

# Spaltverhalten von Holz beim Eindrehen von selbstbohrenden Holzschrauben

**Dipl.-Ing.  
Thomas Uibel**

**Univ.-Prof. Dr.-Ing.  
Hans Joachim Blaß**

**Lehrstuhl für  
Ingenieurholzbau und  
Baukonstruktionen  
Universität Karlsruhe**

**Uibel@holz.uka.de**



## Zusammenfassung

Zur Bestimmung von Mindestabständen und Mindestholzdicken für Verbindungen mit selbstbohrenden Holzschrauben werden bisher umfangreiche Einschraubversuche durchgeführt. Im Rahmen eines Forschungsprojektes werden derzeit neue Methoden entwickelt, das Spaltverhalten von Holz beim Einbringen von Schrauben zu erfassen. Häufig werden Holzschrauben mit speziellen Merkmalen wie z. B. Bohrspitzen hergestellt, die ein Aufspalten des Holzes beim Eindrehen verhindern sollen. Um die Wirkung dieser Schraubenmerkmale ermitteln zu können, wurde eine Prüfeinrichtung entwickelt, mit der Kräfte gemessen werden, die beim Einschrauben auf das Holz wirken. Durch Versuche an Referenzschrauben sind anhand der Messgrößen die erforderlichen Mindestabstände und Mindestholzdicken direkt abschätzbar. Ein bekanntes Verfahren zur Visualisierung von Rissflächen beim Einbringen von Verbindungsmitteln wurde für die Anwendung bei Einschraubversuchen modifiziert. Somit können die Rissflächen über den Gesamtquerschnitt der Prüfkörper ermittelt werden und stehen für statistische Auswertungen zur Verfügung. Des Weiteren eignen sich beide Prüfmethode zur Kalibrierung und Überprüfung von Rechenmodellen zur numerischen Rissflächenermittlung.

## 1 Einleitung

Selbstbohrende Holzschrauben haben sich in den letzten Jahren als wirtschaftliche Möglichkeit zur Herstellung von Anschlüssen im Holzbau etabliert und zudem neuartige Verbindungsarten ermöglicht. Häufig werden sie auch zur Befestigung von Verbindern aus Stahl oder Aluminium verwendet. Ein weiteres Einsatzgebiet von selbstbohrenden Holzschrauben mit Vollgewinde ist die Verstärkung von Bauteilen in Bereichen von Querdruck- oder Querkzugbeanspruchungen [1]. Wie Bejtka [2] zeigte, können sie als Querkzugbewehrung innerhalb einer Verbindung mit stiftförmigen Verbindungsmitteln ein sprödes Versagen durch Aufspalten verhindern und gleichzeitig zur Erhöhung der Tragfähigkeit der Verbindung beitragen. Die bauaufsichtlich zugelassenen selbstbohrenden Holzschrauben aus Kohlenstoffstahl werden i. d. R. nach dem Aufrollen des Gewindes gehärtet, um höhere Werte der Zugtragfähigkeit, des Fließmomentes und der Torsionstragfähigkeit (Bruchdrehmoment) zu erreichen. Darüber hinaus verfügen sie häufig über spezielle Bohrspitzen, Schneidgewinde und Reibschäfte, um das Einschraubdrehmoment im Holz zu vermindern. Diese Eigenschaften gestatten es, sie im Gegensatz zu genormten Holzschrauben (Gewinde nach DIN 7998) in nicht vorgebohrte Hölzer einzudrehen. Beim Einbringen von Verbindungsmitteln ohne Vorbohren kann ein Holzbauteil aufspalten oder eine Rissbildung ausgelöst werden. Hierdurch kann die Kraftübertragung stark reduziert oder völlig ausgeschlossen werden, so dass eine Verwendung des Bauteils nicht mehr möglich ist. Außerdem haben durch die Montage der Verbindungsmittel verursachte Risse einen Einfluss auf die Tragfähigkeit des Bauteils bzw. des Anschlusses unter Belastung. Diese Anfangsrisse können ein weiteres Risswachstum initiieren und so zum Versagen durch Aufspalten führen.

Zur Vermeidung des Risswachstums und des Aufspaltens des Holzes werden in den Bemessungsnormen für Holzbauwerke bzw. in den bauaufsichtlichen Zulassungen für Holzschrauben Mindestabstände und Mindestholzdicken in Abhängigkeit der Verbindungsmitteldurchmesser vorge-schrieben. Die angegebenen Mindestwerte sind Erfahrungswerte bzw. beruhen auf Versuchsergebnissen. Selbstbohrende Holzschrauben werden üblicherweise bezüglich der Mindestabstände wie Nägel in nicht vorgebohrten Hölzern behandelt, vgl. Abb. 1 und Tab. 1. Verfügen die Schrauben über Merkmale wie u. a. Bohrspitzen, Schneidgewinde und Reibschäfte, die die Gefahr des Aufspaltens reduzieren, sind deutlich geringere Mindestabstände möglich. Häufig können diese Schrauben bei Einhaltung von bestimmten Mindestholzdicken mit Abständen wie für Nägel in vorgebohrten Hölzern angeordnet werden, siehe Tab. 1. Werden die Schrauben überwiegend auf Herausziehen beansprucht, können die Mindestabstände ggf. weiter reduziert werden. Im Holzbau werden die Querschnittsmaße häufig nicht nur durch die erforderliche Tragfähigkeit des Bauteils selbst, sondern auch durch die Größe der Anschlussflächen bestimmt. Geringe Mindestabstände erlauben kleinere Anschlussflächen und somit wirtschaftlichere Bauteilmaße. Insbesondere bei der Anwendung von Holzschrauben als Querdruck- und Querkzugverstärkung sowie für verstärkte Verbindungen sind geringe Abstände der Verstärkungselemente untereinander und zu den Bauteilrändern erforderlich.

