

Punktgestützte Flachdecken aus Holz – technische Lösungen und Praxisbeispiele

Roland Maderebner, Thomas Stieb und Bernhard Maurer

Zusammenfassung

Im Holzbau konnte sich eine Bauweise, die in der Betonbau-Architektur seit Jahrzehnten als Standard gilt, bisher nur mit erheblichem Aufwand, wenn überhaupt, umsetzen lassen: punktgestützte Flachdecken. Hierbei werden die Lasten aus den Decken, ohne zusätzliche Unterzüge oder Wände, nur punktuell über Stützen abgetragen. In diesem Beitrag werden die zwei wesentlichen Herausforderungen dieser Bauweise bei Decken aus Brettsperrholz erläutert. Die erste Herausforderung besteht darin, die hohen Punktlasten im Bereich der Stützen abtragen zu können. Die zweite Herausforderung bezieht sich auf die Verbindung der einzelnen Brettsperrholzelemente auf der Baustelle. Diese Verbindung wird immer dann erforderlich, wenn die Deckenspannweite die herstellungs- und transportbedingten Abmessungen der Brettsperrholzelemente überschreitet. In den letzten Jahren wurden an der Universität Innsbruck verschiedene Lösungsansätze für diese Herausforderungen entwickelt. Diese Erkenntnisse werden im folgenden Beitrag präsentiert. Für die Punktstützung wird ein Systemverbinder vorgestellt, der neben einer Querdruckverstärkung auch die Rollschubeigenschaften im Bereich der Punktstützung verbessert und gleichzeitig ein Durchleiten von Stützenlasten darüber liegender Geschoße ermöglicht. Bei der Verbindung der Brettsperrholzplatten wird eine Lösung mit einem Holz-Beton-Verbundsystem präsentiert. Die Erkenntnisse aus den Forschungsprojekten wurden bereits erfolgreich in verschiedenen Projekten umgesetzt, wobei eines davon detaillierter vorgestellt wird.

Stichworte Brettsperrholz; Punktgestützte Flachdecke; Durchstanzen; Biegesteifer Plattenstoß

1 Einleitung

Der Anteil der Holzbauten an mehrgeschoßigen Gebäuden hat in den letzten Jahren kontinuierlich zugenommen und dieser Trend deutet angesichts der Vielzahl geplanter Projekte auf kein Ende hin. Mit steigender Höhe und Größe der Gebäude werden auch zunehmend höhere Anforderungen an alle Beteiligten, insbesondere an die Tragwerksplaner:innen, gestellt.

Im Zusammenhang mit mehrgeschoßigen Gebäuden rückt die Bauweise der punktgestützten Flachdecken immer mehr in den Fokus des Ingenieurholzbaus. Hierbei werden die Decken lediglich punktuell auf Stützen aufgelagert, ohne dass zusätzliche Unterzüge oder Wände zur Abtragung der Lasten erforderlich sind. Diese Bauweise bietet zahlreiche Vorteile, weshalb sie nicht nur in mehrgeschoßigen und großvolumigen Bauten gerne angewendet wird. Neben ästhetischen Gründen ermöglicht diese Bauweise durch den Wegfall von tragenden Wänden für die späteren Nutzer:innen des Gebäudes eine flexible Grundrissgestaltung. Zudem führt der Entfall von Unterzügen zu einer Erhöhung der effektiv nutzbaren Raumhöhe in den einzelnen Geschoßen und ermöglicht eine ungehinderte Leitungsführung an der Deckenunterseite.

Das Konzept der punktgestützten Flachdecken ist dabei keineswegs eine Entwicklung aktueller Architektur. Bereits zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurde diese Bauweise von Le Corbusier in Konzepten wie dem Dom-ino-Haus dargestellt und ist in der Betonbauarchitektur seit Jahrzehnten als Standardkonstruktion etabliert. Die Umsetzung dieser Bauform in Holz stellt die Tragwerksplanung jedoch gleich vor mehrere Herausforderungen.

