

Eva Baldauf: Lageimperfectionen von selbstbohrenden Schrauben in Holz und Holzwerkstoffen

Vortragende:

Baldauf, Eva

M.Sc.

Versuchsanstalt für Stahl Holz und Steine
Holzbau und Baukonstruktion
Karlsruher Institut für Technologie, KIT
eva.baldauf@kit.edu



- 1997 geboren in Landshut
- 2015-2018 B.Sc. Bauingenieurwesen, KIT
- 2018-2021 M.Sc. Funktionaler und Konstruktiver Ingenieurbau, KIT
- Seit 2022: Wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Lehrstuhl Holzbau und Baukonstruktion

Autorin: Eva Baldauf

Zusammenfassung

In einem laufenden IGF-Vorhaben werden die Ursachen von Lageimperfectionen selbstbohrender Schrauben untersucht. Dazu wurden etwa 1000 Einschraubversuche in BSH, BSP und FSH systematisch durchgeführt und die Abweichung zwischen dem planmäßigen und dem tatsächlichen Austrittspunkt der Schraube bestimmt. Die Ergebnisse belegen, dass der Winkel α zwischen Schraubenachse und Faserrichtung des Holzes, die Schlankheit und die Spitzenausführung einer Schraube die Ausprägung von Lageimperfectionen beeinflussen. Der Beitrag baut auf neuen Resultaten auf, die die Verfasserin in iVTH-Kurzberichten [1, 2] der Fachöffentlichkeit in ähnlicher Form bereits zugänglich gemacht hat.

1. Einleitung

Selbstbohrende Holzschrauben mit großen Einschraubängen werden v. a. zum Verbinden und Verstärken von Bauteilen verwendet. Beim Eindrehen gibt der Einschraubwinkel β zwischen Schraubenachse und Bauteiloberfläche zunächst die Richtung des Schraubkanals vor. Die Schraube dringt dem Einschraubwinkel folgend selbstbohrend mit jeder weiteren Umdrehung ins Holz ein. Mit zunehmender Einschraublänge wird es hingegen immer wahrscheinlicher, dass die Schraube vom planmäßigen Schraubkanal abweicht und sich danach Lageimperfectionen einstellen. Insbesondere schlanke lange Schrauben sind aufgrund ihrer Flexibilität davon betroffen.

Die Mindestabstände von selbstbohrenden Schrauben untereinander sowie zu den Bauteilrändern sind in der Regel als Vielfaches des Nenndurchmessers festgelegt, nicht aber auch in Abhängigkeit von der Einschraublänge. Insofern führen die zunehmenden Einschraubängen dazu, dass die damit einhergehenden Lageimperfectionen nicht ausreichend durch festgelegte Schraubenabstände kompensiert werden.

Wenn Lageimperfectionen von Schrauben die Mindestabstände überschreiten, treten Schrauben u. U. unkontrolliert aus dem Bauteil aus [3, 4]. Innerhalb gekreuzter Schraubenanordnungen können Schrauben sich auch gegenseitig berühren, wodurch das Gewinde und der Korrosionsschutz Schaden nehmen [5, 6]. Bei Schraubenkollisionen besteht sogar die Gefahr des Abdrehens bzw. Abbrechens [7]. Solche Effekte beeinflussen die mechanische Wirksamkeit einer Schraubverbindung und setzen die Tragfähigkeit und Dauerhaftigkeit herab [8].

In [4] wird berichtet, dass in Brettschichtholz (BSH) eingebrachte Holzschrauben bis zu etwa 10 % der Einschraublänge von ihrem vorgesehenen Schraubkanal abweichen. Diese prozentuale Abweichung beruht auf nicht weiter spezifizierten Einschraubversuchen mit bis zu 500 mm Einschraublänge. Vorausgehende Untersuchungen zu Lageimperfektionen in [9] ergaben, dass in BSH selbstbohrend eingebrachte Holzschrauben zwischen 8 und 12 % der Einschraublänge abweichen können.

