

## Lageimperfektionen von selbstbohrenden Schrauben in Holz und Holzwerkstoffen

Eva Baldauf, M. Sc.  
PD Dr.-Ing. Matthias Frese

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
Holzbau und Baukonstruktion  
R.-Baumeister-Platz 1  
76131 Karlsruhe

Kontakt: baldauf@kit.edu

### Einleitung

Lageimperfektionen selbstbohrender Schrauben sind durch Abweichungen zwischen planmäßigem und tatsächlichem Schraubkanal gekennzeichnet. Sie stellen sich während des selbstbohrenden Eindrehens ungewollt ein und nehmen mit zunehmender Einschraublänge zu. Gegenwärtig zugelassene Mindestschraubenabstände sind als Vielfaches des Nenndurchmessers festgelegt. Eine Vergrößerung dieser Abstände mit zunehmender Einschraublänge wird bislang nicht berücksichtigt. Bei Überschreitung der Mindestabstände können Schrauben aus dem Bauteil austreten, sich gegenseitig berühren oder kollidieren (Bild 1). Die Qualität und Sicherheit einer Schraubverbindung werden dadurch herabgesetzt.

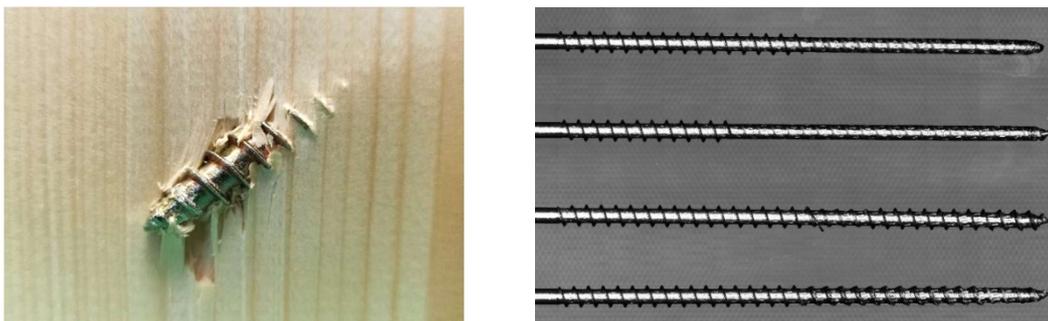


Bild 1: Austreten einer Schraube (links); durch gegenseitige Berührung geschädigte Schrauben (rechts)

Vor diesem Hintergrund wurden im IGF-Vorhaben Untersuchungen durchgeführt, um Grundlagenwissen über Lageimperfektionen von selbstbohrend eingebrachten Holzschrauben zu schaffen und Lösungen zur Vermeidung von berührungs- und kollisionsbedingten Problemen an Verschraubungen zu formulieren.

Diese Kurzfassung informiert über die im IGF-Vorhaben durchgeführten Arbeiten, die methodischen Aspekte, erzielten Ergebnisse und gewonnenen Erkenntnisse.

## **Ursachen von Lageimperfektionen**

Hierzu wurden etwa 1230 Schrauben in BSH, BSP und FSH eingedreht und die Abweichung zwischen planmäßigem und tatsächlichem Schraubenaustritt gemessen. Innerhalb der Einschraubversuche erfolgte die gezielte Variation folgender Untersuchungsparameter: Winkel  $\alpha$  zwischen Schraubenachse und Faserrichtung, Schraubentyp, Einschraublänge, Nenndurchmesser, Einschraubwinkel und Holzmerkmale. Die Versuchsergebnisse belegen, dass der Winkel zwischen Schraubenachse und Faserrichtung die Ausprägung von Lageimperfektionen signifikant beeinflusst. In Holzprodukten mit einheitlicher Faserrichtung nähern sich Schrauben bei Winkeln  $\alpha < 90^\circ$  während des Eindrehens der Faserrichtung an. Des Weiteren nehmen Abweichungen von Schrauben bei Winkeln  $\alpha < 90^\circ$  mit zunehmender Einschraublänge progressiv zu. Die Ergebnisse bestätigen, dass die Spitzenausführung und der Einschraubwinkel Lageimperfektionen beeinflussen.