Bei dieser Konstruktionsweise muss zuallererst die Decke selbst eine zweiachsigere Tragfähigkeit gewährleisten. Im Ingenieurholzbau steht mit dem Brettsperrholz (CLT) ein Produkt zur Verfügung, das sich aufgrund von kreuzweise verleimten Lamellen, grundsätzlich für eine zweiachsigere Lastabtragung eignet [1].

Ein kritischer Punkt dieser Bauweise liegt im Bereich der punktuellen Auflagerung an den Stützen (**Abb. 1**). Hier kommt es zu Spannungskonzentrationen die vom CLT nur in begrenztem Maße aufgenommen werden können. Neben den erhöhten Biegespannungen in diesem Bereich, kommt es auch zu einer Rollschubbeanspruchung der Querlagen des CLT. Darüber hinaus führen Querdruckbeanspruchungen der Platte durch die Auflagerung dazu, dass der Einsatz von unverstärktem CLT in diesem Bereich nur stark eingeschränkt möglich ist.

Eine weitere technische Herausforderung entsteht, wenn Spannweiten von 5-7 Metern realisiert werden sollen, wie es im Betonbau üblich ist. In diesen Fällen müssen die einzelnen CLT-Elemente auf der Baustelle biegesteif miteinander verbunden werden, da diese aufgrund der Herstellung und des Transports auf eine Breite von etwa 3,5 Metern beschränkt sind. Diese Verbindung muss wiederum ausreichend steif, tragfähig und robust sein, um eine durchgehende, zweiachsig wirkende Deckenplatte zu ermöglichen.

Dieser Beitrag gibt einen Überblick über vorhandene Lösungsansätze für die genannten Herausforderungen. Im Detail werden mögliche Lösungen präsentiert, die in den vergangenen Jahren am Arbeitsbereich für Holzbau der Universität Innsbruck entwickelt wurden und mittlerweile in mehreren Projekten erfolgreich umgesetzt werden konnten.

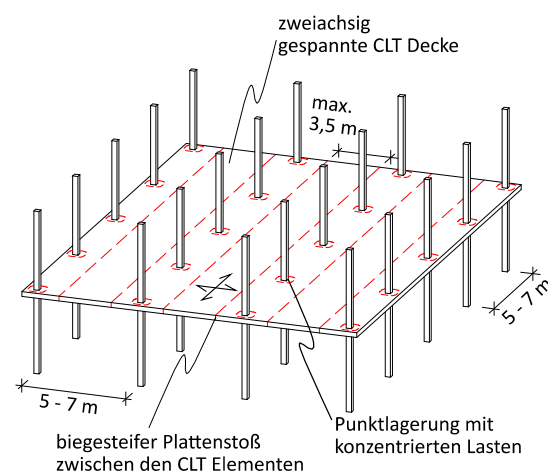


Abb. 1: Herausforderungen punktgestützter Flachdecken aus Holz

2 Punktuelle Lasteinleitung in CLT

2.1 Allgemeines

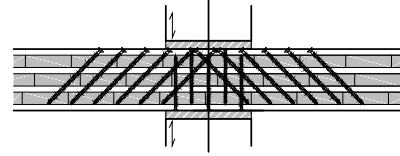
Besonders kritisch sind im Bereich der punktuellen Lasteinleitung die erhöhten Rollschub- und Querdruckbeanspruchungen. Aufgrund seiner Faserrichtung weist Holz geringe Festigkeitskennwerte für beide dieser Beanspruchungen auf. Die Rollschubbeanspruchung in den Querlagen resultiert aus der Schubbeanspruchung der Platte, die in diesem Bereich stark konzentriert auftritt. Bei der Querdruckbeanspruchung kann es neben der reinen Auflagerung, auch zu einer zusätzlichen Beanspruchung durch Lastdurchleitungen über die Deckenplatte aus Stützen darüber liegender Geschoße kommen. In der Literatur findet man dafür verschiedene Lösungsansätze, um mit diesen beiden Beanspruchungen umzugehen.

