

Analyse des Versagens mittels Bilderkennung für die Gestaltung von Holzschrauben

K. Hölz, P. T. Dörner, S. Matthiesen

INHALT Für die Gestaltung von Holzschrauben ist der Zusammenhang zwischen der Gestalt des Gewindes und der Funktion Tragfähigkeit besonders wichtig. Dazu ist die Analyse des Versagens notwendig, dieses wurde jedoch bisher bei Holzschrauben kaum untersucht. In der im Beitrag vorgestellten Untersuchung soll daher der Einfluss der Gewindesteigung auf die im Versagen auftretenden Risse analysiert werden. Dazu wurden Versuche mit speziell angefertigten Schraubenprototypen durchgeführt und ein neuer Bilderkennungsalgorithmus zur Auswertung der Rissbreite und Risslänge entwickelt. Das Ergebnis der Auswertung von 61 Versagensbildern zeigt, dass die Rissbreite linear mit der Gewindesteigung zunimmt. Einen Einfluss der Gewindesteigung auf die Risslänge konnte nicht nachgewiesen werden.

1 Einleitung

In der Gestaltung ist es die zentrale Aufgabe, die Produktgestalt so zu definieren, dass sie die geforderten Funktionen erfüllt. Diese Funktionen können nur indirekt durch die Gestaltung des Produkts realisiert werden, denn nur die Gestalt ist durch den Konstrukteur direkt beeinflussbar [1]. Dies ist bei Holzschraubenverbindungen besonders herausfordernd, da nur ein Teil der Gestalt der Schraubenverbindung konstruktiv verändert werden kann. Im Gewindegewindekontakt von Holzschraubenverbindungen können nur die Geometrie und die Werkstoffeigenschaften der Schraube gestaltet werden. Das Gewinde der Holzschraube formt die späteren Wirkflächen im Werkstoff Holz. Die Funktion kann daher allein durch die Gestaltung des Schraubengewindes beeinflusst werden. Notwendig für die Gestaltung ist daher das Verständnis, wie die geforderte Funktion durch eine geeignete Gestalt erfüllt werden kann.

Bei Holzschrauben ist die relevante Funktion die Tragfähigkeit [2], die durch das Versagen des Holzes im Gewindeteil begrenzt wird [3]. Um die Zusammenhänge zwischen der Gestalt der Holzschraube und der Tragfähigkeit zu verstehen, ist es wichtig, das Versagen im Gewindegewindekontakt zu analysieren. Zur Vermeidung einer fehlerhaften Analyse ist eine objektive Analyse des Versagens notwendig.

Die vorliegende Publikation fokussiert daher die objektive Analyse des Versagens von Holzschraubenverbindungen. Im Folgenden wird zuerst auf Holzschraubenverbindungen, danach auf die Analyse des Versagens im Allgemeinen und dann mit Fokus Holzschraubenverbindungen eingegangen.

2 Stand der Forschung

2.1 Holzschraubenverbindungen

Für die Verbindung von Holzelementen oder Anbauteilen aus Stahl mit Holz werden bevorzugt Holzschrauben verwendet [4].

Analysis of Failure using Image Recognition for the Design of Wood Screws

ABSTRACT For the design of wood screws, the relationship between the thread parameters and the function withdrawal capacity is important. For this purpose, the analysis of the failure is necessary but has not yet been subjected to research on wood screws. Therefore, in this study the influence of the thread pitch on the cracks that occur in failure should be analysed. Tests were carried out with specially manufactured screw prototypes. For an objective analysis, a new algorithm for the evaluation of crack width and crack length was developed. The result of evaluating 61 failure patterns is that the crack width increases linearly to the thread pitch. An effect of the pitch on the crack length could not be shown.

Hauptgründe für ihre Nutzung sind eine einfache und wirtschaftliche Montage sowie eine hohe Tragfähigkeit in axialer Richtung [3]. Die axiale Tragfähigkeit gegenüber dem „Herausziehen“ wird auch Haltevermögen genannt. Diese wird nach DIN 1382:2016-07 [5] gemessen und ist für die Zulassung von Holzschrauben relevant [6]. Das Haltevermögen basiert auf einer Verbundwirkung zwischen Schraubengewinde und Holz und wird sowohl durch die Holzeigenschaften als auch durch die geometrische Ausprägung des Schraubengewindes definiert [7]. Das Schraubengewinde kann dabei durch die Parameter Gewindelänge, Gewindesteigung, Gewindeaußen- und Gewindeinnendurchmesser [6] sowie den Flankenwinkel [8] definiert werden.

Holz ist ein anisotroper, inhomogener Werkstoff mit Sprödbruchversagen unter Zug und plastischem Versagen unter Druck. Die Festigkeit von Holz hängt unter anderem von Rohdichte, Jahringbreite und Holzfeuchtigkeit ab. Als Naturprodukt weist Holz eine große Schwankung in allen seinen Eigenschaften auf [9]. Der Werkstoff Holz ist daher eine Herausforderung für eine objektive Analyse des Versagens.