Bisher werden Mindestabstände und Mindestholzdicken durch umfangreiche Einschraubversuche mit einem iterativen Vorgehen ermittelt. Im Rahmen des Forschungsprojektes wird eine Methode entwickelt, diese Parameter auf Basis weniger Grundlagenversuche sowie numerischer Berechnungen zu bestimmen. Ziel ist es, den Umfang der Einschraubversuche so zu reduzieren, dass statt vieler iterativer Versuche nur noch eine geringe Anzahl bestätigender Einschraubversuche erforderlich wird. Für auf Abscheren beanspruchte Schrauben sind zusätzlich noch Tragfähigkeitsversuche mit Verbindungen erforderlich.

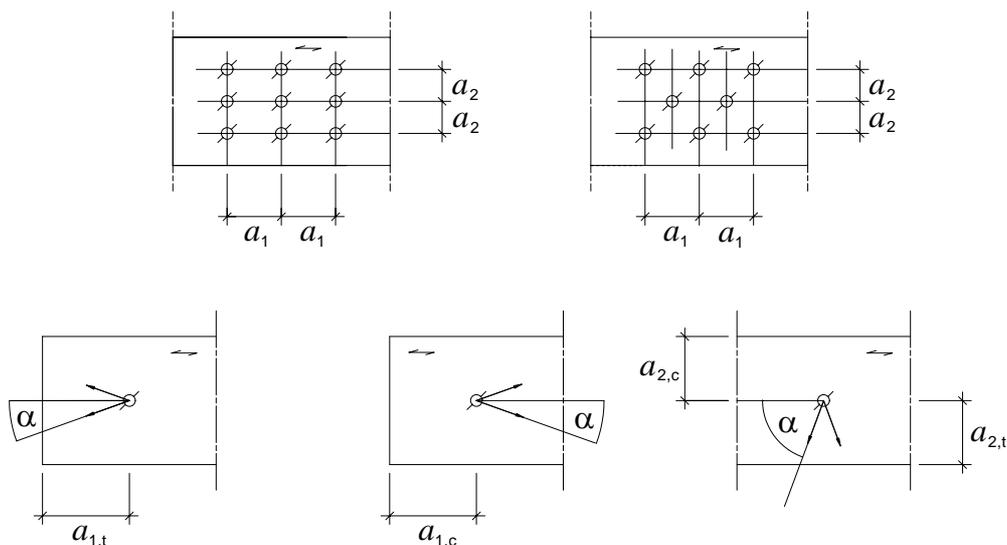


Abb. 1: Definition der Mindestabstände für stiftförmige Verbindungsmittel gemäß DIN 1052 [10]

Tab. 1: Abstände von Nägeln in nicht vorgebohrten u. vorgebohrten Hölzern gemäß DIN 1052 [10]

	$a_1$	$a_2$	$a_{1,t}$	$a_{1,c}$	$a_{2,t}$	$a_{2,c}$
nicht vorgebohrt <sup>1)</sup> $d < 5 \text{ mm}$	$(5+5 \cdot \cos \alpha) \cdot d$	$5 \cdot d$	$(7+5 \cdot \cos \alpha) \cdot d$	$7 \cdot d$	$(5+2 \cdot \sin \alpha) \cdot d$	$5 \cdot d$
nicht vorgebohrt <sup>1)</sup> $d \geq 5 \text{ mm}$	$(5+7 \cdot \cos \alpha) \cdot d$	$5 \cdot d$	$(10+5 \cdot \cos \alpha) \cdot d$	$10 \cdot d$	$(5+5 \cdot \sin \alpha) \cdot d$	$5 \cdot d$
vorgebohrt	$(3+2 \cdot \cos \alpha) \cdot d$	$3 \cdot d$	$(7+5 \cdot \cos \alpha) \cdot d$	$7 \cdot d$	$(3+4 \cdot \sin \alpha) \cdot d$	$3 \cdot d$

<sup>1)</sup> nicht vorgebohrte Hölzer mit  $\rho_k \leq 420 \text{ kg/m}^3$

## 2 Experimentelle Ermittlung von Mindestabständen und Mindestholzdicken

Bisherige Kenntnisse zum Spaltverhalten von Holz beim Einbringen von Verbindungsmitteln ohne Vorbohren beruhen größtenteils auf experimentellen Untersuchungen, wie z. B. die Arbeiten von Blaß et al. [3], Ehlbeck et al. [4], [5], Kevarinmäki [6], Lau et al. [7], Marten [8] und Schmid [9]. Die Mehrzahl dieser Untersuchungen beschränkt sich auf das Spaltverhalten von Holz beim Einschlagen von Nägeln. Es konnte beobachtet werden, dass die Rissentstehung und das Risswachstum von unterschiedlichen Parametern beeinflusst wird. Diese können vereinfacht in materialspezifische, geometrische und verbindungsmittelspezifische Einflüsse eingeteilt werden. Materialspezifische Einflüsse sind die folgenden Eigenschaften des Baustoffs Holz: Holzart, Rohdichte, Jahrringbreite, Holzfeuchte und die Jahrringlage in Bezug zur Verbindungsmittelachse. Zu den geometrischen Einflüssen zählen die Abstände und Holzdicken in Bezug zum Durchmesser der Verbindungsmittel sowie die Anordnung der Verbindungsmittel im Anschlussbild. Die Ausbildung der Spitze, des Kopfes, des Schaftes bzw. des Gewindes sowie die Querschnittsform und Oberflächenbeschaffenheit von Schrauben bzw. Nägeln stellen verbindungsmittelspezifische Einflüsse dar. Insbesondere bei selbstbohrenden Holzschrauben sind die genannten Merkmale für das Spaltverhalten des Holzes beim Eindrehen von entscheidender Bedeutung. Die Schrauben verschiedener Hersteller und Typen unterscheiden sich daher nicht nur in ihrer Grundgeometrie, sondern auch deutlich in der Anordnung und Ausbildung der spaltreduzierenden Merkmale. In Abb. 2 sind einige Beispiele für die Ausbildung von Spitzen und Köpfen bei selbstbohrenden Holzschrauben mit Voll- und Teilgewinde dargestellt.