Eine vollumfängliche Untersuchung der Einflüsse auf Lageimperfektionen unter Berücksichtigung des anatomischen Aufbaus des Holzes, unterschiedlicher Holzwerkstoffe und langer schlanker Schrauben fehlt bislang. Anknüpfend an die Ergebnisse aus [9] werden im IGF-Vorhaben unter Beteiligung der Industrie und des Handwerks die Ursachen von Lageimperfektionen und Schädigungsmechanismen infolge gegenseitiger Berührung oder Kollision systematisch untersucht. Ziel ist es, Modelle zur Beschreibung von Lageimperfektionen zu entwickeln sowie handwerkliche und technische Lösungen zur Vermeidung von berührungs- und kollisionsbedingten Problemen an Verschraubungen zu formulieren. Der Fokus dieses Beitrags liegt auf der Ursachenerforschung von Lageimperfektionen.

2. Material und Methode

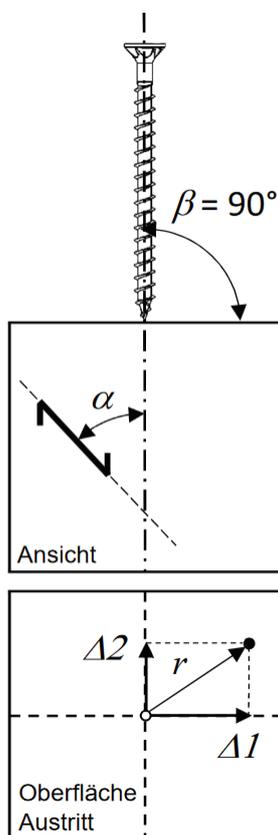


Abb. 1: Versuchsaufbau (oben) und absolute Abweichung r auf der Oberfläche des Schraubenaustritts (unten).

Zur Untersuchung der Ursachen von Lageimperfektionen wurden etwa 1000 Schrauben in BSH, Brettspertholz (BSP) und Furnierschichtholz (FSH) eingedreht. Die mittlere Rohdichte und Holzfeuchte der Prüfkörper sind in **Tab. 1** angegeben. Innerhalb der Versuchsreihen wurden der Winkel α zwischen Schraubenachse und Faserrichtung, die Schlankheit λ (Einschraublänge l_{ef} durch Nenndurchmesser d_{nom}) und die Gestalt der Schraube variiert. Eine Übersicht der Untersuchungsparameter enthält **Tab. 2**.

Die Durchführung der Einschraubversuche erfolgte in Anlehnung an [9]. Der Winkel β zwischen Schraubenachse und Prüfkörperoberfläche betrug bei allen Versuchen 90° (s. **Abb. 1**). Die Schrauben wurden mithilfe eines handgeführten Akku-Schraubers ohne Vor- oder Pilotbohrung in die Prüfkörper eingebracht. Die Verwendung von Schraubenführungen zu Beginn des Einschraubvorgangs stellte einen planmäßigen Einschraubwinkel sicher. Die Schrauben wurden vollständig durch die Prüfkörper gedreht, so dass die Koordinaten der Abweichungen $\Delta 1$ und $\Delta 2$ zwischen dem planmäßigen und dem tatsächlichen Austrittspunkt auf dessen Oberfläche direkt gemessen werden konnten. Für die absolute Abweichung r gilt Gleichung (1).

$$r = \sqrt{\Delta 1^2 + \Delta 2^2} \quad (1)$$

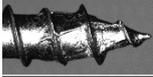
Tab. 1: Mittlere Rohdichte und Holzfeuchte der Prüfkörper.

