

Rechnerische Untersuchungen zu Mindestabständen von Durchbrüchen in Brettschichtholz

Tapia Camú Cristóbal

Dipl. Ing.
Wiss. Mitarbeiter
MPA, Uni Stuttgart
cristobal.tapia-
camu@mpa.uni-
stuttgart.de



Aicher Simon

Dr. rer. nat
Abteilungsleiter
MPA, Uni Stuttgart
simon.aicher@mpa.uni-
stuttgart.de



Cristóbal Tapia, geb. 1987, studierte Bauingenieurwesen an der Universidad de Chile. Er arbeitet seit Mai 2015 als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der MPA Universität Stuttgart, Abteilung Holzkonstruktionen. Dort beschäftigt er sich mit FE-Simulationen sowie mit experimentellen Untersuchungen.

Simon Aicher, geb. 1953, absolvierte das werkstoffwissenschaftliche Studium Holzwirtschaft an der Universität Hamburg, vertiefte Bauingenieurwesen an der TU München und promovierte 1984 am Institut für Holzphysik der Universität Hamburg. Er ist seit 2004 Leiter der Abteilung Holzkonstruktionen der MPA Universität Stuttgart.

Zusammenfassung

Der lichte Mindestabstand zwischen Durchbrüchen in Brettschichtholzträgern ist in DIN EN 1995-1-1/NA bei bewehrten und unbewehrten Durchbrüchen auf das ein- bzw. 1,5fache der Trägerhöhe festgelegt. Diese konstruktiven Vorgaben sind speziell bei sehr kleinen, sodann unbewehrten Durchbrüchen in Vollwandträgern sehr restriktiv und beruhen, wenn überhaupt, auf nur bedingt belastbaren Untersuchungen. Im genannten Zusammenhang wurden Finite Element Berechnungen zu Spannungsverteilungen und resultierenden Kräften im Bereich von zwei runden, unbewehrten, in Querschnittshöhenmitte nebeneinanderliegenden Durchbrüchen mit unterschiedlichen lichten Lochabständen durchgeführt. Die rechnerischen Untersuchungen zeigten, dass die lichten Lochabstände unbewehrter Durchbrüche mit einem Verhältnis von Lochdurchmesser zu Trägerquerschnittshöhe von $h_d/h = 0,1$ ohne jegliche Nachweisänderung und sodann bis $h_d/h = 0,15$ mit geringfügigen Nachweisänderungen realisierbar sind. Die Berechnungen bestätigten auch die Notwendigkeit, zumindest den Momentenanteil der Bemessungs-Querzugkräfte, der heute eindeutig unzutreffend abgebildet wird, im Sinne einer wirtschaftlichen Bemessung in einer Neufassung von DIN EN 1995-1-1/NA zu korrigieren.

1 Einleitung

Die heutige Europäische Holzbaubemessungsnorm DIN EN 1995-1-1 (EC 5 Teil 1) [1] enthält keine Ausführungen zu Durchbrüchen in Vollwandträgern aus Brettschichtholz und Furnierschichtholz, ungeachtet deren offensichtlicher Bedeutung in Bauwerken. In Tragwerken liegt nahezu immer die Erfordernis einer Durchführung von Elektro-, Sanitär- bzw. Lüftungsleitungen und -rohren rechtwinklig zu den Hauptträgern vor, die aus technischen und architektonischen Gründen nicht unterhalb der Binderebene ausgeführt werden können. Im Gegensatz dazu enthält das deutsche nationale Anwendungsdokument DIN EN 1995-1-1/NA [2] ausführliche Bemessungsregeln zu unverstärkten und verstärkten Durchbrüchen. Die dort angegebenen

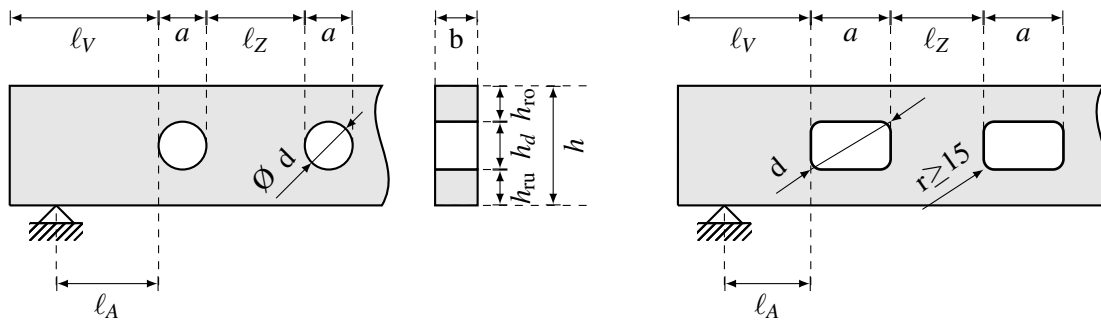


Abb. 1: Abmessungsbezeichnungen von Durchbrüchen nach DIN EN 1995-1-1/NA

Tab. 1: Größen- und Geometrieregeln von verstärkten und unverstärkten Durchbrüchen in Brett- und Furnierschichtholz nach [2]