2.2 Bekannte Lösungen

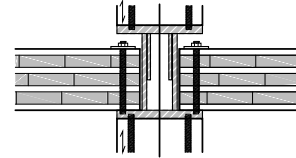
Um die Rollschubeigenschaften des CLT in diesem Bereich verbessern zu können, wurde in der Arbeit von Mestek [2] gezeigt, dass der Einsatz von geneigt angeordneten, selbstbohrenden Vollgewindeschrauben zu einer Verstärkung führt. Ebenso kann die Beanspruchbarkeit von Holz auf Druck quer zur Faser durch den Einsatz von Vollgewindeschrauben deutlich verbessert werden, wie Bejtka [3] darstellt. In Dietsch et al. [4] wird gezeigt, wie diese Methode der Querdruckverstärkung um die Möglichkeit der Lastdurchleitung bei Vollholz und Brettschichtholz erweitert werden kann. Die Anwendung dieser Methode der Lastdurchleitung bei CLT wird wiederum in [5] dargestellt (siehe dazu **Abb. 2**).

Beim Bau eines der ersten mehrgeschoßigen Gebäude, in dem eine punktgestützte Flachdecke realisiert wurde – dem 18-stöckigen Brock Commons in Kanada – kamen Steckverbinder aus Stahl zum Einsatz. Diese Verbinder ermöglichen die Übertragung hoher Stützenlasten durch die Decken, ohne die Holzdecken zusätzlich auf Querdruck zu beanspruchen [6]. Abseits von Lösungen mit Stahl zeigt Muster [7], wie der Bereich der Punktlagerung mit außen liegenden Furnierschichtholz verstärkt werden kann. Dabei werden die Stützenlasten über eine Aussparung in der Decke direkt über einen Hirnholzkontaktstoß durch die Decke geleitet.

Rollschubverstärkung nach [2] und Lastdurchleitung nach [5]:



Steckverbinder aus Stahl nach [6]:



Verstärkung mit Buchenfurnieren nach [7]:

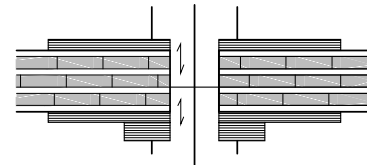


Abb. 2: Bekannte Lösungen zur punktuellen Lasteinleitung aus der Literatur

2.3 Systemverbinder

Eine andere Möglichkeit diesen Detailpunkt zu lösen ist der Einsatz eines Systemverbinders der an der Universität Innsbruck entwickelt wurde [8], [9]. Dieser Verbinder verstärkt einerseits den Bereich der punktuellen Lagerung und verbindet gleichzeitig die CLT-Platten mit den Stützen.

Komponenten und Montage

Der Verbinder (Markenname: *SPIDER-Connector*) besteht im Wesentlichen aus mehreren einzelnen Stahlkomponenten (**Abb. 3**) die auf der Baustelle zusammengefügt werden (**Abb. 4**).

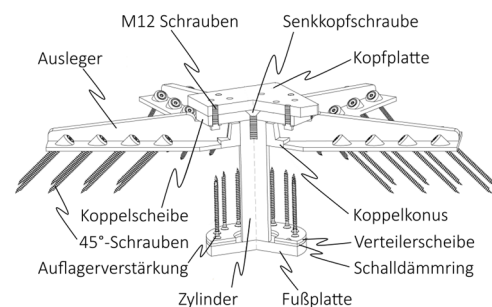


Abb. 3: Komponenten des Systemverbinders [9]

Für die Montage wird im ersten Schritt die Fußplatte des Verbinders an der Stirnseite der Stütze im Geschoß unter der zu verbindenden Decke befestigt. Nach dem Einheben der Decke, mit der entsprechenden Bohrung für den Stahlzylinder, wird der sogenannte Koppelkonus und sechs biegesteif angeschlossene Ausleger montiert. Diese Ausleger werden dann mit unter 45° geneigten Vollgewindeschrauben (8 Schrauben je Ausleger) an der CLT-Platte befestigt bzw. die Decke zum Teil aufgehängt. Die nächste Stütze wird schließlich über eine Stahlkopfplatte und Schrauben mit der Koppelscheibe verbunden. Um die Auflagerung der CLT-Decke auf der Fußplatte zu verstärken, ist es möglich, bereits vor dem Einheben der Platte eine zusätzliche Querdrukverstärkung in Form von Vollgewindeschrauben einzubringen. Zum Ausgleich von Quell- und Schwindverformungen der Decke ist zusätzlich das Einlegen elastischer Zwischenschichten möglich. Durch die geringe Aufbauhöhe des Verbinders (65 mm), können sämtliche Stahlteile im Fußbodenaufbau der Decke angeordnet werden.

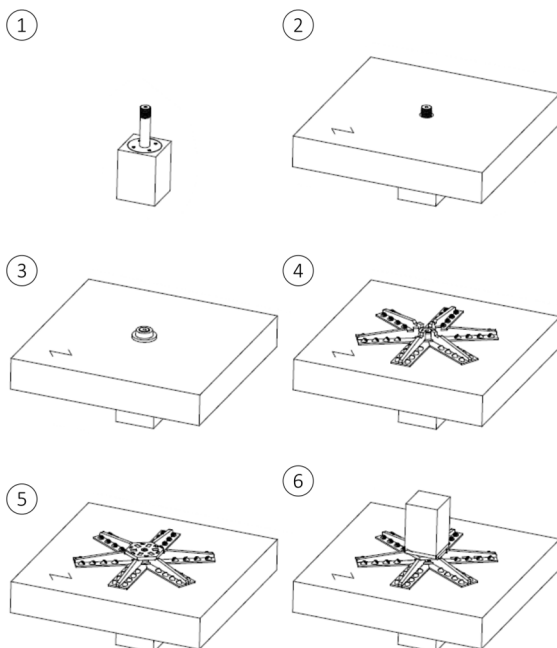


Abb. 4: Montage SPIDER-Connector [9]

Wirkungsprinzip

Durch die unterschiedlichen Komponenten vereint der Verbinder gleichzeitig mehrere Wirkungsprinzipien (siehe Abb. 5). Die unter 45° geneigt angeordneten Vollgewindeschrauben wirken einerseits als Rollschubverstärkung in der CLT-Platte, während gleichzeitig ein Teil der Deckenlasten über die biegesteif angeschlossenen Ausleger aufgehängt wird. Der zweite Anteil der Deckenlasten wird über eine Querdrukbelastung des CLT-Elementes an der Fußplatte des Zylinders in die Stütze abgeleitet. Lasten aus Stützen darüberliegender Geschoße können über den Stahlzylinder direkt durch die Decke in die darunterliegende Stütze durchgeleitet werden.

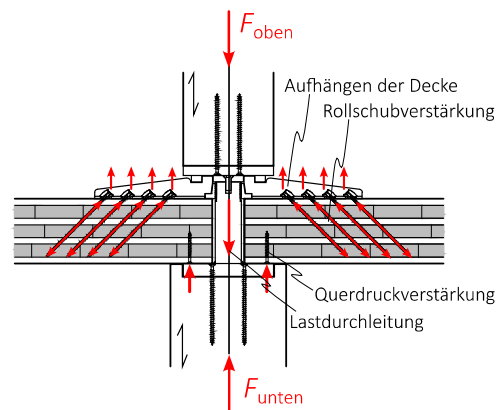


Abb. 5: Wirkungsprinzipien des Systemverbinders

Durchstanzversuche

Um die verschiedenen Wirkungsmechanismen des Verbinders quantifizieren zu können, wurden Durchstanzversuche durchgeführt. Dabei wurden sowohl unverstärkte CLT-Platten, als auch mit dem SPIDER Connector verstärkte Platten bis zum Versagen belastet. Das Testsetup der Durchstanzversuche ist in Abb. 6 dargestellt. Ein Hydraulikzylinder unter der Platte bringt die Durchstanzlast F auf. In einem Radius von 1,20 Meter rund um den Zylinder sind gleichmäßig Gewindestangen (12 Stück) mit Kugellagern angeordnet, um die Durchstanzlast wieder aus der Platte abzuleiten. Als Material der Decke wurde 7-lagiges CLT, mit einer Stärke von 200 mm (Aufbau: 20|40|20|40|20|40|20) aus Lamellen der Festigkeitsklasse T14 ($\geq 90\%$) und T11 ($\leq 10\%$) gemäß EN 14080 verwendet.

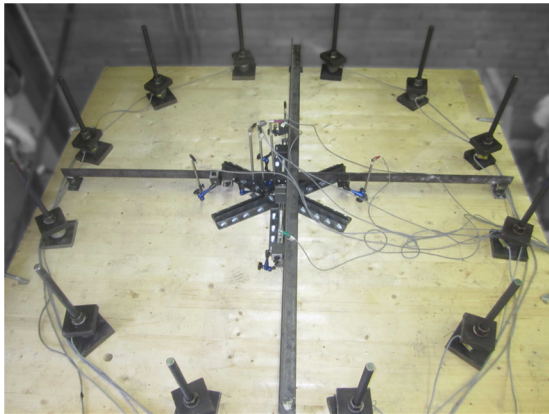
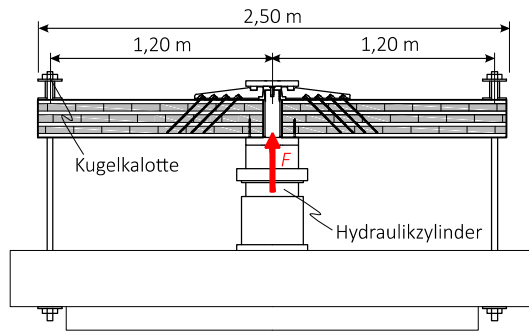


Abb. 6: Durchstanzversuche - Versuchsaufbau

Eine wesentliche Information, um die unterschiedlichen Wirkungsmechanismen des Verbinders differenzieren zu können, ist die Kenntnis des Anteils der Durchstanzlast, der über die Ausleger in die Platte übertragen wird. Dafür wurden in den Versuchen am Stahlzylinder des Systemverbinders Dehnmessstreifen (DMS) angebracht, um die Kraft F_{zyl} messen zu können (siehe **Abb. 7**). Also jener Anteil der durch das Aufhängen der Platte durch die Ausleger und den Vollgewindeschrauben übertragen wird. Die Differenz zwischen der Durchstanzlast F und der Kraft im Stahlzylinder F_{zyl} ist im Umkehrschluss jener Anteil der über eine Querdrukbeanspruchung $F_{\text{c},90}$ an der Fußplatte direkt übertragen wird.

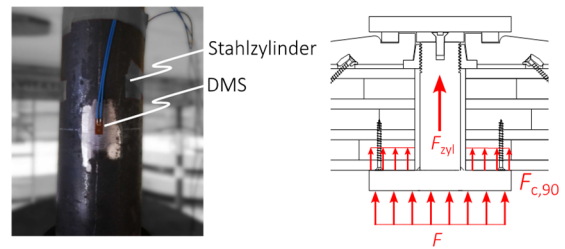


Abb. 7: Durchstanzversuche – Vorgehensweise zur Unterscheidung der Kraftanteile im Verbinder

Mit dieser Information kann der Faktor k_{sus} nach Gleichung (1) berechnet werden, der ein Maß für die Wirksamkeit der Ausleger des Verbinders darstellt.

$$k_{\text{sus}} = \frac{F_{\text{zyl}}}{F} \quad (1)$$

In diesem Beitrag werden sechs Versuche einer Serie mit dem Systemverbinder und ein Referenzversuch ohne Verbinder dargestellt [9]. Die Last-Verformungskurven der ausgewählten Serien sind in **Abb. 8** zu finden. Die dargestellte Verformung (w) bezieht sich auf die vertikale Verschiebung des Hydraulikzylinders. Die ersten Referenzversuche wurden hier bereits 2013 durchgeführt. Der Referenzversuch wurde im Auflagerbereich (200 x 200 mm) unverstärkt durchgeführt. Dieser Versuch wurde nach dem Auftreten plastischer Verformungen bei 200 kN abgebrochen (schwarzer Graph in **Abb. 8**). Beim zweiten Versuch wurde die Auflagerfläche von 200 x 200 mm mit insgesamt 25 Vollgewindeschrauben (\varnothing 9 mm, Länge 160 mm) auf Querdruk verstärkt. Eine Rollschubverstärkung wurde nicht angebracht. Durch Vergleich dieses Versuches ($F_{\text{max,ref}} = 400$ kN, roter Graph in **Abb. 8**) und den Versuchen der Serie mit dem entwickelten Systemverbinder (grüner Graph), zeigt sich eine Laststeigerung von etwa 80 %. Die erreichten Maximallasten der einzelnen Versuche mit dem Verbinder sind in **Tab. 1** zusammengefasst. Es konnten Maximallasten im Bereich von 668 bis 777 kN erreicht werden ($F_{\text{max,mean}} = 729$ kN, COV = 6 %). Die charakteristische Tragfähigkeit F_{Rk} ergibt sich daher nach EN 14358 [10] zu 627 kN.

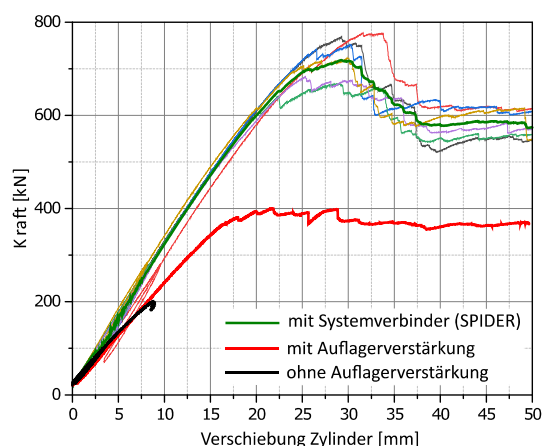


Abb. 8: Last-Verformungskurven der Durchstanzversuche

Tab. 1: Durchgeführte Versuche am Systemverbinder [9]

ID	F_{\max} kN	k_{sus} %	Statistische Auswertung:
#1	668	54	Anzahl: 6
#2	769	52	Minimum: 668 kN
#3	752	61	Maximum: 777 kN
#4	723	68	COV: 6 %
#5	683	66	Mittelwert: 729 kN
#6	777	53	$F_{\text{Rk}}^{1)}$: 627 kN
			$k_{\text{sus,mean}}$: 59 %

¹⁾ nach [10]

Bei den Versuchen ist bis zu einer Belastung von ca. 600 kN von einem annähernd linear elastischen Tragverhalten auszugehen. Danach fällt die Steifigkeit leicht ab bevor es zum Erreichen der Maximallast kommt. Hinsichtlich der Steifigkeit ist eine leichte Steigerung gegenüber dem Referenzversuch feststellbar. Über die aufgebracht DMS am Stahlzylinder konnte festgestellt werden, dass im Durchschnitt 59 % der aufgetragenen Durchstanzlast über den eigentlichen Verbinder aufgenommen wurden. Durch die angebrachte Querdruckverstärkung im Bereich der Kopfplatte konnten somit 41 % übertragen werden. Die Steifigkeit der Ausleger beim Systemverbinder wurde dabei so dimensioniert, dass ein hohes Maß an Duktilität vorhanden bleibt und die Stahlbauteile mit dem CLT eine optimierte Hybridkonstruktion ergeben.

Am Referenzversuch konnten äußerlich keine Risse festgestellt werden. Nach dem Auftrennen des Prüfkörpers zeigten sich Rollschubrisse im Bereich der

Lasteinleitung (in **Abb. 9** in rot markiert). Bei den Versuchen mit dem Systemverbinder wurden ab dem Punkt des Steifigkeitsverlustes in der Last-Verformungskurve (ca. 700 kN) Risse hörbar, aber oberflächlich nicht sichtbar, was auf Rollschubrisse schließen ließ. Die maximale Beanspruchbarkeit wurde anschließend durch einen Biegezugbruch an der Plattenoberseite erreicht (siehe **Abb. 10**), bevor die Last abfiel. Eine detaillierte Darstellung der aufgetretenen Versagensmechanismen in den angeführten Versuchen findet sich in Kombination mit einer FE-Modellierung des Knotenpunktes in [9] und [11].