Werkstoff	N	Rohdichte		Holzfeuchte	
		ρ_{mean} [kg/m ³]	COV [%]	u_{mean} [%]	COV [%]
BSH (GL24 und GL30)	76	435	6,07	13,6 ¹⁾	9,41
BSP (C24)	16	450	2,45	12,4 ¹⁾	4,95
FSH (LVL S)	2	556	1,09	5,70 ²⁾	9,93

¹⁾ Elektronische Widerstandsmessung mit Gann-Hydromette

²⁾ Darmmethode

Tab. 2: Untersuchungsparameter innerhalb der einzelnen Versuchsreihen.

Reihe	Werkstoff	Schraubentyp	Gewinde	Bohrspitze	Spitzenausführung	d_{nom} [mm]	Schlankheit λ	Winkel α [°]
I	BSH	A	Teil-G.	ohne		6, 8, 10	10, 27, 40, 53, 65	90, 60, 45, 30
		B	Teil-G.	ohne				
		C	Voll-G.	mit				
		D	Teil-G.	zentrierend				
II	BSP	A, B	Teil-G.	ohne	s.o.	6, 8	40	90, 45, 0
III	FSH	A, B	Teil-G.	ohne	s.o.	6, 8	40	90, 45, 0

3. Ergebnisse

Winkel α

Abb. 2 (oben) zeigt die Abweichungen $\Delta 1$ und $\Delta 2$ der Einschraubversuche im BSH der vier untersuchten Winkel $\alpha = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ$ und 30° differenziert nach der Schraubenschlankheit λ (10, 27, 40, 53, 65). Die Austrittspunkte für 90° weisen eine annähernd symmetrische Verteilung um den planmäßigen Austrittspunkt auf, wobei die Werte etwas mehr in $\Delta 2$ - als in $\Delta 1$ -Richtung streuen. Der planmäßige Austrittspunkt entspricht im Diagramm dem Koordinatenursprung. Bei $60^\circ, 45^\circ$ und 30° orientieren sich die Austrittspunkte in die positive $\Delta 1$ - und $\Delta 2$ -Richtung, wobei die Streuung von $\Delta 1$ größer ist als diejenige von $\Delta 2$. Bei einem Winkel α kleiner 90° nähern sich die Schrauben während des Eindrehens folglich dem Faserverlauf an.

Schraubenschlankheit λ

Abb. 2 (unten) zeigt die Abweichungen r , aufgetragen über der Schraubenschlankheit λ von 10 bis 65, für die vier untersuchten Winkel α . Die Mittel- und Maximalwerte von r steigen mit zunehmender Schlankheit an. Bei $60^\circ, 45^\circ$ und 30° ist der Anstieg der Maximalwerte progressiv. Als Ausnahme wirken die vergleichsweise geringen Abweichungen der Schrauben mit einer Schlankheit von 53 bei $\alpha = 90^\circ, 45^\circ$ und 30° . Eine Klärung hierzu steht noch aus. In **Tab. 3** sind die Mittel- und Maximalwerte der Abweichungen r sowie das Verhältnis aus r und der Einschraublänge l_{ef} aufgeführt. Die größten Abweichungen stellen sich bei $\alpha = 30^\circ$ und $\lambda = 40$ ein und betragen bis zu 16 % der Einschraublänge.