	ℓ_V	ℓ_Z	ℓ_A	$h_{ro(ru)}$	a	h_d
unverstärkt	$\geq h$	$\geq 1,5h$, mindestens 300 mm	$\geq h/2$	$\geq 0,35h$	$\leq 0,4h$	$\leq 0,15h$
verstärkt	$\geq h$	$\geq h$, mindestens 300 mm	$\geq h/2$	$\geq 0,25h$	$\leq h$ $a/h_d \leq 2,5$	$\leq 0,3h^{a)}$ $\leq 0,4h^{b)}$

a) bei innen liegender Verstärkung

b) bei außen liegender Verstärkung

Regeln wurden weitestgehend ungeändert aus der vormaligen deutschen Holzbaubemessungsnorm DIN 1052:2008 [3] übernommen. Die im EC 5/NA [2] ausgeführten Regelungen fußen einerseits auf einer Reihe belastbarer rechnerischer und experimenteller Untersuchungen u.a. [4, 5, 6, 7, 8], beinhalten jedoch auch Vorgaben, die nicht auf belastbare Untersuchungen rückführbar sind. Hierzu zählen unter anderem die Regelungen zu Durchbruchsabständen bei mehreren in Reihe angeordneten Durchbrüchen. In diesem Zusammenhang erhebt sich die Frage, ob Unterschreitungen der vorgegebenen Mindestabstände wirklich kritisch sind. Um diese Frage beantworten zu können, müssen zuerst die wichtigsten Faktoren, die in diesen Fällen eine Rolle spielen, identifiziert und bewertet werden, was im vorliegenden Beitrag geschieht.

2 Regelungen zu Größen und Abständen von Durchbrüchen in DIN EN 1995-1-1/NA

Nach DIN EN 1995-1-1/NA [2], Abschnitt NCI NA.6.7 sowie Abschnitt NCI NA.6.8.4 gelten für unverstärkte und querzugverstärkte Durchbrüche in Brett- und Furnierschichtholz die in Abb. 1 und Tabelle 1 gezeigten konstruktiven Ausführungsregelungen. Wie ersichtlich muss der lichte Abstand ℓ_Z zwischen den benachbart gegenüber liegenden vertikalen Rändern bzw. Berandungstangenten im Falle unverstärkter Durchbrüche mindestens das 1,5fache der Trägerhöhe h und im Falle verstärkter Durchbrüche das einfache der Trägerhöhe h betragen. Im Mindesten muss der Abstand in beiden Fällen jedoch 300 mm betragen. Sofern die genannten Abstände eingehalten werden, gelten sodann die Bemessungsregeln für einfache Durchbrüche.

Im Folgenden wird anhand einer parametrischen Untersuchung zur Änderung der Spannungsverläufe an der Peripherie von nebeneinanderliegenden runden, unverstärkten Durchbrüchen aufgezeigt, welche Auswirkungen der Durchbruchsabstand hat.

3 Einfluss eines einzelnen Durchbruchs

Durchbrüche reduzieren die Tragfähigkeit von BSH-Trägern, indem sie Zonen erhöhter Querspannungen in ihrer Nähe verursachen [9]. Die zwei Schnittgrößen, Moment und Querkraft, beeinflussen diese Zugspannungsfelder [6] und bestimmen die Intensität der Spannungskonzentration in den gefährdeten Bereichen. Der Einfluss beider Schnittgrößen M/V wird im Folgenden zunächst für den Basisfall eines einzelnen Durchbruchs mithilfe von FE-Simulationen gezeigt. Die erläuterte Umverteilung der Spannungen im Bereich des Durchbruches ist zwar hinreichend bekannt [9], wird hier jedoch nochmals skizziert, um später die Interaktion zwischen zwei nahe beieinander liegenden Durchbrüchen besser analysieren zu können.

3.1 Reines Moment

In einem aus reinem Moment bestehenden Lastfall im Bereich des Durchbruchs bilden sich Spannungsfelder mit Normalspannungen rechtwinklig zur Trägerachse aus, die durch die Umlagerung der Biegespannungen verursacht werden, vgl. Abb. 2a. Diese charakteristische symmetrische Spannungsverteilung besteht aus drei Querdruck- und drei Querzugbereichen, deren Minimal- bzw. Maximalwerte sich unter einem Winkel von $\varphi \approx 30^\circ$ gegenüber der Trägerachse befinden und nur sehr gering mit der Größe des Durchbruchs (Verhältnis h_d/h) variieren. Wichtiger für die Bemessung sind jedoch nicht die maximalen Zugspannungen sondern die in [2] Abschnitt NA.6.7, definierte Querszugkraft $F_{t,90}$, auf die im Abschnitt 3.3 eingegangen wird.