## **Minimierung von Lageimperfektionen**

Zur Identifikation von Methoden zur Minimierung von Lageimperfektionen wurden rund 850 Einschraubversuche durchgeführt. Die Schrauben wurden in zuvor eingebrachte Führungsbohrungen unterschiedlicher Tiefe und mit Setz- und Einschraubhilfen in BSH eingedreht. Die Ergebnisse zeigen, dass sich präzise hergestellte Pilotbohrungen mit einer Tiefe von 10 % der Einschraublänge zur Minimierung von Lageimperfektionen am besten eignen. Im Vergleich zu Setz- und Einschraubhilfen geben Pilotbohrungen nicht nur den Einschraubwinkel effektiv vor, sondern verringern auch ein Annähern der Schraube an die Faserrichtung. Dadurch lassen sich Lageimperfektionen, insbesondere bei großen Einschraublängen, deutlich reduzieren.

## **Schäden an Schrauben infolge Lageimperfektionen**

Gekreuzte Schrauben wurden eingebracht, so dass eine gegenseitige Berührung der Gewindeflanken oder Kollision der Schraubenkerne jeweils gezielt stattfand. Der Einfluss der dadurch bewirkten Schädigung wurde in Ausziehversuchen quantifiziert. Die Untersuchung umfasste jeweils etwa 300 Kollisions- und 150 Ausziehversuche. Es erfolgte eine gezielte Variation des Holzprodukts, der Schraubengestalt sowie des Abstands und des Winkels zwischen den Schraubenachsen. Die Versuchsergebnisse zeigen, dass eine geringe Steifigkeit der umliegenden Holzmatrix ein Ausweichen der Schrauben bei Kollision zulässt. Im Gegensatz dazu drehen Schrauben bei einer steiferen Matrix fallweise durch oder erreichen das Bruchdrehmoment. Die Schädigungen der Schraube sind bei einer Totalkollision der Schraubenkerne am stärksten ausgeprägt. Die Ausziehtragfähigkeit der beschädigten Schrauben infolge Berührung oder Kollision ist im Vergleich zu unbeschädigten Referenzschrauben um bis zu 17 % geringer. Fallweise trat jedoch auch eine Steigerung der Ausziehtragfähigkeit ein.

## **Beschreibung von Lageimperfektionen**

Die qualitativ-quantitative Beschreibung von Lageimperfektionen beruht auf den Versuchsergebnissen der Einschraubversuche. Es wurde zunächst ein bestehender Ansatz hinsichtlich seiner Eignung geprüft und anschließend ein neues probabilistisches Modell entwickelt. Basierend auf den Versuchsdaten wurden in einer numerischen Simulation Austrittspunkte generiert und deren Abweichungsbereich mithilfe von Prognoseellipsen erfasst (Bild 2). Mittels Regressionsanalysen wurden Berechnungsgleichungen für Abweichungen in Abhängigkeit der Einschraublänge spezifiziert. Anhand des neuen Modells wurden Schraubenabstände

berechnet und Grenz-Einschraub­längen bestimmt, ab denen die ermittelten Abstände zuge­lassene Mindestabstände überschreiten. Eine Überschreitung der Grenz-Einschraub­längen führt nicht notwendigerweise zu einer Berührung oder Kollision zwischen Schrauben, weil hierzu zwei betrachtete Schrauben außerhalb ihrer jeweiligen Abweichungse­llipse austreten und die Abweichungen aufeinander gerichtet sein müssten.

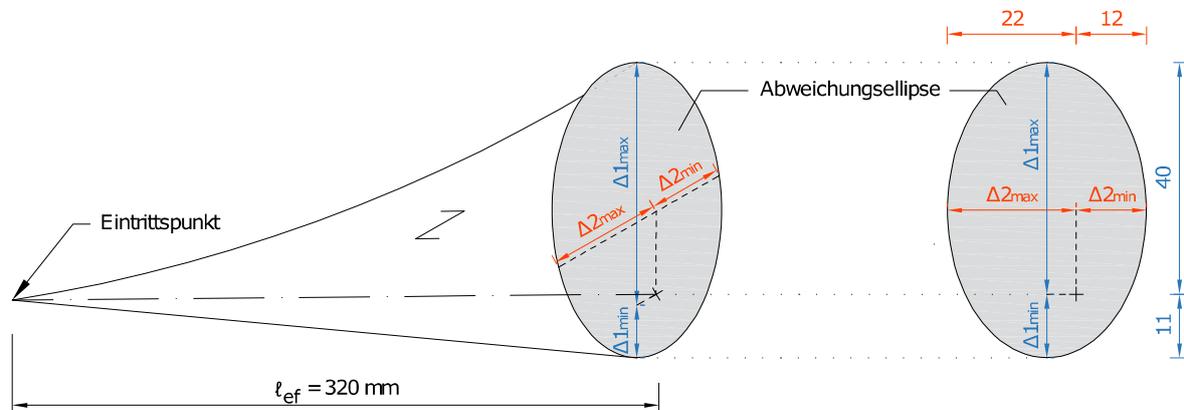


Bild 2: Visualisiertes Modell (links); Abweichungse­llipse mit minimalen und maximalen Abweichungen  $\Delta 1$  und  $\Delta 2$  in mm (rechts) beispielhaft für  $l_{ef} = 320$  mm und  $\alpha = 30^\circ$

