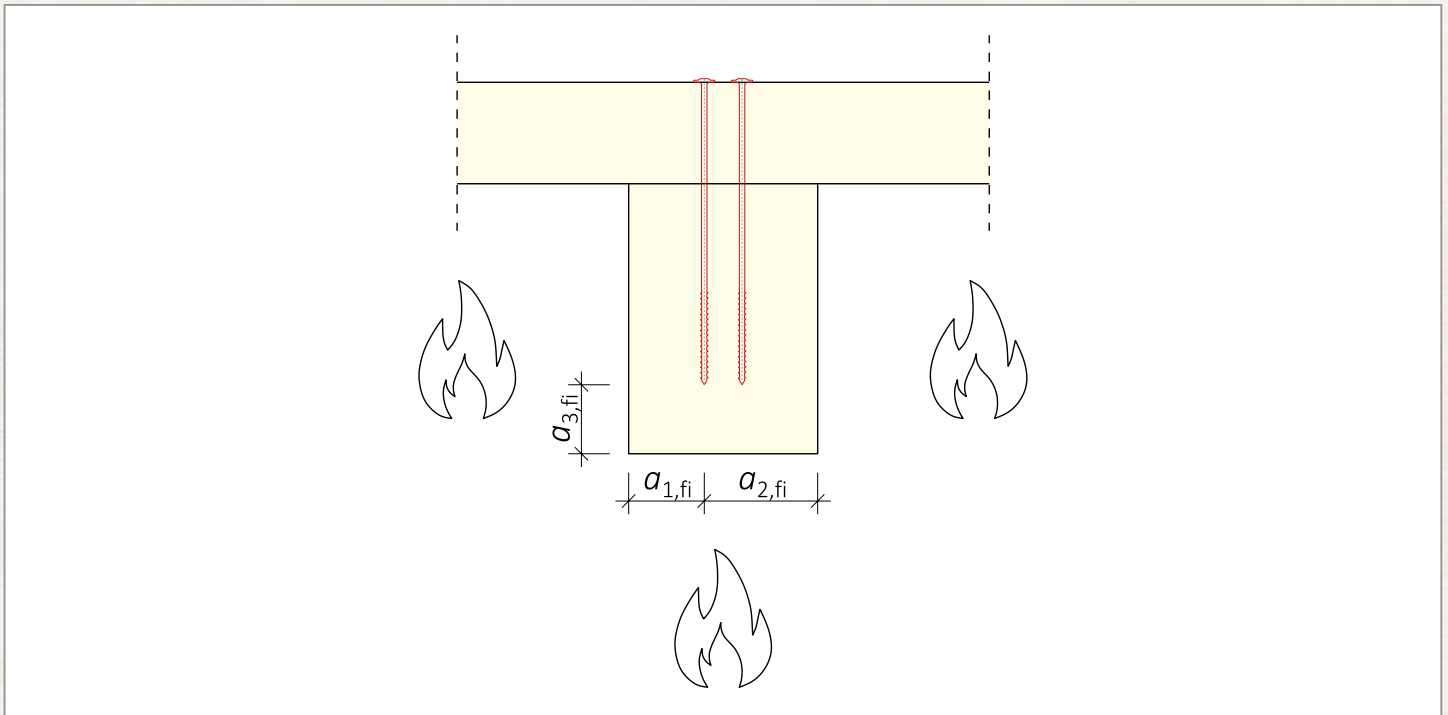


Bild 26: Konvention der Abstände für indirekt brand- und axial beanspruchte Schrauben.

3.11 Verschiebungsmodul axial beanspruchter Schrauben

3.11.1 Verschiebungsmodul in Holz-Holz-, Holzwerkstoff-Holz- und Stahl-Holz-Verbindungen

Der Verschiebungsmodul $K_{SLS,w}$ des Gewindeteils planmäßig in Achsrichtung beanspruchter Schrauben kann nach ETA 11/0190 für das jeweilige angeschlossene Bauteil im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit unabhängig von Nadel- oder Laubholz und Winkel δ zwischen Schraubenachse und Scherfuge mit der Gl. (3.41) berechnet werden (mit d und l_w in mm und ρ_{mean} in kg/m³).

$$K_{SLS,w} = 1250 \cdot d^{0,2} \cdot l_w^{0,4} \cdot \rho_{mean}^{0,2} \quad \text{für Schrauben in Holzbauteilen in N/mm} \quad (3.41)$$

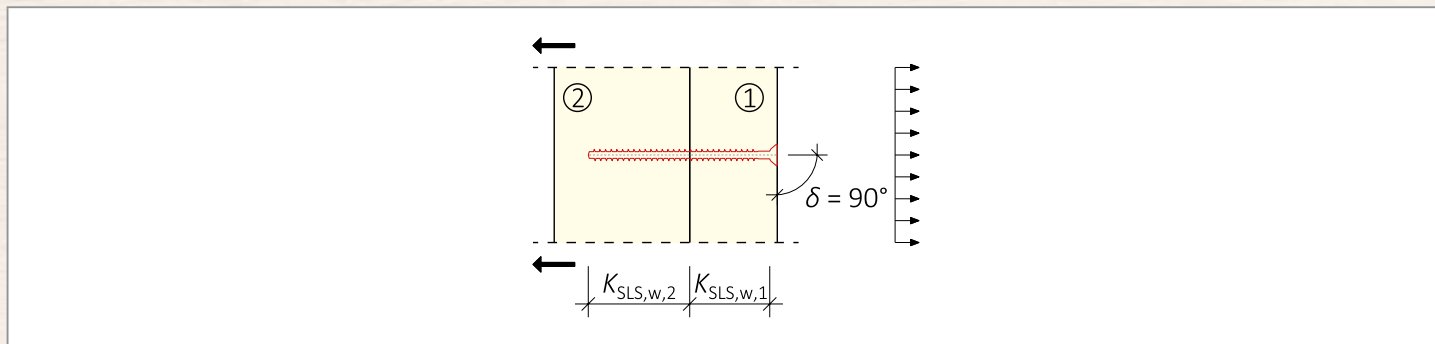


Bild 27: Verschiebungsmodul in Holz-Holz-Verbindungen.

3.12 Rechenbeispiele

3.12.1 Scherverbindungen mit geneigten, axial beanspruchten Schrauben

3.12.1.1 Allgemeines

Betrachtet wird die Verbindung in Bild 28, die mit einer Kraft von $F_{Ed} = 120 \text{ kN}$ ($k_{mod} = 0,8$) beansprucht wird. Es sind die Nachweise für ein Herausziehen der Schrauben sowie ein Blockschnernachweis zu führen. Es wurden die minimal möglichen Verbindungsmittel- und Randabstände gewählt.

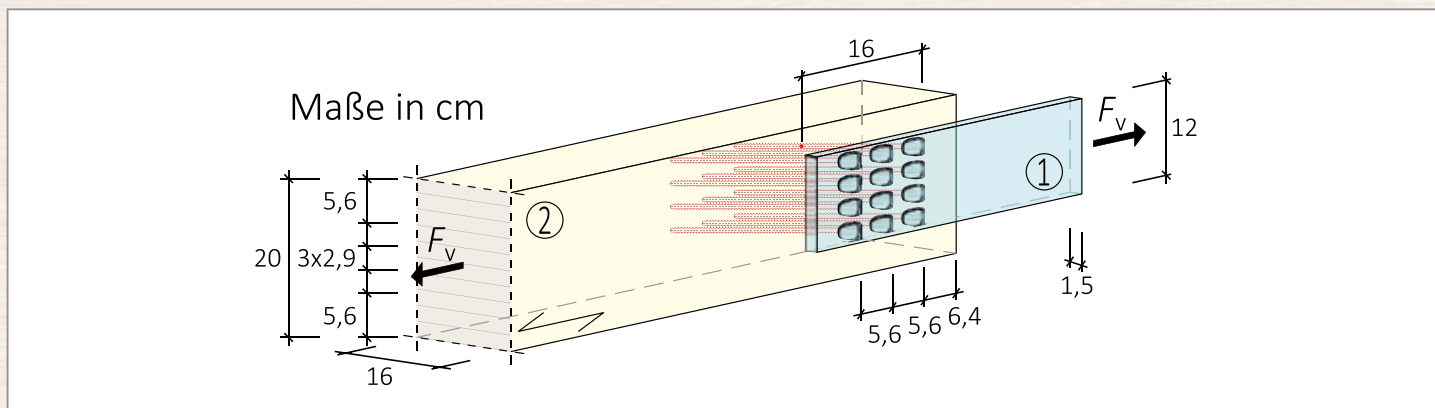


Bild 28: Rechenbeispiel – Zugscherverbindung.

Es gelten die folgenden Angaben:

Geometrie und Material

Bauteil 1			
Material, Stahlgüte			S235
Dicke/Höhe	t_s/h_1	=	1,5 cm/12,0 cm
Streckgrenze	$f_{y,k}$	=	235 N/mm ²
Bauteil 2			
Material, Festigkeitsklasse			GL 28h
Dicke/Höhe	t_2/h_2	=	16,0 cm/20 cm
Kraft-Faser-Winkel	α	=	0°
Rohdichte	ρ_k	=	425 kg/m ³
Modifikationsbeiwert	k_{mod}	=	0,80
Zugfestigkeit	$f_{t,0,k}$	=	22,3 N/mm ²
Schubfestigkeit	$f_{v,k}$	=	3,5 N/mm ²
Einwirkung			
Nutzungsklasse	NKL		1
Klasse der Lasteinwirkungsdauer			Mittel
Bemessungswert der Scherkraft	$F_{v,Ed}$	=	120 kN
Verbindungsmittel			
	ASSY®plus VG 4 CSMP 8,0 x 260 + Winkelscheibe		
Durchmesser	d	=	8,0 mm
Kopfdurchmesser	d_{head}	=	15,0 mm
Länge	l	=	260 mm
Ausziehparameter	$f_{ax,k}$	=	12,0 N/mm ²
Zugwiderstand	$f_{tens,k}$	=	22,0 kN
Teilsicherheitsbeiwert	γ_M	=	1,3
Schraube-Scherfuge-Winkel	δ	=	45°
Schraube-Faser-Winkel	ε	=	45°
Gewählter Abstand zwischen Rand und Schraubenschwerpunkt der ersten Schraubenreihe im Bauteil parallel zur Faserrichtung	$a_{3,CG,ist}$	=	$20d = 160$ mm

3.12.1.2 Berechnung des axialen Tragwiderstands einer Schraube

In diesem Rechenbeispiel ist der Winkel zwischen Faserrichtung und Scherfuge Null, so dass der Winkel zwischen Schraubenachse und Faser ε und zwischen Schraubenachse und Scherfuge δ zusammenfallen: $\varepsilon = \delta$. Ist $\varepsilon \neq \delta$, d.h. der Winkel zwischen Faserrichtung und Scherfuge ungleich Null, ist das bei der Berechnung der Verankerungslänge des Gewindebereichs der Schraube l_w zu berücksichtigen. Hier ergibt sich:

$$l_w = l - \left(\frac{t_s}{\sin \varepsilon} + l_{aw} \right) = 260 - \left(\frac{15}{\sin 45^\circ} + 12,7 \right) = 226 \text{ mm}$$

Mit:

l_{aw} Nutzlänge in der Winkelscheibe gemäß ETA-11/0190

Der charakteristische Tragwiderstand des Gewindes in Bauteil zwei $F_{w,k,2}$ lässt sich berechnen zu:

$$F_{w,k,2} = \frac{k_{ax} \cdot f_{ax,k} \cdot d \cdot l_w}{k_\beta} \cdot \left(\frac{\rho_k}{\rho_{ref,k}} \right)^{0,8} = \frac{1,0 \cdot 12,0 \cdot 8 \cdot 226}{1,0} \cdot \left(\frac{425}{350} \right)^{0,8} = 25,4 \text{ kN}$$

Mit:

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

$$k_\beta = 1,0 \text{ für GL}$$

Der Bemessungswert des Tragwiderstands für ein Verbindungsmittel $F_{ax,t,d}$ ergibt sich nach Gl. (3.19) zu:

$$F_{ax,t,d} = \min\left(\frac{k_{mod} \cdot F_{w,k,2}}{\gamma_M}; \frac{F_{t,k}}{\gamma_M}\right) = \min\left(\frac{0,8 \cdot 25,4}{1,3}; \frac{22,0}{1,3}\right) = 15,6 \text{ kN}$$

Die Berechnung des Bemessungswerts der Schertragfähigkeit der Verbindung $F_{v,Rd}$ erfordert folgende Angaben:

$n_0 = 3$	Anzahl der Verbindungsmittelreihen parallel zur Last
$n_{90} = 4$	Anzahl der Verbindungsmittelreihen rechtwinklig zur Last
$n_{ef} = 0,9 \cdot (n_0 \cdot n_{90}) = 0,9 \cdot 3 \cdot 4 = 10,8$	Wirksame Schraubenanzahl in der Verbindung nach Gl. (3.29)
$\mu = 0,25$	Reibbeiwert zwischen Stahl und Holz

Der axiale Tragwiderstand einer Schraube muss in einen in Fugenrichtung wirkenden Widerstand umgerechnet werden, sodass sich der Bemessungswert der Schertragfähigkeit der Verbindung $F_{v,Rd}$ ergibt zu:

$$F_{v,Rd} = n_{ef} \cdot F_{ax,t,d} \cdot (\cos \varepsilon + \mu \cdot \sin \varepsilon) = 10,8 \cdot 15,6 \cdot (\cos 45^\circ + 0,25 \cdot \sin 45^\circ) = 148,9 \text{ kN}$$

Der Ausnutzungsgrad auf Abscheren η_v der Verbindung ergibt sich zu:

$$\eta_v = \frac{120 \text{ kN}}{149 \text{ kN}} = 0,81 \leq 1 \quad \checkmark$$

3.12.1.3 Blockschnachweis

Da sich die Zugscherverbindung im Hirnholzbereich befindet und in Richtung des Hirnholzes beansprucht wird, muss ein sprödes Versagen der Verbindung (siehe Abschnitt 3.9) berücksichtigt werden.

Zunächst werden als Eingangsgrößen die Nettobreite des Anschlusses b_1 und die Nettoeinbindetiefe t_1 berechnet:

$$b_1 = \sum_{i=1}^n a_{2,i} - \sum_{i=1}^{n-1} d = 3 \cdot 29 - (4 - 1) \cdot 8 = 63 \text{ mm}$$

$$t_1 = l_w \cdot \sin \delta = 226 \cdot \sin 45^\circ = 159 \text{ mm}$$

Die Nettozugfläche $A_{net,t}$ sowie die Nettoscherfläche $A_{net,v}$ (mit $l_v = a_{3,CG,ist} = 160 \text{ mm}$) berechnen sich für **Fall 2** zu:

$$A_{net,t,2} = t_1 \cdot b_1 = 159 \cdot 63 = 10.017 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} A_{net,v,2} &= (2 \cdot t_1 + b_1) \cdot \left(l_v + \sum_i \left(\frac{a_{1,i}}{\sin \delta} \right) \right) + b_1 \cdot 0,5 \cdot l_w \cdot \cos \delta \\ &= (2 \cdot 159 + 63) \cdot \left(160 + 2 \cdot \frac{41}{\sin 45^\circ} \right) + 63 \cdot 0,5 \cdot 226 \cdot \cos 45^\circ \\ &= 110.179 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Die Nettozugfläche $A_{\text{net},t}$ sowie die Nettoscherfläche $A_{\text{net},v}$ (mit $l_v = a_{3,CG,ist} = 160 \text{ mm}$) berechnen sich für **Fall 1** zu:

$$A_{\text{net},t,1} = t \cdot b_1 = 160 \cdot 63 = 10.080 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{net},v,1} = 2 \cdot t \cdot \left(l_v + \sum_i \left(\frac{a_{1,i}}{\sin \delta} \right) \right)$$

$$= 2 \cdot 160 \cdot \left(160 + 2 \cdot \frac{41}{\sin 45^\circ} \right) = 88.309 \text{ mm}^2$$

Die Bemessungswerte der Zugfestigkeit $f_{t,0,d}$ sowie der Schubfestigkeit $f_{v,d}$ berechnen sich zu:

$$f_{t,0,d} = \frac{k_{\text{mod}}}{\gamma_M} \cdot f_{t,0,k} = \frac{0,8}{1,3} \cdot 22,3 = 13,7 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,d} = \frac{k_{\text{mod}}}{\gamma_M} \cdot f_{v,k} = \frac{0,8}{1,3} \cdot 3,5 = 2,15 \text{ N/mm}^2$$

Der Bemessungswert der Blockschertragfähigkeit $F_{\text{bs},ax,Rd}$ ergibt sich zu:

$$F_{\text{bs},ax,Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} F_{\text{bs},ax,Rd,1} \\ F_{\text{bs},ax,Rd,2} \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 207 \\ 206 \end{array} \right\} = 206 \text{ kN}$$

$$F_{\text{bs},ax,Rd,1} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,7 \cdot A_{\text{net},v,1} \cdot f_{v,d} \\ 1,5 \cdot A_{\text{net},t,1} \cdot f_{t,0,d} \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,7 \cdot 88.309 \cdot 2,15 = 133 \text{ kN} \\ 1,5 \cdot 10.080 \cdot 13,7 = \underline{\underline{207 \text{ kN}}} \end{array} \right\}$$

$$F_{\text{bs},ax,Rd,2} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,7 \cdot A_{\text{net},v,2} \cdot f_{v,d} \\ 1,5 \cdot A_{\text{net},t,2} \cdot f_{t,0,d} \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,7 \cdot 110.179 \cdot 2,15 = 166 \text{ kN} \\ 1,5 \cdot 10.017 \cdot 13,7 = \underline{\underline{206 \text{ kN}}} \end{array} \right\}$$

Für die Blockschertragfähigkeit ist Fall 2 (Versagen über einen Teil der Querschnittshöhe) maßgebend. Der Bemessungswert der Tragfähigkeit $F_{\text{bs},ax,Rd} = 206 \text{ kN}$ des in diesem Beispiel von den Schrauben umgriffenen Blocks ist größer als der Bemessungswert der Schertragfähigkeit $F_{v,Rd}$ der geschraubten Verbindung. Folglich ist für diesen Anschluss (in diesem Beispiel) die Schertragfähigkeit $F_{v,Rd}$ maßgebend.

3.12.2 Gekreuzte Schrauben – Anschluss Hauptträger – Nebenträger

3.12.2.1 Allgemeines

Betrachtet wird der Haupt-Nebenträger-Anschluss in Bild 29. Die Verbindung der Bauteile wird mit drei Schraubenkreuzen bestehend aus ASSY®plus VG 4 CH 8,0 x 260 mm ausgeführt. Es ist eine Last von $F_{v,Ed} = 25 \text{ kN}$ zu übertragen.

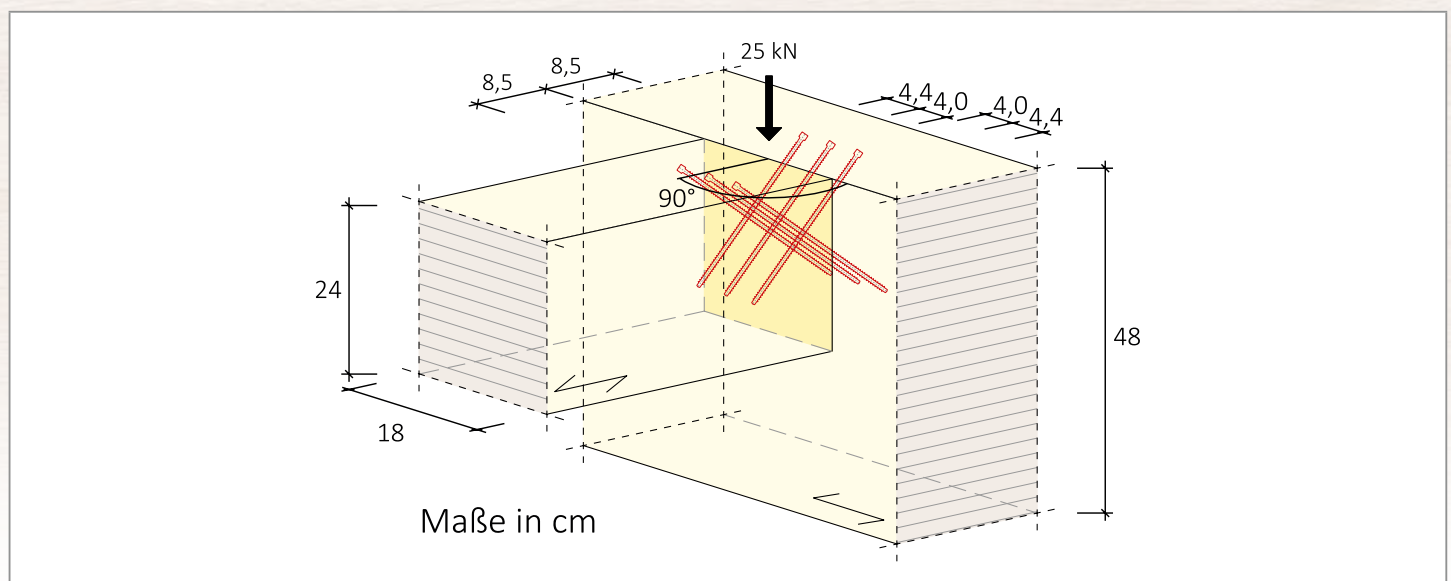


Bild 29: Rechenbeispiel – nachzuweisender HT-NT-Anschluss mit Schraubenkreuzen.

Es gelten folgende Parameter:

Hauptträger			
Breite	b_{HT}	=	24,0 cm
Höhe	h_{HT}	=	48,0 cm
Material: Brettschichtholz			GL 28c
Rohdichte	$\rho_{k,HT}$	=	390 kg/m ³
Modifikationsbeiwert	$k_{mod,HT}$	=	0,8
Teilsicherheitsbeiwert	γ_M	=	1,3
Nebenträger			
Breite	b_{NT}	=	18,0 cm
Höhe	h_{NT}	=	24,0 cm
Material: Brettschichtholz			GL 24h
Rohdichte	$\rho_{k,NT}$	=	385 kg/m ³
Modifikationsbeiwert	$k_{mod,NT}$	=	0,8
Teilsicherheitsbeiwert	γ_M	=	1,3
Verbindungsmittel			
	ASSY®plus VG 4 CH 8,0 x 260		
Durchmesser	d	=	8 mm
Länge	l	=	260 mm
Kopfhöhe	k	=	7,5 mm
Zugwiderstand	$f_{tens,k}$	=	22,0 kN
Ausziehparameter	$f_{ax,k}$	=	12,0 N/mm ²
Teilsicherheitsbeiwert	γ_{MI}/γ_M	=	1,1/1,3
Winkelbezeichnungen			
Kraft-Faser-Winkel	$\alpha_{HT/NT}$	=	90°
Schraube-Scherfuge-Winkel	$\delta_{HT/NT}$	=	45°
Schraube-Faser-Winkel	ϵ_{NT}	=	45°
Schraube-Faser-Winkel	ϵ_{HT}	=	90°
Einwirkung			
Last	$F_{v,Ed}$	=	25 kN
Nutzungs-kategorie	NKL	=	1
Kategorie der Lasteinwirkungsdauer		=	Mittel

Bei Schraubenkreuzen, die auf Abscheren beansprucht werden, erfährt eine Schraube eine Zugbeanspruchung, wohingegen die andere Schraube eine Druckbeanspruchung aufweist. Für die druckbeanspruchte Schraube ist bei der Berechnung des Auszieh-widerstands die Kopfhöhe der Schraube von der wirksamen Verankerungslänge abzuziehen. Nachfolgend werden die Tragwiderstände der einzelnen Schrauben berechnet.

3.12.2.2 Tragwiderstand der auf Zug beanspruchten Schraube HT-NT

Durch die verschiedenen Rohdichten der verbundenen Bauteile müssen zwei Werte des Auszieh-widerstands ($F_{w,k,HT}$ sowie $F_{w,k,NT}$) berechnet werden. Zur Kennzeichnung werden die Tragwiderstände der zugbeanspruchten Schraube mit einem zusätzlichen Index „t“ versehen. Aus dem Montagemaß $m_{HT} = m_{NT} = 85$ mm ergeben sich folgende Verankerungslängen:

$$l_{w,t,HT} = \frac{m_{HT}}{\cos \delta_{HT}} = \frac{85}{\cos 45^\circ} = 120 \text{ mm}$$

$$l_{w,t,NT} = l - l_{w,t,HT} = 260 - 120 = 140 \text{ mm}$$

$$F_{w,t,k,HT} = \frac{k_{ax,HT} \cdot f_{ax,k} \cdot d \cdot l_{w,t,HT}}{k_{\beta,HT}} \cdot \left(\frac{\rho_{k,HT}}{\rho_{ref,k}} \right)^{0,8} = \frac{1,0 \cdot 12,0 \cdot 8 \cdot 120}{1,0} \cdot \left(\frac{390}{350} \right)^{0,8} = 12,6 \text{ kN}$$

$$F_{w,t,k,NT} = \frac{k_{ax,NT} \cdot f_{ax,k} \cdot d \cdot l_{w,t,NT}}{k_{\beta,NT}} \cdot \left(\frac{\rho_{k,NT}}{\rho_{ref,k}} \right)^{0,8} = \frac{1,0 \cdot 12,0 \cdot 8 \cdot 140}{1,0} \cdot \left(\frac{385}{350} \right)^{0,8} = 14,5 \text{ kN}$$

Mit:

$$k_{ax,HT} = k_{ax,NT} = 1,0 \text{ für } 45^\circ \leq \varepsilon \leq 90^\circ$$

$$k_{\beta,HT} = k_{\beta,NT} = 1,0 \text{ für GL}$$

Als Bemessungswert des Tragwiderstands der zugbeanspruchten Schraube $F_{ax,t,d}$ ergibt sich:

$$\begin{aligned} F_{ax,t,d} &= \min \left\{ \frac{k_{mod,HT} \cdot F_{w,t,k,HT}}{\gamma_M}; \frac{k_{mod,NT} \cdot F_{w,t,k,NT}}{\gamma_M}; \frac{F_{t,k}}{\gamma_M} \right\} \\ &= \min \left\{ \frac{0,8 \cdot 12,6}{1,3}; \frac{0,8 \cdot 14,5}{1,3}; \frac{22,0}{1,3} \right\} = 7,75 \text{ kN} \end{aligned}$$

3.12.2.3 Tragwiderstand der auf Druck beanspruchten Schraube NT-HT

Durch die verschiedenen Rohdichten der verbundenen Bauteile müssen zwei Werte des Ausziehwiderstands ($F_{w,k,HT}$ sowie $F_{w,k,NT}$) auf Hineindrücken berechnet werden. Zur Kennzeichnung werden die Tragwiderstände der druckbeanspruchten Schraube mit einem zusätzlichen Index „c“ versehen. Aus dem Montagemaß $m_{HT} = m_{NT} = 85 \text{ mm}$ ergeben sich folgende Verankerungslängen:

$$l_{c,NT} = \frac{m_{NT}}{\cos \delta_{NT}} = \frac{85}{\cos 45^\circ} = 120 \text{ mm}$$

$$l_{w,c,NT} = l_{c,NT} - k = 120 - 7,5 = 112,5 \text{ mm}$$

$$l_{w,c,HT} = l - l_{c,NT} = 260 - 120 = 140 \text{ mm}$$

$$F_{w,c,k,NT} = \frac{k_{ax,NT} \cdot f_{w,k} \cdot d \cdot l_{w,c,NT}}{k_{\beta,NT}} \cdot \left(\frac{\rho_{k,NT}}{\rho_{ref,k}} \right)^{0,8} = \frac{1,0 \cdot 12,0 \cdot 8 \cdot 113}{1,0} \cdot \left(\frac{385}{350} \right)^{0,8} = 11,7 \text{ kN}$$

$$F_{w,c,k,HT} = \frac{k_{ax,HT} \cdot f_{w,k} \cdot d \cdot l_{w,c,HT}}{k_{\beta,HT}} \cdot \left(\frac{\rho_{k,HT}}{\rho_{ref,k}} \right)^{0,8} = \frac{1,0 \cdot 12,0 \cdot 8 \cdot 140}{1,0} \cdot \left(\frac{390}{350} \right)^{0,8} = 14,7 \text{ kN}$$

Mit:

$$k_{ax,HT} = k_{ax,NT} = 1,0 \text{ für } 45^\circ \leq \varepsilon \leq 90^\circ$$

$$k_{\beta,HT} = k_{\beta,NT} = 1,0 \text{ für GL}$$

Es ist der Widerstand der Schraube gegen Knicken sowohl im Haupt- als auch Nebenträger zu betrachten. Mit den Materialien und dem Durchmesser der Schrauben kann aus Tabelle 20 bzw. Tabelle 21, Abschnitt 3.5.1, für $\varepsilon_{HT} = 90^\circ$ bzw. $\varepsilon_{NT} = 45^\circ$ ein Knickwiderstand von $F_{c,k,HT} = 11,6 \text{ kN}$ bzw. $F_{c,k,NT} = 10,9 \text{ kN}$ abgelesen werden.

Mit den charakteristischen Werten der Schrauben auf Hineindrücken und gegen Knicken, dem Modifikationsbeiwert k_{mod} und den Teilsicherheitsbeiwerten γ_M und γ_{M1} ergibt sich der Bemessungswert des Tragwiderstands einer auf Druck beanspruchten Schraube:

$$\begin{aligned} F_{ax,c,d} &= \min \left\{ \frac{k_{mod,NT} \cdot F_{w,c,k,NT}}{\gamma_M}; \frac{k_{mod,HT} \cdot F_{w,c,k,HT}}{\gamma_M}; \frac{F_{c,k,NT}}{\gamma_{M1}}; \frac{F_{c,k,HT}}{\gamma_{M1}} \right\} \\ &= \min \left\{ \frac{0,8 \cdot 11,7}{1,3}; \frac{0,8 \cdot 14,7}{1,3}; \frac{10,9}{1,1}; \frac{11,6}{1,1} \right\} = 7,2 \text{ kN} \end{aligned}$$

3.12.2.4 Tragwiderstand eines Schraubenkreuzes

Der Tragwiderstand eines Schraubenkreuzes $F_{ax,x,d}$ ist das Zweifache des minimalen Tragwiderstands der Gewindeanteile. Dabei sind sowohl die auf Druck als auch die auf Zug beanspruchte Schraube zu berücksichtigen. Im vorliegenden Fall gilt:

$$\begin{aligned} F_{ax,x,d} &= 2 \cdot \min \{ F_{ax,t,d}; F_{ax,c,d} \} \\ &= 2 \cdot \min \{ 7,75; 7,2 \} = 14,4 \text{ kN} \end{aligned}$$

Sobald in einem der beiden Bauteile die Bemessungswerte der Widerstände gegen Hineindrücken oder Herausziehen überschritten sind, wird der Zustand als undefiniert betrachtet. Aus diesem Grund kann nicht $F_{ax,x,d} = F_{ax,t,d} + F_{ax,c,d}$ gesetzt werden.

3.12.2.5 Tragfähigkeit der Verbindung

Gemäß Abschnitt 3.7.3, Gl. (3.28) errechnet sich die wirksame Verbindungsmittellanzahl über die Anzahl der Schraubenkreuze. Die Tragfähigkeit auf Abscheren des Anschlusses ergibt sich folglich zu:

$$\begin{aligned} F_{v,Rd} &= n_x \cdot F_{ax,x,d} \cdot \sin \varepsilon \\ &= 3 \cdot 14,4 \cdot \sin 45^\circ = 30,5 \text{ kN} \end{aligned}$$

Der Ausnutzungsgrad η_v des Anschlusses beträgt:

$$\eta_v = \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{25,0}{30,5} = 0,82 \leq 1,0 \quad \checkmark$$

4 SCHRAUBEN LATERAL BEANSPRUCHT



4.1 Allgemeines

Der Gewindeaußendurchmesser der Schraube d soll als wirksamer Durchmesser der Schraube in Übereinstimmung mit dem EC 5 verwendet werden.

4.2 Versagensmechanismen

Verbindungen, bei denen die Schrauben lateral (auf Abscheren) beansprucht werden, können signifikante Verformungen aufweisen, siehe Bild 30. Dieses elastisch-plastische, duktile Verhalten resultiert aus einem Zusammenspiel der plastischen Verformung der Schraube, der Eindrückung (der sogenannten Lochleibung) des Holzes entlang des Schraubenschafts sowie der Geometrie der Verbindung. Die Einhaltung von Mindestabständen gewährleistet dabei, dass sich ein duktiler Mechanismus einstellen und spröde Versagensmechanismen (wie z. B. Spalten) i.d.R. vermieden werden. Die von den beschriebenen Mechanismen übertragenen Kräfte können als die Tragfähigkeit nach Johansens Fließtheorie $F_{D,k}$ bezeichnet werden.

Durch eine Schrägstellung der Schraube in der Verbindung entwickeln sich zusätzlich zu der Tragfähigkeit $F_{D,k}$ sog. Einhänge- oder Seilkräfte entlang des Schraubenschafts, die als Zugkräfte in der Schraube die Bauteile in der Fuge aneinander drücken und Reibung erzeugen. Die durch den Seileffekt entstehenden Zugkräfte in Schraubenachsrichtung dürfen bei der Bemessung zusätzlich zur Tragfähigkeit nach Johansens Fließtheorie $F_{D,k}$ berücksichtigt werden. Der Anteil der wirkenden Reibung ist für Schrauben durch $F_{rp,k} \leq F_{D,k}$ begrenzt.

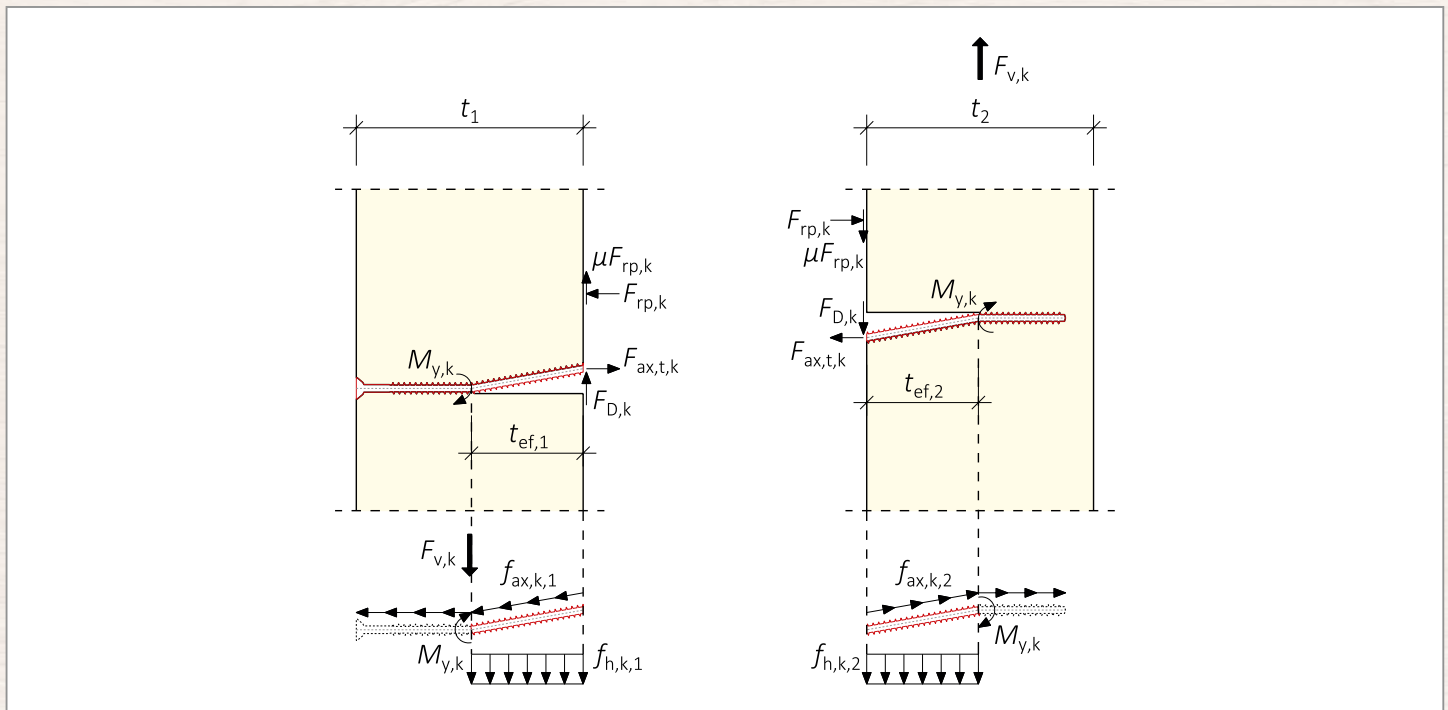


Bild 30: Kräftegleichgewicht für eine Holz-Holz-Verbindung mit einer Vollgewindeschraube und dem Versagensmechanismus mit zwei Fließgelenken pro Scherfuge.

4.3 Charakteristischer Tragwiderstand einer lateral beanspruchten Schraube

Der charakteristische Tragwiderstand einer lateral beanspruchten Schraube $F_{v,k}$ je Scherfuge und Schraube setzt sich aus der Tragfähigkeit nach Johansens Fließtheorie $F_{D,k}$ sowie dem Anteil aus dem Seileffekt $F_{rp,k}$ zusammen, siehe Gl. (4.1). Diese Tragfähigkeit $F_{D,k}$ sollte jeweils als der kleinste Wert angenommen werden, der sich aus den nachfolgenden Gleichungen (sog. Johansengleichungen) zu den einzelnen Versagensmechanismen ergibt.

$$F_{v,k} = F_{D,k} + F_{rp,k} \quad (4.1)$$

Für die Gl. (4.2) bis (4.6) gelten die nachfolgenden Konventionen. Bei Verbindungen von drei Bauteilen (zweischchnittig beanspruchte Stifte) ist Index 1 jeweils den außenliegenden Bauteilen und Index 2 dem innenliegenden Bauteil zugeordnet.

d	Gewindeaußendurchmesser der Schraube
$f_{h,k,1}$	Charakteristische Lochleibungsfestigkeit des Bauteils 1, s. S. 59 f
$f_{h,k,2}$	Charakteristische Lochleibungsfestigkeit des Bauteils 2, s. S. 59 f
t_1	Kleinerer Wert von Bauteildicke und Einbindetiefe des Bauteils 1
t_2	Kleinerer Wert von Bauteildicke und Einbindetiefe des Bauteils 2
$\beta = \frac{f_{h,k,2}}{f_{h,k,1}}$	Verhältnis der Lochleibungsfestigkeiten zweier Bauteile
$F_{ax,t,k}$	Charakteristischer Tragwiderstand einer auf Zug beanspruchten Schraube, siehe Gl. (3.18)
$M_{y,k}$	Charakteristisches Fließmoment einer Schraube

Tabelle 37: Charakteristisches Fließmoment $M_{y,k}$ in kNm.

Schraubentyp und -material	Gewindeaußendurchmesser d in mm					
	5	6	8	10	12	14
ASSY® aus Kohlenstoffstahl	5,9	10	23	36	58	–
ASSY® aus nichtrostendem Stahl	2,8	5,5	11	20	–	–
ASSY®plus VG aus Kohlenstoffstahl	–	9	23	40	62	86

Regelwerk: ETA-11/0190

4.3.1 Traganteil $F_{D,k}$ in Holz-Holz- und Holzwerkstoff-Holz-Verbindungen

Für eine einschnittige Holz-Holz- bzw. Holzwerkstoff-Holz-Verbindung gilt Gl. (4.2) sowie Bild 31 (vergleiche EC 5 (8.6) (a) bis (f)).

$$F_{D,k} = \min \left\{ \begin{array}{ll} f_{h,k,1} \cdot t_1 \cdot d & (a) \\ f_{h,k,2} \cdot t_2 \cdot d & (b) \\ \frac{f_{h,k,1} \cdot t_1 \cdot d}{1 + \beta} \cdot \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 \cdot \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \cdot \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \cdot \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] & (c) \\ 1,05 \cdot \frac{f_{h,k,1} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \cdot \left[\sqrt{2\beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4\beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y,k}}{f_{h,k,1} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right] & (d) \\ 1,05 \cdot \frac{f_{h,k,1} \cdot t_2 \cdot d}{1 + 2\beta} \cdot \left[\sqrt{2\beta^2 \cdot (1 + \beta) + \frac{4\beta \cdot (1 + 2\beta) \cdot M_{y,k}}{f_{h,k,1} \cdot d \cdot t_2^2}} - \beta \right] & (e) \\ 1,15 \cdot \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,k,1} \cdot d} & (f) \end{array} \right. \quad (4.2)$$

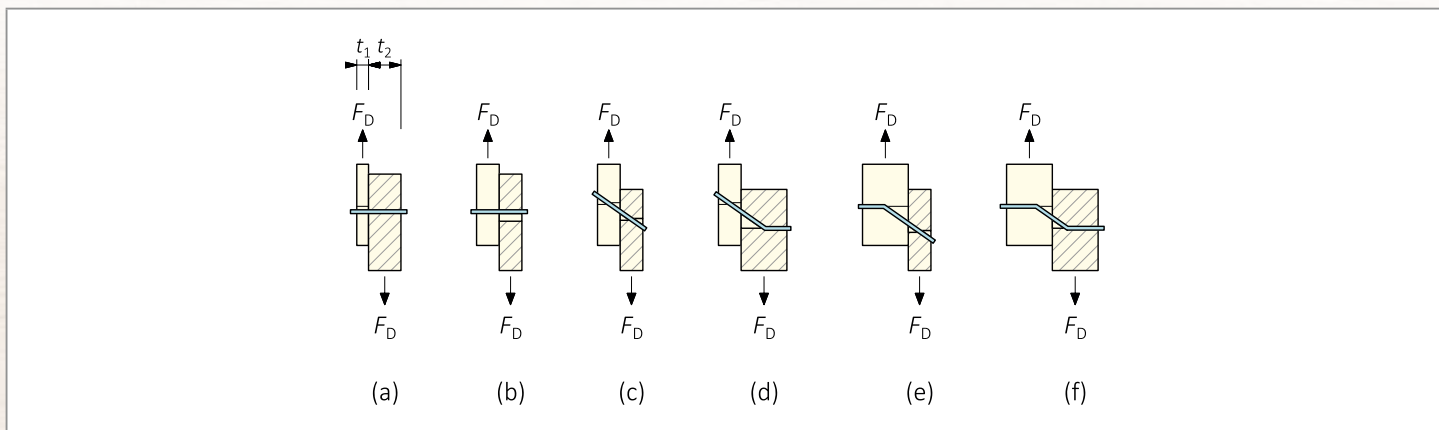


Bild 31: Mögliche Versagensmechanismen bei einer einschnittigen Holz-Holz- bzw. Holzwerkstoff-Holz-Verbindungen.

Für eine zweischnittige Holz-Holz- bzw. Holzwerkstoff-Holz-Verbindung gilt Gl. (4.3) und Bild 32 (vergleiche EC 5 (8.7), (g) bis (k)).

$$F_{D,k} = \min \begin{cases} f_{h,k,1} \cdot t_1 \cdot d & (g) \\ 0,5 \cdot f_{h,k,2} \cdot t_2 \cdot d & (h) \\ 1,05 \cdot \frac{f_{h,k,2} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \cdot \left[\sqrt{2\beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4\beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y,k}}{f_{h,k,1} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right] & (i) \\ 1,15 \cdot \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,k,1} \cdot d} & (k) \end{cases} \quad (4.3)$$

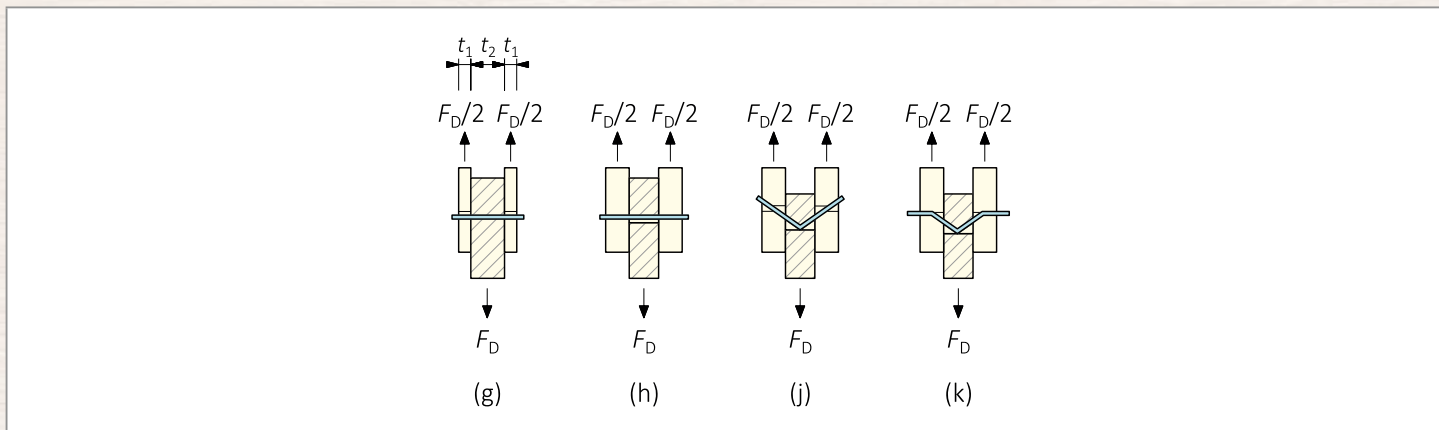


Bild 32: Mögliche Versagensmechanismen bei einer zweischnittigen Holz-Holz- bzw. Holzwerkstoff-Holz-Verbindung.

4.3.2 Traganteil $F_{D,k}$ in Stahl-Holz-Verbindungen

Bei der Bestimmung des charakteristischen Tragwiderstands einer auf Abscheren beanspruchten Schraube in Stahl-Holz-Verbindungen muss bei dem zum Einsatz kommenden Stahlblech zwischen „dünnem“ und „dickem“ Stahlblech unterschieden werden, dabei ist der Gewindeaußendurchmesser d die Bezugsgröße. Nach EC 5 ist ein „dünnem“ Stahlblech gegeben, wenn für die Blechdicke $t_s \leq 0,5 \cdot d$ gilt. Für $t_s \geq d$ kann das Blech als „dick“ angenommen werden. Gilt für die Blechdicke $0,5 \cdot d \leq t_s \leq d$ darf der Wert für den charakteristischen Tragwiderstand interpoliert werden.

Für Stahlblech-Holz-Verbindungen mit lateral beanspruchten Schrauben ergibt sich deren charakteristischer Tragwiderstand aus dem kleinsten Wert, der sich aus den folgenden Gleichungen ergibt:

Für eine einschnittige Stahl-Holz-Verbindung mit dünnem Stahlblech ($t_s \leq 0,5 \cdot d$) gilt Gl (4.4) sowie Bild 33 (vergleiche EC 5 (8.9), (a) bis (b)).

$$F_{D,k} = \min \begin{cases} 0,4 \cdot f_{h,k} \cdot t_1 \cdot d & (a) \\ 1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,k} \cdot d} & (b) \end{cases} \quad (4.4)$$

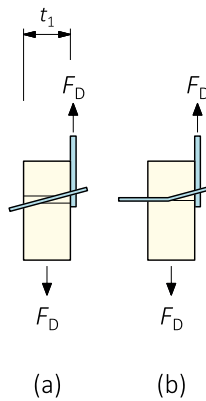


Bild 33: Mögliche Versagensmechanismen bei einer einschnittigen Stahl-Holz-Verbindung mit dünnem Stahlblech.

Hinweis:

Bei dünnen Stahlblechen ist die Tragfähigkeit des Stahlblechs auf Zug und auf Lochleibung zu berücksichtigen.

Für eine einschnittige Stahl-Holz-Verbindung mit dickem Stahlblech ($t_s \geq d$) gilt Gl. (4.5) sowie Bild 34 (vergleiche EC 5 (8.10), (c) bis (e)).

$$F_{D,k} = \min \begin{cases} f_{h,k} \cdot t_1 \cdot d & (c) \\ f_{h,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,k}}{f_{h,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] & (d) \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,k} \cdot f_{h,k} \cdot d} & (e) \end{cases} \quad (4.5)$$

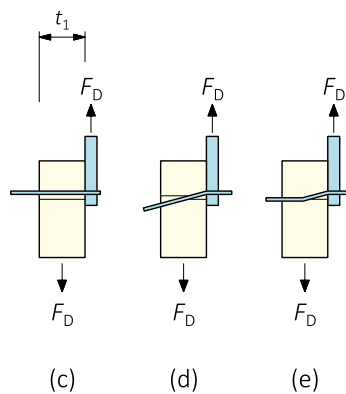


Bild 34: Mögliche Versagensmechanismen bei einer einschnittigen Stahl-Holz-Verbindung mit dickem Stahlblech.

Für eine zweischnittige Stahl-Holz-Verbindung mit innenliegendem Stahlblech jeder Dicke gilt Gl. (4.6) sowie Bild 35 (vergleiche EC 5 (8.11), (f) bis (h)).

$$F_{D,k} = \min \begin{cases} f_{h,k,1} \cdot t_1 \cdot d & (f) \\ f_{h,k,1} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,k}}{f_{h,k,1} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] & (g) \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,k} \cdot f_{h,k,1} \cdot d} & (h) \end{cases} \quad (4.6)$$

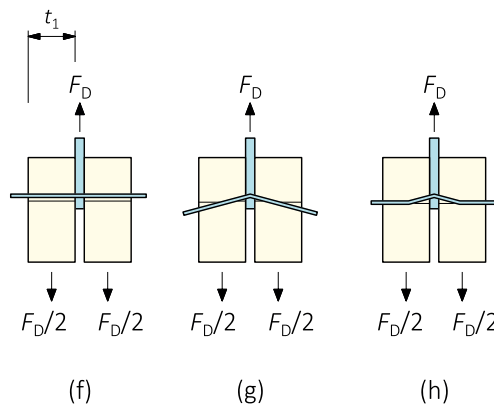


Bild 35: Mögliche Versagensmechanismen bei einer zweischnittigen Stahl-Holz-Verbindung mit innenliegendem Stahlblech.

4.3.3 Anteil des Seileffekts $F_{rp,k}$

Nur unter der Voraussetzung, dass die zu verbindenden Bauteile Kontakt aufweisen, darf der Seileffekt nach Gl. (4.7) für folgende Versagensfälle berücksichtigt werden:

- Für Holz-Holz-Verbindungen in den Versagensfällen (c), (d), (e), (f), (j), (k)
- Für Stahl-Holz-Verbindungen in den Versagensfällen (b), (d), (e), (g), (h)

Für planmäßig gleichzeitig auf Herausziehen und Abscheren beanspruchte Schrauben ist die planmäßige Zugkraft in der Scherfuge vom Tragwiderstand $F_{ax,t,k}$ in Gl. (4.7) abzuziehen.

$$F_{rp,k} = \min \begin{cases} 1,0 \cdot F_{D,k} \\ 0,25 \cdot F_{ax,t,k} \end{cases} \quad (4.7)$$

Mit:

$F_{D,k}$ Charakteristischer Wert der Tragfähigkeit nach Johansens Fließtheorie gemäß Gl. (4.2) bis (4.6)

$F_{ax,t,k}$ Charakteristischer Tragwiderstand einer auf Zug beanspruchten Schraube gemäß Gl. (3.18)

4.4 Lochleibungsfestigkeit

Die charakteristische Lochleibungsfestigkeit $f_{h,k}$ für Schrauben in Bauteilen aus Vollholz (ST/FST), Balkenschichtholz (GST), Brettschichtholz (GL), Furnierschichtholz (LVL) aus Nadelholz oder Brettsperrholz (CLT) aus Nadelholz ergibt sich zu:

$$f_{h,k} = \frac{0,082 \cdot \rho_k \cdot d^{-0,3}}{k_\epsilon \cdot k_\beta} \quad \text{N/mm}^2 \quad (4.8)$$

Für alle ASSY® in **nicht vorgebohrten** Bauteilen

$$f_{h,k} = \frac{0,082 \cdot \rho_k \cdot (1 - 0,01 \cdot d)}{k_\epsilon \cdot k_\beta} \quad \text{N/mm}^2 \quad (4.9)$$

Für alle ASSY® in **vorgebohrten** Bauteilen

Mit:

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

$$k_{\beta} = \begin{cases} 1 & \text{ST/FST, GST, GL, CLT} \\ 1,5 \cdot \cos^2 \beta + \sin^2 \beta & \text{LVL aus Nadelholz} \end{cases}$$

ρ_k Charakteristische Rohdichte in kg/m^3 , $\rho_k \leq 500 \text{ kg/m}^3$

d Gewindeaußendurchmesser einer Schraube in mm

β Winkel zwischen Schraubenachse und Deckfläche, $0^\circ \leq \beta \leq 90^\circ$

ε Winkel zwischen Schraubenachse und Faserrichtung, $0^\circ \leq \varepsilon \leq 90^\circ$

Winkel siehe auch Bild 36.

Gl. (4.9) gilt auch für Bauteile aus Buchen- Eichen- oder Eschenholz, wobei die maximal rechnerisch ansetzbare charakteristische Rohdichte auf $\rho_k \leq 590 \text{ kg/m}^3$ begrenzt ist.

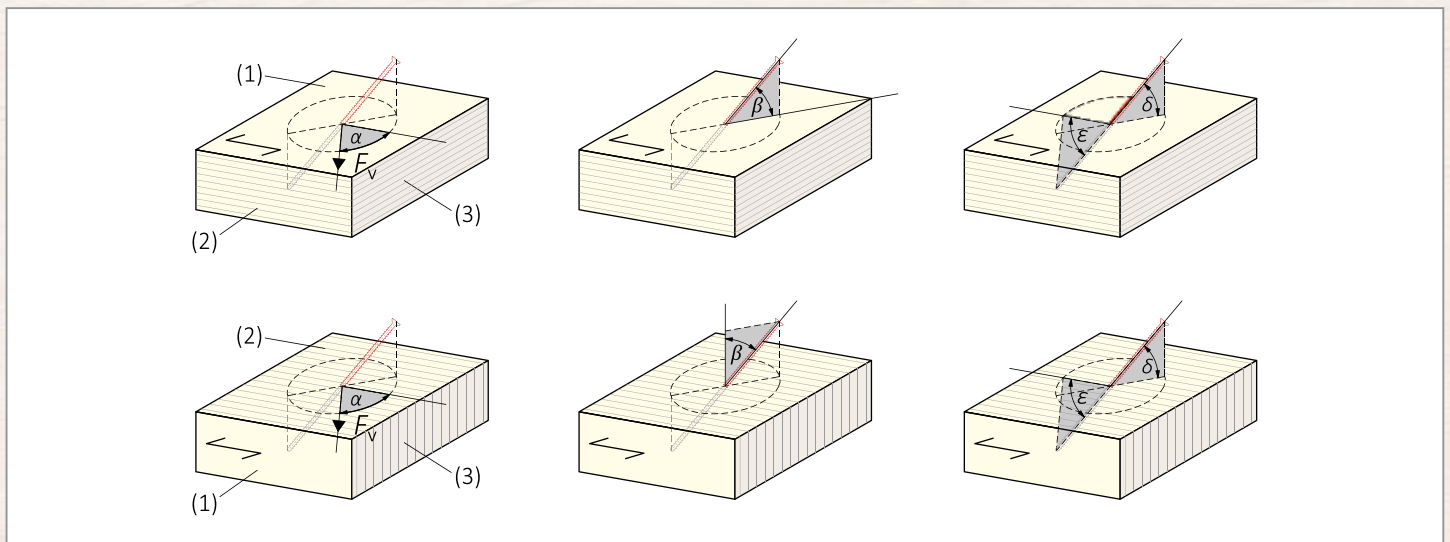


Bild 36: Definition der Winkel an Schraube und Bauteil. (1) Deckfläche, (2) Schmalfäche, (3) Hirnholzfläche.

Winkel zwischen (α) Kraft und Faserrichtung, (β) Schraubenachse und Deckfläche, (δ) Schraubenachse und Scherfuge, (ε) Schraubenachse und Faserrichtung.

Die charakteristische Lochleibungsfestigkeit $f_{h,k}$ für Schrauben in Bauteilen aus Furnierschichtholz aus Buche nach EN 14374 oder GLVL aus Buche (ETA-14/0354) kann mit Gl. (4.10) berechnet werden.

$$f_{h,k} = \frac{0,082 \cdot \rho_k \cdot d^{-0,15}}{k_{\alpha} \cdot k_{\varepsilon} \cdot k_{\beta}} \text{ N/mm}^2 \quad (4.10)$$

Für alle ASSY® in **vorgebohrten oder nicht vorgebohrten** Bauteilen

Mit:

ρ_k Charakteristische Rohdichte in kg/m^3 , bei GLVL aus Buche (ETA-14/0354): $\rho_k = 730 \text{ kg/m}^3$

d Gewindeaußendurchmesser der Schraube in mm

α Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung, $0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$

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

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

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

β Winkel zwischen Schraubenachse und Deckfläche

ε Winkel zwischen Schraubenachse und Faserrichtung

Die charakteristische Lochleibungsfestigkeit $f_{h,k}$ für Schrauben, die in der **Schmalfläche** von **Brettsperrholz** (CLT) angeordnet sind, beträgt unabhängig vom Winkel ε zwischen Schraubenachse und Faserrichtung:

$$f_{h,k} = 20 \cdot d^{-0,5} \quad \text{N/mm}^2 \quad (4.11)$$

Für alle ASSY® in **vorgebohrten oder nicht vorgebohrten** Bauteilen

Alternativ dürfen die charakteristischen Werte der Lochleibungsfestigkeit nach den Gln. (4.8) und (4.9) auch für Schrauben innerhalb einer Brettlage von Brettsperrholz angenommen werden, wenn die Brettlage als einzelnes Bauteil betrachtet wird und für diese die Mindestabstände untereinander, zum Rand rechtwinklig und in Faserrichtung eingehalten werden. Für innere Brettlagen darf der erforderliche Mindestrandabstand rechtwinklig zur Faserrichtung auf $3 \cdot d$ verringert werden. Gleichung (4.11) gilt nur für Lagen aus Nadelholz.

Die Angaben der jeweiligen Europäischen Technischen Bewertungen oder nationalen Zulassungen des Brettsperrholzes sind dabei immer zu berücksichtigen.

Die Lochleibungsfestigkeit kann bei in den Seitenflächen von Brettsperrholz eingedrehten Schrauben wie für Vollholz (ST/FST) angenommen werden. Dabei ist die charakteristische Rohdichte der Decklage anzusetzen. Wenn relevant, ist der Winkel zwischen Kraft und Faserrichtung der äußeren Lage zu berücksichtigen. Die Kraft muss rechtwinklig zur Schraubenachse und parallel zur Seitenfläche des Brettsperrholzes wirken.

Die charakteristische Lochleibungsfestigkeit $f_{h,k}$ für Schrauben in **Sperrholz** (PW) nach DIN EN 636:2015-05 beträgt:

$$f_{h,k} = 0,11 \cdot \rho_k \cdot d^{-0,3} \quad \text{N/mm}^2 \quad (4.12)$$

Für alle ASSY® in **nicht vorgebohrte** Bauteile

$$f_{h,k} = 0,11 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k \quad \text{N/mm}^2 \quad (4.13)$$

Für alle ASSY® in **vorgebohrte** Bauteile

Die charakteristische Lochleibungsfestigkeit $f_{h,k}$ für Schrauben in **OSB** nach DIN EN 300:2006-09 beträgt:

$$f_{h,k} = 65 \cdot d^{-0,7} \cdot t^{0,1} \quad \text{N/mm}^2 \quad (4.14)$$

Für alle ASSY® in **nicht vorgebohrte** Bauteile

$$f_{h,k} = 50 \cdot d^{-0,6} \cdot t^{0,2} \quad \text{N/mm}^2 \quad (4.15)$$

Für alle ASSY® in **vorgebohrte** Bauteile

Mit:

d	Gewindeaußendurchmesser einer Schraube in mm
t	Dicke der OSB-Platte in mm
ρ_k	Charakteristische Rohdichte des Holzwerkstoffs in kg/m ³

Die Gln. (4.11) bis (4.15) gelten für Gewindeaußendurchmesser $6 \text{ mm} \leq d \leq 14 \text{ mm}$.

Hinweis:

Die angegebenen Lochleibungsfestigkeiten gelten unabhängig der Schraubenspitzengeometrie. Nur wenn vor dem Eindrehen der Schraube eine Bohrung mit den Durchmessern gemäß Abschnitt 2.1 durchgeführt wurde, dürfen die Gleichungen für vorgebohrte Bauteile angewendet werden.

4.5 Bemessungswert des Tragwiderstands einer auf Abscheren beanspruchten Schraube

Der Bemessungswert des Abscherwiderstands $F_{v,d}$ ergibt sich nach Gl. (4.16).

$$F_{v,d} = \frac{k_{\text{mod}}}{\gamma_M} \cdot F_{v,k} \quad (4.16)$$

Mit:

$F_{v,k}$	Charakteristischer Tragwiderstand einer auf Abscheren beanspruchten Schraube nach Gl. (4.1)
γ_M	Teilsicherheitsbeiwert für Scher-Verbindungen mit $\gamma_M = 1,3$ nach EC5
k_{mod}	Modifikationsbeiwert; unterscheiden sich die Modifikationsbeiwerte bei den miteinander verbundenen Bauteilen ($k_{\text{mod},1}$ und $k_{\text{mod},2}$) und wird die Lochleibungsfestigkeit in beiden Bauteilen erreicht, dann darf für k_{mod} folgender Wert angenommen werden: $k_{\text{mod}} = \sqrt{k_{\text{mod},1} \cdot k_{\text{mod},2}}$ Für die Versagensmechanismen (a), (b), (g) und (h) in Holz-Holz- bzw. Holzwerkstoff-Holz-Verbindungen sollte der Modifikationsbeiwert k_{mod} des Bauteils verwendet werden, in dem die Lochleibungsfestigkeit erreicht wird.

4.6 Bemessungswert der Tragfähigkeit einer auf Abscheren beanspruchten Verbindung

4.6.1 Bemessungswert der Tragfähigkeit

Der Bemessungswert der Tragfähigkeit einer Verbindung mit auf Abscheren beanspruchten Schrauben $F_{v,Rd}$ ergibt sich allgemein aus:

$$F_{v,Rd} = n_{\text{ef}} \cdot F_{v,d} \quad (4.17)$$

Mit:

n_{ef}	Wirksame Anzahl der Verbindungsmittel nach Abschnitt 4.6.2
$F_{v,d}$	Bemessungswert des Tragwiderstands einer auf Abscheren beanspruchten Schraube nach Gl. (4.16)

4.6.2 Wirksame Anzahl der Verbindungsmittel

Bei einer Reihe mit n_0 Schrauben parallel zur Faserrichtung des Holzes muss der Tragwiderstand in Faserrichtung mit einer wirksamen Verbindungsmittelanzahl n_{ef} berechnet werden.

Je Verbindungsmittelreihe und Kraft 0° zur Faserrichtung gilt:

$$n_{\text{ef},0} = n_0^{k_{\text{ef}}} \quad (4.18)$$

Je Verbindungsmittelreihe und Kraft 90° zur Faserrichtung gilt:

$$n_{\text{ef},90} = n_{90} \quad (4.19)$$

n_{ef}	gilt für Holz und Holzprodukte mit einer Faserrichtung über den gesamten Querschnitt (ST/FST, GST, GL, LVL-P).
n_0	Anzahl der Verbindungsmittel hintereinander parallel zur Faserrichtung
$n_{\text{ef},0}$	Wirksamen Anzahl der Verbindungsmittel hintereinander parallel zur Faserrichtung
n_{90}	Anzahl der Verbindungsmittel rechtwinklig zur Faserrichtung
$n_{\text{ef},90}$	Wirksame Anzahl der Verbindungsmittel rechtwinklig zur Faserrichtung
k_{ef}	Exponent zur Abminderung der eingeschaubten auf die wirksame Anzahl der Verbindungsmittel

Tabelle 38: Werte für den Exponenten der Schraubenanzahl je Reihe (bei Kraft-Faser-Winkeln von $\alpha = 0^\circ$).

Schraubenabstand a_1	k_{ef}	
	nicht vorgebohrt	vorgebohrt
$\geq 14 d$	1,00	1,00
$13 d$	0,96	0,96
$12 d$	0,93	0,93
$11 d$	0,89	0,89
$10 d$	0,85	0,85
$9 d$	0,80	0,80
$8 d$	0,75	0,75
$7 d$	0,70	0,70
$6 d$	-	0,63
$5 d$	-	0,57
$4 d$	-	0,50
Regelwerk: EC 5		

Für Schrauben in LVL-P-Deckflächen gilt Gl. (4.18), für Schrauben in LVL-C-Deckflächen gilt Gl. (4.19).

Für Zwischenwerte $0 < \alpha < 90^\circ$ muss ein $n_{ef,\alpha,i}$ je Schraubenreihe mit $n_{ef,0,i}$ gemäß Gl. (4.18) berechnet werden. Da die Verbindungsmittelanzahl nur für eine in Faserrichtung $\alpha = 0^\circ$ wirkende Kraftkomponente abgemindert werden muss, ergibt sich $n_{ef,\alpha}$ der gesamten Verbindung gemäß Gl. (4.20).

$$n_{ef,\alpha} = \sum_i n_{ef,\alpha,i} = \sum_i \min \left\{ \frac{n_{0,i}^{k_{ef}}}{\cos \alpha}; n_{0,i} \right\} \quad (4.20)$$

Sollen zusätzlich zu Normal- und Querkraften in einem Anschluss Momente übertragen werden, muss der effektiv je Schraube wirkende Anteil für jedes Verbindungsmittel gesondert betrachtet werden. Dazu wird die wirksame Anzahl an Verbindungsmitteln in einer Schraubenreihe gemäß Gl. (4.18) auf die vorhandene Schraubenanzahl $n_{0,i}$ der Reihe bezogen, siehe Gl. (4.21). Der ansetzbare Tragfähigkeitsanteil je Verbindungsmittel j einer Verbindung ergibt sich mit Gl. (4.22).

$$k_{sf,i} = \frac{n_{ef,0,i}}{n_{0,i}} \quad (4.21)$$

$$n_{ef,\alpha,j} = \min \left\{ \frac{k_{sf,i}}{\cos \alpha}; 1 \right\} \cdot n_j \quad (4.22)$$

Wird ein Anschluss mit asymmetrisch angeordneten Schrauben ausgeführt, d.h. die Anzahl der Schrauben parallel und/oder senkrecht zur Faserrichtung variieren je Reihe, kann die wirksame Anzahl parallel und/oder senkrecht zur Faserrichtung je Reihe mit Hilfe Gl. (4.20) ermittelt und im Anschluss aufaddiert werden.

Werden die Schrauben einer Reihe in Faserrichtung um mindestens $1 \cdot d$ rechtwinklig zur Faserrichtung gegeneinander versetzt angeordnet, kann bei der Berechnung der wirksamen Anzahl n_{ef} der maßgebliche Abstand untereinander in Faserrichtung a_1 mit dem doppelten Wert in Ansatz gebracht werden.

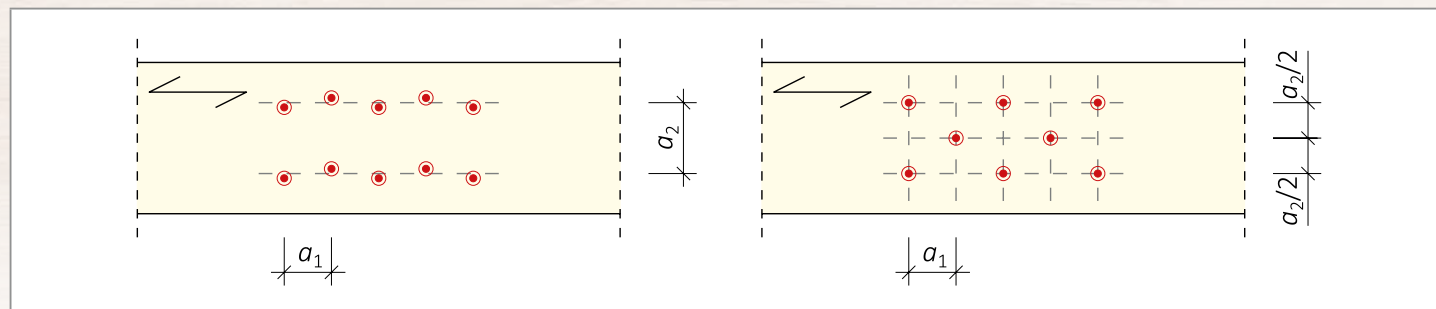


Bild 37: Versetzte Anordnung, links: Mindestversatz, rechts: empfohlener Versatz.