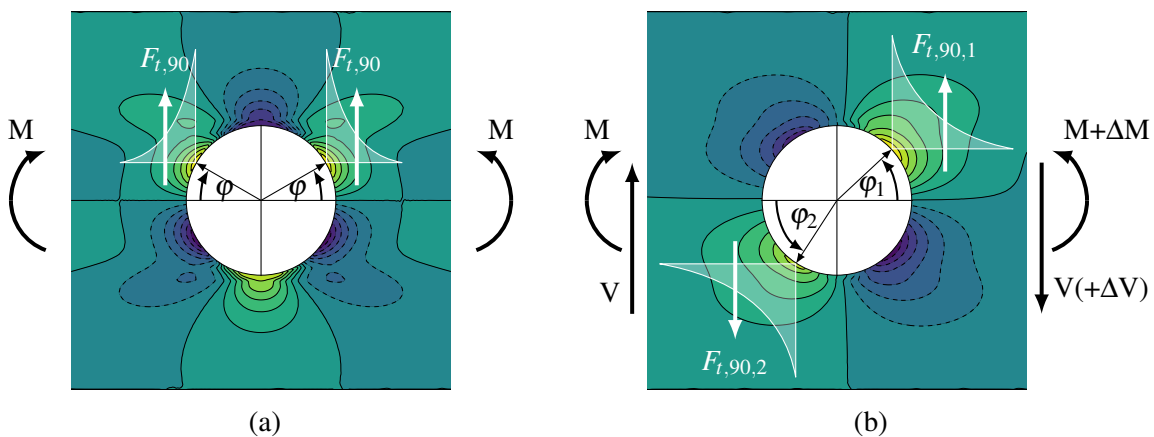


Abb. 2: Spannungsfelder und resultierende Zugkräfte rechtwinklig zur Faserrichtung im Bereich eines durch reinen Moment (a) sowie durch Querkraft und Moment (b) beanspruchten Durchbruches

3.2 Querkraft und Moment

Wenn im Bereich des Durchbruches auch eine Querkraftbeanspruchung vorliegt, entstehen, wie im Fall von reinem Moment, erhöhte Zugspannungen rechtwinklig zur Achs- und Faserrichtung am Rande des Loches (Abb. 2b). Anders als in dem erst genannten Fall beobachtet man für diesen Lastfall nun zwei Querdruck- und Querzugbereiche, in denen die Paare negativer bzw. positiver Spannungsfelder diagonal einander gegenüber liegen. Die Winkel φ längs des Lochrandes, an denen sich die maximalen Querszugspannungen befinden (siehe Abb. 2b), variieren mit dem Verhältnis M/V ; mit zunehmendem M/V nimmt der Winkel φ_1 ab ($38^\circ \leq \varphi_1 \leq 46^\circ$), während der Winkel φ_2 ($52^\circ \leq \varphi_2 \leq 68^\circ$) größer wird. Diese Änderung der Winkel φ_1 und φ_2 ergibt sich aus der Interaktion zwischen der durch das Moment verursachten Zugspannungsverteilung und der Spannungsverteilung, die sich infolge „reiner $M \rightarrow 0$ “ Querkraft entwickeln würde. Je größer das Moment relativ zur Querkraft wird, desto mehr gewinnt die in Abb. 2a gezeigte Verteilung Einfluss auf das gesamte Spannungsfeld.

3.3 Berechnung der Querkzugkraft $F_{t,90}$

3.4 Nach DIN EN 1995-1-1/NA

Die bemessungsrelevante Querkzugkraft $F_{t,90,d}$, die in DIN EN 1995-1-1/NA [2] in Form von drei Gleichungen definiert ist, beruht auf der Superposition der unabhängigen Effekte des Moments $F_{t,M} = f(M)$ und der Querkraft $F_{t,V} = f(V)$. Die grundlegenden Gleichungen für die Bemessungswerte der Kräfte lauten:

$$F_{t,90,d} = F_{t,M,d} + F_{t,V,d} \quad (1)$$

$$F_{t,V,d} = \frac{V_d \cdot h_d}{4 \cdot h} \cdot \left[3 - \frac{h_d^2}{h^2} \right] \quad (2)$$

$$F_{t,M,d} = 0,008 \cdot \frac{M_d}{h_r} \quad (3)$$

$$\text{mit } h_r = \min \{ h_{ru}; h_{ro} \} \quad (4)$$

Die Bedeutung der Werte h , h_d und $h_{ru(ro)}$ wird in Abb. 1 veranschaulicht. Der Term h_d kann/sollte im Falle von runden Durchbrüchen mit dem Faktor 0,7 multipliziert werden.

Den Gleichungen (1)–(4) unterliegt die Annahme, dass sich bei Erreichen des Bemessungswertes des Querkzugwiderstandes $R_{t,90,d}$ Risse von den Punkten am Rande des Durchbruches, an denen sich die maximalen Zugspannungen befinden, ausbreiten werden, die im Extremfall traglastgefährdend sein könnten. Wichtig ist es, hier zu erwähnen, dass frühere numerische Berechnungen mithilfe von Finiten Elementen nicht zu vernachlässigende Abweichungen von den Gleichungen (1)–(4) erwiesen haben [10, 11], vor allem bezüglich des Moment-bedingten Terms, $F_{t,M,d}$. Ungeachtet dessen werden die Gleichungen hier als Referenz benutzt, um abschätzen zu können, wie sich das aktuelle Verfahren bei der Bemessung mehrerer nebeneinanderliegender Durchbrüche im Vergleich zu numerischen Berechnungen verhält.

3.5 Numerische Berechnung der Querkzugkraft mittels Finite Elemente Methode

Um die Querkzugkraft numerisch zu bestimmen, ist zuerst der Punkt am Rande des Durchbruches, an dem die Zugspannungen rechtwinklig zur Faserrichtung ihren Maximalwert erreichen, zu ermitteln. Von diesem Punkt aus müssen die Vertikalspannungen entlang eines horizontalen Pfades $y = \text{konst.}$ parallel zu Trägerachse und Faserrichtung integriert werden, wobei die Integrationslänge so groß zu wählen ist, bis entweder die Querspannungen, σ_y , null sind oder wieder anzusteigen beginnen. Für die skizzierte Vorgehensweise wurde ein Skript für Abaqus 6.14 programmiert, um die Berechnung der benötigten Querkzugkräfte in effizienter Weise durchführen zu können.

4 Einfluss von zwei Durchbrüchen

4.1 Beschreibung des FE-Modells

Um den Einfluss mehrerer Durchbrüche, im Speziellen von zwei nebeneinander liegenden runden Durchbrüchen, zu untersuchen, wurde ein parametrisches, zwei-dimensionales FE-Modell unter Verwendung der Software Abaqus 6.14 entwickelt. Dieses Modell besteht aus 2D 8-knotigen, quadratischen Elementen und berücksichtigt keine geometrischen Nichtlinearitäten. Ein Skizze des parametrischen Modells ist in Abb. 3 gezeigt.

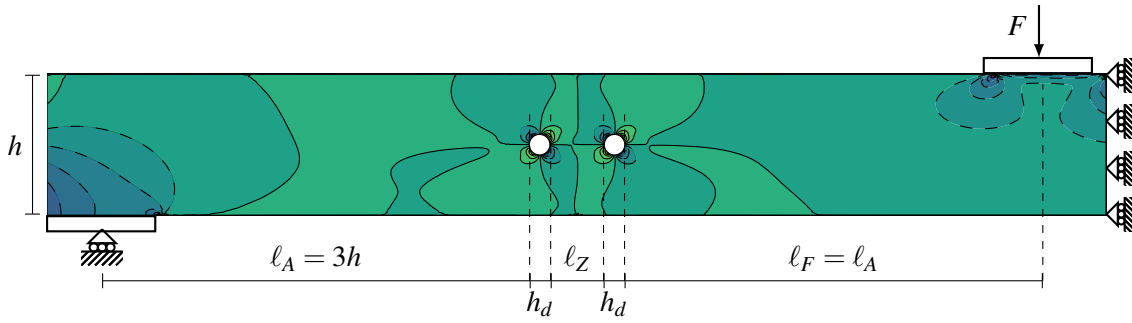


Abb. 3: Randbedingungen und Abmessungen des verwendeten FE-Modells für parametrische Berechnung an zwei nebeneinander liegenden Durchbrüchen. Zusätzlich wird die Spannungsverteilung in vertikaler Richtung für die relative Lochgröße $h_d/h = 0,15$ und Abstand $\ell_Z/h = 0,38$ gezeigt.

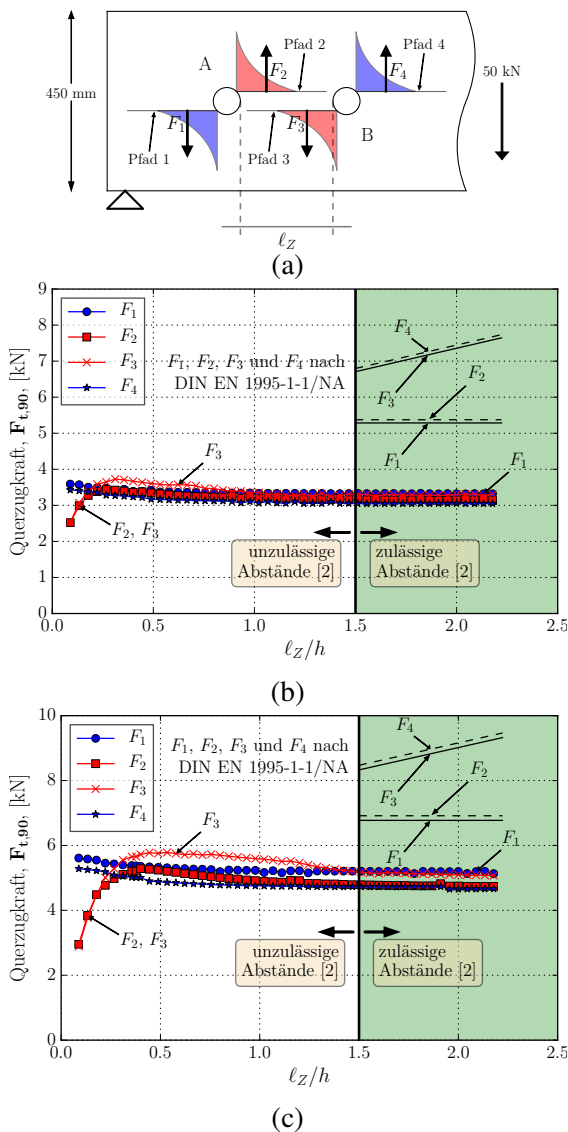


Abb. 4: Verlauf der Querkzugkräfte im Bereich einer Zwillingsslochanordnung in Abhängigkeit vom Zwischenlochanstand $\ell_Z = 0,9h$ bis $2,2h$ (a) Schematische Verteilung und Kräftebezeichnung (b) $h_d/h = 0,1$ und (c) $h_d/h = 0,15$

Für die Berechnungen wurde ein Verhältnis von Durchbruchhöhe (=Durchmesser) zu Trägerhöhe $h_d/h = 0,15$ gewählt, da dieses Lochgrößverhältnis die maximal erlaubte Größe für unverstärkte Durchbrüche repräsentiert. Der Abstand ℓ_Z zwischen beiden Löchern wurde von 40 mm bis 1000 mm in Schritten von 20 mm variiert, um eine genaue Veränderung der Querkzugkräfte abbilden zu können. Für alle Schritte wurde eine konstante Last $F = V = 50 \text{ kN}$ verwendet und der Abstand ℓ_A zwischen dem Massenmittelpunkt des Auflagers und dem linken Rand des ersten Durchbruches betrug das dreifache der Höhe ($\ell_A = 3h = 3 \cdot 450 \text{ mm}$).

4.2 Ergebnisse der parametrischen Analyse

Die Ergebnisse zu den Querkzugkräften F_1 und F_2 (linker auflagnaher Durchbruch, vgl. Abb. 4a) bzw. F_3 und F_4 (rechter auflagerferner Durchbruch mit durchweg größerem M/V -Verhältnis, vgl. Abb. 4a) sind in den Abb. 4b,c für die zwei betrachteten relativen Durchbruchsrößen $h_d/h = 0,1$ und $0,15$ gezeigt. Mitangegeben sind auch die analytisch mittels der Gl. (1)–(4) gemäß DIN EN 1995-1-1/NA [2] berechneten Querkzugkräfte. Diese sind hierbei ausschließlich für den nach [2] zulässigen Abstandsreich $\ell_Z \geq 1,5h$ angegeben. Die folgende Diskussion der Ergebnisse erfolgt quantitativ ausschliesslich für das Lochgrößenverhältnis $h_d/h = 0,15$. Die Aussagen gelten sodann sinngemäß auch für das Verhältnis $h_d/h = 0,1$ respektive für den gesamten Bereich $h_d/h \leq 0,15$. Die folgenden Sachverhalte sind festzustellen:

1. bei sehr kleinen lichten Lochabständen $\ell_Z/h \leq 0,4$ nehmen die Querkzugkräfte F_2 und F_3 zunehmend sehr deutlich ab. Bei $\ell_Z/h \approx 0,1$ betragen die Querkzugkräfte $F_{2,3}$ nur noch rd. 50 % ihrer Maximalwerte bei $\ell_Z/h \approx 0,4$.
2. Oberhalb des Lochabstandes $\ell_Z/h \approx 0,4$ nehmen die Kräfte F_2 und F_3 kontinuierlich zu ihren geringfügig (12 %) bzw. unwesentlich (14 %) kleineren Endwerten hin ab.
3. Die Querkzugkräfte F_1 und F_4 am linken und rechten Rand der Zwillingslochgruppe weisen im Gegensatz zu den Kräften F_2 und F_3 ihre jeweiligen Maximalwerte bei einem sehr kleinen Lochabstand von $\ell_Z \approx 0,1h$ auf und fallen sodann monoton auf ihren jeweiligen Konstantwert ab, der bei $\ell_Z \approx 0,5h$ beginnt. Die Höchstwerte liegen rd. 15 % über den asymptotischen Endwerten ($\ell_Z \approx 0,5h$).
4. Betrachtet man die Kräfteverläufe im Hinblick auf unproblematisch verringerbare Lochabstände, so gilt, dass alle Kräfte (F_1, F_2, F_4) mit Ausnahme von F_3 bis zu einem Abstand von $\ell_Z/h \approx 1$ nahezu unverändert ihre asymptotischen Endwerte aufweisen, d.h., die gleichen Werte wie im bislang zulässigen Abstandsbereich $\ell_Z \geq 1,5h$. Die Kraft F_3 liegt bei $\ell_Z = h$ ca. 10 % oberhalb des Endwertes. Bei der kleineren relativen Durchbruchgröße von $h_d/h = 0,1$ beginnt der Bereich weitestgehend konstanter Querkzugkräfte bereits bei $\ell_Z \approx 0,75h$ (vgl. Abb. 4b).
5. Vergleicht man die FE-berechneten Werte der Querkzugkräfte mit den Werten, die sich gemäß DIN EN 1995-1-1/NA [2] ergeben, so sind deutliche Unterschiede festzustellen. Die Querkzugkräfte nach [2] liegen im heute zulässigen Abstandsbereich $\ell_Z/h \geq 1,5h$ und so dann auch im Bereich $1 \geq \ell_Z/h \geq 1,5$ erheblich oberhalb der FE-berechneten Werte. Die Unterschiede betragen für $\ell_Z/h = 1,5$ im Falle der Kräfte $F_{1,2}$ rd. 30 % und bei den Kräften $F_{3,4}$ rd. 61 %. Wesentlich ursächlich für die deutlich zu konservative Ermittlung der Querkzugkräfte nach [2] ist die nicht korrekte Gl. (3), die den Einfluss des Biegemoments auf die gesamte Querkzugkraft repräsentiert. Dieser Sachverhalt wurde unter anderem in [6, 12] thematisiert und bedarf einer Korrektur in einer zukünftigen Normänderung. Ein Vorschlag hierzu wird an anderer Stelle unterbreitet.

In diesem Sinne gilt, dass die für den Auflager-Lochabstand $\ell_A = 3h$ des Loches A bzw. für den Auflager-Lochabstand $\ell_A = 3h + h_d + \ell_Z$ des Loches B normativ ermittelten Querkzugkräfte F_1 – F_4 eine deutlich höhere Abweichung von den FE-berechneten „korrekten“ Werten aufweisen als z.B. im Falle des minimal zulässigen Auflagerabstandes $\ell_A = h$ bzw. $\ell_A = h + h_d + \ell_Z$ (Loch B), da hier der Momentenanteil naheliegendermaßen wesentlich geringer ausfällt. Die normativ ermittelten Kräfte F_{1-4} liegen jedoch auch bei dem geringst zulässigen Auflagerabstand $\ell_A = h$ immer noch auf der sicheren Seite.

6. Ein weiterer interessanter Unterschied zwischen der normativen Ermittlung der Querkzugkräfte F_1 – F_4 im Vergleich zu den FE-Ergebnissen besteht darin, dass die Querkzugkräfte in der oberen Hälfte der Trägerquerschnittshöhe, F_2 und F_4 , nach [2] lochgrößenabhängig immer größer sind als die Kräfte F_1 und F_3 in der biegezugseitigen Trägerhälfte, während es sich zufolge den FE-Berechnungen genau umgekehrt verhält. Bei erster intuitiver Analyse des Sachverhalts erscheinen die Verhältnisse nach [2] plausibler, da im oberen Bereich der Trägerquerschnittshöhe, d.h. bei den Kräften F_2 und F_4 , immer ein höherer Momentenanteil vorliegt, was zu einer tendenziell lochgrößenabhängig größeren Querkzugkraft führen sollte.

Diese Überlegung gilt jedoch nur vordergründig. Hierzu wird zunächst auf die Abb. 2a und 2b und die Abschnitte 3.1 und 3.2 verwiesen. Bedingt durch den vergleichsweise kleinen Winkel $\varphi \approx 30^\circ$, bei dem im Falle reiner Momentenbeanspruchung das Querspannungsmaximum und die Querspannungshöchstkräfte auftreten, verringern bzw. erhöhen sich die Winkel φ_1 und φ_2 bei kombinierter M/V -Beanspruchung mit zunehmendem Moment. Ein kleinerer Winkel φ_4 bedeutet sodann jedoch auch, dass das Integral der umzulenkenen Schubspannungen und damit die Querspannungskraft $F_{t,90} = F_{t,90,4}$ im oberen Trägerbereich kleiner und im Gegensatz dazu $F_{t,90} = F_{t,90,1}$ im unteren Trägerbereich größer wird.

Dieser Sachverhalt wird in Abb. 5 am Beispiel einer Zwillingslochgruppe gezeigt. Zwecks einer verbesserten grafischen Darstellung wurde in Abb. 5 ein größeres Lochverhältnis $h_d/h = 0,3$ sowie ein Lochabstand von $\ell_Z = 0,38h$ gewählt. Qualitativ gilt der gezeigte Zusammenhang jedoch auch für kleinere Lochverhältnisse. In Abb. 5 sind neben den Querspannungs-Isolinien auch die Winkel φ_i eingezeichnet, an denen die Spannungshöchstwerte auftreten und hiervon ausgehend die horizontalen Pfade $y = \text{konst.}$, längs derer die Spannungen zur Bestimmung der Querspannungskräfte F_i integriert werden. Die Querspannungskräfte müssen aus Gleichgewichtsgründen (ohne Berücksichtigung des Momentenanteils) den integrierten Schubspannungen der parabolischen Schubspannungsverteilung im ungestörten Bereich unterhalb bzw. oberhalb der $y = \text{konst.}$ Linien entsprechen.

In Abb. 5 sind zur Veranschaulichung die Schubspannungsintegrale, die $F_{t,90,1}$ und $F_{t,90,4}$ zugeordnet sind, als farblich gekennzeichnete Flächen kenntlich gemacht und veranschaulichen den Sachverhalt $F_{t,90,1} > F_{t,90,4}$.

7. Im Hinblick auf die aus den noch andauernden Untersuchungen ableitbaren Verringerungen der lichten Abstände von runden unbewehrten (und bewehrten) Durchbrüchen ist des Weiteren anzumerken, dass sich die Biege- und Schubspannungen, die in der Lochmitte des Loches B mit höherer Momentenbeanspruchung nachzuweisen sind, bei Verringerungen des Lochabstands bis zu $\ell_Z = h$ nicht ändern und sich mit den elementaren Beziehungen der Balkenbiegetheorie für die extremalen Biegerandspannungen exakt nachweisen lassen. (Anmerkung: Die bei kleinen Löchern $\ell_Z/h \leq 0,4$ nicht bemessungsrelevanten Biegespannungserhöhungen an den Lochrändern sind hiervon ausgenommen).

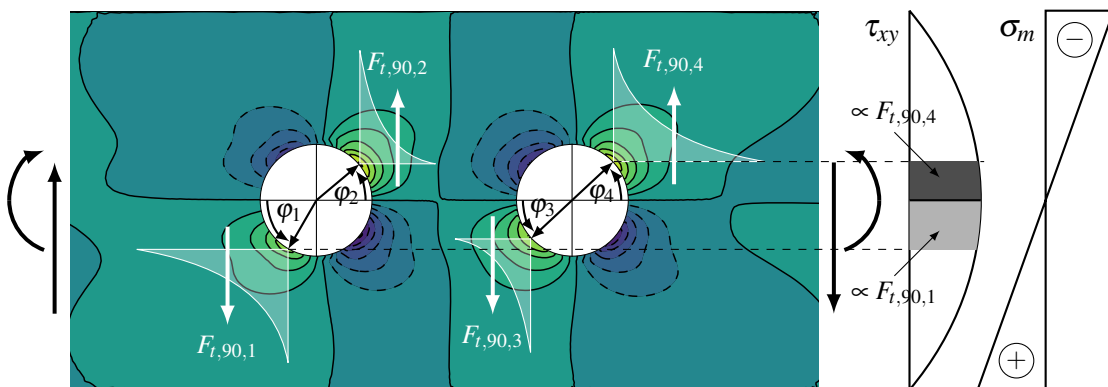


Abb. 5: Zugspannungsverteilung rechtwinklig zur Achs- und Fasserrichtung in der Umgebung zweier nebeneinanderliegender Durchbrüche. Die Winkel φ_i ($i = 1, 2, 3$ und 4) bezeichnen die längs des Lochrandes extremalen Querspannungen.

5 Diskussion und Schlussfolgerung

Die heutigen Regelungen zu Mindestabständen verstärkter und unverstärkter Durchbrüche nach DIN EN 1995-1-1/NA [2] scheinen nach ersten Studien [13] zu restriktiv zu sein. Die hier vorgestellten FE-Berechnungen zu Spannungsverteilungen und den hieraus ermittelten bemessungsrelevanten Querkugkräften zeigen, dass verringerte Abstände zwischen zwei benachbarten runden unbewehrten Löchern im Vergleich zu der Mindestabstandsregelung in [2] rechnerisch eindeutig möglich sind. Bei relativen Lochgrößen $h_d/h \leq 0,15$ könnte der heutige Mindestabstand von $\ell_Z = 1,5h$ ohne geänderte Nachweisführung auf $\ell_Z = 1h$ reduziert werden. Bei Lochgrößen h_d/h im Bereich $0,1h$ bis $0,15h$ könnte ebenfalls unproblematisch eine Abstandsverringerung auf $\ell_Z = 1h$ vorgenommen werden, wobei sodann die biegezugseitige Querkugkraft $F_{t,90}$ am auflagnahen Rand des weiter vom Auflager entfernten Zwillingsloches um 10 % erhöht werden sollte.

Die genannten Vorschläge gelten generell vor dem Hintergrund einer korrekten Bestimmung der Querkugkräfte. Diesbezüglich ist anzumerken, dass die heutigen Querkugkraft-Bestimmungsgleichungen des NA [2] insbesondere hinsichtlich der Berücksichtigung des Momentenanteils der Querkugkraft zu ungenau sind und abhängig vom Verhältnis der Schnittgrößen Moment-/Querkraft überwiegend deutlich zu konservative Ergebnisse liefern.

Literatur

- [1] DIN EN 1995-1-1: *Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 1-1 mit NA (2013): Allgemeines- Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau*. DIN-Deutsches Institut für Normung e.V., 2010
- [2] DIN EN 1995-1-1/NA: *Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau*. DIN-Deutsches Institut für Normung e.V., 2013
- [3] DIN 1052: *Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken – Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau*. DIN-Deutsches Institut für Normung e.V., 2008
- [4] FRECH, P. ; KOLB, H.: Untersuchungen an durchbrochenen Bindern aus Brettschichtholz. In: *Forschungsvorhaben Schlussbericht H 30721 – Forschungs- und Materialprüfungsanstalt Baden-Württemberg, Otto-Graf-Institut, Universität Stuttgart* (1974)
- [5] KOLB, H. ; EPPLE, A.: Verstärkung von durchbrochenen Brettschichtholzbindern. In: *Schlussbericht Forschungsvorhaben I.4 – 34810, Forschungs- und Materialprüfungsanstalt Baden-Württemberg, Otto-Graf-Institut, Universität Stuttgart* (1985)
- [6] HÖFFLIN, Lilian: *Runde Durchbrüche in Brettschichtholzträgern – Experimentelle und theoretische Untersuchungen*, Materialprüfungsanstalt Universität Stuttgart (Otto-Graf-Institut), Schriftenreihe Heft 90, Universität Stuttgart, Dissertation, 2005
- [7] AICHER, Simon ; HÖFFLIN, Lilian: Tragfähigkeit und Bemessung von Brettschichtholzträgern mit runden Durchbrüchen – Sicherheitsrelevante Modifikationen der Bemessungsverfahren nach Eurocode 5 und DIN 1052 / MPA Universität Stuttgart. 2006. – Forschungsbericht

- [8] AICHER, Simon ; HÖFFLIN, Lilian ; REINHARDT, Hans-Wolf: Runde Durchbrüche in Biegeträgern aus Brettschichtholz. Teil 2: Tragfähigkeit und Bemessung. In: *Bautechnik* 84 (2007), Dezember, Nr. 12, S. 867–880
- [9] AICHER, Simon ; HÖFFLIN, Lilian: Runde Durchbrüche in Biegeträgern aus Brettschichtholz. Teil 1: Berechnung. In: *Bautechnik* 78 (2001), Oktober, Nr. 10, S. 706–715
- [10] AICHER, Simon ; HÖFFLIN, Lilian: A contribution to the analysis of glulam beams with round holes. In: *Otto Graf Journal* 11 (2000), S. 167–180
- [11] AICHER, Simon ; TAPIA, Cristóbal: Glulam with laterally reinforced rectangular holes. In: *World Conference on Timber Engineering*, 2012
- [12] TAPIA, Cristóbal: *Internal and external reinforcements for holes in glued laminated beams*. Beauchef 850, Santiago, Universidad de Chile, Santiago, Chile, Thesis, April 2015
- [13] TAPIA, Cristóbal ; AICHER, Simon: Mehrfach-Durchbrüche in Brettschichtholz. In: *3. Stuttgarter Holzbau-Symposium – Neuste Entwicklungen bei geklebten Holzbauteilen*. Pfaffenwaldring 4B, 70569 Stuttgart, Oktober 2015, S. 131–141