

Ermittlung der Querkzugfestigkeit von Voll- und Brettschichtholz

H.J. Blaß und M. Schmid

Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine - Universität Karlsruhe

Zusammenfassung

Ziel des Forschungsvorhabens war die Ermittlung der Querkzugfestigkeit von Voll- und Brettschichtholz gemäß dem in EN 1193 (1994) beschriebenen Prüfverfahren. Mit Hilfe der Ergebnisse sollten die zum Teil widersprüchlichen Regelungen zwischen den europäischen Normen EN 384, EN 338 und EN1194 auf der einen Seite und der DIN 1052 (1988) bzw. dem nationalen Anwendungsdokument zum Eurocode 5 auf der anderen Seite geklärt werden. Diese Unterschiede sind in Abschnitt 1.1.2 des Berichtes dargestellt.

Üblicherweise wird im Ingenieurholzbau das unterschiedliche elastische Verhalten zwischen der tangentialen und der radialen Richtung nicht berücksichtigt. Im Rahmen der hier beschriebenen Versuche konnte diese Vereinfachung bei der Auswertung nicht getroffen werden. Die mit Vollholz durchgeführten Versuche zeigten signifikante Unterschiede der Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften abhängig von der Beanspruchungsrichtung der Prüfkörper. In Bild 1 sind die verschiedenen Beanspruchungsrichtungen gezeigt.

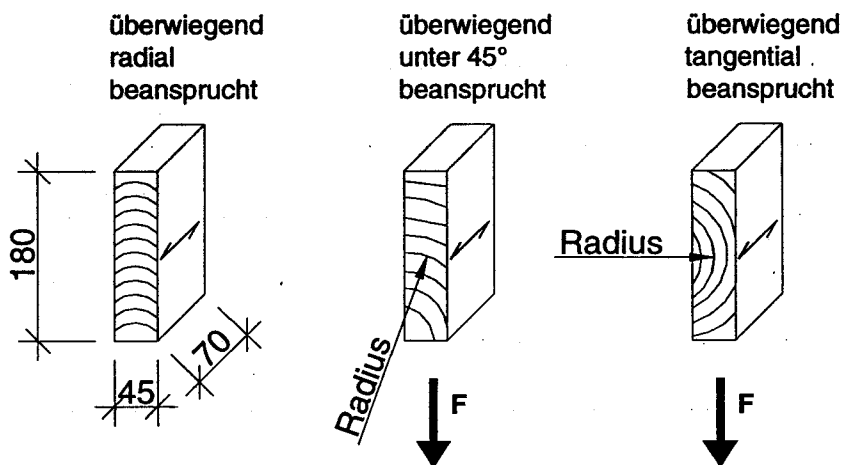


Bild 1: Anordnung der Jahrringe bei den Prüfkörpern aus Vollholz

Tabelle 1 zeigt die statistischen Parameter der Querkzugfestigkeit, Tabelle 2 diejenigen der Steifigkeit der Vollholzprüfkörper.

Tabelle 1: Statistische Parameter der Querkzugfestigkeit der Vollholzprüfkörper

Orientierung nach Bild 1	Anzahl	Mittelwert [N/mm ²]	Minimum [N/mm ²]	Maximum [N/mm ²]	5% - Fraktile [N/mm ²]	Standardabweichg. [N/mm ²]
radial	24	2,55	1,84	3,19	1,84	0,485
45°	18	2,04	1,01	3,18	-	0,649
tangential beansprucht, Riß an der Klebefuge	71	1,94	0,57	2,77	1,41	0,382
tangential beansprucht, Riß im Holz	68	1,65	0,70	2,77	0,92	0,418
alle tangential beanspruchten	139	1,80	0,57	2,77	0,95	0,423
mit Mark	6	1,02	0,45	2,03	-	0,619
alle zusammen	187	1,89	0,45	3,19	0,95	0,548

Tabelle 2: Statistische Parameter des Elastizitätsmoduls $E_{1,90}$ der Vollholzprüfkörper

Orientierung der Jahrringe nach Bild 2-1	Anzahl	Mittelwert [N/mm ²]	Minimum [N/mm ²]	Maximum [N/mm ²]	5% - Fraktile [N/mm ²]	Standardabweichg. [N/mm ²]
radial	24	726	423	1032	536	155
unter 45°	17	285	142	894	-	192
tangential	139	164	87,2	304	109	38,3
mit Mark	6	282	179	421	-	95,6
alle zusammen	187	251	87,2	1032	114	207

Um einen Eindruck über die Spannungsverteilungen in den Prüfkörpern zu erhalten, wurden FE-Berechnungen unter Verwendung eines orthotropen Elastizitätsgesetzes

mit drei Vorzugsrichtungen durchgeführt. Als Materialkoordinatensystem wurde dabei ein zylindrisches Koordinatensystem verwendet, das die Struktur des Holzes am besten erfaßt. Die Berechnungen zeigten sehr ungleichförmige Spannungsverteilungen. Zu ähnlichen Ergebnissen kommen auch Aicher und Dill-Langer (1995 und 1997), Ranta-Maunus (1998) und Canisius (1995).

Die Berechnungen für die Vollholzprüfkörper zeigten deutliche Spannungskonzentrationen an der Klebefuge zwischen dem Zwischenholz und dem Prüfkörper. Dies dürfte der wesentliche Grund für das häufige Versagen der Vollholzprüfkörper an dieser Stelle sein. Für diejenigen Prüfkörper, die an der Klebefuge brachen, wurde eine verhältnismäßig hohe Korrelation zwischen der Querkzugfestigkeit und der Rohdichte ermittelt, während der Korrelationskoeffizient zwischen diesen beiden Parametern für die Prüfkörper mit Bruch im Holz nahe bei null lag. Eine Erklärungsmöglichkeit für diesen Unterschied wurde in Abschnitt 2.2 mit Hilfe der probabilistischen Theorie Weibulls gegeben. Dies widerspricht der Annahme der EN 384, die eine Abhängigkeit der Querkzugfestigkeit von der Rohdichte nach der Gleichung

$$f_{t,90,k} = 0,001 \cdot \rho_k \quad (1)$$

angibt.

Die an Vollholz bestimmten Querkzugfestigkeiten können nicht als Werte der Tragfähigkeit für Bauholz angesehen werden. Die Prüfkörper bestanden aus nahezu fehlerfreiem Material, das insbesondere keine mit bloßem Auge wahrzunehmenden Schwindrisse aufwies. Das Versagen eines Holzes mit Schwindriß dürfte nur mit Hilfe der Bruchmechanik theoretisch zu erfassen sein. An der Spitze des Risses werden Spannungskonzentrationen auftreten, die relativ schnell zu instabilem Rißwachstum führen dürften, so daß die Tragfähigkeit eines Querschnittes mit Riß sehr gering sein wird.

Die Versuche mit Brettschichtholzprüfkörpern des Bezugsvolumens $V_0 = 0,01 \text{ m}^3$ zeigten, daß für Brettschichtholz eine Lamelle mit Ringschäle zu einer Querkzugfestigkeit nahe Null führt. Inwiefern Umlagerungen der Querkzugspannungen in größeren querkzugbeanspruchten Volumen, wie beispielsweise bei gekrümmten Trägern, erfolgen können, wird davon abhängen, über welche Länge sich die Ringschäle erstreckt. Jedoch werden selbst bei einer solchen Umlagerung Risse auftreten, die kaum zu akzeptieren sind. Es sei hier auch noch einmal auf die überragende Bedeutung wechselnder Holzfeuchte hingewiesen, die bei Ranta-Maunus (1998) und Aicher und Dill-Langer (1995) beschrieben wird und die die Querkzugfestigkeit stark herabsetzt.

Festzuhalten bleibt auch, daß die Annahme der EN 1194 und EN 384 nicht bestätigt werden konnte, wonach höhere Festigkeitsklassen auch höhere Querkzugfestigkeiten aufweisen. Im Gegenteil lagen die Querkzugfestigkeiten der Prüfkörper der Festigkeitsklasse BS18 meist unter denjenigen der Prüfkörper der Festigkeitsklasse BS16.

Bild 2 zeigt die Summenhäufigkeiten der Querkzugfestigkeit für die verschiedenen Festigkeitsklassen, die an Brettschichtholzprüfkörpern mit dem Bezugsvolumen V_0 bestimmt wurde.

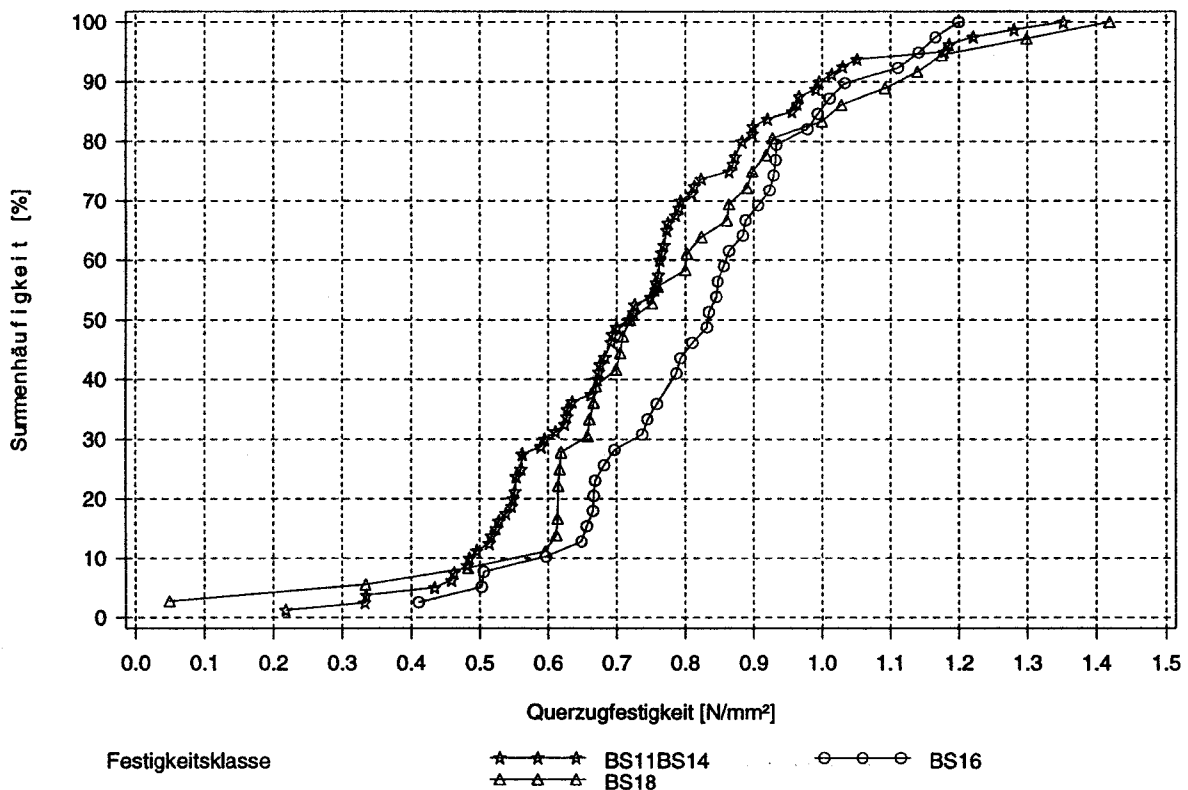


Bild 2: Querkzugfestigkeit der Prüfkörper mit einem Bezugsvolumen von $V_0 = 0,01 \text{ m}^3$

Tabelle 3 zeigt die statistischen Parameter der Querkzugfestigkeit von Brettschichtholz für Prüfkörper mit dem Bezugsvolumen V_0 , Tabelle 4 zeigt die statistischen Parameter der Steifigkeit.

Tabelle 3: Statistische Parameter der Querkzugfestigkeit für Brettschichtholz

Festigkeitsklasse	Anzahl	Mittelwert [N/mm ²]	Minimum [N/mm ²]	Maximum [N/mm ²]	5% - Fraktile [N/mm ²]	Standard- abweichg. [N/mm ²]
BS11 oder BS14	79	0,73	0,22	1,35	0,43	0,22
BS16	38	0,83	0,41	1,20	0,50	0,18
BS18	36	0,78	0,05	1,42	0,33	0,26
alle gemeinsam ausgewertet	153	0,77	0,05	1,42	0,46	0,22

Tabelle 4: Statistische Parameter der Elastizitätsmoduln quer zur Faserrichtung für Brettschichtholz

Festigkeitsklasse	Anzahl	Mittelwert [N/mm ²]	Minimum [N/mm ²]	Maximum [N/mm ²]	5% - Fraktile [N/mm ²]	Standard- abweichg. [N/mm ²]
BS11 oder BS14	79	329	184	480	211	67,3
BS16	38	354	255	444	266	46,6
BS18	36	370	24,0	532	246	85,0
alle gemeinsam ausgewertet	153	345	24,0	532	232	69,5

FE-Berechnungen der Spannungsverteilungen zeigten, daß von einer gleichförmigeren Spannungsverteilung in Prüfkörpern mit kleinerem Volumen als bei Prüfkörpern mit dem Bezugsvolumen $V_0 = 0,01 \text{ m}^3$ ausgegangen werden kann. Deshalb ist ein Vergleich der an diesen kleineren Prüfkörpern bestimmten Querkzugfestigkeiten mit den an Prüfkörpern mit dem Bezugsvolumen V_0 ermittelten Querkzugfestigkeiten zur Bestimmung des Volumeneffektes nur bedingt möglich. Trotzdem zeigt dieser Vergleich wie auch die angepaßten Weibullverteilungen, daß der Volumeneffekt für Kurzzeitbelastung stärker ausgeprägt ist, als im Eurocode 5 angenommen. Zu diesem Ergebnis kommt auch Ranta-Maunus (1998). Danach müßte die Querkzugfestigkeit für Volumen, die vom Bezugsvolumen V_0 abweichen mit

$$(V_0 / V_1)^{0,3} \quad (2)$$

multipliziert werden, während der Eurocode 5 für den Exponenten 0,2 angibt.