



*Christoph Fuhrmann
dipl. Holzbauingenieur HTL
Fuhrmann Ingenieurbüro
für Holzbau
Schwanden bei Brienz, Schweiz*

Stabdübelverbindungen

Grundlagen, Revision der Bemessungsregeln und Nachweise, Beispiele

Stabdübelverbindungen

Grundlagen, Revision der Bemessungsregeln und Nachweise, Beispiele

Teilrevision der Norm SIA 265:2003

Das in der Norm SIA 265:2003 [1] verarbeitete Wissen entspricht in etwa dem Stand um die Jahrtausendwende. Als Basis für die Erarbeitung der Norm SIA 265:2003 wurden unter anderem die europäische Vornorm des Eurocodes 5, die ENV 1995-1-1:1993 [2] und der folgende Normentwurf prEN 1995-1-1:2002 [3] verwendet. Bereits die Schlussversion des Eurocodes 5, die EN 1995-1-1:2004 [4], weicht deutlich von den Vorgängerversionen ab. In der Zwischenzeit liegen diverse neue Erkenntnisse vor, welche auch zu Änderungen im Eurocode 5 und in der der Norm DIN 1052 geführt haben.

Vergleicht man die Normen SIA 265:2003 und Eurocode 5 miteinander, so zeigen sich grundlegende Unterschiede in Konzeption und Inhalt. Dies betrifft sowohl die gesamte Struktur als auch verschiedene Bemessungsregeln. Im Eurocode 5 gibt es beispielsweise überall Bezüge auf entsprechende Produktnormen und es sind explizite Vorgaben zur Qualitätssicherung enthalten. Obwohl verschiedene Teilaspekte in der Norm SIA 265:2003 ähnlich oder gleichlautend formuliert sind, bestehen letztlich insbesondere im Bereich der Verbindungen mehrere wesentliche Abweichungen von den Bemessungsergebnissen nach Eurocode 5. Insgesamt steht die Norm SIA 265:2003 im Spagat zwischen der Vorgängernorm SIA 164(1981/92) [5] und der europäischen Vornorm ENV 1995-1-1:1993.

Die Grundlagen für Bemessungsregeln und Nachweise zu den stiftförmigen Verbindungsmitteln in der Norm SIA 265:2003 sind in [6] erläutert.

Erste Aktualisierungen wurden in der Korrigenda [7] zur Norm SIA 265:2003 vom 05.03.2008 vorgenommen. Im Rahmen der nun laufenden Teilrevision der Norm SIA 265:2003 werden alle mittlerweile erkannten Fehler redaktioneller sowie technischer Art korrigiert und die Norm auf den aktuellen Stand der Technik gebracht. Dies soll allerdings auf das Notwendige beschränkt bleiben.

Die folgenden Ausführungen zeigen die von der Normenkommission SIA 265 erarbeiteten Anpassungen für die Bemessungsregeln und Nachweise bei den Stabdübelverbindungen mit den zugehörigen Grundlagen auf. Der Stand dieser Anpassungen entspricht dem Entwurf zur Vernehmlassung (Teilrevision Entwurf 9.0 vom 15.01.2011 [8]) mit Eingabefrist bis am 15. April 2011. Dieser Entwurf hat keine Gültigkeit und darf deshalb nicht angewendet werden. Aufgrund der Vernehmlassungseingaben wird die Normenkommission den Entwurf überarbeiten. Die Gültigkeit der teilrevidierten Norm SIA 265 beginnt voraussichtlich ab dem 01.01.2012.

Die Nägel, Schrauben, Stabdübel und Bolzen (Bauschrauben) werden mit Verweis auf die mittlerweile vorliegende Norm EN 14592:2008 [9] als Produkt klar definiert. Die Ansätze für die charakteristische Lochleibungsfestigkeit des Holzes, für das charakteristische Fliessmoment (plastischer Biegegewiderstand) der Verbindungsmittel und für den Reduktionsbeiwert bei mehreren Verbindungsmitteln in Krafrichtung hintereinander werden den Regelungen im Eurocode 5 bzw. in der Norm DIN 1052 weitgehend angeglichen.

Bei den spezifischen Bemessungsregeln und Nachweisen für die Stabdübelverbindungen bestehen die Ziele einer Verbesserung der Anwendungssicherheit der Normbestimmungen und der Anpassung der Bemessungswerte an das Niveau der Norm DIN 1052:2008-12 [10]. Unter Beibehaltung der Form des bisherigen Ansatzes wird ein «vereinfachtes» Verfahren für die Berechnung des Bemessungswertes des Tragwiderstandes von Stabdübelverbindungen eingeführt. Ein alternatives «genauerer» Verfahren im Anhang soll in besonderen Fällen eine Optimierung der Bemessung ermöglichen und soll dabei in der Anwendung immer noch einfacher sein, als die Berechnung der Bemessungswerte im Eurocode 5 und das «genauerer» Berechnungsverfahren in der Norm DIN 1052:2008-12.