Abb. 2: Beispiele für die Ausbildung von Spitzen und Köpfen bei selbstbohrenden Holzschrauben

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens [3] sowie weiterer Projekte wurden die erforderlichen Mindestabstände und Mindestholzdicken für selbstbohrende Holzschrauben systematisch untersucht. Hierzu wurden 326 Einschraubversuche mit fünf Schraubentypen (vier Hersteller) bei unterschiedlichen Schraubenbildern durchgeführt. Insgesamt wurden dabei 1125 Schrauben verwendet. Ziel der Einschraubversuche war die Ermittlung der Holzdicken, bei denen ein Aufspalten des Holzes bei Abständen wie für Nägel in vorgebohrten Hölzern gemäß Tabelle 10 der DIN 1052 [10] (siehe Abb. 1 und Tab. 1) zuverlässig vermieden wird. Für die Einschraubversuche wurden Prüfkörper aus Fichte/Tanne mit höherer Rohdichte verwendet ( $\rho_m = 484 \text{ kg/m}^3$ ,  $u_m = 12,0 \%$ ). Neben der Anzahl der Schraubenreihen und der Schraubenanzahl innerhalb einer Reihe wurden ebenfalls die unterschiedlichen Orientierungsmöglichkeiten der Schrauben bei zwei- bzw. mehrschnittigen Verbindungen berücksichtigt.

Die empirisch ermittelten Mindestholzdicken sind in Tab. 2 zusammengestellt. Es zeigte sich, dass für die untersuchten Schrauben, die allesamt über Bohrspitzen verfügten, Abstände wie für Nägel in vorgebohrten Hölzern möglich sind. Je nach Schraubentyp sind dabei jedoch unterschiedliche Mindestholzdicken erforderlich und ggf. Einschränkungen bezüglich der Abstände  $a_{1,c}$  und  $a_1$  einzuhalten. Bei Schrauben mit voneinander abweichender Geometrie (Außen-, Kern- und Kopfdurchmesser) konnte ein unterschiedliches Spaltverhalten des Holzes beobachtet werden. Für Schrauben gleicher Durchmesser und ähnlicher Geometrieverhältnisse wurden signifikante Unterschiede bezüglich der ermittelten Mindestholzdicken festgestellt, was auf die verschiedenartige Ausbildung der spaltreduzierenden Merkmale zurückzuführen ist. Es wird deutlich, dass sich die Ergebnisse von Einschraubversuchen selbst bei gleichen Durchmessern nicht auf verschiedene Schraubentypen übertragen lassen. Dies zeigen zum Beispiel die verschiedenen Mindestholzdicken für die Schrauben mit 8 mm Durchmesser der Hersteller A, B und C. Des Weiteren können die für einen Schraubendurchmesser ermittelten Mindestholzdicken bzw. Mindestabstände nicht auf

Schrauben anderer Durchmesser des gleichen Typs übertragen werden. Dieses wird an den Versuchsergebnissen für die Schrauben des Herstellers A der Durchmesser 8, 10 und 12 mm deutlich. Bei den Schrauben mit  $d = 12$  mm sind aufgrund abweichender Geometrieverhältnisse im Vergleich geringere Holz厚dicken möglich. Eine ausreichende Erfassung der materialspezifischen Einflüsse auf das Spaltverhalten des Holzes erfordert eine entsprechend hohe Versuchsanzahl. Insbesondere ist hierbei auch zu berücksichtigen, dass der nicht bekannte Eigenspannungszustand der Prüfkörper die Rissbildung beeinflussen kann. Hierauf sind u. a. Probleme bei der Reproduzierbarkeit der Ergebnisse von Einschraubversuchen bei sonst gleichen Prüfkörpereigenschaften zurückzuführen. Des Weiteren ist die Auswertung von Einschraubversuchen teilweise schwierig, da nur oberflächlich sichtbare Risse bzw. Spalterscheinungen zur Beurteilung zur Verfügung stehen. Insgesamt sind für eine zuverlässige experimentelle Ermittlung der Mindestabstände und Mindestholz厚dicken von selbstbohrenden Holzschrauben für jeden Schraubentyp und teilweise sogar für jeden Durchmesser umfangreiche Einschraubversuche vorzusehen.