2.2 Analyse des Versagens

Die Analyse des Versagens ist ein wichtiger Teil der Gestaltung und dient unter anderem der Klärung der Schadensursache und der dahinterstehenden Mechanismen. Die Durchführung einer Schadensanalyse kann entlang der VDI 3822:2011-11 erfolgen [10]. In der Schadensbeschreibung wird zur Analyse von Dysfunktionen die Bestimmung der Lage und des Aussehens von Verformungen und Rissen gefordert [10]. Dies kann für die Analyse des Versagens auch bei Holzschrauben angewendet werden. Weiterführende Kriterien, wie das Aussehen von Rissen charakterisiert werden kann, werden jedoch nicht genannt.

Das Versagen von Holz wurde von Bodner et al. untersucht [11], [12], [13]. Dazu wurden kleine Holzproben (ca. 35 mm x

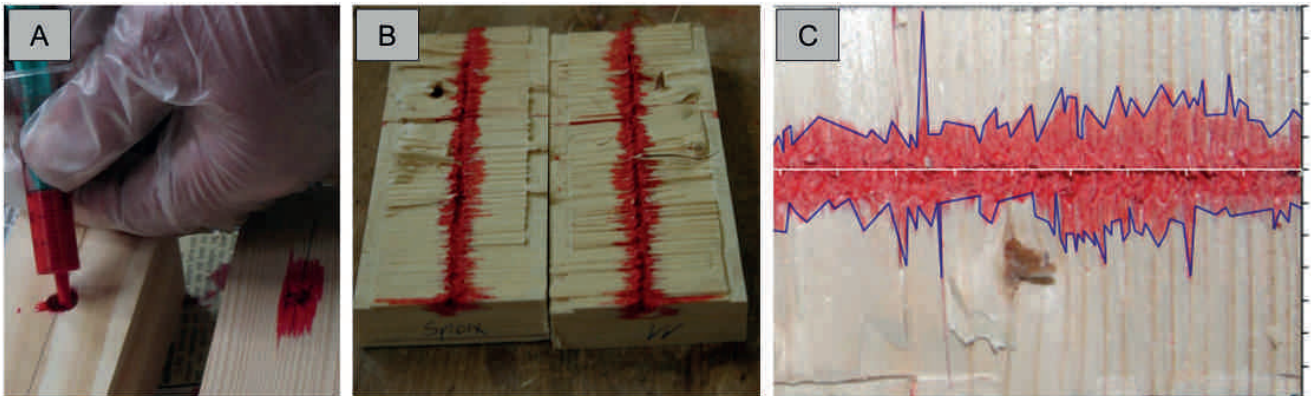


Bild 1 Methode zur Untersuchung des Versagens für den Einschraubvorgang [14]: Färben des Gewindegangs (A), Aufspalten des Prüfkörpers (B), eingefärbte Rissfläche entlang der Einschraubrichtung (C). (Bild: KIT)

6 mm x 2 mm) belastet. Die Untersuchungen zeigen, dass die Rissbildung an Schwachstellen in der Holzstruktur beginnt und das Risswachstum schrittweise voranschreitet [11]. Für die Analyse des Versagens von Holzschraubenverbindungen sind diese Untersuchungen jedoch kaum nutzbar. Auf Grund der Verschiedenheit der Lastfälle sind diese Versuche nicht auf das Versagen von Holzschraubenverbindungen übertragbar.

2.3 Versagen von Holzschraubenverbindungen

Das Versagen von Holzschraubenverbindungen wurde für den Einschraubvorgang von Uibel [14] betrachtet. Um die Dysfunktion Spaltverhalten untersuchen zu können, wurde eine Methode zur Visualisierung der Rissbildung vorgestellt (vgl. **Bild 1**). Bei dieser wird durch Einfärben (A) und Aufspalten eines Holzes (B), in das eine Schraube ein- und wieder ausgedreht wurde, die innere Rissbildung sichtbar gemacht (C). Durch diese Untersuchung der Größe der Rissfläche und der mittleren Risslänge wurde das Spaltverhalten beim Eindrehen von selbstbohrenden Holzschrauben ermittelt. Für die Färbung wurde Holzbeize verwendet. Es wurde festgestellt, dass sich die Beize lediglich im Bereich der Risse ausbreitet. [14]

Das Versagen von Holz durch Holzschrauben wurde für die Tragfähigkeit von Ayoubi [15], [16] bei unterschiedlichen Einschraubwinkeln untersucht. Die Versagensbilder zeigten die Verformungen sowie die Zerstörung der Holzfasern zwischen den Flanken der Schrauben. [15], [16] Eine Auswertung einzelner Risse wurde nicht vorgenommen und auch das Versagen in Bezug auf unterschiedliche Gewindeparameter wurde dabei nicht untersucht.

Das Versagen von Schrauben mit unterschiedlichen Gewindeparametern wurde von Hölz et al. untersucht [8]. Auf Grundlage der in **Bild 2** dargestellten Rissbilder wurde festgestellt, dass sich das Versagen der verschiedenen Schraubentypen (A–E) hinsichtlich der Rissbildung unterscheidet.

Es wurde vermutet, dass die Rissbildung von der Gewindesteigung abhängt [8].

Dabei wurde die Hypothese formuliert, dass eine kleine Gewindesteigung zu vielen kleinen Rissen führt, im Gegensatz zu wenigen, aber großen Rissen bei höheren Steigungen [8].