Beispiel zur Ermittlung der wirksamen Schraubenanzahl n_{ef} mit unsymmetrisch angeordneten Schrauben und einem von 0° bzw. 90° verschiedenen Kraft-Faser-Winkel α .

Gegeben:		
Werkstoff	Vollholz (ST)	
Abstand in Faserrichtung	a_1	$10d$
Schrauben in Faserrichtung	$n_{0,1}$	5
	$n_{0,2}$	5
	$n_{0,3}$	3
Kraft-Faser-Winkel	α	30°
Vorgabe:	ASSY®plus Schraube oder ASSY® Schraube vorgebohrt	

Je Schraubenreihe in Faserrichtung wird mit Tabelle 38 und Gl. (4.20) ein $n_{ef,\alpha,i}$ gebildet. Mit dem Werkstoff, $a_1 = 10 \cdot d$ und der Vorgabe ergibt sich der für $\alpha = 0^\circ$ geltende Exponent $k_{ef} = 0,85$:

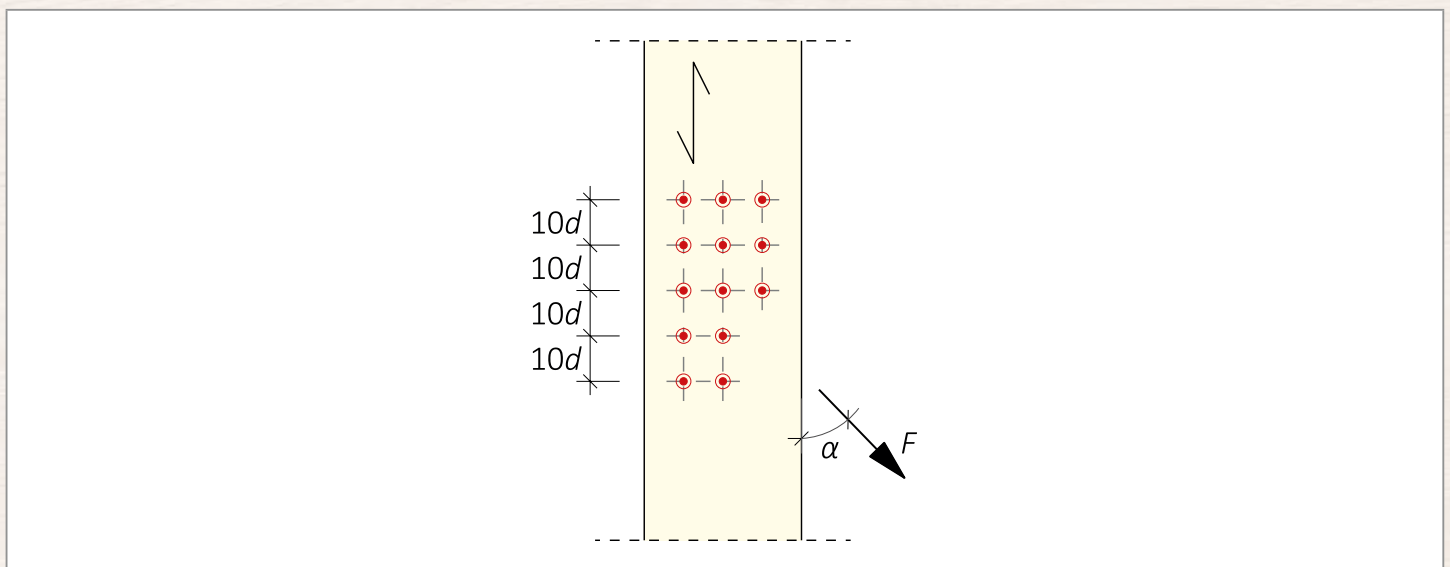


Bild 38: Rechenbeispiel zu $n_{ef,30^\circ}$ Anschluss mit $2 \times 5 + 1 \times 3 = 13$ Schrauben.

$$n_{0,1} = n_{0,2} = 5^{0,85} = 3,92$$

$$n_{0,3} = 3^{0,85} = 2,54$$

$$n_{ef,\alpha,1} = n_{ef,\alpha,2} = \min \left\{ \frac{3,92}{\cos 30^\circ}; 5 \right\} = 4,53$$

$$n_{ef,\alpha,3} = \min \left\{ \frac{2,54}{\cos 30^\circ}; 3 \right\} = 2,93$$

$$n_{ef,\alpha} = \sum_i n_{ef,\alpha,i} = 2 \cdot 4,53 + 1 \cdot 2,93 = \underline{\underline{12,0}}$$

Von 13 eingeschraubten Schrauben dürfen 12 rechnerisch angesetzt werden.

Hinweis:

Bei asymmetrischer Anordnung von Schrauben in einem Anschluss entstehen Exzentrizitäten, die zu einer ungleichmäßigen Beanspruchung der Schrauben-Gruppe führen. Diese Exzentrizitäten müssen zusätzlich berücksichtigt werden.

4.7 Mindestbauteilabmessungen und Mindestabstände lateral beanspruchter Schrauben

4.7.1 Allgemeines

Unabhängig ob Schrauben axial oder lateral beansprucht werden, hängen zulässige Bauteilabmessungen, Achs- und Randabstände vom Kraft-Faser-Winkel α , dem Holz bzw. Holzwerkstoff, der Geometrie der Schraubenspitze und davon ab, ob die Bauteile vor dem Einschrauben vorgebohrt sind.

Die Tabellen 41 bis 47 entsprechen den Angaben der ETA-11/0190.

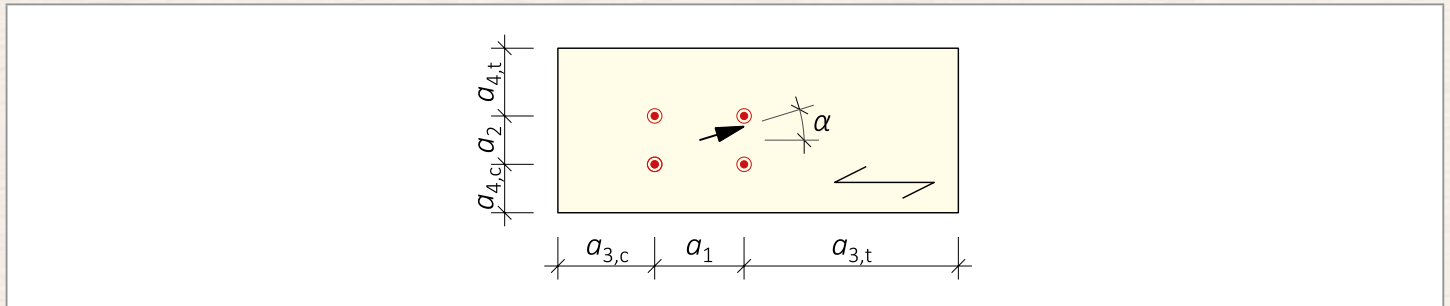


Bild 39: Mindestabstände lateral beanspruchter Schrauben.

a_1	Mindestabstand zweier Verbindungsmittel parallel zur Faserrichtung
a_2	Mindestabstand zweier Verbindungsmittel rechtwinklig zur Faserrichtung
$a_{3,c}$	Mindestabstand zwischen unbeanspruchtem Rand und Verbindungsmittel parallel zur Faserrichtung
$a_{3,t}$	Mindestabstand zwischen beanspruchtem Rand und Verbindungsmittel parallel zur Faserrichtung
$a_{4,c}$	Mindestabstand zwischen unbeanspruchtem Rand und Verbindungsmittel rechtwinklig zur Faserrichtung
$a_{4,t}$	Mindestabstand zwischen beanspruchtem Rand und Verbindungsmittel rechtwinklig zur Faserrichtung
α	Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung

4.7.1.1 Mindestbauteildicken

Die erforderlichen Mindestabmessungen der Bauteile beim Einsatz von nicht vorgebohrten ASSY® Schrauben beziehen sich auf die Regelung des EC 5:

- Bauteile aus besonders spaltgefährdeten Holzarten (z. B. Weißtanne, Douglasie u.a.) sollten vorgebohrt werden, wenn deren Dicke kleiner ist als:

$$t = \max \left\{ \begin{array}{l} 14d \\ (13d - 30) \frac{\rho_k}{200} \end{array} \right. \quad (4.23)$$

- Bauteile aus Kiefer oder wenn $a_4 \geq 10 \cdot d$ mit $\rho_k \leq 420 \text{ kg/m}^3$ bzw. wenn $a_4 \geq 14 \cdot d$ mit $420 \text{ kg/m}^3 < \rho_k \leq 500 \text{ kg/m}^3$ sollten vorgebohrt werden, wenn deren Dicke kleiner ist als:

$$t = \max \left\{ \begin{array}{l} 7d \\ (13d - 30) \frac{\rho_k}{400} \end{array} \right. \quad (4.24)$$

Siehe auch Tabelle 41 und 42, weniger/besonders spaltgefährdete Holzart.

Die Regelung gemäß Gl. (4.24) darf ebenso für die Befestigung von Schalungen, Trag- oder Konterlattungen und für die Zwischenanschlüsse von Windrispen sowie von Querriegeln auf Rahmenhölzern für alle Holzarten angewendet werden, wenn diese Bauteile mit mindestens zwei Schrauben abgeschlossen sind.

Tabelle 39: Mindestbauteildicken bei Einsatz von ASSY®plus Schrauben, **nicht** vorgebohrt.

Gewindeaußendurchmesser d in mm	≤ 6	8	10	12	14
Mindestbauteildicke t_{\min} in mm	24	30	40	80	100
Regelwerk: ETA-11/0190					

Die Mindestbauteildicken nach Tabelle 39 gelten auch für **nicht** vorgebohrte ASSY® Schrauben wenn:

- der Abstand der Schrauben untereinander, in Faserrichtung sowie zum Hirnholzende mindestens $25 \cdot d$ beträgt
- das Bauteil im Anschlussbereich mit Vollgewindeschrauben entsprechend den Vorgaben nach Abschnitt 8 verstärkt ist.

Für Holzwerkstoffplatten sowie für Furnierschichtholz mit Querlagen (LVL-C) sind diese Regeln nicht anwendbar.

In einer Verbindung aus mehreren Holzbauteilen dürfen sich die Schrauben spitzenseitig übergreifen, sofern folgende Bedingung erfüllt ist: $(t - t_{h,i}) > 4 \cdot d$, siehe auch Bild 40.

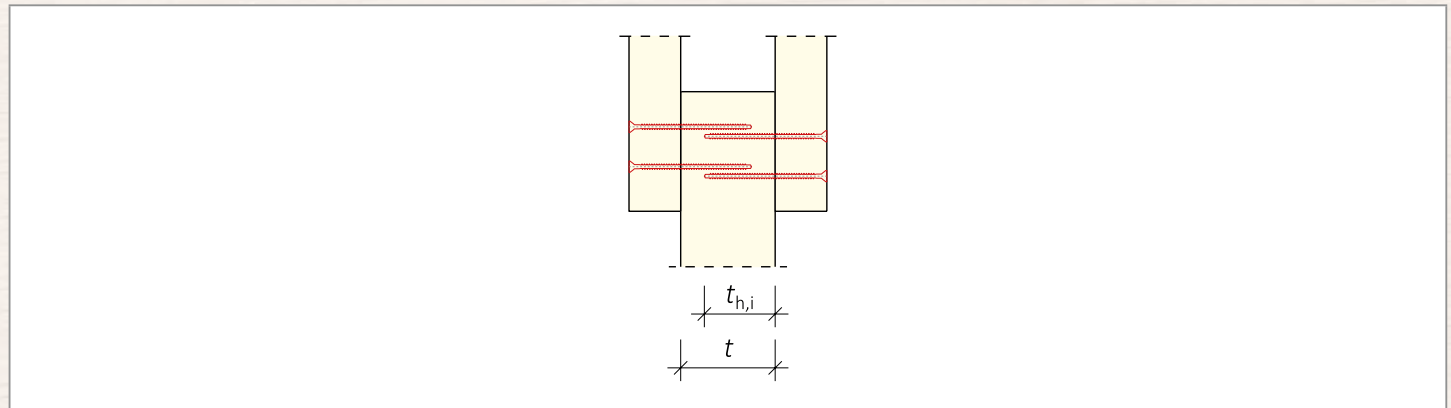


Bild 40: Übergreifung von Schrauben in einem Bauteil.

Darüber hinaus gelten für die Anwendung der aufgeführten Regeln bei Einsatz bestimmter Holzwerkstoffe Beschränkungen bzgl. deren Mindest- und Maximaldicken. Alle Angaben hierzu können Tabelle 40 entnommen werden.

Tabelle 40: Mindest- und Maximalbauteildicken von Holzwerkstoffen.

Plattenwerkstoff	t_{\min} in mm	t_{\max} in mm
OSB/3 und OSB/4	12	30
Spanplatten	13	
Gipskarton	12,5	-
Fermacell Gipsfaser	10	-
Regelwerk: ETA-11/0190		

4.7.1.2 Mindestachs- und Randabstände

Die erforderlichen Mindestabstände von lateral beanspruchten Schrauben gemäß Tabellen 41–44 und 46–47 beziehen sich immer auf den Mittelpunkt der Schrauben in der betrachteten Scherfuge (siehe Bild 39).

Es gelten die Abstände nach EC 5 (in den Tabellen 41 bis 44 sind das die Abstände in den Spalten eins und zwei).

Die Mindestrand- und Achsabstände sind für alle Bauteile jeder Scherfuge gesondert zu betrachten. Der Winkel α zwischen Kraft und Faserrichtung muss dabei je Bauteil in Abhängigkeit der Decklage gesondert berücksichtigt werden.

Beträgt der Abstand der Schrauben untereinander, in Faserrichtung sowie zum Hirnholzende mindestens $25 \cdot d$, darf auch bei Bauteildicken $t < 5 \cdot d$ der Abstand zum unbeanspruchten Rand rechtwinklig zur Faserrichtung auf $a_{3,c} = 3 \cdot d$ reduziert werden.

4.7.2 Mindestabstände und Mindestbauteildicken für lateral beanspruchte Schrauben in Vollholz (ST/FST)

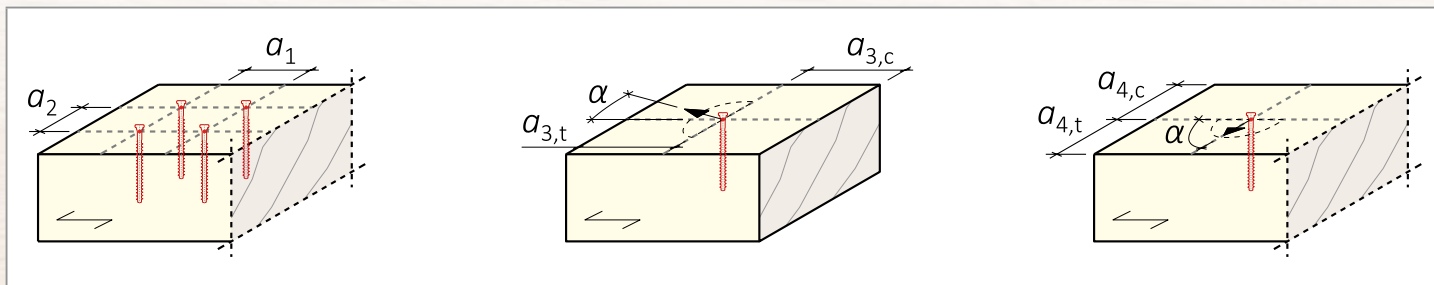


Bild 41: Abstände und Winkel in Vollholzprodukten.

Tabelle 41: Mindestabstände und Mindestbauteildicken für lateral beanspruchte Schrauben in **Vollholz** (ST/FST), **Balkenschichtholz** (GST) oder **Brettschichtholz** (GL) mit $\rho_k \leq 420 \text{ kg/m}^3$.

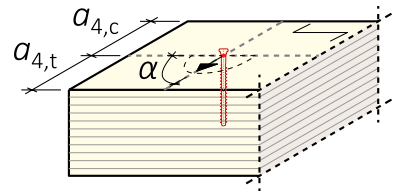
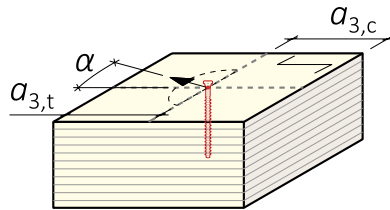
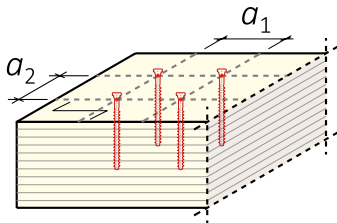
	ASSY®plus: nicht vorgebohrt ASSY®: vorgebohrt					ASSY®: nicht vorgebohrt				
a_1	$k_a \cdot (4 + \cos \alpha) d^{a)}$					$k_a \cdot (5 + 7 \cos \alpha) d^{b)}$				
a_2	$k_a \cdot (3 + \sin \alpha) d^{a)}$					$k_a \cdot 5 d^{a)}$				
$a_{3,t}$	$(7 + 5 \cos \alpha) d$					$k_a \cdot (10 + 5 \cos \alpha) d^{c)}$				
$a_{3,c}$	$7 d$					$k_a \cdot 10 d^{c)}$				
$a_{4,t}$	$(3 + 4 \sin \alpha) d$					$(5 + 5 \sin \alpha) d^{d)}$				
$a_{4,c}$	$3 d$					$5 d^{d)}$				
Mindestbauteildicken t_{\min} für unterschiedliche Gewindeaußendurchmesser d										
d	6	8	10	12	14	6	8	10	12	14
t_{\min}	24	30	40	80	100					
Weniger spaltgefährdete Holzart. Nach NDP zu 8.3.1.2(7) gültig für Kiefer (Pinus sylvestris) ^{e) f)}										
$t_{\min} (\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3)$						42	65	88	110	133
$t_{\min} (\rho_k = 420 \text{ kg/m}^3)$						50	78	105	132	160
Besonders spaltgefährdete Holzarten. Nach NDP zu 8.3.1.2(7) gültig für alle Holzarten außer Kiefer ^{e) f)}										
$t_{\min} (\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3)$						84	130	175	221	266
$t_{\min} (\rho_k = 420 \text{ kg/m}^3)$						101	155	210	265	320
Tabellenwerte in mm.										
^{a)} $k_a = 1,0$ für Holz-Holz-Verbindungen, $k_a = 0,85$ für Holzwerkstoff-Holz-Verbindungen (siehe Tabelle 14), $k_a = 0,7$ für Stahlblech-Holz-Verbindungen										
^{b)} $k_a = 1,0$ für Holz-Holz-Verbindungen (Douglasie: $k_a = 1,5$), $k_a = 0,85$ für Holzwerkstoff-Holz-Verbindungen (siehe Tabelle 14; Douglasie: $k_a = 1,275$), $k_a = 0,7$ für Stahlblech-Holz-Verbindungen (Douglasie: $k_a = 1,05$)										
^{c)} Allgemein $k_a = 1,0$, für Douglasie gilt $k_a = 1,5$										
^{d)} Wird für die Abstände $a_{4,t}$ und $a_{4,c}$ ein erhöhter Abstand von $10 \cdot d$ angesetzt, dürfen die Mindestholzdicken t_{\min} für Kiefer auch für besonders spaltgefährdete Holzarten verwendet werden.										
^{e)} Für andere charakteristische Rohdichten siehe Abschnitt 4.7.1.										
^{f)} Die Mindestholzdicken für Kiefer dürfen ebenfalls verwendet werden, bei der Befestigung von: 1. Schalungen, Trag- und Konterlattung ($n \geq 2$ je Anschluss) 2. Windrispen ($n \geq 2$ je Anschluss) 3. Querriegel auf Rahmenhölzern ($n \geq 2$ je Anschluss)										
Regelwerk: ETA-11/0190, EC 5 (Abstände, auf ρ_k bezogene t_{\min})										

Tabelle 42: Mindestabstände und Mindestbauteildicken für lateral beanspruchte Schrauben in **Vollholz** (ST/FST), **Balkenschichtholz** (GST) oder **Brettschichtholz** (GL) mit $\rho_k > 420 \text{ kg/m}^3$.

	ASSY®plus: nicht vorgebohrt ASSY®: vorgebohrt $\rho_k > 500 \text{ kg/m}^3$: immer vorgebohrt					ASSY®: nicht vorgebohrt $420 \text{ kg/m}^3 < \rho_k \leq 500 \text{ kg/m}^3$				
a_1	$k_a \cdot (4 + \cos \alpha) d^{a)}$					$k_a \cdot (7 + 8 \cos \alpha) d^{b)}$				
a_2	$k_a \cdot (3 + \sin \alpha) d^{a)}$					$k_a \cdot 7 d^{a)}$				
$a_{3,t}$	$(7 + 5 \cos \alpha) d$					$k_a \cdot (15 + 5 \cos \alpha) d^{c)}$				
$a_{3,c}$	$7 d$					$k_a \cdot 15 d^{c)}$				
$a_{4,t}$	$(3 + 4 \sin \alpha) d$					$(7 + 5 \sin \alpha) d^{d)}$				
$a_{4,c}$	$3 d$					$7 d^{d)}$				
Mindestbauteildicken für unterschiedliche Gewindeaußendurchmesser d										
d	6	8	10	12	14	6	8	10	12	14
t_{\min}	24	30	40	80	100					
Weniger spaltgefährdete Holzart. Nach NDP zu 8.3.1.2(7) gültig für Kiefer (Pinus sylvestris) ^{e) f)}										
$t_{\min} (\rho_k = 425 \text{ kg/m}^3)$						51	79	106	134	162
$t_{\min} (\rho_k = 500 \text{ kg/m}^3)$						60	93	125	158	190
Besonders spaltgefährdete Holzarten. Nach NDP zu 8.3.1.2(7) gültig für alle Holzarten außer Kiefer ^{e) f)}										
$t_{\min} (\rho_k = 425 \text{ kg/m}^3)$						102	157	212	268	323
$t_{\min} (\rho_k = 500 \text{ kg/m}^3)$						120	185	250	315	380
Tabellenwerte in mm. ^{a)} $k_a = 1,0$ für Holz-Holz-Verbindungen, $k_a = 0,85$ für Holzwerkstoff-Holz-Verbindungen (siehe Tabelle 14), $k_a = 0,7$ für Stahlblech-Holz-Verbindungen ^{b)} $k_a = 1,0$ für Holz-Holz-Verbindungen (Douglasie: $k_a = 1,5$), $k_a = 0,85$ für Holzwerkstoff-Holz-Verbindungen (siehe Tabelle 14; Douglasie: $k_a = 1,275$), $k_a = 0,7$ für Stahlblech-Holz-Verbindungen (Douglasie: $k_a = 1,05$) ^{c)} Allgemein $k_a = 1,0$, für Douglasie gilt $k_a = 1,5$ ^{d)} Wird für die Abstände $a_{1,t}$ und $a_{4,c}$ ein erhöhter Abstand von $10 \cdot d$ angesetzt, dürfen die Mindestholzdicken t_{\min} für Kiefer auch für besonders spaltgefährdete Holzarten verwendet werden. ^{f)} Für andere charakteristische Rohdichten siehe Abschnitt 4.7.1. ^{f)} Die Mindestholzdicken für Kiefer dürfen ebenfalls verwendet werden, bei der Befestigung von: 1. Schalungen, Trag- und Konterlattung ($n \geq 2$ je Anschluss) 2. Windrispen ($n \geq 2$ je Anschluss) 3. Querriegel auf Rahmenhölzern ($n \geq 2$ je Anschluss)										
Regelwerk: ETA-11/0190, EC 5 (Abstände, auf ρ_k bezogene t_{\min})										

4.7.3 Mindestabstände und Mindestbauteildicken für lateral beanspruchte Schrauben in Furnierschichtholz (LVL) aus Nadelholz

Abstände mit Schrauben in Deckfläche



Abstände mit Schrauben in Schmalfläche

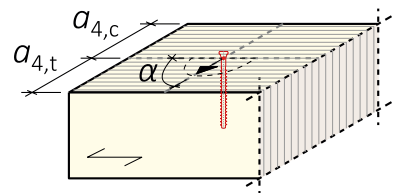
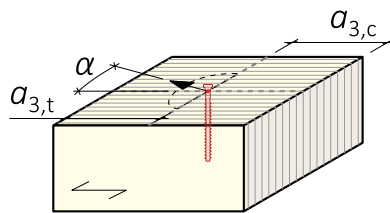
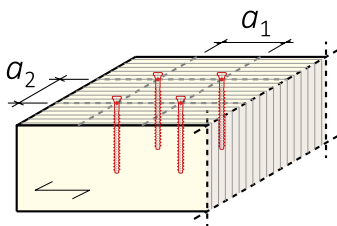


Bild 42: Abstände und Winkel in Furnierschichtholz (LVL) aus Nadelholz.

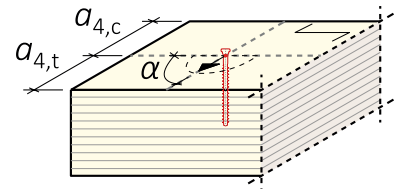
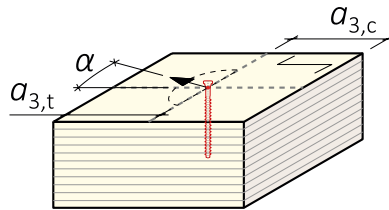
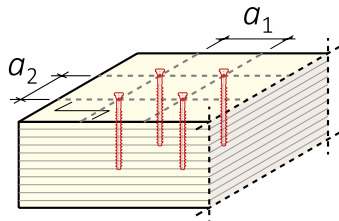
Tabelle 43: Mindestabstände und Mindestbauteildicken für lateral beanspruchte Schrauben in Bauteilen aus **Furnierschichtholz (LVL)** aus **Nadelholz**, nach DIN EN 13986, DIN EN 14279 und DIN EN 14374.

	ASSY®plus: nicht vorgebohrt ASSY®: vorgebohrt	ASSY®: nicht vorgebohrt								
a_1	$k_a \cdot (4 + \cos \alpha) d^{a)}$	$k_a \cdot (7 + 8 \cos \alpha) d^{a)}$								
a_2	$k_a \cdot (3 + \sin \alpha) d^{a)}$	$k_a \cdot 7 d^{a)}$								
$a_{3,t}$	$(7 + 5 \cos \alpha) d$	$(15 + 5 \cos \alpha) d$								
$a_{3,c}$	$7 d$	$15 d$								
$a_{4,t}$	$(3 + 4 \sin \alpha) d$	$(7 + 5 \sin \alpha) d$								
$a_{4,c}$	$3 d$	$7 d$								
Mindestbauteildicken t_{\min} für unterschiedliche Gewindeaußendurchmesser d										
d	6 ^{b)}	8	10	12	14	6 ^{b)}	8	10	12	14
t_{\min}	24	30	40	80	100	24	30	40	80	100
Tabellenwerte in mm. ^{a)} $k_a = 1,0$ für Holz-Holz-Verbindungen, $k_a = 0,85$ für Holzwerkstoff-Holz-Verbindungen (siehe Tabelle 14), $k_a = 0,7$ für Stahlblech-Holz-Verbindungen ^{b)} Mindestgewindeaußendurchmesser für Schrauben in den Schmalfächen von Furnierschichtholz mit Querlagen (LVL-C) Bauteile mit charakteristischen Rohdichten $\rho_k > 500 \text{ kg/m}^3$ müssen vor Eindrehen der Schrauben vorgebohrt werden.										
Regelwerk: ETA-11/0190, EC 5 (Abstände)										

Spezialfälle siehe Bauartgenehmigung des jeweiligen Furnierschichtholzherstellers.

4.7.4 Mindestabstände und Mindestbauteildicken für lateral beanspruchte Schrauben in Brettschichtholz aus Furnierschichtholz (GLVL) aus Buche nach ETA-14/0354

Abstände mit Schrauben in Deckfläche



Abstände mit Schrauben in Schmalfläche

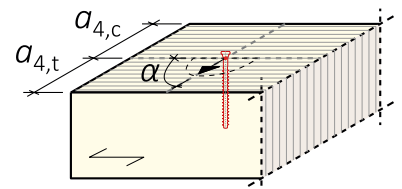
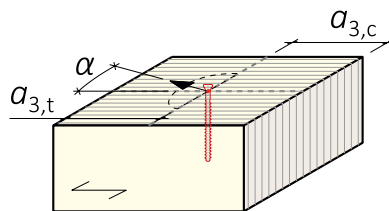
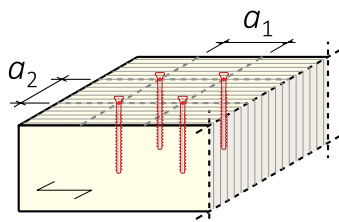


Bild 43: Abstände und Winkel in Furnierschichtholz aus Buche.

Tabelle 44: Mindestabstände und Mindestbauteildicken für lateral beanspruchte Schrauben in Bauteilen aus Brettschichtholz aus Furnierschichtholz (GLVL) aus **Buche** (ETA-14/0354).

	ASSY®plus: vorgebohrt ASSY®: vorgebohrt					ASSY®plus: nicht vorgebohrt ASSY®: nicht vorgebohrt			
a_1	$k_a \cdot (4 + \cos \alpha) d^{a)}$					$k_a \cdot (7 + 8 \cos \alpha) d^{a)}$			
a_2	$k_a \cdot (3 + \sin \alpha) d^{a)}$					$k_a \cdot 7 d^{a)}$			
$a_{3,t}$	$(7 + 5 \cos \alpha) d$					$(15 + 5 \cos \alpha) d$			
$a_{3,c}$	$7 d$					$15 d$			
$a_{4,t}$	$(3 + 4 \sin \alpha) d$					$(7 + 5 \sin \alpha) d$			
$a_{4,c}$	$3 d$					$7 d$			
Mindestbauteildicken für unterschiedliche Gewindeaußendurchmesser d									
d	6	8	10	12	14	6	8	10	12
t_{\min}	24	30	40	80	100	42 ^{b)}	56 ^{b)}	70 ^{b)}	84 ^{b)}
Tabellenwerte in mm. ^{a)} $k_a = 1,0$ für Holz-Holz-Verbindungen, $k_a = 0,85$ für Holzwerkstoff-Holz-Verbindungen (siehe Tabelle 14), $k_a = 0,7$ für Stahlblech-Holz-Verbindungen ^{b)} Mindestdicken $t \geq 7 d$ gültig für $5 \leq d \leq 12$, Typ S; für Typ Q ist keine Mindestdicke erforderlich.									
Regelwerk: ETA-11/0190, EC 5									

In Tabelle 45 sind maximal zulässige Einbindetiefen $t_{h,\max}$ für Schrauben aus Kohlenstoffstahl angegeben, die ohne Vorbohren eingeschraubt werden dürfen. Größere Einbindetiefen sind für die gesamte Schraubenlänge vorzubohren.

Tabelle 45: Maximal zulässige Einbindetiefe $t_{h,\max}$ ohne Vorbohren.

	Alle ASSY®plus				ASSY®					
Gewindeaußendurchmesser d in mm	6	8	10	12	5	6	7	7,5	8	10
Einbindetiefe $t_{h,\max}$ in mm	30	48	80	96	50	60	70	75	80	100

Regelwerk: ETA-11/0190

4.7.5 Mindestabstände und Mindestbauteildicken für lateral beanspruchte Schrauben in Brettsperrholz (CLT)

Sofern den Zulassungen der Brettsperrholzhersteller keine anderslautenden Angaben zu entnehmen sind, gelten die Mindestwerte der Achs- und Randabstände für Schrauben in Brettsperrholz (CLT) nach Tabelle 46.

Für die Definition der Faserrichtung ist bei der Anordnung der Schrauben in der Seitenfläche die Faserrichtung der Decklage zugrunde zu legen. Für Schrauben, die in der Schmalfläche angeordnet werden gilt, sofern relevant, die Faserrichtung der entsprechenden Lage.

Bei Verschraubungen in der Schmalfläche mit Belastung senkrecht zur Decklagenebene können u.U. Querkzugspannungen auftreten, die durch entsprechende Schrauben als Querkzugverstärkung aufgenommen werden können.

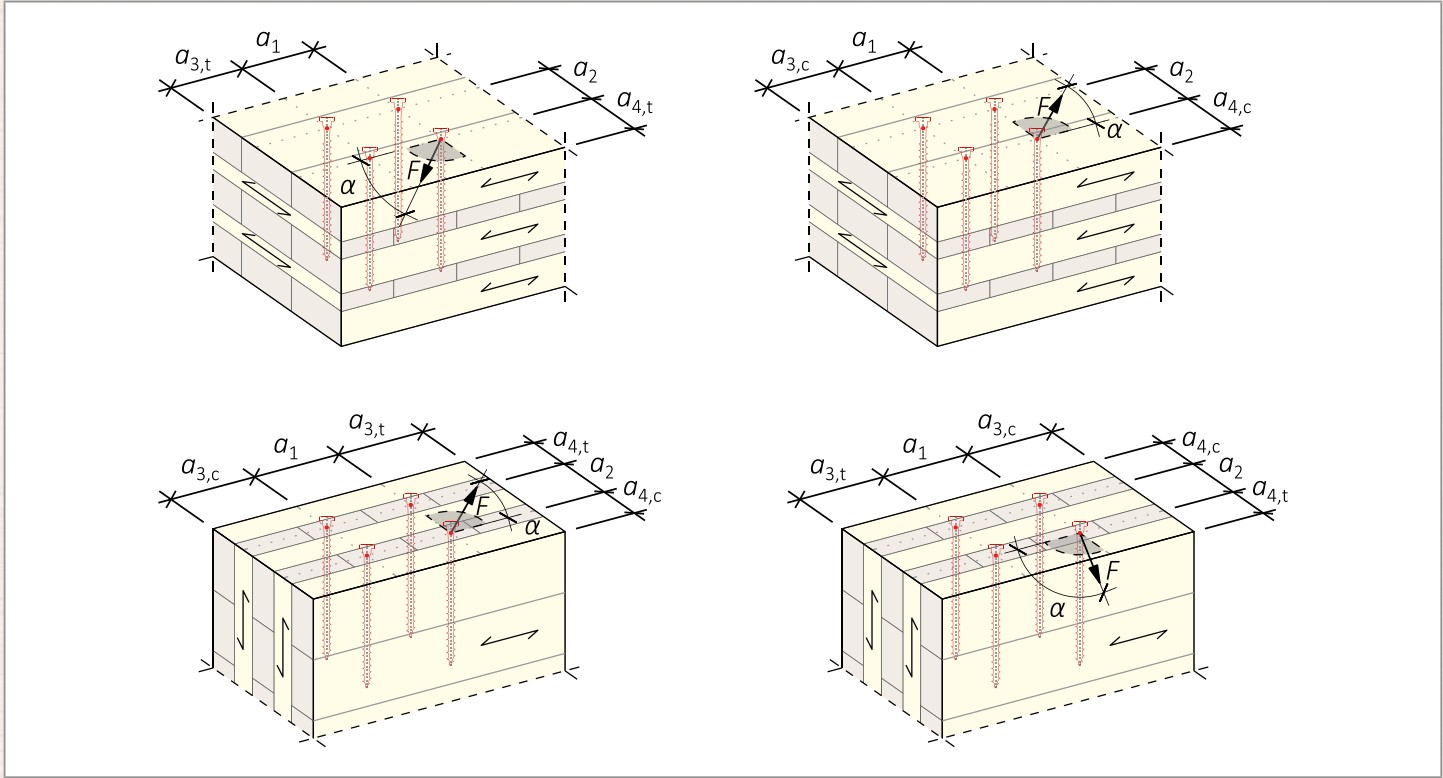


Bild 44: Abstände in Brettsperrholz.

Tabelle 46: Mindestabstände bei der Verschraubung in die Seitenflächen oder Schmalflächen von Brettsperrholz (CLT) aus Nadelholz.

ASSY®plus: nicht vorgebohrt ASSY®: nicht vorgebohrt										
	Seitenfläche					Schmalfläche				
a_1	4 d					10 d				
a_2	2,5 d					4 d				
$a_{3,t}$	6 d					12 d				
$a_{3,c}$	6 d					7 d				
$a_{4,t}$	6 d					6 d				
$a_{4,c}$	2,5 d					3 d				
Mindestbauteildicken und Mindesteinbindetiefen für unterschiedliche Gewindeaußendurchmesser d										
d	6	8	10	12	14	6	8	10	12	14
d	6	8	10	12	14	6	8	10	12	14
t _{CLT}	60	80	100	120	140	60	80	100	120	140
t _h	keine Vorgaben					60	80	100	120	140
Tabellenwerte in mm. Angaben gelten auch in Verbindungen zwischen Brettsperrholz und Stahlblech. Eine schmalflächenseitige Verschraubung in der Decklage, ist nur dann zulässig, wenn die Decklage als einzelnes Bauteil („Brett“) betrachtet wird. Und die zugehörigen Verbindungsmittelabstände eingehalten sind. Siehe auch Gl. (4.11). Bei zwei gleichgerichteten, äußeren Brettlagen zählt die innere Brettlage als eigene Lage.										
Regelwerk: ETA-11/0190										

4.7.6 Hirnholzverschraubung

Für Verschraubungen in Hirnholz ($\varepsilon = 0^\circ$) gelten die Abstände nach Tabelle 47.

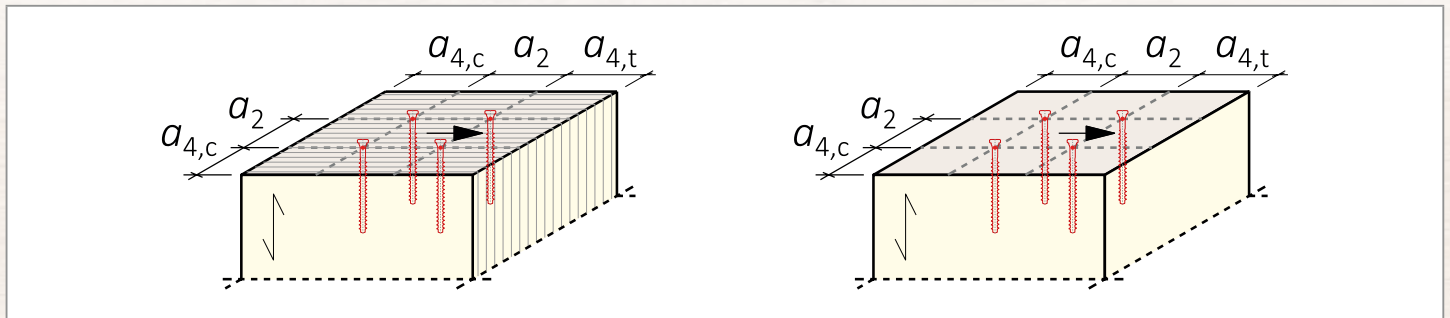


Bild 45: Definition der Rand- und Achsabstände von Schrauben mit faserparalleler Anordnung im Hirnholz ($\varepsilon = 0^\circ$) von Vollholzprodukten.

Tabelle 47: Mindestabstände für lateral beanspruchte Schrauben in Hirnholzflächen mit Winkel zwischen Schraubenachse und Faserrichtung $\varepsilon = 0^\circ$, Bauteile aus Vollholz (ST/FST), **Balkenschichtholz** (GST) oder **Brettschichtholz** (GL) aus **Nadelholz**.

	ASSY®plus: nicht vorgebohrt ASSY®: vorgebohrt	ASSY®: nicht vorgebohrt			
	$\rho_k \leq 500 \text{ kg/m}^3$	$\rho_k \leq 420 \text{ kg/m}^3$	$420 \text{ kg/m}^3 < \rho_k \leq 500 \text{ kg/m}^3$		
a_2	4 d	5 d	7 d		
$a_{4,t}$	7 d	10 d	12 d		
$a_{4,c}$	3 d	5 d	7 d		
Mindesteinbindetiefen t_h für unterschiedliche Gewindeaußendurchmesser d					
d	6	8	10	12	14
d	6	8	10	12	14
t_h	60	80	100	120	140
Tabellenwerte in mm.					
Regelwerk: ETA-11/0190, vergleiche EC 5 (Tabelle 8.2)					

4.7.7 Beispiele zu Abständen, wirksamer Schraubenanzahl und Bauteildicke

Beispiel 1: 2 x 3 Schrauben ASSY® 4 CSMP 6,0 x 240/70 mm

Gegeben:

- Anordnung nicht versetzt
- Montage ohne Vorbohren

$$\rho_{k,1} = 350 \text{ kg/m}^3 \text{ (siehe Tabelle 58)}$$

$$\rho_{k,2} = 365 \text{ kg/m}^3$$

$$\alpha = 0^\circ \text{ (} \cos 0^\circ = 1; \sin 0^\circ = 0 \text{)}$$

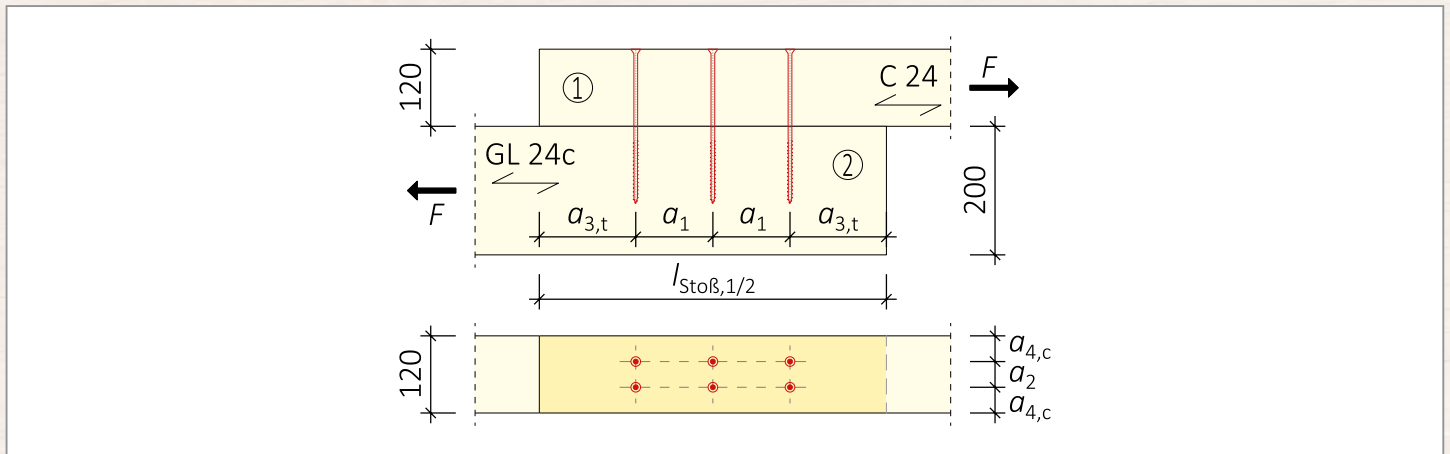


Bild 46: Laschenstoß, Abstände nicht vorgebohrt, ohne Bohrspitze.

Gesucht: $n_{\text{ef,ges}}$; $l_{\text{Stoß,1/2}}$
mit Tabelle 41, Spalte 3:

$$a_1 = (5 + 7)d = 12d$$

$$a_2 = 5d$$

$$a_{3,t,1/2} = (10 + 5)d = 15d$$

$$a_{4,c} = 5d$$

mit Gl. (4.18), (4.19) und Tabelle 38:

$$n_{\text{ef},0} = n_0^{\text{k}_{\text{ef}}} = 3^{0,93} = 2,78$$

$$n_{\text{ef},90} = n_{90} = 2$$

$$n_{\text{ef,ges}} = n_{\text{ef},90} \cdot n_{\text{ef},0} = 2,78 \cdot 2 = 5,56$$

$$\begin{aligned} l_{\text{Stoß,1/2}} &= (n_0 - 1) \cdot a_1 + 2 \cdot a_{3,t,1/2} \\ &= 2 \cdot 72 \text{ mm} + 2 \cdot 90 \text{ mm} \\ &= 324 \text{ mm} \end{aligned}$$

Beispiel 2: 2 x 3 Schrauben ASSY® plus 4 CSMP 8,0 x 240/100,5 mm
Gegeben:

- Anordnung nicht versetzt
- Montage ohne Vorbohren

$$\rho_{k,1} = 350 \text{ kg/m}^3 \text{ (siehe Tabelle 58)}$$

$$\rho_{k,2} = 365 \text{ kg/m}^3$$

$$\alpha = 0^\circ \text{ (} \cos 0^\circ = 1; \sin 0^\circ = 0 \text{)}$$

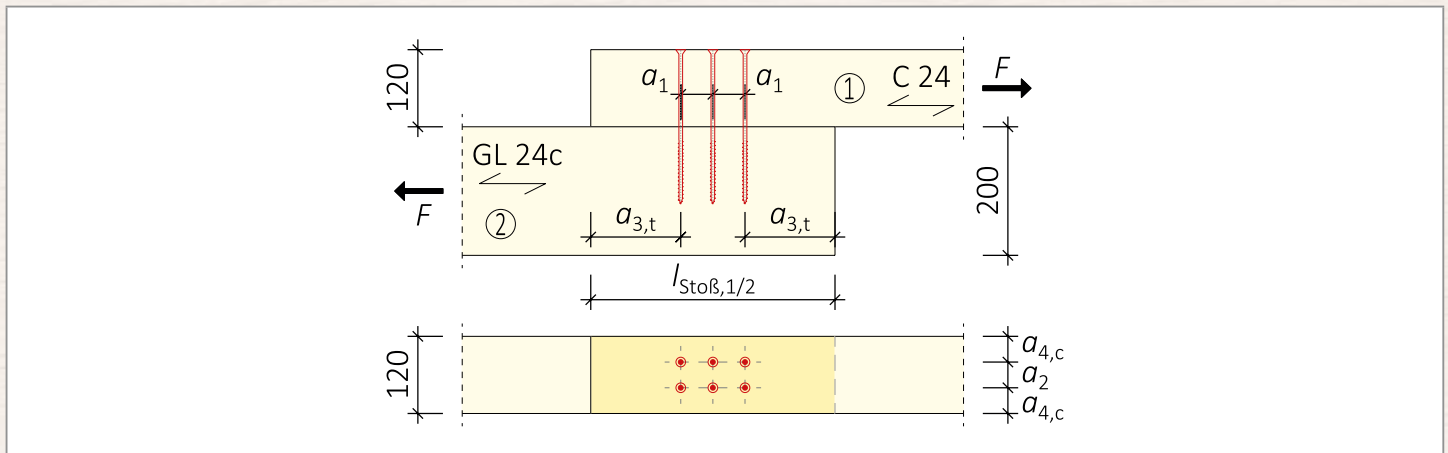


Bild 47: Laschenstoß, Abstände nicht vorgebohrt, mit Bohrspitze.

Gesucht: $n_{ef,ges}$; $l_{Stoß,1/2}$
mit Tabelle 41, Spalte 2:

$$a_1 = (4 + 1)d = 5d$$

$$a_2 = 3d$$

$$a_{3,t,1/2} = (7 + 5)d = 12d$$

$$a_{4,c} = 3d$$

mit Gln. (4.18), (4.19) und Tabelle 38:

$$n_{ef,0} = n_0^{k_{ef}} = 3^{0,57} = 1,87$$

$$n_{ef,90} = n_{90} = 2$$

$$n_{ef,ges} = n_{ef,90} \cdot n_{ef,0} = 1,87 \cdot 2 = 3,74$$

$$\begin{aligned} l_{Stoß,1/2} &= (n_0 - 1) \cdot a_1 + 2 \cdot a_{3,t,1/2} \\ &= 2 \cdot 40 \text{ mm} + 2 \cdot 96 \text{ mm} \\ &= 272 \text{ mm} \end{aligned}$$

Gegenüberstellung der Beispiele 1 und 2

	Schrauben	n_{ges}	n_{ef}	$l_{Stoß}$ in mm	versetzte Anordnung	VM-Kosten	Montagezeit	Anschlussfläche	Spaltgefahr
Beispiel 1	6 x 240 TG	6	5,56	324	nein	-	-	+	+
Beispiel 2	8 x 240 TG*	6	3,74	272	nein	+	+	-	-

* Mit Bohrspitze

+ = höher; - = geringer

Bei Schrauben mit Bohrspitze dürfen die Mindestabstände für vorgebohrte Bauteile verwendet werden. Die Ermittlung der Lochleibungsfestigkeit bei Schrauben mit Bohrspitze erfordert die Gleichung für nicht vorgebohrte Bauteile (siehe Abschnitt 4.3).

Beispiel 3: 2 x 3 Schrauben ASSY® plus 4 CSMP 8,0 x 240/100,5 mm, Anordnung um d versetzt

Gegeben:

- Anordnung um d versetzt
- Montage ohne Vorbohren

$$\rho_{k,1} = 350 \text{ kg/m}^3 \text{ (siehe Tabelle 58)}$$

$$\rho_{k,2} = 365 \text{ kg/m}^3$$

$$\alpha = 0^\circ \text{ (} \cos 0^\circ = 1; \sin 0^\circ = 0 \text{)}$$

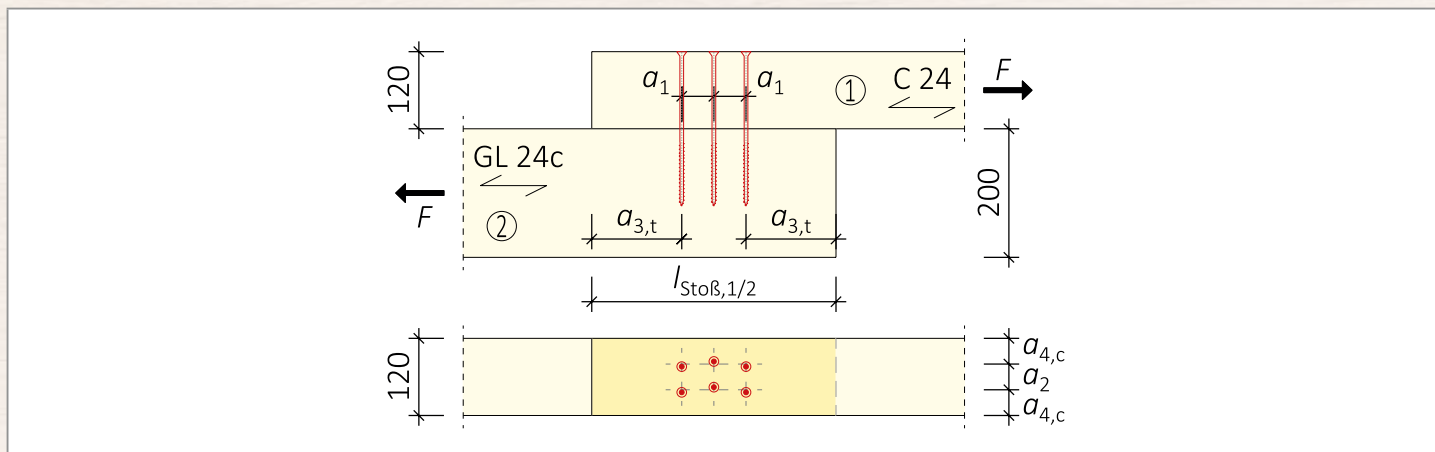


Bild 48: Laschenstoß, Abstände nicht vorgebohrt, mit Bohrspitze, Anordnung um d versetzt.

Gesucht: $n_{\text{ef,ges}}; l_{\text{Stoß,1/2}}$
mit Tabelle 41, Spalte 2:

$$a_1 = (4 + 1)d = 5d$$

$$a_2 = 3d$$

$$a_{3,t,1/2} = (7 + 5)d = 12d$$

$$a_{4,c} = 3d$$

mit Gl. (4.18), (4.19) und Tabelle 38 (mit $a_1 = 10d$ wegen versetzter Anordnung und somit $k_{\text{ef}} = 0,85$):

$$n_{\text{ef},0} = n_0^{k_{\text{ef}}} = 3^{0,85} = 2,54$$

$$n_{\text{ef},90} = n_{90} = 2$$

$$n_{\text{ef,ges}} = n_{\text{ef},0} \cdot n_{\text{ef},90} = 2,54 \cdot 2 = 5,09 \text{ Schrauben}$$

$$= 5,09 \text{ Schrauben}$$

$$\begin{aligned} l_{\text{Stoß,1/2}} &= (n_0 - 1)a_1 + 2a_{3,t,1/2} \\ &= 2 \cdot 40 \text{ mm} + 2 \cdot 96 \text{ mm} \\ &= 272 \text{ mm} \end{aligned}$$

Gegenüberstellung der Beispiele 2 und 3

	Schrauben	n_{ges}	n_{ef}	$l_{\text{Stoß}}$ in mm	versetzte Anordnung	VM-Kosten	Montagezeit	Anschlussfläche	Spaltgefahr
Beispiel 2	8 x 240 TG*	6	3,72	272	nein	0	0	0	+
Beispiel 3	8 x 240 TG*	6	5,09	272	ja	0	0	0	-

* Mit Bohrspitze

0 = gleich; + = höher; - = geringer

Beispiel 4: 1 x 4 Schrauben ASSY® plus 4 CSMP 6,0 x 200/70 mm, Anordnung um d versetzt

Gegeben:

- Anordnung um d versetzt
- Montage ohne Vorbohren

$$\rho_{k,1} = 350 \text{ kg/m}^3; \rho_{k,2} = 365 \text{ kg/m}^3$$

$$\alpha_1 = 0^\circ (\cos 0^\circ = 1; \sin 0^\circ = 0)$$

$$\alpha_2 = 90^\circ (\cos 90^\circ = 0; \sin 90^\circ = 1)$$

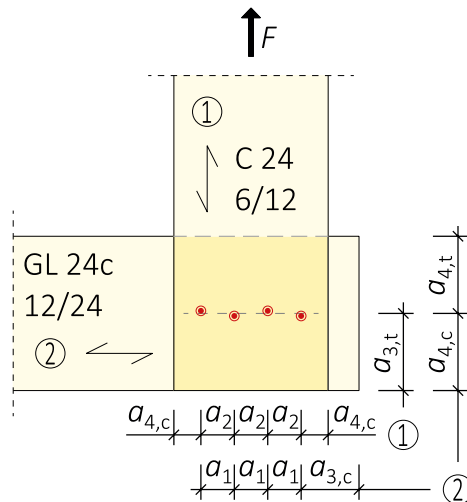


Bild 49: Laschenstoß unter 90° .

Gesucht: $n_{\text{ef,ges}}$

mit Tabelle 41, Spalte 2:

$$\begin{aligned} a_{1,1} &= (4 + 1)d = 5d & a_{1,2} &= (4 + 0)d = 4d \\ a_{2,1} &= 3d & a_{2,2} &= 4d \\ a_{3,t,1} &= (7 + 5)d = 12d & a_{3,c,2} &= 7d \\ a_{4,t,1} &= \text{n. def.} & a_{4,t,2} &= (3 + 4)d = 7d \\ a_{4,c,1} &= 3d & a_{4,c,2} &= 3d \end{aligned}$$

mit Gln. (4.18), (4.19):

$$\begin{aligned} n_{\text{ef},0,1} &= n_0 = 1 & n_{\text{ef},0,2} &= n_0 = 4 \\ n_{\text{ef},90,1} &= n_{90} = 4 & n_{\text{ef},90,2} &= n_{90} = 1 \\ n_{\text{ef,ges}} &= n_{\text{ef},0} \cdot n_{\text{ef},90,2} = 1 \cdot 4 \text{ (oder } 4 \cdot 1) \\ &= 4 \text{ Schrauben} \end{aligned}$$

Beispiel 5: 3 x 2 Schrauben ASSY® plus 4 CSMP 6,0 x 120/70 mm

Gegeben:

- Anordnung nicht versetzt
- Montage ohne Vorbohren

$$\rho_{k,1} = 350 \text{ kg/m}^3; \rho_{k,2} = 365 \text{ kg/m}^3$$

$$\alpha_1 = 0^\circ (\cos 0^\circ = 1; \sin 0^\circ = 0)$$

$$\alpha_2 = 45^\circ (\cos 45^\circ = \sin 45^\circ = \frac{1}{\sqrt{2}})$$

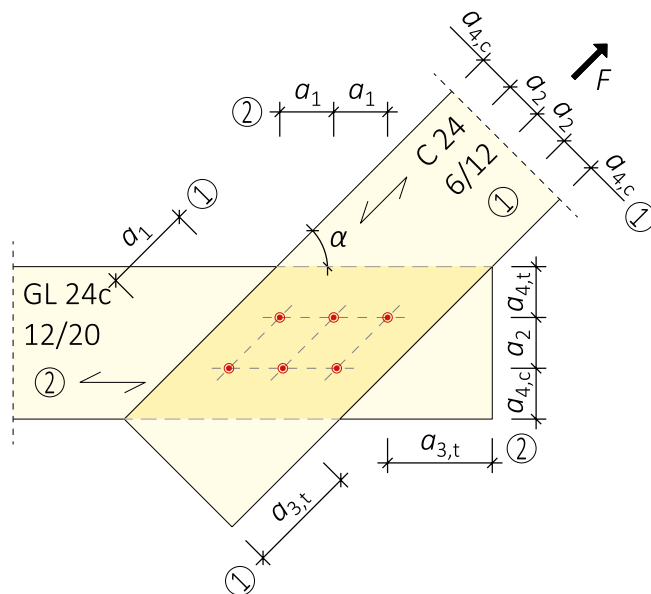


Bild 50: Laschenstoß unter 45°.

Gesucht: $n_{ef,min}$

Wahl der Abstände mit Tabelle 41, Spalte 2:

$$a_{3,t,1} = (7 + 5)d = 12d$$

$$a_{4,t,2} = (3 + 4 \cdot \frac{1}{\sqrt{2}})d = 5,8d$$

$$a_{4,c,1} = 3d$$

$$a_{4,c,2} = \frac{a_{3,t,1} - a_{4,c,1}}{\sqrt{2}} = 6d$$

$$a_{2,1} = \frac{b_1 - 2 \cdot a_{4,c,1}}{n_{90,1} - 1} = \frac{20d - 2 \cdot 3d}{2} = 7d$$

$$\begin{aligned} a_{2,2} &= b_2 - a_{4,t,2} - a_{4,c,2} - d \\ &= 20d - 5,8d - 6d - d \\ &= 7,2d \end{aligned}$$

$$a_{1,1} = a_{2,2} \cdot \sqrt{2} = 10,2d$$

$$a_{1,2} = a_{2,1} \cdot \sqrt{2} = 9,9d$$

$$a_{3,t,2} = (7 + 5 \cdot \frac{1}{\sqrt{2}})d = 10,5d$$

$$a_{4,t,1} = n. \text{ def.}$$

Prüfung Abstände:

$$a_{4,c,2ist} \geq a_{4,c,2min}$$

$$a_{2,2ist} \geq a_{2,2min}$$

$$a_{1,2ist} \geq a_{1,2min}$$

$$6d > 3d \checkmark$$

$$7,2d > 3,7d \checkmark$$

$$9,9d > 4,7d \checkmark$$

$$a_{2,1ist} \geq a_{2,1min}$$

$$a_{1,1ist} \geq a_{1,1min}$$

$$7d > 3d \checkmark$$

$$10,2d > 5d \checkmark$$

Wirksame Schraubenanzahl:

mit Gln. (4.18), (4.19) und Tabelle 38 und Gl. (4.22):

Bauteil 1:

$$n_{\text{ef},0,1} = n_0^{\text{k}_{\text{ef}}} = 2^{0,85} = 1,8; n_{\text{ef},90,1} = n_{90} = 3$$

$$n_{\text{ef},1} = n_{\text{ef},0,1} \cdot n_{\text{ef},90,1} = 1,8 \cdot 3 = 5,4$$

Bauteil 2:

$$n_{\text{ef},0,2} = n_0^{\text{k}_{\text{ef}}} = 3^{0,85} = 2,54; n_{\text{ef},90,2} = n_{90} = 2$$

$$n_{\text{ef},45,2} = n_{\text{ef},90,2} \cdot \min\{n_{\text{ef},0,2} \cdot \sqrt{2}; n_{0,2}\} = 2 \cdot \min\{2,54 \cdot \sqrt{2}; 3\} = 6,0$$

$$\underline{n_{\text{ef},\text{min}}} = \min\{n_{\text{ef},1}; n_{\text{ef},45,2}\} = \underline{5,4}$$

Beispiel 6: 2 x 3 Schrauben ASSY® 4 CSMP 6,0 x 120/70 mm

Gegeben:

- Anordnung nicht versetzt
- Montage ohne Vorbohren

$$\rho_{k,1} = 350 \text{ kg/m}^3 \text{ (siehe Tabelle 58)}$$

$$\rho_{k,2} = 365 \text{ kg/m}^3$$

$$\alpha = 0^\circ \text{ (} \cos 0^\circ = 1; \sin 0^\circ = 0 \text{)}$$

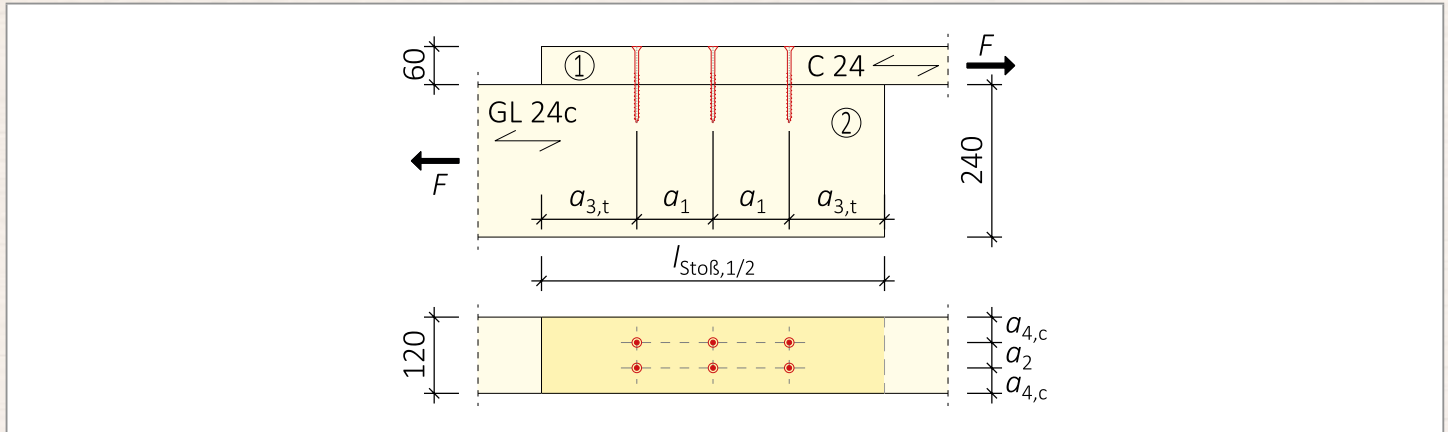


Bild 51: Laschenstoß, mit $\alpha_{1,1} = \alpha_{3,t,1} = 25d$.

Gesucht: $n_{\text{ef,ges}}$; $l_{\text{Stoß,1/2}}$

mit gegebener Höhe von Bauteil 1 und ohne Vorbohren, sind die Abstände $a_{1,1}$ und $a_{3,t,1}$ auf $25d$ zu vergrößern. Dann darf $a_{4,c,1}$ auf $3d$ reduziert werden. (siehe Abschnitt 4.7.1 und Tabelle 41, Spalte 2):

$$\begin{aligned} a_{1,1} &= 25d & a_{1,2} &= (4+7)d = 12d \\ a_{2,1} &= 5d & a_{2,2} &= 5d \\ a_{3,t,1} &= 25d & a_{3,t,2} &= (10+5)d = 15d \\ a_{4,c,1} &= 3d & a_{4,c,2} &= 5d \end{aligned}$$

mit Gln. (4.18), (4.19) und Tabelle 38:

$$\begin{aligned} n_{\text{ef},0} &= n_0 = 3 \\ n_{\text{ef},90} &= n_{90} = 2 \\ n_{\text{ef,ges}} &= n_{\text{ef},0} \cdot n_{\text{ef},90} = 3 \cdot 2 \\ &= 6 \text{ Schrauben} \\ l_{\text{Stoß,1/2}} &= (n_0 - 1)a_{1,1} + a_{3,t,1} + a_{3,t,2} \\ &= 2 \cdot 150 \text{ mm} + 150 \text{ mm} + 90 \text{ mm} \\ &= 540 \text{ mm} \end{aligned}$$

Beispiel 7: 2 x 2 Schrauben ASSY® 4 CSMP 8,0 x 200/80,5 mm

Gegeben:

- Anordnung nicht versetzt
- Montage ohne Vorbohren

$$\rho_{k,1} = 380 \text{ kg/m}^3 \text{ (siehe Tabelle 58)}$$

$$\rho_{k,2} = 365 \text{ kg/m}^3$$

$$\alpha = 0^\circ \text{ (} \cos 0^\circ = 1; \sin 0^\circ = 0 \text{)}$$

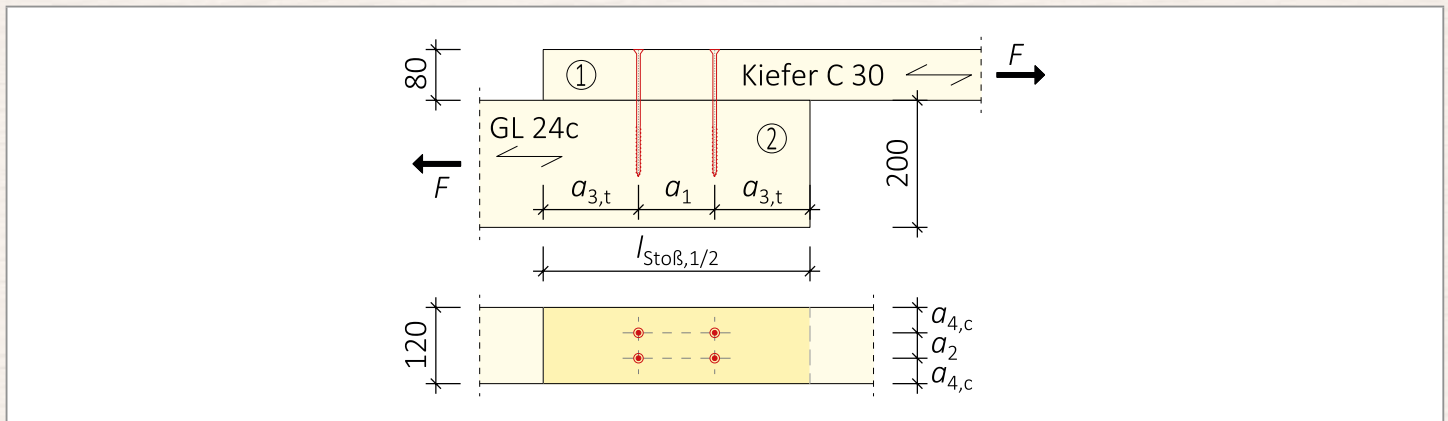


Bild 52: Laschenstoß mit C 30 und 8er Schrauben.