Tab. 2: Experimentell ermittelte Mindestholz厚dicken

Hersteller	Typ	$d$ in mm	$\rho_m$ in kg/m <sup>3</sup>	Anzahl Versuche	Mindestholz厚dicke $t$ in mm		Einschränkungen bezüglich der Mindestabstände
A	1	5	487	51	24	$4,8 \cdot d$	$a_{1,c} \geq 12 \cdot d, a_1 \geq 5 \cdot d$
A	2	5	483	56	30	$6 \cdot d$	$a_{1,c} \geq 12 \cdot d, a_1 \geq 5 \cdot d$
A	1	8	477	35	80	$10 \cdot d$	-
A	1	10	497	12	100	$10 \cdot d$	$a_{1,c} \geq 12 \cdot d, a_1 \geq 5 \cdot d$
A	1	12	449	42	96	$8 \cdot d$	$a_{1,c} \geq 12 \cdot d, a_1 \geq 5 \cdot d$
B	1	8	497	13	40	$5 \cdot d$	$a_{1,c} \geq 12 \cdot d, a_1 \geq 5 \cdot d$
C	1	6	504	51	42	$7 \cdot d$	-
C	1	8	484	44	64	$8 \cdot d$	-
D	1	8,9	494	22	127	$14,3 \cdot d$	$a_{1,c} \geq 12 \cdot d, a_1 \geq 5 \cdot d$

### 3 Neue Verfahren zur Ermittlung und Beurteilung des Spaltverhaltens

#### 3.1 Prüfmethode zur Erfassung und Beurteilung spaltreduzierender Schraubenmerkmale

Das bisher übliche Vorgehen, die Mindestabständen und die Mindestholz厚dicken für selbstbohrende Holzschrauben iterativ durch Einschraubversuche zu bestimmen, ist vergleichsweise aufwändig. Derzeit wird ein Verfahren entwickelt, diese Parameter auf der Grundlage weniger Versuche in Verbindung mit numerischen Berechnungen zu ermitteln, so dass lediglich einige bestätigende Einschraubversuche notwendig wären. Mit einem Finite-Elemente-Modell lassen sich materialspezifische und geometrische Einflüsse auf das Spaltverhalten (siehe Abschnitt 2) weitgehend erfassen. Die verbindungsmittelspezifischen Einflüsse, insbesondere die Wirkung von Bohrspitzen, Schneidgewinden, Fräsrippen sowie Reibschäften, können nicht direkt modelliert werden. Daher wurde zunächst eine Prüfmethode entwickelt, mit der die Wirkung der spaltreduzierenden Merkmale durch wenige Versuche objektiv festgestellt werden kann. Hierzu wird die zu untersuchende Schraube in einen Prüfkörper aus Voll- oder Brettschichtholz eingeschraubt. Der Prüfkörper selbst besteht aus zwei Teilen, die aus einem Querschnitt durch faserparallele Auftrennung hergestellt werden. Anschließend werden die beiden Prüfkörperhälften mit Messschrauben verbunden (siehe Abb. 3 u. Abb. 4). Die zu prüfende Holzschraube wird zwischen die beiden durch die Messschrauben zusammengespannten Prüfkörperhälften mittels einer Schraubenprüfmaschine bei konstanter Drehzahl eingedreht und gleichzeitig das Einschraubdrehmoment gemessen. Durch den Einschraubvorgang entstehen Kräfte, die rechtwinklig zur Schraubenachse und zur Faserrichtung der Prüfkörperhälften wirken. Die resultierenden Dehnungen der Messschrauben werden mit Hilfe im Schraubenkern applizierter Dehnmessstreifen gemessen. Auf Grundlage einer Kalibrierung können die Dehnungen in Kräfte umgerechnet werden. Die Ergebnisse einer Versuchsreihe mit drei unterschiedlichen Schraubentypen 8.0 x 200 mm sind in Abb. 5 zusammengestellt. Es wurden jeweils drei Prüfkörper mit gleichen Eigenschaften verwendet, die mit den Maßen  $d/b/h = 24/80/180$  mm

aus einem Vollholzabschnitt hergestellt wurden. Die Diagramme in Abb. 5 zeigen die mit den Messschrauben ermittelten Kräfte über der jeweiligen Einschraubtiefe. Für die unterschiedlichen Schraubentypen konnten signifikante Kraftverläufe in Abhängigkeit des Einschraubweges bestimmt werden. Die Lage der Messpunkte (MSr) ist in Abb. 4 dargestellt. Die gemessenen mittleren Gesamtkräfte sind in Tab. 3 aufgeführt. In den Versuchsreihen 2 u. 3 wurden Prüfkörper der Maße  $d/b/h = 24/80/200$  mm verwendet, wobei die Prüfkörpereigenschaften innerhalb einer Reihe jeweils gleich waren. Eine Betrachtung der Schraube des Herstellers A als Referenzschraube (Index 100 %) ermöglicht einen Vergleich zu den durch Einschraubversuche ermittelten Mindestholzdicken. Hierbei zeigt sich eine gute Übereinstimmung der Ergebnisse der beiden Versuchsmethoden. Durch Vergleich der gemessenen Kräfte mit den Messwerten für eine Referenzschraube, deren Spaltwirkung bekannt ist, kann somit direkt auf die erforderlichen Mindestholzdicken geschlossen werden.