Bei den Untersuchungen von Uibel [14], Ayoubi [15], [16] und Hölz et al. [8] wurden das Versagen und die Rissbildung zeitaufwendig von Hand ausgewertet, wodurch nur eine kleine Stichprobengröße untersucht werden konnte. Der für den Werkstoff Holz und dessen streuende Eigenschaften erforderliche

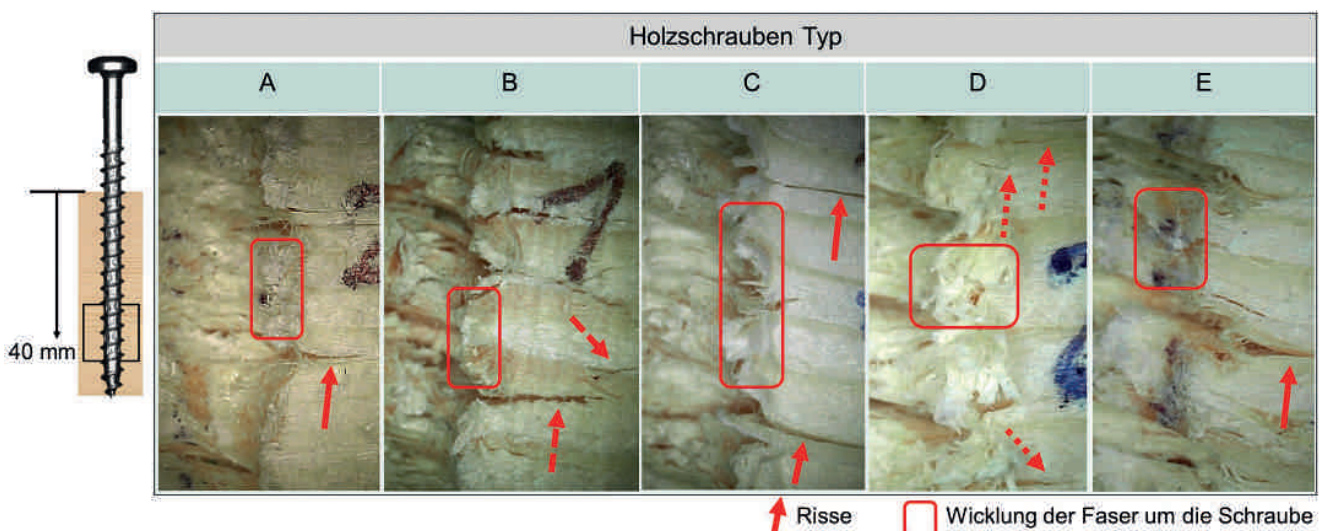


Bild 2 Untersuchung des Versagens der unterschiedlichen Schraubentypen A–E [8]. (Bild: KIT)



Bild 3 Verwendete Schraubenprototypen (A), Prüfkörperhälften mit Nut (B), Eingespannte Probe mit Schraubenprototyp (C). (Bild: KIT)

Stichprobenumfang mit entsprechender objektiver Auswertegüte kann jedoch nicht händisch erreicht werden. Dementsprechend ist bisher nur eine Vermutung zum Zusammenhang von Gewindeparametern und Versagen der Holzschraubenverbindung bekannt. Die Herausforderung besteht in der objektiven Analyse des Versagens und weitere Forschung ist erforderlich, um die Unterschiede im Versagen im Detail bewerten zu können [8]. Für die Gestaltung von Holzschrauben ist die Kenntnis der Zusammenhänge zwischen Gewindeparameter und Versagen notwendig.

3 Forschungsziel

Das Ziel der in diesem Beitrag vorgestellten Forschungsarbeit ist die objektive Analyse der Rissbildung von Holzschraubenverbindungen bei unterschiedlichen Gewindesteigungen. Dazu sollen die im Versagen auftretenden Risse mit einem Algorithmus mittels Bilderkennung untersucht werden.

4 Versuchsaufbau und Prüfkörper

4.1 Versuchsaufbau

Für die Untersuchung wird ein Versuchsaufbau vergleichbar zur DIN 1382:2016-07 [5] zur Prüfung der Tragfähigkeit verwendet. Dabei wird mittels einer Zugprüfmaschine eine Axialkraft auf den Schraubenkopf ausgeübt und die Holzprobe über einen Gegenhalter fixiert. Der Ausziehversuch wird mit einer gleichmäßigen Belastungsgeschwindigkeit durchgeführt und wird beendet, wenn die Tragfähigkeit überschritten wird und somit die Schraubenverbindung versagt.

Abweichend zur DIN 1382:2016-07 [5] werden für die Untersuchung speziell angefertigte Schraubenprototypen [17] verwendet. Aus Untersuchungen von Holzschrauben ist bekannt, dass eingeleitete Zug- und Druckkräfte abhängig vom Winkel zur Faserrichtung sind [15], [16] und die Faserrichtung eine Störgröße in der Untersuchung des Versagens darstellt [8]. Es werden daher die in Bild 3A gezeigten Schraubenprototypen mit geraden Schraubenflanken verwendet. Diese erlauben die Reduzierung der Störgröße Faserrichtung und somit eine reliable Untersuchung des Versagens [17]. Die Gewindesteigung wird als Faktor in den drei Stufen 3,04 mm, 4,5 mm und 5,9 mm variiert. Dieser Wertebereich entspricht Gewindesteigungen von handelsüblichen Holzschrauben.

