

Verformungsabhängige Querdrucktragfähigkeit von Brettschichtholz aus Nadelholz

Vortragender:

Windeck, Lukas

M.Sc.

Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Holzbau und Baukonstruktionen
Karlsruher Institut für Technologie
Lukas.Windeck@kit.edu



1990 geboren in Wiesbaden

2010 – 2016 Studium des
Bauingenieurwesens am Karlsruher
Institut für Technologie (KIT)

Seit 2016 Wissenschaftlicher
Mitarbeiter am KIT

Zusammenfassung

Der Beitrag befasst sich mit dem Querdruckverhalten von Brettschichtholz aus Nadelholz. Die Ergebnisse einer 101 Versuche umfassenden Testreihe, in der sowohl die Auflagerlänge als auch die Auflagersituation variiert wurden, werden mit den Tragfähigkeitswerten verglichen, die sich nach dem aktuell gültigen Nachweis nach EN 1995-1-1:2010 ergeben. Es wird festgestellt, dass der im Querdrucknachweis enthaltene Faktor $k_{c,90}$ entgegen der bisherigen Nachweisführung von der Art der Lastausbreitung abhängig ist. Auf dieser Basis wird ein Bemessungsansatz entwickelt und diskutiert, der eine Berechnung der Querdrucktragfähigkeit in Abhängigkeit der zulässigen Verformung ermöglicht.

1. Einleitung

Unter einer Druckbelastung quer zur Faser verhält sich Holz verglichen zur Beanspruchung in Faserrichtung duktiler. Eine deutliche Laststeigerung findet nur im linear-elastischen Bereich statt. Mit zunehmenden Verformungen verhält sich das Holz plastisch, die Last kann im praxisrelevanten Bereich unter starker Verformungszunahme nur noch geringfügig gesteigert werden. Der aktuell in DIN EN 1995-1-1:2010 [1] enthaltene Querdrucknachweis lässt nur eine Berechnung im Grenzzustand der Tragfähigkeit zu, die dabei auftretenden Verformungen sind nicht bekannt. Um dem Tragwerksplaner eine wirtschaftlichere Ausnutzung und eine auf die einzelne Belastungssituation besser zugeschnittene Bemessung zu ermöglichen, wird ein verformungsabhängiger Nachweis entwickelt, der zusätzlich eine Berechnung der Querdrucktragfähigkeit im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ermöglichen soll.

2. Der Nachweis nach EN 1995-1-1:2010 (EC5)

Der aktuell in EN 1995-1-1:2010 [1] enthaltene empirische Querdrucknachweis (Gleichung (1)) basiert auf der Arbeit von Madsen [2], die von Blaß und Görlacher [3] weiterentwickelt wurde, und geht von der Annahme aus, dass die rechnerische Auflagerlänge l in Faserrichtung erhöht werden darf (Gleichung (2)). Basis dieses Nachweises ist die Betrachtung des Querdruckversagens als ausschließlich lokales Versagen der Holzfasern im unmittelbaren Bereich der Kontaktfläche. Der Höchstwert von 30 mm, um den die tatsächliche Auflagerlänge in Faserrichtung vergrößert werden darf, geht auf die Versuche von Madsen [2] zurück und trifft für unterschiedliche Spannungsniveaus zu.

$$F_{c,90} = k_{c,90} * b * l_{ef} * f_{c,90} \quad (1)$$

$$l_{ef} = l + \min_{re} \left\{ \begin{array}{l} 30 \text{ mm} \\ a \\ l \\ l_1/2 \end{array} \right\} + \min_{li} \left\{ \begin{array}{l} 30 \text{ mm} \\ a \\ l \\ l_1/2 \end{array} \right\} \quad (2)$$

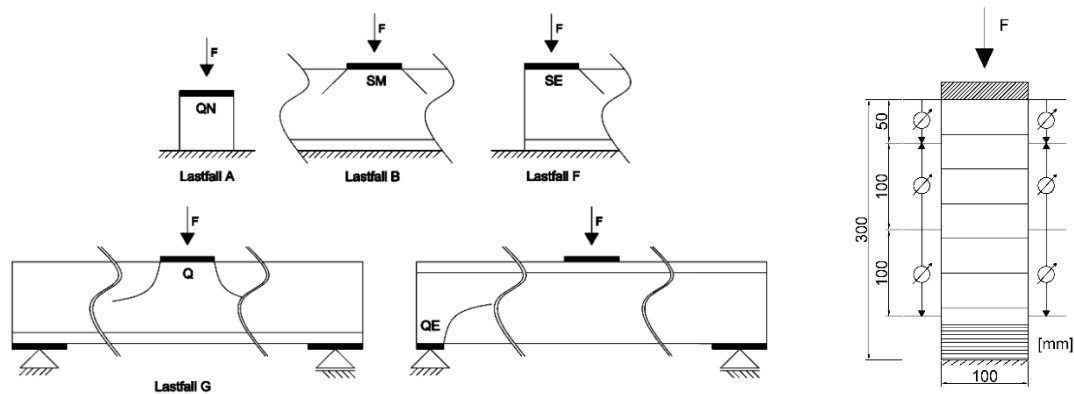
Dabei ist a ein seitlicher Überstand am Trägerende, l die Auflagerlänge und l_1 der lichte Abstand zwischen zwei Kontaktflächen. Zusätzlich darf die Tragfähigkeit in Abhängigkeit der Lagerungsart mit dem Faktor $k_{c,90}$ erhöht werden. Für Bauteile aus Brettschichtholz mit kontinuierlicher Lagerung gilt dabei ein Wert von $k_{c,90} = 1,5$ und für Bauteile mit Einzelabstützung $k_{c,90} = 1,75$ ($l \leq 400$ mm) unter der Voraussetzung, dass $l_1 \geq 2h$ ist [1]. Es ist nicht bekannt, welche Verformungen aus den nach EC5 berechneten Tragfähigkeiten resultieren. Zu große Querdruckverformungen können unerwünschte Folgen haben, z.B. bei Zwischenauflagern von Durchlaufträgern zur Verringerung der Biegetragfähigkeit führen.

3. Versuche

Um den aktuell gültigen Nachweis zu evaluieren, wurden 101 Kurzzeitversuche an Trägern aus Brettschichtholz aus Nadelholz mit einer Länge von 2 m Länge durchgeführt. Die Aufteilung der Versuche ist Tab. 1 zu entnehmen. Darin enthalten sind 20 Versuche, die nach EN 408:2012 [4] durchgeführt und ausgewertet wurden. Hier werden klare Vorgaben zur Bestimmung der Querdruckfestigkeit $f_{c,90}$ und des Elastizitätsmoduls $E_{c,90,mean}$ bezüglich anzusetzender Verformung und maximaler Last gemacht. Es wurde jedem zur Verfügung stehenden Träger ein Normprobekörper (Reihe QN, Abmessungen ($L \times B \times H$) $200 \times 100 \times 200$ mm³) entnommen, um im weiteren Verlauf der Untersuchungen die Ergebnisse der Auflagerversuche direkt vergleichen zu können. Bei diesen Versuchen wurden, wie in EN 408:2012 [4] angegeben, die Verformungen in den mittleren 60 % der Versuchskörperhöhe gemessen, da in diesem Bereich von einer gleichmäßigen Spannungsverteilung ausgegangen wurde. Diese Versuche dienen ausschließlich der Bestimmung der Querdruckfestigkeit $f_{c,90}$. Die dabei erreichten Verformungen haben keinen Einfluss auf die weiteren Analysen. Jeder Prüferträger wurde nacheinander an unterschiedlichen Stellen belastet, wobei die Auflagersituation je nach Versuchsreihe variierte (Abb. 1 (a)). Eine 20 mm dicke Stahlplatte wurde zur Lasteinleitung verwendet, wobei der Zylinder der Prüfmaschine einen Durchmesser von 100 mm aufwies. Durchbiegungen an der Stahlplatte waren optisch nicht erkennbar. Untersucht wurde das Verhalten bei kontinuierlicher Lagerung der Träger (direkte Belastung, Versuchsreihen SE und SM) sowie bei diskontinuierlicher Lagerung (indirekte Lasteinleitung, Versuchsreihen Q und QE). Die Spannweite der Biegeträger betrug je nach geprüfter Auflagerlänge 1,85 m (Reihe QE100) bzw. 1,875 m (Reihe QE50) sowie 1,80 m bei den Versuchen der Reihen Q, die immer in Trägermitte durchgeführt wurden. Der Abstand zwischen den Kontaktflächen der einzelnen Versuche betrug mindestens 150 mm, wodurch Vorschädigungen in den angrenzenden Auflagerflächen ausgeschlossen werden können. Die Träger mit einer Höhe von 300 mm und einer Breite von 100 mm waren laut Hersteller in die Festigkeitsklasse GL24 einzuordnen. Die mittlere Rohdichte betrug $\rho = 468$ kg/m³, was auf eine höhere Festigkeitsklasse hindeutet.

Tab. 1: Durchgeführte Versuche

Auflagerlänge [mm]	Anzahl der Versuche				Gesamt
	50	100	150	200	
Normversuch nach EN	-	-	-	20	20
Zwischenaufleger (Q)	6	6	6	6	24
Indirekt belastetes Endauflager (QE)	6	6	-	-	12
Schwellenende (SE)	5	6	4	6	21
Schwellenmitte (SM)	6	6	6	6	24



(a) Untersuchte Lager-situationen, nach [5, 6]

(b) Anordnung der Wegaufnehmer

Abb. 1: Versuchsaufbau

Die Querdrukfestigkeit ist für Brettstichholz jedoch von der Festigkeitsklasse unabhängig. Daher wurde diese Abweichung nicht weiter betrachtet. Die unterste Lamelle wurde in Buchen-Furnierschichtholz ausgeführt, um bei Zwischenauflagerversuchen (Reihe Q, indirekte Belastung) ein vorzeitiges Biegeversagen des Trägers ausschließen zu können und trotzdem ausreichend große Verformungen unter der Lasteinleitungsfläche zu erreichen. Die Verformungen wurden über die oberen 250 mm der Trägerhöhe in drei Bereichen jeweils auf beiden Seiten des Trägers gemessen. Die Verformungen in den oberen 50 mm wurden getrennt von den darunterliegenden 200 mm erfasst, da ausschließlich im oberen Bereich plastische Verformungen auftreten. Der untere Messbereich war wiederum in zwei 100 mm lange Bereiche unterteilt (Abb. 1 (b)), in denen die elastischen Verformungsanteile erfasst wurden. In den nach EN 408:2012 durchgeführten Versuchen ergab sich eine mittlere Festigkeit von $f_{c,90,mean} = 3,24$ MPa sowie ein Elastizitätsmodul $E_{c,90,mean} = 326$ MPa bei einer daraus resultierenden mittleren Verformung von 2,6 mm im gemessenen Bereich. Auf Grund der geringen Stichprobengröße ($n < 40$) je Versuchsreihe wurde abweichend zu EN 384:2013 mit Hilfe von EN 14358:2013 [7] eine charakteristische Festigkeit von $f_{c,90,k} = 2,74$ MPa berechnet. Die Querdrukfestigkeit der Stichprobe liegt damit leicht über dem in DIN EN 14080:2013 [8] angegebenen Wert von $f_{c,90,k} = 2,5$ MPa.

4. Versuchsergebnisse

Abb. 2 zeigt beispielhaft die Mittelwerte der Last-Verformungs-Verläufe der einzelnen Messbereiche an einem Zwischenaufleger mit 200 mm Auflagerlänge (Q200) im Vergleich zum Normversuch des entsprechenden Trägers. Der Hauptteil der Verformungen tritt dabei lokal unter der Lasteinleitung (oberer Messbereich) auf. Bereits bei einer Verformung von 0,8 mm treten hier erste nichtlineare Effekte ein. In den unteren Trägerbereichen verhält sich das Holz bis Versuchsende annähernd linear-elastisch. Über alle Versuchsreihen betrachtet ist der Anteil der Verformungen im oberen Messbereich an den Gesamtverformungen immer am größten (Tab. 2), jedoch nimmt er für eine ansteigende Auflagerlänge ab. Die Anteile schwanken zwischen 83,2 % (Reihe Q50) und 50,0 % (Reihe SE200). Auffällig ist, dass die absoluten Verformungen im oberen Messbereich für alle Versuchsreihen etwa 5,5 mm betragen. Ist dieser Wert erreicht, nehmen die Deformationen in den unteren Bereichen zu. Auf Grund der großen elastischen Anteile an den Gesamtverformungen in den unteren Trägerbereichen ist eine Betrachtung der lokalen plastischen Verformungen im Bereich der Lasteinleitung nicht ausreichend. Daher werden im weiteren Verlauf die Deformationen über die gemessene Trägerhöhe von 250 mm betrachtet.

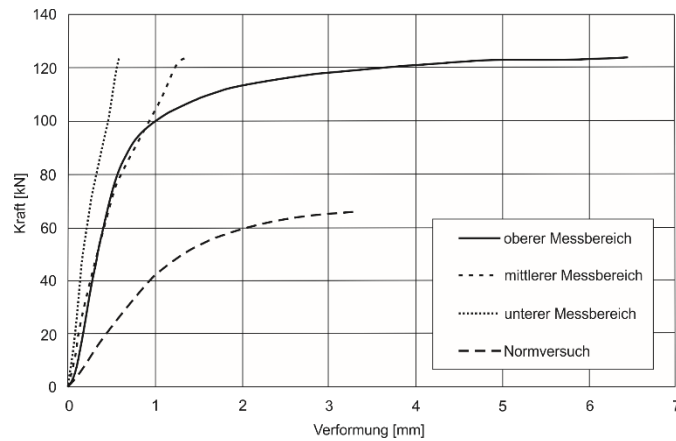


Abb. 2: Beispiel der Steifigkeitsunterschiede zwischen Normversuch und den Messbereichen eines Zwischenauflegers

Tab. 2: Verformungsanteile der Messlängen

Versuchsreihe	Max. Verformung [mm]	Verformung [mm]			Anteil an max. Verformung [%]		
		Oben	Mitte	Unten	Oben	Mitte	Unten
Q50	7,9	6,5	1,1	0,2	83,2	14,4	2,4
Q100	7,9	5,9	1,5	0,5	74,5	19,5	6,0
Q150	7,6	5,5	1,7	0,3	73,0	22,9	4,1
Q200	7,6	5,5	1,7	0,4	72,3	22,2	5,5
QE50	6,6	5,1	1,3	0,2	77,3	19,3	3,3
QE100	5,6	3,9	1,3	0,3	69,4	24,0	6,6
SM50	6,8	5,6	0,9	0,3	82,4	13,4	4,3
SM100	7,6	5,4	1,7	0,5	71,6	21,6	6,8
SM150	8,0	5,5	1,9	0,6	69,0	23,6	7,4
SM200	8,6	5,5	2,3	0,8	64,1	26,5	9,4
SE50	7,8	5,6	1,7	0,5	71,5	21,8	6,7
SE100	8,6	5,5	2,3	0,9	63,5	26,0	10,4
SE150	9,2	5,4	2,7	1,1	58,8	28,8	12,3
SE200	10,9	5,3	4,1	1,5	50,1	36,5	13,4

5. Bemessungsansatz

Berechnet man mit Hilfe der vorher bestimmten Querdruckfestigkeit der Stichprobe von $f_{c,90,mean} = 3,24$ MPa den Faktor $k_{c,90}$ nach dem im EC5 enthaltenen Nachweis für die in den Versuchen erreichten Tragfähigkeiten mit einem Überstand von 30 mm, ergeben sich etwa gleiche Werte in Abhängigkeit der Art der Lastausbreitung (Q und SM bzw. QE und SE, Tab. 3, Spalte 3). Im EC5 hingegen wird $k_{c,90}$ nach der Art der Lagerung unterschieden. Es ist ein deutlicher Unterschied auch in der Größe der Werte für $k_{c,90}$ zu erkennen. Im Vergleich der Versuchsergebnisse mit den Tragfähigkeiten, die sich nach EC5 und mit der mittleren Festigkeit von $f_{c,90,mean} = 3,24$ MPa ergeben, treten insbesondere für am Ende belastete Schwellen (SE, 15 %) und Zwischenaufleger (Q, 24 %) große Abweichungen auf (Abb. 3). Die Tragfähigkeit an mittig belasteten Schwellen kann hingegen mit dem im EC5 enthaltenen Modell gut abgebildet werden. Über alle Lagersituationen betrachtet beträgt der Mittelwert 1,11 bei einer Standardabweichung von 0,09 (COV = 8,5 %).

Tab. 3: Werte für $k_{c,90}$ nach EC5 und berechnet anhand der Versuche

Lagerung	EC5	30 mm & Versuche
Q	1,75	1,52
QE	1,75	1,37
SM	1,50	1,50
SE	1,50	1,37

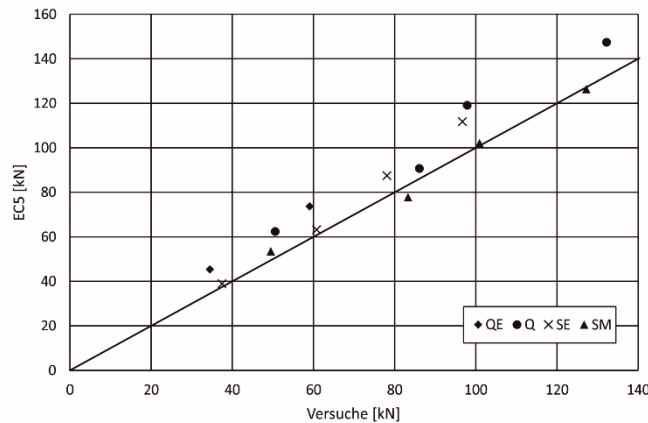


Abb. 3: Vergleich der Tragfähigkeiten nach EC5 mit den Versuchsergebnissen bei 5 mm Verformung

Ein linearer Zusammenhang zwischen den Tragfähigkeiten in Abhängigkeit der Auflagerlänge und der Verformung ist offensichtlich (Abb. 4). Die Regressionsgeraden schneiden die Ordinate nicht im Koordinatenursprung, was auf eine Resttragfähigkeit bei einer theoretischen Auflagerlänge von 0 mm schließen lässt. Es wird angenommen, dass die Resttragfähigkeit alleine durch den Anteil der mitwirkenden Fasern gebildet wird und der Faktor $k_{c,90}$ keinen Einfluss hat ($k_{c,90} = 1,0$). Diese Länge beträgt über alle Versuche betrachtet näherungsweise 80 mm für eine zweiseitige und 40 mm für eine einseitige Lastausbreitung, was sich mit den Ergebnissen deckt, die Leijten et al. [9] in ihren optischen Messungen festgestellt haben. Da die Berechnung nach EC5 durchweg zu hohe Werte liefert, wird im Modellansatz (Gleichung (3)) eine Trennung der mitwirkenden Faserlänge von der Tragfähigkeitserhöhung, die durch den Faktor $k_{c,90}$ verursacht wird, angestrebt. Daraus resultierend kann mit diesem Ansatz bei variierendem $k_{c,90}$ weiterhin von einer konstanten Erhöhung der Auflagerfläche für jeden möglichen Verformungsschritt ausgegangen werden. Im ersten Schritt wurden durch Auflösen nach $k_{c,90}$ für den Ansatz in Gleichung (3) mit $l_{mit} = 40$ mm bzw. 80 mm verformungsabhängige Werte für $k_{c,90}$ berechnet. Es ergibt sich Abb. 5. Ein exponentieller Regressionsansatz liefert Gleichung (4), die zur Berechnung des Wertes $k_{c,90}$ verwendet werden kann. Dabei ist in der Berechnung nach der Art der Lastausbreitung zu unterscheiden. Vergleicht man die in den Versuchen erreichten Tragfähigkeiten im Verformungsbereich von 1 mm bis 9 mm (betrachtet werden hier die Verformungen in den oberen 250 mm) mit den mit Gleichung (3) berechneten Werten (Abb. 6), ist ersichtlich, dass die Versuchswerte gut abgebildet werden können. Im Vergleich zu Abb. 3 ist die Abweichung des hier vorgestellten Ansatzes zu den Versuchsergebnissen deutlich geringer (Mittelwert 1,02 zu 1,1). Der normierte Mittelwert beträgt 1,02 bei einer Standardabweichung von 0,10. Der Variationskoeffizient beträgt 9,8%. Im hier vorgestellten Modellansatz treten sowohl für eine einseitige als auch zweiseitige Lastausbreitung im Verformungsbereich von 1 mm große Abweichungen auf, was in der Regressionsbezie-

ung für $k_{c,90}$ begründet liegt. Jedoch wird diesem Verformungsbereich keine praktische Relevanz zugesprochen. Werden die Werte bei 1 mm Verformung von der Mittelwertbildung ausgeschlossen, ergibt sich ein normierter Wert von 0,99 bei einer Standardabweichung von 0,08 (COV = 7,8 %).

$$F_{c,90} = b \cdot l \cdot \left(k_{c,90} + \frac{l_{\text{mit}}}{l} \right) \cdot f_{c,90} \quad (3)$$

$$\text{mit } l_{\text{mit}} = \begin{cases} 40 \text{ mm für einseitige Ausbreitung} \\ 80 \text{ mm für zweiseitige Ausbreitung} \end{cases}$$

$$k_{c,90} = \begin{cases} 1,5 - 1,5 \cdot e^{-0,4 \cdot u} \text{ für einseitige Ausbreitung} \\ 1,7 - 1,7 \cdot e^{-0,6 \cdot u} \text{ für zweiseitige Ausbreitung} \end{cases} \quad (4)$$

mit u = zulässige Verformung in mm

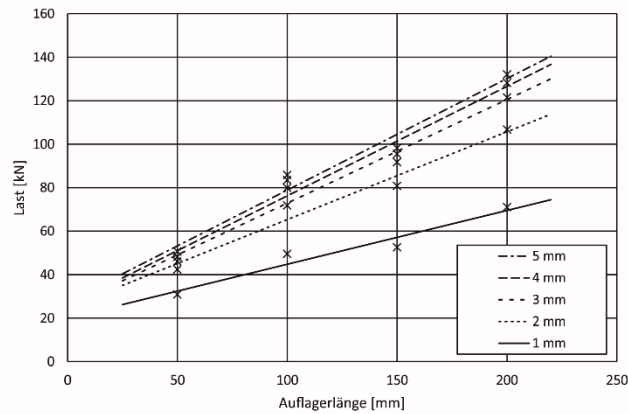


Abb. 4: Tragfähigkeiten bei einem Zwischenaufleger in Abhängigkeit der Auflagerlänge und der Verformung

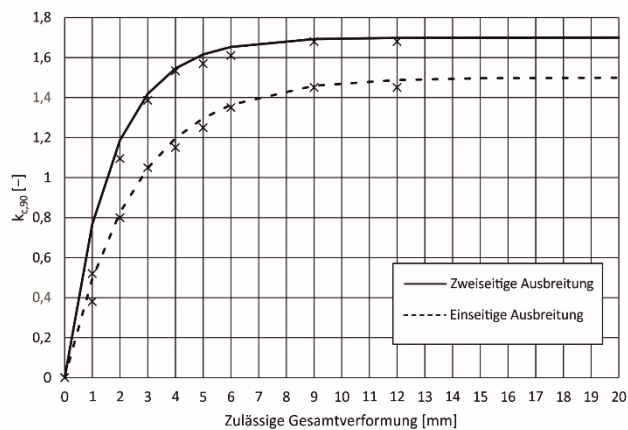


Abb. 5: Verformungsabhängige Werte für $k_{c,90}$ sowie Regressionsmodell

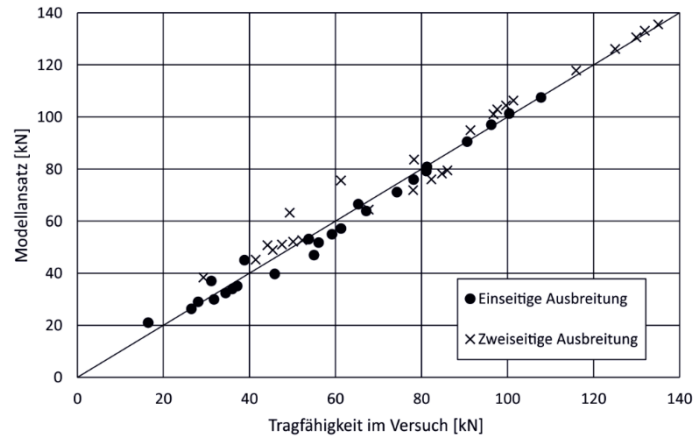


Abb.6: Vergleich der berechneten Tragfähigkeiten mit den in den Versuchen erreichten Werten im Verformungsbereich von 1 bis 9 mm

6. Diskussion der Ergebnisse

Im aktuellen Bemessungsmodell war es bisher nicht möglich, eine konkrete Aussage über die zu erwartenden Verformungen bei einer Belastung quer zu Faser zu machen. Es wird ein reiner Grenzzustand der Tragfähigkeit zu Grunde gelegt. Ebenso scheint eine Betrachtung der Querdrucktragfähigkeit in Abhängigkeit einer Stauchungsgrenze (vgl. [10]) im Gegensatz zu absoluten Verformungswerten nicht sinnvoll. Ein kurzes Beispiel soll dies veranschaulichen: In einem 40 cm hohen Träger betragen die Verformungen bei 4 % Stauchung bezogen auf die Trägerhöhe 16 mm, wohingegen bei einem 100 mm hohen Träger lediglich 4 mm Verformung bei gleicher Stauchung erreicht werden.

Der Ansatz eines Grenzzustands der Tragfähigkeit erscheint in vielen Fällen für Brettschichtholz unter einer Querdruckbelastung nicht erforderlich. Eine Ausnahme bilden jedoch z.B. Zwischenaufleger von Durchlaufträgern, bei denen die lokalen Verformungen die effektiv vorhandene Querschnittshöhe für die Übertragung der Biegemomente und der Schubspannungen reduzieren. Bei kontinuierlich gelagerten Trägern oder bei Endauflagern von Biegeträgern liegt meist ein reiner Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG) vor, da kein Versagen des Holzes unter einer Beanspruchung quer zur Faser stattfindet. Der bemessende Ingenieur muss entscheiden, ob die Querdruckbeanspruchung zu einem Grenzzustand der Tragfähigkeit führen kann oder ob eine Betrachtung im GZG ausreicht. In beiden Fällen kann er durch die Begrenzung der Querdruckverformung die Höhe der maximal einleitbaren Last beschränken. Auf Grund der geringeren Teilsicherheitsbeiwerte von $\gamma = 1,0$ für Nachweise im GZG ließen sich so deutlich erhöhte Querdrucklasten übertragen, was zu einer wirtschaftlicheren Bauteilnutzung führen würde. Selbstverständlich wäre die Wahrscheinlichkeit des Eintretens dieser angenommenen Verformung im GZG signifikant höher als im GZT. Nimmt man z.B. analog wie bei Verbindungen mit mechanischen Verbindungsmitteln eine Verformung von 15 mm an, würde diese im GZG durch die Teilsicherheitsbeiwerte von 1,0 in einigen Fällen auch erreicht werden, im GZT wäre unter charakteristischen Lasten eine Verformung von etwa 1,5 bis 3,0 mm zu erwarten. Dieser Wert resultiert aus der Annahme des maximal möglichen Wertes für $k_{c,90}$ und dem Ansatz der Teilsicherheitsbeiwerte γ_F und γ_M .

Das hier vorgestellte Bemessungsmodell liefert einen sinnvollen Ansatz, da die Querdrucktragfähigkeit direkt in Abhängigkeit der zulässigen absoluten Verformung berechnet werden kann. Der Hauptteil der Verformung wird auch bei höheren Trägern auf den Nahbereich der Kontaktfläche beschränkt. Die Betrachtung der Werte in Tab. 2 hat gezeigt, dass im Messbereich von 150 mm bis 250 mm nur sehr geringe Verformungen auftreten, daher wird ange-

nommen, dass Stauchungen unterhalb dieses Bereiches klein genug sind, um vernachlässigt werden zu können. Jedoch bleibt unabhängig zu prüfen, ob die Gleichungen im Vergleich mit einer größeren Stichprobe sowie hinsichtlich der Anwendung auf Trägerhöhen $h < 250$ mm ihre Gültigkeit bewahren.

7. Fazit

Auf der Basis von 101 Versuchen an Trägern aus Brettschichtholz wurde gezeigt, dass der Faktor $k_{c,90}$ nach der Art der Lastausbreitung - einseitig oder beidseitig - unterschieden werden sollte. Auf dieser Grundlage wurde ein Bemessungsansatz entwickelt, mit dem sich die Querdrucktragfähigkeit in Abhängigkeit von einer akzeptierten absoluten Verformung berechnen lässt. Der entwickelte Ansatz liefert eine gute Übereinstimmung im Vergleich mit den durchgeführten Versuchen und ermöglicht dem bemessenden Ingenieur eine genauere Betrachtung der Querdruckproblematik, da er im Einzelfall entscheiden kann, welche Verformung für das zu bemessende Tragwerk verträglich ist und darüber hinaus, ob ein Grenzzustand der Tragfähigkeit oder der Gebrauchstauglichkeit vorliegt. Im letzteren Fall dürften die Teilsicherheitsbeiwerte auf der Einwirkungsseite wie auch auf der Widerstandsseite zu 1,0 angenommen werden. Der Beiwert k_{mod} zur Berücksichtigung der Holzfeuchte und der Lasteinwirkungsdauer ist jedoch auch im GZG anzusetzen.

8. Literaturverzeichnis

- [1] DIN EN 1995-1-1:2010-12. *Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau*
- [2] MADSEN, B.: *Behaviour of timber connections*. In: *Canadian Journal of Civil Engineering* 28 (2001), Nr. 3, S. 546
- [3] BLAß, H. J. ; GÖRLACHER, R.: *Compression Perpendicular to the Grain*. In: *Proceedings of the 8th World Conference on Timber Engineering* (2004)
- [4] DIN EN 408:2012-10. *Bauholz für tragende Zwecke und Brettschichtholz – Bestimmung einiger physikalischer und mechanischer Eigenschaften*
- [5] LEIJTEN, A.J.M.: *The bearing strength capacity perpendicular to grain of norway spruce – Evaluation of three structural timber design models*. In: *Construction and Building Materials* 105 (2016), S. 528–535
- [6] LATHULLIERE, D. ; BLERON, L. ; BOCQUET, J.-F. ; VARACCA, F. ; DUBOIS, F.: *Design for the Spreading under a compressive Stress in Glued Laminated Timber*
- [7] DIN EN 14358:2013-09. *Berechnung der charakteristischen 5% Quantile und Mittelwerte für Erstprüfung und werkseigene Produktionskontrolle*
- [8] DIN EN 14080:2013-09. *Holzbauwerke – Brettschichtholz und Balkenschichtholz – Anforderungen*
- [9] LEIJTEN, A.J.M. ; JORISSEN, A.J.M. ; LEIJER, B.J.C. de: *The local bearing capacity perpendicular to grain of structural timber elements*. In: *Construction and Building Materials* 27 (2012), Nr. 1, S. 54–59
- [10] VAN DER PUT, T.A.C.M.: *Derivation of the bearing strength perpendicular to the grain of locally loaded timber blocks*. In: *Holz als Roh- und Werkstoff* 66 (2008), Nr. 6, S. 409–417