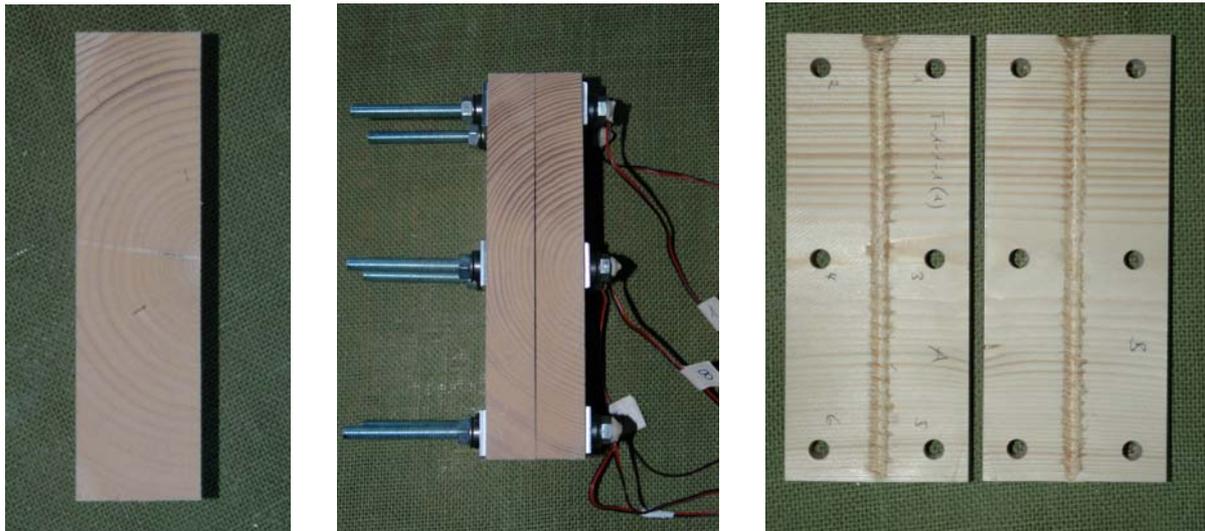


Abb. 3: Prüfkörper für Einschraubversuche vor dem Auftrennen, nach dem Auftrennen mit Messschrauben (ohne Vorspannung) sowie geöffneter Prüfkörper nach Versuchsdurchführung

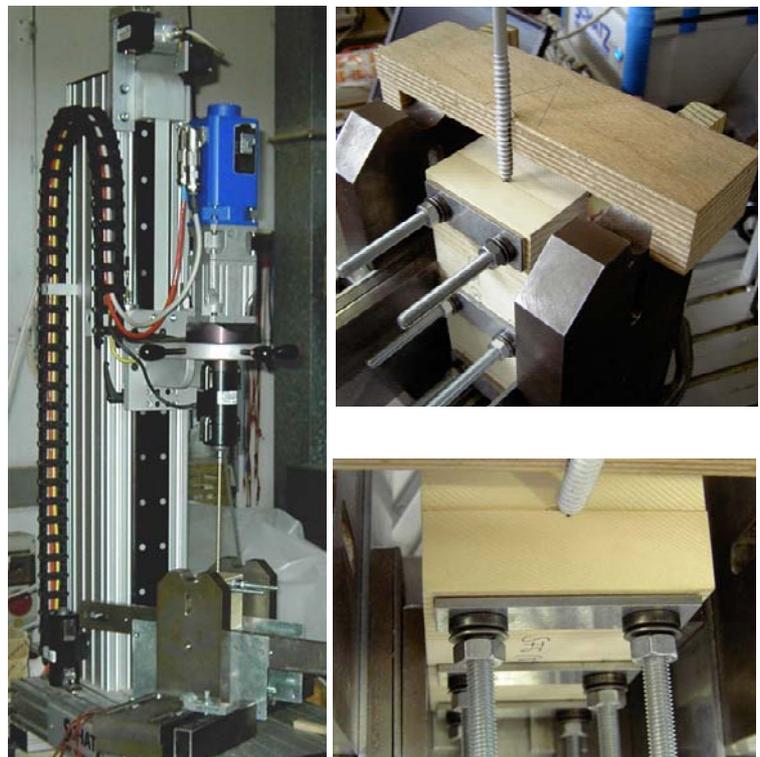
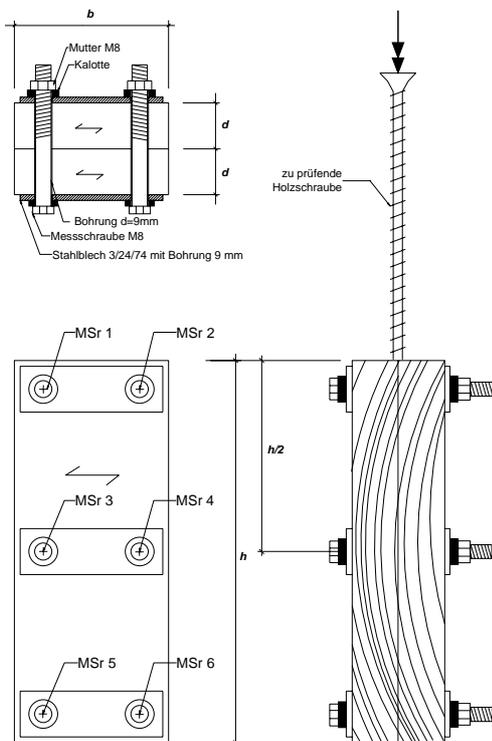


Abb. 4: Versuchsaufbau mit Lage der Messpunkte (MSr)