Gesucht: $n_{\text{ef,ges}}$; $l_{\text{Stoß,1/2}}$
mit Tabelle 41, Spalte 2:

$$a_{1,1/2} = 12d \quad a_{2,1/2} = 5d$$

$$a_{3,t,1/2} = 15d \quad a_{4,c,1/2} = 5d$$

mit Gl. (4.24), (4.18) und (4.19):

$$n_{\text{ef,ges}} = n_{\text{ef,0}} \cdot n_{\text{ef,90}} = 2^{0,925} \cdot 2 = 1,9 \cdot 2 = 3,8 \text{ Schrauben}$$

$$t_{\min,1} = \max \left\{ \begin{array}{l} 7d \\ (13d - 30) \cdot \frac{\rho_{k,1}}{400} \end{array} \right.$$

$$= \max \left\{ \begin{array}{l} 7 \cdot 8 \\ (13 \cdot 8 - 30) \cdot \frac{380}{400} \end{array} \right. = 70,3 \text{ mm}$$

$$l_{\text{Stoß,1/2}} = (n_0 - 1)a_1 + 2 \cdot a_{3,t}$$

$$= 1 \cdot 96 \text{ mm} + 2 \cdot 120 \text{ mm}$$

$$= 336 \text{ mm}$$

Prüfung Breite und Höhe:

$$b = 2 \cdot a_{4,c} + a_{2,b} = 2 \cdot 5d + 5d = 120 \text{ mm}$$

$$b_{\min} = b_{\text{ist}} \checkmark$$

$$t_{\min,1} = 70,3 \text{ mm}; t_{\min,2} = 135 \text{ mm}; t_{\min} < t_{\text{ist}} \checkmark$$

Beispiel 8: 3 x 3 Schrauben ASSY® 4 CSMP 6,0 x 240/70 mm

Gegeben:

- Anordnung nicht versetzt
- Montage ohne Vorbohren

$$\rho_{k,1} = 350 \text{ kg/m}^3 \text{ (siehe Tabelle 58)}$$

$$\rho_{k,2} = 365 \text{ kg/m}^3$$

$$\alpha = 0^\circ \text{ (} \cos 0^\circ = 1; \sin 0^\circ = 0 \text{)}$$

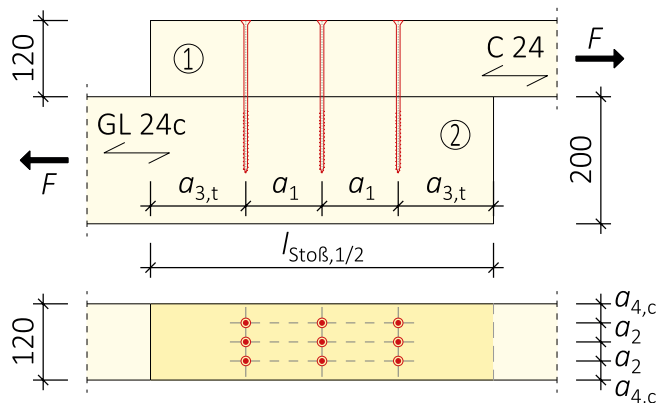


Bild 53: Laschenstoß mit C 24 und 6er Schrauben.

Gesucht: $n_{\text{ef,ges}}$; $l_{\text{Stoß,1/2}}$
mit Tabelle 41, Spalte 2:

$$a_{1,1/2} = 12d \quad a_{2,1/2} = 5d$$

$$a_{3,t,1/2} = 15d \quad a_{4,c,1/2} = 5d$$

$$t_{\text{min,pk},1} = 84 \text{ mm}$$

mit Gln. (4.18), (4.19) und Tabelle 38:

$$n_{\text{ef},0} = n_0^{k_{\text{ef}}} = 3^{0,93} = 2,78$$

$$n_{\text{ef},90} = n_{90} = 3$$

$$n_{\text{ef,ges}} = n_{\text{ef},0} \cdot n_{\text{ef},90} = 2,78 \cdot 3 = 8,34 \text{ Schrauben}$$

$$\begin{aligned} l_{\text{Stoß,1/2}} &= (n_0 - 1)a_1 + 2 \cdot a_{3,t} \\ &= 2 \cdot 72 \text{ mm} + 2 \cdot 90 \text{ mm} \\ &= 324 \text{ mm} \end{aligned}$$

Prüfung Breite und Höhe:

$$b = 2 \cdot a_{4,c} + 2 \cdot a_2 = 120 \text{ mm}$$

$$b_{\text{min}} = b_{\text{ist}} \checkmark$$

$$t_{\text{min}} = 84 \text{ mm}; t_{\text{min}} < t_{\text{ist}} \checkmark$$

Beispiel 9: 2 x 3 Schrauben ASSY®plus VG 4 CSMP 8,0 x 340 mm

Gegeben:

- Bauteil 1: CLT 4-2-4-2-4
- Bauteil 2: CLT 4-2-4-2-4
- Anordnung nicht versetzt
- Montage ohne Vorbohren

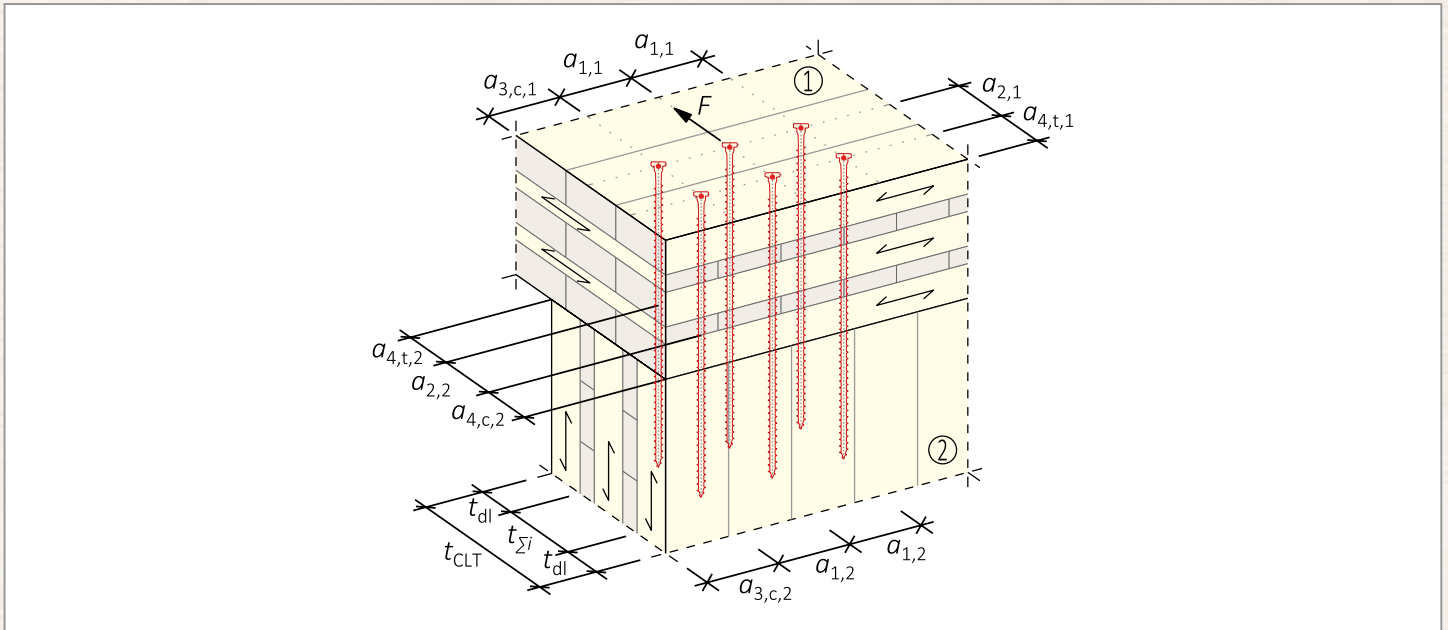


Bild 54: Abstände in Brettsperrholz (CLT).

Gesucht: $n_{\text{ef,ges}}$

Mit Tabelle 46, Spalten 2 und 3:

$$\begin{aligned} a_{1,1} &= 4d & a_{1,2} &= 10d \\ a_{2,1} &= 2,5d & a_{2,2} &= 4d \\ a_{3,c,1} &= 6d & a_{3,c,2} &= 7d \\ a_{4,t,1} &= 6d & a_{4,t,2} &= 6d \\ a_{4,c,1} &= 2,5d & a_{4,c,2} &= 3d \end{aligned}$$

mit Gl. (4.19):

$$\begin{aligned} n_{\text{ef,ges}} &= n_{\text{ef,0}} \cdot n_{\text{ef,90}} = 2 \cdot 3 \\ &= 6 \text{ Schrauben} \end{aligned}$$

Prüfung, ob Schrauben in äußere Lagen einbinden:

$$t_{\Sigma i} = 2 + 4 + 2 = 8 \text{ cm}$$

$$t_{\Sigma i} > a_2 \quad \checkmark$$

$$t_{dl} = 4 \text{ cm}; t_{dl} < a_{4,t} \quad \checkmark$$

$$\begin{aligned} t_{\text{CLT}} &= 4 + 2 + 4 + 2 + 4 \\ &= 16 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$t_{\text{CLT}} > a_2 + a_{4,c} + a_{4,t} \quad \checkmark$$

$$t_{dl} < a_{4,t} \quad \checkmark$$

→ Die Abstände in der Schmalfläche werden maßgebend.

4.8 Durch Schrauben induzierte Versagensmechanismen an den beteiligten Bauteilen – Blockscheren

4.8.1 Allgemein

Durch Schrauben induzierte, faserparallel wirkende Beanspruchungen können in Bauteilen zu einem spröden Holzversagen führen. Es wird zwischen zwei Fällen des Blockscherens unterschieden (siehe Bild 55).

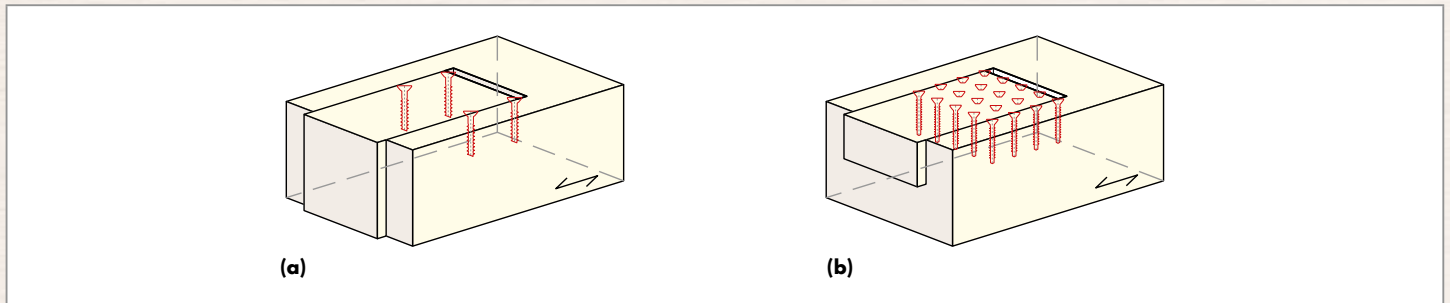


Bild 55: Die spröden Versagensmechanismen nach EC 5.

- (a) Fall 1: Blockscherversagen über die gesamte Querschnittshöhe,
- (b) Fall 2: Blockscherversagen über einen Teil der Querschnittshöhe.

Das Bauteil spaltet auf und Teilbereiche werden abgeschert bzw. abgerissen. Die Berechnung der charakteristischen Blockschertragfähigkeit $F_{bs,Rk}$ wird im folgenden Absatz erläutert.

4.8.2 Blockscherversagen nach EC 5

Das Blockscherversagen zeichnet sich dadurch aus, dass der von Schrauben umgriffene Block an zwei (Fall 1), bzw. drei Flächen (Fall 2) abscheren und die rückseitige Nettozugfläche parallel zur Faser abreißt.

Es kann davon ausgegangen werden, dass entweder die Scherflächen oder die Nettozugfläche versagt. Daher ergibt sich die charakteristische Blockschertragfähigkeit $F_{bs,Rk}$ (nach EC 5 Teil 1-1, Anhang A) aus der maximalen Tragfähigkeit der beiden Flächen nach Gl. (4.25). Die charakteristische Blockschertragfähigkeit wird für beide Versagensfälle ermittelt. Der kleinere Wert ist maßgebend.

$$F_{bs,Rk} = \max \begin{cases} 0,7 \cdot A_{net,v} \cdot f_{v,k} \\ 1,5 \cdot A_{net,t} \cdot f_{t,0,k} \end{cases} \quad (4.25)$$

Mit:

- $f_{v,k}$ Charakteristischer Wert der Schubfestigkeit des Holzes
- $f_{t,0,k}$ Charakteristischer Wert der Zugfestigkeit des Holzes parallel zur Faserrichtung

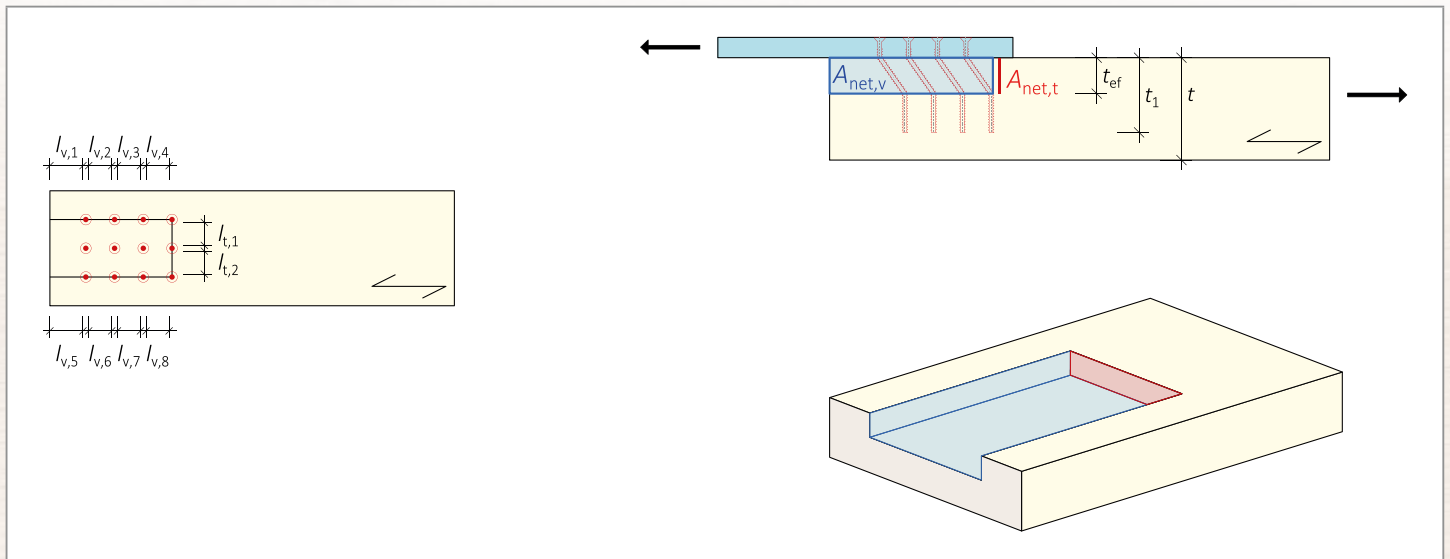


Bild 56: Blockscherversagen nach EC 5 Teil 1-1, Anhang A. links: Draufsicht, rechts oben: Verbindungsmittel durchdringt das Holzbauteil und bildet zwei Fließgelenke, rechts unten: Restquerschnitt nach Versagen Fall 2.

Bei der Ermittlung der ansetzbaren Flächen wird die Eindringtiefe und der Versagensmechanismus der Verbindungsmittel berücksichtigt. Die Nettoscherfläche $A_{\text{net},v}$ (in Bild 56 blau) berechnet sich gemäß Gl. (4.26), die Nettozugfläche $A_{\text{net},t}$ (in Bild 56 rot) gemäß Gl. (4.27) für den jeweiligen Versagensfall. Für die Nettozugfläche im Fall 2 ist das Minimum aus Einbindetiefe t_1 und wirksamer Einbindetiefe t_{ef} anzusetzen. Falls das Verbindungsmittel das Bauteil vollständig durchdringt und der maßgebende Versagensmechanismus der Schraube Bild 34 (c) oder Bild 35 (f) entspricht, ist Fall 2 nicht zu betrachten.

$$A_{\text{net},v} = \begin{cases} \sum_i l_{v,i} \cdot t & \text{Fall 1} \\ \frac{\sum_i l_{v,i}}{2} \cdot \left(\sum_i l_{t,i} + 2 \cdot \min(t_{\text{ef}}; t_1) \right) & \text{Fall 2} \end{cases} \quad (4.26)$$

$$A_{\text{net},t} = \begin{cases} \sum_i l_{t,i} \cdot t & \text{Fall 1} \\ \sum_i l_{t,i} \cdot \min(t_{\text{ef}}; t_1) & \text{Fall 2} \end{cases} \quad (4.27)$$

Die wirksame Einbindetiefe t_{ef} resultiert aus dem in den Klammern angegebenen Versagensmechanismus der Schraube, der für die Berechnung der Tragfähigkeit maßgebend wird (siehe Abschnitt 4.2, Gln. (4.5) und (4.6), Bild 33 bis Bild 35).

$$t_{\text{ef}} = \begin{cases} 0,4 \cdot t_1 & \text{(a)} \\ 1,4 \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,k} \cdot d}} & \text{(b)} \\ 2 \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,k} \cdot d}} & \text{(e),(h)} \\ t_1 \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,k}}{f_{h,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] & \text{(d),(g)} \end{cases} \quad (4.28)$$

Für dünne Stahlbleche (bei den in Klammern angegebenen Versagensmechanismen)

Für dicke Stahlbleche (bei den in Klammern angegebenen Versagensmechanismen)

Mit:

t	Dicke des Holzbauteils
t_1	Einbindetiefe einer Schraube
$M_{y,k}$	Charakteristisches Fließmoment einer Schraube
$f_{h,k}$	Charakteristische Lochleibungsfestigkeit des Holzes

4.9 Geschraubte Verbindungen mit Zwischenschicht

4.9.1 Allgemeines

Auf Abscheren beanspruchte, geschraubte Verbindungen mit Zwischenschichten können nach den allgemeinen Regelungen im EC 5 nicht bemessen werden. Sind in einer Verbindung Zwischenschichten vorhanden, können erweiterte Johansengleichungen nach Blaß und Laskewitz (2003) zur Bemessung des Traganteils $F_{D,k}$ angewendet werden. Diese Bemessungsgleichungen sind auch Bestandteil des EC 5 Entwurfs.

Unterschieden werden müssen Verbindungen mit einer verschieblichen und unverschieblichen Zwischenschicht. Eine unverschiebliche Zwischenschicht liegt vor, wenn die Zwischenschicht kraftschlüssig, entweder über Verklebung oder mechanische Verbindungsmittel, an eines der beiden zu verbindenden Bauteile angeschlossen ist.

Die Tragwiderstände bei Vorhandensein einer verschieblichen Zwischenschicht können für Holz-Holz-Verbindungen mit Gl. (4.30) berechnet werden. Für Stahl-Holz-Verbindungen mit verschieblicher Zwischenschicht gelten die Gln. (4.31) und (4.32).

Wird konstruktiv eine unverschiebliche Zwischenschicht sichergestellt, gilt für Holz-Holz-Verbindungen die Gl. (4.33) bzw. Gln. (4.34) bis (4.35) für Stahl-Holz-Verbindungen.

Zusätzlich zu den hier aufgeführten Gleichungen ist die Tragfähigkeit der einzelnen Fugen (Stahl-Zwischenschicht, Holz-Zwischenschicht) mit den Johansengleichungen nach Abschnitt 4.3 zu berechnen. Dabei sind die Lochleibungsfestigkeiten der einzelnen Bauteile bzw. der Zwischenschicht einzusetzen. Für den Extremfall Zwischenschicht aus Stahl gilt $f_{h,k} = \infty$. Der Seileffekt $F_{rp,k}$ darf nur berücksichtigt werden, wenn zwischen den Bauteilen ein Kontakt besteht und eine vorhandene Zwischenschicht ausreichend steif ist, um einen konstanten Abstand zwischen den Bauteilen zu gewährleisten. Zwischenschichten aus Luft können mit $f_{h,k} = 0$ und $F_{rp,k} = 0$ berücksichtigt werden.

Bei der Berechnung des Tragwiderstandes auf Abscheren, ohne den Anteil des Seileffekts, ist zu beachten, dass die Modifikationsbeiwerte k_{mod} bereits in den Lochleibungsfestigkeiten berücksichtigt werden. Abweichend zu Gln. (4.1), (4.7) und (4.16) wird der Bemessungswert des Tragwiderstands je Schraube und Scherfuge daher anhand von Gl. (4.29) ermittelt.

$$F_{v,d} = F_{D,d} + F_{rp,d} = \frac{F_{D,k}}{\gamma_M} + \min \left\{ 1, 0 \cdot \frac{F_{D,k}}{\gamma_M}, 0,25 \cdot F_{ax,t,d} \right\} \quad (4.29)$$

Für alle nachfolgenden Gleichungen dieses Abschnitts gelten die folgenden Konventionen:

$$\beta = \frac{k_{mod,2} \cdot f_{h,k,2}}{k_{mod,1} \cdot f_{h,k,1}}$$

$$\delta = \frac{k_{mod,il} \cdot f_{h,k,il}}{k_{mod,1} \cdot f_{h,k,1}}$$

$k_{mod,1/2/il}$	Modifikationsfaktor für die Bauteile 1, 2 bzw. die Zwischenschicht
$f_{h,k,1/2/il}$	Charakteristische Lochleibungsfestigkeit der Bauteile 1, 2 bzw. der Zwischenschicht
$t_{h,1/2/il}$	Einbindetiefe in den Bauteilen 1, 2 bzw. der Zwischenschicht
d	Gewindeaußendurchmesser
$M_{y,k}$	Charakteristisches Fließmoment einer Schraube
$\rho_{mean,1/2/il}$	Mittlere Rohdichte der Bauteile 1, 2 bzw. der Zwischenschicht in kg/m ³

4.9.2 Tragwiderstand einer Schraube in verschieblicher Zwischenschicht

Der Tragwiderstand einer Schraube in Holz-Holz-Verbindungen mit verschieblicher Zwischenschicht ist nach Gl. (4.30):

$$F_{D,k} = \min \begin{cases} k_{\text{mod},1} \cdot f_{h,k,1} \cdot t_{h,1} \cdot d & \text{(a)} \\ k_{\text{mod},2} \cdot f_{h,k,2} \cdot t_{h,2} \cdot d & \text{(b)} \\ k_{\text{mod},1} \cdot f_{h,k,1} \cdot b_1 \cdot d & \text{(c)} \end{cases} \quad (4.30)$$

Mit:

$$b_1 = \min \begin{cases} \frac{\beta}{1+\beta} \cdot \left(-2 \cdot t_{h,il} - t_{h,1} - t_{h,2} + \sqrt{\left(4 + \delta + \frac{\delta}{\beta}\right) \cdot t_{h,il}^2 + \left(2 + \frac{1}{\beta}\right) \cdot t_{h,1}^2 + (2 + \beta) \cdot t_{h,2}^2 + 4 \cdot t_{h,il} \cdot t_{h,1} + 4 \cdot t_{h,il} \cdot t_{h,2} + 2 \cdot t_{h,1} \cdot t_{h,2}} \right) \\ \frac{2 \cdot \beta}{2 + \beta} \cdot \left(-t_{h,il} - \frac{t_{h,1}}{2} + \sqrt{\frac{t_{h,il}^2 + t_{h,il} \cdot t_{h,1} + \frac{t_{h,1}^2}{2} + \frac{\delta \cdot t_{h,il}^2}{2 \cdot \beta} + \frac{t_{h,1}^2}{2 \cdot \beta} + \frac{2 \cdot M_{y,k}}{k_{\text{mod},1} \cdot f_{h,1,k} \cdot \beta \cdot d}}{\frac{\delta \cdot t_{h,il}^2}{4} + \frac{M_{y,k}}{k_{\text{mod},1} \cdot f_{h,1,k} \cdot d}} \right) \\ \frac{\beta}{\frac{1}{2} + \beta} \cdot \left(-t_{h,il} - \frac{t_{h,2}}{2} + \sqrt{\frac{\left(1 + \frac{\delta}{4 \cdot \beta} + \frac{\delta}{2}\right) \cdot t_{h,il}^2 + \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cdot \beta\right) \cdot t_{h,2}^2 + t_{h,il} \cdot t_{h,2} + \frac{M_{y,k}}{k_{\text{mod},1} \cdot f_{h,1,k} \cdot \beta \cdot d} + \frac{2 \cdot M_{y,k}}{k_{\text{mod},1} \cdot f_{h,1,k} \cdot d}} \right) \\ \frac{1}{1 + \beta} \cdot \left(-\beta \cdot t_{h,il} + \sqrt{\beta^2 \cdot t_{h,il}^2 + 4 \cdot \beta \cdot (\beta + 1) \cdot \frac{M_{y,k}}{k_{\text{mod},1} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} + \frac{\beta \cdot (\beta + 1)}{2} \cdot \delta \cdot t_{h,il}^2} \right) \end{cases}$$

Der Tragwiderstand einer Schraube in Stahl-Holz-Verbindungen mit verschieblicher Zwischenschicht und dickem Stahlblech errechnet sich nach Gl. (4.31).

$$F_{D,k} = \min \begin{cases} k_{\text{mod},1} \cdot f_{h,k,1} \cdot t_{h,1} \cdot d & \text{(a)} \\ 2 \cdot k_{\text{mod},1} \cdot f_{h,k,1} \cdot b_1 \cdot d - k_{\text{mod},1} \cdot f_{h,k,1} \cdot t_{h,1} \cdot d & \text{(b)} \\ k_{\text{mod},1} \cdot f_{h,k,1} \cdot b_2 \cdot d & \text{(c)} \end{cases} \quad (4.31)$$

Mit:

$$b_1 = -t_{h,il} + \sqrt{t_{h,il}^2 + \frac{M_{y,k}}{k_{\text{mod},1} \cdot f_{h,k,1} \cdot d} + \frac{\delta \cdot t_{h,il}^2}{4} + t_{h,1} \cdot t_{h,il} + \frac{t_{h,1}^2}{2}}$$

$$b_2 = -t_{h,il} + \sqrt{t_{h,il}^2 + \frac{4 \cdot M_{y,k}}{k_{\text{mod},1} \cdot f_{h,k,1} \cdot d} + \frac{\delta \cdot t_{h,il}^2}{2}}$$

Für eine Schraube in Stahl-Holz-Verbindungen mit dünnem Stahlblech gilt Gl. (4.32).

$$F_{D,k} = \min \begin{cases} 2 \cdot k_{\text{mod},1} \cdot f_{h,k,1} \cdot b_1 \cdot d - k_{\text{mod},1} \cdot f_{h,k,1} \cdot t_{h,1} \cdot d & \text{(a)} \\ k_{\text{mod},1} \cdot f_{h,k,1} \cdot b_2 \cdot d & \text{(b)} \end{cases} \quad (4.32)$$

Mit:

$$b_1 = -t_{h,il} + \sqrt{t_{h,il}^2 + \frac{\delta \cdot t_{h,il}^2}{4} + t_{h,1} \cdot t_{h,il} + \frac{t_{h,1}^2}{2}}$$

$$b_2 = -t_{h,il} + \sqrt{t_{h,il}^2 + \frac{2 \cdot M_{y,k}}{k_{mod,1} \cdot f_{h,k,1} \cdot d} + \frac{\delta \cdot t_{h,il}^2}{2}}$$

4.9.3 Tragwiderstand einer Schraube in unverschieblicher Zwischenschicht

Der Tragwiderstand einer Schraube in Holz-Holz-Anschlüssen mit unverschieblicher Zwischenschicht ist nach Gl. (4.33):

$$F_{D,k} = \min \begin{cases} k_{mod,1} \cdot f_{h,k,1} \cdot t_{h,1} \cdot d + k_{mod,il} \cdot f_{h,k,il} \cdot t_{h,il} \cdot d & (a) \\ k_{mod,2} \cdot f_{h,k,2} \cdot t_{h,2} \cdot d & (b) \\ k_{mod,1} \cdot f_{h,k,1} \cdot b_1 \cdot d + k_{mod,il} \cdot f_{h,k,il} \cdot t_{h,il} \cdot d & (c) \end{cases} \quad (4.33)$$

Mit:

$$b_1 = \min \begin{cases} \frac{\beta}{1+\beta} \cdot \left[-t_{h,il} \cdot \left(\frac{\delta}{\beta} + 2 \right) - t_{h,1} - t_{h,2} + \sqrt{\frac{1}{\beta} \cdot \left(2 \cdot t_{h,il}^2 \cdot \left(\delta - \frac{\delta^2}{2} + 2 \cdot \beta - \delta \cdot \beta \right) + t_{h,1}^2 \cdot (2 \cdot \beta + 1) + \beta \cdot t_{h,2}^2 \cdot (2 + \beta) + 2 \cdot t_{h,1} \cdot t_{h,2} \cdot \beta + 2 \cdot t_{h,il} \cdot t_{h,1} \cdot (\delta + 2 \cdot \beta) + 2 \cdot \beta \cdot t_{h,il} \cdot t_{h,2} \cdot (2 - \delta) \right)} \right] \\ -\delta \cdot t_{h,il} + \frac{\beta}{2+\beta} \cdot \left[t_{h,il} \cdot (\delta - 2) - t_{h,1} + \sqrt{\left(4 - 2 \cdot \delta + 4 \cdot \frac{\delta}{\beta} - 2 \cdot \frac{\delta^2}{\beta} \right) \cdot t_{h,il}^2 + \left(2 + \frac{2}{\beta} \right) \cdot t_{h,1}^2 + \left(4 + 4 \cdot \frac{\delta}{\beta} \right) \cdot t_{h,il} \cdot t_{h,1} + \frac{4 \cdot M_{y,k}}{k_{mod,1} \cdot f_{h,k,1} \cdot d} \cdot \left(\frac{2}{\beta} + 1 \right)} \right] \\ -\delta \cdot t_{h,il} + \frac{\beta}{1+2 \cdot \beta} \cdot \left[t_{h,il} \cdot (2 \cdot \delta - 2) - t_{h,2} + \sqrt{\left(4 - 4 \cdot \delta + 2 \cdot \frac{\delta}{\beta} - \frac{2 \cdot \delta^2}{\beta} \right) \cdot t_{h,il}^2 + (2 + 2 \cdot \beta) \cdot t_{h,2}^2 + (4 - 4 \cdot \delta) \cdot t_{h,il} \cdot t_{h,2} + \frac{4 \cdot M_{y,k}}{k_{mod,1} \cdot f_{h,k,1} \cdot d} \cdot \left(\frac{1}{\beta} + 2 \right)} \right] \\ -\delta \cdot t_{h,il} + \frac{\beta}{1+\beta} \cdot \left[t_{h,il} \cdot (\delta - 1) + \sqrt{\left(1 - \delta + \frac{\delta}{\beta} - \frac{\delta^2}{\beta} \right) \cdot t_{h,il}^2 + \frac{4 \cdot M_{y,k}}{k_{mod,1} \cdot f_{h,k,1} \cdot d} \cdot \left(1 + \frac{1}{\beta} \right)} \right] \end{cases}$$

Für Schrauben in Stahl-Holz-Verbindungen mit unverschieblicher Zwischenschicht und dickem Stahlblech wird der Tragwiderstand nach Gl. (4.34) berechnet.

$$F_{D,k} = \min \begin{cases} k_{mod,1} \cdot f_{h,k,1} \cdot t_{h,1} \cdot d + k_{mod,il} \cdot f_{h,k,il} \cdot t_{h,il} \cdot d & (a) \\ 2 \cdot k_{mod,1} \cdot f_{h,k,1} \cdot b_1 \cdot d - k_{mod,1} \cdot f_{h,k,1} \cdot t_{h,1} \cdot d + k_{mod,il} \cdot f_{h,k,il} \cdot t_{h,il} \cdot d & (b) \\ k_{mod,1} \cdot f_{h,k,1} \cdot b_2 \cdot d + k_{mod,il} \cdot f_{h,k,il} \cdot t_{h,il} \cdot d & (c) \end{cases} \quad (4.34)$$

Mit:

$$b_1 = -t_{h,il} + \sqrt{t_{h,il}^2 + \frac{M_{y,k}}{k_{mod,1} \cdot f_{h,k,1} \cdot d} - \frac{\delta \cdot t_{h,il}^2}{2} + t_{h,1} \cdot t_{h,il} + \frac{t_{h,1}^2}{2}}$$

$$b_2 = -t_{h,il} + \sqrt{t_{h,il}^2 + \frac{4 \cdot M_{y,k}}{k_{mod,1} \cdot f_{h,k,1} \cdot d} - \delta \cdot t_{h,il}^2}$$

Der Tragwiderstand einer Schraube in Stahl-Holz-Verbindungen mit dünnem Stahlblech ist nach Gl. (4.35) zu berechnen.

$$F_{D,k} = \min \begin{cases} 2 \cdot k_{\text{mod},1} \cdot f_{h,k,1} \cdot b_1 \cdot d - k_{\text{mod},1} \cdot f_{h,k,1} \cdot t_{h,1} \cdot d + k_{\text{mod},il} \cdot f_{h,k,il} \cdot t_{h,il} \cdot d & (a) \\ k_{\text{mod},1} \cdot f_{h,k,1} \cdot b_2 \cdot d + k_{\text{mod},il} \cdot f_{h,k,il} \cdot t_{h,il} \cdot d & (b) \end{cases} \quad (4.35)$$

Mit:

$$b_1 = -t_{h,il} + \sqrt{t_{h,il}^2 - \frac{\delta \cdot t_{h,il}^2}{2} + t_{h,1} \cdot t_{h,il} + \frac{t_{h,1}^2}{2}}$$

$$b_2 = -t_{h,il} + \sqrt{t_{h,il}^2 + \frac{2 \cdot M_{y,k}}{k_{\text{mod},1} \cdot f_{h,k,1} \cdot d} - \delta \cdot t_{h,il}^2}$$

4.10 Mehrschnittige Verbindungen

4.10.1 Allgemeines

Bei mehrschnittigen Verbindungen sollte die Gesamttragfähigkeit als Summe der Mindesttragfähigkeiten aller Scherfugen bestimmt werden, wobei jede Scherfuge als Teil einer Reihe zweischnittiger Verbindungen anzusehen ist. Die plausible Abfolge möglicher Versagensarten einer mehrschnittigen Verbindung ist über die Länge des Stifts zu betrachten. Da die Anschlüsse in der Regel symmetrisch sind, muss nur die halbe Anzahl an Scherflächen untersucht werden.

Vorgehensweise:

- Aufteilen der mehrschnittigen Verbindung in einschnittige Verbindungen. Dabei werden nur die an die Scherfuge anschließenden Bauteile betrachtet.
- Ermittlung der Bemessungswerte des Tragwiderstands $F_{v,d}$ gemäß Gl. (4.16) für jede Scherfuge unter Einhaltung von Plausibilitätskriterien.
- Bemessungswert der Tragfähigkeit der Verbindung als Gesamttragfähigkeit der Mindesttragfähigkeiten aller Scherfugen

Die Anwendung von ASSY® Schrauben nach ETA-11/0190 in mehrschnittigen Verbindungen mit innenliegenden Stahlblechen wird nicht empfohlen, da die Herstellung, Passgenauigkeit und die schlupffreie Lastübertragung zwischen Schraubenschaft bzw. Schraubengewinde und Stahlblech bei solchen Verbindungen nicht gewährleistet werden können.

4.10.2 Berechnung der Tragwiderstände einer Schraube in mehrschnittigen Verbindungen

Ausgehend von der bekannten Krafttrichtung in den angeschlossenen Hölzern werden die Richtungen der Kräfte in den Scherflächen bestimmt, da die Lochleibungsfestigkeit der Holzteile vom Kraft-Faser-Winkel abhängt.

Für jede Scherfuge der Verbindung wird die Tragfähigkeit einer fiktiven einschnittigen Verbindung bestimmt, indem die Breiten der angrenzenden Bauteile A und B an die Scherfuge entsprechend der Anordnung der betrachteten Scherfuge in der Verbindung angepasst werden, siehe Bild 57. Die fiktiven Bauteilbreiten entsprechen dabei der Hälfte der tatsächlichen Breiten bei innenliegenden Bauteilen und der tatsächlichen Breite bei den außenliegenden Bauteilen.

4.10.3 Plausibilitätskriterien

Zusätzlich muss die Verträglichkeit der Versagensarten der aufeinander folgenden Scherflächen überprüft werden. Es gilt, dass für innenliegende Bauteile eine Schrägstellung der Verbindungsmittel am fiktiven Bauteilrand nicht zulässig ist, da die Verbindungsmittel kontinuierlich durch die Verbindung durchlaufen müssen (horizontale Tangente am Übergang der fiktiven Verbindungen).

Für die jeweils äußersten Scherfugen (in Bild 57 die Scherfugen I und IV) entfallen durch diese Randbedingung die Versagensfälle (c) (Schrägstellung) und (e) (Fließgelenk in Bauteil 1) gemäß Bild 31. Für innenliegende Scherfugen (in Bild 57 die Scherfugen II und III) entfallen die Versagensfälle (c) (Schrägstellung), (d) (Fließgelenk in Bauteil 2) und (e) (Fließgelenk in Bauteil 1) gemäß Bild 31.

Abschließend können die Tragwiderstände der einzelnen Scherfugen gemäß der Johansen-Theorie ermittelt und aufsummiert werden.

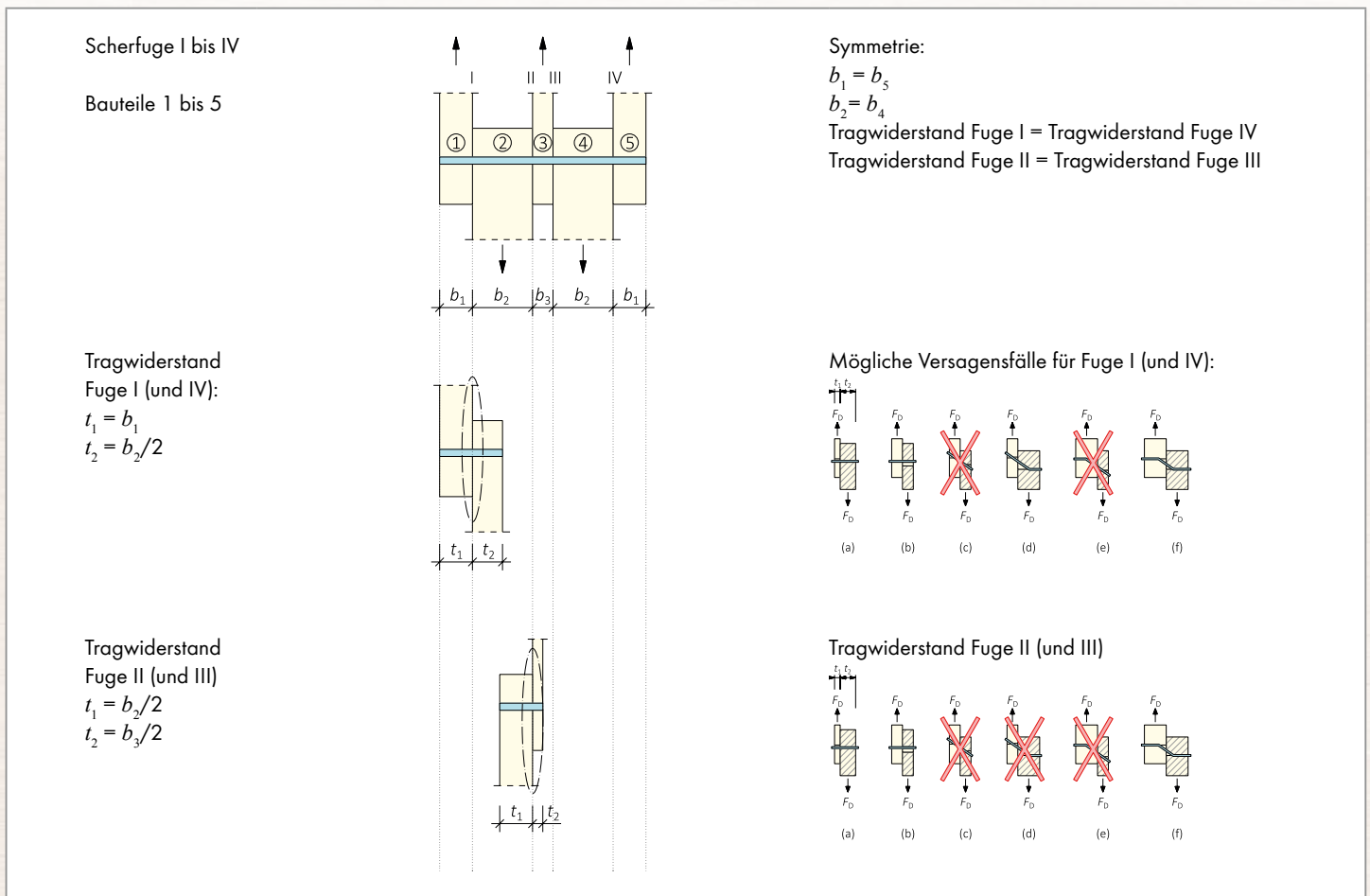


Bild 57: Schrittweises Vorgehen zur Bestimmung der Tragwiderstände einer Schraube in einer vierschnittigen Holz-Holz-Verbindung.

4.11 Heißbemessung von auf Abscheren beanspruchten, geschraubte Verbindungen nach EC 5 Teil 1-2

4.11.1 Vereinfachte Regeln für ungeschützte Verbindungen

Ungeschützte Holz-Holz-Verbindungen mit Schrauben $d \geq 3,5$ mm, die die Rand- und Lochabstände nach Abschnitt 4.7 einhalten, weisen grundsätzlich eine Feuerwiderstandsdauer von 15 min auf. Für Schraubanschlüsse mit nicht überstehenden Köpfen können Feuerwiderstandsdauern von 30 min erreicht werden, wenn die Dicken und Breiten der Seitenteile, sowie die End- und Randabstände um den Betrag a_{fi} vergrößert werden, siehe Bild 58. Gl. (4.36) wird verwendet, um a_{fi} zu berechnen. Im kalten Zustand darf der um a_{fi} vergrößerte Teil der Verbindung nicht zur Berechnung der Tragfähigkeit herangezogen werden.

$$a_{fi} = \beta_n \cdot k_{flux} \cdot (t_{req} - t_{d,fi}) \quad (4.36)$$

Mit:

β_n	Ideelle Abbrandrate des Holzes
$k_{flux} = 1,5$	Koeffizient zur Berücksichtigung des erhöhten Wärmeflusses durch die Schraube
t_{req}	Erforderliche Feuerwiderstandsdauer bei Normbrandbeanspruchung, ≤ 30 min
$t_{d,fi}$	Feuerwiderstandsdauer der ungeschützten Verbindung, für geschraubte Verbindungen 15 min

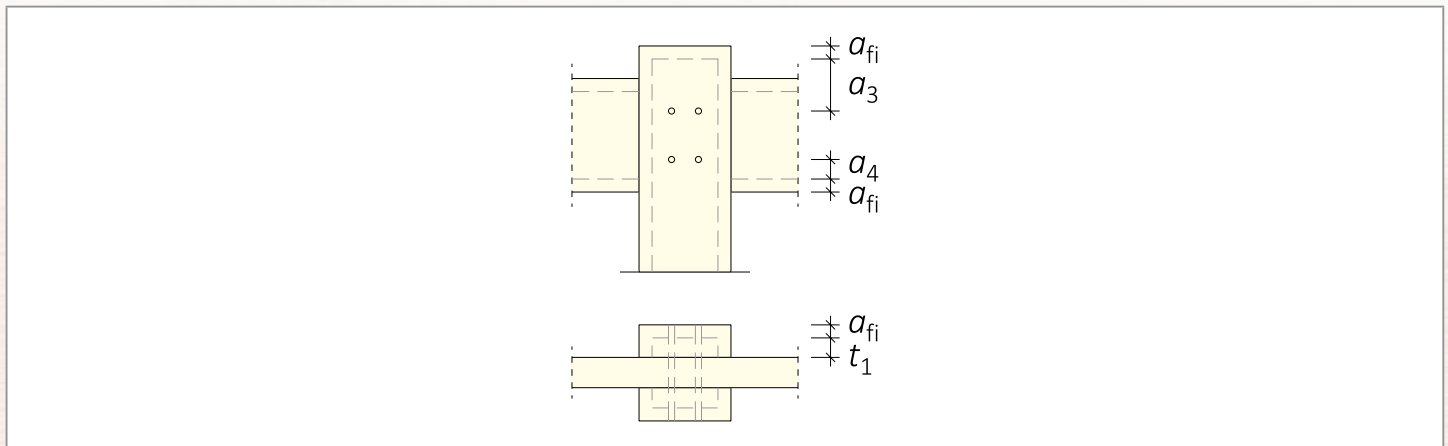


Bild 58: Vergrößerung der Holzabmessungen nach dem vereinfachten Verfahren.

4.11.2 Vereinfachte Regeln für geschützte Verbindungen

Ist die Verbindung durch zusätzliche Bekleidungen aus Holz, Holzwerkstoffen oder Gipsplatten Typ A oder H geschützt, ergibt sich die Zeitdauer bis zum Beginn des Abbrands nach Gl. (4.37). Ist die Verbindung durch Gipsplatten Typ F geschützt, darf der Faktor 0,5 durch 1,2 ersetzt werden.

$$t_{ch} \geq t_{req} - 0,5 \cdot t_{d,fi} \quad (4.37)$$

Mit:

t_{ch}	Zeitdauer bis zum Beginn des Abbrandes eines geschützten Bauteils
t_{req}	Erforderliche Feuerwiderstandsdauer bei Normbrandbeanspruchung
$t_{d,fi}$	Feuerwiderstandsdauer der ungeschützten Verbindung, für geschraubte Verbindungen 15 min

Für Verbindungen, bei denen die Schrauben durch eingeklebte Holzdübel geschützt werden, sollte die Länge der Holzdübel entsprechend Gl. (4.36) bestimmt werden.

4.11.3 Vereinfachte Regeln für Verbindungen mit innenliegenden Stahlblechen

Für Verbindungen mit innenliegenden Stahlblechen mit Dicken $t \geq 2$ mm, bei denen die Stahlplatten nicht über die Ränder des Holzes hinausragen, sollte die Breite des Stahlblechs b_{st} die Bedingungen nach Tabelle 48 erfüllen.

Tabelle 48: Breiten von Stahlblechen mit ungeschützten Rändern.

Randbedingung		b_{st}
Ungeschützte Ränder im Allgemeinen	R 30	≥ 200 mm
	R 60	≥ 280 mm
Ungeschützte Ränder auf einer oder zwei Seiten	R 30	≥ 120 mm
	R 60	≥ 280 mm

Regelwerk: EC 5 Teil 1-2

Stahlbleche mit einer kleineren Breite als die der Holzteile dürfen in den folgenden Fällen als geschützt angesehen werden (siehe Bild 59):

- Bleche mit einer Dicke $t \leq 3$ mm eine Spalttiefe d_g größer als 20 mm für eine Feuerwiderstandsdauer von 30 min bzw. d_g größer als 60 mm für eine Feuerwiderstandsdauer von 60 min ist.
- Verbindungen mit eingeklebten Abdeckstreifen oder schützenden Holzwerkstoffplatten eine Spalttiefe d_g oder die Plattendicke h_p größer als 10 mm für eine Feuerwiderstandsdauer von 30 min bzw. größer als 30 mm für eine Feuerwiderstandsdauer von 60 min ist.

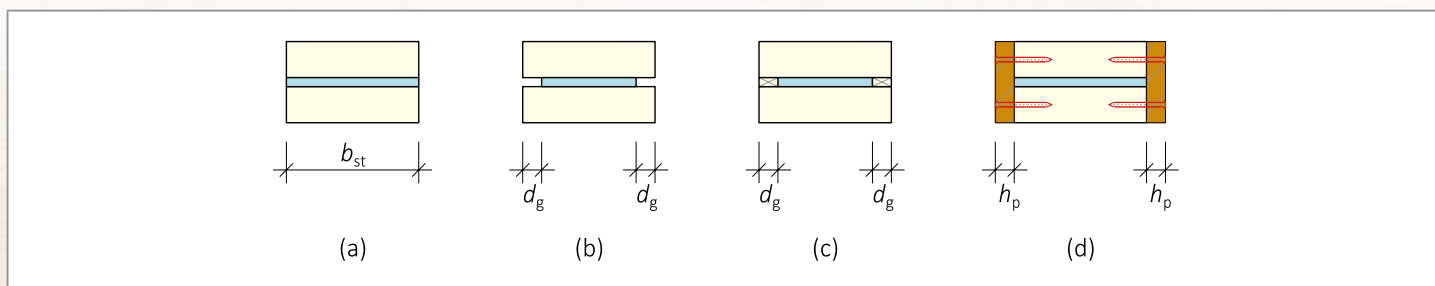


Bild 59: Schutz der Ränder von Stahlblechen (Verbindungsmitel nicht dargestellt).

(a) ungeschützt, (b) durch Spalte geschützt, (c) durch eingeklebte Streifen geschützt, (d) durch Beplankung geschützt.

4.11.4 Beginn des Abbrandes

Für Brandschutzbekleidungen aus einer oder mehrerer Lagen Holz bzw. Holzwerkstoffen sollte der Beginn des Abbrandes t_{ch} der geschützten Verbindung nach Gl. (4.38) berechnet werden.

$$t_{ch} = \frac{h_p}{\beta_0} \quad (4.38)$$

Mit:

h_p Dicke der Bekleidung, bei mehreren Lagen die Gesamtdicke
 β_0 Eindimensionale Abbrandrate

Für einlagige Bekleidungen mit Gipsplatten Typ A, F oder H nach EN 520 ist der Beginn des Abbrandes t_{ch} außerhalb von Stoßbereichen bzw. in Bereichen verspachtelter Stöße oder offenen Stößen mit einer Breite ≤ 2 mm mit Gl. (4.39) zu berechnen. Im Bereich offener Stöße gilt Gl. (4.40).

Für Bekleidungen aus zwei Lagen Gipsplatten Typ A oder H sollte der Beginn des Abbrandes nach Gl. (4.38) bestimmt werden, wobei für h_p die Dicke der äußeren Lage sowie 50 % der inneren Lage anzusetzen sind.

Für Bekleidungen aus zwei Lagen Gipsplatten Typ F sollte der Beginn des Abbrandes nach Gl. (4.38) bestimmt werden, wobei für h_p die Dicke der äußeren Lage sowie 80 % der inneren Lage anzusetzen sind.

$$t_{ch} = 2,8 \cdot h_p - 14 \quad (4.39)$$

$$t_{ch} = 2,8 \cdot h_p - 23 \quad (4.40)$$

4.11.5 Abbrandraten

EC 5 Teil 1-2 regelt die Abbrandraten entsprechend Tabelle 49.

Tabelle 49: Abbrandraten für verschiedene Holzwerkstoffe.

Material	β_0	β_n
Nadelholz und Buche		
Brettschichtholz (GL) mit einer charakteristischen Rohdichte von $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,70
Vollholz (ST/FST) mit einer charakteristischen Rohdichte von $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,80
Laubholz		
Vollholz oder Brettschichtholz mit einer charakteristischen Rohdichte von $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,70
Vollholz oder Brettschichtholz mit einer charakteristischen Rohdichte von $\geq 450 \text{ kg/m}^3$	0,50	0,55
Furnierschichtholz (LVL)		
Mit einer charakteristischen Rohdichte von $\geq 480 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,70
Platten		
Holzbekleidungen	0,9 ^{a)}	–
Sperrholz (PW)	1,0 ^{a)}	–
Holzwerkstoffplatten außer Sperrholz	0,9 ^{a)}	–
^{a)} Die Werte gelten für eine charakteristische Rohdichte von 450 kg/m^3 und eine Werkstoffdicke von 20 mm. Für andere Konfigurationen siehe EC 5 Teil 1-2.		
Regelwerk: EC 5 Teil 1-2		

4.11.6 Verbindungen mit außenliegenden Stahlblechen

Die Beanspruchbarkeit ungeschützter Stahlbleche sollte entsprechend EC 3 Teil 1-2 bestimmt werden. Für die Berechnung des Abschnittsfaktors der Stahlplatten darf dabei angenommen werden, dass Stahloberflächen mit Kontakt zu Holz nicht brandbeansprucht sind.

Außen liegende Stahlbleche gelten als geschützt, wenn sie vollständig von einer Bekleidung aus Holz oder Holzwerkstoffen mit einer Mindestdicke a_{fi} nach Gl. (4.36) mit $t_{d,fi} = 5$ min abgedeckt sind. Eine Auswertung von Gl. (4.36) ist in Tabelle 50 angegeben. Andere Brandschutzmaßnahmen sind entsprechend EC 3 Teil 1-2 zu beurteilen.

Tabelle 50: Holzüberdeckung a_{fi} in mm für Verbindungen mit außenliegenden Stahlblechen gemäß Gl. (4.36).

t_{req}	30	60	90
Nadelholz und Buche			
GL, $\rho_k \geq 290 \text{ kg/m}^3$	26,3	57,8	89,3
ST/FST, $\rho_k \geq 290 \text{ kg/m}^3$	30,0	66,0	102
Laubholz			
ST/FST oder GL, $\rho_k \geq 290 \text{ kg/m}^3$	26,3	57,8	89,3
ST/FST oder GL, $\rho_k \geq 450 \text{ kg/m}^3$	20,6	45,4	70,1
Furnierschichtholz			
LVL, $\rho_k \geq 480 \text{ kg/m}^3$	26,3	57,8	89,3

Regelwerk: EC 5 Teil 1-2

4.12 Verschiebungsmodul auf Abscheren beanspruchter Schrauben

4.12.1 Verschiebungsmodul von Holz-Holz-, Holzwerkstoff-Holz- sowie Stahl-Holz-Verbindungen

Der mittlere Verschiebungsmodul im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit $K_{SLS,v}$ kann für auf Abscheren beanspruchte, nicht vorgebohrte Schrauben je Scherfuge für zwei Holzbauteile gleicher Dichte mit Gl. (4.41) berechnet werden (mit d in mm und ρ_{mean} in kg/m^3). Für vorgebohrte Schrauben gilt Gl. (4.42) analog. Der Verschiebungsmodul aller ASSY®plus Schrauben ist ebenso mit Gl. (4.41) zu berechnen, sofern die Schraube nicht vorgebohrt wird.

$$K_{SLS,v} = \rho_{mean}^{1,5} \cdot \frac{d^{0,8}}{30} \text{ N/mm} \quad (4.41)$$

$$K_{SLS,v} = \rho_{mean}^{1,5} \cdot \frac{d}{23} \text{ N/mm} \quad (4.42)$$

Bei unterschiedlichen mittleren Rohdichten $\rho_{mean,1}$ und $\rho_{mean,2}$ von zwei miteinander verbundenen Holzwerkstoffteilen ist ρ_{mean} mit Gl. (4.43) zu berechnen.

$$\rho_{mean} = \sqrt{\rho_{mean,1} \cdot \rho_{mean,2}} \quad (4.43)$$

Für Stahlblech-Holz- sowie Beton-Holz-Verbindungen, bei denen das Verbindungsmittel ausreichend gegen ein Verdrehen im Stahl bzw. Beton gesichert ist, ist der gemäß Gl. (4.41) und Gl. (4.42) ermittelte Verschiebungsmodul $K_{SLS,v}$ zu verdoppeln.

Für Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung von $\alpha = 90^\circ$ sollte der gemäß Gl. (4.41) bzw. Gl. (4.42) ermittelte Verschiebungsmodul $K_{SLS,v}$ halbiert werden. Für Kraft-Faser-Winkel $0^\circ < \alpha < 90^\circ$ sollte der Verschiebungsmodul linear interpoliert werden.

4.13.1.2 Axialer Tragwiderstand

Zur Berücksichtigung des Seileffekts wird zunächst der axiale Tragwiderstand der Schraube berechnet.

$$F_{ax,t,k} = \min \begin{cases} F_{w,k} = \frac{k_{ax} \cdot f_{ax,k} \cdot d \cdot l_w}{k_{\beta}} \cdot \left(\frac{\rho_k}{\rho_{ref,k}} \right)^{0,8} = \frac{1,0 \cdot 12,0 \cdot 8,0 \cdot 101}{1,0} \cdot \left(\frac{365}{350} \right)^{0,8} = 10,0 \text{ kN} \\ F_{pull,k} = f_{head,k} \cdot d_{head}^2 \cdot \left(\frac{\rho_k}{\rho_{ref,k}} \right)^{0,8} = 14 \cdot 15,0^2 \cdot \left(\frac{350}{350} \right)^{0,8} = 3,15 \text{ kN} \\ F_{t,k} = f_{tens,k} = 21,5 \text{ kN} \end{cases}$$

$$F_{ax,t,d} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot F_{ax,t,k} = \frac{0,8}{1,3} \cdot 3,15 \text{ kN} = 1,94 \text{ kN}$$

4.13.1.3 Abschertragfähigkeit

Wirksame Anzahl der Verbindungsmittel

Da die Verbindungsmittel parallel zur Faserrichtung versetzt angeordnet sind und die Kraft in Faserrichtung aufgebracht wird, gilt mit Gl. (4.18), (4.19) und Tabelle 38 entsprechend Beispiel 3: $n_{ef,1} = n_{ef,2} = 5,09$ Schrauben

Berechnung der Lochleibungsfestigkeiten

Da die verbundenen Bauteile unterschiedliche Rohdichten aufweisen, müssen zwei Lochleibungsfestigkeiten bestimmt werden. Die Schrauben weisen zwar eine Bohrspitze auf. Jedoch werden sie nicht vorgebohrt eingedreht. Die Lochleibungsfestigkeit ist daher für nicht vorgebohrte Löcher zu berechnen. Der Winkel zwischen Schraubenachse und Faserrichtung ε beträgt 90° .

$$f_{h,0,k,1}(C24) = \frac{0,082 \cdot \rho_k \cdot d^{-0,3}}{2,5 \cdot \cos^2 \varepsilon + \sin^2 \varepsilon} = \frac{0,082 \cdot 350 \cdot 8^{-0,3}}{2,5 \cdot \cos^2 90^\circ + \sin^2 90^\circ} = 15,4 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,0,k,2}(GL 24c) = \frac{0,082 \cdot 365 \cdot 8^{-0,3}}{2,5 \cdot \cos^2 90^\circ + \sin^2 90^\circ} = 16,0 \text{ N/mm}^2$$

Das Verhältnis der Lochleibungsfestigkeiten β errechnet sich zu:

$$\beta = \frac{16,0}{15,4} = 1,04$$

Berechnung des Tragwiderstands nach den Johansen-Fällen

Im vorliegenden Fall handelt es sich um eine einschnittige Holz-Holz-Verbindung. Es sind daher die Versagensfälle (a) bis (f) nach Abschnitt 4.3 zu betrachten. Der Anteil des Seileffekts $F_{rp,k}$ ist für geschraubte Verbindungen wie folgt zu begrenzen:

$$F_{rp,k} = \min \begin{cases} 1,0 \cdot F_{D,k,i} \\ 0,25 \cdot F_{ax,t,k} \end{cases}$$

Die Tragwiderstände in den einzelnen Versagensfällen berechnen sich wie folgt (nachfolgend wird der Term $t_{h,2}/t_1 = 120/120 = 1,0$ gesetzt).

$$F_{D,k,a} = f_{h,0,k,1} \cdot t_1 \cdot d = 15,4 \cdot 120 \cdot 8 = 14,8 \text{ kN}$$

$$F_{D,k,b} = f_{h,0,k,2} \cdot t_{h,2} \cdot d = 16,0 \cdot 120 \cdot 8 = 15,4 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} F_{D,k,c} &= \frac{f_{h,0,k,1} \cdot t_1 \cdot d}{1 + \beta} \left[\sqrt{\beta + 2 \cdot \beta^2 \left[1 + \frac{t_{h,2}}{t_1} + \left(\frac{t_{h,2}}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \cdot \left(\frac{t_{h,2}}{t_1} \right)^2} - \beta \cdot \left(1 + \frac{t_{h,2}}{t_1} \right) \right] \\ &= \frac{15,4 \cdot 120 \cdot 8}{1 + 1,04} \left[\sqrt{1,04 + 2 \cdot 1,04^2 \left[1 + 1,0 + (1,0)^2 \right] + 1,04^3 \cdot (1,0)^2} - 1,04 \cdot (1 + 1,0) \right] \\ &= 6,24 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{D,k,d} &= 1,05 \cdot \frac{f_{h,0,k,1} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2 \cdot \beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y,k}}{f_{h,0,k,1} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right] \\ &= 1,05 \cdot \frac{15,4 \cdot 120 \cdot 8}{2 + 1,04} \left[\sqrt{2 \cdot 1,04 \cdot (1 + 1,04) + \frac{4 \cdot 1,04 \cdot (2 + 1,04) \cdot 23.000}{15,4 \cdot 8 \cdot 120^2}} - 1,04 \right] \\ &= 5,41 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{D,k,e} &= 1,05 \cdot \frac{f_{h,0,k,1} \cdot t_{h,2} \cdot d}{1 + 2 \cdot \beta} \left[\sqrt{2 \cdot \beta^2 (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (1 + 2 \cdot \beta) \cdot M_{y,k}}{f_{h,0,k,1} \cdot d \cdot t_{h,2}^2}} - \beta \right] \\ &= 1,05 \cdot \frac{15,4 \cdot 120 \cdot 8}{1 + 2 \cdot 1,04} \left[\sqrt{2 \cdot 1,04^2 (1 + 1,04) + \frac{4 \cdot 1,04 \cdot (1 + 2 \cdot 1,04) \cdot 23.000}{15,4 \cdot 8 \cdot 120^2}} - 1,04 \right] \\ &= 5,53 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{D,k,f} &= 1,15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,0,k,1} \cdot d} \\ &= 1,15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 1,04}{1 + 1,04}} \cdot \sqrt{2 \cdot 23.000 \cdot 15,4 \cdot 8} \\ &= \underline{\underline{2,76 \text{ kN}}} \end{aligned}$$

Der Seileffekt darf nach Gl. (4.7) für folgende Versagensfälle berücksichtigt werden:

- Für Holz-Holz-Verbindungen in den Versagensfällen (c), (d), (e), (f), (j), (k).

Somit ergeben sich folgende charakteristische Tragwiderstände:

$$F_{v,k,a} = 14,8 \text{ kN}$$

$$F_{v,k,b} = 15,4 \text{ kN}$$

$$F_{v,k,c} = 6,24 + 0,788 = 7,03 \text{ kN}$$

$$F_{v,k,d} = 5,41 + 0,788 = 6,20 \text{ kN}$$

$$F_{v,k,e} = 5,53 + 0,788 = 6,32 \text{ kN}$$

$$F_{v,k,f} = 2,76 + 0,788 = \underline{\underline{3,55 \text{ kN}}}$$

In den Fällen (c) bis (f) mit Seileffekt:

$$F_{rp,k} = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,0 \cdot F_{D,k} \\ 0,25 \cdot F_{ax,t,k} \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,0 \cdot 2,76 \\ 0,25 \cdot 3,15 \end{array} \right\} = 0,788 \text{ kN}$$

Maßgebend für den Tragwiderstand ist der Versagensfall (f) mit zwei Fließgelenken je Scherfuge. Als Bemessungswert des Tragwiderstands je Verbindungsmittel und Scherfuge ergibt sich:

$$F_{v,d} = \frac{k_{\text{mod}}}{\gamma_M} \cdot F_{v,k,f} = \frac{0,8}{1,3} \cdot 3,55 = 2,18 \text{ kN}$$

Die Gesamttragfähigkeit der Verbindung $F_{v,Rd}$ für eine Abscherbeanspruchung ergibt sich somit zu:

$$F_{v,Rd} = n_{ef} \cdot F_{v,d} = 5,09 \cdot 2,18 = 11,1 \text{ kN}$$

4.13.1.4 Heißbemessung

Für die Verbindung ist ein Feuerwiderstand von R 30 ($t_{req} = 30 \text{ min}$) gefordert.

Die Mindestmaße der Rand- und Lochabstände nach Abschnitt 4.7.2 sind eingehalten. Die Schraubenköpfe sind bündig mit der Oberfläche eingeschraubt. Das vereinfachte Verfahren nach EC 5 Teil 2 (siehe Abschnitt 4.11.1) kann angewendet werden.

Angaben:

Geforderter Feuerwiderstand t_{req}	30 min
Feuerwiderstand der ungeschützten Verbindung $t_{d,fi}$	15 min
Bauteil 1, Vollholz C24	
Abbrandrate $\beta_{n,1}$	0,8 mm/min
Bauteil 2, Brettschichtholz GL 24c	
Abbrandrate $\beta_{n,2}$	0,7 mm/min

Die Feuerwiderstandsdauer kann über das vereinfachte Verfahren auf bis zu 30 min erhöht werden, indem die Randabstände sowie Bauteildicken um den Wert a_{fi} vergrößert werden. Da für den Anschluss Hölzer unterschiedlicher Güte verwendet werden ergeben sich folgende Werte für a_{fi} :

$$a_{fi,1} = \beta_{n,1} \cdot k_{flux} \cdot (t_{req} - t_{d,fi}) = 0,80 \cdot 1,5 \cdot (30 - 15) = 18 \text{ mm}$$

$$a_{fi,2} = \beta_{n,2} \cdot k_{flux} \cdot (t_{req} - t_{d,fi}) = 0,70 \cdot 1,5 \cdot (30 - 15) \approx 16 \text{ mm}$$

Für Bauteil 1 bzw. 2 müssen die Dicke sowie die Rand- und Endabstände um 18 mm bzw. 16 mm vergrößert werden. Da der Randabstand $a_{4,c}$ für beide Bauteile mit 40 mm größer ist als der geforderte Mindestabstand von $3 \cdot d = 24 \text{ mm}$, ist eine Vergrößerung um $24 + 18 - 40 = 2 \text{ mm}$ je Richtung ausreichend. Da auch der Abstand a_2 mit dem gewählten Maß von 40 mm ebenfalls größer ist als das geforderte Mindestmaß von 24 mm und die Blockschnachweise für die Verbindungstragfähigkeit nicht maßgebend werden, kann der Abstand a_2 um $2 \cdot 2 = 4 \text{ mm}$ verringert werden, sodass eine Holzbreite von 120 mm ausreichend ist. Die Tragfähigkeit in den spröden Versagensmechanismen ist erneut nachzuweisen. Die Endabstände $a_{3,t}$ sind wie folgt zu vergrößern:

$$a_{3,t,1} = a_{3,t} + a_{fi,1} = 96 + 18 = 114 \text{ mm}$$

$$a_{3,t,2} = a_{3,t} + a_{fi,2} = 96 + 16 = 112 \text{ mm}$$

Die Schraube kann im Holz versenkt werden. Alternativ ist eine längere Schraube zu wählen, um die Tragfähigkeit auf Abscheren beizubehalten. Der Zugewinn der Tragfähigkeit bei der Kaltbemessung durch die Vergrößerung der Einbindetiefe in Bauteil 1 darf rechnerisch nicht berücksichtigt werden. Die Dicke von Bauteil 2 muss nicht angepasst werden, da die Schrauben nur teilweise in Bauteil 2 einbinden. Durch die vorhandene Holzüberdeckung ist ein ausreichender Brandschutz gewährleistet.

Es ergibt sich die Verbindung in Bild 61 mit vergrößerten Abmessungen sowie angepasster Schraube ASSY®plus 4 CSMP 8,0 x 260/100,5 mm gegenüber der Kaltbemessung in Bild 60.

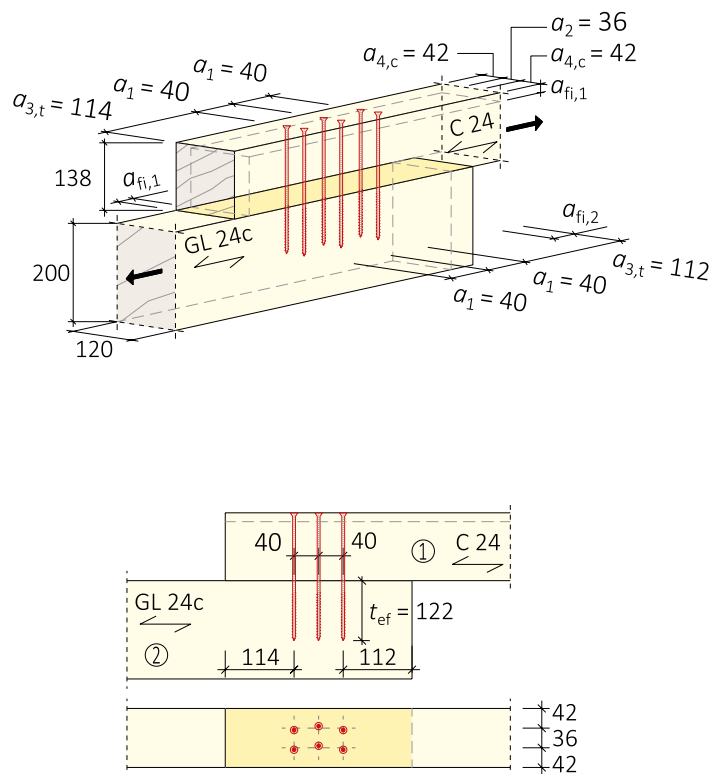


Bild 61: Rechenbeispiel – Modifizierte Verbindung nach Heißbemessung.

4.13.2 Stahl-Holz-Verbindung mit lateral beanspruchten Schrauben

4.13.2.1 Allgemeines

Betrachtet wird die Verbindung in Bild 62, die auf ihre Tragfähigkeit hinsichtlich Scheren und sprödem Versagen im Holz untersucht werden soll. Es wurden bezogen auf das Rechenbeispiel in Abschnitt 3.12.1 sowohl gleiche Querschnitte, als auch eine annähernd gleiche Anschlussfläche gewählt.

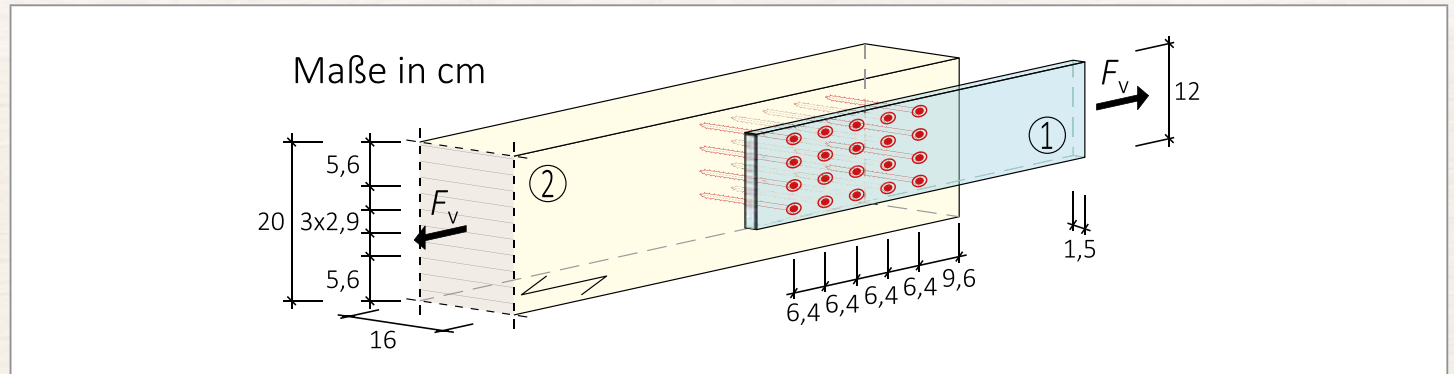


Bild 62: Rechenbeispiel – Stahl-Holz-Verbindung mit lateral beanspruchten Schrauben.

Es gelten die folgenden Angaben:

Geometrie und Material

Bauteil 1			
Material, Stahlgüte			S235
Dicke/Höhe	t_s/h_1	=	1,5 cm/12,0 cm
Streckgrenze	$f_{y,k}$	=	235 N/mm ²
Bauteil 2			
Material, Festigkeitsklasse			GL 28h
Dicke/Höhe	t_2/h_2	=	16,0 cm/20 cm
Kraft-Faser-Winkel	α	=	0°
Rohdichte	ρ_k	=	425 kg/m ³
Modifikationsbeiwert	k_{mod}	=	0,80
Zugfestigkeit	$f_{t,0,k}$	=	22,3 N/mm ²
Schubfestigkeit	$f_{v,k}$	=	3,5 N/mm ²
Einwirkung			
Nutzungsklasse	NKL		1
Klasse der Lasteinwirkungsdauer			Mittel
Verbindungsmittel			
	ASSY®plus 4 CSMP 8,0 x 140/80,5		
Durchmesser	d	=	8,0 mm
Kopfdurchmesser	d_{head}	=	15,0 mm
Länge	l	=	140 mm
Ausziehparameter	$f_{ax,k}$	=	12,0 N/mm ²
Zugwiderstand	$f_{tens,k}$	=	21,5 kN
Teilsicherheitsbeiwert	γ_M	=	1,3
Schraube-Faser-Winkel	ε	=	90°
Abstände			
	vorhanden	Mindestwert	
a_1	64 mm	$\geq 4 \cdot d$	✓
a_2	29 mm	$\geq 2,1 \cdot d$	✓
$a_{3,t}$	96 mm	$\geq 12 \cdot d$	✓
$a_{4,c}$	56 mm	$\geq 3 \cdot d$	✓

Hinweis: nach Tabelle 42 dürfen für a_1 und a_2 in Stahl-Holz-Verbindungen $k_a = 0,7$ eingesetzt werden. Für a_1 ergäbe sich dann $3,5 \cdot d$. Allerdings sind Abstände $a_1 < 4d$ nicht zulässig, da nach Tabelle 38 (Querverweis) für kleinere Werte a_1 k_{ef} nicht ermittelt werden kann.

4.13.2.2 Axialer Tragwiderstand

Mit den Gewindeabmessungen der Schraube und den Materialkennwerten ergibt sich der charakteristische axiale Tragwiderstand der Schraube im Holzbauteil $F_{ax,t,k}$

Mit:

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

$$k_\beta = 1,0 \text{ für GL zu:}$$

$$F_{ax,t,k} = \min \left\{ \begin{aligned} F_{w,k} &= \frac{k_{ax} \cdot f_{ax,k} \cdot d \cdot l_w}{k_\beta} \cdot \left(\frac{\rho_k}{\rho_a} \right)^{0,8} = \frac{1,0 \cdot 12,0 \cdot 8,0 \cdot 80,5}{1,0} \cdot \left(\frac{425}{350} \right)^{0,8} = 9,03 \text{ kN} \\ F_{t,k} &= f_{tens,k} = 21,5 \text{ kN} \end{aligned} \right.$$

4.13.2.3 Abschertragfähigkeit

Berechnung der Lochleibungsfestigkeiten

Für die Stahl-Holz-Verbindung muss eine Lochleibungsfestigkeit bestimmt werden. Die Schrauben weisen eine Bohrspitze auf und werden ohne Vorbohren eingedreht. Die Lochleibungsfestigkeit ist daher für nicht vorgebohrte Löcher zu berechnen. Der Schraube-Faser-Winkel ε beträgt 90° .

$$f_{h,0,k}(\text{GL 28h}) = \frac{0,082 \cdot \rho_k \cdot d^{-0,3}}{2,5 \cdot \cos^2 \varepsilon + \sin^2 \varepsilon} = \frac{0,082 \cdot 425 \cdot 8^{-0,3}}{2,5 \cdot \cos^2 90^\circ + \sin^2 90^\circ} = 18,7 \text{ N/mm}^2$$

Berechnung des Tragwiderstands nach den Johansen-Fällen

Im vorliegenden Fall handelt es sich um eine einschnittige Stahl-Holz-Verbindung mit dickem Blech. Es sind daher die Versagensfälle (c), (d) und (e) nach Abschnitt 4.3.2 zu untersuchen (Gl. (4.5), Bild 34). Der Anteil des Seileffekts $F_{rp,k}$ ist für geschraubte Verbindungen wie folgt zu begrenzen:

$$F_{rp,k} = \min \left\{ \begin{aligned} 1,0 \cdot F_{D,k,i} \\ 0,25 \cdot F_{ax,t,k} \end{aligned} \right.$$

Die Tragwiderstände der einzelnen Versagensfälle können wie folgt mit $t_1 = \min(l - t_s; t_2) = 125 \text{ mm}$ berechnet werden:

$$F_{D,k,c} = f_{h,0,k} \cdot t_1 \cdot d = 18,7 \cdot 125 \cdot 8 = 18,7 \text{ kN}$$

$$F_{D,k,d} = f_{h,0,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,k}}{f_{h,0,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] = 18,7 \cdot 125 \cdot 8 \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot 23.000}{18,7 \cdot 8 \cdot 125^2}} - 1 \right] = 8,0 \text{ kN}$$

$$F_{D,k,e} = 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,k} \cdot f_{h,0,k} \cdot d} = 2,3 \cdot \sqrt{23.000 \cdot 18,7 \cdot 8} = \underline{\underline{4,26 \text{ kN}}}$$

Der Seileffekt darf nach Gl. (4.7) für folgende Versagensfälle berücksichtigt werden:

- Für Stahl-Holz-Verbindungen in den Versagensfällen (b), (d), (e), (g), (h), es bleiben hier (d) und (e).

Es ergeben sich die charakteristischen Tragwiderstände:

$$F_{v,k,c} = 18,7 \text{ kN}$$

$$F_{v,k,d} = 8,0 + 2,26 = 10,26 \text{ kN}$$

$$F_{v,k,e} = 4,26 + 2,26 = \underline{\underline{6,52 \text{ kN}}}$$

In den Fällen (d) bis (e) mit Seileffekt:

$$F_{rp,k} = \min \left\{ \begin{aligned} 1,0 \cdot F_{D,k} \\ 0,25 \cdot F_{ax,t,k} \end{aligned} \right. = \min \left\{ \begin{aligned} 1,0 \cdot 4,26 \\ 0,25 \cdot 9,03 \end{aligned} \right. = 2,26 \text{ kN}$$

Maßgebend für den Tragwiderstand ist der Versagensfall (e) mit zwei Fließgelenken je Scherfuge. Der Bemessungswert des Tragwiderstands je Verbindungsmittel und Scherfuge ist:

$$F_{v,d} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot F_{v,k,e} = \frac{0,8}{1,3} \cdot 6,52 = 4,01 \text{ kN}$$

Die Gesamttragfähigkeit der Verbindung $F_{v,Rd}$ für eine Abscherbeanspruchung ergibt sich mit $a_1 = 8 \cdot d$, nicht versetzter Anordnung und der Beanspruchung parallel zur Faserrichtung (k_{ef} siehe Tabelle 38):

$n_0 = 5$	Anzahl der Verbindungsmittelreihen parallel zur Faserrichtung
$n_{90} = 4$	Anzahl der Verbindungsmittelreihen rechtwinklig zur Last
$n_{ef,0} = n_0^{k_{ef}} = 5^{0,75} = 3,34$	Wirksame Anzahl der Verbindungsmittel parallel zur Faserrichtung und Last
$n_{ef} = n_{ef,0} \cdot n_{90} = 3,34 \cdot 4 = 13,4$	Wirksame Schraubenanzahl in der Verbindung nach Gl. (3.29)

somit zu:

$$F_{v,Rd} = n_{ef} \cdot F_{v,d} = 13,4 \cdot 4,01 = \underline{\underline{53,7 \text{ kN}}}$$

4.13.2.4 Blockschertragfähigkeit nach EC 5

Da sich die auf Abscheren beanspruchten Schrauben im Hirnholzbereich befinden und in Richtung des Hirnholzes beansprucht werden, muss ein sprödes Versagen der Verbindung (siehe Abschnitt 4.8) berücksichtigt werden.

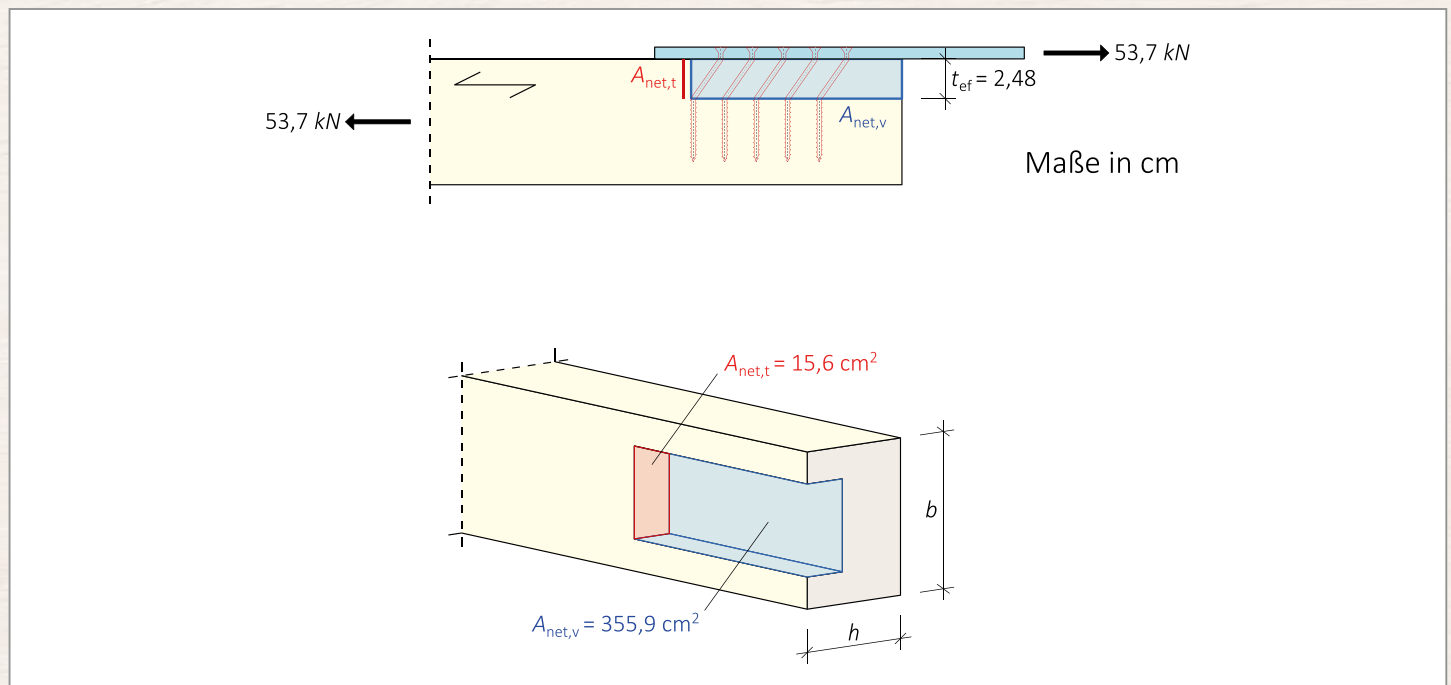


Bild 63: Rechenbeispiel – Blockscherversagen und mitwirkende Flächen.

Zunächst wird als Eingangsgröße die Nettoeinbindetiefe t_{ef} berechnet. Mit dem Fall e als maßgebendem Johansen-Fall und Gl. (4.29) ergibt sich:

$$t_{ef,e} = 2 \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,k} \cdot d}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{23.000}{18,7 \cdot 8}} = 24,8 \text{ mm}$$

Die Nettozugfläche $A_{net,t}$ sowie die Nettoscherfläche $A_{net,v}$ mit den erforderlichen Angaben:

$$l_{ti} = a_2 - d = 21 \text{ mm} \quad \text{Teillänge von } i \text{ Längen der Nettozugfläche (vergleiche Bild 56 links)}$$

$$l_{v,1/6} = a_{3,t} - \frac{d}{2} = 96 - \frac{8}{2} = 92 \text{ mm} \quad \text{Teillängen 1, bzw. 6 der Nettoscherfläche (vergleiche Bild 56 links)}$$

$$l_{v,2-5,7-10} = a_1 - d = 64 - 8 = 56 \text{ mm} \quad \text{Teillängen 2 bis 5 und 7 bis 10 der Nettoscherfläche (vergleiche Bild 56 links)}$$

werden für **Fall 1** berechnet:

$$A_{\text{net},t,1} = \sum_i l_{t,i} \cdot t = (n_{90} - 1) \cdot l_{t,i} \cdot t = (4 - 1) \cdot 21 \cdot 160 = 10.080 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{net},v,1} = \sum_i l_{v,i} \cdot t$$

$$= (2 \cdot l_{v,1/6} + 8 \cdot l_{v,2-5,7-10}) \cdot t = (2 \cdot 92 + 8 \cdot 56) \cdot 160$$

$$= 101.120 \text{ mm}^2$$

werden für **Fall 2** berechnet:

$$A_{\text{net},t} = \sum_i l_{t,i} \cdot t_{\text{ef}} = (n_{90} - 1) \cdot l_{t,i} \cdot t_{\text{ef}} = (4 - 1) \cdot 21 \cdot 24,8 = 1.563 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{net},v} = \frac{\sum_i l_{v,i}}{2} \cdot \left(\sum_i l_{t,i} + 2 \cdot t_{\text{ef}} \right)$$

$$= \left(\frac{2 \cdot l_{v,1/6} + 8 \cdot l_{v,2-5,7-10}}{2} \right) \cdot (3 \cdot l_{t,i} + 2 \cdot t_{\text{ef}}) = \left(\frac{2 \cdot 92 + 8 \cdot 56}{2} \right) \cdot (3 \cdot 21 + 2 \cdot 24,8)$$

$$= 35.582 \text{ mm}^2$$

Die Bemessungswerte der Zugfestigkeit $f_{t,0,d}$ sowie der Schubfestigkeit $f_{v,d}$ sind:

$$f_{t,0,d} = \frac{k_{\text{mod}}}{\gamma_M} \cdot f_{t,0,k} = \frac{0,8}{1,3} \cdot 22,3 = 13,7 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,d} = \frac{k_{\text{mod}}}{\gamma_M} \cdot f_{v,k} = \frac{0,8}{1,3} \cdot 3,5 = 2,15 \text{ N/mm}^2$$

Der Bemessungswert der Blockschertragfähigkeit $F_{\text{bs,Rd}}$ ergibt sich zu:

$$F_{\text{bs,ax,Rd}} = \min \left\{ \begin{array}{l} F_{\text{bs,ax,Rd},1} \\ F_{\text{bs,ax,Rd},2} \end{array} \right. = \min \left\{ \begin{array}{l} 207 \\ 53,6 \end{array} \right. = 53,6 \text{ kN}$$

$$F_{\text{bs,ax,Rd},1} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,7 \cdot A_{\text{net},v,1} \cdot f_{v,d} \\ 1,5 \cdot A_{\text{net},t,1} \cdot f_{t,0,d} \end{array} \right. = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,7 \cdot 101.120 \cdot 2,15 = 152 \text{ kN} \\ 1,5 \cdot 10.080 \cdot 13,7 = \underline{\underline{207 \text{ kN}}} \end{array} \right.$$

$$F_{\text{bs,ax,Rd},2} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,7 \cdot A_{\text{net},v,2} \cdot f_{v,d} \\ 1,5 \cdot A_{\text{net},t,2} \cdot f_{t,0,d} \end{array} \right. = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,7 \cdot 25.582 \cdot 2,15 = \underline{\underline{53,6 \text{ kN}}} \\ 1,5 \cdot 1.563 \cdot 13,7 = 32,1 \text{ kN} \end{array} \right.$$

Für die Blockschertragfähigkeit ist Fall 2 (Versagen über einen Teil der Querschnittshöhe) maßgebend. Der Bemessungswert der Tragfähigkeit $F_{\text{bs,Rd}} = 53,6 \text{ kN}$ des in diesem Beispiel von den Schrauben umgriffenen Blocks ist nahezu gleich dem Bemessungswert der Schertragfähigkeit $F_{\text{v,Rd}} = 53,7 \text{ kN}$ der geschraubten Verbindung. Folglich ist für diesen Anschluss (in diesem Beispiel) sowohl Blockschertragfähigkeit als auch Schertragfähigkeit maßgebend, d.h. mit dem Verschieben der Stahlplatte infolge der Ausbildung von Fließgelenken in den Schrauben versagt das Bauteil in der Scherfläche $A_{\text{net},v}$.

5 KOMBINIerte BEANSPRUCHUNGEN



Tritt in einer Verbindung sowohl eine Beanspruchung in Achsrichtung als auch quer zu den Verbindungsmittelachsen und somit als Scherkraft auf, ist zusätzlich zu den Nachweisen in Abschnitt 3 und 4 ein kombinierter Nachweis nach Gl. (5.1) zu führen.

$$\left(\frac{F_{ax,Ed}}{F_{ax,c/t,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right)^2 \leq 1,0 \quad (5.1)$$

Mit:

$F_{ax,Ed}$	Bemessungswert der axialen Einwirkung
$F_{ax,c/t,Rd}$	Bemessungswert der axialen Tragfähigkeit nach Abschnitt 3.7
$F_{v,Ed}$	Bemessungswert der einwirkenden Scherkraft
$F_{v,Rd}$	Bemessungswert der Schertragfähigkeit einer Verbindung nach Abschnitt 4.6

6 QUERZUG- VERSTÄRKUNG



6.1 Allgemeines

Querzugverstärkungen mit Holzschrauben können mit einer schlaffen Bewehrung in Beton verglichen werden. Aus der geringen Festigkeit des Holzes quer zur Faser mit sich leicht bildenden Rissen folgt die Vernachlässigung der Querzugfestigkeit in der Bemessung verstärkter Bauteile.

Alle ASSY® Vollgewindeschrauben dürfen bei Bauteilen mit Ausklinkungen, Durchbrüchen oder Queranschlüssen zur Querzugverstärkung verwendet werden.

Nach ETA-11/0190 gelten die Bestimmungen zur Verstärkung von Holzbauteilen bei Zugbeanspruchung rechtwinklig zur Faser für Bauteile aus den folgenden Werkstoffen:

- Vollholz (ST/FST) aus Nadelholz oder aus den Laubholzarten Buche, Eiche oder Esche,
- Balkenschichtholz (GST) aus Nadelholz oder aus den Laubholzarten Buche, Eiche oder Esche,
- Brettschichtholz (GL, BGL) aus Nadelholz oder aus den Laubholzarten Buche, Eiche oder Esche,
- Furnierschichtholz (LVL-P, GLVL-P) aus Nadelholz oder Buche, ausgenommen: Verstärkungsschrauben die parallel zur Decklage, also mit $\beta = 0^\circ$ einbinden,
- Brettsperrholz (CLT) aus Nadelholz.

Nach Dietsch (2017) behindern Verstärkungsschrauben, die in einem Winkel $\varepsilon = 90^\circ$ über größere Trägerbereiche eingebracht sind, das freie Schwinden und Quellen der Holzbauteile. Diese sogenannte Sperrwirkung führt insbesondere beim Schwinden infolge Spannungen quer zur Faser zu Rissen im Holzbauteil, welche die Tragfähigkeit reduzieren können. Aus diesen Erkenntnissen werden folgende Konstruktionsempfehlungen nach Danzer et al. (2022) abgeleitet, welche soweit möglich berücksichtigt werden sollten:

- größere Abstände zwischen den Verstärkungsschrauben,
- Verringerung der Höhe der verstärkten Bereiche im Holzbauteil,
- nach Möglichkeit geneigte Anordnung der Verstärkungsschrauben $\varepsilon \neq 90^\circ$.

Im Allgemeinen muss für die Querzugverstärkung folgende Gleichung erfüllt werden:

$$\frac{F_{t,90,Ed}}{F_{t,90,Rd}} \leq 1,0 \quad (6.1)$$

Für die Beanspruchbarkeit von ASSY® Vollgewindeschrauben gilt nach EC 5 und Abschnitt 3.7.1 dieses Dokuments

$$F_{t,90,Rd} = F_{ax,Rd} = n_{ef} \cdot \min \left\{ \begin{array}{l} f_{ax,d} \cdot d \cdot l_{w,min} \\ f_{tens,d} \end{array} \right. \quad \text{mit} \quad l_{w,min} = \min \left\{ \begin{array}{l} l_{w,1} \\ l_{w,2} \end{array} \right. \quad (6.2)$$

Für alle ASSY® Vollgewindeschrauben, die zur Querzugverstärkung genutzt werden, gilt $n_{ef} = n$. Für l_w siehe Bild 65, 70, 73 und 78.

Weitere Empfehlungen nach Dietsch (2019):

1. An Holzbauteilen in dauerhaft trockenem oder häufig wechselndem Klima werden vollflächig aufgeklebte Verstärkungselemente empfohlen (Dämpfung der Austrocknung, kleineres Steifigkeitsverhältnis).
2. Bauteile in trockener Umgebung sollten auf die Ausgleichsfeuchte (z. B. Nadelholz in gedämmten, geheizten Gebäuden 7% - 10% mit jährlicher Schwankung von $\pm 3\%$) vor Einbau getrocknet werden.

Zusammenhänge können in Dietsch (2019) nachvollzogen werden.

6.2 Ausklinkungen

6.2.1 Allgemeines

Bei Trägern mit Ausklinkungen entstehen in den einspringenden Ecken sehr hohe Querzug- und Schubspannungen (Spannungskonzentration), die bei unverstärkten Trägern schon bei geringen Lasten zum Versagen führen können. Die Querzugspannungen klingen mit zunehmendem Abstand von der Ausklinkungsecke schnell ab. Dietsch und Brandner (2015) empfehlen deshalb, Verstärkungen möglichst nah an der Ausklinkungsecke anzuordnen. Bei ausgeklinkten Trägern ist in der Regel der Einfluss der Spannungskonzentration in der Ausklinkung beim Tragfähigkeitsnachweis zu berücksichtigen. Bei wechselnder Umgebungsfeuchte können zusätzliche klimatisch bedingte Querzugspannungen auftreten, die sich mit den Querzugspannungen aus äußeren Lasten überlagern. Ausklinkungen ohne Verstärkung dürfen nur in den Nutzungsklassen 1 und 2 verwendet werden. Ausklinkungen in Nutzungsklasse 3 müssen immer verstärkt werden.

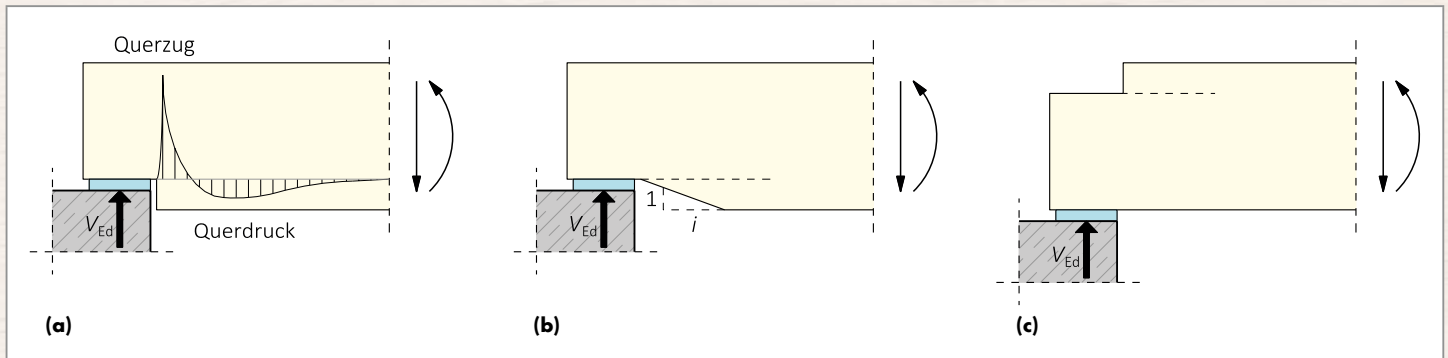


Bild 64: Varianten von Ausklinkungen.

6.2.2 Unverstärkte Ausklinkungen

Nachweis der unverstärkten Ausklinkung mit Gl. (6.60) nach EC 5

$$\tau_d = 1,5 \cdot \frac{V_{Ed}}{b_{ef} \cdot h_{ef}} \leq k_{v,n} \cdot f_{v,d} \quad (6.3)$$

mit $k_{v,n} = 1$ für Ausklinkungen nach Bild 64 (c) und Träger mit Druckspannungen in der Ausklinkungsecke. Für Ausklinkungen nach Bild 64 (a) oder (b) gilt

$$k_{v,n} = \min \left\{ 1, \frac{k_n \left(1 + \frac{1,1 \cdot i^{1,5}}{\sqrt{h}} \right)}{\sqrt{h} \cdot \left(\sqrt{\alpha \cdot (1 - \alpha)} + 0,8 \cdot \frac{x}{h} \cdot \sqrt{\frac{1}{\alpha} - \alpha^2} \right)} \right\} \quad \text{mit } k_n = \begin{cases} 4,5 & \text{für LVL}_{\text{flatwise}} \\ 5 & \text{für ST/FST, GST, LVL-P, GLVL-P} \\ 6,5 & \text{für GL/BGL} \\ 15 & \text{für LVL-C}_{\text{edgewise}}, \text{ GLVL-C}_{\text{edgewise}} \end{cases}$$

Mit:

i Neigung der Ausklinkung siehe Bild 64 (b), bei 90°-Ausklinkungen: $i = 0$

$i = \frac{l_{Voute}}{h - h_{ef}}$ mit l_{Voute} Länge der Voute

h Höhe des Trägers in mm

x Abstand zwischen der Wirkungslinie der Auflagerkraft und der Ausklinkungsecke in mm

$\alpha = \frac{h_{ef}}{h}$ Quotient der Restträgerhöhe h_{ef} und der Trägerhöhe h

6.2.3 Verstärkung

Ausklüngen können mit Vollgewindeschrauben rechtwinklig oder geneigt zur Faser verstärkt werden (siehe Bild 65 a, b). Eine stirnseitig angeschlossene Platte entsprechend Bild 65 c ist wie eine Ausklüngen nachzuweisen.

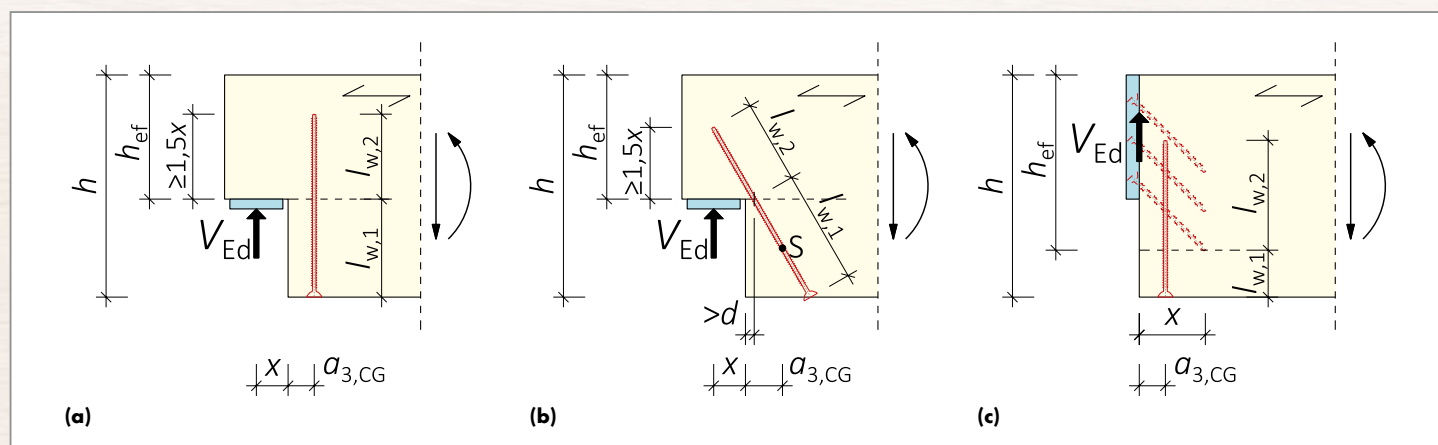


Bild 65: Ausklüngenverstärkungen.

Verstärkungen von Ausklüngen sind für die folgende einwirkende Zugkraft zu bemessen:

$$F_{t,90,Ed} = 1,3 \cdot V_{Ed} \cdot \left[3 \cdot (1 - \alpha)^2 - 2 \cdot (1 - \alpha)^3 \right] \quad (6.4)$$

Für die Beanspruchbarkeit der Verstärkung gilt:

$$F_{t,90,Rd} = F_{ax,t,Rd} = n \cdot F_{ax,t,d}, \text{ siehe Gl. (3.22) und (3.24)}$$

Für den Nachweis der Verstärkung ist folgende Bedingung zu erfüllen:

$$\frac{F_{t,90,Ed}}{F_{t,90,Rd}} \leq 1,0, \text{ siehe Gl. (6.1)}$$

Weitere Konstruktions- und Bemessungsregeln:

- In Trägerlängsrichtung darf nur die erste Schraube bzw. Schraubenreihe nahe der Ausklüngenhecke rechnerisch angesetzt werden.
- Nach DIN 1052 und dem Holzbau Handbuch 2-1-2 (2016), gelten folgende Geometrieempfehlungen:
 $\frac{h_{ef}}{h} \geq 0,5$; $\frac{x}{h} \leq 0,4$
- Die Verstärkungsschrauben sollten so eingebunden sein, dass die hochgehängte Querkraft im oberen Drittel des Querschnitts verankert wird. Enden die Verstärkungsschraube unterhalb dieser Grenze sind zusätzliche Querkugnachweise zu führen!

Konstruktions- und Bemessungsregeln nach EC 5 Entwurf:

- Falls $l_{w,1} < h - h_{ef}$, dann ist für den unverstärkten Bereich der Ausklüngen ein zusätzlicher Nachweis erforderlich.
- Die Verstärkungsschrauben sollten oberhalb des ausgeklüngen Bereichs ausreichend eingebunden sein $l_{w,2} \geq 1,5 \cdot x$.
- Die Tragfähigkeit einer verstärkten Ausklüngen mit rechtwinklig zur Faserrichtung angeordneten stiftförmigen Verbindungsmitteln ist auf das Zweifache der Tragfähigkeit der unverstärkten Ausklüngen (nach Gl. (6.3)) limitiert $F_{t,90,Rd, \text{verstärkt}} \leq 2 \cdot F_{t,90,Rd, \text{unverstärkt}}$

6.2.4 Rechenbeispiel

6.2.4.1 Allgemeine Informationen

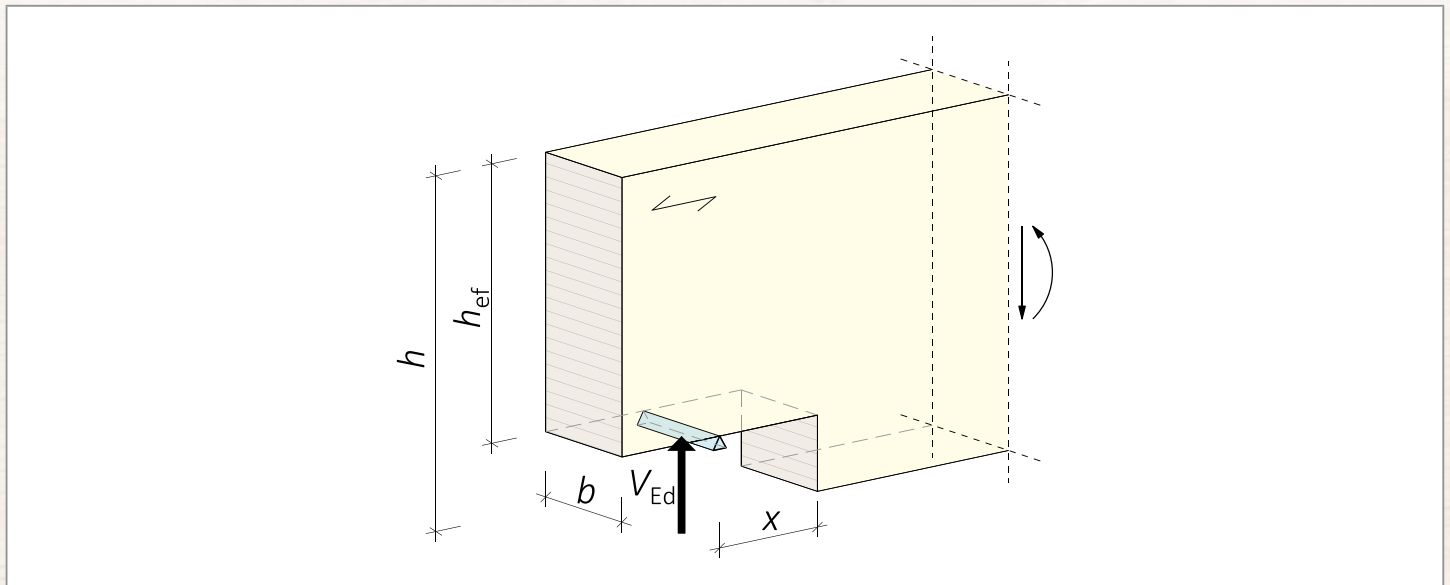


Bild 66: Rechenbeispiel – unverstärkte Ausklinkung.

Geometrie und Material

Querschnittsbreite	$b = 120 \text{ mm}$
Querschnittshöhe	$h = 560 \text{ mm}$
Material	GL 24c
Charakteristische Rohdichte	$\rho_k = 365 \text{ kg/m}^3$
Charakteristischer Wert der Schubfestigkeit	$f_{v,k} = 3,50 \text{ N/mm}^2$
Rechenbeiwert	$k_{cr} = 2,5/3,5$
Teilsicherheitsbeiwert	$\gamma_M = 1,3$
Rest-Trägerhöhe	$h_{ef} = 440 \text{ mm}$
Mitte Auflager bis Kante Ausklinkung	$x = 200 \text{ mm}$
Neigung der Ausklinkung	$i = 0 \text{ (Auskl.} = 90^\circ)$

Prüfung der geometrischen Empfehlungen:

$$\frac{h_{ef}}{h} = \frac{44}{56} = 0,79 > 0,5 \quad \checkmark$$

$$\frac{x}{h} = \frac{20}{56} = 0,36 > 0,4 \quad \checkmark$$

Einwirkung

Bemessungslast	$V_{Ed} = 46,1 \text{ kN}$
Nutzungsklasse	1
Klasse der Lasteinwirkungsdauer	mittel
Modifikationsbeiwert	$k_{mod} = 0,8$

6.2.4.2 Nachweis der Schubspannung im Restquerschnitt

Mit $k_{mod} = 0,8$; $\gamma_M = 1,3$ und $k_{cr} = 2,5/3,5$

$$F_{v,Rd} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot k_{cr} \cdot b \cdot h_{ef} \cdot \frac{f_{v,k}}{1,5} = \frac{0,8}{1,3} \cdot \frac{2,5}{3,5} \cdot 120 \cdot 440 \cdot \frac{3,5}{1,5}$$

$$F_{v,Rd} = 54,2 \text{ kN}$$

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{46,1}{54,2} = 0,85 < 1,0 \quad \checkmark$$

6.2.4.3 Nachweis der unverstärkten Ausklinkung

$$V_{Rd} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot k_{cr} \cdot b \cdot h_{ef} \cdot k_{v,n} \cdot \frac{f_{v,k}}{1,5} = \frac{0,8}{1,5} \cdot \frac{2,5}{1,3} \cdot \frac{3,5}{3,5} \cdot 120 \cdot 440 \cdot 0,428 \cdot \frac{3,5}{1,5} = 23,2 \text{ kN}$$

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} = \frac{46,1}{23,2} = 1,99 > 1,0 \quad \text{⚡}$$

→ Tragfähigkeit des Restquerschnitts um 99 % überschritten
→ Verstärkung erforderlich!

Mit:

$$k_{v,n} = \frac{k_n \left(1 + \frac{1,1 \cdot i^{1,5}}{\sqrt{h}} \right)}{\sqrt{h} \cdot \left(\sqrt{\alpha \cdot (1 - \alpha)} + 0,8 \cdot \frac{x}{h} \cdot \sqrt{\frac{1}{\alpha} - \alpha^2} \right)} = \frac{6,5 \cdot \left(1 + \frac{1,1 \cdot 0^{1,5}}{\sqrt{560}} \right)}{\sqrt{560} \cdot \left(\sqrt{0,786 \cdot (1 - 0,786)} + 0,8 \cdot \frac{200}{560} \cdot \sqrt{\frac{1}{0,786} - 0,786^2} \right)} = 0,428$$

$$i = 0$$

$$h = 560$$

$$x = 200$$

$$\alpha = \frac{h_{ef}}{h} = \frac{440}{560} = 0,786$$

$$k_n = 6,5 \text{ (siehe Abschnitt 6.2.2)}$$

→ **Die Tragfähigkeit des Restquerschnitts um 99 % überschritten. Eine Verstärkung ist erforderlich.**

6.2.4.4 Nachweis der verstärkten Ausklinkung

Für die gewählten ASSY®plus VG 4 CH 8,0 x 420 mm Vollgewindeschrauben ist der charakteristische Zugwiderstand $F_{t,k} = f_{tens,k} = 22 \text{ kN}$ (siehe Abschnitt 3.4). Der charakteristische Ausziehparameter ist oberhalb und unterhalb der Rissebene zu berechnen:

$$F_{w,k} = \frac{k_{ax} \cdot f_{ax,k} \cdot d \cdot l_w}{k_{\beta}} \cdot \left(\frac{\rho_k}{\rho_{ref,k}} \right)^{0,8} \text{ (siehe Abschnitt 3.3)}$$

Bauteil		1	2	
Verankerungslänge	$l_{w,i}$	120	300	mm
Winkelfaktor	$k_{ax,i}$	1,0	1,0	-
Winkelfaktor	$k_{\beta,i}$	1,0	1,0	-
Charakteristische Rohrdichte	$\rho_{k,i}$	365	365	kg/m ³
Bezugsrohrdichte	$\rho_{ref,k,i}$	350	350	kg/m ³
Ausziehparameter	$f_{ax,k}$	12,0	12,0	N/mm ²



ASSY®plus
VG 4 CH 8,0 x 420

$$F_{w,k,1} = \frac{k_{ax,1} \cdot f_{ax,k,1} \cdot d \cdot l_{w,1}}{k_{\beta,1}} \cdot \left(\frac{\rho_{k,1}}{\rho_{ref,k,1}} \right)^{0,8} = \frac{1,0 \cdot 12,0 \cdot 8,0 \cdot 120}{1,0} \cdot \left(\frac{365}{350} \right)^{0,8} = 11,9 \text{ kN}$$

$$F_{w,k,2} = \frac{k_{ax,2} \cdot f_{ax,k,2} \cdot d \cdot l_{w,2}}{k_{\beta,2}} \cdot \left(\frac{\rho_{k,2}}{\rho_{ref,k,2}} \right)^{0,8} = \frac{1,0 \cdot 12,0 \cdot 8,0 \cdot 300}{1,0} \cdot \left(\frac{365}{350} \right)^{0,8} = 29,8 \text{ kN}$$

Charakteristischer Wert des axialen Tragwiderstands nach Gl. (3.18):

$$F_{ax,t,k} = \min \{ F_{w,k,1}; F_{w,k,2}; F_{t,k} \} = \min \{ 11,9; 29,8; 22,0 \} = 11,9 \text{ kN}$$

Bemessungswert des axialen Tragwiderstands nach Gl. (3.19):

$$F_{ax,t,d} = \min \left\{ \frac{k_{mod,1} \cdot F_{w,k,1}; k_{mod,2} \cdot F_{w,k,2}; F_{t,k}}{\gamma_M} \right\} = \min \left\{ \frac{0,8 \cdot 11,9; 0,8 \cdot 29,8; 22,0}{1,3} \right\} = 7,33 \text{ kN}$$

An der Ausklinkung wirkende Einwirkung:

$$F_{t,90,Ed} = 1,3 \cdot V_{Ed} \cdot \left[3 \cdot (1-\alpha)^2 - 2 \cdot (1-\alpha)^3 \right] = 1,3 \cdot 46,1 \cdot \left[3 \cdot (1-0,786)^2 - 2 \cdot (1-0,786)^3 \right] = 7,07 \text{ kN}$$

$$F_{t,90,Rd} = F_{ax,t,Rd} = n \cdot F_{ax,t,d} = 2 \cdot 7,33 = 14,7 \text{ kN} \quad \text{Berücksichtigung der Abstände!}$$

$$a_2 \geq 2,5d$$

$$a_{3,CG} \geq 5d$$

$$a_{4,CG} \geq 3d$$

$$\eta = \frac{F_{t,90,Ed}}{F_{t,90,Rd}} = \frac{7,07}{14,7} = 0,48 < 1,0 \quad \checkmark$$

Prüfung Breite und Kriterien:

$$b_{\min} = 2 \cdot a_{4,CG} + 1 \cdot a_2 = 2 \cdot 24 + 20 = 64 \text{ mm}$$

$$b_{\min} < b_{\text{ist}} \quad \checkmark$$

$$\Rightarrow a_{2,\text{gewählt}} = 60 \text{ mm}; a_{4,CG,\text{gewählt}} = 30 \text{ mm}$$

- Abstände eingehalten \checkmark
- Eine Schraubenreihe \checkmark
- Geometrieempfehlungen nach DIN 1052 erfüllt \checkmark
- Verstärkungsschrauben binden im oberen Drittel des Querschnitts ein \checkmark
- Auflager mit verstärkter Ausklinkung überträgt weniger als das Doppelte des Trägers mit unverstärkter Ausklinkung \checkmark

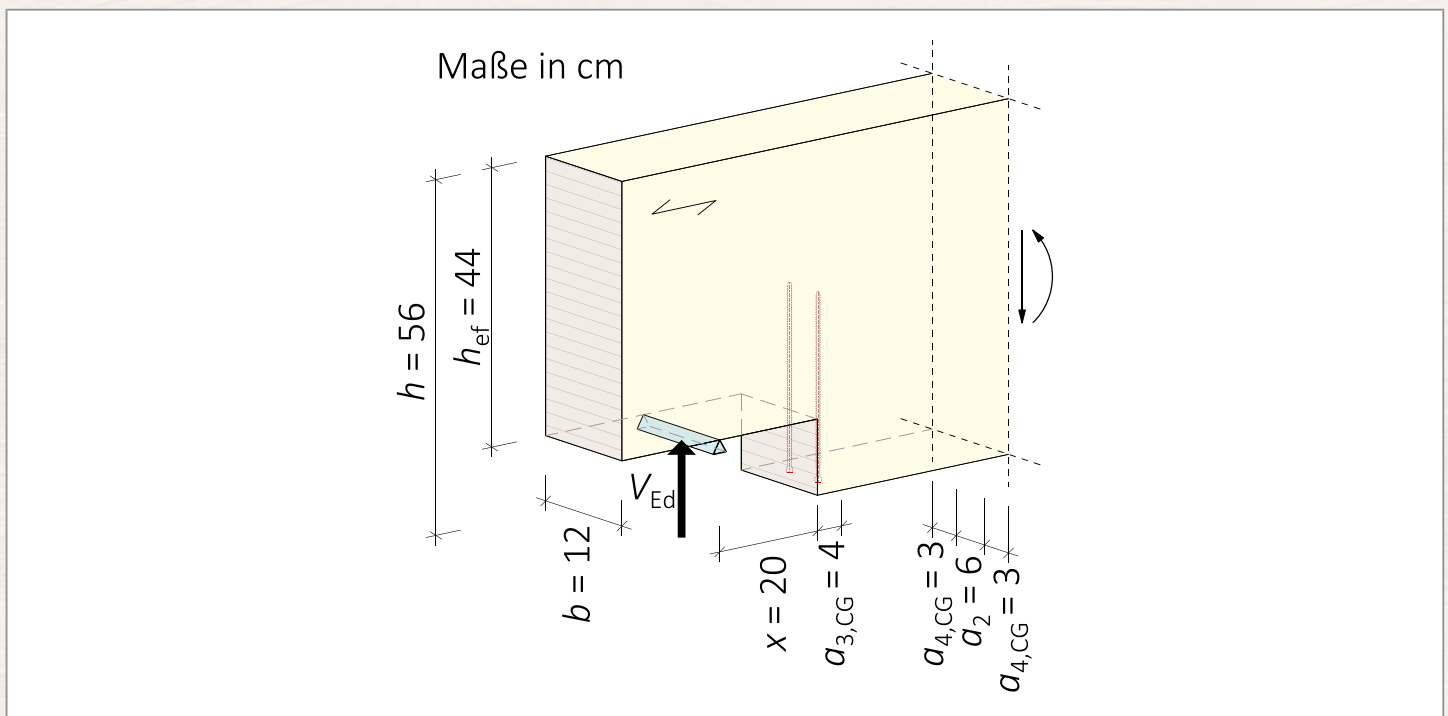


Bild 67: Rechenbeispiel – verstärkte Ausklinkung.

Weitere Hinweise zum Beispiel:

Auf der sicheren Seite liegend, sind Vollgewindeschrauben mit einer Länge $l = h - h_{ef} + 1,5 \cdot x = 420 \text{ mm}$ gewählt (Empfehlung aus EC 5 Entwurf: 8.3.5.2 (3)).

Es ist eine Erhöhung der Einbindelänge mit geeigneter Anordnung möglich. Die Schrauben können näher am Kerbgrund platziert werden, was eine Reduktion des Sperreffekts zur Folge hat. Der Abstand der Schraubenachse zur Ausklinkungsecke sollte dabei $> d$ gewählt werden, siehe Bild 65.

6.3 Durchbrüche

In Bild 68 sind Träger mit Durchbrüchen unterschiedlicher Form (kreisförmig und rechteckig) und unterschiedlicher Beanspruchung dargestellt. Die gestrichelten Linien zeigen dabei die spröde auftretenden Risse, die durch Spannungumlagerungen entstehen (siehe Bild 68 (b)). Die durch Umlenkungskräfte auftretende Querkzugkraft $F_{t,90,Ed}$ setzt sich aus einem Querkraft- und Momentenanteil zusammen, siehe Gl. (6.6). Bild 68 (a) zeigt Risslinien, die bei hohen Schubspannungen ($F_{t,90,V,Ed} > F_{t,90,M,Ed}$) entstehen. Bild 68 (c) zeigt Risslinien, die bei überwiegenden Biegespannungen entstehen ($F_{t,90,M,Ed} \gg F_{t,90,V,Ed}$). Tabelle 51 gibt Grenzwerte für die Positionierung von Durchbrüchen an. Durchbrüche in NKL 3 müssen verstärkt sein. Für die Abmessungen wird auf Bild 69 verwiesen.

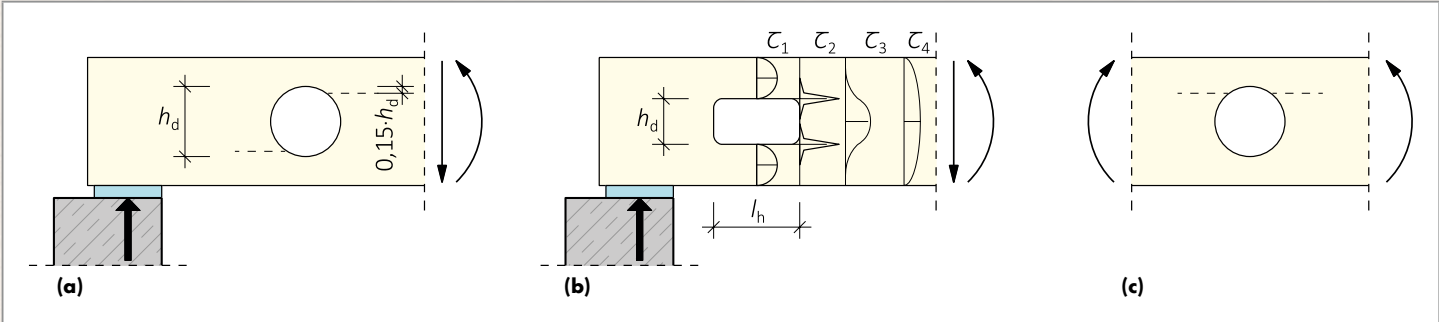


Bild 68: Unverstärkte Durchbrüche.

Tabelle 51: Geometrische Randbedingungen für unverstärkte/verstärkte Durchbrüche.

Randbedingungen	unverstärkt	verstärkt
Mindestabstände	$l_v \geq h$ $l_z \geq \max \begin{cases} 1,5 \cdot h \\ 300 \text{ mm} \end{cases}$ $l_A \geq h / 2$ $h_{ro(ru)} \geq 0,35 \cdot h$	$l_v \geq h$ $l_z \geq \max \begin{cases} 1,0 \cdot h \\ 300 \text{ mm} \end{cases}$ $l_A \geq h / 2$ $h_{ro(ru)} \geq 0,25 \cdot h$
Maximalabmessungen	$l_h \leq 0,4 \cdot h$ $h_d \leq 0,15 \cdot h$	$l_h \leq h$ und $l_h / h_d \leq 2,5$ $h_d \leq 0,3 \cdot h$
Mit:		
l_v	Vorholzlänge	
l_A	Abstand der Auflagerkraft zum Rand des Durchbruchs	
l_h bzw. d	Länge bzw. Durchmesser des Durchbruchs	
l_z	Abstand zwischen zwei Durchbrüchen	
h	Querschnittshöhe	
h_{ro}, h_{ru}	Höhe des Restquerschnitts oberhalb bzw. unterhalb des Durchbruchs	
h_d	Durchbruchshöhe	
Regelwerk: EC 5		

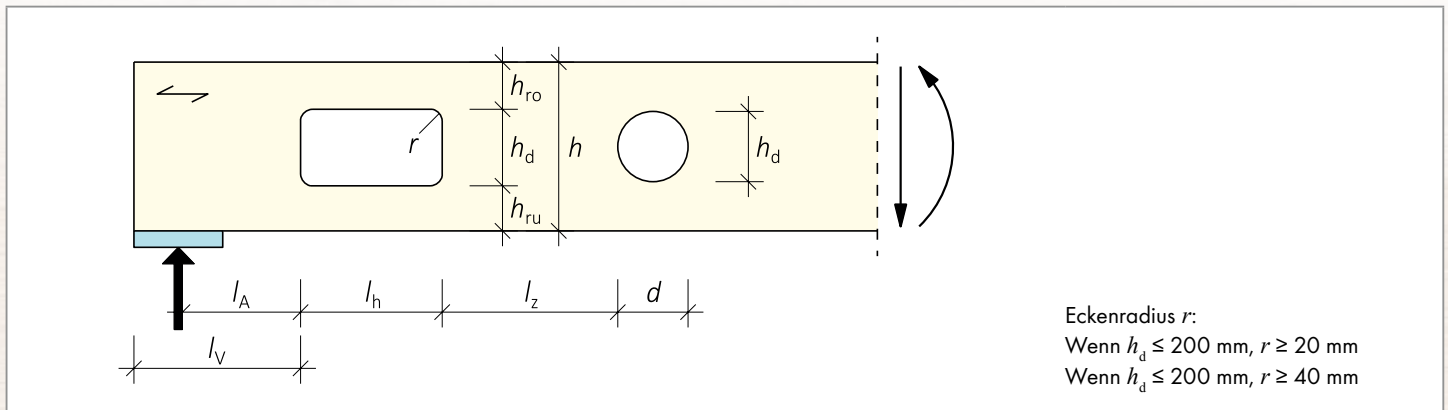


Bild 69: Definition der Maße bei einem Durchbruch.

6.3.1 Nachweise für unverstärkte Durchbrüche

Bei unverstärkten Durchbrüchen muss folgende Bedingung eingehalten werden:

$$\frac{F_{t,90,Ed}}{0,5 \cdot l_{t,90} \cdot b \cdot k_{t,90} \cdot f_{t,90,d}} \leq 1,0 \quad (6.5) \text{ siehe EC 5, NA.6.7 (NA.63)}$$

Mit:

b	Trägerbreite am Durchbruch
$f_{t,90,d}$	Bemessungswert der Zugfestigkeit des GL oder LVL rechtwinklig zur Faserrichtung
$k_{t,90} = \min\left\{1; (450/h)^{0,5}\right\}$	h in mm
$l_{t,90} = 0,5 \cdot (h_d + h)$	Verteilungslänge für rechteckige Durchbrüche
$l_{t,90} = 0,353 \cdot h_d + 0,5 \cdot h$	Verteilungslänge für kreisförmige Durchbrüche

Für den Bemessungswert der querzugerzeugenden Kraftkomponente gilt:

$$F_{t,90,Ed} = F_{t,90,V,Ed} + F_{t,90,M,Ed} \quad (6.6) \text{ siehe EC 5, NA.6.7 (NA.66)}$$

$$F_{t,90,V,Ed} = \frac{V_{Ed} \cdot h_d \cdot k_o}{4 \cdot h} \cdot \left(3 - \frac{(h_d \cdot k_o)^2}{h^2}\right) \quad (6.7) \text{ siehe EC 5, NA.6.7 (NA.67)}$$

$$F_{t,90,M,Ed} = 0,008 \cdot \frac{M_{Ed}}{h_r} \quad (6.8) \text{ siehe EC 5, NA.6.7 (NA.68)}$$

Mit:

$F_{t,90,V,Ed}$	Einwirkende Querkraft aus Schubspannungen am Durchbruch
$F_{t,90,M,Ed}$	Einwirkende Querkraft aus Biegespannungen am Durchbruch
V_{Ed}	Bemessungswert der einwirkenden Querkraft
M_{Ed}	Bemessungswert des einwirkenden Biegemoments
h	Querschnittshöhe
h_d	Durchbruchhöhe
h_r	Höhe des Restquerschnitts oberhalb bzw. unterhalb des Durchbruchs (bei kreisförmigen $+ 0,15h_d$, siehe Abschnitt 6.3.3)
k_o	Formfaktor 1,0 für rechteckige, 0,7 für kreisförmige Durchbrüche

6.3.2 Nachweis für verstärkte Durchbrüche

$$\frac{F_{t,90,Ed}}{F_{t,90,Rd}} \leq 1,0$$

, siehe Gl. (6.1)

Mit:

$$F_{t,90,Rd} = F_{ax,t,Rd} = n \cdot F_{ax,t,d}, \text{ siehe Gl. (3.22) und (3.24)}$$

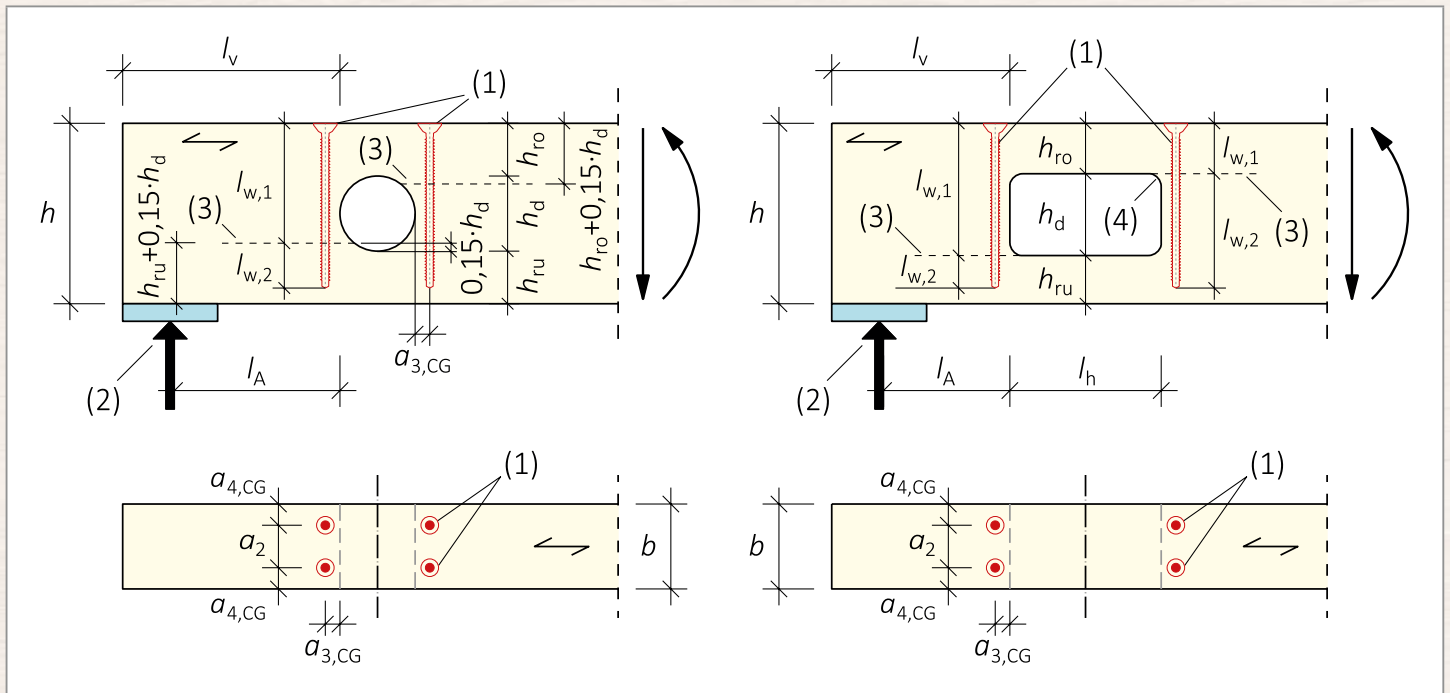


Bild 70: Verstärkte Durchbrüche. (1) Verstärkungsschrauben, (2) Lagerkraft, (3) Risslinie, (4) Eckenradius.

6.3.3 Rechenbeispiel

Die Tragfähigkeit eines Durchbruchs kann mit dem **Modul Durchbruch** berechnet werden.

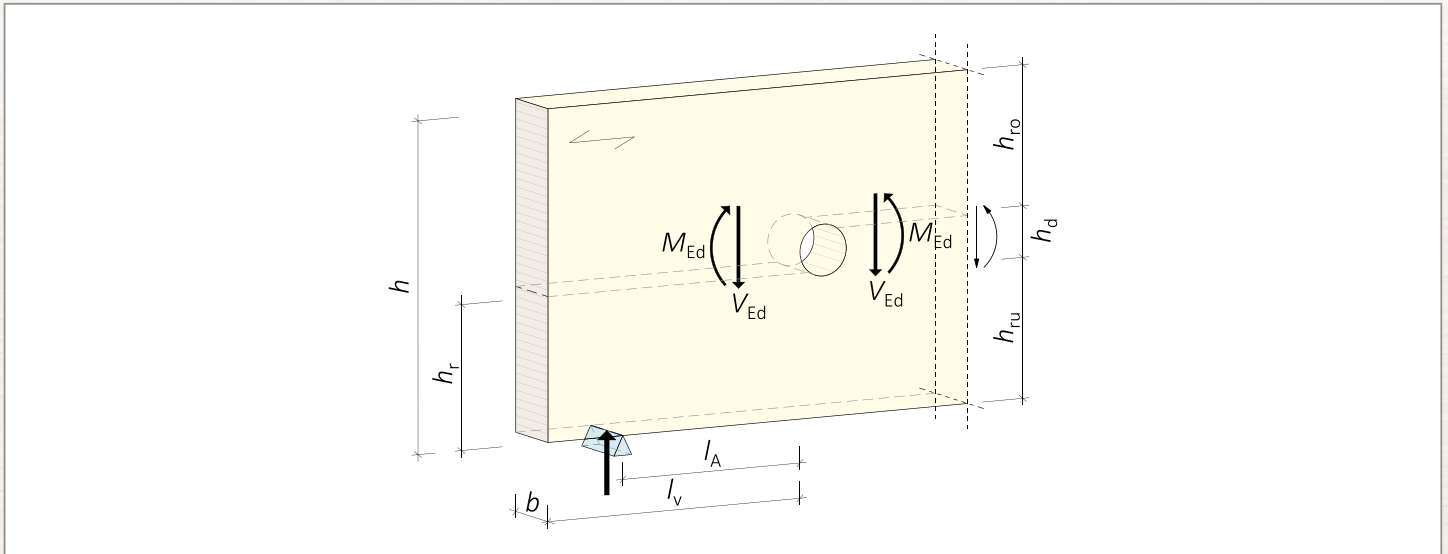


Bild 71: Rechenbeispiel – unverstärkter Durchbruch.

Geometrie, Material und Belastung

Querschnittsbreite	b	= 160 mm
Querschnittshöhe	h	= 800 mm
Material		GL 28c
Charakteristische Rohdichte	ρ_k	= 390 kg/m ³
Charakteristischer Wert der Schubfestigkeit	$f_{v,k}$	= 3,50 N/mm ²
Rechenbeiwert	k_{cr}	= 2,5/3,5
Teilsicherheitsbeiwert	γ_M	= 1,3
Randabstand	l_v	= 850 mm
Durchbruchabstand	l_z	= 825 mm
Auflagerabstand	l_A	= 600 mm
Resthöhe oben/unten	$h_{ro/ru}$	= 312,5 mm
Durchmesser des Durchbruchs	d	= 175 mm

Bemessungswert der einwirkenden Querkraft	V_{Ed}	= 45 kN
Bemessungswert des einwirkenden Biegemoments	M_{Ed}	= 100 kNm
Nutzungsklasse		2
Klasse der Lasteinwirkungsdauer		ständig
Modifikationsbeiwert	k_{mod}	= 0,6

Prüfung geometrische Randbedingungen (RB):

- $l_v = 850 \text{ mm} > h = 800 \text{ mm}$ ✓
- $l_z = 825 \text{ mm} < 1,5 \cdot h = 1200 \text{ mm}$ ✗
- $l_A = 600 \text{ mm} > h / 2 = 400 \text{ mm}$ ✓
- $l_{ro(ru)} = 312 \text{ mm} > 0,35 \cdot h = 280 \text{ mm}$ ✓
- $l_h = 175 \text{ mm} < 0,4 \cdot h = 320 \text{ mm}$ ✓
- $h_d = 175 \text{ mm} > 0,15 \cdot h = 120 \text{ mm}$ ✗

→ **Verstärkung erforderlich!**

Prüfung geometrische Randbedingungen (RB) (verstärkt):

- $l_h / h = 0,219 < 1,0$ ✓
- $h_d / h = 0,153 < 0,3$ ✓

Bestimmung der Einwirkung

$$h_r = \min\{h_{ro}; h_{ru}\} + 0,15h_d = 339 \text{ mm}$$

$$F_{t,90,V,Ed} = \frac{V_{Ed} \cdot h_d \cdot k_o}{4 \cdot h} \cdot \left(3 - \frac{(h_d \cdot k_o)^2}{h^2}\right) = \frac{45 \cdot 123}{4 \cdot 800} \cdot \left(3 - \frac{123^2}{800^2}\right) = 5,13 \text{ kN}$$

$$F_{t,90,M,Ed} = 0,008 \cdot \frac{M_{Ed}}{h_r} = 0,008 \cdot \frac{100}{0,339} = 2,36 \text{ kN}$$

$$F_{t,90,Ed} = F_{t,90,V,Ed} + F_{t,90,M,Ed} = 5,13 + 2,36 = 7,49 \text{ kN}$$

Bestimmung des axialen Tragwiderstands

Für die gewählten ASSY®plus VG 4 CSMP 8,0 x 450 mm Vollgewindeschrauben ist der charakteristische Zugwiderstand $F_{t,k} = f_{tens,k} = 22 \text{ kN}$ (siehe Abschnitt 3.4).

Der charakteristische Auszieh Widerstand ist oberhalb und unterhalb der Rissebene zu berechnen:

$$F_{w,k} = \frac{k_{ax} \cdot f_{ax,k} \cdot d \cdot l_w}{k_{\beta}} \cdot \left(\frac{\rho_k}{\rho_{ref,k}}\right)^{0,8} \quad (\text{siehe Abschnitt 3.3})$$

Bereich		1	2	
Gewindelänge	$l_{w,i}$	= 339	111	mm
Winkelfaktor	$k_{ax,i}$	= 1,0	1,0	-
Winkelfaktor	$k_{\beta,i}$	= 1,0	1,0	-
Charakteristische Rohdichte	$\rho_{k,i}$	= 390	390	kg/m ³
Bezugsrohndichte	$\rho_{ref,k,i}$	= 350	350	kg/m ³
Ausziehparameter	$f_{ax,k}$	= 12,0	12,0	N/mm ²



2 x 2 ASSY®plus
VG 4 CSMP 8,0 x 450

$$F_{w,k,1} = \frac{k_{ax,1} \cdot f_{ax,k,1} \cdot d \cdot l_{w,1}}{k_{\beta,1}} \cdot \left(\frac{\rho_{k,1}}{\rho_{ref,k,1}}\right)^{0,8} = \frac{1,0 \cdot 12,0 \cdot 8,0 \cdot 339}{1,0} \cdot \left(\frac{390}{350}\right)^{0,8} = 35,5 \text{ kN}$$

$$F_{w,k,2} = \frac{k_{ax,2} \cdot f_{ax,k,2} \cdot d \cdot l_{w,2}}{k_{\beta,2}} \cdot \left(\frac{\rho_{k,2}}{\rho_{ref,k,2}}\right)^{0,8} = \frac{1,0 \cdot 12,0 \cdot 8,0 \cdot 111}{1,0} \cdot \left(\frac{390}{350}\right)^{0,8} = 11,6 \text{ kN}$$

Der charakteristische Tragwiderstand nach Gl. (3.18)

$$F_{ax,t,k} = \min\{F_{w,k,1}; F_{w,k,2}; F_{t,k}\} = \min\{35,5; 11,6; 22,0\} = 11,6 \text{ kN}$$

Der Bemessungswert des Tragwiderstands nach Gl. (3.19)

$$F_{ax,t,d} = \min\left\{\frac{k_{mod,1} \cdot F_{w,k,1}}{\gamma_M}; \frac{k_{mod,2} \cdot F_{w,k,2}}{\gamma_M}; \frac{F_{t,k}}{\gamma_M}\right\} = \min\left\{\frac{0,6 \cdot 35,5}{1,3}; \frac{0,6 \cdot 11,6}{1,3}; \frac{22,0}{1,3}\right\} = 5,35 \text{ kN}$$

Nachweis für eine Seite des verstärkten Durchbruchs

$$\eta = \frac{F_{t,90,Ed}}{n \cdot F_{ax,t,d}} = \frac{7,49}{2 \cdot 5,35} = 0,70 < 1,0 \quad \checkmark$$

Nachweis der erhöhten Schubspannungen in den gefährdeten Bereichen

$$\tau_{max} = \kappa_{max} \cdot \frac{1,5 \cdot V_{Ed}}{k_{cr} \cdot b \cdot (h - h_d)} = 1,54 \cdot \frac{1,5 \cdot 45 \cdot 10^3}{2,5/3,5 \cdot 160 \cdot (800 - 175)} = 1,46 \text{ N/mm}^2$$

Mit:

$$\kappa_{\max} = 1,84 \cdot \left[1 + \frac{l_h}{h} \right] \cdot \left(\frac{h_d}{h} \right)^{0,2} = 1,84 \cdot \left[1 + \frac{175}{800} \right] \cdot \left(\frac{123}{800} \right)^{0,2} = 1,54$$

$$\eta = \frac{\tau_{\max}}{k_{\text{mod}} / \gamma_M \cdot f_{v,k}} = \frac{1,46}{0,6 / 1,3 \cdot 3,5} = 0,90 < 1,0 \quad \checkmark$$

Die Anordnung der Verstärkungsschrauben ist in Bild 72 zu sehen.

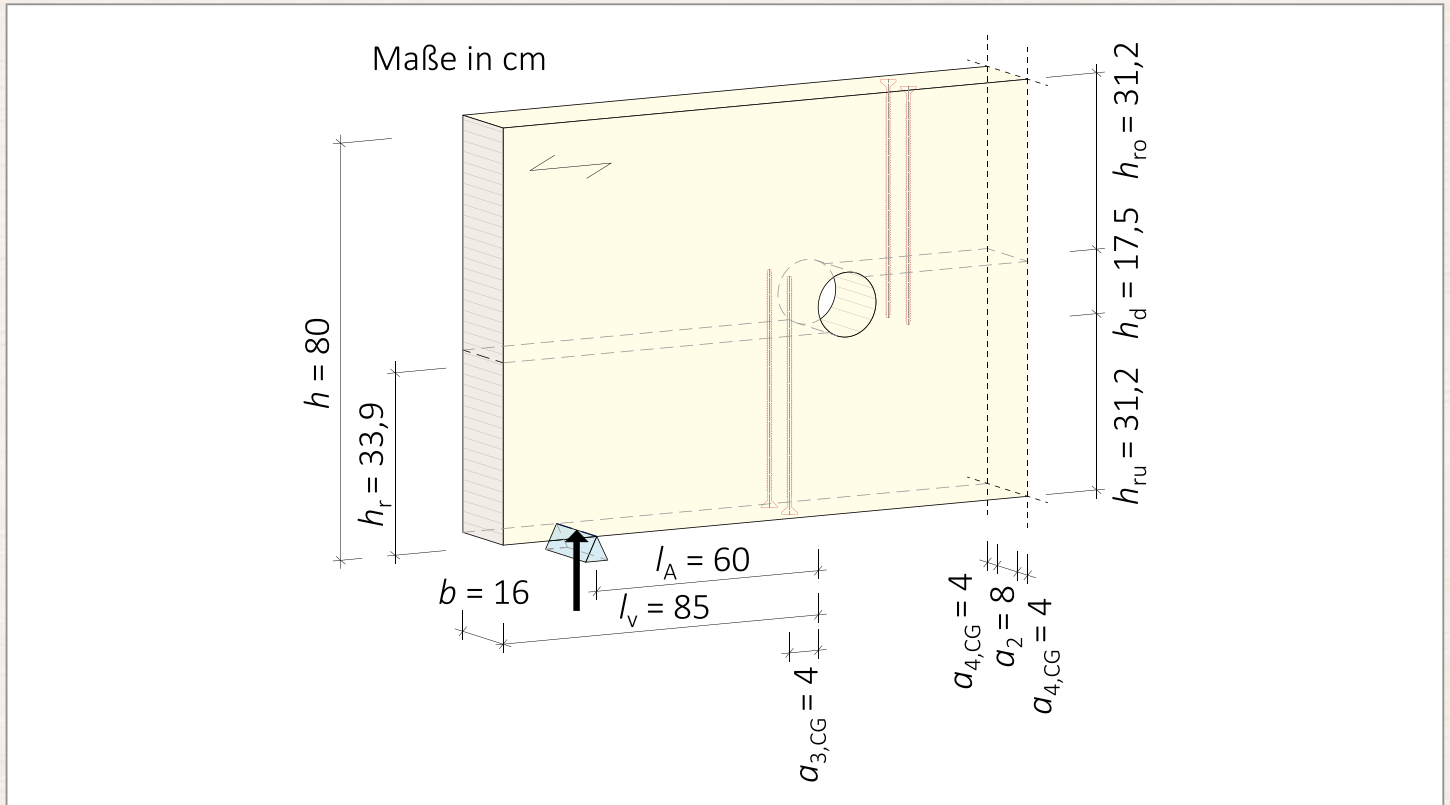


Bild 72: Rechenbeispiel – verstärkter Durchbruch.

6.3.4 Ausführungsvarianten

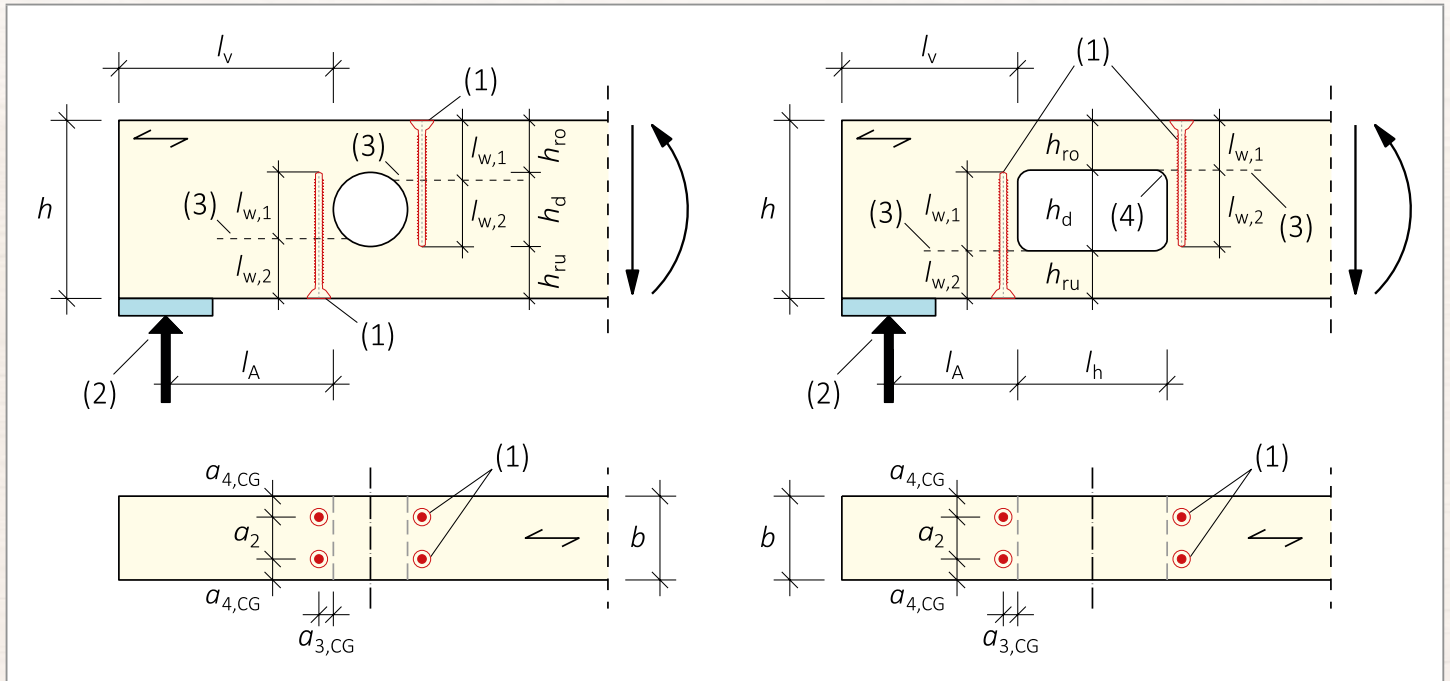


Bild 73: Weitere Anordnungsmöglichkeiten der Verstärkungsschrauben. (1) Verstärkungsschrauben, (2) Lagerkraft, (3) Risslinie, (4) Eckenradius.

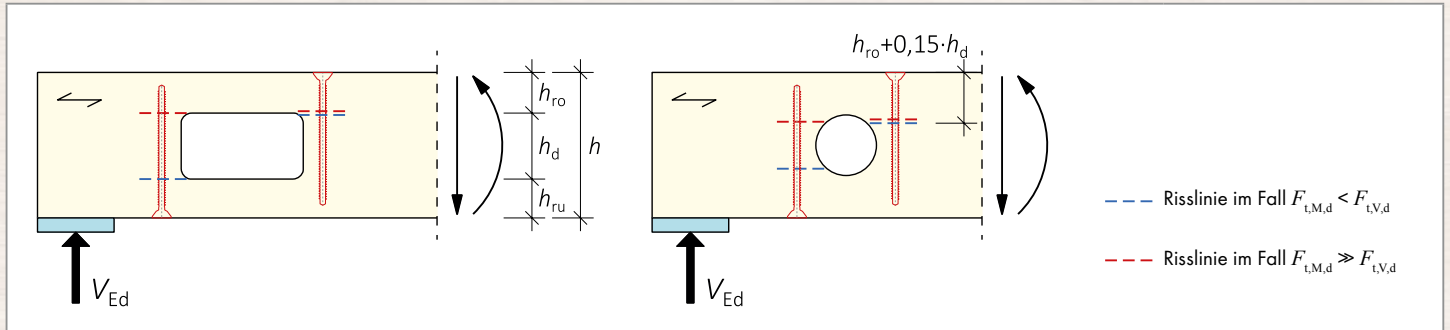


Bild 74: Lage der potenziellen Rissebene.

6.4 Queranschluss

Die Tragfähigkeit von unverstärkten Queranschlüssen wird im Allgemeinen durch die Tragfähigkeit der enthaltenen Verbindungsmittel bestimmt. Die bei diesen Anschlüssen auftretenden Querkzugspannungen können möglicherweise diese Tragfähigkeit begrenzen.

6.4.1 Nachweis für unverstärkte Queranschlüsse

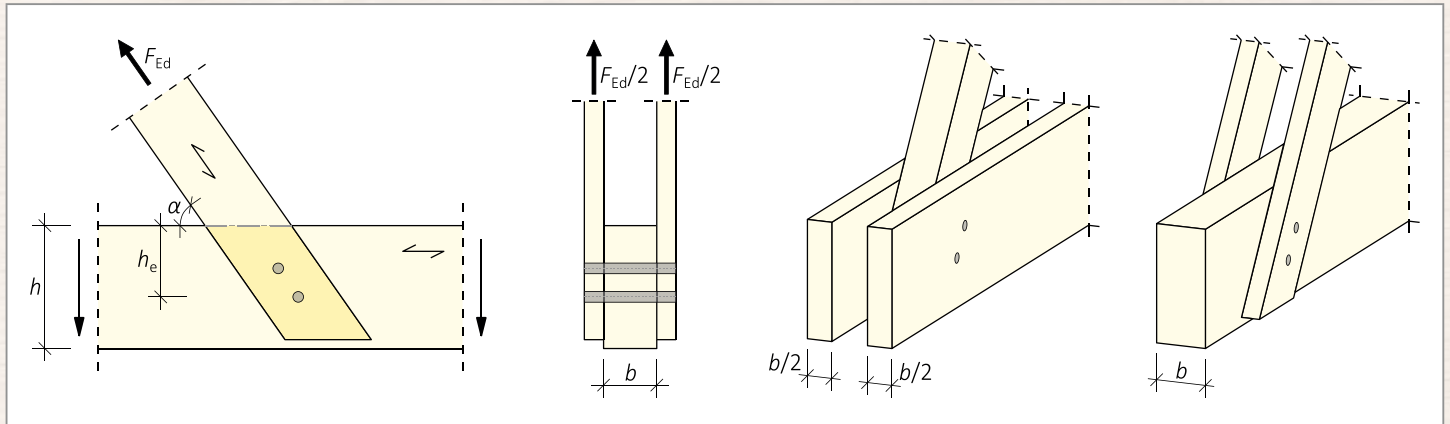


Bild 75: Queranschluss mit einer Verbindungsmittelspalte ($n_0 = 1$; nach EC 5).

$$\frac{F_{90,Ed}}{F_{90,Rd}} \leq 1,0 \quad (6.9) \text{ siehe EC 5, (8.2)}$$

Mit:

$$F_{90,Ed} = F_{Ed} \cdot \sin \alpha$$

$$F_{90,Rd} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} 14 \cdot b \cdot w \cdot \sqrt{\frac{h_e}{1 - \frac{h_e}{h}}} \quad (6.10) \text{ siehe EC 5 (8.4)}$$

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

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

6.4.2 Queranschlüsse mit mehreren Verbindungsmittelspalten

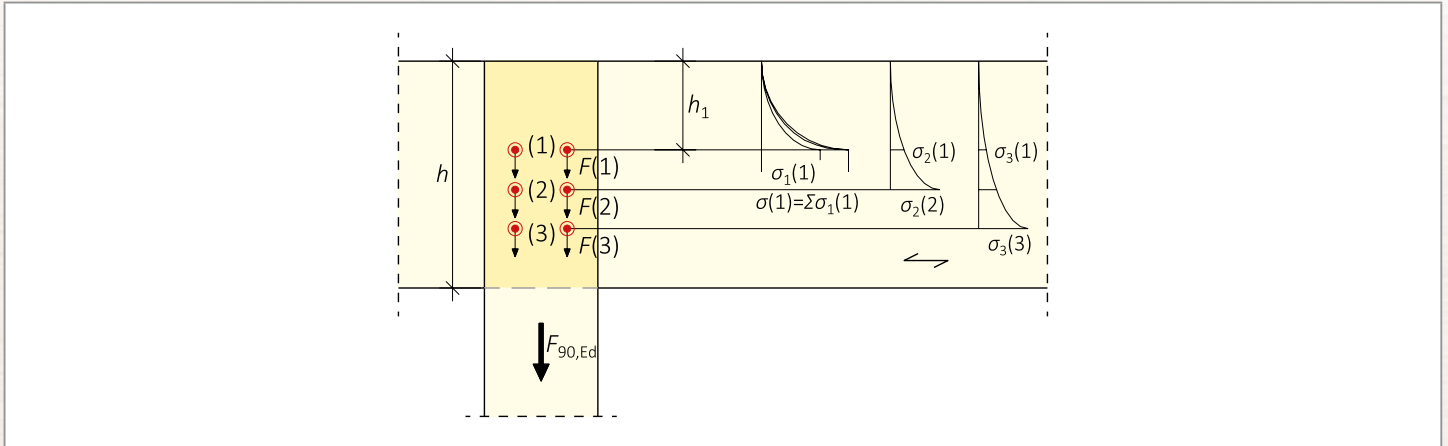


Bild 76: Queranschluss mit mehreren Verbindungsmittelspalten ($n_0 = 2$; nach EC 5, NCI Zu.8.1.4).

Je kleiner der Abstand h_1 der obersten Verbindungsmittelreihe vom unbeanspruchten Rand ist, umso geringer ist die Gefahr eines Querkzugversagens. Maßgebend für den Nachweis der Querkzugspannungen ist daher immer die Verbindungsmittelreihe mit dem größten Abstand zum beanspruchten Trägerrand h_e , da hier die Summe der Spannungsanteile aller Verbindungsmittelreihen maximal ist.

Allgemeine Bedingungen

- $h_e / h \geq 0,7 \rightarrow$ kein weiterer Querkzugnachweis erforderlich
- $h_e / h < 0,7 \rightarrow$ Querkzugnachweis erforderlich

Weitere Bedingungen

- $h_e / h < 0,2 \rightarrow$ nur bei Beanspruchungen der Klassen der Lasteinwirkungsdauer (KLED) „kurz“ oder „sehr kurz“ zulässig
- $a_r / h > 1,0 \rightarrow$ Querkzugverstärkung erforderlich
- $F_{90,Ed} > 0,5 \cdot F_{90,Rd} \rightarrow$ Querkzugverstärkung erforderlich
- Lichter Abstand zwischen Verbindungsmittelgruppen $l_g \geq 2h$
 \rightarrow Tragfähigkeit $F_{90,Rd}$ darf für jede Verbindungsmittelgruppe einzeln ermittelt werden
- Lichter Abstand zwischen Verbindungsmittelgruppen $l_g \leq 0,5h$
 \rightarrow Die Verbindungsmittel dieser Gruppen sind als eine Verbindungsmittelgruppe zu betrachten
- Lichter Abstand zwischen Verbindungsmittelgruppen $0,5h < l_g < 2h$
 \rightarrow Tragfähigkeit $F_{90,Rd}$ pro Verbindungsmittelgruppe ist mit dem Beiwert k_g zu reduzieren
mit $k_g = \left(\frac{l_g}{4h} + 0,5 \right)$
- mehr als zwei Verbindungsmittelgruppen nebeneinander mit $l_g < 2h$ und $F_{90,Ed} \geq 0,5 \cdot k_g \cdot F_{90,Rd}$
 \rightarrow Querkzugverstärkung erforderlich

$$\frac{F_{90,Ed}}{F_{90,Rd}} \leq 1,0 \quad (6.11) \text{ siehe EC 5, NCI Zu 8.1.4, (NA.103)}$$

Mit:

$$F_{90,Ed} = F_{Ed} \cdot \sin \alpha$$

$$F_{90,Rd} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot k_s \cdot k_r \cdot \left(6,5 + \frac{18 \cdot h_e^2}{h^2} \right) \cdot (t_{ef} \cdot h)^{0,8} \cdot f_{t,90,k} \quad (6.12) \text{ siehe EC 5, NCI Zu.8.1.4, (NA.104)}$$

$$k_s = \max \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ 0,7 + \frac{1,4 \cdot a_r}{h} \end{array} \right. \quad \text{Beiwert zur Berücksichtigung mehrerer Verbindungsmittel nebeneinander.}$$

$$k_r = \frac{n_{90}}{\sum_{i=1}^{n_{90}} \left(\frac{h_1}{h_i} \right)^2}$$

Beiwert zur Berücksichtigung mehrerer übereinander angeordneter Verbindungsmittel
Für Verbindungen mit axial beanspruchten Holzschrauben (oder sonstige innenliegende, axial beanspruchte profilierte Stäbe) gilt:

$$k_r = \frac{h}{h_1}$$

n_{90}

Anzahl der Verbindungsmittel rechtwinklig zur Faserrichtung (des querzugbeanspruchten Bauteils)

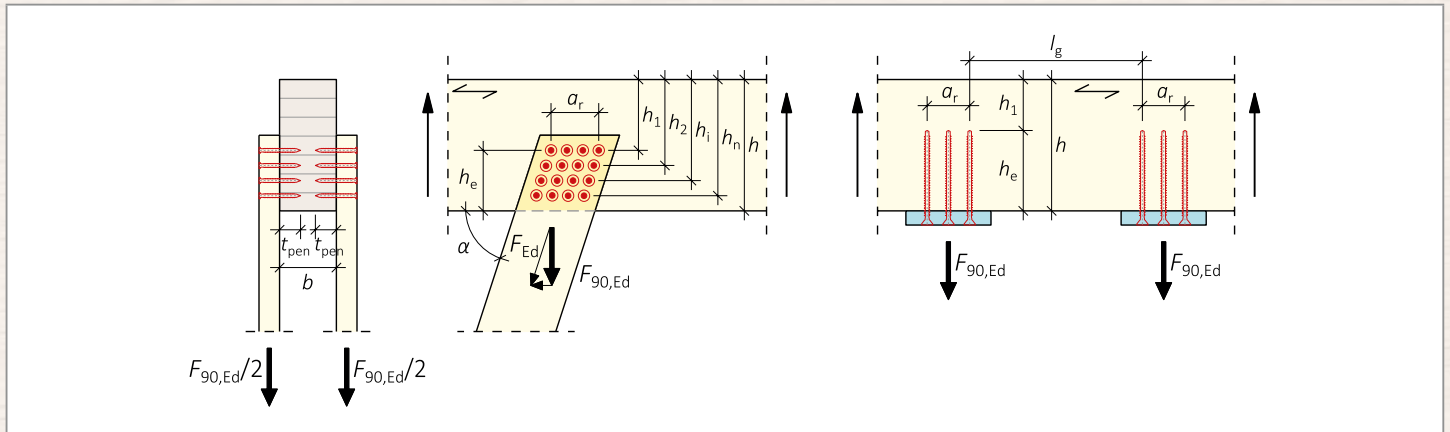


Bild 77: Querverschluss mit mehreren Verbindungsmitteln und Träger mit zwei Querverbindungen.

Tabelle 52: Wirksame Einbindetiefe t_{ef} für **beidseitige oder mittige** Querverbindungen.

$t_{ef} = \min\{b; 2t_{pen}; 24d\}$	für Holz-Holz- oder Holzwerkstoff-Holz-Verbindungen mit Nägeln oder Holzschrauben;
$t_{ef} = \min\{b; 2t_{pen}; 30d\}$	für Stahlblech-Holz- Nagelverbindungen;
$t_{ef} = \min\{b; 2t_{pen}; 12d\}$	für Stabdübel- und Bolzenverbindungen;
$t_{ef} = \min\{b; 100 \text{ mm}\}$	für Verbindungen mit Dübeln besonderer Bauart;
$t_{ef} = \min\{b; 6d\}$	für Verbindungen mit axial beanspruchten Holzschrauben
Regelwerk: EC 5	

Tabelle 53: Wirksame Einbindetiefe t_{ef} für **einseitige** Querverbindungen.

$t_{ef} = \min\{b; 2t_{pen}; 12d\}$	für Holz-Holz- oder Holzwerkstoff-Holz-Verbindungen mit Nägeln oder Holzschrauben;
$t_{ef} = \min\{b; 2t_{pen}; 15d\}$	für Stahlblech-Holz- Nagelverbindungen;
$t_{ef} = \min\{b; 2t_{pen}; 6d\}$	für Stabdübel- und Bolzenverbindungen;
$t_{ef} = \min\{b; 50 \text{ mm}\}$	für Verbindungen mit Dübeln besonderer Bauart;
Regelwerk: EC 5	

6.4.3 Verstärkung von Queranschlüssen mit Vollgewindeschrauben

Allgemeine Angaben für die Bemessung der Querkzugverstärkung:

- Die Zugfestigkeit des Holzes geht nicht in die Ermittlung der Beanspruchung der Verstärkung ein.
- Die Verstärkungsschrauben sollten so eingebunden sein, dass die hochgehängte Querkzugkraft im oberen Drittel des Querschnitts verankert wird. Enden die Verstärkungsschrauben unterhalb dieser Grenze, sind zusätzliche Querkzugnachweise zu führen!

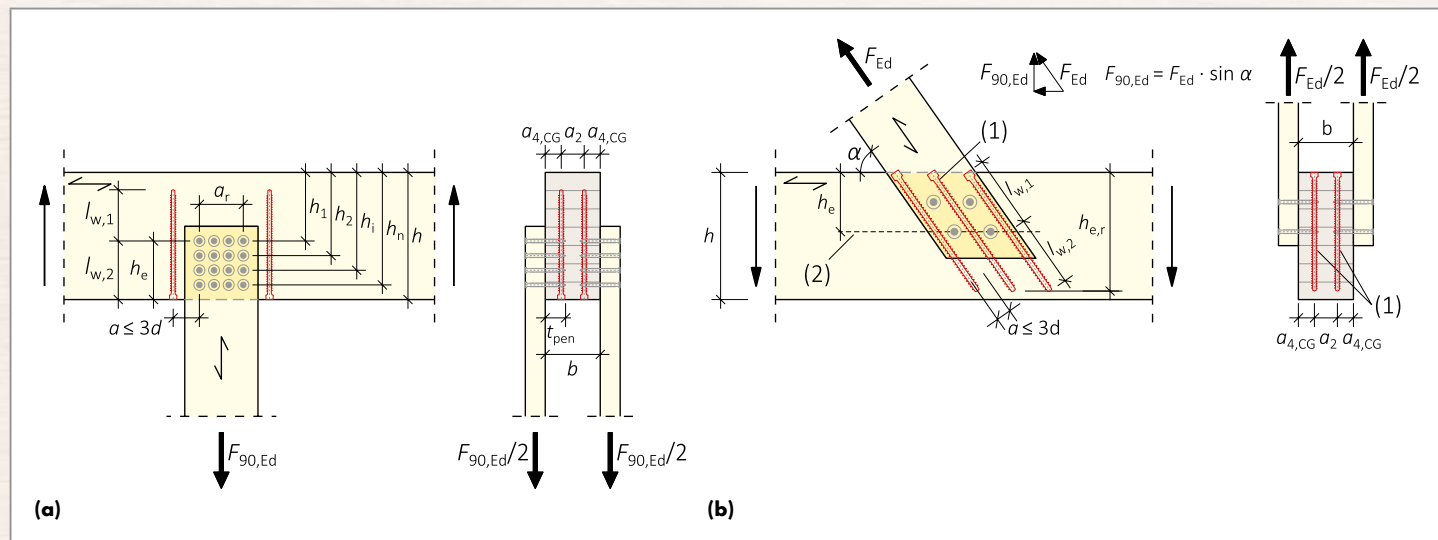


Bild 78: Queranschluss mit Verstärkung mit einwirkender Last nach unten (a), bzw. nach oben (b).
(1) Verstärkungsschraube, (2) Risslinie.

Für den Bemessungswert der querkuzerzeugenden Kraftkomponente gilt:

$$F_{t,90,Ed} = \left[1 - 3 \cdot \alpha^2 + 2 \cdot \alpha^3 \right] \cdot F_{90,Ed} \quad (6.13)$$

Mit:

α dem Verhältnis h_e / h

$F_{90,Ed}$ Bemessungswert der Zugbeanspruchung rechtwinklig zur Faserrichtung

Für den Nachweis der Verstärkung des Queranschlusses gilt:

$$\frac{F_{t,90,Ed}}{F_{t,90,Rd}} \leq 1,0 \text{ siehe Gl. (6.1)}$$

Mit:

$$F_{t,90,Rd} = n \cdot F_{ax,Rd}$$

$F_{ax,Rd}$ Bemessungswert der Axialtragfähigkeit, siehe Gl. (3.22)

6.4.4 Rechenbeispiel

Die Tragfähigkeit eines Queranschlusses kann mit dem **Modul Queranschluss** berechnet werden.

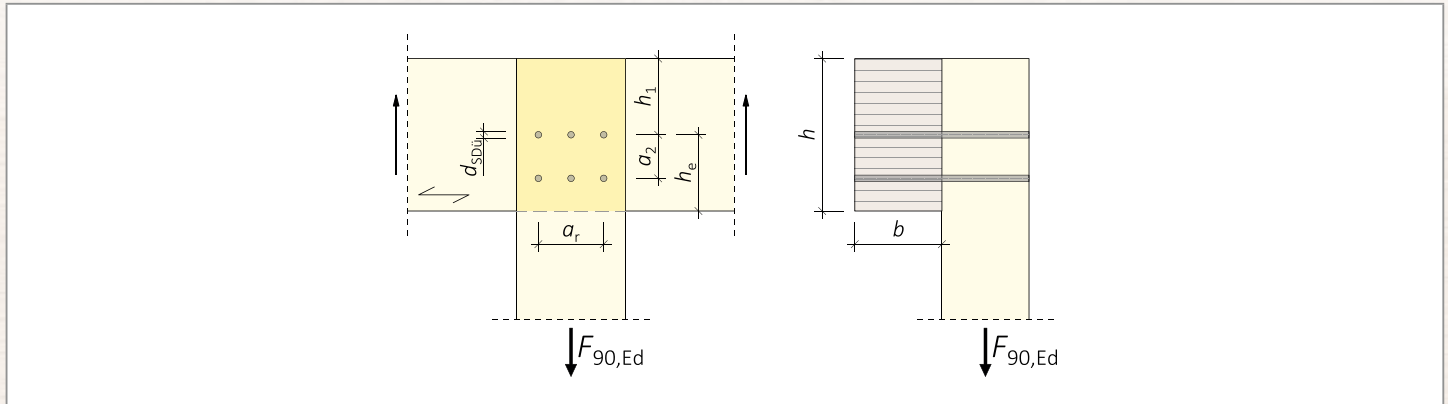


Bild 79: Rechenbeispiel – unverstärkter Queranschluss.

- **Anschluss: 2 x 3 Stabdübel $d_{SDÜ} = 12 \text{ mm}$**
- **90°-Schrauben als Verstärkung**

Geometrie und Material

Querschnittsbreite	b	= 160 mm
Querschnittshöhe	h	= 280 mm
Material		GL 24c
Charakteristische Rohdichte	ρ_k	= 365 kg/m ³
Charakteristische Querkzugfestigkeit	$f_{t,90k}$	= 0,50 N/mm ²
Teilsicherheitsbeiwert	γ_M	= 1,3
Durchmesser Stabdübelanschluss	$d_{SDÜ}$	= 12 mm
Einbindetiefe Stabdübelanschluss	$t_{SDÜ}$	= 160 mm
Abstand oberste Stabdübelreihe vom oberen Rand $h_1 = h - h_e$	h_1	= 140 mm
Anzahl der Stabdübelreihen vertikal	n_{90}	= 2
Abstand oberste Stabdübelreihe vom unteren Rand	h_e	= 140 mm
Breite des Queranschlusses	a_r	= 120 mm
Abstand untere Stabdübelreihe vom oberen Rand	h_2	= 220 mm

Einwirkung:

Bemessungslast	$F_{90,Ed}$	= 33,9 kN
Nutzungs-kategorie		1
Kategorie der Lasteinwirkungsdauer		mittel
Modifikationsbeiwert	k_{mod}	= 0,8

Prüfung der geometrischen Randbedingungen:

- $h_e / h = 0,5 < 0,7$ → Nachweis unverstärkt erforderlich
- $h_e / h = 0,5 > 0,2$ → KLED „kurz“ oder „sehr kurz“ nicht gefordert
- $a_r / h = 0,43 < 1,0$ → Verstärkung nicht erforderlich

Tragfähigkeit des unverstärkten Anschlusses:

$$F_{90,Rd} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot k_s \cdot k_r \cdot \left(6,5 + \frac{18 \cdot h_e^2}{h^2} \right) \cdot (t_{ef} \cdot h)^{0,8} \cdot f_{t,90,k}$$

Mit:

$$k_s = \max \left\{ 1, 0,7 + \frac{1,4 \cdot a_r}{h} \right\} = \max \left\{ 1, 0,7 + \frac{1,4 \cdot 120}{280} \right\} = 1,3$$

$$k_r = \frac{n_{90}}{\sum_{i=1}^{n_{90}} \left(\frac{h_i}{h} \right)^2} = \frac{2}{1^2 + \left(\frac{140}{220} \right)^2} = 1,42$$

$$t_{ef} = \min \left\{ \frac{b}{t_{VM}}, \frac{b}{6 \cdot d_{VM}} \right\} = \min \left\{ \frac{160}{160}, \frac{160}{6 \cdot 12} \right\} = 72 \text{ mm}$$

$$F_{90,Rd} = \frac{0,8}{1,3} \cdot 1,3 \cdot 1,42 \cdot \left(6,5 + \frac{18 \cdot 140^2}{280^2} \right) \cdot (72 \cdot 280)^{0,8} \cdot 0,5 = 17,4 \text{ kN}$$

Nachweis

$$\frac{F_{90,Ed}}{F_{90,Rd}} = \frac{33,9}{17,4} = 1,95 > 1,0 \quad \rightarrow \text{Querzugverstärkung erforderlich}$$

Tragfähigkeit des verstärkten Anschlusses:

Bemessungswert der Einwirkung auf die Querzugverstärkung

$$F_{t,90,Ed} = \left[1 - 3 \cdot \left(\frac{h_e}{h} \right)^2 + 2 \cdot \left(\frac{h_e}{h} \right)^3 \right] \cdot F_{90,Ed} = \left[1 - 3 \cdot \left(\frac{140}{280} \right)^2 + 2 \cdot \left(\frac{140}{280} \right)^3 \right] \cdot 33,9 = 17,0 \text{ kN}$$

Nach Gln. (3.18) und (3.19) und den gewählten ASSY®plus VG 4 CH 6,0 x 240 mm Vollgewindeschrauben sind für die Verstärkung:

Der charakteristische Zugwiderstand

$$F_{t,k} = f_{tens,k} = 12,5 \text{ kN (siehe Abschnitt 3.4) und}$$



2 x 2 ASSY®plus
VG 4 CH 6,0 x 240

Der charakteristische Auszieh Widerstand

$$F_{w,k} = \frac{k_{ax} \cdot f_{ax,k} \cdot d \cdot l_w}{k_{\beta}} \cdot \left(\frac{\rho_k}{\rho_{ref,k}} \right)^{0,8} \quad (\text{siehe Abschnitt 3.3) oberhalb und unterhalb der Rissebene zu berechnen:}$$

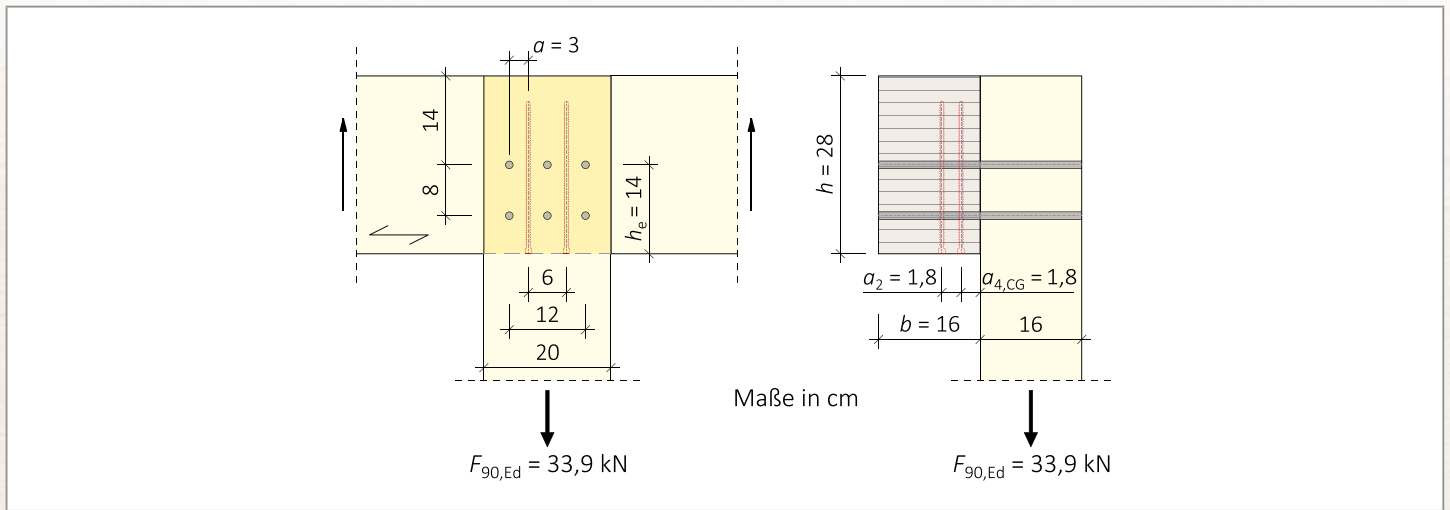


Bild 81: Rechenbeispiel – Queranschluss mit vier Vollgewindeschrauben am Ort der Rissbildung.

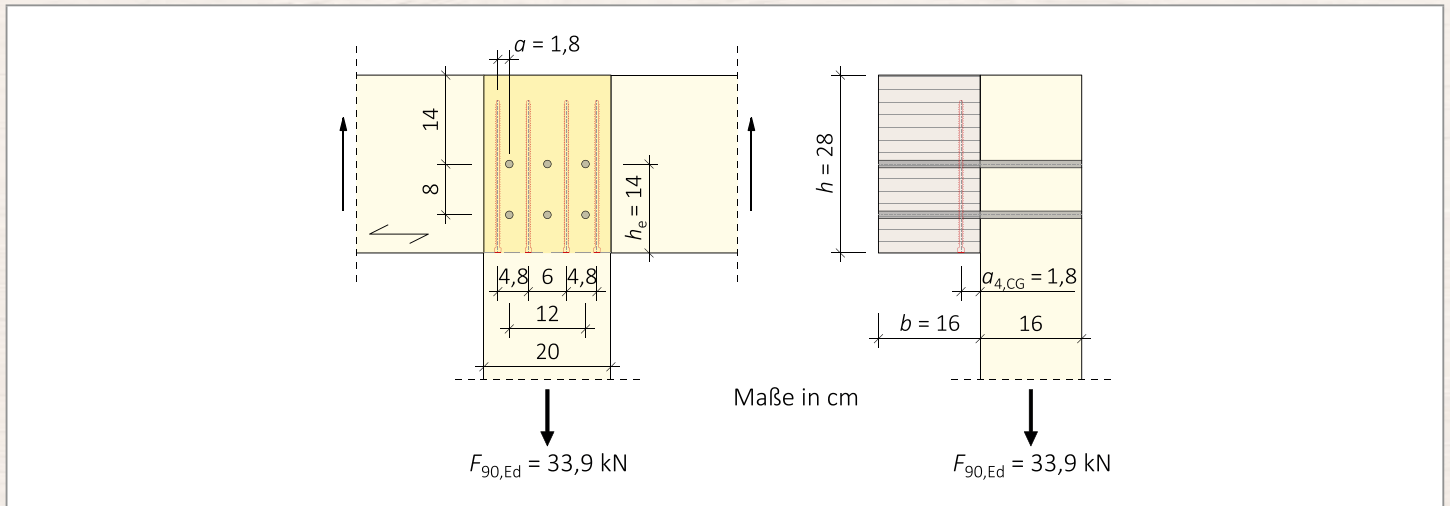


Bild 82: Rechenbeispiel – Queranschluss mit vier Vollgewindeschrauben möglichst nah an der Scherfuge.

Anmerkungen:

- In Bild 80 sind die Schrauben der Verstärkung in Faserrichtung vor und hinter dem Anschluss und nah an der Scherfuge angeordnet, da die Rissbildung im Bereich der hohen Lochleibungsbeanspruchung zu erwarten ist.
- Ist das Anschlussbild bekannt, können die Verstärkungsschrauben noch näher am Ort der Rissbildung eingeschraubt werden, siehe Bild 81 und Bild 82.
- In jedem Fall sind die Verstärkungsschrauben nah am Anschluss zu setzen.

Neben den oben gezeigten Varianten bzgl. der Anordnungen der Verstärkungsschrauben ist festzuhalten, dass normativ eine gleichmäßige Verteilung der Verstärkungsschrauben über den Querschnitt zulässig ist.



7 QUERDRUCK UND QUERDRUCK- VERSTÄRKUNG

7.1 Querdrucknachweis nach EC 5 (unverstärkt)

Querdruckbeanspruchte Flächen sind gemäß Gl. (7.1) nachzuweisen. Der Beiwert $k_{c,90}$ berücksichtigt das unterschiedliche Tragverhalten von querdruckbeanspruchten Bauteilen aus Vollholz (ST/FST) und Brettschichtholz (GL). Dabei wird unterschieden zwischen Schwellendruck oder Auflagerdruck sowie einer Vollflächen- oder Teilflächenbelastung der Bauteile. Ausführliche Erläuterungen zu dem Einfluss der genannten Faktoren sind in Blaß und Görlacher (2004) und in Neuhaus (2017) zu finden. Zugehörige Beispiele finden sich ebenfalls in Neuhaus (2017). Darüber hinaus gehen weitere Faktoren, wie die Länge $l_{c,90}$ der Druckfläche und der Abstand l_s der Querlasten, in den Querdrucknachweis ein.

$$\frac{\sigma_{c,90,d}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} \leq 1 \quad (7.1)$$

Mit:

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,90,d}}{A_{ef}} \quad \text{Bemessungswert der Druckspannung in der Kontaktfläche} \quad (7.2)$$

$F_{c,90,d}$ Bemessungswert der Druckkraft rechtwinklig zur Faserrichtung

A_{ef} wirksame Kontaktfläche unter Berücksichtigung der wirksamen Kontaktlänge

$k_{c,90}$ Beiwert zur Berücksichtigung der Art der Einwirkung, der Spaltgefahr und des Grades der Druckverformung, siehe Tabelle 54.

$$f_{c,90,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{c,90,k}}{\gamma_M} \quad \text{Bemessungswert der Druckfestigkeit rechtwinklig zur Faserrichtung} \quad (7.3)$$

Bei Druckbeanspruchung rechtwinklig zur Faserrichtung darf die tatsächliche Kontaktflächenlänge $l_{c,90}$ auf jeder Seite parallel zur Faserrichtung um 30 mm erhöht werden, jedoch nicht mehr als l_e , $l_{c,90}$ oder $l_s/2$. Bild 83 unten zeigt ein Bauteil mit kontinuierlicher Lagerung (links) und ein Bauteil mit Punktlagerung (rechts).

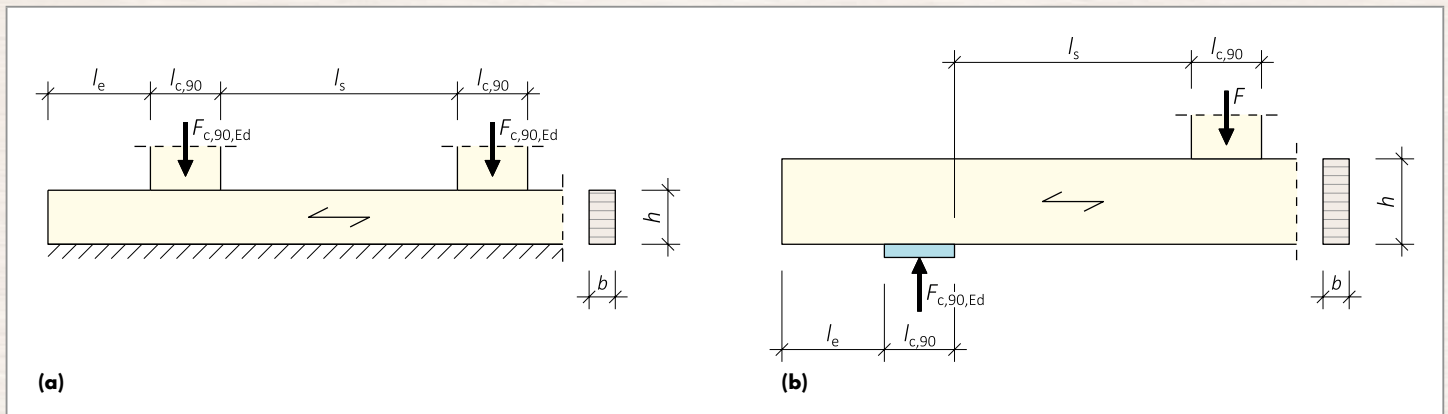


Bild 83: Schwelle (a) und Träger (b) mit Querdruckbeanspruchung.

Der Beiwert $k_{c,90}$ ist in der Regel 1,0. In Abhängigkeit von den Auflagerbedingungen darf er zu den Werten in Tabelle 54 angenommen werden:

Tabelle 54: Für $k_{c,90}$ ansetzbare Werte.

bei Schwellendruck (kontinuierliche Lagerung), wenn $l_s \geq 2h$ (Bild 83 (a))	$k_{c,90} = 1,25$	für Vollholz (ST/FST) aus Nadelholz
	$k_{c,90} = 1,20$	für Brettschichtholz (GL) aus Nadelholz
bei Auflagerdruck (Punktlagerung), wenn $l_s \geq 2h$ (Bild 83 (b))	$k_{c,90} = 1,50$	für Vollholz (ST/FST) aus Nadelholz
	$k_{c,90} = 1,75$	für Brettschichtholz (GL) aus Nadelholz
Regelwerk: EC5		

Insbesondere für Furnierschichthölzer sind zur Bestimmung des Beiwerts $k_{c,90}$ die Produktzulassungen zu beachten.

7.2 Auflagerverstärkung

7.2.1 Bemessung

Voraussetzungen bei Verstärkungen von Holzbauteilen unter Druckbeanspruchung rechtwinklig zur Faserrichtung:

- Vollgewindeschrauben (VGS) senkrecht zur Oberfläche und einem Winkel zur Faser $45^\circ \leq \varepsilon \leq 90^\circ$
- Eine gleichmäßige Krafteinleitung über die gesamte Lagerfläche
- Die Forderung einer gleichmäßigen Krafteinleitung wird erfüllt durch
 - eine ausreichend steife Lagerplatte, siehe Gl. (7.5),
 - eine gleichmäßige Verteilung der Schrauben über die Lagerfläche,
 - ein Eindrehen der Schrauben so, dass die Schraubenköpfe alle mit der Holzoberfläche bündig sind (Zylinderkopf- und Senkkopfschrauben)
 - eine ausreichende Rotationsfähigkeit des Auflagers, siehe Bild 85. Diese ist gewährleistet, wenn die infolge Durchbiegungen induzierten Auflagerverdrehungen durch ein entsprechendes Elastomerlager (bei $\Delta w_{c,90} > 1 \text{ mm}$) ermöglicht werden.
- Es gelten die Regeln für Mindestbauteildicken und Abstände entsprechend Abschnitt 3.7.3
- Eine Verstärkung von Bauteilen aus Laubholz ist nicht geregelt

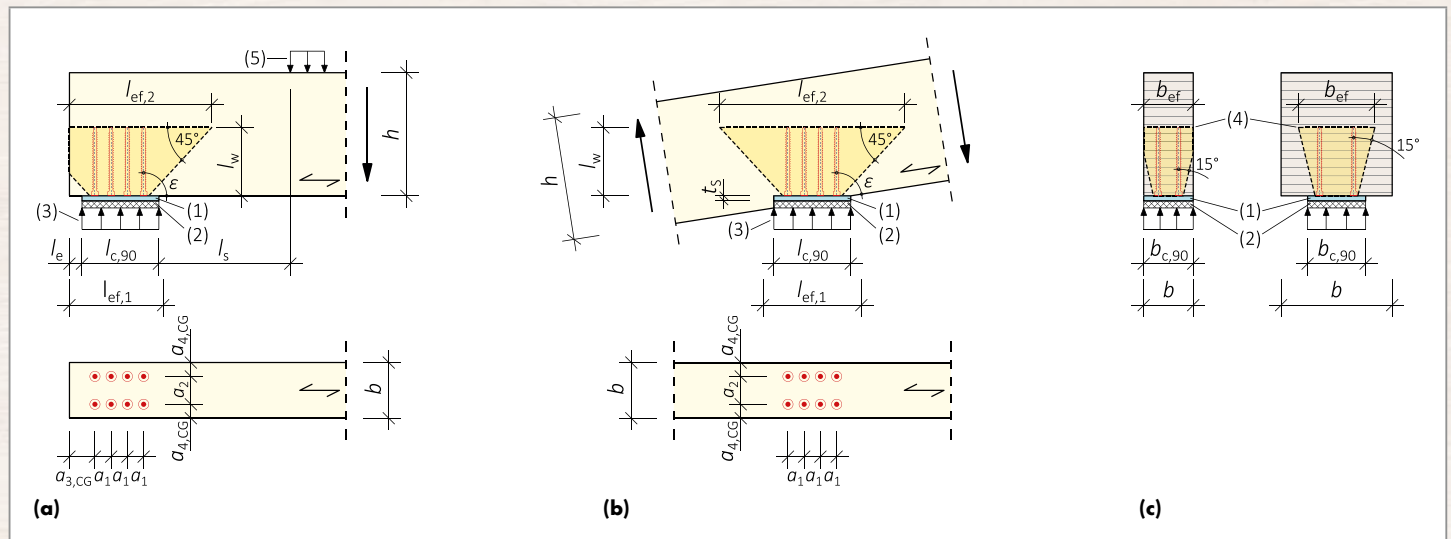


Bild 84: Verstärkung am Endauflager (a), Zwischenauflager (b) und im Schnitt (c).

(1) Stahlplatte, (2) Elastomer, (3) Druckkraft, (4) Ebene der voll aktivierten Bauteilbreite, (5) Druckkraft.

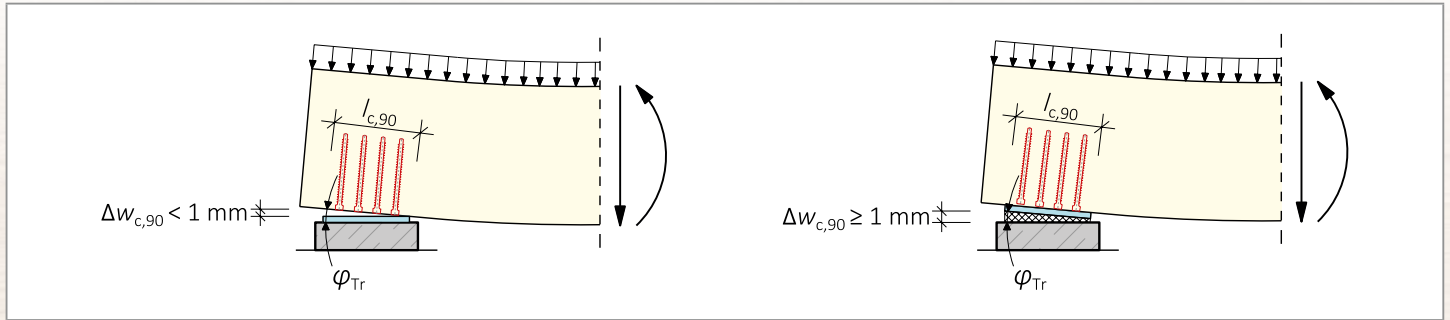


Bild 85: Veranschaulichung zu $\Delta w_{c,90}$ (überhöhte Darstellung).

Die Beanspruchbarkeit eines verstärkten Holzbauteils wird nach Gl. (7.4) berechnet. Dabei ist (7.4) (a) der Nachweis der Querdrukspannungen in Ebene der Schraubenköpfe überlagert mit der Drucktragfähigkeit der Verstärkungsschrauben. Gl (7.4) (b) beschreibt den Nachweis der Querdrukspannungen in der Ebene der Schraubenspitzen.

$$F_{c,90,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} k_{c,90} \cdot b_{c,90} \cdot l_{ef,1} \cdot f_{c,90,k} + n \cdot \min \{ F_{w,k}; F_{c,k} \} \\ b_{ef} \cdot l_{ef,2} \cdot f_{c,90,k} \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \text{(a)} \\ \text{(b)} \end{array} \quad (7.4)$$

Mit:

$$l_{ef,1} = l_{c,90} + \min \{ 30 \text{ mm}; l_e; l_s / 2 \} + \min \{ 30 \text{ mm}; l_s / 2 \}$$

für Endauflager VGS-Kopf

$$l_{ef,1} = l_{c,90} + \min \{ 30 \text{ mm}; l_s / 2 \} + \min \{ 30 \text{ mm}; l_s / 2 \}$$

für Zwischenauflager VGS-Kopf

$$l_{ef,2} = l_w + (n_0 - 1) \cdot a_1 + \min \{ l_w; a_{3,CG} \}$$

für Endauflager VGS-Spitze

$$l_{ef,2} = 2 \cdot l_w + (n_0 - 1) \cdot a_1$$

für Zwischenauflager VGS-Spitze

$$f_{c,90,k} = \begin{cases} 2,5 & \text{C24, GL 24c - 32h} \\ 1,8 & \text{LVL-P}^{1), 4)}_{\text{flat}} \\ 2,2 & \text{LVL-P}^{1), 4)}_{\text{flat}} \\ 3,0 & \text{LVL-P}^{2)}_{\text{flat}} \\ 4,0 & \text{LVL-P}^{2), 3)}_{\text{flat}} \\ 3,6 & \text{LVL-P}^{3)}_{\text{flat}} \end{cases}$$

$$6,0 \quad \text{LVL-P}^{1), 4)}_{\text{edge}}$$

in N/mm²

1) LVL nach Z-9.1-847

2) LVL nach Z-9.1-842

3) LVL nach Z-9.1-890

4) LVL nach Z-9.1-880

$$n = n_0 \cdot n_{90} \quad \text{unter Berücksichtigung der Mindestabstände in Abschnitt 3.7.3}$$

Empfehlung zur Dimensionierung der Stahlplattendicke t_s in mm mit beliebigem Schraubenabstand, siehe auch Bild 86:

$$t_s \geq \sqrt{\frac{F_{c,Ed} \cdot (L_x + L_y)}{\pi \cdot d_{\text{head}} \cdot f_{y,d}}} \quad (7.5)$$

Mit:

$$F_{c,Ed} \quad \text{Bemessungswert der einwirkenden Druckkraft in einer Verstärkungsschraube in N}$$

$$L_x = \min \left\{ a_1; 2 \cdot \max \left\{ a_{3,S}; \frac{a_1}{2} \right\} \right\} \quad \text{Rechnerische Einzugslänge parallel zur Faserrichtung in mm} \quad (7.6)$$

$$L_y = \min \left\{ a_2; 2 \cdot \max \left\{ a_{4,S}; \frac{a_2}{2} \right\} \right\} \quad \text{Rechnerische Einzugslänge rechtwinklig zur Faserrichtung in mm} \quad (7.7)$$

$$d_{\text{head}} \quad \text{Kopfdurchmesser der Verstärkungsschrauben in mm (d1 bei Lastdurchleitung mit abgeschnittenen, durchgehenden Schrauben, s. Bild 91)}$$

$$f_{y,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0}} \quad \text{Bemessungswert der Streckgrenze des Stahls mit } \gamma_{M0} = 1,0 \text{ (nach EC 3) in N/mm}^2 \quad (7.8)$$

Für a_1 , a_2 , $a_{3,S}$ und $a_{4,S}$ sind die Werte aus dem Querdrucknachweis einzusetzen, siehe Abschnitte 7.2.2 und 7.3.2.

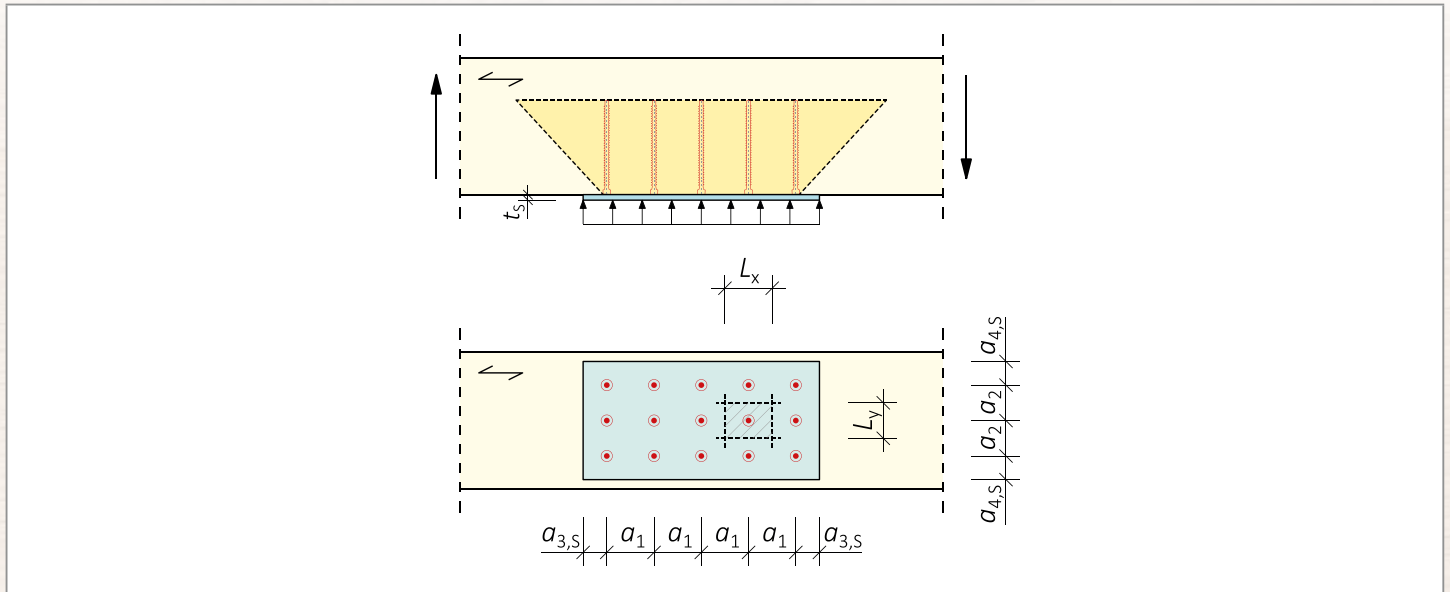


Bild 86: Abstandsbezeichnungen an der Lagerplatte.

Empfehlung zur Dimensionierung der Stahlplattendicke t_s in mm nach EC 5 Entwurf mit festgelegten Verbindungsmittelabständen, siehe auch Bild 86:

$$t_s \geq \max \left\{ 5,0 \quad ; \quad 1,45 \cdot \sqrt{\frac{F_{c,Ed}}{f_{y,d}}} \right\} \quad (7.9)$$

Unter der Annahme:

$$a_1 = a_2 = 5 \cdot d \text{ und } a_{3,S} = a_{4,S} = 2,5 \cdot d$$

Mit:

$F_{c,Ed}$	Bemessungswert der einwirkenden Druckkraft in einer Verstärkungsschraube in N
$f_{y,d}$	Bemessungswert der Streckgrenze des Stahls mit $\gamma_{M0} = 1,0$ (nach EC 3) in N/mm ²

7.2.2 Rechenbeispiel

Die Tragfähigkeit im Auflagerbereich eines Trägers bezüglich Querdruk und eine möglicherweise in diesem Fall erforderliche Querdrukverstärkung kann mit dem **Modul Querdrucknachweis und Querdrukverstärkung** berechnet werden.

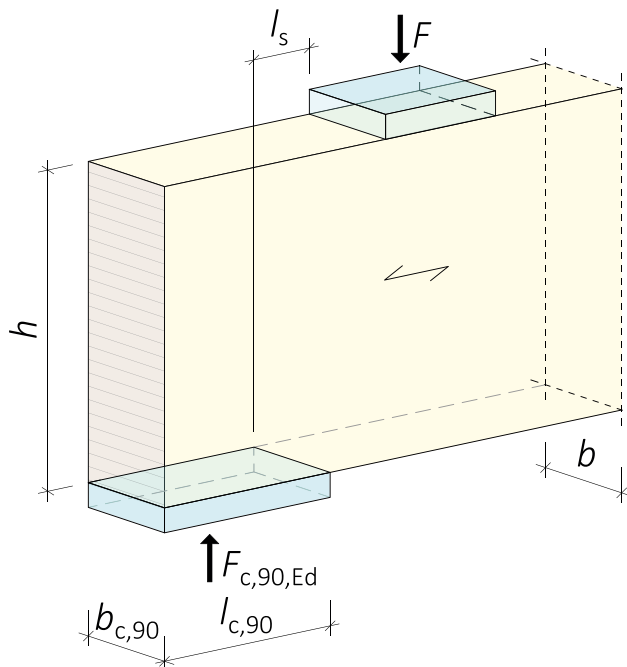


Bild 87: Rechenbeispiel – unverstärktes Auflager.

Geometrie und Material

Querschnittsbreite	b	= 120 mm
Querschnittshöhe	h	= 560 mm
Material		GL 24c
Charakteristische Rohdichte	ρ_k	= 365 kg/m ³
Charakteristische Schubfestigkeit	$f_{c,90,k}$	= 2,50 N/mm ²
Teilsicherheitsbeiwert	γ_M	= 1,3
Breite Auflager	$b_{c,90}$	= 120 mm
Länge Auflager	$l_{c,90}$	= 240 mm
Abstand Last oben	l_s	= 45 mm
Auflagertyp		Endauflager

Einwirkung

Bemessungslast	$F_{c,90,Ed}$	= 91,0 kN
Nutzungs-kategorie		1
Klasse der Lasteinwirkungs-dauer		ständig
Modifikationsbeiwert	k_{mod}	= 0,6

Beanspruchbarkeit des unverstärkten Auflagers auf Basis von Gl. (7.1); $k_{c,90} = 1,0$ weil $l_s < 2h$:

$$F_{c,90,Rd} = k_{c,90} \cdot b_{c,90} \cdot l_{ef,1} \cdot f_{c,90,d} = 1,0 \cdot 120 \cdot (240 + 30) \cdot 1,15 = 37,3 \text{ kN}$$

Mit:

$$l_{ef,1} = l_{c,90} + 30 + 0 = 240 + 30 = 270 \text{ mm}$$

$$f_{c,90,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{c,90,k}}{\gamma_M} = \frac{0,6 \cdot 2,5}{1,3} = 1,15 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis unverstärkt

$$\frac{F_{c,90,Ed}}{F_{c,90,Rd}} = \frac{91,0 \text{ kN}}{37,3 \text{ kN}} = 2,44 \gg 1,0 \quad \rightarrow \text{Verstärkung erforderlich!}$$

Nachweis des verstärkten Auflagers auf Basis von Gl. (7.4):

Nach Gln. (3.20) und (3.21) und den gewählten ASSY®plus VG 4 CH 8,0 x 530 mm Vollgewindeschrauben gilt folgender Wert für die Verstärkungsschrauben:
 $f_{ax,k} = 12 \text{ N/mm}^2$ (siehe Tabelle 8).



3 x 2 ASSY®plus
VG 4 CH 8,0 x 530

Die Tragfähigkeit der Verstärkung

$$F_{w,k} = \frac{k_{ax} \cdot f_{ax,k} \cdot d \cdot l_w}{k_{\beta}} \cdot \left(\frac{\rho_k}{\rho_{ref,k}} \right)^{0,8} \quad (\text{siehe Abschnitt 3.3}) \text{ ist an der Schraubenspitze zu berechnen:}$$

Verankerungslänge	l_w	=	530	mm
Winkelfaktor	k_{ax}	=	1,0	-
Winkelfaktor	k_{β}	=	1,0	-
Charakteristische Rohdichte	ρ_k	=	365	kg/m ³
Bezugsrohddichte	$\rho_{ref,k}$	=	350	kg/m ³
Ausziehparameter	$f_{ax,k}$	=	12,0	N/mm ²

Prüfung der Schraubenabstände (Tabelle 30):

$$\begin{aligned} a_{1,min} &= 5d = 40 \text{ mm} < a_{1,ist} = 80 \text{ mm} \quad \checkmark \\ a_{2,min} &= 2,5d = 20 \text{ mm} < a_{2,ist} = 56 \text{ mm} \quad \checkmark \\ a_{3,CG,min} &= 5d = 40 \text{ mm} = a_{3,CG,ist} = 40 \text{ mm} \quad \checkmark \\ a_{4,CG,min} &= 3d = 24 \text{ mm} < a_{4,CG,ist} = 32 \text{ mm} \quad \checkmark \\ a_{1,ist} \cdot a_{2,ist} &\geq 25d^2 = 1.600 \text{ mm}^2 \\ 80 \cdot 56 &= 4.480 \text{ mm}^2 > 1.600 \text{ mm}^2 \quad \checkmark \end{aligned}$$

$$F_{w,k} = \frac{k_{ax} \cdot f_{ax,k} \cdot d \cdot l_w}{k_{\beta}} \cdot \left(\frac{\rho_k}{\rho_{ref,k}} \right)^{0,8} = \frac{1,0 \cdot 12,0 \cdot 8,0 \cdot 530}{1,0} \cdot \left(\frac{365}{350} \right)^{0,8} = 52,6 \text{ kN}$$

Der charakteristische Tragwiderstand, mit $F_{c,k} = 11,4 \text{ kN}$ nach Tabelle 19:

$$F_{ax,c,k} = \min \{ F_{w,k}; F_{c,k} \} = \min \{ 52,6; 11,4 \} = 11,4 \text{ kN}$$

Bemessungswert der Axialtragfähigkeit - weil $F_{c,k}$ die Knicktragfähigkeit der Schraube aus Stahl ist, gilt:

$$F_{ax,c,d} = \min \left\{ \frac{k_{mod} \cdot F_{w,k}}{\gamma_M}, \frac{F_{c,k}}{\gamma_{M1}} \right\} = \min \left\{ \frac{0,6}{1,3} \cdot 52,6, \frac{11,4}{1,1} \right\} = \min \{ 24,3; 10,4 \} = 10,4 \text{ kN}$$

Nachweise der Verstärkung auf Schraubenkopf- und -Spitzenebenen, siehe Gl. (7.4) (a) und (b):

$$\begin{aligned} F_{c,90,Rd,(a)} &= k_{c,90} \cdot b_{c,90} \cdot l_{ef,1} \cdot f_{c,90,d} + n \cdot F_{ax,c,d} \\ &= 1,0 \cdot 120 \cdot (240 + 30) \cdot 1,15 + 6 \cdot 10,400 \\ &= 37.260 + 62.400 = 99,7 \text{ kN} \end{aligned}$$

→ bei einer auflagnahen Einellast wird $k_{c,90} = 1,0$; $n = n_0 \cdot n_{90}$

$$F_{c,90,Rd,(b)} = b_{ef} \cdot l_{ef,2} \cdot f_{c,90,d} = 120 \cdot 730 \cdot 1,15 = 100,7 \text{ kN}$$

Mit:

$$b_{ef} = b_{c,90} = 120 \text{ mm}$$

$$l_{ef,2} = l_w + (n_0 - 1) \cdot a_1 + \min \{ l_w; a_{3,CG} \} = 530 + 2 \cdot 80 + 40 = 730 \text{ mm}$$

Nachweis der Querdrukverstärkung

$$\frac{F_{c,90,Ed}}{F_{c,90,Rd}} = \frac{91,0 \text{ kN}}{99,7 \text{ kN}} = 0,91 < 1,0 \quad \checkmark$$

→ Prüfung auf Durchbiegung: $\Delta w_{c,90} < 1,0 \text{ mm} \quad \checkmark$

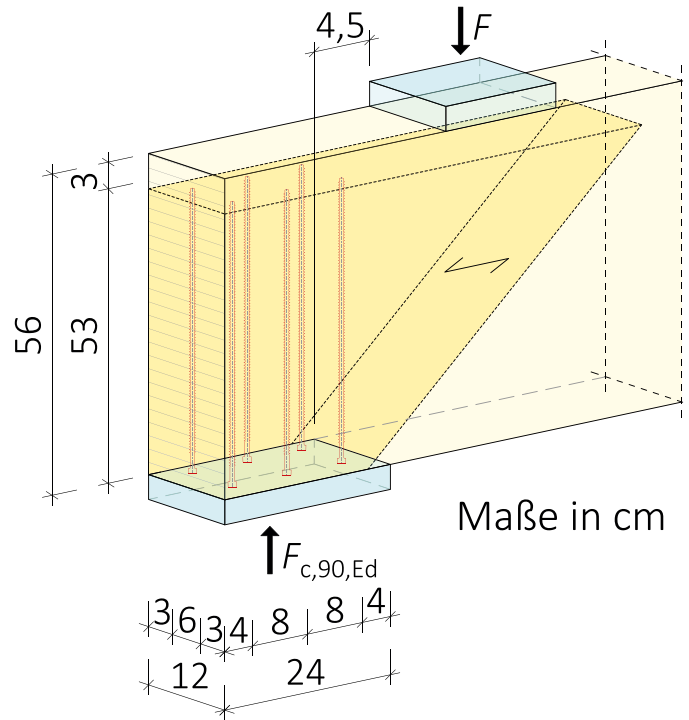


Bild 88: Rechenbeispiel – verstärktes Auflager.

Bemessung der Stahlplattendicke t_s mit der Güte S235, mit beliebigem Schraubenabstand nach Gl. (7.5):

$$\begin{aligned} t_s &\geq \sqrt{\frac{F_{c,Ed} \cdot (L_x + L_y)}{\pi \cdot d_{head} \cdot f_{y,d}}} \\ &\geq \sqrt{\frac{15200 \cdot (80 + 60)}{\pi \cdot 10 \cdot 235}} = 17,0 \text{ mm} \end{aligned}$$

Mit

$$F_{c,Ed} = \frac{F_{c,90,Ed}}{n} = \frac{91}{6} = 15,2 \text{ kN}$$

$$d_{head} = 10 \text{ mm} \quad (\text{siehe Tabelle 1})$$

$$f_{y,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0}} = \frac{235}{1,0} = 235 \text{ N/mm}^2$$

$$L_x = \min \left\{ a_1; 2 \cdot \max \left\{ a_{3,S}; \frac{a_1}{2} \right\} \right\}$$

$$= \min \left\{ 80; 2 \cdot \max \left\{ 40; \frac{80}{2} \right\} \right\} = 80 \text{ mm}$$

$$L_y = \min \left\{ a_2; 2 \cdot \max \left\{ a_{4,S}; \frac{a_2}{2} \right\} \right\}$$

$$= \min \left\{ 60; 2 \cdot \max \left\{ 30; \frac{60}{2} \right\} \right\} = 60 \text{ mm}$$

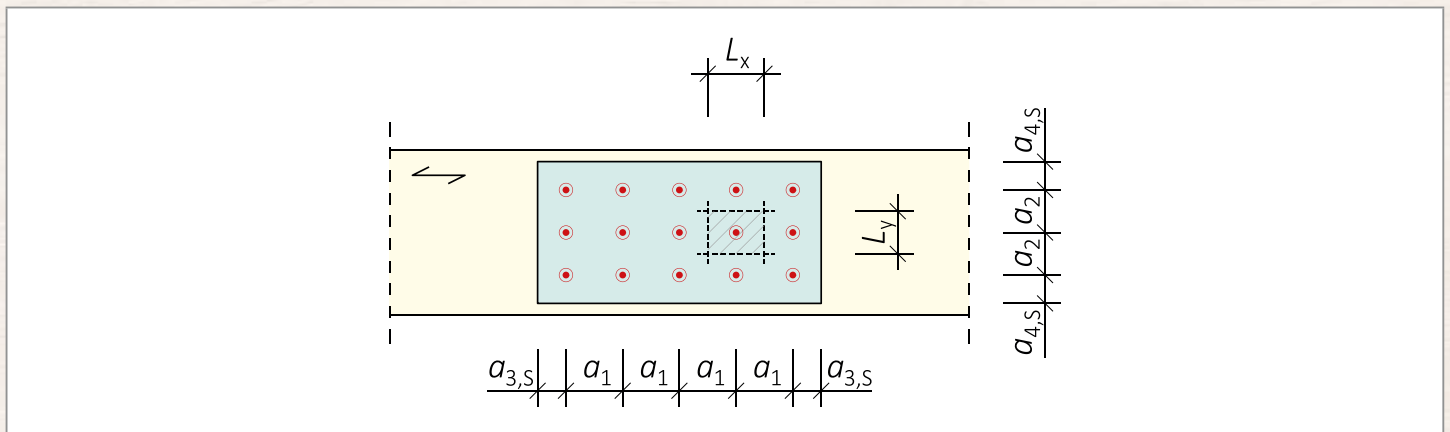


Bild 89: Abstandsbezeichnungen an der Lagerplatte.

Gewählt wird ein Flachstahl der Dicke $t_s = 20,0 \text{ mm}$ mit der Güte S235.

7.3 Lastdurchleitung

7.3.1 Bemessung

Laut EC 5 Entwurf ist eine beidseitige Verstärkung von Holzbauteilen zur Lastdurchleitung unter folgenden Bedingungen zulässig:

- Alle Voraussetzungen, die für die reine Querdrukverstärkung definiert sind, gelten gleichermaßen.
- Zwischen den sich übergreifenden Vollgewindeschrauben sind die Mindestabstände einzuhalten.
- Die gegenüberliegenden Auflagerflächen sollen zueinander achssymmetrisch angeordnet werden.

Die Beanspruchbarkeit für die jeweilige Auflagerfläche kann wie folgt bestimmt werden, vgl. Gl. (7.4) (a). Dabei darf der Nachweis der Querdrukspannungen in der Ebene der Schraubenspitzen entfallen, vgl. Gl. (7.4) (b).

$$F_{c,90,Rk} = k_{c,90} \cdot b_{c,90} \cdot l_{ef,1} \cdot f_{c,90,k} + n \cdot \min \{ F_{w,k}; F_{c,k} \} \quad \text{vgl. Gl. (7.4) (a)}$$

Mit:

$$k_{c,90} = 1,0$$

Jede der beiden Auflagerflächen muss für die dort vorliegende Einwirkung nachgewiesen werden. Ergibt sich aufgrund einer einzuleitenden Querkraft eine Differenz zwischen Fläche 1 und 2 (siehe Bild 90 und 91), kann auf der höher beanspruchten Seite eine größere Schraubenanzahl erforderlich werden.

Anordnung und Übergreifungslänge sind so zu dimensionieren, dass die Übertragung der Einwirkungen sichergestellt ist (Bild 91: in Fläche 2 sind mehr Schrauben erforderlich; es wird mit den VGS in dieser Fläche begonnen; Anordnung der Schrauben im Wechsel.)

Folgende geometrische Randbedingungen sind dabei einzuhalten:

$$l_1 \geq 15d ; l_2 \geq 15d ; l_{1,2} \geq \max\{10 \cdot d; 2 \cdot a_1\} ; a_{1,\max} = 5d ; a_1 \times a_2 \geq 25d^2$$

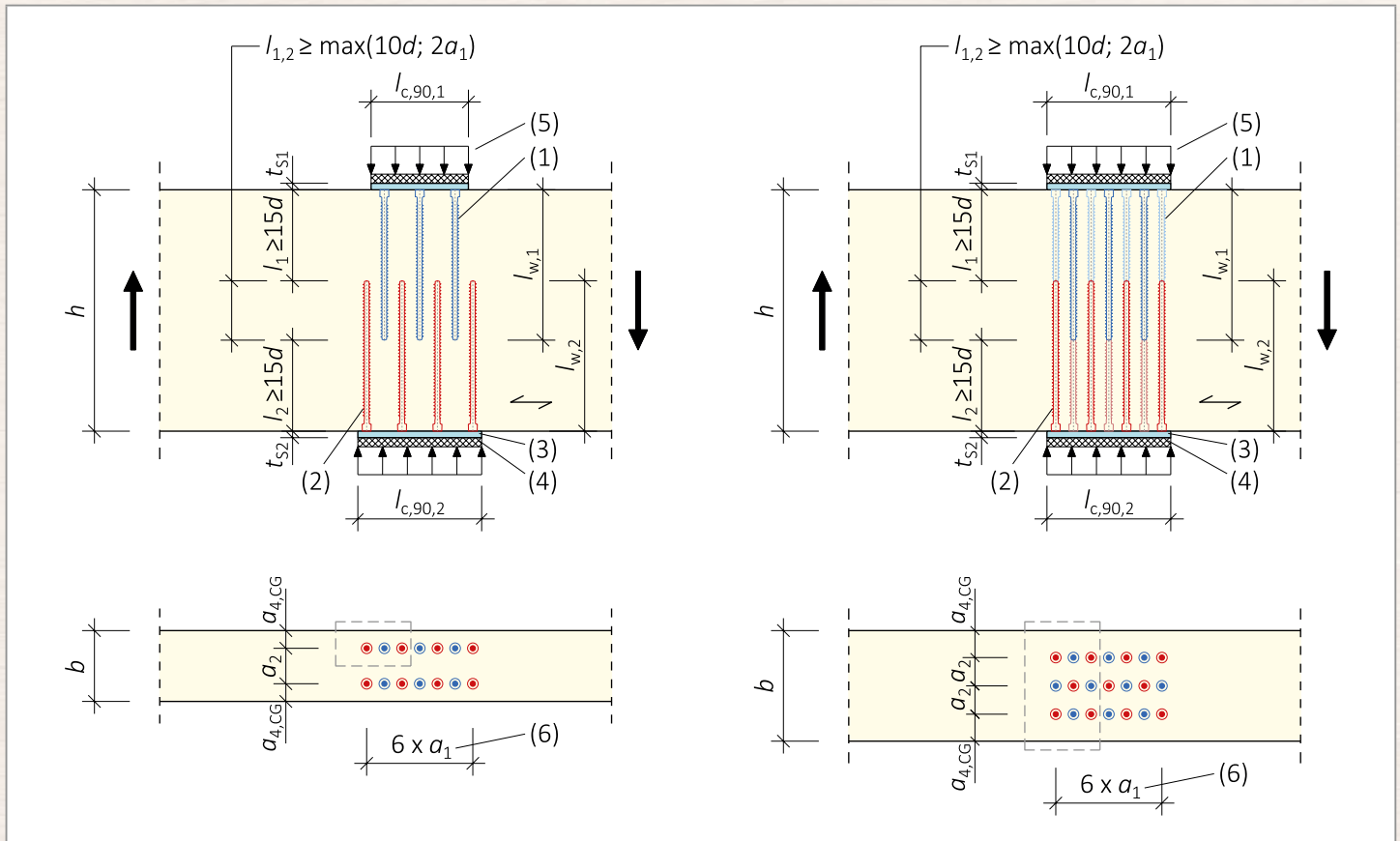


Bild 90: Anordnung und Zeichen Lastdurchleitung. (1) VGS-Fläche 1, (2) VGS-Fläche 2, (3) Stahlplatte, (4) Elastomer, (5) Druckkraft auf den Träger, (6) VGS-Abstand parallel zur Faserrichtung $a_1 = 5d$.

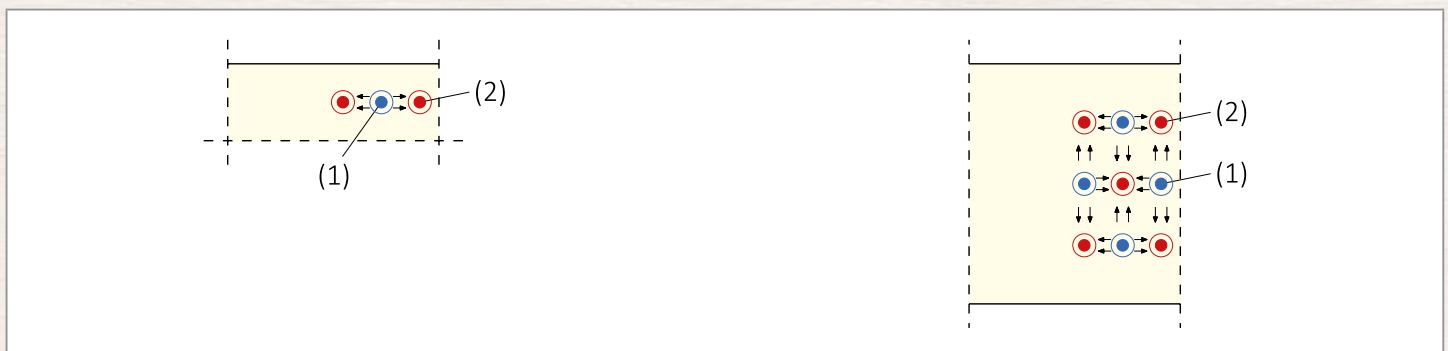


Bild 91: Kraftfluss von sich übergreifenden Schrauben. (1) VGS-Fläche 1, (2) VGS-Fläche 2.

Die bei übergreifenden Schrauben maximal mögliche Schraubenlänge kann mit Gl. (7.10) berechnet werden.

$$l_{s,\max} = l_{w,\max} = h - 15 \cdot d \quad (7.10)$$

Tabelle 55: Mindestschraubenlängen und Mindestträgerhöhen für Lastdurchleitungen, Werte in mm.

Gewindeaußendurchmesser d	6	8	10	12
Fester Schraubenabstand parallel zur Faserrichtung a_1	30	40	50	60
Mindesteinbindelänge ohne Übergreifung an Bauteilrand 1 $l_{1,min}$	90	120	150	180
Mindesteinbindelänge ohne Übergreifung an Bauteilrand 2 $l_{2,min}$	90	120	150	180
Mindestübergreifungslänge $l_{1,2,min}$	60	80	100	120
Mindestschraubenlänge $l_{s,min} = l_{w,min} = l_{1,min} + l_{1,2,min}$	150	200	250	300
Maximale Schraubenlänge $l_{s,max} = h_{min} - 15 \cdot d$	150	200	250	300
Mindestträgerhöhe $h_{min} = l_{1,min} + l_{2,min} + l_{1,2,min}$	240	320	400	480
Regelwerk: EC 5 Entwurf				

Alternativ zu dem oben beschriebenen System zur Lastdurchleitung mit gegenüberliegenden und sich übergreifenden Vollgewindeschrauben, können die Vollgewindeschrauben ASSY® plus VG und ASSY® auch nur von einer Seite bündig mit der Holzoberfläche eingeschraubt werden, ähnlich der Querdruckverstärkung. Im Nachweis dürfen nur die Schrauben in Ansatz gebracht werden. Die Aufnahme bzw. Durchleitung von Lasten über Querdruck im Holz muss unberücksichtigt bleiben. Der Nachweis ist dabei stets mit der größeren der beiden Lastenkomponenten zu führen. Dabei sind Schrauben zu wählen, die etwas länger als die entsprechende Bauteilhöhe sind. Die überstehenden Schraubenspitzen müssen dann mit einem dafür geeigneten Werkzeug bündig mit der Holzoberfläche abgeschnitten werden.

Hinweise:

- Es wird empfohlen, die Bauteile für die Aufnahme der Schrauben soweit vorzubohren, dass die planmäßig korrekte Lage der Schrauben gewährleistet ist.
- Bei gleicher Beanspruchung wird bei der Bemessung der Stahlplatte nach Gl. (7.5) der Kerndurchmesser der Schraube d_1 maßgebend.

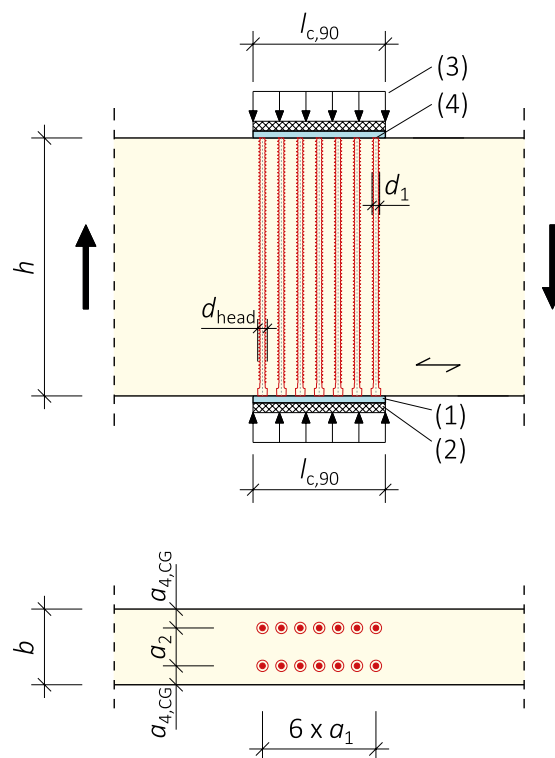


Bild 92: Alternatives System zur Lastdurchleitung. (1) Stahlplatte, (2) Elastomer, (3) Druckkraft auf den Träger, (4) abgeschnittene Schrauben.

Bestimmung der Tragfähigkeit einer Schraube ASSY®plus VG 4 CH 8,0 x 400 mm

Für den charakteristischen Auszieh Widerstand der Schraube auf Hineindrücken gilt:

$$F_{w,k} = \frac{k_{ax} \cdot f_{ax,k} \cdot d \cdot l_w}{k_{\beta}} \cdot \left(\frac{\rho_k}{\rho_{ref,k}} \right)^{0,8} \quad (\text{siehe Abschnitt 3.3})$$

Mit:

$$k_{ax} = 1,0$$

$$k_{\beta} = 1,0$$

$$f_{ax,k} = 12,0 \text{ N/mm}^2$$

$$d = 8,0 \text{ mm}$$

$$l_w = 400 \text{ mm}$$

$$\rho_k = 365 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{ref,k} = 350 \text{ kg/m}^3$$

$$\Rightarrow F_{w,k} = \frac{1,0 \cdot 12,0 \cdot 8,0 \cdot 400}{1,0} \cdot \left(\frac{365}{350} \right)^{0,8} = 39,7 \text{ kN}$$

Für den charakteristischen Wert der Knicktragfähigkeit der Schraube gilt nach Tabelle 19:

$$F_{c,k} = 11,4 \text{ kN} \quad \text{siehe Abschnitt 3.5.1}$$

Somit ergibt sich für den Bemessungswert der Tragfähigkeit einer Schraube:

$$F_{ax,c,d} = \min \left\{ \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot F_{w,k}; \frac{F_{c,k}}{\gamma_{M1}} \right\} = \min \left\{ \frac{0,6}{1,3} \cdot 39,7; \frac{11,4}{1,1} \right\} = 10,4 \text{ kN}$$

Prüfung der geometrischen Randbedingungen:

$$l_1 \geq 15d = 120 \text{ mm}; l_1 = 160 \text{ mm} \quad \checkmark$$

$$l_2 \geq 15d = 120 \text{ mm}; l_2 = 160 \text{ mm} \quad \checkmark$$

$$l_{1,2} \geq \max \{ 10 \cdot d; 2 \cdot a_1 \} = 80 \text{ mm};$$

$$l_{1,2} = h_{Träger} - l_1 - l_2 = 240 \text{ mm} \quad \checkmark$$

$$a_1 \times a_2 = 1.600 \geq 1.600 = 25d^2 \quad \checkmark$$

In diesem Fall, mit gleich vielen Schrauben $n_1 = n_2 = 9$ und gleich großen Lagerflächen $l_{c,90,1} = l_{c,90,2} = 240 \text{ mm}$ ist die Tragfähigkeit der Lastdurchleitung an Trägerseite 1 und 2 gleich.

Berechnung der maximalen Tragfähigkeit mit 9 ASSY®plus VG 4 CH 8,0 x 400 mm

$$F_{c,90,Rk,1} = k_{c,90} \cdot b_{c,90,1} \cdot l_{ef,1,1} \cdot f_{c,90,k} + n_{ef,1} \cdot F_{ax,c,k}$$

Mit:

$$l_{ef,1,1} = l_{c,90,1} + \min\{30; l_s / 2\} + \min\{30; l_s / 2\}$$

$$l_{ef,1,1} = 240 + \min\{30; 0 / 2\} + \min\{30; 0 / 2\} = 240 + 0 + 0 = 240 \text{ mm}$$

$$f_{c,90,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{c,90,k}}{\gamma_M} = \frac{0,6 \cdot 2,5}{1,3} = 1,15 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{c,90} = 1,0 \quad \text{Lastdurchleitung}$$

$$n_{ef,1} = n_1 = 9 \quad \text{siehe Gl. (3.24)}$$

$$F_{c,90,Rd,1} = 1,0 \cdot 140 \cdot 240 \cdot 1,15 + 9 \cdot 10.400 = 38.640 + 93.600 = 132,2 \text{ kN}$$

Bemessung der Stahlplattendicke t_s mit der Güte S235, mit beliebigem Schraubenabstand nach Gl. (7.5):

Anmerkung:

- Zur Bemessung der Stahlplatte bei maximaler Tragfähigkeit wird $F_{c,Ed} = F_{c,Rd}$ gesetzt.

$$\begin{aligned} t_s &\geq \sqrt{\frac{F_{c,Ed} \cdot (L_x + L_y)}{\pi \cdot d_{head} \cdot f_{y,d}}} \\ &\geq \sqrt{\frac{14.690 \cdot (80 + 80)}{\pi \cdot 10 \cdot 235}} = 17,8 \text{ mm} \end{aligned}$$

Mit:

$$F_{c,Ed} = \frac{F_{c,90,Ed}}{n} = \frac{F_{c,90,Rd,1}}{n_1} = \frac{132,2}{9} = 14,69 \text{ kN}$$

$$a_1 = 40 + 40 = 80 \text{ mm}$$

$$a_2 = 40 + 40 = 80 \text{ mm}$$

$$a_{3,S} = 20 + 40 = 60 \text{ mm}$$

$$a_{4,S} = 30 + 40 = 70 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} L_x &= \min \left\{ a_1; 2 \cdot \max \left\{ a_{3,S}; \frac{a_1}{2} \right\} \right\} \\ &= \min \left\{ 80; 2 \cdot \max \left\{ 40; \frac{80}{2} \right\} \right\} = 80 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_y &= \min \left\{ a_2; 2 \cdot \max \left\{ a_{4,S}; \frac{a_2}{2} \right\} \right\} \\ &= \min \left\{ 80; 2 \cdot \max \left\{ 70; \frac{80}{2} \right\} \right\} = 80 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$d_{head} = 10 \text{ mm} \quad (\text{siehe Tabelle 1})$$

$$f_{y,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0}} = \frac{235}{1,0} = 235 \text{ N/mm}^2$$

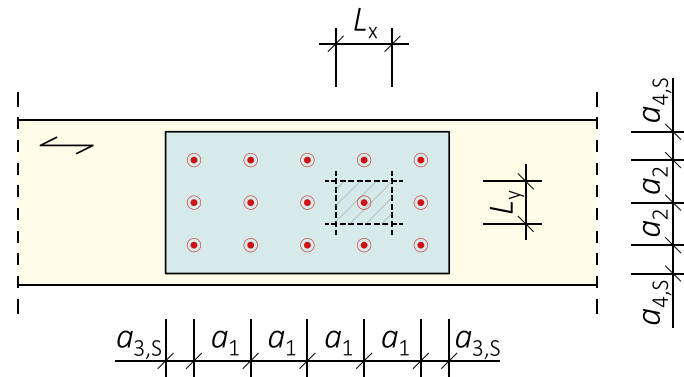


Bild 94: Abstandsbezeichnungen an der Lagerplatte.

Gewählt wird ein Flachstahl der Dicke $t_s = 20,0 \text{ mm}$ mit der Güte S235.

7.3.2.2 Lastdurchleitung mit durchgehenden Schrauben

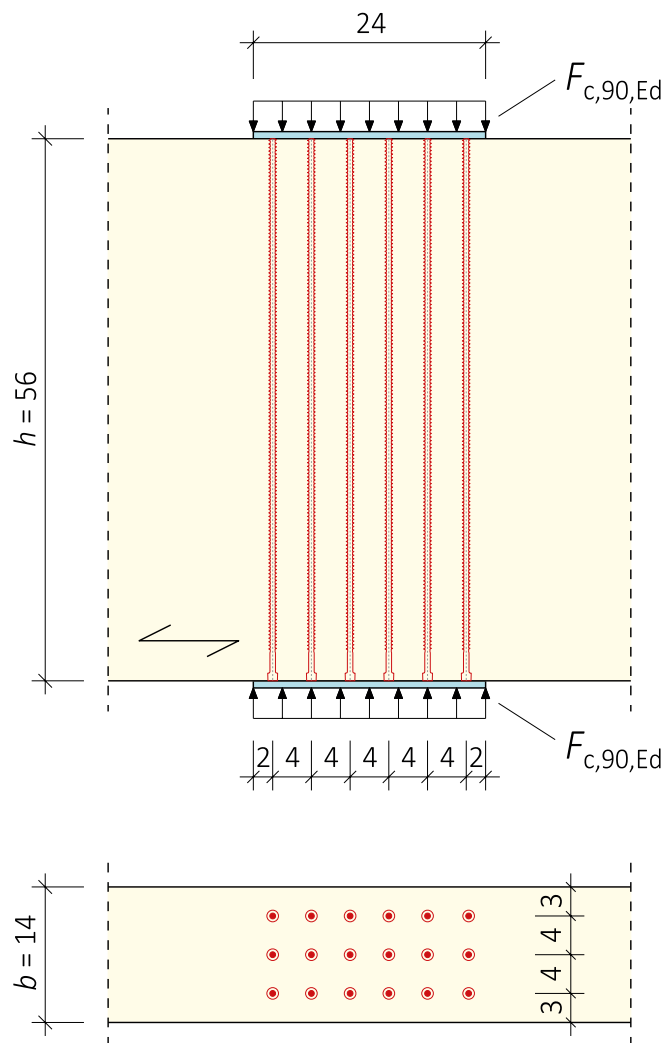


Bild 95: Rechenbeispiel – Lastdurchleitung mit durchgehenden Schrauben.

Geometrie und Material

Querschnittsbreite	b	= 140 mm
Querschnittshöhe	h	= 560 mm
Material		GL 24c
Charakteristischer Rohdichte	ρ_k	= 365 kg/m ³
Teilsicherheitsbeiwert	γ_M	= 1,3
Breite Auflager	$b_{c,90}$	= 140 mm
Länge Auflager	$l_{c,90}$	= 240 mm
Auflagertyp		Zwischenauflager
Nutzungsklasse		1
Klasse der Lasteinwirkungsdauer		ständig
Modifikationsbeiwert	k_{mod}	= 0,6
Schraubentyp		ASSY®plus VG 4 CH
		8,0 x 580 mm
Schraubenanzahl	$n_1 = n_2$	= 18

Ausführungshinweis für die Pilotbohrung:

- Nenndurchmesser des Bohrers nach Tabelle 11: 5 mm

Bestimmung der Tragfähigkeit einer Schraube ASSY®plus VG 4 CH 8,0 x 580 mm (abgeschnitten 560 mm)

Analog zum vorherigen Beispiel ist die Knicktragfähigkeit maßgebend, siehe oben.

Somit ergibt sich für den Bemessungswert des Tragwiderstands einer Schraube:

$$F_{ax,c,d} = \min \left\{ \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot F_{w,k}, \frac{F_{c,k}}{\gamma_{M1}} \right\} = \min \left\{ \frac{0,6}{1,3} \cdot 55,6; \frac{11,4}{1,1} \right\} = 10,4 \text{ kN}$$

Tragfähigkeitsnachweis der Lastdurchleitung mit 3 x 5 ASSY®plus VG 4 CH 8,0 x 580 mm (abgeschnitten 560 mm)

$$F_{c,90,Rd} = F_{ax,Rd} = n_{ef} \cdot F_{ax,c,d}$$

Mit:

$$n_{ef} = n_1 = 18 \quad \text{siehe Gl. (3.24)}$$

$$F_{c,90,Rd} = 18 \cdot 10,400 = 187,2 \text{ kN}$$

Bemessung der Stahlplattendicke t_s mit der Güte S235, mit beliebigem Schraubenabstand nach Gl. (7.5)

Anmerkungen:

- Zur Bemessung der Stahlplatte bei maximaler Tragfähigkeit wird $F_{c,Ed} = F_{c,Rd}$ gesetzt.
- Da die Bemessung an den bündig mit der Holzoberfläche abgeschnittenen Schraubenspitzen erfolgt, wird d_{head} durch d_1 ersetzt.

$$\begin{aligned} t_s &\geq \sqrt{\frac{F_{c,Ed} \cdot (L_x + L_y)}{\pi \cdot d_1 \cdot f_{y,d}}} \\ &\geq \sqrt{\frac{10,400 \cdot (40 + 40)}{\pi \cdot 5 \cdot 235}} = 15,0 \text{ mm} \end{aligned}$$

Mit:

$$F_{c,Ed} = \frac{F_{c,90,Ed}}{n} = \frac{F_{c,90,Rd}}{n_1} = \frac{187,2}{18} = 10,4 \text{ kN}$$

$$L_x = \min \left\{ a_1; 2 \cdot \max \left\{ a_{3,S}; \frac{a_1}{2} \right\} \right\}$$

$$= \min \left\{ 40; 2 \cdot \max \left\{ 20; \frac{40}{2} \right\} \right\} = 40 \text{ mm}$$

$$L_y = \min \left\{ a_2; 2 \cdot \max \left\{ a_{4,S}; \frac{a_2}{2} \right\} \right\}$$

$$= \min \left\{ 40; 2 \cdot \max \left\{ 30; \frac{40}{2} \right\} \right\} = 40 \text{ mm}$$

$d_1 = 5 \text{ mm}$ (siehe Tabelle 2, Spalte 3 – Bohrspitze)

$$f_{y,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0}} = \frac{235}{1,0} = 235 \text{ N/mm}^2$$

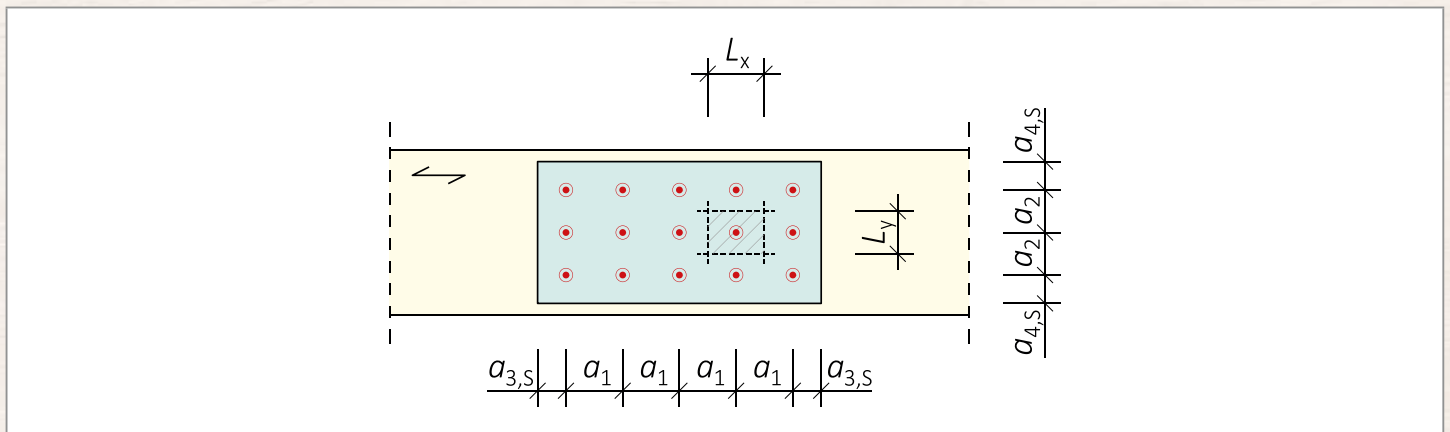


Bild 96: Abstandsbezeichnungen an der Lagerplatte.

Gewählt wird ein Grobblech (DIN EN 10025-2-S235JR) mit der Dicke $t_s = 15,0 \text{ mm}$.

Vergleich

Im Beispiel mit durchgehenden Schrauben können gegenüber der Lastdurchleitung mit übergreifenden Schrauben bei gleicher Auflager- und Trägergeometrie ca. 40 % mehr Last durchgeleitet werden.

8 SPALTVERSTÄRKUNG VON VERBINDUNGEN MIT STIFTFÖRMIGEN VERBINDUNGSMITTELN



8.1 Allgemeines

Mittels Vollgewindeschrauben kann ein Aufspalten rechtwinklig zur Faserrichtung von Anschlüssen mit stiftförmigen, lateral beanspruchten Verbindungsmitteln verhindert werden. Dazu müssen die Schrauben rechtwinklig zur Faserrichtung zwischen den stiftförmigen Verbindungsmitteln angeordnet werden (siehe Bild 97).

Als spaltverursachende Zugkraft $F_{t,90,Ed}$ rechtwinklig zur Faser je verstärkender Schraube sind gemäß Blaß und Bejtka (2008) 30% der Bemessungsscherkraft je Verbindungsmittel und Scherfuge $F_{v,0,Ed}$ anzusetzen. Dementsprechend kann der Nachweis der Verstärkung mit Gl. (8.1) geführt werden.

$$\eta = \frac{F_{t,90,Ed}}{F_{ax,t,d}} = \frac{0,3 \cdot F_{v,0,Ed}}{F_{ax,t,d}} \quad (8.1)$$

Mit:

$F_{v,0,Ed}$ Bemessungswert der Beanspruchung pro Verbindungsmittel und Scherfuge parallel zur Faserrichtung

Zur Bestimmung des Bemessungswerts des axialen Tragwiderstands $F_{ax,t,d}$ siehe Abschnitt 3. Die ansetzbare Verankerungslänge l_w des Gewindebereichs der Verstärkungsschrauben ist der kleinere Wert der Verankerungslängen $l_{w,1}$ am Schraubenkopf und $l_{w,2}$ an der Schraubenspitze (vgl. Bild 97).

Wenn jedes Mittel- und Seitenholz unter jedem Verbindungsmittel verstärkt ist, darf die wirksame Anzahl der Verbindungsmittel nach EC 5 zu $n_{ef} = n$ angenommen werden. Die Abstände der lateral beanspruchten, stiftförmigen Verbindungsmittel können dabei auf deren Mindestabstände reduziert werden. Die verstärkenden Vollgewindeschrauben sind möglichst nah mit $a_{4,CG} \geq 3 \cdot d_r$ an der Scherfuge anzuordnen. Dabei ist d_r der Gewindeaußendurchmesser der Verstärkungsschraube.

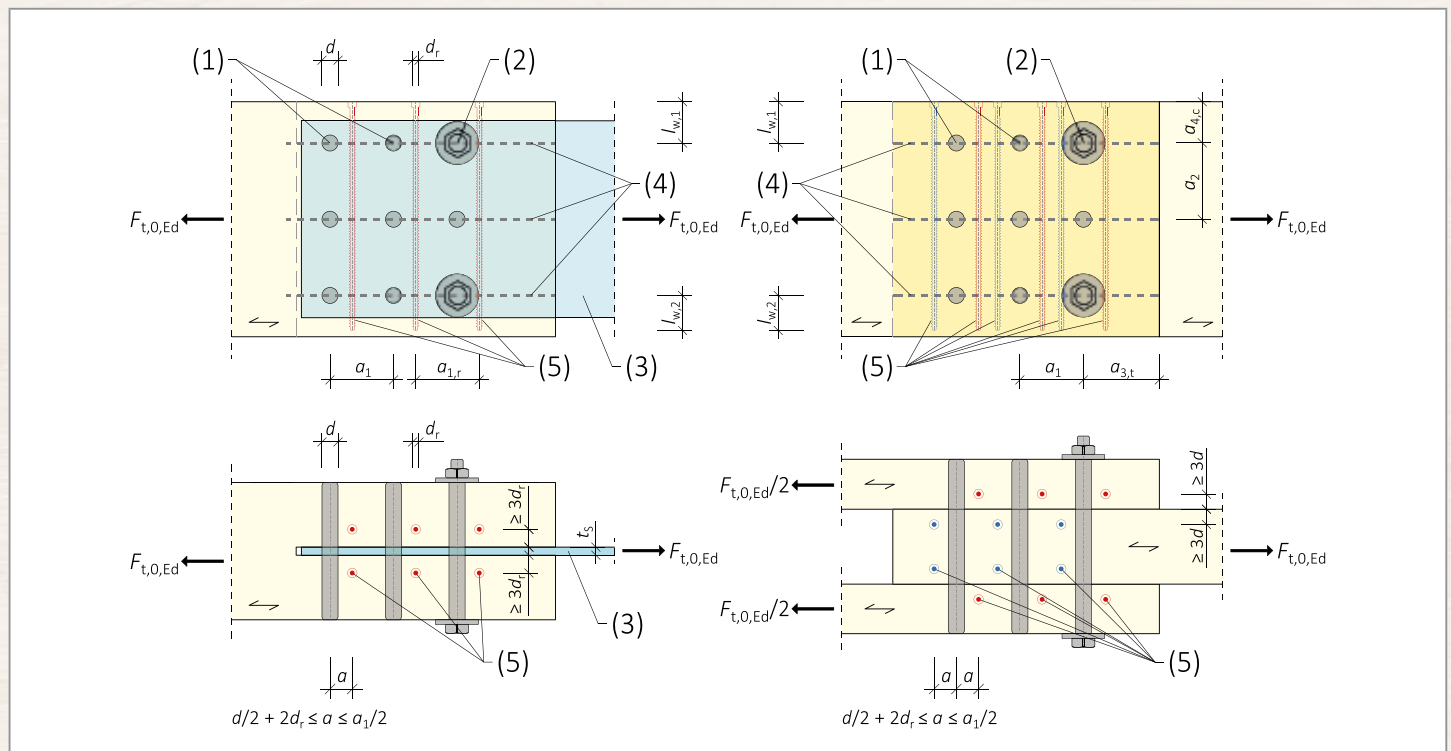


Bild 97: Stabdübel-/Bolzenverbindung mit Verstärkungsschrauben.

(1) Stabdübel, (2) Passbolzen, (3) eingelassenes Stahlblech, (4) mögliche Risslinie, (5) Verstärkungsschrauben.

8.2 Rechenbeispiel

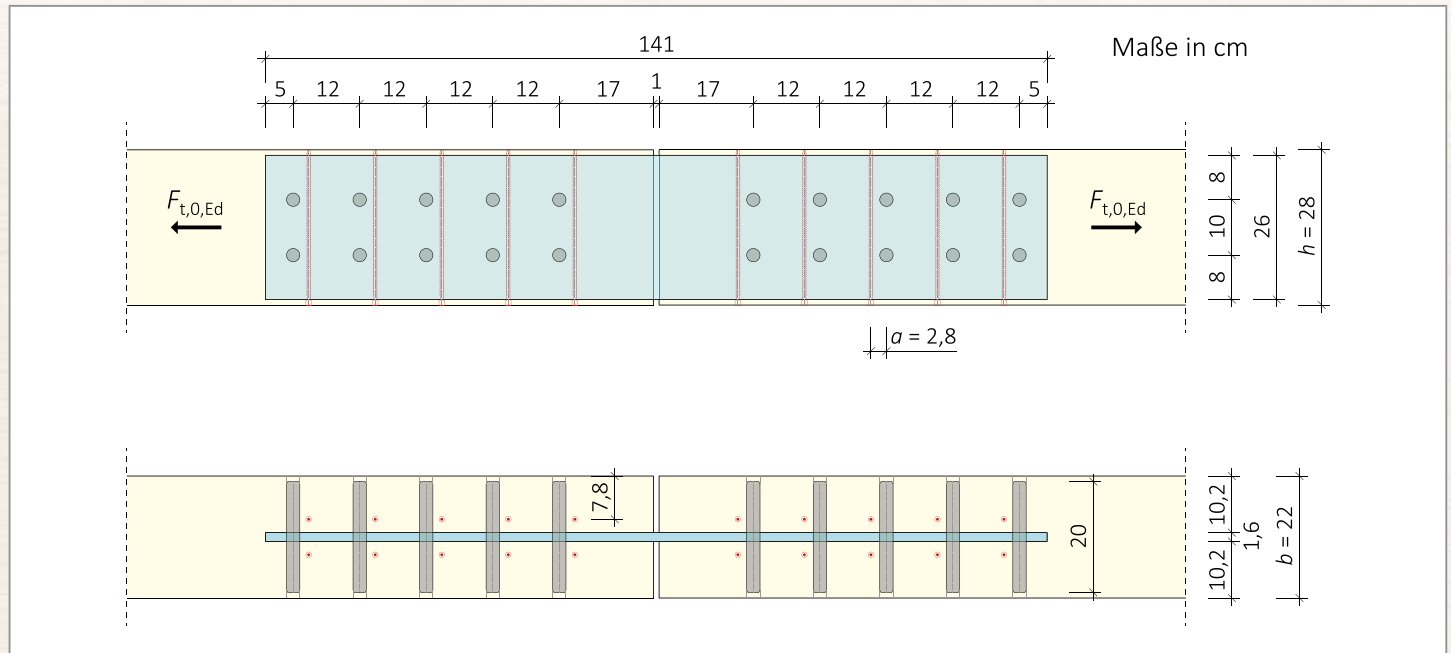


Bild 98: Mit Vollgewindeschrauben verstärkte Stabdübelverbindung.

2 x 5 x 2 Ø 24 x 200 SDÜ

Querschnittsbreite	$b_{1,2}$	= 220 mm
Querschnittshöhe	$h_{1,2}$	= 280 mm
Material	$QS_{1,2}$	= GL 28h
Rohdichte	$\rho_{k,1,2}$	= 425 kg/m ³
Lochleibungsfestigkeit	$f_{h,k,SDÜ}$	= 26,5 N/mm ²
Zugfestigkeit der SDÜ	$f_{u,k,S235}$	= 360 N/mm ²
Blechdicke	t_s	= 16 mm
Einbindetiefe SDÜ	t_1	= 92 mm

Einwirkung

Bemessungslast	
Nutzungs-kategorie	
Klasse der Lasteinwirkungsdauer	
Modifikationsbeiwert	
Teilsicherheitsbeiwert	

$F_{t,0,Ed}$	= 410 kN
	1
	kurz
k_{mod}	= 0,9
γ_M	= 1,3

Lochleibungsfestigkeit des Stabdübels (identisch mit vorgebohrter Schraube, siehe Abschnitt 4.3, Gl. (4.9)):

$$f_{h,k,SDÜ} = 0,082 \cdot \rho_k \cdot (1 - 0,01 \cdot d) = 0,082 \cdot 425 \cdot (1 - 0,01 \cdot 24) = 26,5 \text{ N/mm}^2$$

Fließmoment des Stabdübels gemäß EC 5:

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 360 \cdot 24^{2,6} = 418.768 \text{ Nmm}$$

Tragwiderstand des Stabdübels, siehe Abschnitt 4.3, Gl. (4.6):

$$F_{v,k} = \min \begin{cases} f_{h,k,SDÜ} \cdot t_1 \cdot d = 26,5 \cdot 92,5 \cdot 24 = 58.512 \text{ N} & (f) \\ f_{h,k,SDÜ} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,k}}{f_{h,k,SDÜ} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] + F_{rp,k} = 58.830 \cdot 0,519 = 30.441 \text{ N} & (g) \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,k} \cdot f_{h,k,SDÜ} \cdot d} + F_{rp,k} = 2,3 \cdot \sqrt{418.768 \cdot 26,5 \cdot 24} = 37.536 \text{ N} & (h) \end{cases}$$

$$F_{v,k} = 30.441 \text{ N}$$

Keine Axialtragfähigkeit bei SDÜ

$$\rightarrow F_{rp,k} = \frac{F_{ax,k}}{4} = 0$$

Nach Gl. (3.22) gelten für Vollgewindeschrauben
 $d = 8 \text{ mm}$ folgende Werte:

$$F_{t,k} = f_{tens,k} = 22,0 \text{ kN (siehe Abschnitt 3.4)}$$

$$f_{ax,k} = 12,0 \text{ N/mm}^2 \text{ (siehe Tabelle 15)}$$



2 x 5 x 2 ASSY® plus
 VG 4 CH 8,0 x 280

Als Tragwiderstand der Verstärkung (siehe Abschnitt 3.3) ergibt sich mit der Einbindelänge oberhalb und unterhalb der Stabdübelreihen für beide Querschnitte:

Lage im Bauteil	oben	unten		
Verankerungslänge	$l_w = 90$	90	mm	In diesem Fall ist l_w an der Schraubenspitze (unten) und am Schraubenkopf (oben) identisch.
Winkelfaktor	$k_{ax} = 1,0$	1,0	-	
Winkelfaktor	$k_{\beta} = 1,0$	1,0	-	Maß abhängig von Bauteilhöhe, Schraubenlänge, Dübelposition und Setztiefe!
Rohdichte	$\rho_k = 425$	425	kg/m ³	
Bezugsrohddichte	$\rho_{ref,k} = 350$	350	kg/m ³	
Ausziehparameter	$f_{ax,k} = 12,0$	12,0	N/mm ²	

$$F_{w,k, \text{oben/unten}} = \frac{k_{ax} \cdot f_{ax,k} \cdot d_r \cdot l_w}{k_{\beta}} \cdot \left(\frac{\rho_k}{\rho_{ref,k}} \right)^{0,8} = \frac{1,0 \cdot 12,0 \cdot 8,0 \cdot 90}{1,0} \cdot \left(\frac{425}{350} \right)^{0,8} = 10,1 \text{ kN}$$

Der Bemessungswert des Axialwiderstands ergibt sich zu:

$$F_{ax,t,d} = \min \left\{ \frac{k_{mod} \cdot F_{w,k, \text{oben/unten}}}{\gamma_M}; \frac{F_{t,k}}{\gamma_M} \right\} = \min \left\{ \frac{0,9 \cdot 10,1}{1,3}; \frac{22,0}{1,3} \right\} = 6,99 \text{ kN}$$

Die Beanspruchung je Stabdübel lässt sich berechnen zu:

$$F_{v,0,Ed} = \frac{F_{t,0,Ed}}{n_0 \cdot n_{90} \cdot n_{Scherfugen}} = \frac{410}{5 \cdot 2 \cdot 2} = 20,5 \text{ kN}$$

Die Beanspruchung je Verstärkungsschraube lässt sich berechnen zu:

$$F_{t,90,Ed} = 0,3 \cdot F_{v,0,Ed} = 0,3 \cdot 20,5 = 6,15 \text{ kN}$$

Als Nachweis der Verstärkung ergibt sich abschließend:

$$\eta = \frac{F_{t,90,Ed}}{F_{ax,t,d}} = \frac{6,15}{6,99} = 0,88 \quad \checkmark$$

Für die Verstärkungsschrauben gelten die Abstände entsprechend Bild 94, für die Stabdübel gilt EC 5, Tabelle 8.5.

Weitere Hinweise:

In diesem Beispiel (Last in **eine Richtung** wirkend) können die Schrauben nach folgender Empfehlung angeordnet werden:
 $0,5d + 2d_r \leq a \leq 2,5d$ (vergleiche EC 5 Entwurf, Abschnitt 11.3.6, Figure 11.12), womit sich $a \leq a_1 / 2$ ergibt.

Bei **wechselnden Lasten** sollten die Verstärkungsschrauben mit $a_{1,r} = a_{1,SDü}$ mittig zwischen die Stabdübel gesetzt werden, womit sich $a = a_1 / 2$ ergibt.

Der Abstand von Scherfuge zu Verstärkungsschrauben wird auf den minimal zulässigen von $a_{4,CG} = 3d_r$ gesetzt.

9 BAUTEIL- VERSTÄRKUNGEN



9.1 Beispiel Trägeraufdopplung

9.1.1 Allgemeines

Ein Träger im Bestand wird durch eine Umnutzung des Raumes mit zusätzlichen Lasten beaufschlagt. Das System ist für die neuen Lasten nachzuweisen und gegebenenfalls entsprechend zu verstärken. Der Träger kann durch das System in Bild 99 beschrieben werden. Der Träger ist, bevor die Verstärkung montiert wird, zu entlasten, bzw. in entsprechendem Maß entgegen der Belastungsrichtung zu verformen. Vor dem Eindrehen der Vollgewindeschrauben ist auf flächigen Kontakt, ggf. durch konstruktiv eingebrachte Teilgewindeschrauben zu achten.

Trägeraufdopplungen bzw. Träger mit nachgiebigem Verbund können über das **Modul Trägeraufdopplung** berechnet werden.

9.1.2 Angaben zum Bestand und der Verstärkung

Für alle Angabe wird Index 1 für die Verstärkung, Index 2 für den Bestand verwendet.

Geometrie und Material		Bestand	Verstärkung
Material		C24	GL 28h, liegend
Querschnitt	B x H	180 x 180 mm ²	280 x 80 mm ²
Elastizitätsmodul	E	11.000 N/mm ²	12.600 N/mm ²
Flächenträgheitsmoment	I	87,5 x 10 ⁶ N/mm ⁴	12,0 x 10 ⁶ N/mm ⁴
Widerstandsmoment	W	972.000 mm ³	-
Bemessungswert der Zugfestigkeit	f _{t,0,d}	8,92 N/mm ²	-
Bemessungswert der Druckfestigkeit	f _{c,0,d}	-	17,2 N/mm ²
Bemessungswert der Biegefestigkeit	f _{m,d}	14,8 N/mm ²	17,2 N/mm ²
Bemessungswert der Schubfestigkeit	f _{v,d}	2,46 N/mm ²	2,15 N/mm ²
Verbindungsmittel			
ASSY® plus 4 VG CH 8,0x260			
Effektiver Verbindungsmittelabstand	s _{ef}	12,5 cm	12,5 cm
Verankerungslängen	l _w	147 mm	113 mm
Einschraubwinkel	ε	45°	45°
Einwirkung			
Ständige Lasten	g _k	0,7 kN/m	
Veränderliche Lasten	q _k	1,3 kN/m	
Modifikationsbeiwert	k _{mod}	0,8	
Teilsicherheitsbeiwert	γ _M	1,3	

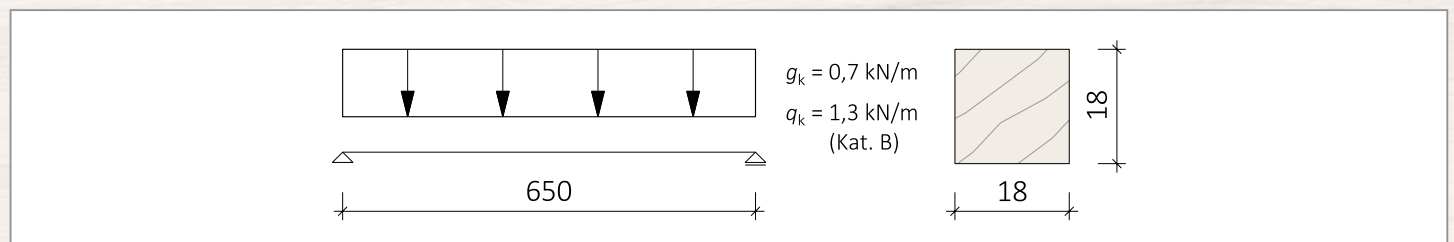


Bild 99: Rechenbeispiel – unverstärktes System. Maße in cm.

9.1.3 Nachweis des Bestandes

Zunächst wird überprüft, ob der Bestandsträger für die neue Belastung im GZT ausreichend tragfähig ist:

Bemessungswert der Einwirkung: $q_d = 1,35 \cdot 0,7 + 1,5 \cdot 1,3 = 2,90 \text{ kN/m}$

Einwirkendes Moment: $M_{Ed} = \frac{q_d \cdot l^2}{8} = \frac{2,9 \cdot 6,5^2}{8} = 15,3 \text{ kNm}$

Einwirkende Querkraft: $V_{Ed} = \frac{q_d \cdot l}{2} = \frac{2,9 \cdot 6,5}{2} = 9,43 \text{ kN}$

Biegespannung:

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{Ed}}{W_2} = \frac{15,3 \cdot 10^6}{972.000} = 15,8 \text{ N/mm}^2$$

Ausnutzung:

$$\eta_m = \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d,2}} = \frac{15,8}{14,8} = 1,06 > 1,0 \quad \text{⚡}$$

Der Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit ist nicht eingehalten. Der Träger muss verstärkt werden.

9.1.4 Nachweis der Verstärkung

Der Bestandsträger aus C24 wird mit einem Brettschichtholzträger in GL 28h auf der Oberseite verstärkt. Da die Verbindung der beiden Träger über Schrauben ASSY®plus 4 VG CH 8,0 x 260 mm, $s_{ef} = 12,5$ cm, vorgenommen wird, muss von einem nachgiebigen Verbund ausgegangen werden. Nachgiebig verbundene Träger können gemäß EC 5 Teil 1-1, Anhang B, mit Hilfe des γ -Verfahrens berechnet werden. Der Querschnitt des verstärkten Systems ist in Bild 100, links, dargestellt.

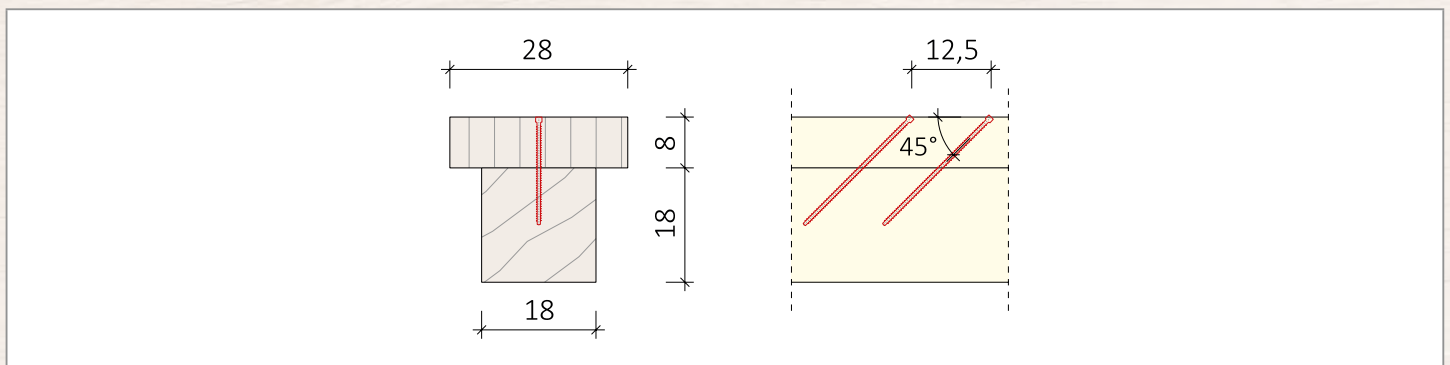


Bild 100: Rechenbeispiel – Querschnitt des verstärkten Systems. Maße in cm.

Nachfolgend wird der Zeitpunkt $t = 0$ im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT, bzw. ULS) betrachtet. Für einen vollständigen Systemnachweis ist zusätzlich der Zeitpunkt $t = \infty$ im GZT sowie die Zeitpunkte $t = 0$ und $t = \infty$ im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG, bzw. SLS) zu betrachten.

Zunächst wird die fugenparallele Steifigkeit des Verbindungsmittels berechnet. Da es sich um schräg eingeschraubte Verbindungsmittel handelt, wird der Wert $K_{ULS,ax,ges}$ mit Hilfe der axialen Steifigkeit $K_{ULS,ax,i}$ nach Gl. (9.1) gemäß einer in Reihe geschalteten Feder bestimmt:

$$K_{ULS,ax,ges} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{K_{ULS,ax,i}}} \quad (9.1)$$

Mit:

$$K_{ULS,ax,i} = \frac{2}{3} \cdot \frac{K_{SLS,ax,i}}{\gamma_M}$$

Die Werte der axialen Steifigkeit berechnen sich gemäß ETA-11/0190 für Nadelholz mit Gl. (9.2).

$$\left. \begin{aligned} K_{SLS,ax,1} \\ K_{SLS,ax,2} \end{aligned} \right\} = 1.250 \cdot d^{0,2} \cdot l_{w,i}^{0,4} \cdot \rho_{mean,i}^{0,2} = \begin{cases} 1.250 \cdot 8^{0,2} \cdot 113^{0,4} \cdot 460^{0,2} = 40.511 \text{ N/mm} \\ 1.250 \cdot 8^{0,2} \cdot 147^{0,4} \cdot 350^{0,2} = 47.534 \text{ N/mm} \end{cases} \quad (9.2)$$

Nach Gl. (9.1) wird $K_{ULS,ax,ges}$ berechnet zu:

$$K_{ULS,ax,ges} = \frac{2}{3 \cdot 1,3} \cdot \frac{1}{\left(\frac{1}{40.511} + \frac{1}{47.534} \right)} = 11.216 \text{ N/mm} \quad (9.3)$$

Der Wert der fugenparallelen Steifigkeit $K_{SLS,v}$ ergibt sich als:

$$K_{SLS,v,d,1} = K_{SLS,v} = K_{ULS,ax} \cdot \cos^2 \varepsilon = 11.261 \cdot \cos^2 45^\circ = 5.610 \text{ N/mm}$$

Bei der Berechnung der γ -Faktoren zur Bestimmung der effektiven Biegesteifigkeit müssen im GZT die abgeminderten Steifigkeiten $E_{d,i}$ berücksichtigt werden. Es ergeben sich $E_{d,1}$ bzw. $E_{d,2}$ zu:

$$\left. \begin{matrix} E_{d,1} \\ E_{d,2} \end{matrix} \right\} = \frac{E_{d,i}}{\gamma_M} = \left\{ \begin{matrix} 9.692 \text{ N/mm}^2 \\ 8.462 \text{ N/mm}^2 \end{matrix} \right.$$

Anschließend ergeben sich die γ_i -Faktoren zu:

$$\gamma_1 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \cdot E_{d,1} \cdot A_1 \cdot s_1}{K_{SLS,v,d,1} \cdot I^2}} = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \cdot 9.692 \cdot 22.400 \cdot 125}{5.610 \cdot 6.500^2}} = 0,469$$

$$\gamma_2 = 1,0$$

Die Abstände der Spannungsnulllinien der Teilquerschnitte $a_{mm,i}$ ergeben sich zu:

$$\begin{aligned} a_{mm,2} &= \frac{\gamma_1 \cdot E_{d,1} \cdot A_1 \cdot (h_1 + h_2)}{2 \cdot (\gamma_1 \cdot E_{d,1} \cdot A_1 + \gamma_2 \cdot E_{d,2} \cdot A_2)} \\ &= \frac{0,469 \cdot 9.692 \cdot 22.400 \cdot (80 + 180)}{2 \cdot (0,469 \cdot 9.692 \cdot 22.400 + 1,0 \cdot 8.462 \cdot 32.400)} \\ &= 35,2 \text{ mm} \\ a_{mm,1} &= \frac{h_1 + h_2}{2} - a_{mm,2} = \frac{80 + 180}{2} - 35,2 = 95 \text{ mm} \end{aligned}$$

Die effektive Biegesteifigkeit des Querschnitts $(EI)_{ef}$ ergibt sich gemäß Gl. (9.4).

$$\begin{aligned} (EI)_{ef} &= E_{d,1} \cdot I_1 + \gamma_1 \cdot E_{d,1} \cdot A_1 \cdot a_{mm,1}^2 + E_{d,2} \cdot I_2 + \gamma_2 \cdot E_{d,2} \cdot A_2 \cdot a_{mm,2}^2 \\ &= 9.692 \cdot 12,0 \cdot 10^6 + 0,469 \cdot 9.692 \cdot 22.400 \cdot 95^2 + 8.462 \cdot 87,5 \cdot 10^6 + 1,0 \cdot 8.462 \cdot 32.400 \cdot 35,2^2 \\ &= 2,115 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^2 \end{aligned} \quad (9.4)$$

Mit Hilfe der effektiven Biegesteifigkeit können abschließend die in den Querschnittsteilen 1 und 2 wirkenden Normal- bzw. Biegespannungsanteile berechnet werden. Diese sind anschließend jeweils zu überlagern, um die Randspannungen der Teilquerschnitte zu berechnen.

Für den Teilquerschnitt 1 (Verstärkung) ergeben sich folgende Spannungen sowie Ausnutzungsgrade:

$$\begin{aligned} \sigma_{c,d,1} &= \frac{M_{Ed}}{(EI)_{ef}} \cdot \gamma_1 \cdot a_{mm,1} \cdot E_{d,1} = \frac{15,3 \cdot 10^6}{2,115 \cdot 10^{12}} \cdot 0,469 \cdot 95 \cdot 9.692 = 3,12 \text{ N/mm}^2 \\ \sigma_{m,d,1} &= \frac{M_{Ed}}{(EI)_{ef}} \cdot 0,5 \cdot h_1 \cdot E_{d,1} = \frac{15,3 \cdot 10^6}{2,115 \cdot 10^{12}} \cdot 0,5 \cdot 80 \cdot 9.692 = 2,80 \text{ N/mm}^2 \\ \sigma_{min,d,1} &= -(\sigma_{c,d,1} + \sigma_{m,d,1}) = -(3,12 + 2,80) = -5,92 \text{ N/mm}^2 \\ \eta_{c,1} &= \frac{3,12}{17,2} = 0,18 \leq 1,0 \\ \eta_{m,1} &= \frac{5,92}{17,2} = 0,34 \leq 1,0 \end{aligned}$$

Für den Teilquerschnitt 2 (Bestand) ergeben sich folgende Spannungen sowie Ausnutzungsgrade:

$$\sigma_{t,d,2} = \frac{M_{Ed}}{(EI)_{ef}} \cdot \gamma_2 \cdot a_{mm,2} \cdot E_{d,2} = \frac{15,3 \cdot 10^6}{2,115 \cdot 10^{12}} \cdot 1,0 \cdot 35,2 \cdot 8,462 = 2,15 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,d,2} = \frac{M_{Ed}}{(EI)_{ef}} \cdot 0,5 \cdot h_2 \cdot E_{d,2} = \frac{15,3 \cdot 10^6}{2,115 \cdot 10^{12}} \cdot 0,5 \cdot 180 \cdot 8,462 = 5,51 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\max,d,2} = \sigma_{t,d,2} + \sigma_{m,d,2} = 2,15 + 5,51 = 7,66 \text{ N/mm}^2$$

$$\eta_{t,2} = \frac{2,15}{8,92} = 0,24 \leq 1,0$$

$$\eta_{m,2} = \frac{7,66}{14,8} = 0,52 \leq 1,0$$

Die maximale Schubspannung im Teilquerschnitt ergibt sich in der Spannungsnulllinie. Für Teilquerschnitt 2 gilt:

$$h = \frac{h_2}{2} + a_{mm,2} = \frac{180}{2} + 35,2 = 125,2 \text{ mm}$$

$$\tau_{\max,d,2} = \frac{(0,5 \cdot E_{d,2} \cdot b_2 \cdot h^2) \cdot V_{Ed}}{b_2 \cdot (EI)_{ef}} = \frac{(0,5 \cdot 8,462 \cdot 180 \cdot 125,2^2) \cdot 9,430}{180 \cdot 2,115 \cdot 10^{12}} = 0,30 \text{ N/mm}^2$$

$$\eta_{v,2} = \frac{0,30}{2,46} = 0,12 \leq 1,0$$

Zusätzlich ist das Verbindungsmittel nachzuweisen. Die Beanspruchung einer Schraube ergibt sich zu:

$$F_{VM,d} = \frac{\gamma_1 \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot a_{mm,1} \cdot s_1 \cdot V_{Ed}}{(EI)_{ef}} = \frac{0,469 \cdot 9,692 \cdot 22,400 \cdot 95 \cdot 125 \cdot 9,430}{2,115 \cdot 10^{12}} = 5,391 \text{ N}$$

Der Auszieh Widerstand einer Schraube gemäß Abschnitt 3.7.1 berechnet zu:

$$F_{w,k} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{1,0 \cdot 12,0 \cdot 8,0 \cdot 113}{1,0} \cdot \left(\frac{425}{350} \right)^{0,8} = 12,7 \text{ kN} \\ \frac{1,0 \cdot 12,0 \cdot 8,0 \cdot 147}{1,0} \cdot \left(\frac{350}{350} \right)^{0,8} = 14,1 \text{ kN} \end{array} \right.$$

$$F_{ax,t,d} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{k_{mod} \cdot F_{w,k}}{\gamma_M} = \frac{0,8 \cdot 12,7}{1,3} = \underline{\underline{7,80 \text{ kN}}} \\ \frac{F_{t,k}}{\gamma_M} = \frac{22}{1,3} = 16,9 \text{ kN} \end{array} \right.$$

Der axiale Tragwiderstand muss in einen fugenparallelen Tragwiderstand $F_{v,d}$ umgerechnet werden:

$$F_{v,d} = F_{ax,t,d} \cdot (\cos \varepsilon + \mu \cdot \sin \varepsilon) = 7,8 \cdot (\cos 45^\circ + 0,25 \cdot \sin 45^\circ) = 6,89 \text{ kN}$$

Der Ausnutzungsgrad der Schraube ergibt sich abschließend zu:

$$\eta_{ax} = \frac{F_{VM,d}}{F_{v,d}} = \frac{5,39}{6,89} = 0,78 \leq 1,0$$

Ausführungshinweis:

- Der Kontakt ist durch konstruktiv eingebrachte Teilgewindeschrauben sicherzustellen.

9.2 Beispiel seitliche Verstärkung

9.2.1 Allgemeines

Die folgenden Randbedingungen sind bei der Bemessung eines Systems mit seitlicher Verstärkung einzuhalten:

- Beide Querschnitte sind als Einfeldträger mit Auflagern in gleichen Positionen und damit gleicher Feldlänge ausgeführt.
- Der Bestandsquerschnitt kann einen Teil seiner Last nur dann an das verstärkende Bauteil abgeben, wenn der Bestandsträger vor dem Verschrauben entlastet wird.

$$q_{d,i} = q_d \cdot \frac{E_{0,\text{mean},i} \cdot I_{y,i}}{\sum E_i \cdot I_i} \quad (9.5)$$

Mit:

q_d	Bemessungswert der Belastung, hier als Linienlast der maßgebenden Kombination
$E_{0,\text{mean},i}$	Mittlerer Elastizitätsmodul parallel zur Faserrichtung des Querschnitts i
$I_{y,i}$	Flächenträgheitsmoment um die y-Achse des Querschnitts i
$\sum E_i \cdot I_i$	Summe aller Biegesteifigkeiten des Einzelquerschnitts i

Der Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit erfordert die Berechnung der Durchbiegung im Anfangszustand (Index *inst*, Gl. (9.6)) und Endzustand (Index *fin*, Gl. (9.7)) nach EC 5, NDP zu Abschnitt 7.2(2) Grenzwerte für Durchbiegung. Zusätzlich ist die gesamte Enddurchbiegung (Index *net,fin*, Gl. (9.8)) zu bestimmen.

$$w_{\text{inst}} = w_{\text{inst}}(q_{\text{char}}) \quad (9.6)$$

$$w_{\text{fin}} = w_{\text{inst}}(q_{\text{char}}) + w_{\text{creep}}(q_{\text{qs}}) \quad (9.7)$$

$$w_{\text{net,fin}} = w_{\text{inst}}(q_{\text{qs}}) + w_{\text{creep}}(q_{\text{qs}}) \quad (9.8)$$

Mit:

q_{char}	Charakteristische Lastkombination $\sum_{i \geq 1} g_k + q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_0 \cdot q_{k,i}$
q_{qs}	Quasi-ständige Lastkombination $\sum_{i \geq 1} g_k + \sum_{i \geq 1} \psi_2 \cdot q_{k,i}$
$w_{\text{creep}} = w_{\text{inst}} \cdot k_{\text{def}}$	Kriechverformung
k_{def}	Kriechfaktor (siehe EC 5, Tab. 3.2); für ST/FST, GL, LVL gilt: NKL1: 0,6; NKL2: 0,8; NKL3: 2,0
ψ_0, ψ_2	Kombinationsbeiwerte nach DIN EN 1990

9.2.2 Angaben zu Bestand und Verstärkung

Geometrie und Material		Bestand	Verstärkung
Material		D30	GLVL aus Buche (ETA-14/0354)
Trägerlänge	$L_{\text{Träger}}$	5 m	5 m
Nutzungsklasse	NKL	1	1
Querschnitt	B x H	220 x 280 mm ²	40 x 300 mm ²
Elastizitätsmodul	E	11.000 N/mm ²	16.800 N/mm ²
Rohdichte in kg/m ³	ρ_k	530 kg/m ³	730 kg/m ³
charakteristische Biegefestigkeit	$f_{m,k}$	30 N/mm ²	75 N/mm ²
charakteristische Schubfestigkeit	$f_{v,k}$	3,9 N/mm ²	4,5 N/mm ²
Rissfaktor	k_{cr}	0,67	1,0

Verbindungsmittel

Schraubenkreuze aus ASSY®plus VG 4 CH
6,0 x 180

Schraubenkreuzabstand	e_{con}	1,25 m	1,25 m
Decklage-Schrauben-Winkel	β	45°	45°
Einschraubwinkel	ε	90°	90°

Einwirkung

LF0: Ständige Lasten (KLED = ständig)	g_k	5,7 kN/m
LF1: Veränderliche Lasten (Kategorie B, KLED = mittel)	$q_{k,1}$	4,0 kN/m
LF2: Veränderliche Lasten (Schnee, KLED = kurz)	$q_{k,2}$	2,0 kN/m
Teilsicherheitsbeiwert	γ_M	1,3

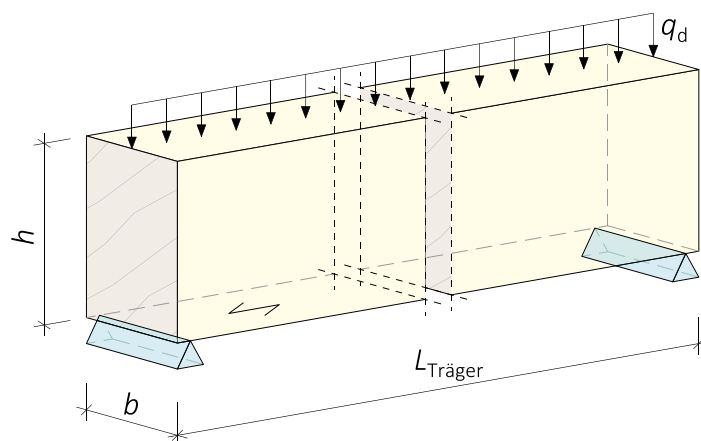


Bild 101: Rechenbeispiel – System im Bestand.

Querschnittseigenschaften

Aus Geometrie und Material ergeben sich die Querschnittsfläche A , Widerstandsmoment W_y und Flächenträgheitsmoment I_y (Index 1 für Verstärkung, Index 2 für Bestand):

$$A_1 = b_1 \cdot h_1 = 4 \cdot 30 = 120 \text{ cm}^2$$

$$A_2 = b_2 \cdot h_2 = 22 \cdot 28 = 616 \text{ cm}^2$$

$$W_{y,1} = \frac{b_1 \cdot h_1^2}{6} = \frac{4 \cdot 30^2}{6} = 600 \text{ cm}^3$$

$$W_{y,2} = \frac{b_2 \cdot h_2^2}{6} = \frac{22 \cdot 28^2}{6} = 2.875 \text{ cm}^3$$

$$I_{y,1} = \frac{b_1 \cdot h_1^3}{12} = \frac{4 \cdot 30^3}{12} = 9.000 \text{ cm}^4$$

$$I_{y,2} = \frac{b_2 \cdot h_2^3}{12} = \frac{22 \cdot 28^3}{12} = 40.245 \text{ cm}^4$$

9.2.3 Nachweis des Bestands

Maßgebende Kombination

$$\begin{aligned} \text{Lastfallkombination (LFK)} \quad q_d &= 1,35 \cdot LF0 + 1,5 \cdot LF1 \\ &= 1,35 \cdot 5,75 + 1,5 \cdot 4,0 = 13,8 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Klasse der Lasteinwirkungsdauer} &\quad \text{mittel} \\ \text{Modifikationsbeiwert} &\quad k_{\text{mod}} = 0,8 \\ \text{Verformungsbeiwert} &\quad k_{\text{def}} = 0,6 \end{aligned}$$

Zunächst wird anhand der Bauteilnachweise überprüft, ob eine Verstärkung erforderlich ist:

$$M_{\text{Ed}} = q_d \cdot \frac{L_{\text{Träger}}^2}{8} = 13,8 \cdot \frac{5^2}{8} = 43,1 \text{ kNm}$$

$$V_{\text{Ed}} = q_d \cdot \frac{L_{\text{Träger}}}{2} = 13,8 \cdot \frac{5}{2} = 34,5 \text{ kN}$$

$$\sigma_{\text{m,d}} = \frac{M_{\text{Ed}}}{W_{y,2}} = \frac{43,1}{2,87} = 15,0 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{\text{z,d}} = 1,5 \cdot \frac{V_{\text{Ed}}}{k_{\text{cr,2}} \cdot A_2} = 1,5 \cdot \frac{34,5}{0,67 \cdot 61,6} = 1,25 \text{ N/mm}^2$$

Im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT) ergeben sich folgende Nachweise:

$$f_{\text{m,d,2}} = \frac{f_{\text{m,k,2}} \cdot k_{\text{mod}}}{\gamma_{\text{M}}} = \frac{30 \cdot 0,8}{1,3} = 18,5 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{\text{v,d,2}} = \frac{f_{\text{v,k,2}} \cdot k_{\text{mod}}}{\gamma_{\text{M}}} = \frac{3,9 \cdot 0,8}{1,3} = 2,40 \text{ N/mm}^2$$

$$\eta_{\text{m}} = \frac{\sigma_{\text{m,d}}}{f_{\text{m,d,2}}} = \frac{15,0}{18,5} = 0,81 < 1,0 \quad \checkmark$$

$$\eta_{\text{v}} = \frac{\tau_{\text{z,d}}}{f_{\text{v,d,2}}} = \frac{1,25}{2,40} = 0,52 < 1,0 \quad \checkmark$$

Mit der maßgebenden charakteristischen Lastkombination werden die für die Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit erforderlichen Durchbiegungen nach Gl. (9.6) berechnet. Als Kombinationsbeiwerte nach DIN EN 1990 ergeben sich $\psi_0 = 0,5$ (Schnee), $\psi_2 = 0,3$ (Nutzlast, Kategorie B) und $\psi_2 = 0$ (Schnee).

$$q_{\text{char}} = 5,75 + 4 + 0,5 \cdot 2 = 10,75 \text{ kN/m}$$

$$q_{\text{qs}} = 5,75 + 0,3 \cdot 4 + 0 \cdot 2 = 6,95 \text{ kN/m}$$

$$w_{\text{inst}}(q_{\text{char}}) = \frac{q_{\text{char}} \cdot L_{\text{Träger}}^4}{76,8 \cdot E_{0,\text{mean,2}} \cdot I_{y,2}} = \frac{10,75 \cdot 5^4}{76,8 \cdot 11000 \cdot 40245} \cdot 10^8 = 19,8 \text{ mm}$$

Mit der Anfangsverformung des quasi-ständigen Lastanteils $w_{\text{inst}}(q_{\text{qs}})$ kann die Kriechverformung w_{creep} mit einem Kriechfaktor von $k_{\text{def}} = 0,6$ für ST/FST berechnet werden:

$$w_{\text{inst}}(q_{\text{qs}}) = \frac{q_{\text{qs}} \cdot L_{\text{Träger}}^4}{76,8 \cdot E_{0,\text{mean},2} \cdot I_{y,2}} = \frac{6,95 \cdot 5^4}{76,8 \cdot 11000 \cdot 40245} \cdot 10^8 = 12,8 \text{ mm}$$

$$w_{\text{creep}}(q_{\text{qs}}) = 12,8 \cdot 0,6 = 7,68 \text{ mm}$$

Die Enddurchbiegung w_{fin} sowie die gesamte Enddurchbiegung unter quasi-ständigen Lasten $w_{\text{net,fin}}$ werden gemäß Gln. (9.7) und (9.8) berechnet:

$$w_{\text{fin}} = 19,8 + 7,68 = 27,4 \text{ mm}$$

$$w_{\text{net,fin}} = 12,8 + 7,68 = 20,5 \text{ mm}$$

Mit den Grenzwerten der Verformungen nach EC 5, Abschnitt 7.2 (NDP zu 7.2(2) Grenzwerte für Durchbiegung

$w_{\text{inst}} \leq l_{\text{Träger}}/300$; $w_{\text{fin}} \leq l_{\text{Träger}}/200$, $w_{\text{net,fin}} \leq l_{\text{Träger}}/300$) ergeben sich:

$$\eta_{\text{inst}} = \frac{w_{\text{inst}}}{l_{\text{Träger}}/300} = \frac{19,8}{5.000/300} = 1,19 > 1,0 \quad \text{⚡}$$

$$\eta_{\text{fin}} = \frac{w_{\text{fin}}}{l_{\text{Träger}}/200} = \frac{27,4}{5.000/200} = 1,1 > 1,0 \quad \text{⚡}$$

$$\eta_{\text{net,fin}} = \frac{w_{\text{net,fin}}}{l_{\text{Träger}}/300} = \frac{20,5}{5.000/300} = 1,23 > 1,0 \quad \text{⚡}$$

Die Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit sind nicht eingehalten. Eine Verstärkung ist erforderlich.

9.2.4 Nachweis des verstärkten Systems

Zur Verstärkung wird einseitig eine 40 mm dicke Platte aus Furnierschichtholz (LVL) aus Buche (ETA-14/0354) vorgesehen, die mit Schraubenkreuzen aus ASSY®plus VG 4 CH 6,0 x 180 mm im Abstand von $e_{\text{con}} = 1,25 \text{ m}$ befestigt wird.

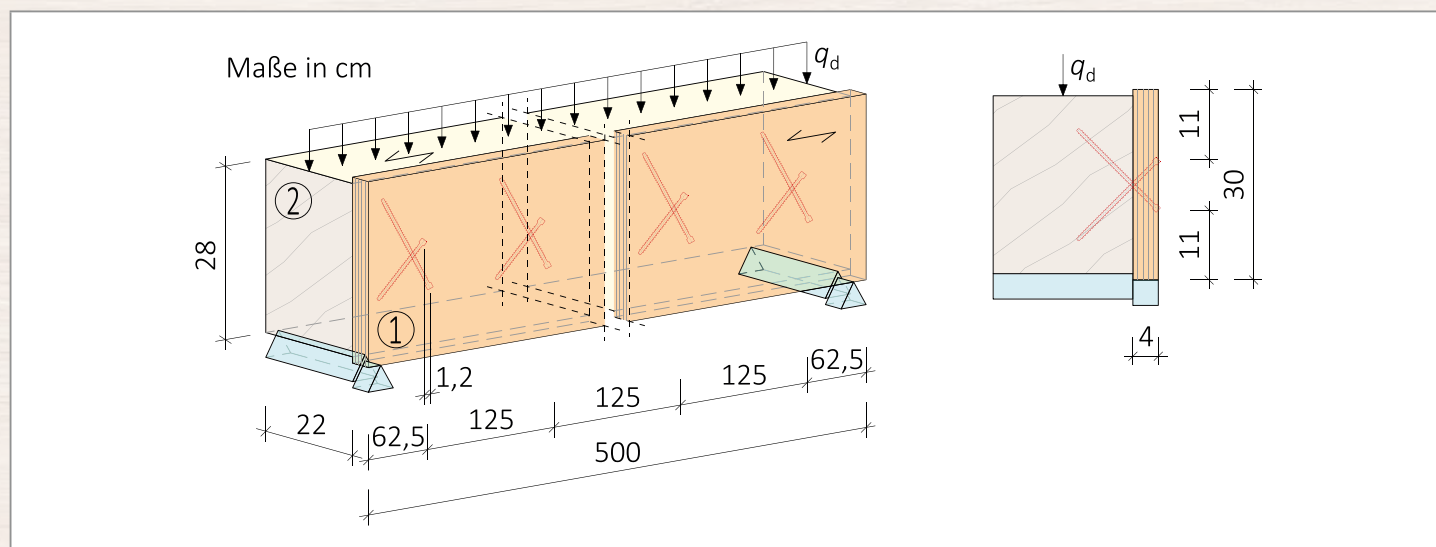


Bild 102: Rechenbeispiel – System im Bestand mit Verstärkung.

Lastanteile $q_{d,1}$ und $q_{d,2}$ nach Gl. (9.5)

$$q_{d,1} = q_d \cdot \frac{E_{0,\text{mean},1} \cdot I_{y,1}}{\Sigma E_i \cdot I_i} = 13,8 \cdot \frac{168 \cdot 90}{168 \cdot 90 + 110 \cdot 402,45} = 3,51 \text{ kN/m}$$

$$q_{d,2} = q_d \cdot \frac{E_{0,\text{mean},2} \cdot I_{y,2}}{\Sigma E_i \cdot I_i} = 13,8 \cdot \frac{110 \cdot 402,45}{168 \cdot 90 + 110 \cdot 402,45} = 10,3 \text{ kN/m}$$

Über die Bemessungswerte von Moment und Querkraft werden die Biege- und Schubspannungen berechnet:

$$M_{Ed,1} = q_{d,1} \cdot \frac{L_{Träger}^2}{8} = 3,51 \cdot \frac{5^2}{8} = 11,0 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,2} = q_{d,2} \cdot \frac{L_{Träger}^2}{8} = 10,3 \cdot \frac{5^2}{8} = 32,2 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed,1} = q_{d,1} \cdot \frac{L_{Träger}}{2} = 3,51 \cdot \frac{5}{2} = 8,78 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,2} = q_{d,2} \cdot \frac{L_{Träger}}{2} = 10,3 \cdot \frac{5}{2} = 25,8 \text{ kN}$$

$$\sigma_{m,d,1} = \frac{M_{Ed,1}}{W_{y,1}} = \frac{11,0}{0,6} = 18,3 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,d,2} = \frac{M_{Ed,2}}{W_{y,2}} = \frac{32,2}{2,87} = 11,2 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{z,d,1} = 1,5 \cdot \frac{V_{Ed,1}}{k_{cr,1} \cdot A_1} = 1,5 \cdot \frac{8,78}{1,0 \cdot 12} = 1,10 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{z,d,2} = 1,5 \cdot \frac{V_{Ed,2}}{k_{cr,2} \cdot A_2} = 1,5 \cdot \frac{25,8}{0,67 \cdot 61,6} = 0,94 \text{ N/mm}^2$$

Im GZT ergeben sich folgende Spannungsnachweise:

$$f_{m,d,1} = \frac{f_{m,k,1} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{75 \cdot 0,8}{1,3} = 46,2 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,d,1} = \frac{f_{v,k,1} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{4,5 \cdot 0,8}{1,3} = 2,77 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{m,d,2} = \frac{f_{m,k,2} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{30 \cdot 0,8}{1,3} = 18,5 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,d,2} = \frac{f_{v,k,2} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{3,9 \cdot 0,8}{1,3} = 2,40 \text{ N/mm}^2$$

$$\eta_{m,1} = \frac{\sigma_{m,d,1}}{f_{m,d,1}} = \frac{18,3}{46,2} = 0,40 < 1,0 \quad \checkmark$$

$$\eta_{m,2} = \frac{\sigma_{m,d,2}}{f_{m,d,2}} = \frac{11,2}{18,5} = 0,61 < 1,0 \quad \checkmark$$

$$\eta_{v,1} = \frac{\tau_{z,d,1}}{f_{v,d,1}} = \frac{1,10}{2,77} = 0,40 < 1,0 \quad \checkmark$$

$$\eta_{v,2} = \frac{\tau_{z,d,2}}{f_{v,d,2}} = \frac{0,94}{2,40} = 0,39 < 1,0 \quad \checkmark$$

Mit der Durchbiegung der Einfeldträger im Anfangs- und Endzustand ergeben sich die für die Nachweise im GZG erforderlichen Verformungen gemäß Gl. (9.6) bis (9.8):

$$w_{inst}(q_{char}) = \frac{q_{char} \cdot L_{Träger}^4}{76,8 \cdot \Sigma E_{0,mean,i} \cdot I_{y,i}} = \frac{10,75 \cdot 5^4}{76,8 \cdot (16,8 \cdot 9.000 + 11 \cdot 40.245)} \cdot 10^5 = 14,7 \text{ mm}$$

$$w_{inst}(q_{qs}) = \frac{q_{qs} \cdot L_{Träger}^4}{76,8 \cdot \Sigma E_{0,mean,i} \cdot I_{y,i}} = \frac{6,95 \cdot 5^4}{76,8 \cdot (16,8 \cdot 9.000 + 11 \cdot 40.245)} \cdot 10^5 = 9,52 \text{ mm}$$

$$w_{creep} = w_{inst}(q_{qs}) \cdot k_{def} = 9,52 \cdot 0,6 = 5,71 \text{ mm}$$

$$w_{fin} = 14,7 + 5,71 = 20,4 \text{ mm}$$

$$w_{net,fin} = 9,52 + 5,71 = 15,2 \text{ mm}$$

Mit den Grenzwerten der Verformungen nach EC 5, Abschnitt 7.2 (NDP zu 7.2(2)) Grenzwerte für Durchbiegung $w_{\text{inst}} \leq l_{\text{Träger}}/300$; $w_{\text{fin}} \leq l_{\text{Träger}}/200$, $w_{\text{net,fin}} \leq l_{\text{Träger}}/300$ ergeben sich folgende Nachweise:

$$\eta_{\text{inst}} = \frac{w_{\text{inst}}}{l_{\text{Träger}}/300} = \frac{14,7}{50/3} = 0,88 < 1,0 \quad \checkmark$$

$$\eta_{\text{fin}} = \frac{w_{\text{fin}}}{l_{\text{Träger}}/200} = \frac{20,4}{50/2} = 0,82 < 1,0 \quad \checkmark$$

$$\eta_{\text{net,fin}} = \frac{w_{\text{net,fin}}}{l_{\text{Träger}}/300} = \frac{15,2}{50/3} = 0,91 < 1,0 \quad \checkmark$$

Die Nachweise des verstärkten Systems sind eingehalten.

9.2.5 Nachweis der Vollgewindeschrauben

Als Verbindungsmittel werden Schrauben ASSY®plus VG 4 CH 6,0 x 180 mm gewählt. Nach Gl. (3.7) ergibt sich der charakteristische Zugwiderstand zu:

$$F_{t,k} = f_{\text{tens,k}} = 11,5 \text{ kN (siehe Abschnitt 3.4)}$$

und der charakteristische Auszieh Widerstand zu:

$$F_{w,k} = \frac{k_{\text{ax}} \cdot f_{\text{ax,k}} \cdot d \cdot l_w}{k_{\beta}} \cdot \left(\frac{\rho_k}{\rho_{\text{ref,k}}} \right)^{0,8} \quad \text{(siehe Abschnitt 3.6)}.$$

In Verstärkung und Bestand sind die Verankerungslängen und der Beiwert zur Berücksichtigung des Winkels β (siehe Abschnitt 3.3) zu berechnen:

$$l_1 = \frac{t_1}{\sin \beta} = \frac{40}{\sin 45^\circ} = 56,5 \text{ mm}$$

$$l_{w,1} = l_1 - k = 56,5 - 4,7 = 52 \text{ mm}$$

$$l_{w,2} = l - l_{w,1} = 180 - 57 = 123 \text{ mm}$$

$$k_{\beta,1} = 1,5 \cdot \cos^2 \beta + \sin^2 \beta = 1,5 \cdot (\cos 45^\circ)^2 + (\sin 45^\circ)^2 = 1,25$$

$$k_{\beta,2} = 1,0$$

Bauteil	1	2	
Rohdichte	$\rho_{k,i} = 730$	530	kg/m ³
Bezugsrohndichte	$\rho_{\text{ref,k,i}} = 730$	350	kg/m ³
Ausziehparameter	$f_{\text{ax,k,i}} = 35,0$	13,0	N/mm ²



4 x 2 ASSY®plus
VG 4 CH 6,0 x 180

Kopfhöhe $k = 4,7 \text{ mm}$
Vorbohr-Ø: 4 mm

$$F_{w,k,1} = \frac{k_{\text{ax}} \cdot f_{\text{ax,k,1}} \cdot d \cdot l_{w,1}}{k_{\beta,1}} \cdot \left(\frac{\rho_{k,1}}{\rho_{\text{ref,k,1}}} \right)^{0,8} = \frac{1,0 \cdot 35,0 \cdot 6,0 \cdot 52}{1,25} \cdot \left(\frac{730}{730} \right)^{0,8} = 8,71 \text{ kN}$$

$$F_{w,k,2} = \frac{k_{\text{ax}} \cdot f_{\text{ax,k,2}} \cdot d \cdot l_{w,2}}{k_{\beta,2}} \cdot \left(\frac{\rho_{k,2}}{\rho_{\text{ref,k,2}}} \right)^{0,8} = \frac{1,0 \cdot 13,0 \cdot 6,0 \cdot 123}{1,0} \cdot \left(\frac{530}{350} \right)^{0,8} = 13,4 \text{ kN}$$

Der Bemessungswert des Tragwiderstands ergibt sich zu:

$$\begin{aligned} F_{\text{ax,t,d}} &= \min \left\{ \frac{k_{\text{mod}}}{\gamma_M} \cdot F_{w,k,1}; \frac{k_{\text{mod}}}{\gamma_M} \cdot F_{w,k,2}; \frac{F_{t,k}}{\gamma_M} \right\} \\ &= \min \left\{ \frac{0,8}{1,3} \cdot 8,71; \frac{0,8}{1,3} \cdot 13,4; \frac{11,5}{1,3} \right\} \\ &= \min \{ 5,85; 8,26; 8,85 \} \\ &= 5,85 \text{ kN} \end{aligned}$$

Der Bemessungswert des Tragwiderstands in Lastrichtung ergibt sich zu:

$$F_{v,d} = F_{ax,t,d} \cdot \cos \varepsilon = 5,85 \cdot \cos 45^\circ = 4,14 \text{ kN}$$

Mit der Einwirkung $q_{d,1}$ in kN/m, dem Abstand der Schraubenkreuze e_{con} in m, und der Schraubenanzahl je Kreuz n_{con} ergibt sich die Einwirkung je Schraube zu:

$$F_{v,Ed} = q_{d,1} \cdot \frac{e_{con}}{n_{con}} = 3,51 \cdot \frac{1,25}{2} = 2,19 \text{ kN}$$

$$\eta = \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,d}} = \frac{2,19}{4,14} = 0,53 < 1,0 \quad \checkmark$$

Prüfung Breite:

$$b_{min} = 2 \cdot a_{4,CG} = 2 \cdot 3 \cdot d = 2 \cdot 3 \cdot 6 = 36 \text{ mm}$$

$$b_{min} < b_{ist} \quad \checkmark$$

10 BEFESTIGUNG VON AUFDACH- DÄMMSYSTEMEN



10.1 Allgemeines

ASSY® Schrauben mit einem Gewindeaußendurchmesser von mindestens 6 mm dürfen für die Befestigung von Aufdach-Dämmsystemen auf Sparren oder Holzbauteilen in vertikalen Fassaden verwendet werden.

Im Folgenden bezieht sich die Bezeichnung „Sparren“ auch auf Holzbauteile mit einer Neigung von 0° bis 90°. Die Dicke der Wärmedämmung darf maximal 400 mm betragen. Die Wärmedämmung muss in Übereinstimmung mit den am Ort des Einbaus geltenden nationalen Bestimmungen als Aufsparren-Dämmung anwendbar sein.

Die Konterlatten müssen aus Vollholz (ST/FST) nach EN 338/ EN 14081-1 bestehen. Für die Konterlatten sind die Mindestabmessungen nach Tabelle 56 einzuhalten.

Tabelle 56: Minimale Querschnittsabmessungen der Latten.

Gewindeaußendurchmesser d in mm	6	6,5	7	8	10	12	14
Mindestbauteildicke t_{\min} in mm	30	30	30	30	40	80	100
Mindestbauteilbreite b_{\min} in mm	50	50	50	50	60	100	100
Regelwerk: ETA-11/0190							

Die minimale Breite der Sparren beträgt 60 mm. Der Abstand e zwischen den Schrauben darf nicht mehr als 1,75 m betragen.

Reibungskräfte dürfen bei der Ermittlung der charakteristischen Ausziehungskraft der Schrauben nicht in Rechnung gestellt werden.

Bei der Bemessung der Konstruktion sind die Verankerung von Windsogkräften sowie die Biegebeanspruchung der Latten zu berücksichtigen. Falls erforderlich, sind zusätzliche Schrauben rechtwinklig zur Sparrenlängsachse anzuordnen (Winkel $\varepsilon = 90^\circ$).

Zusätzlich zu den üblichen Dachlasten aus Schnee und Wind ist eine Mannlast von $F_{Q,k} = 1$ kN bei der Bemessung der Lattung zu berücksichtigen.

Generell kann von einem Knicken der Schraube im Eulerfall II bei druckweichem Dämmstoff ausgegangen werden. Der Tragwiderstand der Schraube bestimmt sich dabei als das Minimum aus dem Tragwiderstand auf Hineindrücken der Schraube in Latte bzw. Sparren sowie dem Knickwiderstand des freien Schraubenteils, siehe Gl. (10.1).

$$F_{ax,c,d} = \min \left\{ F_{w,d, Latte}; F_{w,d, Sparren}; \frac{F_{c,k}}{\gamma_{M1}} \right\} \quad (10.1)$$

Mit:

$F_{w,d, Latte}$	Tragwiderstand der Schraube gegen Hineindrücken in die Konterlatte nach Abschnitt 3.6, Gl. (3.21)
$F_{w,d, Sparren}$	Tragwiderstand der Schraube gegen Hineindrücken in den Sparren nach Abschnitt 3.6, Gl. (3.21) mit $l_w \geq 40$ mm
$F_{c,k}$	Charakteristischer Knickwiderstand der Schraube nach Abschnitt 3.5, Gln. (3.8) bis (3.11) und Gln. (3.16) und (3.9), bzw. Tabelle 26

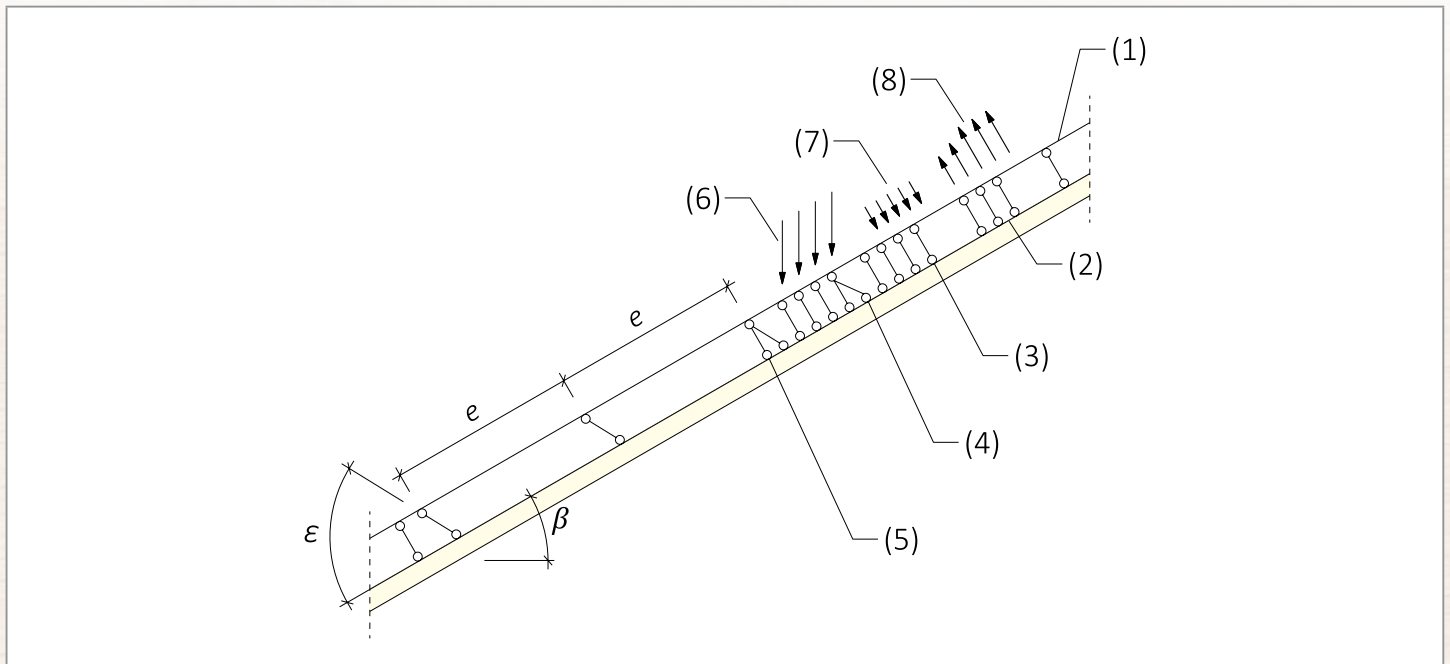


Bild 104: Mechanisches System einer Aufdachdämmung mit druckfestem Dämmstoff.

- (1) Achse der Konterlatte, (2) Oberkante Sparren, (3) Druckkraftübertragung in die Wärmedämmung, (4) Zugkraft in Schraubenachse TS, (5) Konzentrierte Druckkraftübertragung in die Wärmedämmung, (6) Eigen- und Schneelast, (7) Winddruck, (8) Windsog.

10.2.2 Bemessung der Konterlatten

Es wird angenommen, dass der Abstand der Konterlatte die charakteristische Länge von l_{char} überschreitet. Das charakteristische Biegemoment kann wie folgt berechnet werden:

$$M_k = \frac{(F_{b,k} + F_{s,k}) \cdot l_{\text{char}}}{4} \quad (10.2)$$

Mit:

l_{char} Charakteristische Länge der Lattung

$$l_{\text{char}} = \sqrt[4]{\frac{4 \cdot EI}{w_{\text{ef}} \cdot K}}$$

EI Biegesteifigkeit der Lattung

K Bettungsziffer

$$K = \frac{E_{\text{HI}}}{t_{\text{HI}}}$$

w_{ef} Effektive Breite der Wärmedämmung

$F_{b,k}$ Charakteristischer Wert der Einzellasten rechtwinklig zu den Latten

$F_{s,k}$ Charakteristischer Wert der Einzellasten rechtwinklig zu den Latten, Lastangriff im Bereich der Schraubenköpfe

Die Bettungsziffer K kann aus dem Elastizitätsmodul E_{HI} und der Dicke t_{HI} der Wärmedämmung berechnet werden, wenn die effektive Breite w_{ef} der Wärmedämmung unter Druck bekannt ist. Aufgrund der Lastausbreitung in der Wärmedämmung ist die effektive Breite größer als die Breite der Latte bzw. des Sparrens. Für weitere Berechnungen kann die effektive Breite w_{ef} der Wärmedämmung wie folgt bestimmt werden:

$$w_{\text{ef}} = w + t_{\text{HI}} / 2 \quad (10.3)$$

Mit:

w Minimum aus Breite der Latte bzw. des Sparrens

t_{HI} Dicke der Wärmedämmung

Folgende Bedingung muss erfüllt werden:

$$\frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} = \frac{M_{Ed}}{W \cdot f_{m,d}} \leq 1 \quad (10.4)$$

Bei der Berechnung des Widerstandsmoments ist der Nettoquerschnitt zu berücksichtigen.

Der charakteristische Wert der Beanspruchung aus Schub ist wie folgt zu berechnen:

$$V_k = \frac{F_{b,k} + F_{s,k}}{2} \quad (10.5)$$

Folgende Bedingung ist zu erfüllen:

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq \frac{1,5 \cdot V_{Ed}}{A \cdot k_{cr} \cdot f_{v,d}} \quad (10.6)$$

Bei der Berechnung der Querschnittsfläche ist der Nettoquerschnitt zu berücksichtigen.

10.2.3 Bemessung der Wärmedämmung

Der charakteristische Wert der Druckspannung in der Wärmedämmung ist wie folgt zu berechnen:

$$\sigma_{c,k} = \frac{1,5 \cdot F_{b,k} + F_{s,k}}{2 \cdot l_{char} \cdot w} \quad (10.7)$$

Der Bemessungswert der Druckspannung $\sigma_{c,d}$ soll nicht größer als 110 % der Druckspannung bei 10 % Stauchung (berechnet nach EN 826) sein:

$$\frac{\sigma_{c,d}}{1,1 \cdot \sigma_{10\%}} \leq 1 \quad (10.8)$$

10.2.4 Bemessung der Schrauben

Die Schrauben werden vorwiegend in Richtung der Schraubenachse beansprucht. Der charakteristische Wert der axialen Zugkraft in der Schraube $T_{S,k}$ kann aus den Schubbeanspruchungen des Daches $R_{S,k}$ gemäß Gl. (10.9) berechnet werden, wobei die Konventionen gemäß Bild 100 gelten.

$$T_{S,k} = \frac{R_{S,k}}{\cos \varepsilon} \quad (10.9)$$

Der Tragwiderstand der in Achsrichtung beanspruchten Schrauben ist das Minimum aus den Bemessungswerten des Auszieh Widerstands, des Kopfdurchzieh Widerstands und des Zugwiderstands der Schraube nach Gl. (3.19). Um die Verformung des Schraubenkopfes bei einer Dicke der Wärmedämmung von über 200 mm bzw. einer Druckfestigkeit der Wärmedämmung unter 0,12 N/mm² zu begrenzen, ist der Tragwiderstand der Schrauben auf Herausziehen mit den Faktoren k_1 und k_2 gemäß Gl. (10.10) abzumindern. Wenn Gl. (10.10) angewendet wird, braucht die Verformung der Latten bei der Bemessung des Tragwiderstands der Schrauben nicht berücksichtigt werden.

$$F_{ax,t,d} = \min \begin{cases} F_{w,d} \cdot k_1 \cdot k_2 \\ F_{pull,d} \\ F_{t,d} \end{cases} \quad (10.10)$$

Mit:

$$k_1 = \min\{1; 220 / t_{HI}\}$$

$$k_2 = \min\{1; \sigma_{10\%} / 0,12\}$$

Für die Schrauben ist folgender Nachweis zu führen:

$$\eta_{ax} = \frac{T_{S,d}}{F_{ax,t,d}} \leq 1 \quad (10.11)$$

10.3 Schrauben mit wechselnder Neigung – Befestigung von Aufdach-Dämmsystemen aus druckweichen Dämmstoffen

10.3.1 Mechanisches Modell

In Abhängigkeit vom Schraubenabstand und der Anordnung der zug- und druckbeanspruchten Schrauben (siehe Bild 105) mit unterschiedlichen Neigungen werden die Latten signifikant durch Biegemomente beansprucht. Die Ableitung der Biegemomente erfolgt auf der Grundlage der folgenden Annahmen:

- Die Zug- und Druckbeanspruchungen in den Schrauben werden auf der Grundlage der Gleichgewichtsbedingungen aus den parallel und rechtwinklig zur Dachfläche wirkenden Einwirkungen ermittelt. Die Einwirkungen sind konstante Linienlasten q_{\perp} und q_{\parallel} .
- Die auf Druck beanspruchten Schrauben werden als Pendelstützen mit einer angenommenen Auflagertiefe von jeweils 10 mm in der Latte und im Sparren angesehen. Die effektive Pendelstützenlänge ergibt sich damit aus der freien Länge der Schraube zwischen Latte und Sparren plus 20 mm.
- Die Latten werden als Durchlaufträger mit einer konstanten Spannweite von $l_{\text{Feld}} = A + B$ (siehe Bild 106) berücksichtigt. Die auf Druck beanspruchten Schrauben bilden die Auflager des Durchlaufträgers und über die auf Zug beanspruchten Schrauben werden konzentrierte Einzellasten rechtwinklig zur Lattenlängsrichtung eingetragen.

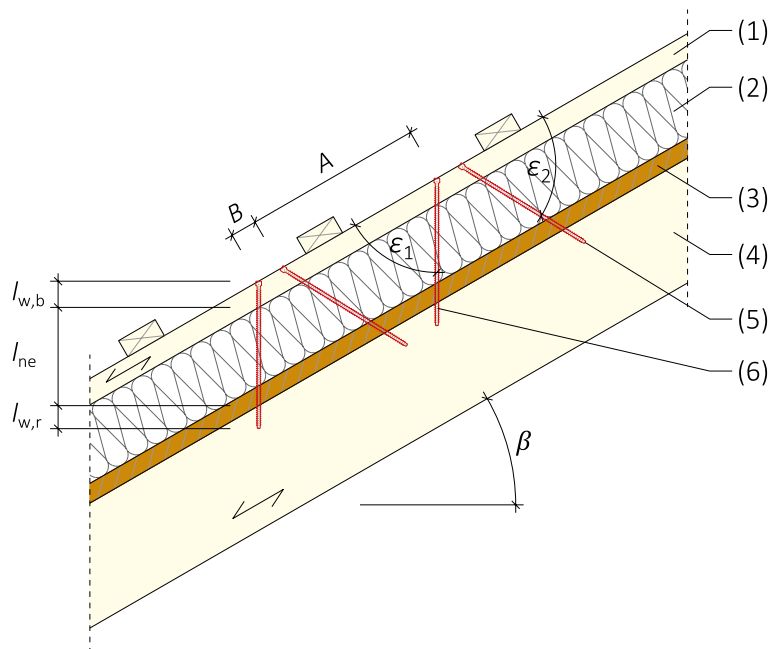


Bild 105: Anordnung der Schrauben bei einer Aufdachdämmung mit druckweichem Dämmstoff.

(1) Konterlattung, (2) Dämmung, (3) Dachschalung, (4) Sparren, (5) auf Zug beanspruchte Schraube, (6) auf Druck beanspruchte Schraube.

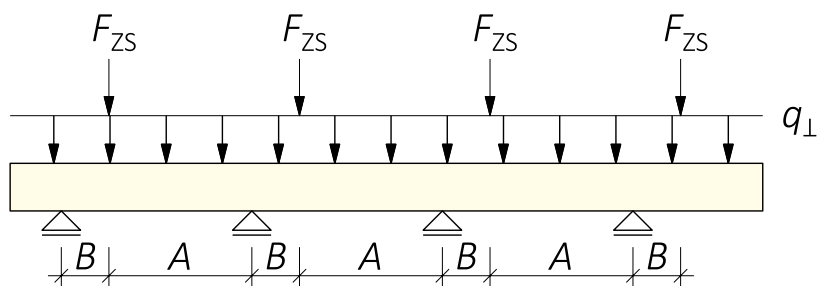


Bild 106: Mechanisches System einer Aufdachdämmung mit druckweichem Dämmstoff.

Die Schrauben werden überwiegend auf Herausziehen oder Druck beansprucht. Die charakteristischen Werte der Normalkräfte in den auf Druck beanspruchten Schrauben $N_{c,k}$ bzw. den auf Zug beanspruchten Schrauben $N_{t,k}$ werden aus den Einwirkungen parallel und rechtwinklig zur Dachfläche gemäß den Gln. (10.12) und (10.13) ermittelt.

$$N_{c,k} = (A + B) \cdot \left(-\frac{q_{\parallel,k}}{\cos \varepsilon_1 + \sin \varepsilon_1 / \tan \varepsilon_2} - \frac{q_{\perp,k} \cdot \sin(90^\circ - \varepsilon_2)}{\sin(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)} \right) \quad (10.12)$$

$$N_{t,k} = (A + B) \cdot \left(\frac{q_{\parallel,k}}{\cos \varepsilon_2 + \sin \varepsilon_2 / \tan \varepsilon_1} - \frac{q_{\perp,k} \cdot \sin(90^\circ - \varepsilon_1)}{\sin(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)} \right) \quad (10.13)$$

Mit:

A	Abstand der Schrauben in mm gemäß Bild 102
B	Abstand der zueinander geneigt angeordneten Schrauben in mm gemäß Bild 102
$q_{\parallel,k}$	Charakteristischer Wert der Beanspruchung parallel zur Dachfläche
$q_{\perp,k}$	Charakteristischer Wert der Beanspruchung rechtwinklig zur Dachfläche
$\varepsilon_1, \varepsilon_2$	Winkel zwischen Schraubenachsen und Faserrichtung, $30^\circ \leq \varepsilon_1, \varepsilon_2 \leq 90^\circ$

Es dürfen nur Schrauben mit Vollgewinde oder Doppelgewinde (ASSY® Isotop) verwendet werden.

Die Biegebeanspruchung der Latten resultiert aus der konstanten Linienlast q_{\perp} und den Lastkomponenten rechtwinklig zur Lattenlängsrichtung aus den zugbeanspruchten Schrauben. Die Spannweite des Durchlaufträgers beträgt $(A + B)$. Der charakteristische Wert der Lastkomponente rechtwinklig zur Lattenlängsrichtung $F_{ZS,k}$ aus den zugbeanspruchten Schrauben kann gemäß Gl. (10.14) berechnet werden.

$$F_{ZS,k} = (A + B) \cdot \left(\frac{q_{\parallel,k}}{1 / \tan \varepsilon_1 + 1 / \tan \varepsilon_2} - \frac{q_{\perp,k} \cdot \sin(90^\circ - \varepsilon_1) \cdot \sin \varepsilon_2}{\sin(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)} \right) \quad (10.14)$$

Ein positiver Wert für $F_{ZS,k}$ bedeutet eine Beanspruchung zum Sparren hin, ein negativer Wert eine Beanspruchung vom Sparren weg. Die an der Holzunterkonstruktion befestigte Aufdach- bzw. Fassadenkonstruktion muss rechtwinklig zur Tragebene gegen Verschieben gesichert sein.

10.3.2 Bemessung der Schrauben

Die Bemessungswerte des Tragwiderstands der Schrauben gegenüber Zug, bzw. Druck, sind nach den Gln. (10.15) bzw. (10.16) zu bestimmen.

$$F_{ax,t,d} = \min \begin{cases} F_{w,d} \\ F_{pull,d} \\ F_{t,d} \end{cases} \quad \text{siehe Abschnitt 3.6} \quad (10.15)$$

$$F_{ax,c,d} = \min \begin{cases} F_{w,d} \\ F_{c,d} \end{cases} \quad \text{siehe Abschnitt 3.6} \quad (10.16)$$

11 SCHUBVERSTÄRKUNG



11.1 Allgemeines

Als Schubverstärkung von Trägern aus Brettschichtholz (GL) bzw. Balkenschichtholz (GST) aus Nadelholz dürfen ausschließlich ASSY® und ASSY®plus VG Schrauben mit Vollgewinde und Durchmessern von $d \geq 8$ mm verwendet werden. Andere Materialien oder Schrauben sind nicht zulässig. Die Träger müssen gerade sein und einen rechteckigen Querschnitt aufweisen.

Als Schubverstärkung sind mindestens vier Schrauben in einer Reihe parallel zur Faserrichtung anzuordnen, die unter einem Winkel $\varepsilon = 45^\circ$ zur Faserrichtung einzuschrauben sind. Der Schraubenabstand in Faserrichtung darf nicht größer sein als die Bauteilhöhe. Weiterhin gelten die Abstandsregeln nach Abschnitt 3.8.2. Werden die Schrauben einreihig angeordnet, müssen diese mittig bezogen auf die Bauteilbreite angeordnet werden, siehe Bild 107.

In den nicht schubverstärkten Bauteilbereichen gelten die Bestimmungen für unverstärkte Holzbauteile. Für die Bemessung und Ausführung von Schubverstärkungen gelten die Bestimmungen am Einbauort.

Die nachfolgenden Bestimmungen gelten für Träger, die durch Einzellasten und/oder Linienlasten beansprucht werden.

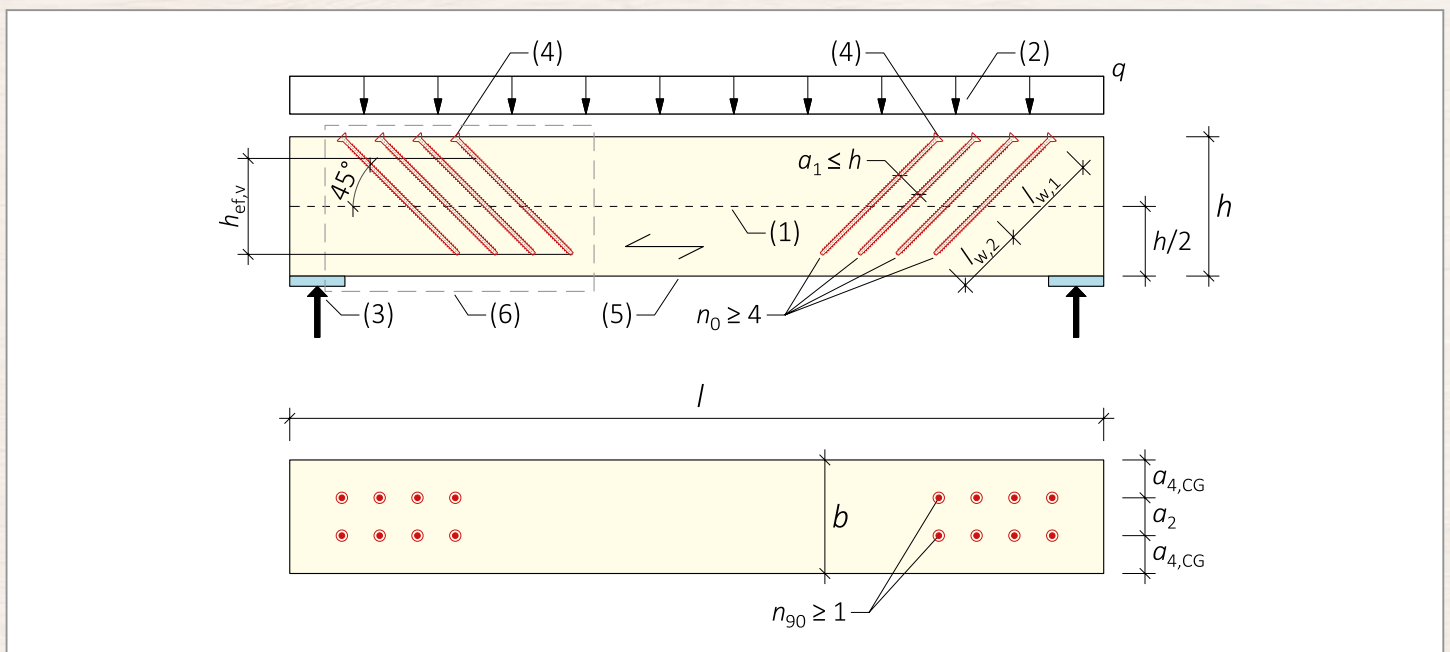


Bild 107: Schematische Darstellung einer Schubverstärkung mit Vollgewindeschrauben.

(1) Risslinie, (2) Linienlast, (3) Lagerkraft, (4) Verstärkungsschrauben, (5) Brettschicht- oder Balkenschichtholz aus Nadelholz, (6) verstärkter Bereich.

11.2 Bauteilbemessung

In schubbeanspruchten Bereichen von verstärkten Holzbauteilen nach Abschnitt 11.1 mit einer Spannungskomponente parallel zur Faserrichtung muss Gl. (11.1) erfüllt werden:

$$\tau_d \leq f_{v,d,mod} = f_{v,d} \cdot \min \left\{ \frac{k_{\tau}}{\eta_H}; 1,3 \right\} \quad (11.1)$$

Mit:

τ_d Bemessungswert der Schubspannung in N/mm²
 $f_{v,d}$ Bemessungswert der Schubfestigkeit in N/mm²

Dabei sind:

$$k_{\tau} = 1 - 0,46 \cdot \sigma_{90,d} - 0,052 \cdot \sigma_{90,d}^2$$

$$\eta_H = \frac{G_{\text{mean}} \cdot b}{G_{\text{mean}} \cdot b + \frac{1}{\frac{4}{n_{90}} \cdot \left(\frac{6 \cdot a_1}{\pi \cdot d \cdot h_{\text{ef,v}}^2 \cdot K_{\text{ax,vol}}} + \frac{a_1}{E_S \cdot A_S} \right)}}$$

Mit:

$\sigma_{90,d}$	Bemessungswert der Spannung rechtwinklig zur Faserrichtung (negativer Wert bei Druck)
$\sigma_{90,d} = \frac{F_{\text{ax,Ed}}}{2 \cdot b \cdot a_1}$	
b	Breite des Holzbauteils in mm
a_1	Schraubenabstand in einer parallel zur Faserrichtung und Schraubenachse liegenden Ebene in mm
G_{mean}	Der Mittelwert des Schubmoduls in N/mm ²
n_{90}	Anzahl der Verbindungsmittelreihen rechtwinklig zur Faserrichtung. Die Schraubenreihen sollten gleichmäßig und symmetrisch über die Bauteilbreite b angeordnet sein.
d	Gewindeaußendurchmesser der Schraube in mm
$h_{\text{ef,v}}$	Wirksame Höhe bezüglich der schubverstärkenden Schrauben in mm
$K_{\text{ax,vol}}$	Verbindungssteifigkeit zwischen Schraube und Holzbauteil: $K_{\text{ax,vol}} = 400 \cdot d^{-0,8} \cdot l_w^{-0,6} \cdot \rho_{\text{mean}}^{0,2}$ in N/mm ³ Für ASSY®plus VG und ASSY® Vollgewindeschrauben mit $d \geq 8$ mm
$E_S \cdot A_S$	Axiale Steifigkeit einer Schraube: $E_S \cdot A_S = \frac{E_S \cdot \pi \cdot d_1^2}{4}$
E_S	Elastizitätsmodul des Stahls, $E_S = 210.000$ N/mm ²
d_1	Gewindekerndurchmesser in mm

Der Bemessungswert der axialen Schraubenbeanspruchung $F_{\text{ax,Ed}}$ ergibt sich zu:

$$F_{\text{ax,Ed}} = \frac{2 \cdot (1 - \eta_H) \cdot V_{\text{Ed}} \cdot a_1}{n_{90} \cdot h_{\text{ef,v}}} \quad (11.2)$$

Mit:

V_{Ed}	Bemessungswert der einwirkenden Querkraft in N
-----------------	--

Der axiale Tragwiderstand einer ASSY®plus VG bzw. ASSY® Schraube muss folgende Bedingung erfüllen:

$$\frac{F_{ax,Ed}}{F_{ax,t,d}} \leq 1 \quad (11.3)$$

Mit:

$F_{ax,t,d}$ Bemessungswert des axialen Tragwiderstands einer Schraube nach Abschnitt 3.6

$l_{w,1}; l_{w,2}$ Die Verankerungslängen der Schraube; die Werte der Gewindelänge der Schraube von der Rissebene in Trägermitte bis Schraubenkopf bzw. -spitze in mm

$$l_w = \min \begin{cases} l_{w,1} \\ l_{w,2} \end{cases} \quad \text{Die rechnerisch anzusetzende Verankerungslänge (in } K_{ax,vol} \text{ und } F_w)$$

Hinweise:

- Mit einer Schraubenreihe und dem Schraubenachs-Faser-Winkel $\varepsilon = 45^\circ$ kann von einer geringen Sperrwirkung ausgegangen werden, nichtsdesto- trotz ist Gl. (2.1) zu berücksichtigen.
- Ist eine zweireihige Anordnung notwendig, wird in Dietsch (2014) ein Abstand zu den Trägerseitenflächen $a_{4,CG} = 70 \text{ mm}$ empfohlen.

ANHANG

Anhang A – Materialbezeichnungen und -kennwerte

Tabelle 57: Materialbezeichnung.

Gruppe/Untergruppe/Produkt	Materialbezeichnung	
	EC 5	Handbuch und EC 5 Entwurf
Vollholzprodukte		SWB
Bauholz		SL
Vollholz	VH	ST
Konstruktionsvollholz	KVH	FST
Holzprodukte mit parallel angeordneten Lamellen		PL
Balkenschichtholz	BSH	GST
Brettschichtholz		GL
Blockverklebtes Brettschichtholz		BGL
Einlagige Massivholzplatte		SWP-P
Holzprodukte mit kreuzend angeordneten Lamellen		CL
Brettspertholz	BSP	CLT
Mehrlagige Massivholzplatte		SWP-C
Furnierbasierte Holzprodukte		VB
Furnierschichtholz	FSH	LVL
mit parallelen Furnierlagen		LVL-P
mit gekreuzten Furnierlagen		LVL-C
Brettschichtholz aus Furnierschichtholz		GLVL
mit parallelen Furnierlagen		GLVL-P
mit gekreuzten Furnierlagen		GLVL-C
Sperrholz		PW
Spanbasierte Holzprodukte		STB
Platte aus langen, schlanken, ausgerichteten Spänen	OSB	OSB
Faserbasierte Platten		WFB
Harte Faserplatten		HB
Mittelharte Faserplatten		MB
Poröse Faserplatten (Weichfaserplatten)		SB
Mitteldichte Faserplatten		MDF
Holzpartikelbasierte Platten		WPB
Kunstharzgebundene Spanplatte		RPB
Zementgebundene Spanplatte		CPB
Gipsbasierte Platten		GYB
Gipskartonplatte	GKP	GPB
Gipsfaserplatte		GFB
Holz-Holz-Verbundwerkstoff		TTC
Balken und Stützen auf Verbundholzbasis		

Tabelle 58: Werkstoffe, Festigkeitsklassen, Festigkeitswerte, Rohdichte, Quelldokumente und Materialbezeichnungen.

	$f_{m,k}$ in N/mm ²	$f_{t,0,k}$ in N/mm ²	$f_{t,90,k}$ in N/mm ²	$f_{c,0,k}$ in N/mm ²	$f_{c,90,k}$ in N/mm ²	$f_{v,k}$ in N/mm ²	ρ_k in kg/m ³	Regelwerk	k_{cr}	Material- bezeichnung EC 5 Entwurf
Nadelholz										
C24	24	14,5	0,4	21	2,5	4,0	350	DIN EN 338:2016-07	$2,0/f_{v,k}$	ST, FST
C30	30	19	0,4	24	2,7	4,0	380	DIN EN 338:2016-07	$2,0/f_{v,k}$	ST, FST
GL 24c	24	17	0,5	21,5	2,5	3,5	365	DIN EN 14080:2013-09	$2,5/f_{v,k}$	GL
GL 28c	28	19,5	0,5	24,0	2,5	3,5	390	DIN EN 14080:2013-09	$2,5/f_{v,k}$	GL
GL 30c	30			24,5						
GL 24h	24	19,2	0,5	24	2,5	3,5	385	DIN EN 14080:2013-09	$2,5/f_{v,k}$	GL
GL 28h	28	22,3	0,5	28	2,5	3,5	425	DIN EN 14080:2013-09	$2,5/f_{v,k}$	GL
GL 30h	30	24	0,5	30	2,5	3,5	430	DIN EN 14080:2013-09	$2,5/f_{v,k}$	GL
LVL-P	50	35 ^{a)}	0,8 ^{b)}	35 ^{c)}	6,0 ^{d)}	2,3 ^{e)}	480	Z-9.1-847, Z-9.1-842, Z-9.1-880, Z-9.1-890	1,0	LVL-P LVL C
LVL-C	36	21	3,5 ^{f)}	26 ^{g)}	9,0	1,3 ^{h)}				
Laubholz										
D30	30	18	0,6	24	5,3	3,9	530	DIN EN 338:2016-07	0,67	ST
GLT Birch	32	24	0,6	30	4,5	4,9	600	ETA-19/0031	0,67	GL
GL75	75	60	0,6	59,4	14,8	4,5	730	ETA-14/0354	1,0	GLVL
Plattenwerkstoffe										
F20/10- E40/20, F20/15- E30/25	20/10 20/15	9,0 8,0	7,0 7,0	15 13	10 13	3,5 4,0	350	DIN EN 636:2015-05 und DIN 20000-1:2017-06	-	GPB
OSB/3, OSB/4	14,8/7,4 21/11,4	9,0 10,9	6,8 8,0	14,8 17,0	12,4 13,7	1,0 1,1	550	DIN EN 300:2006-09 und DIN EN 12369-1:2001-04	-	OSB
^{a)} Z-9.1-842: $f_{t,0,k} = 36 \text{ N/mm}^2$ ^{b)} Z-9.1-842, Z-9.1-890: $f_{t,90,edge,k} = 0,9 \text{ N/mm}^2$ ^{c)} Z-9.1-842: $f_{c,0,k} = 40 \text{ N/mm}^2$ ^{d)} Z-9.1-842: $f_{c,90,edge,k} = 7,5 \text{ N/mm}^2$; Z-9.1-890: $f_{c,90,edge,k} = 7,3 \text{ N/mm}^2$ ^{e)} Z-9.1-842, Z-9.1-890: $f_{v,0,flat,k} = 2,6 \text{ N/mm}^2$ ^{f)} Z-9.1-847, Z-9.1-880: $f_{c,90,edge,k} = 6 \text{ N/mm}^2$; Z-9.1-842: $f_{t,90,edge,k} = 5 \text{ N/mm}^2$ ^{g)} Z-9.1-842, Z-9.1-890: $f_{c,0,k} = 30 \text{ N/mm}^2$ ^{h)} Z-9.1-842: $f_{v,0,flat,k} = 1,1 \text{ N/mm}^2$										

Anhang B – n_{ef} nach Lantos

Alternativ zu Gln. (3.29), (3.30) darf die wirksame Schraubenanzahl auch auf Basis der Steifigkeiten, dem Ansatz nach Lantos (1969), berechnet werden.

Für Schraubengruppen mit $30 \leq \varepsilon \leq 60^\circ$ (geneigt, gekreuzt angeordnet oder Schraubenkreuze), in Kraft- und Faserrichtung hintereinander

$$n_{ef} = \frac{1}{\max\{\delta_1; \delta_2\}} \quad (11.4)$$

Mit:

$$\begin{aligned} \delta_1 &= 1 - m_1 \cdot (1 + \mu) + \mu + \frac{m_1 - m_2}{m_1^n - m_2^n} \cdot (m_1^n \cdot (1 + \mu) - \mu) \\ \delta_2 &= -\mu + m_1^{n-1} \cdot (1 + \mu) - \frac{m_1^{n-1} - m_2^{n-1}}{m_1^n - m_2^n} \cdot (m_1^n \cdot (1 + \mu) - \mu) \\ \mu &= -\frac{1}{1 + \frac{E_1 \cdot A_1}{E_2 \cdot A_2}} \end{aligned}$$

Dabei ist:

$E_1 \cdot A_1$

Dehnsteifigkeit des Seitenteils 1

$E_2 \cdot A_2$

Dehnsteifigkeit des Seiten- oder Mittelholzes 2. Wenn Bauteil 2 ein Mittelholz ist, ist für A_2 nur die Hälfte des Mittelholzquerschnitts einzusetzen.

E_1, E_2

Mittelwert des E-Moduls von Bauteil 1 und 2

A_1, A_2

Querschnittsfläche von Bauteil 1 und 2

n

Anzahl einsinnig geneigt angeordneter Schrauben bzw. Schraubenkreuze pro Reihe

m

Anzahl der Reihen einsinnig geneigt angeordneter Schrauben bzw. Schraubenkreuze pro Scherfuge

$$m_1 = 0,5 \cdot \left(\omega + \sqrt{\omega^2 - 4} \right)$$

$$m_2 = 0,5 \cdot \left(\omega - \sqrt{\omega^2 - 4} \right)$$

$$\omega = 2 + K_u \cdot a_1 \cdot \left(\frac{m}{E_1 \cdot A_1} + \frac{m}{E_2 \cdot A_2} \right)$$

K_u

Verschiebungsmodul parallel zur Scherfuge pro Schraube (einsinnig geneigt angeordnete Schrauben) oder pro Schraubenkreuz (gekreuzt angeordnete Schrauben) im Grenzzustand der Tragfähigkeit

a_1

Schraubenabstand untereinander parallel zur Faserrichtung

Literaturverzeichnis

- Allgemeine Bauartgenehmigung. Z-30.3-6:2022-04. Erzeugnisse, Bauteile und Verbindungselemente aus nichtrostenden Stählen. (2022-04). DIBt.
- Allgemeine Bauartgenehmigung. Z-9.1-842:2024-01. Verwendung von Furnierschichtholz „STEICOLVL R“, „STEICOLVO RS“, „STEICOLVL RL“, „STEICOLVL X“. (2024-01). DIBt.
- Allgemeine Bauartgenehmigung. Z-9.1-847:2024-04. Bauarten mit Furnierschichtholz „Kerto LVL S-beam“, „Kerto LVL Q-panel“ und „Kerto LVL Qp-beam“. (2024-04). DIBt.
- Allgemeine Bauartgenehmigung. Z-9.1-880:2023-05. Verwendung von Furnierschichthölzern „LVL by Stora Enso Typ S“ und „LVL by Stora Enso Typ X“. (2023-05). DIBt.
- Allgemeine Bauartgenehmigung. Z-9.1-890:2019-04. Bauarten mit Furnierschichtholz „Pollmeier Fichte LVL S“ und „Pollmeier Fichte LVL Q“. (2019-04). DIBt.
- Blaß, H. J., & Bejtka, I. (2004). Selbstbohrende Holzschrauben und ihre Anwendungsmöglichkeiten. In Holzbau Kalender (S. 516–541). Karlsruhe: Bruderverlag.
- Blaß, H. J., & Bejtka, I. (2008). Numerische Berechnung der Tragfähigkeit und der Steifigkeit von querzugverstärkten Verbindungen mit stiftförmigen Verbindungsmitteln. Universitätsverlag Karlsruhe.
- Blaß, H. J., & Flaig, M. (2019). Blockscheren von Holzbauteilen im Verbindungsbereich axial beanspruchter Vollgewindeschrauben. Karlsruhe: KIT Scientific Publishing.
- Blaß, H. J., & Görlacher, R. (2004). Compression perpendicular to the grain. Proceedings of the 8th World Conference on Timber Engineering, Lahti, Finland. WCTE 2004. Vol. 2 (S. 435–440). Lahti, Finland: WCTE Secretariat.
- Blaß, H. J., & Laskewitz, B. (2003). Tragfähigkeit von Verbindungen mit stiftförmigen Verbindungsmitteln und Zwischenschichten. Bauen mit Holz; 105 (1-2), S. 26–35.
- Danzer, M., Dietsch, P., & Winter, S. (2022). Effect of shrinkage on cracking and structural behaviour of reinforced glulam members, Vol. 327. Construction and Building Materials, 327, S. 125977.
- Dietsch, P. (2014). Einsatz und Berechnung von Schubverstärkungen für Brettschichtholzbauteile. Karlsruher Tage 2014 – Holzbau, Forschung für die Praxis, S. 1–22.
- Dietsch, P. (2017). Effect of reinforcement on shrinkage stresses in timber members. Construction and Building Materials, Vol 150, S. 903-915.
- Dietsch, P. (2019). Reinforcement of Timber Structures – Standardization towards a new section for EC 5. Proceedings of the 5th International Conference on Structural Health Assessment of Timber Structures SHATiS. Guimarães, Portugal.
- Dietsch, P., & Brandner, R. (30. 10. 2015). Self-tapping screws and threaded rods as reinforcement for structural timber elements – A state-of-the-art report. Construction and Building Materials, Volume 97, S. 78–89.
- DIN 1052. (2008-12). Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken – Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau (DIN 1052). Beuth Verlag.
- DIN EN 1990. (2021-10). Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung (EC 0). Beuth Verlag.
- DIN EN 1993-1-1. (2010-12). Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau (EC3). Beuth Verlag.
- DIN EN 1995-1-1. (2010-12). Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau (EC 5). Beuth Verlag.
- DIN EN 1995-1-1/A2. (2014-07). Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1995-1-1:2004/A2:2014. Beuth Verlag.
- DIN EN 1995-1-1/NA. (2013-08). Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau. Beuth Verlag.

- DIN EN 1995-1-2. (2010-12). Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall (EC 5 Teil 1-2). Beuth Verlag.
- DIN EN ISO 12944-2. (2018-04). Beschichtungsstoffe – Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme – Teil 2: Einteilung der Umgebungsbedingungen. Beuth Verlag.
- DIN SPEC 1052-100. (2013-08). Holzbauwerke – Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 100: Mindestanforderungen an die Baustoffe oder den Korrosionsschutz von Verbindungsmitteln. Beuth Verlag.
- ETA-11/0190. (2018-07). Würth selbstbohrende Schrauben. DIBt.
- ETA-12/0197. (2019-02). SWG „Timtec“, „Timtec Isotec“ and Timtec Plus VG“ screws. ETA-Danmark.
- ETA-14/0354. (2024-07). Träger BauBuche GL75. OIB.
- ETA-19/0031. (2021-08). HASSLACHER GLT Birch. OIB.
- FprEN 1995-1-1. (2024-11). Entwurf – Eurocode 5 – Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau (EC 5 Entwurf). Beuth Verlag.
- Görlacher, R. (2018). Karlsruher Tage 2018 – Holzbau – Forschung für die Praxis. Karlsruhe.
- Holzleimbau, S. (08 2016). Holzbau Handbuch, Reihe 2: Tragwerksplanung, Teil 1: Allgemeines, Folge 2: Bemessung von BS-Holz-Bauteilen. Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V.
- Lantos, G. (1969). Load distribution in a row of fasteners subjected to lateral load. Wood Science, S. 129–136.
- Neuhaus, H. (2017). Ingenieurholzbau – Grundlagen – Bemessung – Nachweise – Beispiele, 4. Auflage. Münster: Springer Vieweg.