Für die Prüfkörper wird die Holzart Fichte (*Picea abies* (L.), in TR-Ebene entsprechend den Koordinatenachsen (T, R, A) von Pech [9]) verwendet. Da die Schraubenprototypen nicht einge-

schraubt werden können, werden diese in die Prüfkörper eingelegt. Die Prüfkörper werden dazu, wie Bild 3B zeigt, zweigeteilt und es wird jeweils eine Nut eingefräst. In diese Nut der beiden Hälften wird der Schraubenprototyp eingesetzt und mittels der Vorrichtung aus Bild 3C fixiert.

Über die Schraubenfedern der Vorrichtung wird eine Vorspannkraft von $n = 3,2 \text{ kN}$ ausgeübt. Die Nuttiefe entspricht dem üblichen V-Orbohren auf den Kerndurchmesser bei Schraubenuntersuchungen [17]. Die gewählte Vorspannkraft bewirkt einen spaltfreien Kontakt der Prüfkörper.

4.2 Methode zur Visualisierung der Risse

Die ausgesetzten Prüfkörper werden zur Untersuchung der Rissbildung verwendet. Durch den Prüfaufbau ist ein Herausnehmen des Schraubenprototyps möglich, ohne die Rissbildung, bspw. durch das Ausschrauben, zu verändern. Für die Beobachtung der Risse wird die Methode nach Uibel [14] auf die Funktion Tragfähigkeit angewendet. Dazu werden die Gewindeindrücke mit blauer Holzbeize eingefärbt.

Nach Bodner et al. beginnt die Rissbildung an Schwachstellen in der Holzstruktur [11]. Durch das Einführen der Gewindeflanken in das Holz sind auf Grund der Kerbwirkung diese Stellen Schwachstellen. Um die entstandenen Risse zu beobachten, werden die Prüfkörper quer zu den Flankeneindrücken (siehe Schnittebene A-A in Bild 4 links) aufgesägt. Das Rissbild wird in der Nutmitte und 3 mm seitlich zur Nutmitte untersucht.

In Bild 4 ist in der Mitte das unbehandelte Rissbild entlang der Schnittebene und rechts das gefärbte Schnittbild dargestellt. Es ist deutlich zu erkennen, dass durch dieses Vorgehen die Sichtbarkeit der Risse deutlich verbessert wird. Als Parameter für die Operationalisierung der Rissauswertung wurden in einer Vorstudie die Rissbreite und die Risslänge identifiziert.

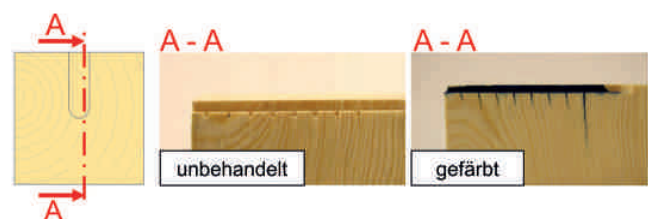


Bild 4 Links: Schnittebene A-A der Prüfkörper, Mitte: Rissbild ohne Färbung an der Schnittebene A-A, Rechts: Rissbild mit Färbung an der Schnittebene A-A. (Bild: KIT)

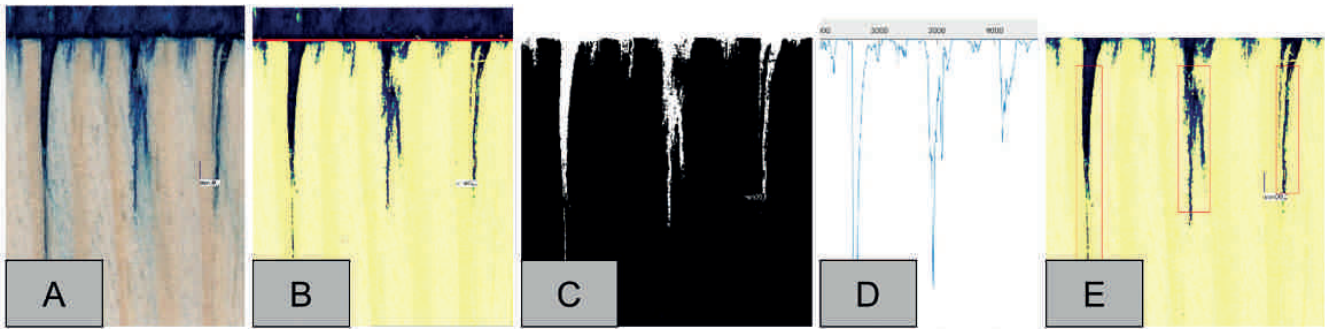


Bild 5 Schritte (A-E) des Algorithmus für die objektive Analyse des Versagens. (Bild: KIT)

Mit diesem Versuchsaufbau werden 61 gefärbte Versagensbilder unterschiedlicher Gewindesteigungen hergestellt, welche für die Auswertung genutzt werden.

4.3 Algorithmus

Durch den Versuchsaufbau und die Operationalisierung wird eine Auswertung mittels Bilderkennung möglich. Es wurde ein neuer Algorithmus entwickelt, welcher die objektive Bewertung der Rissbreite und der Risslänge ermöglicht. Dazu werden die gefärbten Versagensbilder mittels Digitalmikroskop digitalisiert (A) und dann, wie in **Bild 5** gezeigt, mit dem Algorithmus in verschiedenen Schritten (B-E) bearbeitet und ausgewertet. Der Algorithmus wurde in MATLAB (Version 2019a) programmiert und ist über das folgende Repository verfügbar: [18].