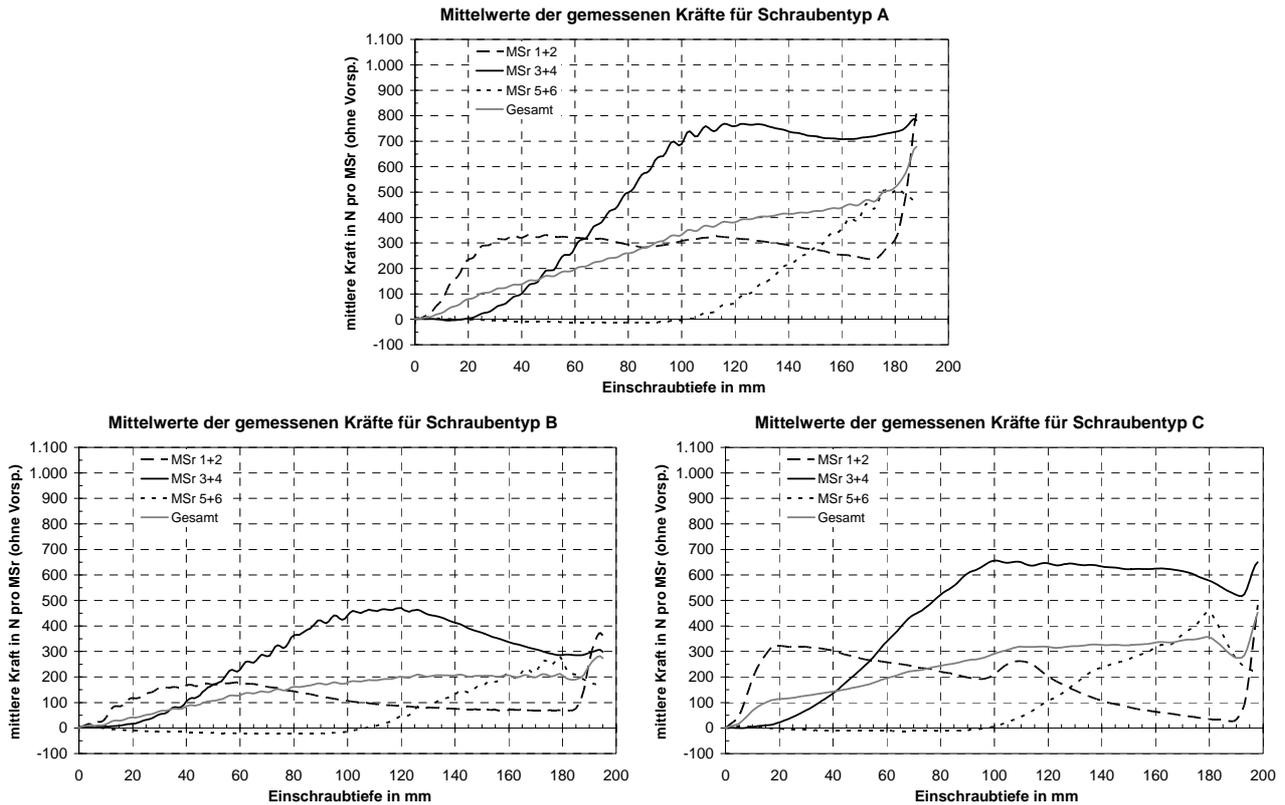


Abb. 5: Ergebnisse der Versuchsreihe 1, mittlere Kräfte an den Messpunkten

Tab. 3: Mittlere Gesamtkraft für 8er Schrauben im Vgl. zu den Ergebnissen der Einschraubversuche

Reihe	Hersteller	Versuchszahl		$\rho_m$ in kg/m <sup>3</sup>	$E_{0,dyn,mean}$ in N/mm <sup>2</sup>	mittlere Gesamtkraft		Mindestholzdicke	
		gesamt	verwertbar			F in N	Index	t in mm	Index
1	A	10	9	453	12511	1646	100 %	10 · d	100 %
	B	10	8	454	12659	886	54 %	5 · d	50 %
	C	10	7	460	13102	1466	89 %	8 · d	80 %
2	A	14	9	378	10249	1003	100 %	10 · d	100 %
	B	10	10	391	11195	595	59 %	5 · d	50 %
	C	10	10	387	11195	908	91 %	8 · d	80 %
3	A	13	6	506	13691	1689	100 %	10 · d	100 %
	B	10	7	507	13688	1013	60 %	5 · d	50 %
	C	10	8	502	13898	1576	93 %	8 · d	80 %

$E_{0,dyn,mean}$  Mittlerer dynamischer Elastizitätsmodul parallel zur Faser, ermittelt durch Längsschwingung am Ausgangsmaterial der Prüfkörper

Die beschriebene Prüfmethode liefert eine qualitative Aussage über die auftretenden Spaltkräfte und kann somit als Grundlage für eine quantitative Erfassung dieser in einem numerischen Modell herangezogen werden. Zur Absicherung der Prüfmethode wurden insgesamt 384 Versuche in acht Reihen durchgeführt und dabei folgende Einflussparameter auf die Messgrößen untersucht: Rohdichte der Prüfkörper, Vorspannung der Messschrauben, Einschraubgeschwindigkeit, Schraubendurchmesser, Prüfkörpergeometrie, Schraubentyp, Schraubenlänge sowie das Verhältnis zwischen Prüfkörperhöhe und Schraubenlänge. In weiteren Versuchsreihen soll die Anzahl der Messschrauben variiert und der Einfluss des Winkels zwischen Schraubenachse und Jahrringtangente untersucht werden. Die Versuche werden mit Prüfkörpern durchgeführt, welche in Prüfkörperhöhe über gleiche Eigenschaften (Rohdichte, Jahrringlage, Elastizitäts- und Schubmoduln) verfügen. Hierzu werden je zwei bis drei Prüfkörper aus ein und derselben Brettlamelle hergestellt, indem diese in kurze Abschnitte aufgeteilt und zu Brettschichtholz verklebt wird.