Revision der Grundlagen

Charakteristische Lochleibungsfestigkeit

Für Stabdübel und Bolzen mit einem Nenndurchmesser d von 6 mm bis 30 mm soll nach Ziffer 6.1.4.3 in [8] die charakteristische Lochleibungsfestigkeit $f_{h,k}$ in Funktion der charakteristischen Rohdichte ρ_k und des Durchmessers d gemäss Tabelle 1 angesetzt werden (mit $f_{h,k}$ in N/mm², ρ_k in kg/m³, d in mm):

Tabelle 1: Charakteristische Lochleibungsfestigkeit (Auszug Tabelle 265.17 [8])

Baustoff	Vorbohrung	Kraft- zur Faserrichtung ¹⁾	
		zur Faser $f_{h,0,k}$	⊥ zur Faser $f_{h,90,k}$
Vollholz und BSH	vorgebohrt	$0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k$	$\frac{f_{h,0,k}}{1,35 + 0,015 \cdot d}$

¹⁾ Bei einem Kraftangriff schräg zur Faserrichtung dürfen die Werte linear interpoliert werden.

Für Stabdübel und Bolzen werden damit die Eckwerte der charakteristischen Lochleibungsfestigkeit aus der Norm EN 1995-1-1:2004 Ziffer 8.6(1) bzw. Ziffer 8.5.1.1(2) übernommen, also für die Kraft- zur Faserrichtungen $\alpha = 0^\circ$ und $\alpha = 90^\circ$. Bei Kraft- zur Faserrichtungen im Bereich zwischen 0° und 90° werden die Werte anstelle der Interpolation mit dem Ansatz von Hankinson nach Norm EN 1995-1-1:2004 Formel 8.31 vereinfachend linear interpoliert. Für Stabdübelverbindungen mit Brettschichtholz GL24h ergeben sich folgende maximale Abweichungen zwischen dem Ansatz von Hankinson und linearer Interpolation:

- Lochleibungsfestigkeit:	$d = 6$ mm:	-2,3% bis +6,1%
	$d = 12$ mm:	-2,5% bis +7,6%
	$d = 30$ mm:	-2,7% bis +12,7%
- erforderliche Holzdicke:	$d = 6$ mm:	-2,9% bis +1,2%
	$d = 12$ mm:	-3,6% bis +1,3%
	$d = 30$ mm:	-5,8% bis +1,4%
- Tragwiderstand:	$d = 6$ mm:	-1,2% bis +3,0%
	$d = 12$ mm:	-1,2% bis +3,7%
	$d = 30$ mm:	-1,3% bis +6,1%

Plastischer Biege­widerstand (charakteristisches Flie­ssmoment)

Für Stabdübel aus Stahl nach Norm EN 14592:2008 [9] mit einem Nenndurchmesser d von 6 mm bis 30 mm darf nach Ziffer 6.1.4.4 in [8] der charakteristische Wert des plastischen Biege­widerstands (charakteristisches Flie­ssmoment) wie folgt festgelegt werden (mit $M_{u,k}$ in Nmm, $f_{u,k}$ in N/mm², d in mm):

$$M_{u,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} \quad (\text{Formel 265.85})$$

mit:

$f_{u,k}$ charakteristischer Wert der Zugfestigkeit des Verbindungsmittels

d Stiftdurchmesser bei glattschaftigen Verbindungsmitteln

Schon in der Korrigenda [7] zur Norm SIA 265:2003 wurde für den plastischen Biege­widerstand der charakteristische Wert des Flie­ssmomentes des Verbindungsmittels aus der Norm EN 1995-1-1:2004 Ziffer 8.6(1) bzw. Ziffer 8.5.1.1(1) mit Formel 8.30 übernommen.

Für die Berechnung des Tragwiderstandes bei den Stabdübelverbindungen wird eine ausreichende Verformungsfähigkeit der Stabdübel vorausgesetzt. Nach der Bildung des ersten Flie­ssgelenkes muss sich dieses soweit verformen können, dass sich die weiteren Flie­ssgelenke auch tatsächlich ausbilden. Der charakteristische Wert des Flie­ssmomentes bezieht sich deshalb auf einen Biege­winkel des Stabdübels.

Im Versuch zur Bestimmung des charakteristischen Flieissmomentes nach Norm EN 409:2009 [11] wird das Verbindungsmittel in einem Biegegerät belastet und soweit verformt, bis ein vorgegebener Biegewinkel erreicht wird. Der zur Bestimmung des charakteristischen Flieissmomentes anzusetzende Biegewinkel wird in Abhängigkeit der Zugfestigkeit des Verbindungsmittels und der charakteristischen Rohdichte des Holzes, bei dem das Verbindungsmittel eingesetzt wird, vorgegeben.

Im Rahmen der CE-Kennzeichnung gemäss der Norm EN 14592:2008 [9] muss auf der Verpackung der Stabdübel unter anderem der Nenndurchmesser und die Länge sowie die Güte des Werkstoffes, das charakteristische Flieissmoment und der Korrosionsschutz (Dauerhaftigkeit) angegeben sein.

Reduktionsbeiwert k_{red} für mehrere in Krafrichtung hintereinander angeordnete Stabdübel

Für mehrere in Krafrichtung hintereinander angeordnete Stabdübel ist der Reduktionsbeiwert k_{red} nach Ziffer 6.1.4.6 in [8] wie folgt anzusetzen:

$$k_{red} = n^{-0,1} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{10d}} \cdot \frac{90^\circ - \alpha}{90^\circ} + \frac{\alpha}{90^\circ} \quad \text{jedoch } k_{red} \leq 1,0 \quad (\text{Formel 265.85a})$$

mit:

- n Anzahl der in Faserrichtung des Holzes hintereinander angeordneten Verbindungsmittel
- a_1 Abstand der Verbindungsmittel untereinander in Faserrichtung des Holzes
- d Durchmesser der Verbindungsmittel
- α Winkel zwischen der Kraft- und der Faserrichtung der Holzteile in Grad

Bei Holz-Holz-Verbindungen mit unterschiedlichen Winkeln zwischen der Kraft- und der Faserrichtung der Holzteile ist der Reduktionsbeiwert k_{red} für alle Holzteile einzeln zu bestimmen. Für die Ermittlung des Tragwiderstands der Verbindung ist der kleinste Wert von k_{red} einzusetzen.

Tabelle 2: Reduktionsbeiwert k_{red} für den Winkel $\alpha = 0^\circ$ zwischen der Krafrichtung und der Faserrichtung des Holzes für unterschiedliche Abstände und Anzahl der Verbindungsmittel (Tabelle 265.18 [8]).

Abstand a_1 der Verbindungsmittel in Faserrichtung des Holzes	Anzahl n der in Faserrichtung des Holzes hintereinander angeordneten Verbindungsmittel						
	1	2	3	4	5	10	15
$7 \cdot d$	1,0	0,85	0,82	0,80	0,78	0,73	0,70
$8 \cdot d$	1,0	0,88	0,85	0,82	0,81	0,75	0,72
$10 \cdot d$	1,0	0,93	0,90	0,87	0,85	0,79	0,76
$12 \cdot d$	1,0	0,98	0,94	0,91	0,89	0,83	0,80

Diese Reduktion für mehrere in Krafrichtung hintereinander angeordnete Stabdübel wurde ebenfalls in der Korrigenda [7] zur Norm SIA 265:2003 aus der Norm EN 1995-1-1:2004 Ziffer 8.6(1) bzw. Ziffer 8.5.1.1(4) übernommen. Allerdings ist dabei der Bezug beim Abstand in Faserrichtung nicht auf $13 \cdot d$, sondern wie in der Norm DIN 1052:2008-12 Ziffer 12.3(9) auf $10 \cdot d$ festgelegt.

Der geringere Tragwiderstand pro Verbindungsmittel bei mehreren in Krafrichtung hintereinander angeordneten Verbindungsmitteln wird hauptsächlich durch das frühzeitige Aufspalten des Holzes in Faserrichtung verursacht. Der Ansatz für den entsprechenden Reduktionsbeiwert k_{red} basiert auf der Arbeit von Jorissen [12]. Schmid [13] hat in seiner Arbeit die Ergebnisse von Jorissen weitgehend bestätigt. Siehe dazu auch in den Erläuterungen [14] zur Norm DIN 1052:2004-08 unter E 12.3(9).

Weil dieser Ansatz neu auch für Nägel und Schrauben gültig ist, wird er nun im Kapitel 6.1 angeordnet.

Revision der spezifischen Bemessungsregeln und Nachweise für die Stabdübelverbindungen

Für die Berechnung des Tragwiderstandes wird unter Beibehaltung der Form des bisherigen Ansatzes zur Verbesserung der Anwendungssicherheit der Normbestimmungen und der Anpassung der Bemessungswerte an das Niveau der Norm DIN 1052:2008-12 ein «vereinfachtes» Verfahren für die Berechnung des Bemessungswertes des Tragwiderstandes von Stabdübelverbindungen eingeführt. Ein alternatives «genauer» Verfahren im Anhang bietet zudem die Möglichkeit einer Optimierung der Bemessung.

Abbildung 1 zeigt den Unterschied zwischen «vereinfachtem» und «genauerem» Verfahren sowie die Verhältnisse bezüglich der Formeln des Johansen-Modells [15] in DIN 1052:2008-12 [10] am Beispiel einer zweischnittigen Stabdübelverbindung Holz-Holz gemäss Formel (88) bzw. Formeln (A5) und (A6). Im Diagramm dargestellt sind die Bemessungswerte R_d pro Schnittebene in kN/Schnitt in Abhängigkeit der vorhandenen Holzdicke t_1 in mm (Seitenhölzer) bei konstanter Holzdicke $t_2 = 80$ mm (Mittelholz) für einen Stabdübel mit Durchmesser $d = 12$ mm mit einer charakteristischen Zugfestigkeit von $f_{u,k} = 500$ N/mm² in einer Stabdübelverbindung mit Brettschichtholz GL24h in Faserrichtung. Die Bemessungswerte R_d pro Schnittebene nach den Formeln der DIN 1052 sind darin für $k_{mod} = 0,8$ berechnet.

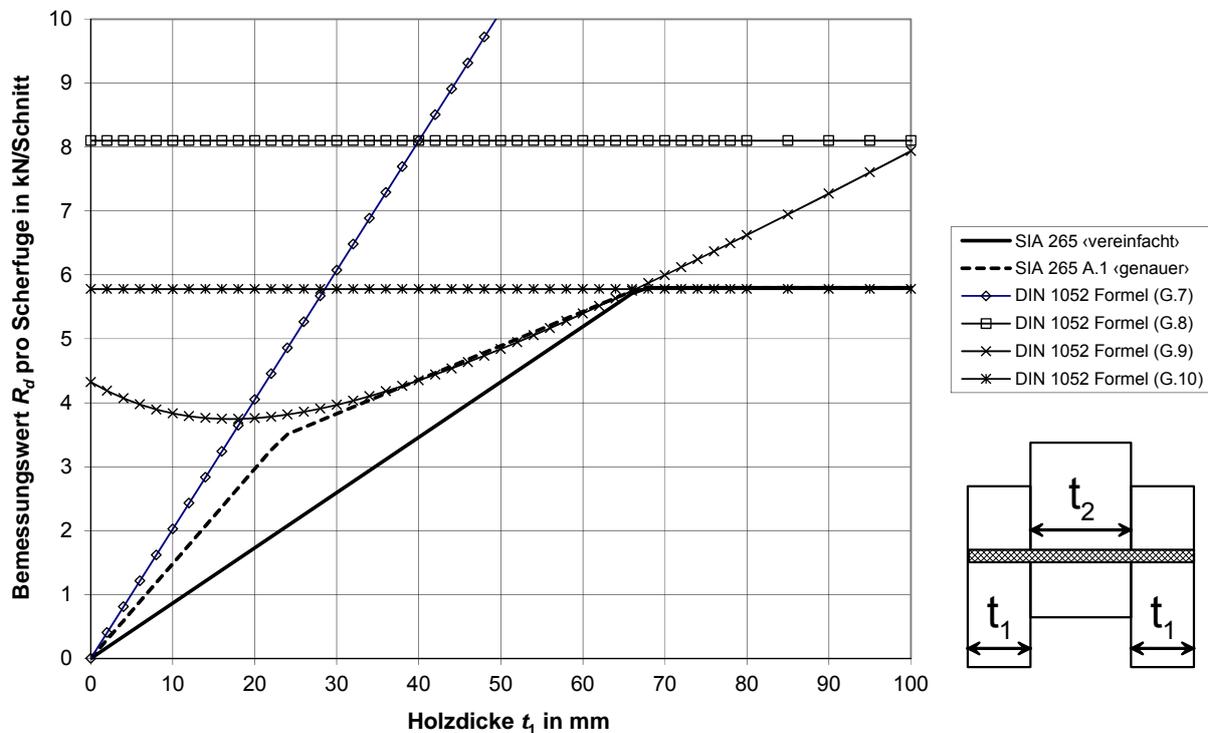


Abbildung 1: Bemessungswert R_d pro Schnittebene in kN/Schnitt in Abhängigkeit der vorhandenen Holzdicke t_1 am Beispiel einer zweischnittigen Stabdübelverbindung Holz-Holz ($d = 12$ mm, $f_{u,k} = 500$ N/mm², GL24h, $\alpha = 0^\circ$, $t_2 = 80$ mm):

Bemessungswert des Tragwiderstands $R_{d,Verb}$ von Stabdübelverbindungen, «vereinfachtes» Verfahren

Der Bemessungswert des Tragwiderstands $R_{d,Verb}$ einer Stabdübelverbindungen für $\eta_w = 1,0$ und $\eta_t = 1,0$ wird gemäss Ziffer 6.2.1.1 in [8] bei Stabdübeln aus Stahl nach Norm EN 14592:2008 [9] mit einem Durchmesser d von 6 mm bis 30 mm und bei Einhalten der Mindestabstände wie folgt ermittelt:

$$R_{d,Verb} = k_\alpha \cdot k_{red} \cdot n_{tot} \cdot p \cdot k_\beta \cdot \sqrt{M_{u,k} \cdot f_{h,k} \cdot d} = k_\alpha \cdot k_{red} \cdot n_{tot} \cdot p \cdot k_\beta \cdot \sqrt{0,3 \cdot f_{u,k} \cdot f_{h,k} \cdot d^{1,8}} \quad (86)$$

mit:

$$k_{\alpha} \quad k_{\alpha} = 0,73$$

k_{red} Reduktionsbeiwert gemäss Ziffer 6.1.4.6 [8]

n_{tot} Gesamtanzahl Stabdübel der Stabdübelverbindung

p Anzahl der Scherfugen, bei mehrschnittigen Stahl-Holz-Verbindungen gemäss Tabelle 265.19 (bzw. Tabelle 265.A2) sind für die Scherfugen A und B die vorhandene Anzahl mit dem zugehörigen Hilfswert k_{β} zu berücksichtigen: $p \cdot k_{\beta} = (p_A \cdot k_{\beta 1} + p_B \cdot k_{\beta 2})$

k_{β} Hilfswert, abhängig von der Ausbildungsform, vereinfacht ermittelt gemäss Tabelle 265.19. Der Hilfswert k_{β} darf alternativ nach Anhang A genauer ermittelt werden.

$M_{u,k}$ Biege widerstand (charakteristisches Flie ssmoment) des Stabdübels in Nmm gemäss Ziffer 6.1.4.4 [8]

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

$f_{h,k}$ Lochleibungs festigkeit in N/mm² gemäss Ziffer 6.1.4.3 [8], bei Holz-Holz-Verbindungen ist die Lochleibungs festigkeit des Seitenholzes 1 (in Tabelle 265.19 als $f_{h,1,k}$ bezeichnet) einzusetzen

d Durchmesser des Stabdübels in mm.

Formel (86) entspricht wie bisher dem Versagen im Modus 3, darin bilden sich alle möglichen Flie ss gelenke im Stabdübel aus. Die dafür erforderlichen Holzdicken werden gemäss Tabelle 265.19 bestimmt. Falls die erforderlichen Holzdicken nicht eingehalten werden, wird der Hilfswert k_{β} linear zwischen 0 und dem in Tabelle 265.19 angegebenen Wert interpoliert. Eine genauere Ermittlung des Hilfswerts k_{β} ist in diesem Fall alternativ nach dem Anhang A unter Berücksichtigung des Überganges der Versagensarten «Lochleibungsversagen» – «gemischtes Versagen» (Modus 1 – Modus 2) mittels bilinearer Interpolation möglich.

Die Reduktion des Tragwiderstandes auf das Bemessungsniveau erfolgt mit:

$$k_{\alpha} = \frac{k_{mod}}{\gamma_{M,Stahl}} = \frac{0,8}{1,1} \approx 0,73$$

Siehe dazu in den Erläuterungen [14] zur Norm DIN 1052:2004-08 unter E 12.2.2(2). Die bisherige Differenzierung nach der Beanspruchungsrichtung und die bisher mögliche Erhöhung des Bemessungswertes mit dem Faktor 1,13, falls die Holzdicken gemäss Tabelle 265.19 eingehalten waren, entfallen. Damit wird eine in der Praxis häufige Fehlerquelle eliminiert. Der Ansatz bleibt so auch kompatibel mit den Bestimmungen in SIA 265/1:2009 Ziffer 8.2.1 [16].

Um Missverständnisse zu vermeiden, wurden in Formel (86) anstelle von $m \cdot n$ neu n_{tot} als Gesamtanzahl der Stabdübel eingeführt und die Erläuterungen der Variablen erweitert. Zudem wurde Formel (86) so ergänzt, dass direkt die charakteristische Zugfestigkeit des Stabdübels eingesetzt werden kann.

Die Formeln für die Ermittlung der erforderlichen Holzdicken und der Hilfswerte k_{β} sind in der folgenden Tabelle 3 (Auszug Tabelle 265.19) zusammengestellt.

Die erforderlichen Holzdicken entsprechen der Mindestholzdicke für das Versagen im Modus 3 «Ausbildung aller möglichen Flie ss gelenke im Stabdübel» und ergeben sich aus den angepassten Johansen-Formeln [15] und sind im Ansatz entsprechend der Norm DIN 1052:2008-12 festgelegt, siehe Erläuterungen [14] zur Norm DIN 1052:2004-08 unter E 12.2.2(2):

$$t_{erf} = \text{Faktor}_{Modell} \cdot \sqrt{\frac{\gamma_{M,Holz}}{k_{mod} \cdot \gamma_{M,Stahl}}} \cdot \sqrt{\frac{M_{u,k}}{f_{h,k} \cdot d}} = \text{Faktor}_{Modell} \cdot \sqrt{\frac{1,3}{0,9 \cdot 1,1}} \cdot \sqrt{\frac{0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6}}{f_{h,k} \cdot d}}$$

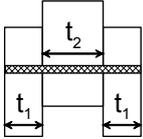
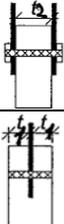
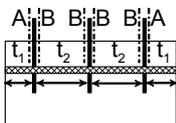
$$t_{erf} = \text{Faktor}_{Modell} \cdot 1,15 \cdot \sqrt{0,3} \cdot \sqrt{\frac{f_{u,k}}{f_{h,k}}} \cdot d^{0,8}$$

Wie zuvor in der Korrigenda [7] zur Norm SIA 265(2003) entfällt in der Tabelle 265.19 die Formel (92), weil die Einspannung des Stabdübels in den aussenliegenden Blechen in der praktischen Umsetzung der Verbindung als problematisch beurteilt wird und die Einführung spezifischer Anforderungen nötig wäre.

Die Gültigkeit der Formeln (93) und (94) wird mit folgenden Bedingungen begrenzt:

- Die Bedingung $t_2 \geq 2 \cdot t_1$ für Formel (93) wird gestellt, damit sich beim ersten Blech in den Scherfugen A und B gleiche Verhältnisse ergeben (1 bzw. 2 Fließgelenke, analog Formel (91)) und Gleichgewicht möglich ist. Zudem wird damit sichergestellt, dass die Flächenanteile von Seiten- und Mittelholz bezüglich der Kräfteinleitungen über die Scherfugen A und B einigermassen ausgewogen sind.
- Die Bedingung $t_1 \geq 0,35 \cdot t_2$ für Formel (94) wird gestellt, damit sich in der Scherfuge A mindestens ein Fließgelenk ausbildet und das Gleichgewicht möglich ist. Falls die Einspannung im Seitenholz nicht ausreichend ist, liegt der Tragwiderstand für die Scherfuge B tiefer und der Grenzwert müsste entsprechend Formel (90) ermittelt werden. In der Norm SIA 265:2003 war diese Bedingung in Fussnote 2 enthalten.

Tabelle 3: Erforderliche Holzdicken und Hilfswerte k_β pro Scherfuge (Auszug Tab. 265.19 [8]).

Ausbildungsform		erforderliche Holzdicken	k_β ¹⁾	
Holz - Holz, HWS - Holz zweischnittig 	$\beta_f = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}}$	$t_{1,erf} = 1,26 \cdot \left(\sqrt{\frac{\beta_f}{1+\beta_f}} + 1 \right) \cdot \sqrt{\frac{f_{u,k}}{f_{h,1,k}}} \cdot d^{0,8}$ $t_{2,erf} = 2,52 \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{1+\beta_f}} \right) \cdot \sqrt{\frac{f_{u,k}}{f_{h,2,k}}} \cdot d^{0,8}$	$k_\beta = \min \left[\frac{t_1}{t_{1,erf}}; \frac{t_2}{t_{2,erf}}; 1,0 \right] \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot \beta_f}{1+\beta_f}}$	(87)
	Für $\beta_f = 1$	$t_{1,erf} = 2,15 \cdot \sqrt{\frac{f_{u,k}}{f_{h,1,k}}} \cdot d^{0,8}$ $t_{2,erf} = 1,78 \cdot \sqrt{\frac{f_{u,k}}{f_{h,2,k}}} \cdot d^{0,8}$	$k_\beta = \min \left[\frac{t_1}{t_{1,erf}}; \frac{t_2}{t_{2,erf}}; 1,0 \right] \cdot \sqrt{2}$	(88)
Stahl - Holz zweischnittig 		$t_{2,erf} = 1,78 \cdot \sqrt{\frac{f_{u,k}}{f_{h,k}}} \cdot d^{0,8}$	$k_\beta = \min \left[\frac{t_2}{t_{2,erf}}; 1,0 \right] \cdot \sqrt{2}$	(90)
		$t_{1,erf} = 2,52 \cdot \sqrt{\frac{f_{u,k}}{f_{h,k}}} \cdot d^{0,8}$	$k_\beta = \min \left[\frac{t_1}{t_{1,erf}}; 1,0 \right] \cdot 2$	(91)
Stahl - Holz mehrschnittig 	Scherfuge A	wenn $t_2 \geq 2 \cdot t_1$ gilt: $t_{1,erf} = 2,52 \cdot \sqrt{\frac{f_{u,k}}{f_{h,k}}} \cdot d^{0,8}$	$k_{\beta 1} = \min \left[\frac{t_1}{t_{1,erf}}; 1,0 \right] \cdot 2$	(93)
	Scherfuge B	wenn $t_1 \geq 0,35 \cdot t_2$ gilt: $t_{2,erf} = 2,52 \cdot \sqrt{\frac{f_{u,k}}{f_{h,k}}} \cdot d^{0,8}$	$k_{\beta 2} = \min \left[\frac{t_2}{t_{2,erf}}; 1,0 \right] \cdot 2$	(94)
¹⁾ Hinweis: Sind die vorhandenen Holzdicken kleiner als die erforderlichen Holzdicken, so wird mit den Formeln (87) bis (94) k_β linear interpoliert.				

Die Grundwerte der Hilfswerte k_β ergeben sich aus den Johansen-Formeln für das Versagen im Modus 3 (Ausbildung aller möglichen Fließgelenke im Stabdübel). Falls die erforderlichen Holzdicken nicht eingehalten werden, wird der Hilfswert k_β linear zwischen 0 und dem Grundwert interpoliert.

Bemessungswert des Tragwiderstands $R_{d,Verb}$ von Stabdübelverbindungen, ‹genaueres› Verfahren nach Anhang A.1

Für die Berechnung des Bemessungswertes des Tragwiderstands $R_{d,Verb}$ von Stabdübel- und Bolzenverbindungen gemäss Ziffer 6.2.1.1 in [8] darf der Hilfswert k_{β} alternativ wie folgt ermittelt werden:

- bei Holz-Holz- bzw. HWS-Holz-Verbindungen:

$$k_{\beta} = \min[k_{\beta 1}; k_{\beta 2}]$$

mit:

$k_{\beta 1}$ Hilfswert für das Seitenholz 1, abhängig von der Ausbildungsform gemäss Tabelle 265.A1.

$k_{\beta 2}$ Hilfswert für das Mittelholz bzw. das Seitenholz 2, abhängig von der Ausbildungsform gemäss Tabelle 265.A1.

- bei Stahl-Holz-Verbindungen:

$$k_{\beta} = k_{\beta 1} \quad \text{bzw.} \quad k_{\beta} = k_{\beta 2}$$

mit:

$k_{\beta 1}$ Hilfswert für das Seitenholz, abhängig von der Ausbildungsform gemäss Tabelle 265.A2.

$k_{\beta 2}$ Hilfswert für das Mittelholz, abhängig von der Ausbildungsform gemäss Tabelle 265.A2.

Bei mehrschnittigen Stahl-Holz-Verbindungen gemäss Tabelle 265.A2 sind für die Scherfugen A und B in Formel (86) die vorhandene Anzahl Scherfugen p mit dem zugehörigen Hilfswert k_{β} zu berücksichtigen:

$$p \cdot k_{\beta} = (p_A \cdot k_{\beta 1} + p_B \cdot k_{\beta 2})$$

Die in den Tabellen 265.A1 und 265.A2 angegebenen Formeln für die Holzdicke t ($t_{1,i}$ bzw. $t_{2,i}$) mit den zugehörigen Hilfswerten k_{β} ($k_{\beta 1,i}$ bzw. $k_{\beta 2,i}$) definieren die Übergänge der verschiedenen Versagensformen und legen die Eckpunkte in Figur 265.A1 fest, siehe Abbildung 2. Für kleinere Holzdicke und Zwischenwerte sind die Hilfswerte $k_{\beta 1}$ bzw. $k_{\beta 2}$ linear zu interpolieren.

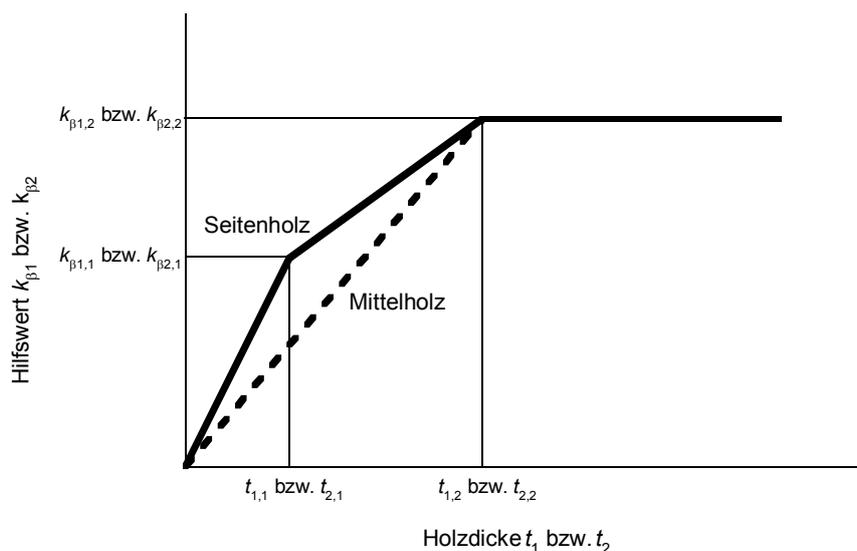
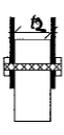
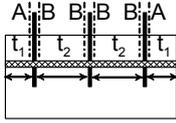
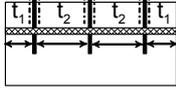


Abbildung 2: Figur 265.A1: Hilfswert $k_{\beta 1}$ bzw. $k_{\beta 2}$ in Funktion der Holzdicke t_1 bzw. t_2 gemäss den Tabellen 265.A1 und 265.A2 (schematisch).

Tabelle 4: Holzdicken $t_{1,i}$ bzw. $t_{2,i}$ und zugehörige Hilfswerte $k_{\beta 1,i}$ bzw. $k_{\beta 2,i}$ (pro Scherfuge) bei Stahl-Holz-Verbindungen (Tabelle 265.A2 [8]).

Ausbildungsform		Holzdicken $t_{1,i}$ bzw. $t_{2,i}$ ¹⁾		$k_{\beta 1,i}$ bzw. $k_{\beta 2,i}$ ²⁾	
Stahl – Holz zweischnittig		Mittelholz	$t_{2,1} = 0$ $t_{2,2} = 1,78 \cdot \sqrt{\frac{f_{u,k}}{f_{h,k}}} \cdot d^{0,8}$	$k_{\beta 2,1} = 0$ $k_{\beta 2,2} = \sqrt{2}$	(A11)
		Seitenholz	$t_{1,1} = 0,89 \cdot \sqrt{\frac{f_{u,k}}{f_{h,k}}} \cdot d^{0,8}$ $t_{1,2} = 2,52 \cdot \sqrt{\frac{f_{u,k}}{f_{h,k}}} \cdot d^{0,8}$	$k_{\beta 1,1} = 1,2$ $k_{\beta 1,2} = 2$	(A12)
Stahl – Holz mehrschnittig	Scherfuge A 	Seitenholz wenn $t_2 \geq 2 \cdot t_1$ gilt:	$t_{1,1} = 0,89 \cdot \sqrt{\frac{f_{u,k}}{f_{h,k}}} \cdot d^{0,8}$ $t_{1,2} = 2,52 \cdot \sqrt{\frac{f_{u,k}}{f_{h,k}}} \cdot d^{0,8}$	$k_{\beta 1,1} = 1,2$ $k_{\beta 1,2} = 2$	(A13)
	Scherfuge B 	Mittelholz wenn $t_1 \geq 0,35 \cdot t_2$ gilt:	$t_{2,1} = 0$ $t_{2,2} = 2,52 \cdot \sqrt{\frac{f_{u,k}}{f_{h,k}}} \cdot d^{0,8}$	$k_{\beta 2,1} = 0$ $k_{\beta 2,2} = 2$	(A14)

¹⁾ Hinweis: Die Holzdicken $t_{1,2}$ bzw. $t_{2,2}$ entsprechen den erforderlichen Holzdicken $t_{1,erf}$ bzw. $t_{2,erf}$ in Tabelle 265.19.
²⁾ Für kleinere Holzdicken und Zwischenwerte sind die Hilfswerte $k_{\beta 1}$ bzw. $k_{\beta 2}$ linear zu interpolieren, siehe Figur 265.A1.

Die Holzdicken $t_{1,1}$ bzw. $t_{2,1}$ mit den Hilfswerten $k_{\beta 1,1}$ bzw. $k_{\beta 2,1}$ entsprechen den Übergangspunkten der Versagensarten «Lochleibungsversagen» – «gemischtes Versagen» (Modus 1 – Modus 2). Für diese Übergangspunkte Modus 1 – Modus 2 wird der Widerstandbeiwert $\gamma_{M,Holz} = 1,3$ eingeführt, um in Formel (86) das mit $k_{\alpha} = 0,73$ enthaltene $\gamma_{M,Stahl} = 1,1$ zu kompensieren:

$$k_{\beta 1,1} = \text{Faktor}_{Modell} \cdot \frac{\gamma_{M,Stahl}}{\gamma_{M,Holz}} = \text{Faktor}_{Modell} \cdot \frac{1,1}{1,3}$$

Die Holzdicken $t_{1,2}$ bzw. $t_{2,1}$ mit den Hilfswerten $k_{\beta 1,2}$ bzw. $k_{\beta 2,2}$ entsprechen den Übergangspunkten der Versagensarten «gemischtes Versagen» – «alle Fließgelenke im SD» (Modus 2 – Modus 3).

Bei den Stahlblech-Holz-Verbindungen ergeben sich die Werte direkt aus den angepassten Johansen-Formeln. Bei den Holz-Holz-Verbindungen ist eine direkte Ermittlung dieser Übergangspunkte Modus 1 – Modus 2 in allgemeiner Form aufwendig und müsste wohl mit einem sogenannten Möller-Diagramm [17] gelöst werden. Vereinfachend wurde deshalb der Übergangspunkt Modus 1 – Modus 2 affin zu den Verhältnissen bei den Stahlblech-Holz-Verbindungen wie folgt festgelegt:

$$t_{i,1} = 0,35 \cdot t_{i,2} \approx \frac{t_{i,1,Stahl-Holz}}{t_{i,2,Stahl-Holz}} \cdot t_{i,2} \qquad k_{\beta i,1} = 0,60 \cdot k_{\beta i,2} \approx \frac{k_{\beta i,1,Stahl-Holz}}{k_{\beta i,2,Stahl-Holz}} \cdot k_{\beta i,2}$$

In den überprüften Fällen ergab sich damit eine gute Übereinstimmung mit dem effektiven Übergangspunkt (bzw. Verlauf des Diagrammes). In der Norm SIA 265:2003 war der Übergangspunkt Modus 1 – Modus 2 mit $t_{i,1} = 0,5 \cdot t_{i,1}$ und $k_{\beta i,1} = 0,75 \cdot k_{\beta i,2}$ festgelegt.

Minimale Abstände für Stabdübel

In Ziffer 6.2.1.4 [8] wird für den minimalen Abstand vom beanspruchten Rand II zur Faser ein absolutes Mindestmass von 80 mm zur Gewährleistung der Robustheit eingeführt. Die Festlegung entspricht der Norm EN 1995-1-1:2004 Ziffern 8.5.1.1(3) und 8.6(3) sowie der Norm DIN 1052:2008-12 Ziffern 12.3(12) und 12.4(9).

Literatur

- [1] SIA 265:2003. Holzbau. Zürich: SIA, 2003.
- [2] ENV 1995-1-1:1993. Bemessung von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau. Brüssel: CEN, 1993.
- [3] prEN 1995-1-1:2002. Design of timber structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings; Final draft Version 2002-02-82 with changes according to decisions in April 2002. Brüssel: CEN, 2002.
- [4] SN EN 1995-1-1:2004. Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau. CEN; Zürich: SIA, 2004.
- [5] SIA 164(1981/92). Holzbau. Zürich: SIA, 1992.
- [6] Mischler, A.: Verbindungen II; Stiff förmige Verbindungsmittel. In: Dokumentation SIA D0185, Holzbau, Einführung in die Norm SIA 265. Zürich: SIA, 2003, S. 127-149.
- [7] Normenkommission SIA 265: Korrigenda zur Norm SIA 265:2003 Holzbau vom 05.03.2008. Zürich: SIA, 2008
- [8] Normenkommission SIA 265: Teilrevision Norm SIA 265:2003 Holzbau; Entwurf 9.0 vom 15.01.2011. Zürich: SIA, 2011.
- [9] SN EN 14592:2008. Holzbauwerke - Stiff förmige Verbindungsmittel – Anforderungen. CEN; Zürich: SIA, 2008.
- [10] DIN 1052:2008-12. Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holztragwerken – Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau. Berlin: DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 2008.
- [11] SN EN 409:2008. Holzbauwerke - Prüfverfahren - Bestimmung des FlieBsmoments von stiff förmigen Verbindungsmitteln. CEN; Zürich: SIA, 2009.
- [12] Jorissen, A.: Double shear timber connections with dowel type fasteners. PhD-thesis. Delft University of Technology, The Netherlands, 1998.
- [13] Schmid, M.: Anwendung der Bruchmechanik auf Verbindungen mit Holz. Dissertation. Karlsruhe: Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, 2002.
- [14] Blass, H.J. et al.: Erläuterungen zu DIN 1052:2004-08. München: DGfH Innovations- und Service GmbH, 2005.
- [15] Johansen, K. W.: Theory of timber connections. Zürich: IABSE, 1949, S. 249-262.
- [16] SIA 265/1:2009. Holzbau – Ergänzende Festlegungen. Zürich: SIA, 2009.
- [17] Möller, T.: En ny metod för beräkning av spikförband. Rep. No. 117. Gothenburg, Sweden: Chalmers Tekniska Högskolas Handlingar, 1950.