Im ersten Schritt (B) wird mittels Kantenerkennung der Gewindegrund identifiziert sowie der Kontrast zwischen Holz und Riss verbessert. Dazu werden die Farben im RGB-Farbraum verändert, indem Rot- und Grünwerte gefiltert werden. Blau-Werte werden aufgrund der blauen Holzbeize nicht gefiltert. Dadurch können Spätholzschichten mit einem höheren Rotanteil in nachfolgenden Schritten besser von Rissen im Schwarz-Weiß-Bild unterschieden werden.

Im Anschluss (C) wird das gefilterte Bild in ein Schwarz-Weiß-Bild umgewandelt. Diese Umwandlung erfolgt über das HSV-Farbformat, da hier jede Farbe durch die drei Koordinaten Farbwert, Farbsättigung und Hellwert definiert werden kann und dadurch die blaue Färbung der Risse besser identifiziert werden kann. Bei der Umwandlung wird jedes Pixel einer der beiden Farben Weiß oder Schwarz zugeordnet. Die Farbe Weiß entspricht dabei der Kategorie Riss und die Farbe Schwarz der Kategorie kein Riss. Die Einstufung als Riss erfolgt über den Farbwert und über den Hellwert. Um die Diffusion der Holzbeize am Gewindegrund zu reduzieren, wird das Bild mit einem sogenannten Opening-Operator verarbeitet.

Im nächsten Schritt (D) erfolgt die Risserkennung. Dazu werden die als Riss eingeteilten Pixel spaltenweise summiert. Über einen Schwellwert wird diese Summe zur Filterung genutzt, um nur Risse einer gewissen Länge zu berücksichtigen. Durch den sogenannten Closing-Operator werden fälsch eingestufte Bereiche innerhalb eines Risses erkannt und bereinigt.

Im letzten Schritt (E) erfolgt die Auswertung der Risse nach Länge und Breite. Aufgrund von Fehlstellen am Gewindegrund wird die Breite der Risse bei 200 Pixel unterhalb des Gewindegrunds gemessen und danach die Risslänge bestimmt. Es wird eine Konvertierung der Rissbreite und Risslänge in Millimeter auf

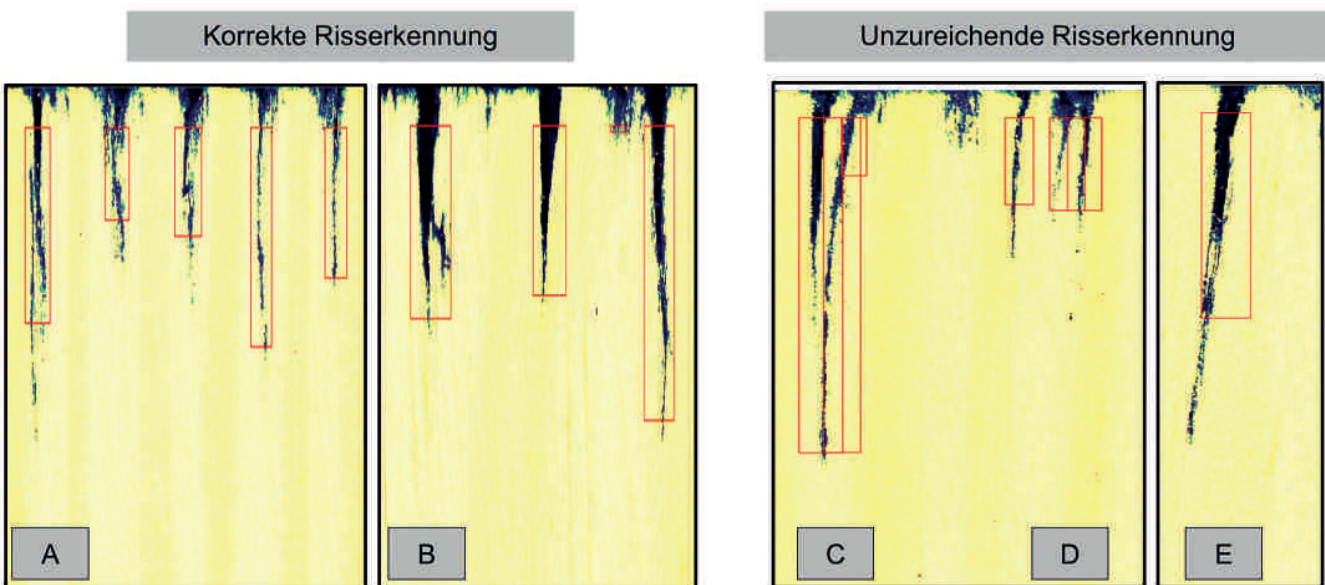


Bild 6 Beispiele für korrekte Erkennungen (A, B) und unzureichende Erkennungen der Risse (C-E). Die erkannten Risse sind durch ein Rechteck gekennzeichnet. (Bild: KIT)

Basis der Skalierung der Digitalisierung durchgeführt. Die erkannten Risse werden im Bild mit einem Rechteck dargestellt.