### 3.2 Experimentelle Ermittlung von Rissflächen

Die Beurteilung von Einschraubversuchen anhand sichtbarer Risse an den Holzoberflächen ist nur bedingt möglich, da die Rissausbreitung im Inneren des Querschnitts nicht abschätzbar ist. Zur Verifizierung und Kalibrierung der Rechenmodelle ist es erforderlich, Kenntnis über die Größe der gesamten Rissfläche zu erlangen. Zur Visualisierung der Rissausbreitung über den gesamten Querschnitt wurde ein von Lau et al. [7] für Einschlagversuche mit Nägeln entwickeltes Verfahren in modifizierter Form angewendet. Das Verfahren beruht darauf, die gerissenen Flächen nach dem Einschraubvorgang durch Einfärben zu kennzeichnen. Die Schraube wird wie üblich in ein Versuchsholz eingeschraubt. Beim Eindrehen der Schraube wird eine Schablone verwendet, um ein Verlaufen der Schraube innerhalb des Holzes zu verhindern. Außerdem wird der Prüfkörper so gelagert, dass eine Behinderung der Rissbildung im Holz durch Reibung oder Zwängungen weitgehend ausgeschlossen werden kann. Die Schraube wird soweit eingeschraubt, dass der Kopf mindestens bündig mit der Holzoberfläche abschließt. Im Anschluss an den Einschraubvorgang wird die Schraube wieder hinausgedreht und Farbe in die Einschrauböffnung gefüllt. Durch die Kapillarwirkung breitet sich die Farbe im gerissenen Bereich aus. Anschließend wird der Prüfkörper in der Rissebene geöffnet, so dass die Rissfläche ermittelt werden kann. Abb. 6 zeigt geöffnete Prüfkörper mit den zugehörigen Messkurven zur Rissflächenerfassung.

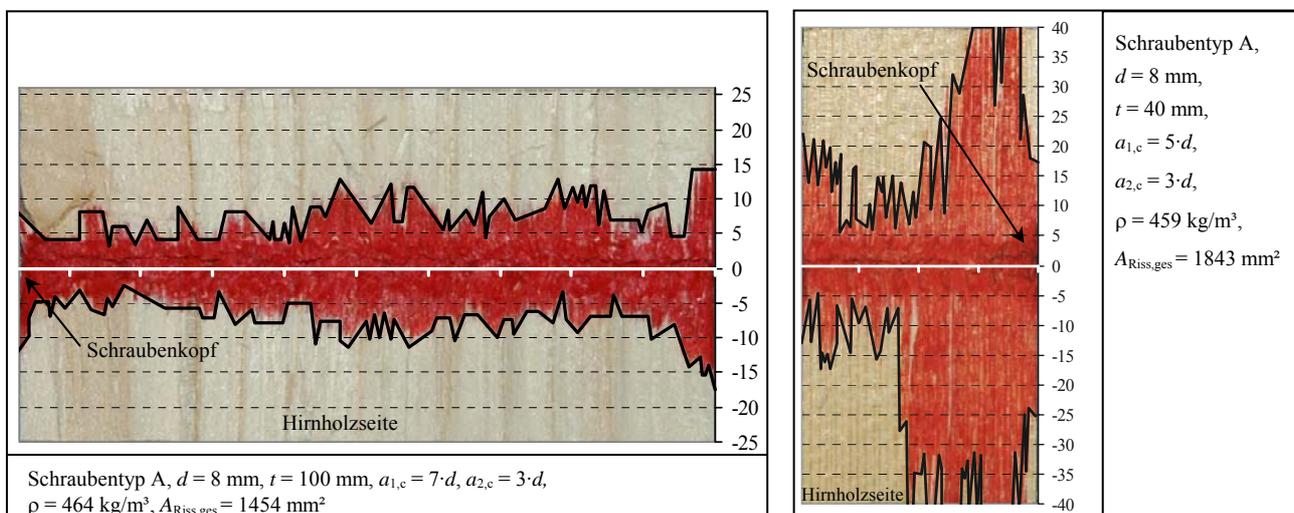


Abb. 6: Beispiele für experimentell ermittelte Rissflächen mit Messkurven (Maße in mm)

### 3.3 Numerische Untersuchungen zur Ermittlung von Rissflächen

Im Rahmen der numerischen Untersuchungen wird zurzeit ein FE-Modell entwickelt, mit dem es möglich ist, die Rissflächen zu berechnen. Diese Untersuchungen beschränken sich zurzeit auf ein einzelnes Verbindungsmittel. Es wird ein dreidimensionales FE-Modell verwendet, bei dem das für die Berechnung wichtige Verhalten des Holzes unter Querkzugbeanspruchung durch nicht-lineare Federelemente abgebildet wird. Die Eigenschaften der Federn wurden anhand von Versuchsergebnissen mit CT-Proben der Holzart Fichte aus der Forschungsarbeit von Schmid [9] kalibriert. Schraubenspezifische Einflüsse auf das Spaltverhalten werden mit Hilfe der Ergebnisse der neu entwickelten Prüfmethode erfasst (Abschnitt 3.1). Die Kalibrierung und Absicherung der berechneten Rissflächen erfolgt anhand der Ergebnisse der experimentellen Rissflächenermittlung, vgl. Abschnitt 3.2. Auf der Grundlage des Modells mit einer Schraube werden in Parameterstudien die Einflüsse der Abstände der Verbindungsmittel und der Holzdicken untersucht. Im Rahmen weiterer Simulationen soll dieses Modell auf mehrere Verbindungsmittel erweitert werden und so der Einfluss unterschiedlicher Schraubentypen sowie der Abstände der Schrauben untereinander untersucht werden. Zur Überprüfung der Berechnungen werden für verschiedene Anschlussbilder die Rissflächen nach der in Abschnitt 3.2 beschriebenen Methode ermittelt.