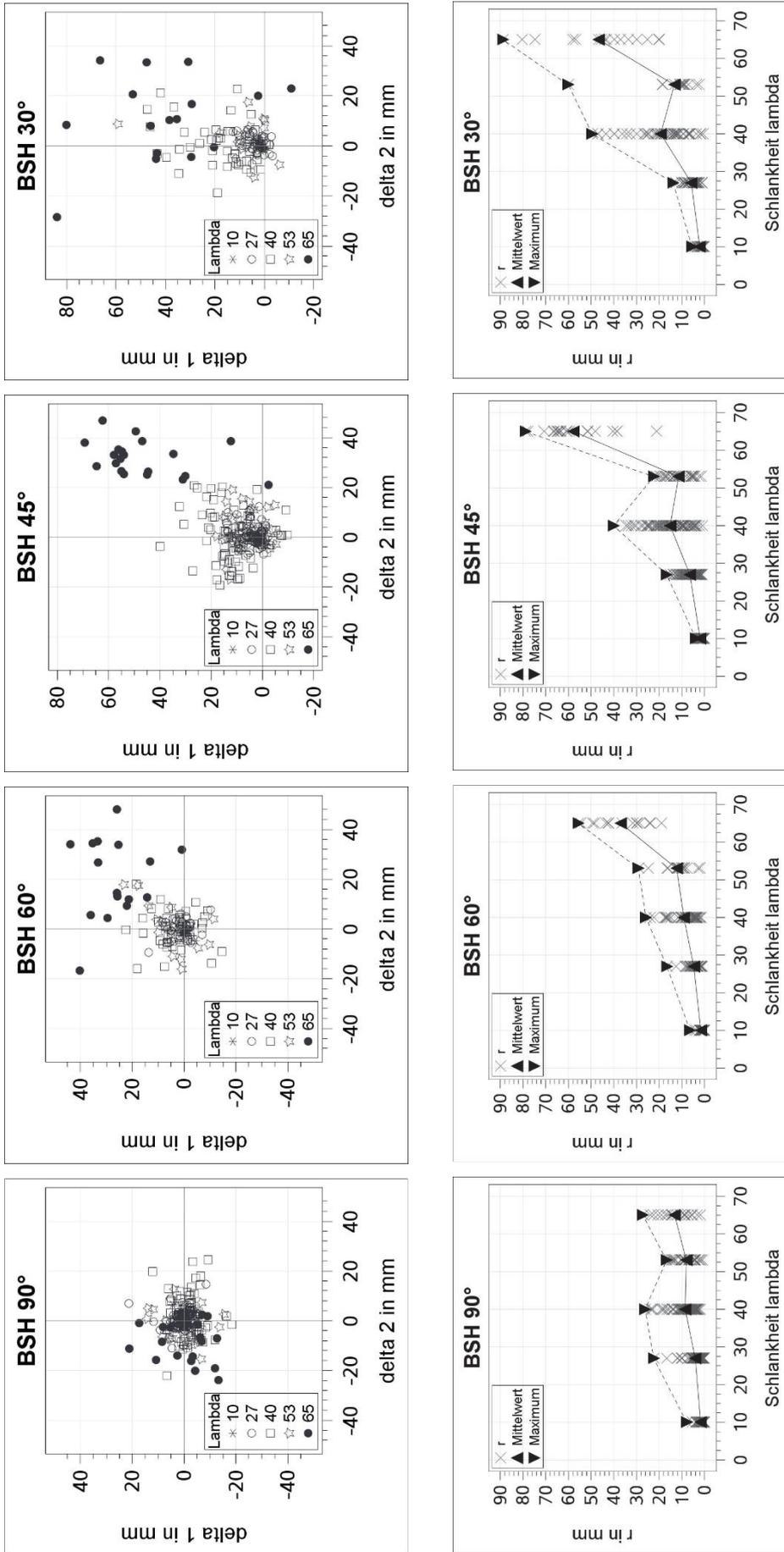


Abb. 2: Abweichung ΔI über $\Delta 2$ der Einschraubversuche im BSH (oben) und absolute Abweichung r über der Schraubenschlankheit λ (unten) für $\alpha = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ$ und 30° .

Tab. 3: Abweichungen r und Verhältnisse r / ℓ_{ef} der Einschraubversuche im BSH für $\alpha = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ$ und 30° .