5 Ergebnis

Die Auswirkung der Gewindesteigung auf das Aussehen von Rissen wird anhand der hergestellten und gefärbten Versagensbilder aus Abschnitt 4 untersucht. Dazu werden 61 Versagensbilder mit dem entwickelten Algorithmus objektiv ausgewertet. Durch die Darstellung der Rissbreite und -länge im Bild mithilfe eines Rechtecks kann die Fehlerrate des Algorithmus geprüft werden. In Bild 6A und Bild 6B sind Beispiele für korrekte Identifikationen und in Bild 6C, Bild 6D und Bild 6E für unzureichende Risserkennungen abgebildet.

Bei einer unvollständigen Färbung der Risse ist die Bestimmung der Risslänge zu kurz (Bild 6A, E). Verzweigt ein Riss, dann kann dies dazu führen, dass dieser durch den Algorithmus als einen oder als zwei getrennte Risse erkannt wird (Bild 6B bzw. D). Die korrekte Erkennung von Rissen ist auf einen bestimmten Winkel des Risses zum Gewindegrund begrenzt. Dies ist auf die Einschränkung des Suchbereichs des Algorithmus in Schritt E zurückzuführen und kann daher zu einer fehlerhaften Erkennung führen (Bild 6C, E).

5.1 Untersuchung des Einflusses der Gewindesteigung auf die Rissbildung

In Bild 7 sind die Ergebnisse für die Risslänge (links) sowie die Rissbreite (rechts) aus allen 61 Versagensbildern in Abhängigkeit von der Gewindesteigung dargestellt. Die Box stellt das 25%- und 75%-Quartil dar, mit dem Median als Trennlinie. Die Antennen stellen das Minimum bzw. Maximum dar, mit Ausnahme der Ausreißer (Kreis) und extremen Ausreißer (Stern).

Es wurden 178 Risse für die Gewindesteigung 3,04 mm, 175 Risse für 4,5 mm und 138 Risse für die Gewindesteigung 5,9 mm erkannt. Die Risslänge in Millimeter beträgt im Median

für die Gewindesteigung von 3,04 mm $M = 2,42$ ($SD = 1,843$), für 4,5 mm $M = 3,441$ ($SD = 2,431$) und für 5,9 mm $M = 3,152$ ($SD = 2,795$). Die Rissbreite in Millimeter beträgt im Median für die Gewindesteigung von 3,04 mm $M = 0,159$ ($SD = 0,154$), für 4,5 mm $M = 0,305$ ($SD = 0,238$) und für 5,9 mm $M = 0,491$ ($SD = 0,356$).

6 Diskussion

Für die Beobachtung der Risse wurde die Methode von Uibel [14] zur Rissfärbung verwendet. Diese ermöglicht, durch die bessere Visualisierung der Rissgeometrie, die Erfassung mittels Bilderkennungsalgorithmus. In Fällen einer unvollständigen Färbung kam es zur Bestimmung einer zu kurzen Risslänge. Es sollte daher geprüft werden, ob die Färbung oder die Erkennung per Algorithmus weiter verbessert werden kann.

Für eine objektive Analyse des Versagens wurde ein Algorithmus zur Auswertung von Rissbildern entwickelt. Bei einer Verzweigung von Rissen, wie in Bild 6B, D abgebildet, ist die Risszuordnung nicht eindeutig. Dies ist auf eine fehlende eindeutige Bewertungsgröße zurückzuführen. Durch die Prüfung der Risserkennung mittels Rechteckdarstellung lässt sich feststellen, dass der Algorithmus eine objektive Analyse ermöglicht und eine gute Grundlage für zukünftige Untersuchungen bietet. Der Algorithmus ermöglicht eine zeitsparendere Auswertung gegenüber der händischen Auswertung von Uibel [14], Ayoubi [15], [16] und Hoelz et al. [8] und ermöglicht auch die Untersuchung von größeren Stichproben. Durch eine Erweiterung des Algorithmus um weitere Auswerteparameter ist es auch möglich, die in der Zulassung [6] geforderte Analyse der Rissfläche zur Bestimmung der Mindestabstände für Holzschrauben zu unterstützen.

Das Forschungsziel kann durch die Auswertung der Rissbilder beantwortet werden. Es kann ein Zusammenhang zwischen Gewindesteigung und Rissbreite erkannt werden. Bei kleinen Gewindesteigungen ist die Rissbreite, im Vergleich zu großen Gewindesteigungen, kleiner. Dies bestätigt die Vermutung, welche