Zur Ermittlung der Tragfähigkeit von Schraubenverbindungen unter Beanspruchung auf Abscheren ist die Kenntnis der Rissflächen bzw. Risslängen, die durch den Einschraubvorgang verursacht wurden, eine wichtige Eingangsgröße. Sie können zur Quantifizierung von Anfangsrissen verwendet werden, die für bruchmechanische Betrachtungen erforderlich ist.

## 4 Schlussfolgerung und Diskussion

Selbstbohrende Holzschrauben können auch in nicht vorgebohrte Hölzer mit geringen Mindestabständen untereinander und zum Rand eingedreht werden, ohne dass das Holzbauteil durch Aufspalten versagt. Die Ermittlung der erforderlichen Mindestholzdicken und Mindestabstände durch iterative Einschraubversuche ist vergleichsweise aufwändig. Aufgrund der verschiedenartigen Schraubenausbildungen ist eine Übertragung von Ergebnissen auf andere Schraubentypen und Schraubengeometrien nur teilweise oder gar nicht möglich. Die Qualität der durch konventionelle Einschraubversuche getroffenen Aussagen ist eingeschränkt, da sich diese lediglich auf Beobachtungen von Risserscheinungen an der Holzoberfläche stützen.

Mit einer neuen Prüfmethode lassen sich Kräfte messen, die beim Einschrauben auf das Holz wirken und so die Einflüsse der schraubenspezifischen Merkmale wie u. a. Bohrspitzen zumindest qualitativ erfassen. Durch Vergleichsversuche mit Referenzschrauben sind die erforderlichen Mindestholzdicken und Mindestabstände direkt abschätzbar, so dass lediglich bestätigende Einschraubversuche mit diesen Parametern nötig sind. Durch Einschraubversuche, bei denen die entstandenen Risse im Gesamtquerschnitt visualisiert wurden, konnten Rissbilder und -flächen ermittelt werden. Diese stehen für weitere statistische Auswertungen zur Verfügung. Beide Prüfmethoden dienen zur Kalibrierung und Überprüfung von numerischen Modellen zur Rissflächenermittlung. Gelingt es, das Spaltverhalten wirklichkeitsgetreu zu simulieren, minimiert sich die Anzahl benötigter Einschraubversuche nochmals. Außerdem werden hierdurch die Grundlagen für numerische Untersuchungen des Spaltverhaltens von Verbindungen unter Belastung gelegt, wodurch auch der Umfang von Tragfähigkeitsversuchen mit spaltgefährdeten Schraubenverbindungen reduziert werden kann. Auf Einschraub- und Tragfähigkeitsversuche geringer Anzahl zur Verifizierung der Ergebnisse von Rechenmodellen sollte dennoch nicht völlig verzichtet werden.

## 5 Literatur

- [1] Bejtka, I.: Querzug- und Querdruckverstärkungen. Aktuelle Forschungsergebnisse. In: *Ingenieurholzbau, Karlsruher Tage. Forschung für die Praxis, Karlsruhe 2003*. Tagungsband, Bruderverlag, Karlsruhe, 2003, S. 7 – 18
- [2] Bejtka, I.: Verstärkungen von Bauteilen aus Holz mit Vollgewindeschrauben. *Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau*, Band 2, Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen (Hrsg.), Universitätsverlag Karlsruhe, 2005
- [3] Blaß, H.J.; Bejtka, I.; Uibel, T.: Tragfähigkeit von Verbindungen mit selbstbohrenden Holzschrauben mit Vollgewinde, *Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau*, Band 4, Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen (Hrsg.), Universitätsverlag Karlsruhe, 2006
- [4] Ehlbeck, J.; Görlacher, R.: Mindestabstände bei Stahlblech-Holz-Nagelverbindungen. *Forschungsbericht*, Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Abteilung Ingenieurholzbau, Universität Karlsruhe (TH), 1982
- [5] Ehlbeck, J.; Siebert, W.: Ermittlung der Mindestholzabmessungen und Mindestnagelabständen bei Nagelverbindungen mit europäischem Douglasienholz. *Forschungsbericht*, Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Abteilung Ingenieurholzbau, Universität Karlsruhe, 1988
- [6] Kevarinmäki, A.: Nails in spruce – splitting sensitivity, end grain joints and withdrawal strength, In: *Proceedings. CIB-W18 Meeting 2005, Karlsruhe, Germany, 2005*, Paper 38-7-6
- [7] Lau, P.W.C.; Tardiff, Y.: Progress report: Cracks produced by driving nails into wood – effects of wood and nail variables. Forintek Canada Corp., 1987
- [8] Marten, G.: Spalten und Tragfähigkeit von Nagelverbindungen, *Fortschritte und Forschung im Bauwesen*, Reihe D, Berichte des Beirats für Bauforschung beim Bundesminister für Wohnungsbau, Heft 9, Versuche für den Holzbau, 1953, S. 55-89
- [9] Schmid, M.: Anwendung der Bruchmechanik auf Verbindungen mit Holz. *Berichte der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine*, Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe, 2002
- [10] DIN 1052, Ausgabe August 2004. Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken - Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau