



DIBt-Forschungsvorhaben ZP 52-5-13.161-1092/04

**„Tragfähigkeit und Bemessung von Brettschichtholzträgern mit runden Durchbrüchen“
- Sicherheitsrelevante Modifikation der Bemessungsverfahren nach Eurocode 5 und
DIN 1052 -**

Kurztitel: Bemessung von BSH-Trägern mit Durchbrüchen

Hier: Allgemein verständliche Zusammenfassung mit Wertung für die praktische Anwendung

Ausgangslage

Die Bemessung von Durchbrüchen in Biegeträgern aus Brettschichtholz (BSH) wurde/wird in den deutschen und europäischen Normen bzw. Normentwürfen sehr unterschiedlich gehandhabt. Die noch gültige „alte“ deutsche Holzbaunorm DIN 1052:1988 bemisst durchbrochene Träger sehr restriktiv und begrenzt im wesentlichen die geometrischen Abmessungen. Zuzufolge dieser Norm ist nahezu jeder Durchbruch mit baupraktischer Abmessung zu verstärken. Die europäisch/deutsche Norm DIN EN 1995-1-1:1994 enthält keine Bemessungsvorgaben für Durchbrüche. Die „neue“ deutsche Holzbaunorm DIN 1052:2004 und der Normentwurf prEN 1995-1-1:2003 enthalten Bemessungen für Durchbrüche, die auf grundlegend unterschiedlichen Trag-/Schädigungsmodellen beruhen. Während DIN 1052:2004 ein klassischer Festigkeitsansatz zugrunde liegt, basiert die Bemessung des genannten, letztlich nicht umgesetzten europäischen Normentwurfs auf einem bruchmechanischen Versagensmodell. Die beiden Bemessungsansätze unterscheiden sich wesentlich hinsichtlich der Berücksichtigung wichtiger Einflussparameter wie beispielsweise der Bauteilgröße und der Beanspruchungsart. Demzufolge zeigen Vergleichsrechnungen mit beiden Bemessungsansätzen für unterschiedliche Trägergrößen-, Durchbruchs- und Belastungskonfigurationen zum Teil erhebliche Unterschiede der rechnerischen charakteristischen Tragfähigkeiten, die für den europäischen Bemessungsvorschlag nahezu durchweg deutlich am höchsten liegen. Dieser Sachverhalt führte in Verbindung mit einer großen Diskrepanz gegenüber experimentellen Ergebnissen, die in Vorversuchen zum berichteten Forschungsvorhaben erhalten wurden, dazu, daß die in prEN 1995-1-1:2003 enthaltene Durchbruchsbemessung aus der Schlußfassung des europäischen Normentwurfs gestrichen wurde, womit die verabschiedete Fassung des Eurocode 5 (EN1995-1-1:2004), nunmehr gleichermaßen wie die europäische Vornorm DIN EN 1995-1-1:1994 keine Bemessung für Durchbrüche beinhaltet.

Die Problemstellung von Durchbrüchen in BSH-Trägern mit planmäßiger Querkzugbeanspruchung, z.B. in gekrümmten Trägern, wird in den genannten Normenwerken ebenfalls sehr unterschiedlich behandelt. Nach DIN 1052:2004 sind Durchbrüche in Trägern mit planmäßig vorliegender Querkzugbeanspruchung unabhängig vom jeweilig vorherrschenden Querkzugspannungsniveau zu verstärken, während nach prEN 1995-1-1:2003 eine genauere, jedoch nicht spezifizierte Berechnung vorzunehmen ist. Dieser Sachverhalt wirft für

die Praxis bei stark überhöhten bzw. schwach gekrümmten Trägern erhebliche Unsicherheiten bezüglich der erforderlichen Vorgehensweise bei beabsichtigten Nachweisen auf.

Für die Bewertung und Kalibrierung eines Bemessungsansatzes sind bei komplexeren mechanischen Problemstellungen in Verbindung mit stark streuenden Materialeigenschaften generell Versuchsdaten erforderlich, die das in der Praxis vorkommende Spektrum der Einflußparameter hinreichend abdecken. Die in der Literatur veröffentlichten Versuche an durchbrochenen Biegeträgern aus Brettschichtholz lassen sich aus mehreren Gründen nur sehr unzureichend für eine Kalibrierung verwenden. Zum einen liegt jeweils nur eine sehr geringe Versuchsanzahl je geprüfter Versuchskonfiguration (ein bis zwei Versuche) vor und zum anderen decken die geprüften Konfigurationen nur eine sehr kleine Bandbreite der möglichen Trägergrößen-, Durchbruchs- und Belastungskonfigurationen ab.

Die genannten erheblichen Unterschiede und Unstimmigkeiten in den heute bestehenden normativen Regelungen und deren deutlich unzureichende experimentelle Absicherung waren die Ansatzpunkte für die Beantragung des berichteten Forschungsvorhabens, das zwei wesentliche Ziele hatte:

Das erste Ziel bestand darin, eine konsistente Datenbasis von Bauteilversuchsergebnissen zu schaffen, welche eine zuverlässige Kalibrierung eines Bemessungsmodells ermöglicht. Das zweite Ziel bestand darin, ein verbessertes für die Praxis geeignetes Bemessungskonzept für gerade/gekrümmte BSH-Träger mit einzelnen runden Löchern zu entwickeln, welches die teilweise methodisch bedingten Defizite der heutigen Bemessungsverfahren überwindet.

Experimentelle Untersuchungen

Die experimentellen Untersuchungen umfassten insgesamt 68 Biegeträger aus Brettschichtholz mit symmetrisch zur Trägerachse angeordneten runden Durchbrüchen. Alle Brettschichtholzträger waren homogen aus maschinell sortierten Fichtenholzlamellen der Sortierklasse MS13 bzw. C35M nach DIN 4074-1 aufgebaut und entsprachen damit nominell der BSH-Festigkeitsklasse BS16 bzw. GL 32h. Die Querschnittsbreite betrug konstant $b = 120$ mm. Die Holzfeuchte der Träger betrug zum Zeitpunkt der Prüfung im Mittel 10,9 %.

Zum Erhalt einer möglichst repräsentativen Stichprobe der eingesetzten BSH-Festigkeitsklasse wurden die Versuchsträger von sechs verschiedenen Brettschichtholzfirmen bezogen. Mit Ausnahme der Versuche an den gekrümmten Trägern wurden innerhalb jeder Versuchsserie Bauteile von 2-4 unterschiedlichen Herstellern eingesetzt.

In 13 verschiedenen Testserien wurden systematisch die folgenden vier Parameter variiert:

- Trägerhöhe: Es wurden zwei verschiedene Trägerhöhen $h = 450$ mm und $h = 900$ mm untersucht, um den Größeneinfluss zu bestimmen.
- Relative Durchbruchgröße: Es wurden drei verschiedene relative Durchbruchgrößen $d/h = 0,2$, $0,3$ und $0,4$ ($d =$ Durchbruchdurchmesser) untersucht.

- Beanspruchungsart (= Schnittkraftverhältnis M/V am Durchbruch): Es wurden zwei verschiedene Beanspruchungsarten $M/V = 1,5$ h und $M/V = 5$ h untersucht.
- Trägerform: Es wurden zwei verschiedene Trägerformen - gerade ($h/r_m = 0$) und gekrümmt ($h/r_m = 0,03$) untersucht (r_m = mittlerer Krümmungsradius).

Die Versuche wurden in einer beheizten nicht klimatisierten Prüfhalle durchgeführt. Die Prüfungen erfolgten verformungsgesteuert mit konstanter Prüfgeschwindigkeit in einem servohydraulischen Mehrzylinder-Prüfstand. Die Zeit bis zum Erreichen der Höchstlast betrug im Mittel 350 Sekunden. Bei allen Trägern wurde die Durchbiegung in der Mitte der Stützweite gemessen. Bei mehreren Trägern erfolgten darüberhinaus Verschiebungs- und Dehnungsmessungen im Durchbruchsbereich. Im Unterschied zu früheren literaturbekannten experimentellen Untersuchungen an durchbrochenen Biegeträgern wurde durchweg auch die Schädigungsentwicklung vom ersten (Mikro-) Anriß am Durchbruch über den makroskopischen Rissfortschritt bis zum endgültigen globalen Versagen aufgenommen. Hierauf aufbauend wurden kennzeichnende Lasten, d. h. Anriss-, Durchriss- und Höchstlasten festgelegt.

Im folgenden werden die wichtigsten Versuchsergebnisse aufgeführt. Bei insgesamt 10 Trägern erfolgte ein kombiniertes Durchbruchs/Biegebruchversagen oder ein reines unplanmäßiges Biegeversagen. Die Höchstlasten dieser Träger wurden in den weiteren Versuchsauswertungen nicht berücksichtigt. In die statischen Auswertungen der Höchstlasten und der Höchstlast-Durchrißlastverhältnisse wurden nur die Träger mit reinem Durchbruchsversagen, d. h. diejenigen Träger bei denen das Versagen durch eine vom Durchbruch ausgehende Schädigungsentwicklung bestimmt wurde, einbezogen.

Bei der überwiegenden Mehrheit der Träger ließ sich eine deutlich abgrenzbare, stufenweise Schädigungsentwicklung feststellen. Der erste Anriss (= Anrisslast) erfolgte immer an der Durchbruchsberandung im Inneren der Querschnittsbreite b in der Nähe der Querschnittsmitte. Die Lage des Anrisses im mittleren Bereich der Querschnittsbreite und nicht etwa in den Randbereichen der Querschnittsbreite resultiert aus der zylindrischen Steifigkeits- und Festigkeitsanisotropie und steht in Übereinstimmung mit Berechnungsergebnissen. Der Anriss breitete sich anschließend, bei sehr geringem Rißfortschritt in Trägerlängsrichtung, in der Querschnittsebene zu den Rändern der Querschnittsbreite ($\pm b/2$) hin aus. Nach vollständigem Querschnittsdurchriss (= Durchrisslast) setzte sodann überwiegend, bei rd. 70% der Träger mit Durchbruchsversagen, stabiler Rissfortschritt in Trägerlängsrichtung ein. Endgültiges globales Versagen des Trägers (= Höchstlast) trat ein, sobald sich der Riss ab einer bestimmten Risslänge, sodann instabil verlaufend, bis zum Auflager fortpflanzte. Bei rd. 30% der Träger mit Durchbruchsversagen fiel die Durchrisslast mit der Höchstlast zusammen, d.h. unmittelbar an den Querschnittsdurchriss trat instabile Rissverlängerung bis zum Auflager und damit Versagen des Trägers auf.

Die Geschwindigkeit des Rifortschritts in Trägerlängsrichtung nach dem Querschnittsdurchri hängt weitestgehend von den Eigenschaften derjenigen BSH-Lamelle ab, in der der Anriß auftritt. Bei einer Lamelle mit Ringschle oder anderweitig schwacher Frühholz-Sptholzbindung und dementsprechend niedrigen Mode I und II-Bruchzähigkeiten erfolgt das Weiterreien sehr schnell entweder unmittelbar nach dem Querschnittsdurchri oder bei nur geringfügig erhöhten Lasten. Bei Lamellen mit guter Frühholz-Sptholzbindung und/oder einer „Armierung“ der Lamelle durch rechtwinklig zur Riausbreitungsrichtung angeordneten Ästen kann es zu ausgeprägtem auch mehrfachem Riarrest-Verhalten kommen, welches nur durch kurzfristige Lasterhöhung oder mittel/langfristiges Kriechriwachstum überwunden wird.

Der Beginn der Schädigung, d.h. die Anrisslast liegt wesentlich unter den Durchriss- und Höchstlasten und ist in der globalen Last-Verschiebungskurve weder durch einen geringfügigen Lasteinbruch noch durch eine verringerte Steifigkeit gekennzeichnet. Im Mittel aller Prüfkörper lag die Anrisslast bei rd. 70% des Durchrisslastniveaus und bei 59% des Hchstlastniveaus. Die extrem variierenden Verhältnisse von Durchriss- zu Höchstlasten lagen im Mittel (\pm Standardabweichung) aller 58 Träger mit reinem Durchbruchsversagen bei $0,86 \pm 0,14$. Bei 11 der 13 Testserien mit teilweise sehr unterschiedlichen Prfkonfigurationen und Bauteilgrößen gab es mindestens einen, häufig mehrere Prüfkörper bei dem/denen das Verhältnis von Durchriss- zu Höchstlast $\geq 0,95$ war. Bei rd. 50% aller Träger mit Durchbruchsversagen entsprach das Verhältnis von Durchriss- zu Höchstlast einem Wert von $\geq 0,9$. Bei der anderen Hälfte der Prüfkörper mit Durchbruchsversagen lag teilweise ein sehr großer Unterschied zwischen Durchriss- und Höchstlast vor; hierbei betrug das Verhältnis von Durchriss- zu Höchstlast im Mittel (\pm Standardabweichung) $0,75 \pm 0,11$. Die niedrigsten Durchriss- zu Hchstlastverhltnisse betragen rd. 0,5.

Das wesentlichste Ergebnis der experimentellen Untersuchungen besteht in der Bestätigung und quantitativen Eingrenzung des vermuteten erheblichen Einflusses der Bauteilgröße auf die Tragfähigkeit bei geometrischer Ähnlichkeit (Mastabeffekt). Die Tragfähigkeiten der hohen Träger ($h = 900$ mm) betragen bei Betrachtung der Durchrilasten bzw. der Höchstlasten im Mittel lediglich das 1,31- bzw. 1,54fache der Tragfähigkeiten der um den Faktor 2 niedrigeren Träger ($h = 450$ mm). Die Durchri- und Höchstlasten nehmen mit zunehmender Durchbruchgre (d/h -Verhältnis) deutlich ab; die erhaltenen Tragfhigkeitsabnahmen waren bei den Durchri- und Höchstlasten gut vergleichbar. Ein zunehmendes Schnittgrößenverhältnis M/V führt zu einer nachweislichen Tragfhigkeitsminderung. Wesentlich ist, daß bereits sehr geringe Trgerkrmmungen signifikante Verringerungen der Tragfähigkeit gegenüber geraden Trägern ergeben.

Bemessungsansatz

Als maßgebliche Spannungskomponente und als ausschlaggebender tragfhigkeitsbestimmender Materialwiderstand für die Bemessung von runden Durchbrüchen in Brettschichtholzträgern wurde, übereinstimmend mit DIN 1052:2004, die Zugspannung respektive die Zugfestigkeit rechtwinklig zur Faserrichtung identifiziert. Der Interaktionsanteil der überlagerten Schub- und Biegespannungen ist vernachlässigbar; dies ist un-

abhängig von der Wahl unterschiedlicher literaturbekannter Interaktionsgleichungen für Holz. In dem Forschungsvorhaben wurde sodann ein neuer Bemessungsansatz erarbeitet, der sich auf die probabilistische Festigkeitsbetrachtung nach Weibull für stochastisch defektbehaftete, sprödebrüchige Materialien stützt. Die Weibull-Theorie ist nachweislich gut geeignet, die Versagenswahrscheinlichkeit zufolge inhomogener Spannungsverteilungen in unterschiedlichen Bauteilgrößen zu beschreiben. Das Weibull-Materialmodell wird international seit langem und neuerdings auch in der DIN 1052:2004 auf solche Holzbau-Bemessungsprobleme angewandt, bei denen Zugspannungen respektive die Zugfestigkeit rechtwinklig zur Faserrichtung tragfähigkeitsbestimmend sind. So erfolgt bisher insbesondere der Nachweis der aus Umlenkkraften in gekrümmten und satteldachförmigen Brettschichtholzträgern resultierenden Zugspannungen rechtwinklig zur Faserrichtung auf Basis der Weibull-Theorie. Die in der vorliegenden Arbeit umgesetzte Anwendung der Weibull-Theorie auf das Bemessungsproblem der Zugspannungen rechtwinklig zur Faserrichtung in der Durchbruchperipherie stellt letztlich die konsequente Ausweitung einer für den Nachweis von Zugspannungen rechtwinklig zur Faserrichtung für den Holzbau insgesamt als geeignet erkannten Theorie dar. In diesem Sinn ermöglicht der neue Bemessungsansatz zum Beispiel auch die völlig unproblematische Behandlung von Durchbrüchen in (schwach) gekrümmten BSH-Trägern mit planmäßiger „Querzug“-Beanspruchung.

Die entwickelte Bemessungsgleichung

$$\sigma_{t,90,d} \leq k_{dis} \cdot k_{size} \cdot f_{t,90,d} \cdot \{c_{kalib}\}$$

entspricht bezüglich des Formats vollständig, ausgenommen des Kalibrierfaktors c_{kalib} (siehe nachfolgend), den Bemessungsgleichungen der DIN 1052:2004 und des EC 5 betreffend die „Querzugbemessung“ von gekrümmten und satteldachförmigen Trägern. In der vorstehenden Gleichung repräsentieren $\sigma_{t,90,d}$ und $f_{t,90,d}$ die Bemessungswerte der Zugspannung respektive der Zugfestigkeit rechtwinklig zur Faserrichtung. Der Faktor k_{size} bildet den Größeneinfluss bei fiktiv gleichförmiger Spannungsverteilung ab und der sogenannte Volligkeitsbeiwert k_{dis} berücksichtigt die ungleichförmige Spannungsverteilung an der Lochberandung in Abhängigkeit vom Verhältnis der Bemessungswerte des Biegemoments und der Querkraft, M_d bzw. V_d , am Lochmittelpunkt sowie von der bezogenen Trägerkrümmung h/r_m .

Für den Bemessungswert der Zugspannung rechtwinklig zur Faserrichtung, hier gewählt als Spannungshöchstwert an der Durchbruchperipherie, wurden auf der Grundlage von Finite-Element-Parameteruntersuchungen einfache analytische Beziehungen in Abhängigkeit vom Schnittgrößenverhältnis M_d/V_d , dem Durchbruchverhältnis d/h und vom bezogenen Krümmungsmaß h/r_m hergeleitet. Es wurde auch gezeigt, daß der Bemessungswert der Zugspannung rechtwinklig zur Faserrichtung an der Durchbruchperipherie eines gekrümmten Trägers nicht ausreichend durch eine einfache Superposition der Spannungen eines durchbrochenen geraden und eines undurchbrochenen gekrümmten Trägers folgt.

Der Größeneinfluss wurde übereinstimmend mit den „Querzug“-Bemessungsregeln des Eurocode 5 und abweichend von DIN 1052:2004 als Volumenfaktor

$$k_{\text{size}} = k_{\text{vol}} = (V_0 / V)^{0,2}$$

berücksichtigt. Die gewählte Vorgehensweise ist vor dem Hintergrund der mehrachsig zu berücksichtigenden Defektverteilung mechanisch plausibler als das in DIN 1052:2004 verwendete reine „Höhen“-Modell für die „Querzug“-Bemessung. Das Bezugsvolumen V_0 entspricht der europäischen Normung. Das effektive Volumen V , das in enger Verbindung mit dem Völligkeitsbeiwert k_{dis} zu sehen ist, wurde in Finite Element (FE)-Berechnungen bestimmt und mittels einer einfachen analytischen Beziehung approximiert. (Anmerkung: Eine Umrechnung des eingeführten Volumenfaktors in einen mit DIN 1052:2004 kompatiblen Höhenfaktor wäre gegebenenfalls umsetzbar). Für den Völligkeitsbeiwert k_{dis} wurden mittels Finite Element-Parameteruntersuchungen funktionale Zusammenhänge in Abhängigkeit vom Schnittgrößenverhältnis und von der bezogenen Trägerkrümmung hergeleitet.

Das entwickelte Bemessungsmodell lässt sich sehr gut mit einem einzigen skalaren Parameter, c_{kalib} , an die beiden wesentlichen, die Tragfähigkeit der BSH-Träger charakterisierenden Lasten – die Durchrisslast und die Versagenslast – anpassen. Die Anpassung des skalaren Kalibrierparameters an die Gesamtheit der Versuchsergebnisse erfolgte durch Minimierung der Fehlerquadratsumme zwischen rechnerischen und experimentellen Ergebnissen.

Kalibrierung des Bemessungsmodells

Für die Anpassung des Bemessungsmodells an die charakteristischen Werte der Querschnitts-Durchrisslasten ergibt sich der Kalibrierfaktor c_{kalib} zu 1,03. Die Übereinstimmung der rechnerischen charakteristischen Tragfähigkeit mit den Versuchsergebnissen beträgt damit im Mittel $0,98 \pm 0,14$. Die mittlere absolute Abweichung der Berechnung von den experimentellen charakteristischen Durchrisslasten der 13 Testserien beträgt 10%. Die Anpassung des Bemessungsmodells an die charakteristischen Werte der Höchstlasten ergibt einen Kalibrierfaktor von $c_{\text{kalib}} = 1,45$, wobei die Übereinstimmung mit den Versuchsergebnissen sodann im Mittel $0,99 \pm 0,10$ beträgt. Die mittlere absolute Abweichung liegt bei 8%. Mit Blick auf die Implementierung des Bemessungsansatzes im Eurocode 5 und in DIN 1052:2004 ist darauf hinzuweisen, dass sicherheitsrelevant und aus Gründen der Gebrauchstauglichkeit ausschließlich die Verwendung des an die Durchrisslasten angepassten und gegebenenfalls moderat erhöhten Kalibrierfaktors vertretbar ist. Dies lässt sich wie folgt begründen:

- Bei Verwendung des an die Höchstlasten angepassten Kalibrierfaktors zur Ermittlung der rechnerischen charakteristischen Tragfähigkeit liegen insgesamt 10 % aller Versuchsergebnisse unterhalb des Rechenwertes, was als deutlich nicht konservativ anzusehen ist.
- Die experimentell erhaltenen Verhältnisse von Durchriss- zu Höchstlasten, die im Mittel aller geprüften Bauteile 0,86 betragen, variierten extrem, wobei in rd. 30% aller Fälle die Durchrisslasten mit den durch schlagartig eintretenden Sprödbruch charakterisierten Höchstlasten übereinstimmten. In allen anderen Fällen mit mehr oder weniger deutlichem Unterschied zwischen Durchriss- und Höchstlast trat stabiler

Rissfortschritt zwischen beiden Lastniveaus auf. Die Rißlängen derjenigen Prüfkörper mit deutlichem Unterschied zwischen Durchriß- und Höchstlast betragen vor Erreichen der Höchstlast im Mittel bzw. maximal das 1,3fache bzw. 6,7fache des Durchbruchdurchmessers. Dies bedeutet das Auftreten von Rissen mit Längen bis zu mehreren Metern. Die planmäßige, im Bemessungsansatz eingeschlossene Akzeptanz von Bauteilen mit großformatigen Rißbildungen ist aus Gründen der langzeitigen Standsicherheit und im Hinblick auf die Gebrauchstauglichkeit der Bauteile in hohem Maße fragwürdig und mit Blick auf Kriechrißwachstum abzulehnen. Ungeachtet der Tatsache, dass in den durchgeführten Versuchen der stabile Rissfortschritt zwischen den Zeitpunkten der Durchrisslast und der Höchstlast durch Lasterhöhung getrieben wurde, ist keinesfalls auszuschließen, dass der Rissfortschritt nicht auch teilweise oder häufig bei konstant gehaltenem Durchrisslastniveau auftreten würde (Anmerkung: In einem orientierenden ergänzenden Bauteilversuch nach Abschluss des berichteten Forschungsvorhabens wurde der Sachverhalt des kurz/mittelfristigen Rissfortschritts bei konstant gehaltenem Durchrisslastniveau bestätigt). Es ist in diesem Zusammenhang auch darauf hinzuweisen, dass der kurz-, mittel- und langfristige Rissfortschritt ausgehend von einem Querschnittsdurchriss oder von einem weiter fortgeschrittenen Riß keinesfalls ausreichend durch die k_{mod} -Abminderungsfaktoren, die den Festigkeitseinfluss der kumulierten Lasteinwirkungsdauer und der Klimateinwirkungen erfassen, abgedeckt wird.

Vergleich der Weibull- und DIN 1052-Bemessung mit den Versuchsergebnissen

Das grundsätzlich sehr einfach an unterschiedliche charakteristische Werte der Zugfestigkeit rechtwinklig zur Faserrichtung anzupassende Weibull-basierte Bemessungsmodell liefert bei kleinen und mittleren Trägerhöhen (bis rd. 0,5 m) vergleichbare Bemessungsergebnisse wie DIN 1052:2004, die in beiden Fällen gut und konservativ mit den Versuchsergebnissen (charakteristische Werte der Durchrißlasten) übereinstimmen. So beträgt bei den Testserien mit der Querschnittshöhe $h = 450$ mm das mittlere Verhältnis der rechnerischen charakteristischen Querkrafttragfähigkeiten bezüglich der experimentellen charakteristischen Durchrisslasten im Falle der DIN 1052:2004-Bemessung $0,93 \pm 0,15$ und im Falle des Weibull-Modells $0,91 \pm 0,11$. Die charakteristischen Werte der experimentellen Höchstlasten liegen deutlich über den Ergebnissen beider Bemessungsmodelle.

Bei größeren Trägerhöhen liefert der, die Bauteilhöhe experimentell nachweislich unzutreffend linear berücksichtigende DIN 1052:2004-Bemessungsansatz, der auf einem klassischen Festigkeitskriteriums beruht, zunehmend deutlich höhere Tragfähigkeiten als das den Größeneinfluß gut abbildende Weibull-basierte Bemessungsmodell. So beträgt im Falle der experimentell untersuchten Querschnittshöhe $h = 900$ mm das mittlere Verhältnis der rechnerischen charakteristischen Querkrafttragfähigkeiten zu den experimentellen charakteristischen Durchrisslasten bei dem Weibull-Modell $1,05 \pm 0,16$ während sich nach DIN 1052:2004 ein deutlich höherer, stark streuender Verhältniswert von $1,37 \pm 0,22$ ergibt. Bei noch größeren Bauteilquerschnittshöhen von 1-2 m, die häufig mit Durchbrüchen ausgeführt werden, nehmen die aufgezeigten Unterschiede zwischen den beiden Bemessungsmodellen in der beschriebenen Tendenz erheblich zu. Da kein be-

gründeter Anhaltspunkt dafür vorliegt, daß sich der festgestellte Größeneinfluß bei Bauteilhöhen $> 0,9$ m deutlich abmindert, ist davon auszugehen, daß auch die charakteristischen Werte der Höchstlasten sodann nur noch durch das Weibull-Modell konservativ beschrieben werden und gemäß DIN 1052:2004 wesentlich überschätzt werden.

Es wird vorgeschlagen, den entwickelten, versuchsmäßig gut bestätigten Weibull-basierten Bemessungsansatz in Neufassungen bzw. Änderungen der EN 1995-1-1:2004 und der DIN 1052:2004 aufzunehmen. Der Bemessungsansatz ermöglicht auch die einfache Berücksichtigung von runden Durchbrüchen in (schwach) gekrümmten/überhöhten Brettschichholzträgern. Für die sichere Bemessung von Durchbrüchen in großen bis sehr großen Bauteilquerschnittshöhen (1-2 m) besteht mit Blick auf die erhaltenen Versuchsergebnisse und die heutige Bemessung in DIN 1052:2004 eindeutig Handlungsbedarf.