Winkel α [°]	λ	N	r_{mean} [mm]	COV [%]	$r_{\text{mean}} / \ell_{ef}$ [-]	r_{max} [mm]	$r_{\text{max}} / \ell_{ef}$ [-]
90	10	40	1,72	94,4	0,0252	7,90	0,132
	27	80	4,11	86,1	0,0216	22,4	0,105
	40	80	8,55	61,6	0,0278	26,2	0,0728
	53	30	8,06	56,3	0,0192	16,8	0,0400
	65	20	13,2	53,8	0,0227	27,2	0,0459
60	10	24	1,63	90,5	0,0238	6,42	0,107
	27	36	4,79	68,5	0,0263	16,7	0,104
	40	47	9,10	64,4	0,0323	25,9	0,100
	53	16	12,3	56,0	0,0293	29,2	0,0694
	65	16	36,9	30,8	0,0631	55,5	0,0933
45	10	40	1,94	54,9	0,0283	3,86	0,0581
	27	79	6,48	59,6	0,0344	16,7	0,0794
	40	80	15,2	55,9	0,0510	40,1	0,125
	53	30	11,4	51,9	0,0272	22,4	0,0533
	65	20	57,7	25,0	0,101	79,0	0,152
30	10	24	2,12	69,3	0,0310	5,57	0,0715
	27	36	5,83	56,8	0,0317	13,8	0,0865
	40	47	19,3	66,7	0,0639	49,6	0,155
	53	16	13,3	98,5	0,0317	60,0	0,143
	65	16	46,6	44,4	0,0803	88,8	0,144

Spitzenausführung

Zur Untersuchung des Einflusses der Spitzenausführung wurden Schrauben mit einer Schlankheit von 27, 40 und 53 ohne Bohrspitze, mit Bohrspitze und mit Zentrierbohrspitze verwendet. Der Winkel α betrug bei dieser Untersuchung 90° und 45° . Die Ergebnisse für $\alpha = 45^\circ$ in **Abb. 3** zeigen, dass Schrauben mit Zentrierbohrspitze im Vergleich zu den beiden anderen Ausführungen die geringsten Abweichungen aufweisen. Davon ausgenommen ist die Konfiguration mit $\alpha = 45^\circ$ und $\lambda = 53$. Die Ergebnisse für $\alpha = 90^\circ$ sind qualitativ ähnlich.

Holzwerkstoff

Abb. 4 zeigt die Abweichungen $\Delta 1$ und $\Delta 2$ der Einschraubversuche für $\alpha = 90^\circ$ und 45° der Schrauben mit $\lambda = 40$. In den beiden Diagrammen wird nach dem Werkstoff differenziert. Bei $\alpha = 90^\circ$ zeigen die Abweichungen im BSH, BSP und FSH eine annähernd symmetrische Verteilung um den planmäßigen Austrittspunkt. Die maximalen Abweichungen r betragen im BSH 6 % und im BSP 7 % der Einschraublänge. Mit 4 % der Einschraublänge weisen die ins FSH eingedrehten Schrauben etwas geringere Abweichungen auf. Bei $\alpha = 45^\circ$ orientieren sich die Austrittspunkte im BSH und im FSH deutlich in die positive $\Delta 1$ -Richtung und nähern sich somit der Faserrichtung an (vgl. **Abb. 4**, rechts). Die maximalen Abweichungen r betragen im BSH 13 % und im FSH 25 %

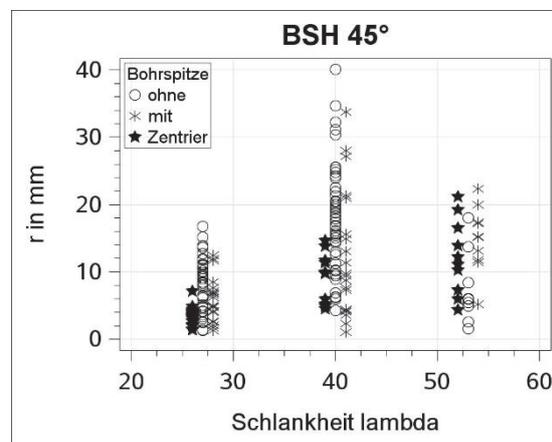


Abb. 3: Einfluss der Spitzenausführung auf die Abweichung r für BSH und $\alpha = 45^\circ$.

der Einschraublänge. Im BSP verteilen sich die Abweichungen symmetrisch um den planmäßigen Austrittspunkt mit einer maximalen Abweichung r von 6 % der Einschraublänge.

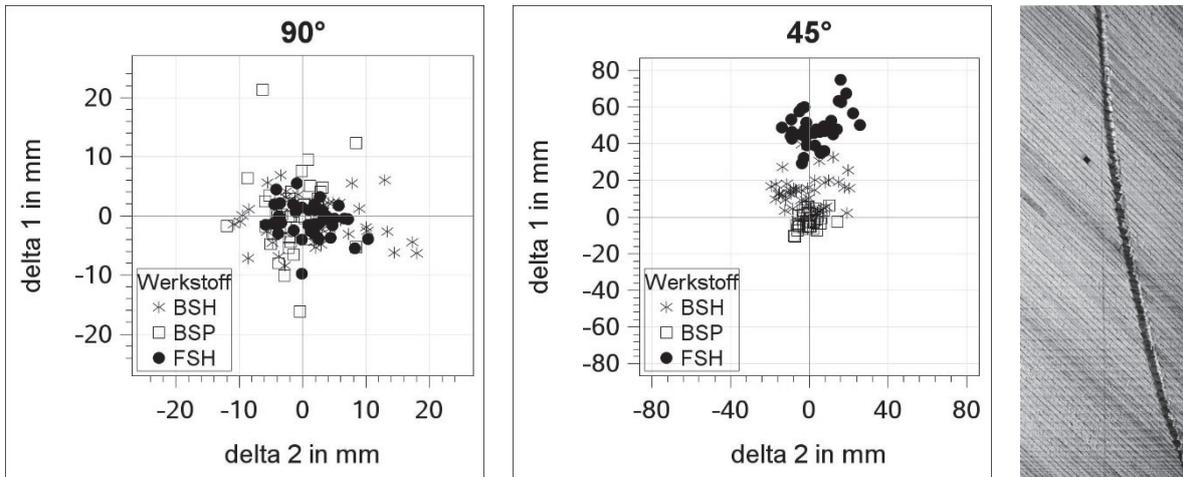


Abb. 4: Abweichung $\Delta 1$ über $\Delta 2$ für $\alpha = 90^\circ$ und 45° mit Unterscheidung nach Werkstoff (links und mittig) und Verlauf der Schraube im FSH bei $\alpha = 45^\circ$ (rechts).

4. Diskussion

Zur Validierung werden die Versuchsergebnisse dieser Arbeit, kurz: Studie B, mit Daten aus vorausgegangenen Untersuchungen zu Lageimperfektionen [9] verglichen, kurz: Studie A. Der Untersuchungsbereich der Studie A deckte anfänglich nur zwei unterschiedliche Schraubentypen mit und ohne Bohrspitze des Nenndurchmessers 8 mm, eine Schraubenschlankheit von 20 bis 43 und Winkel α von 90° , 60° und 45° ab (vgl. Tab. 4). In Abb. 5 sind die Mittel- und Maximalwerte der Abweichung r über der Schlankheit λ der Studie A (Dreiecke ohne Füllung) und B (Dreiecke mit Füllung) für $\alpha = 90^\circ$, 60° und 45° dargestellt. Die Ergebnisse beider Studien sind qualitativ ähnlich: Mit zunehmender Schlankheit und abnehmenden Winkel α nehmen die Abweichungen zu.

Tab. 4: Untersuchungsparameter der Studie A nach [9].

Gewinde	Bohrspitze	d_{nom} [mm]	Schlankheit λ	Winkel α [°]	Winkel β [°]
Teil-G.	ohne	8	20, 28, 43	45, 60, 90 ¹⁾	45
Voll-G.	mit				

1) In [9] als Placement I, II und III bezeichnet.