### Praktische Empfehlungen

Die Untersuchung und die Ergebnisse des Vorhabens belegen, dass Abweichungen zwischen plan­mäßiger und tatsächlicher Schraubenachse zu gewärtigen und in der praktischen Anwendung zu berücksichtigen sind. Anhand eines Haupt-Nebenträger-Anschlusses mit gekreuzt eingebrachten Schrauben wurden die erarbeiteten Methoden zur Minimierung von Lageimperfektionen und deren Auswirkung auf die Tragfähigkeit von Schraubverbindungen veranschaulicht und konkretisiert. Gerade bei gekreuzten Ausführungen ist auf eine zweckmäßige Reihenfolge beim Einbringen der Schrauben und auf ausreichende Abstände zwischen den beiden Schrauben zu achten. Pilotbohrungen, Einschraub- und Setzhilfen tragen ebenfalls dazu bei, die Wahrscheinlichkeit von Berührungen und Kollisionen zwischen benachbarten Schrauben deutlich zu senken. Das reduziert technische Probleme mit entsprechender Sicherheitsrelevanz.

### Fazit

Die Ursachen von Lageimperfektionen und Methoden zu deren Minimierung wurden in experimentellen Untersuchungen systematisch erforscht. Die Ergebnisse belegen, dass folgende Einflussfaktoren Lageimperfektionen signifikant beeinflussen: Winkel  $\alpha$  zwischen Schraubenachse und Faserrichtung des Holzes, Holzprodukt, Schraubentyp, Schraubenschlankheit und Einschraubwinkel. Pilotbohrungen wurden als geeignete Methode zur Reduktion von Lageimperfektionen identifiziert. In gezielten Kollisionsversuchen wurde der Einfluss von Schraubekollisionen auf die Auszieh­tragfähigkeit untersucht. Kollisionsbedingt beschädigte Schrauben zeigten in der Regel eine reduzierte Auszieh­tragfähigkeit im Vergleich zu unbeschädigten Schrauben. Die Ausprägung der dabei auftretenden Schädigungsmechanismen hing maßgeblich vom Kollisionsgrad und der Steifigkeit der umliegenden Holzmatrix ab. Auf Basis der experimentell gewonnenen Erkenntnisse wurde ein numerisches Modell entwickelt, das die Beschreibung und Prognose von Lageimperfektionen ermöglicht. Mithilfe des Modells lassen

sich Schraubenabstände und Grenz-Einschraubtlängen berechnen, unter denen eine gegenseitige Berührung von Schrauben mit einer definierten Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen ist.

### **Ausblick**

Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens sensibilisieren für die Problematik von Lageimperfektionen und liefern praxisorientierte Lösungen zu deren Handhabung. Mit den evidenzbasierten Empfehlungen werden Tragwerksplaner:innen unterstützt, Lageimperfektionen bereits im Planungsprozess von Schraubverbindungen zu berücksichtigen. Konkrete Ansätze zur Minimierung von Lageimperfektionen können direkt ins Handwerk einfließen. Die Forschungsergebnisse tragen dazu bei, die Qualität von Schraubverbindungen zu verbessern und die Sicherheit sowie Dauerhaftigkeit von geschraubten Anschlüssen im Holzbau zu steigern.

### **Literaturverweis**

Eva Baldauf: Untersuchung der Ursachen von Lageimperfektionen selbstbohrender Schrauben und Identifikation von Methoden zu deren Minimierung. In: Karlsruher Tage 2024 - Holzbau: Forschung für die Praxis, Hrsg.: Carmen Sandhaas. DOI: 10.5445/IR/1000175262

Das IGF-Vorhaben 01IF22427 N der Forschungsvereinigung Internationaler Verein für Technische Holzfragen e. V. wurde über die AiF sowie dem DLR Projektträger im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Der vollständige Bericht kann bestellt werden bei: Internationaler Verein für Technische Holzfragen e.V. (iVTH e.V.) Riedenkamp 3, 38108 Braunschweig.