Formelzeichen im Handbuch

Große lateinische Buchstaben und Bezeichnungen nach ETA-11/0190, EC 5 und EC 5 Entwurf

		ETA	EC 5	EC 5 Entwurf
A	Querschnittsfläche Teiltraglänge	A A	A –	$A_{(i)}$ –
A_1	Querschnitt 1	A_1	–	A_1
A_2	Querschnitt 2	A_2	–	A_2
A_{ef}	Wirksame Kontaktfläche unter Berücksichtigung der wirksamen Kontaktlänge	–	A_{ef}	A_{ef}
$A_{efU-Scheibe}$	Wirksame Fläche der Unterlegscheibe	–	$A_{efU-Scheibe}$	–
$A_{net,t}$	Nettozugfläche	–	$A_{net,t}$	–
$A_{net,t1}$	Nettozugfläche in Bauteil 1	–	–	–
$A_{net,v}$	Nettoscherfläche	–	$A_{net,v}$	–
A_s	Querschnittsfläche einer Schraube	A_s	–	A_s
B	Teiltraglänge	B	–	–
$B \times H$	Breite mal Höhe eines Querschnitts	–	–	–
$E_{0,mean}$	Mittlerer Elastizitätsmodul parallel zur Faserrichtung	–	$E_{0,mean}$	$E_{0,mean}$
$E_{0,mean,1}$	Mittlerer Elastizitätsmodul parallel zur Faserrichtung des Bauteils 1/des Querschnitts 1	–	–	–
$E_{0,mean,2}$	Mittlerer Elastizitätsmodul parallel zur Faserrichtung des Bauteils 2/des Querschnitts 2	–	–	–
$E_{0,mean,i}$	Mittlerer Elastizitätsmodul parallel zur Faserrichtung des Bauteils i/des Querschnitts i	–	–	$E_{(X),(i)mean}$
E_1	Elastizitätsmodul des Bauteils 1/des Querschnitts 1	–	–	E_1
$E_{d,1}$	Bemessungselastizitätsmodul des Bauteils 1/des Querschnitts 1	–	–	E_1
E_2	Elastizitätsmodul des Bauteils 2/des Querschnitts 2	–	–	E_2
$E_{d,2}$	Bemessungselastizitätsmodul des Bauteils 2/des Querschnitts 2	–	–	E_2
E_{HI}	Elastizitätsmodul der Wärmeleitung (Heat Insulation)	E_{HI}	–	–
E_i	Elastizitätsmodul des Bauteils i/des Querschnitts i	–	E_i	E_i
EI	Biegesteifigkeit der Konterlatte	EI	–	–
$(EI)_{ef}$	Effektive Biegesteifigkeit eines Bauteils/eines Querschnitts	–	$(EI)_{ef}$	$(EI)_{ef}$
$E_{d,i}$	Bemessungselastizitätsmodul des Bauteils i/des Querschnitts i	–	E_i	E_i
E_s	Elastizitätsmodul des Stahls	E_s	–	E_s
$F_{0,Ed}$	Bemessungswert der Anschlusskraft parallel zur Faserrichtung	–	–	$F_{0,Ed}$
$F_{90,Ed}$	Bemessungswert der Zugbeanspruchung rechtwinklig zur Faserrichtung	$F_{90,Ed}$	$F_{v,Ed}$	$F_{90,Ed}$
$F_{90,Rd}$	Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit	–	$F_{90,Rd}$	$(F_{90,Rd})$
$F_{ax,c,d}$	Bemessungswert des Tragwiderstands einer auf Druck beanspruchten Schraube	$F_{ax,Rd} / F_{ax,\alpha,Rd}$	–	$F_{ax,c,d}$
$F_{ax,c,k}$	Charakteristischer Tragwiderstand einer auf Druck beanspruchten Schraube	–	–	$F_{ax,c,k}$
$F_{ax,c,Rd}$	Bemessungswert der Tragfähigkeit einer Verbindung mit auf Druck beanspruchten Schrauben	–	–	–
$F_{ax,c/t,Rd}$	Bemessungswert der axialen Tragfähigkeit nach Abschnitt 3.7	–	$F_{ax,Rd}$	$F_{ax,c/t,Rd}$
$F_{ax,Ed}$	Bemessungswert der axialen Einwirkung	$F_{ax,d}$	$F_{ax,Ed}$	$F_{ax,Ed}$
$F_{ax,Rd}$	Bemessungswert der axialen Tragfähigkeit einer Verbindung	$F_{ax,Rd}$	$F_{ax,Rd}$	$F_{ax,Rd}$
$F_{ax,t,d}$	Bemessungswert des Tragwiderstands einer auf Zug beanspruchten Schraube	$F_{ax,Rd} / F_{ax,\alpha,Rd}$	$F_{ax,Rd}$	$F_{ax,t,d}$
$F_{ax,t,d,fi}$	Bemessungswert des axialen Tragwiderstands im Brandfall	–	–	–
$F_{ax,t,k}$	Charakteristischer Tragwiderstand einer auf Zug beanspruchten Schraube	$F_{ax,\alpha,Rk}$	$F_{ax,Rk}$	$F_{ax,t,k}$
$F_{ax,t,R20}$	20%-Fraktilwert des Tragwiderstands einer Schraube	–	–	–
$F_{ax,t,Rd}$	Bemessungswert der Tragfähigkeit einer Verbindung mit auf Zug beanspruchten Schrauben	–	–	$F_{ax,t,Rd}$
$F_{ax,x,d}$	Bemessungswert des Tragwiderstands eine Schraubenkreuzes	–	–	–
$F_{b,k}$	Charakteristischer Wert der Einzellasten auf die Konterlatte	$F_{b,k}$	–	–
$F_{bs,ax,Rd}$	Bemessungswert der Blockschertragfähigkeit einer Verbindung	–	–	–
$F_{bs,ax,Rk}$	Charakteristische Blockschertragfähigkeit einer Verbindung	–	$F_{bs,Rk}$	–
$F_{bs,Rd}$	Bemessungswert der Blockschertragfähigkeit	–	–	$F_{bs,Rd}$
$F_{bs,Rd,1}$	Bemessungswert der Blockschertragfähigkeit einer Verbindung in Bauteil 1	–	–	–
$F_{bs,Rk}$	Charakteristische Blockschertragfähigkeit	–	$F_{bs,Rk}$	–
$F_{c,90,d}$	Bemessungswert der Druckkraft rechtwinklig zur Faserrichtung	–	$F_{c,90,d}$	$F_{c,90,d}$
$F_{c,90,Ed}$	Bemessungswert der einwirkenden Druckkraft rechtwinklig zur Faserrichtung	–	–	–
$F_{c,90,Ed,1}$	Bemessungswert der einwirkenden Druckkraft rechtwinklig zur Faserrichtung an Bauteilrand 1	–	–	–

		ETA	EC 5	EC 5 Entwurf
$F_{c,90,Ed,2}$	Bemessungswert der einwirkenden Druckkraft rechtwinklig zur Faserrichtung an Bauteilrand 2	-	-	-
$F_{c,90,Rd}$	Bemessungswert der Drucktragfähigkeit rechtwinklig zur Faserrichtung	$F_{90,d}$	$F_{c,90,d}$	$F_{c,90,d}$
$F_{c,90,Rd,(a)}$	Bemessungswert der Drucktragfähigkeit rechtwinklig zur Faserrichtung auf Kopfniveau	-	-	-
$F_{c,90,Rd,(b)}$	Bemessungswert der Drucktragfähigkeit rechtwinklig zur Faserrichtung auf Schraubenniveau	-	-	-
$F_{c,90,Rk}$	Charakteristischer Wert der Beanspruchbarkeit eines verstärkten Holzbauteils	-	-	-
$F_{c,d}$	Bemessungswert des Knickwiderstands einer Schraube	-	-	-
$F_{c,Ed}$	Bemessungswert der einwirkenden Druckkraft in einer Verstärkungsschraube	-	-	$F_{c,Ed}$
$F_{c,k}$	Charakteristischer Knickwiderstand einer Schraube	-	-	$F_{c,k}$
$F_{c,k,HT}$	Charakteristischer Knickwiderstand einer Schraube im Hauptträger	-	-	-
$F_{c,k,NT}$	Charakteristischer Knickwiderstand einer Schraube im Nebenträger	-	-	-
$F_{D,k}$	Charakteristischer Wert der Tragfähigkeit nach Johansens Fließtheorie	-	$F_{v,Rk}$	$F_{D,k}$
$F_{D,k,j}$		-	-	-
F_{Ed}	Auf eine Verbindung einwirkenden Kraft	-	F_{Ed}	F_{Ed}
$F_{pull,d}$	Bemessungswert des Kopfdurchziehewiderstands	-	-	-
$F_{pull,k}$	Charakteristischer Kopfdurchziehewiderstand	-	-	$F_{pull,k}$
$F_{Q,k}$	Mannlast	-	-	-
$F_{rp,k}$	Charakteristischer Wert des Seileffektanteils	-	$\Delta F_{v,Rk}$	$F_{rp,k}$
$F_{s,k}$	Charakteristischer Wert der Einzellasten aus Dachschub auf die Konterlatte	$F_{s,k}$	-	-
$F_{t,0,Ed}$	Bemessungszugkraft parallel zur Faserrichtung in der Verbindung	F_{Ed}	$F_{t,0,d}$	$F_{t,0,Ed}$
$F_{t,90,Ed}$	Bemessungswert der querkuzerzeugenden Kraftkomponente (je verstärkender Schraube)	-	$F_{t,90,d}$	$F_{t,90,Ed}$
$F_{t,90,M,Ed}$	Einwirkende Querkraft aus Biegespannungen am Durchbruch	-	$F_{t,M,d}$	$F_{t,90,m,Ed}$
$F_{t,90,Rd}$	Bemessungswert der Tragfähigkeit rechtwinklig zur Faserrichtung	-	$F_{t,V,d}$	-
$F_{t,90,V,Ed}$	Einwirkende Querkraft aus Schubspannungen am Durchbruch	-	$F_{t,V,d}$	$F_{t,90,v,Ed}$
$F_{t,d}$	Bemessungswert des Zugwiderstands einer Schraube	-	-	-
$F_{t,k}$	Charakteristischer Zugwiderstand einer Schraube	-	$F_{t,Rk}$	$F_{t,Rk} / F_{t(X),(i),k}$
$F_{t,M,d}$	Einwirkende Zugkraft aus einem Biegemoment	-	$F_{t,M,d}$	$F_{t,m,d}$
$F_{t,V,d}$	Einwirkende Zugkraft aus einer Querkraft	-	$F_{t,V,d}$	$F_{t,V,d}$
$F_{v,0,Ed}$	Bemessungswert der Beanspruchung pro Verbindungsmittel und Scherfuge parallel zur Faserrichtung	$F_{v,0,Ed}$	-	-
$F_{v,d}$	Bemessungswert des Tragwiderstands einer auf Abscheren beanspruchten Schraube je Scherfuge	-	$F_{v,Rd}$	$F_{v,d}$
$F_{v,Ed}$	Bemessungswert der einwirkenden Scherkraft	-	$F_{v,Ed}$	$F_{v,Ed}$
$F_{v,k}$	Charakteristischer Tragwiderstand einer auf Abscheren beanspruchten Schraube	-	$F_{v,Rk}$	$F_{v,k}$
$F_{v,k,a}$	Charakteristischer Scherwiderstand einer Schraube mit Holzversagen	-	$F_{v,Rk} (a)$	-
$F_{v,k,b}$	Charakteristischer Scherwiderstand einer Schraube durch Verbindungsmittelversagen	-	$F_{v,Rk} (b)$	-
$F_{v,k,c}$	Charakteristischer Scherwiderstand einer Schraube mit gemischtem Versagen	-	$F_{v,Rk} (c)$	-
$F_{v,k,d}$	Charakteristischer Scherwiderstand einer Schraube mit zwei Fließgelenken	-	$F_{v,Rk} (d)$	-
$F_{v,k,e}$	Charakteristischer Scherwiderstand einer Schraube mit Holzversagen und einem Fließgelenk	-	$F_{v,Rk} (e)$	-
$F_{v,k,f}$	Charakteristischer Scherwiderstand einer Schraube mit Holzversagen und zwei Fließgelenken	-	$F_{v,Rk} (f)$	-
$F_{v,Rd}$	Bemessungswert der Schertragfähigkeit einer Verbindung	-	$F_{v,Rd}$	$F_{v,Rd}$
$F_{VM,d}$	Bemessungswert der Beanspruchung einer Schraube (in nachgiebigem Verbund)	-	F_i	$F_i(X)$
$F_{w,c,d,HT}$	Bemessungswert des Ausziehparameters auf Hineindrücken einer Schraube in den Hauptträger	-	-	-
$F_{w,c,d,NT}$	Bemessungswert des Ausziehparameters auf Hineindrücken einer Schraube in den Nebenträger	-	-	-
$F_{w,c,k,HT}$	Charakteristischer Wert des Ausziehewiderstands auf ein Hineindrücken einer Schraube in den Hauptträger	-	-	-
$F_{w,c,k,NT}$	Charakteristischer Wert des Ausziehewiderstands auf Hineindrücken einer Schraube in den Nebenträger	-	-	-
$F_{w,d}$	Bemessungswert des Ausziehewiderstands	-	-	$F_{w,d}$
$F_{w,d,Latte}$	Bemessungswert des Ausziehewiderstands aus der Konterlatte	-	-	-
$F_{w,d,Sparren}$	Bemessungswert des Ausziehewiderstands aus dem Sparren	-	-	-
$F_{w,k}$	Charakteristischer Ausziehewiderstand	$F_{ax,\alpha,Rk}$	$F_{ax,\alpha,Rk} / F_{ax,Rk}$	$F_{w,k}$
$F_{w,k,1}$	Charakteristischer Ausziehewiderstand auf der Schraubenkopfseite/in Bauteil 1	-	-	-
$F_{w,k,2}$	Charakteristischer Tragwiderstand auf der Schraubenspitzen- oder Gewinde- in Bauteil 2	-	-	-
$F_{w,k,oben/unten}$	Charakteristischer Ausziehewiderstand oben und unten	-	-	-
$F_{w,L,k,HT}$	Charakteristischer Ausziehewiderstand einer Schraube aus dem Hauptträger	-	-	-

		ETA	EC 5	EC 5 Entwurf
$F_{w,t,k,NT}$	Charakteristischer Auszieh Widerstand einer Schraube aus dem Nebenträger	-	-	-
$F_{ZS,k}$	Charakteristischer Wert der Lastkomponente rechtwinklig zur Längsrichtung der Konterlatte	$F_{ZS,k}$	-	-
G_{mean}	Mittelwert des Schubmoduls	G	G_{mean}	G_{mean}
I_1	Flächenträgheitsmoment des Bauteils 1/des Querschnitts 1	-	-	$I_{(i)}$
I_2	Flächenträgheitsmoment des Bauteils 2/des Querschnitts 2	-	-	$I_{(i)}$
I_s	Flächenträgheitsmoment 2. Grades für den Kreisquerschnitt	I_s	-	I_s
$I_{y,1}$	Flächenträgheitsmoment um die y-Achse des Bauteils 1/des Querschnitts 1	-	-	I_y
$I_{y,2}$	Flächenträgheitsmoment um die y-Achse des Bauteils 2/des Querschnitts 2	-	-	I_y
$I_{y,i}$	Flächenträgheitsmoment um die y-Achse des Bauteils i/des Querschnitts i	-	-	I_y
K	Bettungsziffer	K	-	-
$K_{ax,vol}$	Verbindungssteifigkeit zwischen Schraube und Holzbauteil in N/mm ³	k_{ax}		
$K_{SLS,ax,2}$	Mittelwert des Verschiebungsmoduls im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit der Schraube in Achsrichtung in Bauteil 2			
$K_{SLS,ax,i}$	Mittelwert des Verschiebungsmoduls im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit der Schraube in Achsrichtung in Bauteil i			
$K_{SLS,ax,ges}$	Mittelwert des Verschiebungsmoduls im Grenzzustand der Tragfähigkeit einer Verbindung mit planmäßig in Achsrichtung beanspruchten Schrauben			
$K_{ULS,ax,i}$	Mittelwert des Verschiebungsmoduls im Grenzzustand der Tragfähigkeit einer Verbindung mit planmäßig in Achsrichtung beanspruchten Schrauben in Bauteil i			
$K_{ULS,ax,vol}$	Mittelwert der axialen Verbindungssteifigkeit zwischen Schraube und Holzbauteil im Grenzzustand der Tragfähigkeit			
$K_{SLS,ax}$	Mittlerer Verschiebungsmodul planmäßig in Achsrichtung beanspruchter Schrauben			
$K_{SLS,y}$	Mittlerer Verschiebungsmodul auf Abscheren beanspruchter Schrauben			$K_{SLS,y,i}$
$L_{Träger}$	Traglänge	-	l	l
L_x	Rechnerische Einzugslänge parallel zur Faserrichtung	-	-	-
L_y	Rechnerische Einzugslänge rechtwinklig zur Faserrichtung	-	-	-
M	Moment	-	-	M
$M_{A,max}$	Maximal zulässiges Anzug-Drehmoment	-	-	-
M_{Ed}	Bemessungswert des einwirkenden Biegemoments	M_d	M_{Ed}	M_d
M_k	Charakteristischer Wert des Biegemoments der Konterlatte	M_k	-	-
M_w	Weiterdrehmoment	-	-	-
$M_{y,k}$	Charakteristisches Fließmoment einer Schraube	$M_{y,k}$	$M_{y,Rk}$	$M_{y,k}$
$N_{c,k}$	Charakteristischer Wert der Drucknormalkraft	$N_{c,k}$	-	-
$N_{ki,k}$	Charakteristische, ideal-elastische Knicklast einer Schraube	$N_{ki,k}$	-	$N_{ki,k}$
$N_{pl,k}$	Charakteristischer Wert der Normalkrafttragfähigkeit des Nettoquerschnitts	$N_{pl,k}$	-	$N_{pl,k}$
$N_{t,k}$	Charakteristischer Wert der Zugnormalkraft	$N_{t,k}$	-	-
$QS_{1,2}$	Querschnitt 1 und 2	-	-	-
$R_{S,k}$	Charakteristischer Wert der Schubbeanspruchung des Daches	$R_{S,k}$	-	-
S	Schwerpunkt der Schraube bezüglich des betrachteten Querschnittsbereichs	-	-	S
$T_{S,d}$	Bemessungswert der axialen Zugkraft in der Schraube	-	-	-
$T_{S,k}$	Charakteristischer Wert der axialen Zugkraft in der Schraube	$T_{S,k}$	-	-
V_{Ed}	Bemessungswert der einwirkenden Querkraft	V_d	V_{Ed}	V_d
V_k	Charakteristischer Wert der Beanspruchung aus Schub	V_k	-	-
V_{Rd}	Bemessungswert der Schubtragfähigkeit einer unverstärkten Ausklinkung	-	V_d	V_d
W	Widerstandsmoment	W	-	$W_{(X),(i)}$
W_1	Widerstandsmoment des Bauteils 1/des Querschnitts 1	-	-	$W_{(X),(i)}$
W_2	Widerstandsmoment des Bauteils 2/des Querschnitts 2	-	-	$W_{(X),(i)}$
W_y	Widerstandsmoment um die y-Achse	-	W_y	W_y
$W_{y,1}$	Widerstandsmoment um die y-Achse des Bauteils 1/des Querschnitts 1	-	-	$W_{(X),(i)}$
$W_{y,2}$	Widerstandsmoment um die y-Achse des Bauteils 2/des Querschnitts 2	-	-	$W_{(X),(i)}$

Kleine lateinische Buchstaben und Bezeichnungen nach ETA-11/0190, EC 5 und EC 5 Entwurf

		ETA	EC 5	EC 5 Entwurf
a	Werkstoffbeiwert in k_{ax} -Gleichung für kleine Schraubenachs-Faser-Winkel Mindestabstand zwischen Verbindungsmitteln des Anschlusses und der Verstärkungsschrauben	a –	– –	– a
a_1	Mindestabstand zweier Schrauben in einer parallel zur Faserrichtung und Schraubenachse liegenden Ebene Mindestabstand zweier Verbindungsmittel parallel zur Faserrichtung Mindestabstand zweier Verbindungsmittel parallel zur Faserrichtung der Decklage von Brettsperrholz	a_1 a_1 –	a_1 a_1 –	$a_{1,ct,min}$ a_1 –
$a_1 \times a_2$	Kleinste freie Fläche um eine Schraube	$a_1 \times a_2$	–	$a_1 \times a_2$
$a_{1,fi}$	Seitliche Überdeckung einer Verbindung im Brandfall	–	$a_{1,fi}$	–
$a_{1,i}$	Mehrere Abstände zwischen Verbindungsmitteln parallel zur Faserrichtung	–	$l_{v,1}/l_{v,2}/\dots$	–
$a_{1,max}$	Maximal zulässiger Abstand zweier Schrauben parallel zur Faserrichtung	–	–	$a_{1,max}$
$a_{1,r}$	Mindestabstand zweier Verstärkungsschrauben parallel zur Faserrichtung	–	–	$a_{1,r}$
$a_{1,SDu}$	Mindestabstand zweier Stabdübel parallel zur Faserrichtung	–	–	–
a_2	Mindestabstand zweier Schrauben rechtwinklig zu einer parallel zur Faserrichtung und Schraubenachse liegenden Ebene Mindestabstand zweier Verbindungsmittel rechtwinklig zur Faserrichtung Mindestabstand zweier Verbindungsmittel rechtwinklig zur Faserrichtung der Decklage von Brettsperrholz	a_2 a_2 –	a_2 a_2 –	$a_{2,ct,min}$ a_2 –
$a_{2,fi}$	Seitliche Überdeckung einer Verbindung im Brandfall	–	$a_{2,fi}$	–
$a_{2,i}$	Mehrere Abstände zwischen Verbindungsmittel rechtwinklig zur Faserrichtung	–	$l_{t,1}$ bzw. $l_{t,2}$	–
a_3	Mindestabstand vom Verbindungsmittel zum Ende des Seitenteils	–	a_3	–
$a_{3,c}$	Mindestabstand zwischen unbeanspruchtem Rand und Verbindungsmittel parallel zur Faserrichtung Mindestabstand zwischen unbeanspruchtem Rand und Verbindungsmittel parallel zur Faserrichtung der Decklage von Brettsperrholz	$a_{3,c}$ –	$a_{3,c}$ –	$a_{3,c}$ –
$a_{3,CG}$	Mindestabstand zwischen Rand und Schraubenschwerpunkt (Centre of Gravity) im Bauteil parallel zur Faserrichtung	–	$a_{1,CG}$	$a_{3,ct,min}$
$a_{3,CG,ist}$	Gewählter Abstand zwischen Rand und Schraubenschwerpunkt (Centre of Gravity) im Bauteil parallel zur Faserrichtung der ersten Schraubenreihe	–	–	–
$a_{3,fi}$	Überdeckung an Schraubenspitze oder -kopf einer Verbindung im Brandfall	–	$a_{3,fi}$	–
$a_{3,S}$	Mindestabstand zwischen Stahlplattenkante und Schraubenachse parallel zur Faserrichtung	–	–	–
$a_{3,t}$	Mindestabstand zwischen beanspruchtem Rand und Verbindungsmittel parallel zur Faserrichtung Mindestabstand zwischen beanspruchtem Rand und Verbindungsmittel parallel zur Faserrichtung der Decklage von Brettsperrholz	$a_{3,t}$ –	$a_{3,t}$ –	$a_{3,t}$ –
$a_{3,t,1}$	Abstand zwischen beanspruchtem Rand und Schraube parallel zur Faserrichtung in Bauteil 1	–	–	–
$a_{3,t,2}$	Abstand zwischen beanspruchtem Rand und Schraube parallel zur Faserrichtung in Bauteil 2	–	–	–
a_4	Mindestabstand zwischen Bauteilrand und Verbindungsmittel rechtwinklig zur Faserrichtung Mindestabstand vom Verbindungsmittel zum Rand des Mittelteils	– –	– a_4	a_4 –
$a_{4,c}$	Mindestabstand zwischen unbeanspruchtem Rand und Verbindungsmittel rechtwinklig zur Faserrichtung Mindestabstand zwischen unbeanspruchtem Rand und Verbindungsmittel rechtwinklig zur Faserrichtung der Decklage von Brettsperrholz	$a_{4,c}$ –	$a_{4,c}$ –	$a_{4,c}$ –
$a_{4,CG}$	Mindestabstand zwischen Rand und Schraubenschwerpunkt (Centre of Gravity) im Bauteil rechtwinklig zur Faserrichtung	–	$a_{2,CG}$	$a_{4,ct,min}$
$a_{4,S}$	Mindestabstand zwischen Stahlplattenkante und Schraubenachse rechtwinklig zur Faserrichtung	–	–	–
$a_{4,t}$	Mindestabstand zwischen beanspruchtem Rand und Verbindungsmittel rechtwinklig zur Faserrichtung Mindestabstand zwischen beanspruchtem Rand und Verbindungsmittel rechtwinklig zur Faserrichtung der Decklage von Brettsperrholz	$a_{4,t}$ –	$a_{4,t}$ –	$a_{4,t}$ –
a_{fi}	Zusätzliche Dicke eines Bauteils für eine erhöhte mechanische Beanspruchbarkeit einer Verbindung	–	a_{fi}	–
$a_{fi,1}$	Zusätzliche Dicke am Bauteil 1	–	–	–
$a_{fi,2}$	Zusätzliche Dicke am Bauteil 2	–	–	–
$a_{mm,1}$	Abstand der Spannungsnulllinie des Teilquerschnitts 1	–	–	$a_{mm,1}$
$a_{mm,2}$	Abstand der Spannungsnulllinie des Teilquerschnitts 2	–	a_2	$a_{mm,2}$
$a_{mm,i}$	Abstand der Spannungsnulllinie des Teilquerschnitts i	–	a_i	$a_{mm,i}$
a_x	Mindestabstand zwischen zwei Schrauben eines Schraubenkreuzes	–	–	–

		ETA	EC 5	EC 5 Entwurf
b	Werkstoffbeiwert in k_{ax} -Gleichung für kleine Schraubenachs-Faser-Winkel Bauteilbreite	b b	– b	– b
b_1	Nettobreite des Anschlusses Beiwert 1 in erweiterten Johansen-Gleichung Breite des Bauteils 1	– – –	– – –	b_{net} b_1 –
$b_{1,2}$	Querschnittsbreite Querschnitt 1 und 2	–	–	–
b_2	Beiwert 2 in erweiterten Johansen-Gleichung Breite des Bauteils 2	– –	– –	b_2 –
b_3	Breite des Bauteils 3	–	–	–
b_4	Breite des Bauteils 4	–	–	–
b_5	Breite des Bauteils 5	–	–	–
$b_{c,90}$	Breite der Druckfläche	B	–	$b_{90,c}$
b_{ef}	Rechnerisch ansetzbare Breite rechtwinklig zur Faserrichtung (in der Ebene der Schraubenspitze)	B	b_{ef}	–
b_{HT}	Breite des Hauptträgers	–	–	–
b_{ist}	Vorhandene Breite	–	–	–
b_{min}	Mindestbreite des Bauteils	–	–	b_{min}
$b_{net,1}$	Nettobreite des Bauteils 1	–	–	–
$b_{net,2}$	Nettobreite des Bauteils 2	–	–	–
b_{NT}	Breite des Nebenträgers	–	–	–
b_{St}	Breite des Stahlblechs	–	b_{St}	–
c_h	Elastische Bettung einer Schraube	c_h	–	c_h
d	Gewindeaußendurchmesser einer Schraube Durchmesser eines Durchbruchs Verbindungsmitteldurchmesser	d – –	d d d	d d d
d_1	Gewindekerndurchmesser	d_1	d_1	d_1
d_g	Spalttiefe	–	d_g	–
d_{head}	Kopfdurchmesser oder Außendurchmesser der Unterlegscheibe	d_h/d_{head}	d_h	d_{head}
d_r	Gewindeaußendurchmesser der Verstärkungsschraube	–	–	d_r
d_s	Schaftdurchmesser oder Gewindekerndurchmesser	d_s	–	d_s
d_{VM}	Durchmesser der Verbindungsmittel im Anschluss	–	–	d
e	Abstand zwischen Schrauben einer kontinuierlichen Verbindung	e	–	a_1
e_{con}	Schrauben(kreuz)-Abstand in einer kontinuierlichen Verbindung	–	–	–
$f_{ax,d}$	Bemessungswert des Ausziehparameters	$f_{ax,d}$	$f_{ax,d}$	–
$f_{ax,k}$	Charakteristischer Ausziehparameter	$f_{ax,k}$	$f_{ax,k}$	$f_{ax,k}$
$f_{ax,k,1}$	Charakteristischer Ausziehparameter in Bauteil 1	–	–	–
$f_{ax,k,2}$	Charakteristischer Ausziehparameter in Bauteil 2	–	–	–
$f_{ax,k,i}$	Charakteristischer Ausziehparameter in Bauteil i	–	–	–
$f_{c,0,d,1}$	Bemessungswert der Druckfestigkeit parallel zur Faserrichtung des Bauteils 1	–	$f_{c,0,d}$	–
$f_{c,90,d}$	Bemessungswert der Druckfestigkeit rechtwinklig zur Faserrichtung	$f_{c,90,d}$	$f_{c,90,d}$	$f_{c,90,d}$
$f_{c,90,k}$	Charakteristischer Wert der Druckfestigkeit rechtwinklig zur Faserrichtung	–	$f_{c,90,k}$	$f_{c,90,k}$
$f_{h,0,k}$	Charakteristische Lochleibungsfestigkeit parallel zur Faserrichtung	–	$f_{h,0,k}$	$f_{h,0,k}$
$f_{h,0,k,1}$	Charakteristische Lochleibungsfestigkeit parallel zur Faserrichtung des Bauteils 1	–	–	–
$f_{h,0,k,2}$	Charakteristische Lochleibungsfestigkeit parallel zur Faserrichtung des Bauteils 2	–	–	–
$f_{h,k}$	Charakteristische Lochleibungsfestigkeit	$f_{h,k}$	$f_{h,k}$	$f_{h,k}$
$f_{h,k,1}$	Charakteristische Lochleibungsfestigkeit des Bauteils 1	–	$f_{h,k,1}$	$f_{h,k,1}$
$f_{h,k,1/2/il}$	Charakteristische Lochleibungsfestigkeit der Bauteile 1, 2 bzw. der Zwischenschicht (interlayer)	–	–	$f_{h,k,1/2/il}$
$f_{h,k,2}$	Charakteristische Lochleibungsfestigkeit des Bauteils 2	–	$f_{h,k,2}$	$f_{h,k,2}$
$f_{h,k,il}$	Charakteristische Lochleibungsfestigkeit der Zwischenschicht	–	–	$f_{h,k,il}$
$f_{h,k,SDu}$	Charakteristische Lochleibungsfestigkeit des Stabdübels	–	–	–
$f_{head,k}$	Charakteristischer Kopfdurchziehparameter	$f_{head,k}$	$f_{head,k}$	$f_{head,k}$
$f_{m,d}$	Bemessungswert der Biegefestigkeit	$f_{m,d}$	$f_{m,d}$	$f_{m,d}$
$f_{m,d,1}$	Bemessungswert der Biegefestigkeit des Bauteils 1/des Querschnitts 1	–	–	–
$f_{m,d,2}$	Bemessungswert der Biegefestigkeit des Bauteils 2/des Querschnitts 2	–	–	–
$f_{m,k}$	Charakteristischer Wert der Biegefestigkeit	–	$f_{m,k}$	$f_{m,k}$
$f_{m,k,1}$	Charakteristischer Wert der Biegefestigkeit des Querschnitts 1	–	–	–

		ETA	EC 5	EC 5 Entwurf
$f_{m,k,2}$	Charakteristischer Wert der Biegefestigkeit des Querschnitts 2	-	-	-
$f_{t,0,d}$	Bemessungswert der Zugfestigkeit parallel zur Faserrichtung des Holzes	-	$f_{t,0,d}$	$f_{t,0,d}$
$f_{t,0,d,1}$	Bemessungswert der Zugfestigkeit parallel zur Faserrichtung des Bauteils 1	-	-	-
$f_{t,0,d,2}$	Bemessungswert der Zugfestigkeit parallel zur Faserrichtung des Bauteils 2	-	-	-
$f_{t,0,k}$	Charakteristischer Wert der Zugfestigkeit parallel zur Faserrichtung des Holzes	-	$f_{t,0,k}$	$f_{t,0,k}$
$f_{t,90,d}$	Bemessungswert der Zugfestigkeit rechtwinklig zur Faserrichtung des BSH oder LVL	-	$f_{t,90,d}$	$f_{t,90,d}$
$f_{t,90,k}$	Charakteristische Querkzugfestigkeit	-	-	$f_{t,90,k}$
$f_{tens,d}$	Bemessungswert des Zugwiderstands	$f_{tens,d}$	-	-
$f_{tens,k}$	Charakteristischer Wert des Zugwiderstands	$f_{tens,k}$	$f_{tens,k}$	-
$f_{tor,k}$	Charakteristischer Wert des Bruchdrehmoments	$f_{tor,k}$	-	-
$f_{u,k}$	Charakteristischer Wert der Zugfestigkeit des Stahls	-	$f_{u,k}$	$f_{u,k}$
$f_{u,k,S235}$	Charakteristischer Wert der Zugfestigkeit des Stahls mit der Güte S235	-	-	-
$f_{v,d}$	Bemessungswert der Schubfestigkeit	$f_{v,d}$	$f_{v,d}$	$f_{v,d}$
$f_{v,d,mod}$	Bemessungswert der modifizierten Schubfestigkeit des schubverstärkten Querschnitts	$f_{v,d,mod}$	-	-
$f_{v,d,1}$	Bemessungswert der Schubfestigkeit des Bauteils 1/des Querschnitts 1	-	-	-
$f_{v,d,2}$	Bemessungswert der Schubfestigkeit des Bauteils 2/des Querschnitts 2	-	-	-
$f_{v,k}$	Charakteristischer Wert der Schubfestigkeit	-	$f_{v,k}$	$f_{v,k}$
$f_{v,k,1}$	Charakteristischer Wert der Schubfestigkeit des Querschnitts 1	-	-	-
$f_{v,k,2}$	Charakteristischer Wert der Schubfestigkeit des Querschnitts 2	-	-	-
$f_{y,d}$	Bemessungswert der Streckgrenze des Stahls	-	$f_{y,d}$	$f_{y,d}$
$f_{y,k}$	Charakteristischer Wert der Streckgrenze des Stahls	$f_{y,k}$	-	$f_{y,k}$
g_k	Streckenlast aus ständigen Einwirkungen	-	-	-
h	Bauteilhöhe/Querschnittshöhe	h	h	h
h_1	Querschnittshöhe des Bauteils 1 Abstand der ersten verbindungsmitteleihe zum unbeanspruchten Rand rechtwinklig zur Faserrichtung	h_1	h_1	h_1
$h_{1,2}$	Querschnittshöhe des Querschnitts 1 und 2	-	-	-
h_2	Querschnittshöhe des Bauteils 2	-	-	h_2
h_d	Durchbruchhöhe	-	h_d	h_d
h_e	Abstand des am entferntesten angeordneten Verbindungsmittels oder Nagelplattenrandes vom beanspruchten Rand (kurz: Anschlusshöhe)	a	h_e	h_e
h_{ef}	Restträgerhöhe	h_e	h_{ef}	h_{ef}
$h_{ef,v}$	Wirksame Höhe bezüglich der schubverstärkenden Schrauben	-	-	-
h_{HT}	Höhe des Hauptträgers	-	-	-
h_i	Abstand der jeweiligen Verbindungsmittelreihe vom unbeanspruchten Rand	h_i	h_i	h_i
h_{min}	Mindestträgerhöhe	-	-	-
h_n	Abstand der dem beanspruchten Rand nächstgelegenen Verbindungsmittelreihe	h_n	h_n	-
h_{NT}	Höhe des Nebenträgers	-	-	-
h_p	Dicke der Bekleidung, bei mehreren Lagen die Gesamtdicke	-	h_p	-
h_r	Höhe des Restquerschnitts oberhalb, bzw. unterhalb des Durchbruchs	-	h_r	-
h_{ro}	Höhe des Restquerschnitts oberhalb des Durchbruchs	-	h_{ro}	h_{ru}
h_{ru}	Höhe des Restquerschnitts unterhalb des Durchbruchs	-	h_{ru}	h_{rl}
i	Neigung der Ausklinkung	-	i	i
k	Kopfhöhe	-	-	l_{head}
k_1	Faktor zur Abminderung des Auszieh Widerstands bei großen t_{HT} -Werten	k_1	-	-
k_2	Faktor zur Abminderung des Auszieh Widerstands bei kleinen $\sigma_{10\%}$ -Werten	k_2	-	-
k_a	Beiwert für Schraubenabstände in Verbindungen unterschiedlicher Materialien	-	-	-
k_{ax}	Beiwert zur Berücksichtigung des Winkels ε zwischen Schraubenachse und Faserrichtung	k_{ax}	-	-
$k_{ax,HT}$	Beiwert zur Berücksichtigung des Winkels ε zwischen Schraubenachse und Faserrichtung im Hauptträger	-	-	-
$k_{ax,i}$	Beiwert zur Berücksichtigung des Winkels ε zwischen Schraubenachse und Faserrichtung in Bauteil i	-	-	-
$k_{ax,NT}$	Beiwert zur Berücksichtigung des Winkels ε zwischen Schraubenachse und Faserrichtung im Nebenträger	-	-	-

		ETA	EC 5	EC 5 Entwurf
$k_{c,90}$	Beiwert zur Berücksichtigung der Art der Einwirkung, der Spaltgefahr und des Grades der Druckverformung	$k_{c,90}$	$k_{c,90}$	$k_{c,90}$
k_{cr}	Rissfaktor für die Beanspruchbarkeit auf Schub	–	k_{cr}	–
$k_{cr,1}$	Rissfaktor für Querschnitt 1	–	–	–
$k_{cr,2}$	Rissfaktor für Querschnitt 2	–	–	–
k_{def}	Kriechfaktor	–	k_{def}	k_{def}
k_{ef}	Exponent zur Abminderung der eingeschraubten auf die wirksame Anzahl der Verbindungsmittel	–	k_{ef}	k_{ef}
k_{fi}	Umrechnungsfaktor von 5 %- auf 20 %-Fraktilwerte	–	k_{fi}	–
k_{flux}	Koeffizient zur Berücksichtigung des erhöhten Wärmeflusses durch die Schraube	–	k_{flux}	–
k_g	Beiwert zur Berücksichtigung mehrerer Verbindungsmittelgruppen die in definierter Nähe zueinander liegen	–	k_g	–
k_{mod}	Modifikationsbeiwert	–	k_{mod}	k_{mod}
$k_{mod,1}$	Modifikationsbeiwert für Bauteil 1	–	$k_{mod,1}$	$k_{mod,1}$
$k_{mod,1/2/il}$	Modifikationsbeiwert für die Bauteil 1,2 bzw. die Zwischenschicht	–	–	$k_{mod,1/2/il}$
$k_{mod,2}$	Modifikationsbeiwert für Bauteil 2	–	$k_{mod,2}$	$k_{mod,2}$
$k_{mod,HT}$	Modifikationsbeiwert des Hauptträgers	–	–	–
$k_{mod,il}$	Modifikationsbeiwert der Zwischenschicht	–	–	$k_{mod,il}$
$k_{mod,NT}$	Modifikationsbeiwert des Nebenträgers	–	–	–
k_n	Materialbeiwert für Ausklinkungen	–	k_n	k_n
k_o	Formfaktor	–	–	–
k_r	Beiwert zur Berücksichtigung mehrerer übereinander angeordneter Verbindungsmittel	–	k_r	$k_{con,90}$
k_s	Beiwert zur Berücksichtigung mehrerer Verbindungsmittel nebeneinander	–	k_s	$k_{con,0}$
$k_{sf,i}$	Verhältnis der wirksamen Schraubenanzahl zur vorhandenen Schraubenanzahl parallel zur Faserrichtung in der betrachteten Reihe	–	–	–
$k_{t,90}$	Beiwert zur Berücksichtigung der Trägerhöhe	–	$k_{t,90}$	–
k_τ	Faktor der die Spannungen rechtwinklig zur Faserrichtung beschreibt	k_τ	–	–
$k_{v,n}$	Schubbeiwert für Ausklinkungen	–	k_v	$k_{v,n}$
k_a	Beiwert für den Kraft-Faser-Winkel	k_e	–	–
k_β	Beiwert zur Berücksichtigung des Winkels β zwischen Schraubenachse und Deckfläche (des Furnierschichtholzes)	k_β	–	–
$k_{\beta,1}$	Beiwert zur Berücksichtigung des Winkels β zwischen Schraubenachse und Deckfläche des Bauteils 1	–	–	–
$k_{\beta,2}$	Beiwert zur Berücksichtigung des Winkels β zwischen Schraubenachse und Deckfläche des Bauteils 2	–	–	–
$k_{\beta,HT}$	Beiwert zur Berücksichtigung des Winkels β zwischen Schraubenachse und Deckfläche des Hauptträgers	–	–	–
$k_{\beta,i}$	Beiwert zur Berücksichtigung des Winkels β zwischen Schraubenachse und Deckfläche des Bauteils i	–	–	–
$k_{\beta,NT}$	Beiwert zur Berücksichtigung des Winkels β zwischen Schraubenachse und Deckfläche des Nebenträgers	–	–	–
k_e	Beiwert für den Schraube-Faser-Winkel	–	–	–
l	Länge der Schraube Traglänge	l –	– l	l_i l_i
l_1	Einbindelänge ohne Übergreifung an Bauteilrand 1	–	–	–
$l_{1,2}$	Übergreifungslänge	–	–	–
$l_{1,2,min}$	Mindestübergreifungslänge	–	–	–
$l_{1,min}$	Mindesteinbindelänge ohne Übergreifung an Bauteilrand 1	–	–	–
l_2	Einbindelänge ohne Übergreifung an Bauteilrand 2	–	–	–
$l_{2,min}$	Mindesteinbindelänge ohne Übergreifung an Bauteilrand 2	–	–	–
l_A	Abstand der Auflagerkraft zum Rand des Durchbruchs	–	l_A	l_A
l_{aw}	Nutzlänge in der Winkelscheibe (angled washer)	n	–	–
$l_{c,90}$	Länge der Druckfläche	–	l_A/l_A	$l_{90,c}$
$l_{c,90,1}$	Länge der Druckfläche oben	–	–	–
$l_{c,90,2}$	Länge der Druckfläche unten	–	–	–
$l_{c,NT}$	Verankerungslänge der druckbeanspruchten Schraube im Nebenträger	–	–	–
l_{char}	Charakteristische Länge des auf der Dämmung liegenden Holzes	l_{char}	–	–

		ETA	EC 5	EC 5 Entwurf
l_e	Abstand vom freien Bauteilrand zur Kontaktfläche	–	a	l_e
l_{ef}	Rechnerisch anzusetzende Schraubenlänge	l_{ef}	–	–
$l_{ef,1}$	Rechnerisch ansetzbare Länge parallel zur Faserrichtung in der Ebene des Schraubenkopfes	$l_{ef,1}$	–	$l_{1,ef}$
$l_{ef,2}$	Rechnerisch ansetzbare Länge parallel zur Faserrichtung in der Ebene der Schraubenspitze	$l_{ef,1}$	–	$l_{2,ef}$
l_{Feld}	Spannweite der Konterlatte	l	–	–
l_g	Gewindelänge (inkl. Bohrspitze)	l_g	–	–
l_h	Länge des Durchbruchs	–	a	l_h
l_{ne}	nicht gebettete Schraubenlänge	–	–	–
l_s	Abstand der Querlasten	–	l_l	l_s
$l_{s,max}$	Maximal mögliche Schraubenlänge	–	–	–
$l_{s,min}$	Mindestschraubenlänge	–	–	–
$l_{Stoß,1/2}$	Bauraumlänge eines Anschlusses	–	–	l_{con}
$l_{t,90}$	Verteilungslänge für rechteckige/kreisförmige Durchbrüche	–	$l_{t,90}$	$l_{t,90,V}$
l_{ti}	Teillänge von i Längen einer Nettozugfläche	–	$l_{t,i}$	–
l_{Voute}	Länge der Voute	–	–	–
l_v	Abstand zwischen Rand und Schraubenschwerpunkt der ersten Schraubenreihe im Holz parallel zur Faserrichtung Vorholzlänge	– –	– l_v	– l_v
$l_{v,i}$	Teillänge von i Längen einer Nettoscherfläche	–	$l_{v,i}$	–
l_w	Verankerungslänge des Gewindebereichs einer Schraube (einschließlich Schraubenspitze)	l_{ef}	–	l_r
$l_{w,1}$	Verankerungslänge in Bauteil 1/Bauteilbereich 1	–	l_{ad}	$l_{w,1}$
$l_{w,2}$	Verankerungslänge in Bauteil 2/Bauteilbereich 2	–	l_{ad}	$l_{w,2}$
$l_{w,c,HT}$	Verankerungslänge des Gewindebereichs einer druckbeanspruchten Schraube im Hauptträger	–	–	–
$l_{w,c,NT}$	Verankerungslänge des Gewindebereichs einer druckbeanspruchten Schraube im Nebenträger	–	–	–
$l_{w,i}$	Verankerungslänge in Bauteil i /Bauteilbereich i	–	–	$l_{w(i)}$
$l_{w,max}$	Maximale Verankerungslänge des Gewindebereichs einer Schraube (einschließlich Schraubenspitze)	–	–	–
$l_{w,min}$	Mindestverankerungslänge	–	–	$l_{w,min}$
$l_{w,l,HT}$	Verankerungslänge des Gewindebereichs einer zugbeanspruchten Schraube im Hauptträger	–	–	–
$l_{w,l,NT}$	Verankerungslänge des Gewindebereichs einer zugbeanspruchten Schraube im Nebenträger	–	–	–
l_z	Abstand zwischen zwei Durchbrüchen	–	l_z	l_z
m_{HT}	Montagemaß im Hauptträger	–	–	–
m_{NT}	Montagemaß im Nebenträger	–	–	–
n	Anzahl der Verbindungsmittel in einem Anschluss/Anzahl der Verstärkungsschrauben Oberer Grenzwert der Summe	n –	n –	n j
n_0	Anzahl der Verbindungsmittel parallel zur Last/hintereinander parallel zur Faserrichtung	n_0	–	n_0
$n_{0,i}$	Schraubenanzahl hintereinander parallel zur Faserrichtung (einer von mehreren Reihen)	–	–	–
n_1	Schraubenanzahl am Bauteilrand 1	–	–	n_1
n_2	Schraubenanzahl am Bauteilrand 2	–	–	n_2
n_{90}	Anzahl der Verbindungsmittelreihen rechtwinklig zur Last/Faserrichtung	n_{90}	–	n_{90}
n_{con}	Schraubenanzahl je Schraubenkreuz	–	–	–
n_{ef}	Wirksame Anzahl der Verbindungsmittel	n_{ef}	n_{ef}	n_{ef}
$n_{ef,0}$	Wirksame Anzahl der Verbindungsmittel hintereinander parallel zur Faserrichtung	–	–	n_{ef}
$n_{ef,0,i}$	Wirksame Anzahl der Verbindungsmittel hintereinander parallel zur Faserrichtung (einer von mehreren Reihen)	–	–	–
$n_{ef,1}$	Wirksame Anzahl der Verbindungsmittel in Bauteil 1	–	–	–
$n_{ef,2}$	Wirksame Anzahl der Verbindungsmittel in Bauteil 2	–	–	–
$n_{ef,90}$	Wirksame Anzahl der Verbindungsmittel rechtwinklig zur Faserrichtung	–	–	–
$n_{ef,ges}$	Produkt aus der wirksamen Schraubenanzahl parallel und rechtwinklig zur Faserrichtung in einem Anschluss	–	–	–
$n_{ef,\alpha}$	Wirksame Anzahl der Verbindungsmittel mit einer unter dem Winkel α angreifenden Kraft	–	–	–
$n_{ef,\alpha,i}$	Wirksame Schraubenanzahl einer von mehreren parallel zur Faserrichtung angeordneten Schraubenreihen mit einer unter dem Winkel α angreifenden Kraft	–	–	–
$n_{ef,\alpha,j}$	Wirksame Schraubenanzahl in einer Verbindung mit variablem Kraft-Faser-Winkel α je Schraube	–	–	–
n_{ges}	Anzahl Schrauben in einem Anschluss	–	–	–

		ETA	EC 5	EC 5 Entwurf
n_j	Anzahl Schrauben in einem Anschluss mit variablem Kraft-Faser-Winkel α	–	–	–
$n_{\text{Scherfugen}}$	Anzahl der Scherfugen	–	n_{Schnitte}	–
n_x	Anzahl der Schraubenkreuze bzw. -paare	n	–	–
q	Streckenlast	–	q_i	q_{Ed}/q_z
$q_{\parallel,k}$	Charakteristischer Wert der parallel zur Dachfläche wirkenden Linienlast	$q_{\parallel,k}$	–	–
$q_{\perp,k}$	Charakteristischer Wert der rechtwinklig zur Dachfläche wirkenden Linienlast	$q_{\perp,k}$	–	–
q_{char}	Charakteristische Lastkombination	–	–	–
q_d	Bemessungswert der Einwirkenden Streckenlast	–	–	–
	Bemessungswert der Belastung, hier: als Linienlast der maßgebenden Kombination	–	–	–
$q_{d,i}$	Bemessungswert der Belastung des Querschnitts i	–	–	–
q_k	Veränderliche Streckenlast	–	–	–
$q_{k,1}$	Variabel einwirkende Streckenlast (Kategorie B)	–	–	–
$q_{k,2}$	Variabel einwirkende Streckenlast (Schnee)	–	–	–
$q_{k,i}$	Variabel einwirkende Streckenlast des i -ten Lastfalls	–	–	–
q_{qs}	Quasi-ständige Lastkombination	–	–	–
r	Eckenradius	–	r	r
s_1	Effektiver Verbindungsmittelabstand in Querschnitt 1	–	s_i	s_i
s_{ef}	Effektiver Verbindungsmittelabstand	–	s	$s_{i,\text{ef}}$
t	Bauteildicke/Plattendicke	t	t	t
t	Zeitpunkt	–	t	t
t_1	Einbindetiefe senkrecht zur Scherfuge projiziert	–	t_{ef}	–
	Dicke von Bauteil 1	–	t_1	t_1
	Einbindetiefe in Bauteil 1	–	t_1	t_{h1}
t_2	Bauteildicke des Mittelholzes	–	–	–
	Dicke von Bauteil 2	–	t_2	t_2
	Einbindetiefe in Bauteil 2	–	t_2	t_{h2}
t_{ch}	Zeitdauer bis zum Beginn des Abbrandes eines geschützten Bauteils	–	t_{ch}	–
t_{CLT}	Dicke/Mindestdicke eines Bauteils aus Brettsper Holz	–	h	t_{CLT}
$t_{d,\text{fi}}$	Erforderliche Feuerwiderstandsdauer in Minuten	–	$t_{d,\text{fi}}$	–
	Feuerwiderstandsdauer der ungeschützten Verbindung	–	$t_{d,\text{fi}}$	–
t_{dl}	Dicke der Decklage von Brettsper Holz	–	–	–
t_{ef}	Wirksame Einbindetiefe	l_{ef}	t_{ef}	t_{ef}
$t_{\text{ef},1}$	Wirksame Einbindetiefe in Bauteil 1	–	–	–
$t_{\text{ef},2}$	Wirksame Einbindetiefe in Bauteil 2	–	–	–
t_h	Einbindetiefe	l_{ef}	t	t_h
$t_{h,1}$	Einbindetiefe in Bauteil 1	–	t_1	$t_{h,1}$
$t_{h,1/2;\text{il}}$	Einbindetiefe in den Bauteilen 1, 2 bzw. der Zwischenschicht	–	–	$t_{h,1/2;\text{il}}$
$t_{h,2}$	Einbindetiefe in Bauteil 2	–	t_2	$t_{h,2}$
$t_{h,i}$	Einbindetiefe in Bauteil i	–	t_i	$t_{h(i)}$
t_{HI}	Dicke der Wärmedämmung	t_{HI}	–	–
t_{max}	Maximale Bauteildicke	–	–	–
t_{min}	Minimale Bauteildicke	–	–	t_{min}
t_{pen}	Eindringtiefe im quer beanspruchten Bauteil	t	t_{pen}	–
t_{req}	Erforderliche Feuerwiderstandsdauer bei Normalbrandbeanspruchung	–	t_{req}	–
t_s	Dicke des Stahlblechs	t	$t_i/t_{\text{Blech}}/t_s$	t/t_s
$t_{s,1}$	Dicke der Stahlplatte oben	–	–	–
$t_{s,2}$	Dicke der Stahlplatte unten	–	–	–
$t\Sigma_1$	Dicke der inneren Lagen von Brettsper Holz als Summe	–	–	–
w	Modifikationsbeiwert	–	w	–
	Minimaler Wert der Breite der Konterlatte und der Breite des Sparrens	w	–	–
w_{creep}	Kriechverformung	–	w_{creep}	w_2
w_{ef}	Rechnerisch ansetzbare Breite der Wärmedämmung	w_{ef}	–	–
w_{fin}	Durchbiegung im Endzustand	–	w_{fin}	w_{tot}
w_{inst}	Durchbiegung im Anfangszustand	–	w_{inst}	–
$w_{\text{net,fin}}$	Gesamte Enddurchbiegung	–	$w_{\text{net,fin}}$	w_{max}

		ETA	EC 5	EC 5 Entwurf
w_{pl}	Breite der Nagelplatte parallel zur Faserrichtung	–	w_{pl}	w_{pl}
x	Abstand zwischen der Wirkungslinie der Auflagerkraft und der Ausklingungsecke	c	x	x

Griechische Buchstaben und Bezeichnungen nach ETA-11/0190, EC 5 und EC 5 Entwurf

		ETA	EC 5	EC 5 Entwurf
α	Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung Quotient aus Restträgerhöhe und Trägerhöhe Quotient aus Anschlusshöhe und Trägerhöhe	ε α α	α α α	α α –
β	Winkel zwischen Schraubenachse und Deckfläche Verhältnis der Lochleibungsfestigkeiten zweier Bauteile Dachneigung- Winkel zwischen Schubebene und Normalebene	β – β	– β –	β β –
β_0	Eindimensionaler Abbrand	–	β_0	–
β_n	Ideelle Abbrandrate des Holzes (berücksichtigt Eckausrundungen und Risse)	–	β_n	–
$\beta_{n,1}$	Ideelle Abbrandrate von Bauteil 1	–	–	–
$\beta_{n,2}$	Ideelle Abbrandrate von Bauteil 2	–	–	–
γ_1	Faktor für die Verbindungssteifigkeit in Bauteil 1	–	γ_1	γ_1
γ_2	Faktor für die Verbindungssteifigkeit in Bauteil 2	–	γ_2	γ_2
γ_i	Faktor für die Verbindungssteifigkeit in Bauteil i	–	γ_i	γ_i
γ_M	Teilsicherheitsbeiwert	–	γ_M	γ_M / γ_R
γ_{M0}	Teilsicherheitsbeiwert für Drucknormalbeanspruchung	–	–	γ_{M0}
γ_{M1}	Teilsicherheitsbeiwert für Stabilitätsnachweise bei Druckbeanspruchung	γ_{M1}	–	γ_{M1}
$\gamma_{M,fi}$	Teilsicherheitsbeiwert für Holz im Brandfall	–	X $\gamma_{M,fi}$	–
γ_R	Teilsicherheitsbeiwert für Scher-Verbindungen	–	γ_M	γ_R
$\Delta w_{e,90}$	Lagerverschiebung aus Durchbiegung	–	–	Δw
δ	Verhältnis der modifizierten Lochleibungsfestigkeiten von Zwischenschicht zu spitzenseitigem Bauteil Winkel zwischen Schraubenachse und Scherfuge	– α	– –	δ δ
ε	Winkel zwischen Schraubenachse und Faserrichtung	α	α	ε
ε_1	Winkel zwischen Schraubenachse und Faserrichtung an der druckbeanspruchten Schraube	α_1	–	–
ε_2	Winkel zwischen Schraubenachse und Faserrichtung an der zugbeanspruchten Schraube	α_2	–	–
ε_{HT}	Winkel zwischen Schraubenachse und Faserrichtung im Hauptträger	–	–	–
ε_{NT}	Winkel zwischen Schraubenachse und Faserrichtung im Nebenträger	–	–	–
η	Ausnutzungsgrad Abminderungsfaktor zur Reduktion des axialen Tragwiderstands bei Brandbeanspruchung	– –	η η	– –
η_{ax}	Ausnutzung der Schraube	–	–	–
$\eta_{c,1}$	Ausnutzung bezüglich der Druckspannung im Bauteil 1	–	–	–
η_{fin}	Ausnutzung bezüglich der Durchbiegung im Endzustand	–	–	–
η_H	Faktor, der die Schubspannung erzeugenden Anteile der Querkraft beschreibt	η_H	–	–
η_{inst}	Ausnutzung bezüglich der Durchbiegung im Anfangszustand	–	–	–
η_m	Ausnutzung bezüglich der Biegespannung	–	–	–
$\eta_{m,1}$	Ausnutzung bezüglich der Biegespannung im Bauteil 1/im Querschnitt 1	–	–	–
$\eta_{m,2}$	Ausnutzung bezüglich der Biegespannung im Bauteil 2/im Querschnitt 2	–	–	–
$\eta_{t,2}$	Ausnutzung bezüglich der Zugspannung im Bauteil 2	–	–	–
η_v	Ausnutzung des Anschlusses	–	–	–
$\eta_{v,1}$	Ausnutzung bezüglich der Schubspannung im Querschnitt 1	–	–	–
$\eta_{v,2}$	Ausnutzung bezüglich der Schubspannung im Bauteil 2/im Querschnitt 2	–	–	–
κ_{max}	Geometriebeiwert (max. Schubspannung in gefährdeten Bereichen)	–	–	κ_r
λ_k	Bezogener Schlankheitsgrad	λ_k	$\lambda_{rel,y/z}$	λ_k
μ	Reibbeiwert	–	μ	μ
$\rho_{ref,k}$	Bezugsrohdichte	ρ_a	ρ_a	$\rho_{ref(i),k}$
$\rho_{ref,k,1}$	Bezugsrohdichte von Bauteil 1	–	–	–
$\rho_{ref,k,2}$	Bezugsrohdichte von Bauteil 2	–	–	–
$\rho_{ref,k,i}$	Bezugsrohdichte von Bauteil i	–	–	$\rho_{ref(i),k}$
ρ_k	Charakteristische Rohdichte	ρ_k	ρ_k	$\rho_{(i),k}$

		ETA	EC 5	EC 5 Entwurf
$\rho_{k,1}$	Charakteristische Rohdichte von Bauteil 1	-	-	-
$\rho_{k,1,2}$	Charakteristische Rohdichte von Querschnitt 1 und 2	-	-	-
$\rho_{k,2}$	Charakteristische Rohdichte von Bauteil 2	-	-	-
$\rho_{k,HT}$	Charakteristische Rohdichte vom Hauptträger	-	-	-
$\rho_{k,NT}$	Charakteristische Rohdichte vom Nebenträger	-	-	-
$\rho_{k,i}$	Charakteristische Rohdichte von Bauteil i /Querschnitt i	-	-	$\rho_{(i),k}$
ρ_{mean}	Mittlere Rohdichte	-	ρ_m	ρ_{mean}
$\rho_{mean,1}$	Mittlere Rohdichte von Bauteil 1	-	-	$\rho_{mean,1}$
$\rho_{mean,1/2/il}$	Mittlere Rohdichte von Bauteil 1,2 bzw. der Zwischenschicht	-	-	$\rho_{mean,1/2/il}$
$\rho_{mean,2}$	Mittlere Rohdichte von Bauteil 2	-	-	$\rho_{mean,2}$
$\rho_{mean,i}$	Mittlere Rohdichte von Bauteil i /Querschnitt i	-	-	$\rho_{(i),mean}$
$\rho_{mean,il}$	Mittlere Rohdichte der Zwischenschicht	-	-	$\rho_{mean,il}$
Σ	Summe	-		Σ
Σ_i	Summe über i	-	Σ_i/Σ_j	Σ_i
$\sigma_{10\%}$	Druckspannung bei 10% gestauchter Dämmung (nach DIN EN 826 gemessen)	$\sigma_{10\%}$	-	-
$\sigma_{90,d}$	Bemessungswert der Spannung rechtwinklig zur Faserrichtung	$\sigma_{90,d}$	$\sigma_{90,d}$	-
$\sigma_{c,90,d}$	Bemessungswert der Druckspannung in der Kontaktfläche	-	$\sigma_{c,90,d}$	$\sigma_{c,90,d}$
$\sigma_{c,d}$	Bemessungswert der Druckspannung	-	$\sigma_{c,d}$	$\sigma_{c,d}$
$\sigma_{c,d,1}$	Bemessungswert der Druckspannung im Bauteil 1	-	-	σ_i
$\sigma_{c,k}$	Charakteristischer Wert der Druckspannung	σ_k	-	-
$\sigma_{m,d}$	Bemessungswert der Biegespannung	$\sigma_{m,d}$	$\sigma_{m,d}$	$\sigma_{m,i}$
$\sigma_{m,d,1}$	Bemessungswert der Biegespannung im Bauteil 1/im Querschnitt 1	-	-	$\sigma_{m,i}$
$\sigma_{m,d,2}$	Bemessungswert der Biegespannung im Bauteil 2/im Querschnitt 2	-	-	$\sigma_{m,i}$
$\sigma_{max,d,2}$	Größter Wert der Spannung im Bauteil 2	-	-	-
$\sigma_{min,d,1}$	Kleinster Wert der Spannung im Bauteil 1	-	-	-
$\sigma_{t,d,2}$	Bemessungswert der Zugspannung im Bauteil 2	-	-	σ_i
τ_d	Bemessungswert der Schubspannung	τ_d	τ_d	τ_d
τ_{max}	Maximale Schubspannung in den gefährdeten Bereichen	-	-	$\tau_{max,d}$
$\tau_{max,d,2}$	Größter Wert der Schubspannung im Bauteil 2	-	-	$\tau_{2,max}$
$\tau_{z,d}$	Schubspannung in z-Richtung im Querschnitt	-	-	-
$\tau_{z,d,1}$	Schubspannung in z-Richtung im Querschnitt 1	-	-	-
$\tau_{z,d,2}$	Schubspannung in z-Richtung im Querschnitt 2	-	-	-
ϕ	Beiwert	k	-	ϕ
ϕ_c	Abminderungsbeiwert beim Knicken einer Schraube	κ_c	-	ϕ_c
ϕ_{Tr}	Lagerrotation aus Trägersdurchbiegung	-	-	ϕ
Ψ_0	Kombinationsbeiwert nach DIN EN 1990	-	Ψ_0	Ψ_0
Ψ_2	Kombinationsbeiwert nach DIN EN 1990	-	Ψ_2	Ψ_2
ω_{mean}	Holzgleichgewichtsfeuchte (Jahresmittel)	-	ω	ω_{mean}

Abkürzungen

①	Bauteil 1 (in einer Verbindung)
②	Bauteil 2 (in einer Verbindung)
il	Zwischenschicht (interlayer)
A2	Nicht rostender Stahl (Legierungen: 1.4301, 1.4305 bzw. 1.4307)
A4	Nicht rostender Stahl (Legierung: 1.4401)
BaSH	B alkenschich H olz
BFu	Sperrholz nach DIN EN 636-1/S bis -3/S (S = tragend)
BGL	Blockverklebtes Brett-schichholz (B lock G lued G lulam)
CH	Zylinderkopf (C ylinder H ead)
CL	Holzprodukte mit kreuzend angeordneten Lamellen (C ross L ayered T imber – CLT, SWP-C)
CLT	Brettsperrholz (BSP, C ross L aminated T imber)
COMBI	Kombikopf (mit Schaftverstärkung)

CPB	Zementgebundene Spanplatte (C ement B onded P articleboard)
CS	Senkkopf (C ountersunk)
CSMP	Senkkopf mit Frästaschen (C ountersunk Head M illing P ocket)
CSMR	Senkkopf mit Fräsrippen (C ountersunk Head M illing R ib)
CSMR-WW	Senkkopf mit Fräsrippen (hohe Kopfform mit verlängertem Antrieb)
CRC	Korrosionswiderstandsklasse (C orrosion R esistance C lass)
ETX	Außensechsrundkopf mit Scheibe (External Torx)
FK	F estigkeits k lasse
FST	Konstruktionsvollholz (KVH, F inger-jointed S tructural T imber)
GFB	Gipsfaserplatte (G ypsum F ibreboard)
GG IIpc	Grobgang(gewinde) II mit Frästaschen (pre cut)
GL	Brettschichtholz (BSH, G lued L aminated Timber)
GLVL	Brettschichtholz aus Furnierschichtholz (G lued L aminated V eneer L umber – GLVL-C, GLVL-P)
GLVL-C	Brettschichtholz aus Furnierschichtholz mit gekreuzten Furnierlagen (Glued LVL – C rossband)
GLVL-P	Brettschichtholz aus Furnierschichtholz mit parallelen Furnierlagen (Glued LVL – P arallel)
GL 75	Träger aus Furnierschichtholz aus Buche nach ETA-1470354
GPB	Gipskartonplatte (GKP, G ypsum P lasterboard)
GST	Balkenschichtholz (G lued S olid Timber)
GLT Birch	Brettschichtholz aus Laubholz nach ETA-19/0031
GYB	Gipsbasierte Platten (G ypsum B ased – GPB, GFB)
GZG	G renzzustand der G ebrauchstauglichkeit
GZT	G renzzustand der T ragfähigkeit
HB	Harte Faserplatte (H ard)
HCR	Stähle für korrosionsaggressive Umgebungen (H igh C orrosion R esistance – Legierungen: 1.4539, 1.4529)
HI	Wärmedämmung (H eat I nsulation)
HT	H aupt t räger
JH	Balkenschuh-Schrauben-Kopf (J oist H anger)
KLED	K lasse der L asteinwirkungs d auer
LFK	L ast f all k ombination
LVL	Furnierschichtholz (FSH, L aminated V eneer L umber – LVL-C, LVL-P)
LVL-C	Furnierschichtholz mit gekreuzten Furnierlagen (C rossband)
LVL-P	Furnierschichtholz mit parallelen Furnierlagen (P arallel)
LVL _{edge(wise)}	Furnierschichtholz mit stehenden Furnieren (z. B. Hochkantbeanspruchung)
LVL _{flat(wise)}	Furnierschichtholz mit liegenden Furnieren (z. B. Flachkantbeanspruchung)
MB	Mittelharte Faserplatte (M edium)
MDF	Mitteldichte Faserplatte
NDP	National festgelegte Parameter (N ationally D etermined P arameter)
NKL	N utzungs k lasse
NT	N ebent r äger
OSB	Platte aus langen, schlanken, ausgerichteten Spänen (strands – O riented S trand B oard)
P	Schraube mit zwei Gewindebereichen
PII	Schraube mit zwei Gewindebereichen
Pan	P an H ead
Pan-JH	Balkenschuh-Schrauben-Kopf (J oist H anger)
PL	Holzprodukte mit parallel angeordneten Lamellen (P arallel L aminated Timber – GST, GL, BGL, SWP-P)
PW	Sperrholz (P lywood)
QS	Q uerschnitt
R 30	Feuerwiderstandsdauer von 30 Minuten
R 60	Feuerwiderstandsdauer von 60 Minuten
RPB	Kunstharzgebundene Spanplatte (R esin B onded P articleboard)
RW	Innenantrieb
SB	Poröse Faserplatte (Weichfaserplatte, S oftboard)
SL	Bauholz (KVH, S tructural L umber – ST, FST)
ST	Vollholz (VH, S olid Timber)

STB	Spanbasierte Holzprodukte (Str and B ased)
StBl	St ahl bl ech
SWB	Vollholzprodukte (S olid W ood B ased)
SWP	Massivholzplatten nach DIN EN 13986 (S olid w ood p anel)
SWP-C	Mehrlagige Massivholzplatte
SWP-P	Einlagige Massivholzplatte
TG	Teilg ewinde
TTC	Holz-Holz-Verbundwerkstoff (T imber T imber C omposite)
VB	Furnierbasierte Holzprodukte (V eneer B ased)
VG	V oll g ewinde
VGS	V oll g ewinde s chraube
VM	V erbindung m ittel
WFB	Faserbasierte Platten (W ood F ibre B ased – HB, MB, SB, MDF)
WH	Scheibenkopf (W asher H ead – mit gewölbtem Kopf)
WH II	Scheibenkopf II (mit Stufe und planem Kopf)
WH _{A2}	Scheibenkopf an A2-Schrauben
WPB	Holzpartikelbasierte Platten (W ood P article B ased – RPB, CPB)
WW	Senkkopf mit Fräsrippen (hohe Kopfform mit verlängertem Antrieb)



GREIFT SOFORT, OHNE ABZURUTSCHEN

ASSY® 4 VGN – Vollgewindeschraube mit Nadelspitze



NEU

Die ASSY® 4 VGN mit Gewinde bis zur Spitze verhindert auch bei Einschraubwinkeln von beispielsweise 45° effektiv ein Abrutschen und zieht direkt mit der ersten Umdrehung ins Holz.

Art-Nr. 0150 60 ...

NOTIZEN

This image shows a full page of blank graph paper. The grid consists of small, uniform squares formed by thin, light gray lines. The paper has a white background, and the grid covers the entire area except for a narrow margin at the top. There are no markings, text, or drawings on the grid itself.

NOTIZEN

This image shows a full page of blank graph paper. The grid consists of small, uniform squares formed by thin, light gray lines. The paper has a white background, and the grid covers almost the entire area, leaving a narrow margin at the top and bottom. There are no markings, text, or drawings on the grid itself.



AMO[®] IV

Die Fenstermontageschraube für hohe Anforderungen. Einbruchhemmung und absturzsichernde Befestigung in Holz.

**Eine Produktentwicklung von Würth.
Art.-Nr. 0234 63 ...**



Die Befestigung erfüllt die Anforderungen für Fenster mit absturzsichernden Eigenschaften.

Bauartengenehmigung als Nachweis für die Befestigung in Holzkonstruktionen. Mit der Würth Fenstersoftware statisch bemessbar.



Fachbeitrag

Befestigung von absturzsichernden Fenstern im Verankerungsgrund Holz







ASSY® SCHRAUBEN – HANDBUCH ZUR ETA-11/0190

Bemessung von Verbindungen und Verstärkungen
im Holzbau

Adolf Würth GmbH & Co. KG
74650 Künzelsau
Tel. +49 7940 15-0
info@wuerth.com

www.wuerth.de

© by Adolf Würth GmbH & Co. KG
Printed in Germany
Alle Rechte vorbehalten.
Verantwortlich für den Inhalt:
MPBH/MW
Redaktion: MCMC/PR



Druckprodukt
CO₂-kompensiert
wuerth.de/nachhaltigkeit

Es gelten unsere allgemeinen Verkaufs-, Lieferungs-, und
Zahlungsbedingungen unter www.wuerth.de/AGB
Nachdruck, auch nur auszugsweise, nur mit Genehmigung.
MP01_658572108 - SF - OHA - 4' - 11/2025

Wir behalten uns das Recht vor, Produktveränderungen, die aus unserer Sicht einer Qualitäts-
verbesserung dienen, auch ohne Vorankündigung oder Mitteilung jederzeit durchzuführen.
Abbildungen können Beispielabbildungen sein, die im Erscheinungsbild von der gelieferten
Ware abweichen können. Irrtümer behalten wir uns vor, für Druckfehler übernehmen wir keine
Haftung.