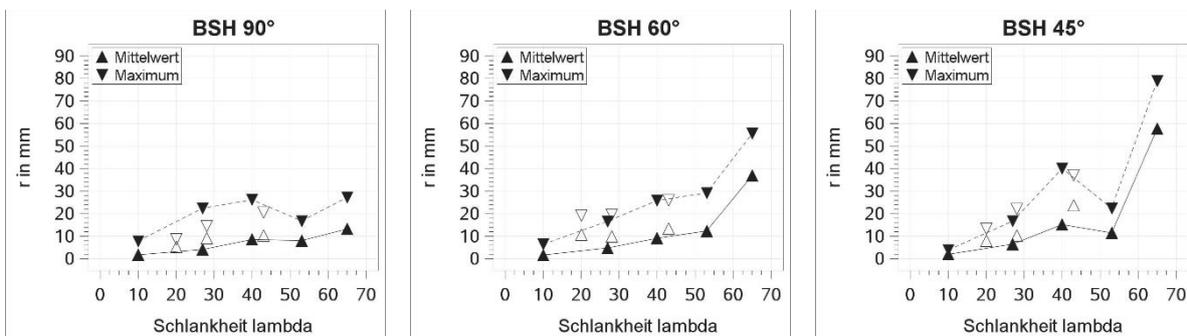


Abb. 5: Mittel- und Maximalwerte der Abweichung r über der Schraubenschlankheit λ der Studie A [9] (Dreiecke ohne Füllung) und Studie B (Dreiecke mit Füllung).

Für einen direkten Vergleich beider Ergebnisse wurde der Betrachtungsbereich so gewählt, dass die Untersuchungsparameter der jeweiligen Studien gleich bzw. ähnlich sind: $d_{\text{nom}} = 8$; $\lambda = 27$ bis 43; $\alpha = 90^\circ$, 60° und 45° ; Bohrspitze: mit und ohne. In **Tab. 5** sind die mittleren Abweichungen r_{mean} , die in den beiden Studien ermittelt wurden, für den Betrachtungsbereich aufgelistet. Sie sind nach Winkel α und Schlankheit λ gruppiert. Die Abweichungen aus Studie A sind geringfügig größer als diejenigen aus Studie B. Als Grund hierfür wird die unterschiedliche Ausprägung des Einschraubwinkels β bei den beiden Studien gesehen. Die Prüfkörper in Studie B wurden so hergestellt, dass der Einschraubwinkel β zwischen Prüfkörperoberfläche und Schraubenachse 90° betrug (s. **Abb. 1**). Ein anfängliches Abrutschen der Schraubenspitze auf der Prüfkörperoberfläche infolge eines Winkels β kleiner 90° konnte somit vermieden werden. In Studie A hingegen wurden die Schrauben mit einem Winkel β von 45° in die Prüfkörper eingebracht (vgl. **Tab. 4**). Bereits anfängliche Abweichungen infolge eines Abrutschens der Spitze können daher trotz Schraubenführung nicht vollständig ausgeschlossen werden.

Tab. 5: Vergleich der mittleren Abweichungen, gruppiert nach Winkel α und Schraubenschlankheit λ .

Winkel α [°]	Studie A		Studie B	
	λ	r_{mean} [mm]	r_{mean} [mm]	λ
90	28	9,17	5,85	27
	43	10,3	9,58	40
60	28	9,89	4,69	27
	43	13,5	10,3	40
45	28	10,4	8,96	27
	43	23,8	20,7	40

In beiden Studien wurden zu Beginn des Eindrehens Schraubenführungen verwendet, um ungewollte Abweichungen vom Einschraubwinkel zu minimieren. Die Untersuchung des Einflusses ungewollter anfänglicher Abweichungen auf Lageimperfectionen war nicht Bestandteil der hier diskutierten Versuchsergebnisse. Unter Berücksichtigung ungewollter anfänglicher Abweichungen vom Einschraubwinkel ist jedoch grundsätzlich von einer Zunahme der Abweichungen r auszugehen.