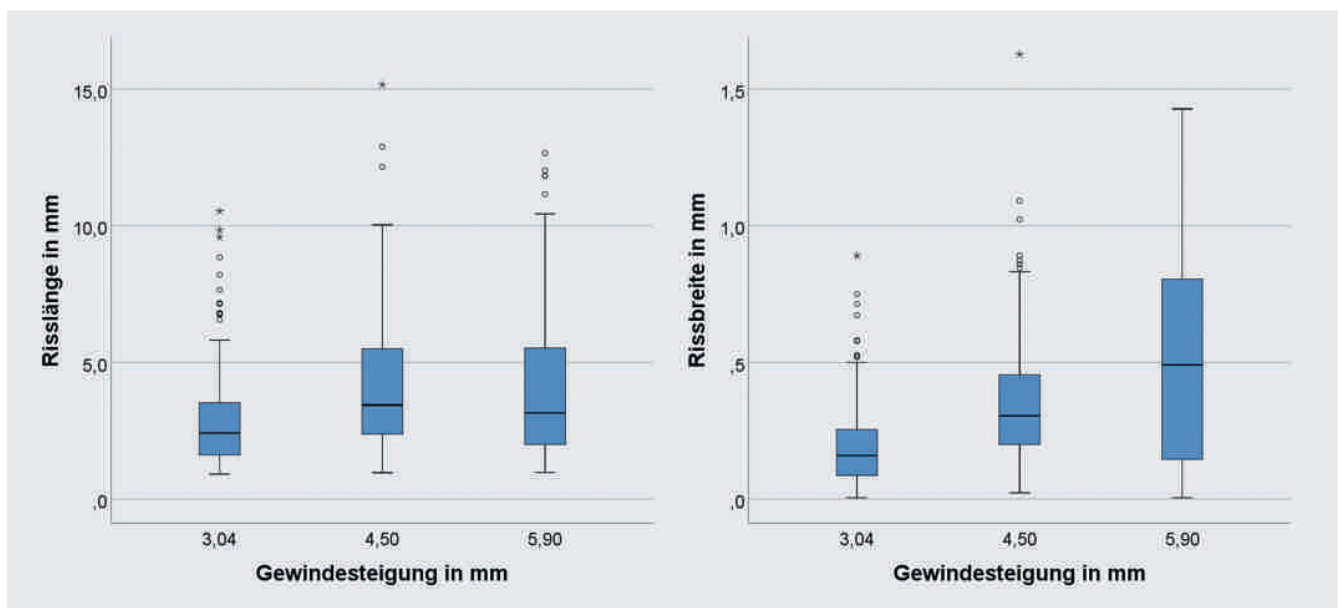


Bild 7 Ergebnis des Algorithmus für die Analyse der Risslänge und der Rissbreite für die drei Gewindesteigungen (3,04: N = 178, 4,5: N = 175, 5,9: N = 138 Risse bei N = 61 Versagensbildern). (Bild: KIT)

von Hölz et al. [8] auf Basis von qualitativen Untersuchungen des Versagens aufgestellt wurde. Bisher unbekannt war, dass die Rissbreite sich linear mit der Gewindesteigung zu nimmt. Es kann keine Korrelation zwischen Risslänge und Gewindesteigung festgestellt werden.

Nach Ayoubi ist der wirkende Verbundmechanismus der Scherverbund, welcher von der Relativverschiebung und den dadurch entstehenden Verbundrissen abhängig ist [15]. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass eine große Gewindesteigung eher zu einem Versagen der Holzmatrix in Flankennähe führt und dies als größere Rissbreite messbar ist. Dies resultiert in einer Relativverschiebung und somit zu einem Versagen des Scherverbundes.

Da die Streuung der Rissbreite und Risslänge in den Versuchsdaten groß ist, sind weitere Untersuchungen notwendig. Ein Teil der Streuung kann auf die beschriebenen Fehler der Visualisierung und des Algorithmus zurückgeführt werden. Ein weiterer Teil wird durch aufgetretene Verzögerungen bei der Erkennung des Erreichens des Haltevermögens und der damit folgenden Abschaltung der Zugprüfmaschine verursacht. Weitere Untersuchungen sollten mit einer umfangreicheren Stichprobengröße durchgeführt werden. Ein Abgleich der auftretenden Rissbildung zwischen diesem Prüfaufbau und konventionellen Schrauben ist ausstehend.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Für die Gestaltung des Maschinenelements Holzschraube ist das Haltevermögen eine wichtige Zielgröße. Diese wird durch das Versagen des Holzes im Gewindekontakt begrenzt. In diesem Beitrag wurde daher der Einfluss der Gewindesteigung auf die Rissbildung im Holz untersucht. Um eine objektive Untersuchung zu ermöglichen, wurde ein Verfahren zur Beobachtung des Versagens entwickelt und die Risslänge und die Rissbreite mittels eines neuen Algorithmus erfasst. Damit wurden 61 Versagensbilder ausgewertet. Ergebnis der Untersuchung ist, dass die Gewindesteigung einen linearen Zusammenhang zur Rissbreite aufweist, jedoch kein Einfluss auf die Risslänge nachgewiesen werden konnte.

Mit diesem Algorithmus sollten weitere Versagensbilder untersucht werden, um die Zusammenhänge zwischen Gewindesteigung und Versagen zu ermitteln und die Gestaltung von Holzschrauben zu unterstützen. Der Algorithmus sollte in Zukunft um weitere Auswerteparameter, wie beispielsweise die Rissfläche in der Schnittebene, erweitert werden. Die Übertragbarkeit des Algorithmus auf weitere Systeme, wie beispielsweise Verschraubungen in Kunststoff, ist zu prüfen.

Literatur

- [1] Matthiesen, S.: Prozess und Methoden der Gestaltung. In: Bender, B. und Gericke, K. (Hrsg.): Pahl/Beitz Konstruktionslehre. 9th ed., Berlin Heidelberg: Springer Verlag, Im Druck, 2020
- [2] Pirnbacher, G.; Brandner, R.; Schickhofer, G.: Base Parameters of self tapping Screws. In: Proceedings of CIB W18 Timber Structures, Görlacher, R., Eds., Dübendorf, Switzerland, 2009, paper 42 7 1
- [3] Ringhofer, A.; Schickhofer, G.: Investigations Concerning the Force Distribution along Axially Loaded Self tapping Screws. In: Materials and Joints in Timber Structures, Vol. 101, no. 9, pp. 201 210, 2014, doi: 10.1007/978 94 007 7811 5 19
- [4] Sydor, M.: Geometry of wood screws: a patent review. In: Eur. J. Wood Prod., Vol. 77, no. 1, pp. 93 103, 2019, doi: 10.1007/s00107 018 1362 4
- [5] Norm DIN EN 1382, 2016. Holzbauwerke Prüfverfahren Ausziehtraggfähigkeit von Holzverbindungsmiteln
- [6] Norm EAD 130118 00 0603, 2016. Screws for use in Timber Constructions
- [7] Ringhofer, A.; Brandner, R.; Schickhofer, G.: A Universal Approach for Withdrawal Properties of Self Tapping Screws in Solid Timber and Laminated Timber Products. In: Proceedings of INTER, R. Görlacher, Eds., Sibenik, Croatia, 2015, pp. 79 96
- [8] Hölz, K.; Graubeger, P.; Matthiesen, S.: Investigation of Failure Behavior in the Thread Contact of Wood Screws during the Pull out Process. In: Journal of Structural Engineering, Vol. 146, no. 10, 2020, doi: 10.1061/(ASCE)ST.1943 541X.0002784
- [9] Pech, A. et al.: Holz im Hochbau: Theorie und Praxis. Berlin, Boston: De Gruyter, 2016
- [10] Norm VDI 3822, 2011. Schadensanalyse Grundlagen und Durchführung einer Schadensanalyse
- [11] Bodner, J.; Schlag, M. G.; Grüll, G.: Fracture Initiation and Progress in Wood Specimens Stressed in Tension. Part I. Clear Wood Specimens Stressed Parallel to the Grain. In: Holzforschung, Vol. 51, no. 5, pp. 479 484, 1997, doi: 10.1515/hfsg.1997.51.5.479
- [12] Bodner, J.; Schlag, M. G.; Grüll, G.: Fracture Initiation and Progress in Wood Specimens Stressed in Tension. Part II. Compression Wood Specimens Stressed Parallel to the Grain. In: Holzforschung, Vol. 51, no. 6, pp. 571 576, 1997, doi: 10.1515/hfsg.1997.51.6.571
- [13] Bodner, J.; Schlag, M. G.; Grüll, G.: Fracture Initiation and Progress in Wood Specimens Stressed in Tension. Part III. Clear Wood Specimens with Various Slopes of Grain. In: Holzforschung, Vol. 52, no. 1, pp. 95 101, 1998, doi: 10.1515/hfsg.1998.52.1.95
- [14] Uibel, T.: Spaltverhalten von Holz beim Eindrehen von selbstbohrenden Holzschrauben. Dissertation, Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen, KIT, Karlsruhe, 2012
- [15] Ayoubi, M.: Zum Verbundverhalten von Vollgewindeschrauben mit großen Einbindelängen beim Einsatz als Bewehrung in Brettschicht holzbauteilen. Dissertation, Fakultät für Architektur, Technische Hochschule Aachen, Aachen, 2014
- [16] Ayoubi, M.: Bond behaviour of self tapping screws being used as reinforcement in glue laminated timber elements. In: Bautechnik, Vol. 93, no. 11, pp. 817 827, 2016, doi: 10.1002/bate.201500086
- [17] Hölz, K.; Kleinhans, L.; Matthiesen, S.: Wood Screw Design: Influence of Thread Parameters on the Withdrawal Capacity. In: European Journal of Wood and Wood Products, In Begutachtung, 2020
- [18] Hölz, K.; Dörner, P. T.; Matthiesen, S.: Algorithmus zur objektiven Analyse des Einflusses von Gewindeparametern von Holzschrauben auf die Rissbildung. Forschungsdatensatz, Karlsruhe: KITopen, 2020, doi: 10.5445/IR/1000122036

M.Sc. Kevin Hölz

B.Sc. Philipp-Tobias Dörner

Univ. Prof. Dr. Ing. Sven Matthiesen

alle:

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

IPEK Institut für Produktentwicklung

Lehrstuhl für Maschinenelemente

und Gerätekonstruktion

Kaiserstraße 10, 76131 Karlsruhe

Tel.: 07 21 / 6 08 4 23 75

E Mail: kevin.hoelz@kit.edu

www.ipek.kit.edu

Repository KITopen

Dies ist ein Postprint/begutachtetes Manuskript.

Empfohlene Zitierung:

Hoelz, K.; Dörner, P.-T.; Matthiesen, S.
[Analyse des Versagens mittels Bilderkennung für die Gestaltung von Holzschrauben.](#)
2021. Konstruktion, 73
[doi:10.5445/IR/1000138835](https://doi.org/10.5445/IR/1000138835)

Zitierung der Originalveröffentlichung:

Hoelz, K.; Dörner, P.-T.; Matthiesen, S.
[Analyse des Versagens mittels Bilderkennung für die Gestaltung von Holzschrauben.](#)
2021. Konstruktion, 73 (01-02), 64–69.
[doi:10.37544/0720-5953-2021-01-02-64](https://doi.org/10.37544/0720-5953-2021-01-02-64)

Lizenzinformationen: [KITopen-Lizenz](#)