Die maximale Abweichung in Studie A betrug bei $\alpha = 60^\circ$ im BSH 12 % der Einschraublänge. In Studie B hingegen wichen die Schrauben bei $\alpha = 30^\circ$ mit 16 % am weitesten vom planmäßigen Schraubkanal ab. Die Abweichung aus Studie B übersteigt somit diejenige aus A. Dieser Unterschied ist angesichts des Einflusses des Winkels α auf die quantitative Abweichung erwartungsgemäß.

5. Fazit

Die Ergebnisse von etwa 1000 Einschraubversuchen belegen, dass der Winkel α zwischen Schraubenachse und Faserrichtung die Ausprägung von Lageimperfectionen signifikant beeinflusst. Insbesondere in BSH und FSH bedingt ein Winkel α kleiner 90° während des Eindrehens eine Annäherung der Schraube an den Faserverlauf. Die größten Abweichungen treten in FSH bei $\alpha = 45^\circ$ auf und betragen in diesem Fall bis zu 25 % der untersuchten Einschraublänge. Die durchgeführten Versuche decken Schrauben mit einer Schlankheit λ zwischen 10 und 65 der Nenndurchmesser 6, 8 und 10 mm ab. Die Resultate belegen ferner, dass die Abweichungen mit zunehmender Schlankheit progressiv anwachsen. Schrauben mit Zentrierbohr- und Bohrspitzen weisen im Vergleich mit Schrauben, die ab der Spitze einen sanften Gewindeanlauf haben, geringere Abweichungen auf.

Das IGF-Forschungsprojekt Nr. 22427 N wird durch den Internationalen Verein für Technische Holzfragen e. V. aus Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Literatur

- [1] BALDAUF, E.; FRESE, M.: *Lageimperfectionen von selbstbohrenden Schrauben in Holz und Holzwerkstoffen*. In: Internationaler Verein für Technische Holzfragen e. V. (Hg.) iVTH-Kurzberichte, Kurzbericht 12/22, 2022.
- [2] BALDAUF, E.; FRESE, M.: *Lageimperfectionen von selbstbohrenden Schrauben in Holz und Holzwerkstoffen*. In: Internationaler Verein für Technische Holzfragen e. V. (Hg.) iVTH-Kurzberichte, Kurzbericht 06/23, 2023.
- [3] KRÜGER, O.: *Schubverstärkung von Holz mit Holzschrauben und Gewindestangen*. 16. Internationales Holzbau-Forum, 2010.
- [4] TRAUTZ, M.; KOJ, C.: *Laserstrahlbohrungen für richtungsgenau positionierte Vollgewindeschrauben - Einbau und Tragverhalten*. Bautechnik 92 (2015), Heft 6, S. 403-411, 2015.
- [5] BLAß, H.J.: *Selbstbohrende Schrauben und Systemverbinder - Stand der Technik und Herausforderungen*. 23. Internationales Holzbau-Forum, 2017.
- [6] STEIGE, Y.; FRESE, M.: *Study on a newly developed diagonal connection for hybrid timber trusses made of spruce glulam and beech laminated veneer lumber*. Wood Material Science & Engineering, Bd. 14-5, S. 280-290, 2019.
- [7] TRAUTZ, M. et al.: *Mit Schrauben bewehren - Selbstbohrende Vollgewindeschrauben als Verstärkung in Brettschichtholzträgern und zur Ausbildung von hochleistungsfähigen Verbindungen*. Forschungsbericht 01/2007, Lehrstuhl für Tragkonstruktionen, RWTH Aachen, 2007.
- [8] BLAß, H.J.; STEIGE, Y.: *Steifigkeit axial beanspruchter Vollgewindeschrauben*. Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau, Bd. 34, Karlsruhe: KIT Scientific Publishing, 2018.
- [9] FRESE, M.; JORDAN, M.: *Deviations between planned and actual position of wood screws - consequences for minimum spacing*. In: International Network on Timber Engineering Research, INTER 51-7-1, S. 49-63, Tallinn, 2018.