Abb. 9: Rollschubrisse (rot markiert) in den Querlagen [9]

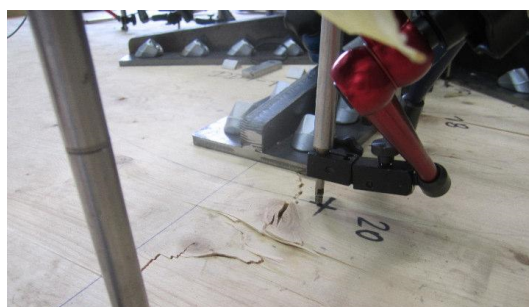


Abb. 10: Biegezugbruch an der Plattenoberseite [9]

Bemessungsansatz

Für eine Bemessung des Knotenpunktes nach [12], unter Verwendung des gleichen CLT wie im vorherigen Abschnitt beschrieben, wäre es ausreichend, direkt die charakteristische Traglast F_{Rk} der gezeigten Versuchsserie aus Tab. 1 zu verwenden. Eine allgemeine Auflistung aller erforderlichen Nachweise beim Einsatz dieses Systemverbinders wird in [9] angegeben. Dabei sind neben den Stahlteilen des Verbinders und den Schrauben auch Spannungsnachweise an unterschiedlichen Stellen im CLT zu erbringen. In der ETA [13] des Systemverbinders (SPIDER-Connectors) sind weitere Nachweiskonzepte für verschiedenste CLT-Aufbauten und Stärken zu finden.

3 Biegesteifer Plattenstoß von CLT

3.1 Allgemeines

Der Stoß muss in erster Linie in der Lage sein, die Plattenschnittgrößen zwischen den einzelnen CLT-Elementen zu übertragen. Durch diese Verbindung soll die zweiachsige Tragwirkung der Decke gewährleistet werden, was wiederum erforderlich ist, um die Konstruktionsweise der punktgestützten Flachdecke überhaupt realisieren zu können. Dabei müssen durch die Verbindung sowohl Biegebeanspruchungen als auch Schubbeanspruchungen in unterschiedliche Richtungen übertragen werden. Ein wesentliches Augenmerk liegt dabei auf der Biegebeanspruchung der Verbindung. Diese muss eine entsprechende Rotationssteifigkeit k_{ϕ} aufweisen, um die Ausbildung einer kinematischen Kette in der Decke zu verhindern. Diese Rotationssteifigkeit hat auch einen großen Einfluss auf die erste Eigenfrequenz und somit auf das Schwingungsverhalten der Decke. Dieser Kennwert ist besonders wichtig, da bei der Bemessung solcher Deckenkonstruktionen häufig der Nachweis des Frequenzkriteriums maßgebend wird [12]. Daher wird anhand einer Parameterstudie (Abb. 11) insbesondere der Einfluss der Rotationssteifigkeit k_{ϕ} auf die erste Eigenfrequenz der Decke betrachtet (siehe Abb. 12). Dabei werden die Rotationssteifigkeit des Plattenstoßes k_{ϕ} , die Dicke der CLT-Elemente t_{CLT} und die Spannweite der Decke L variiert. Die detaillierte Erläuterung der verwendeten Materialien und CLT-Aufbauten der angeführten Parameterstudie finden sich in [14].

Bei den Brettsperrholzaufbauten wurde darauf geachtet, ein möglichst ausgeglichenes Verhältnis der Biegesteifigkeiten in die beiden Spannrichtungen der Decke zu erreichen. Durch das gleiche Stützenraster in beiden Spannrichtungen wirkt sich dies günstig auf das Verhalten der Decke aus. Dieses Verhalten könnte weiter verbessert werden durch eine Erhöhung der Drillsteifigkeit der Elemente, wie beispielsweise in [15] mit dem sogenannten Diagonallagenholz (DLH) gezeigt wird. Durch eine Lagenorientierung von 45° wurde eine deutliche Erhöhung der Drillsteifigkeit erreicht, die sich auch positiv auf das Verhalten der Decke in punktgestützten Flachdecken auswirkt.

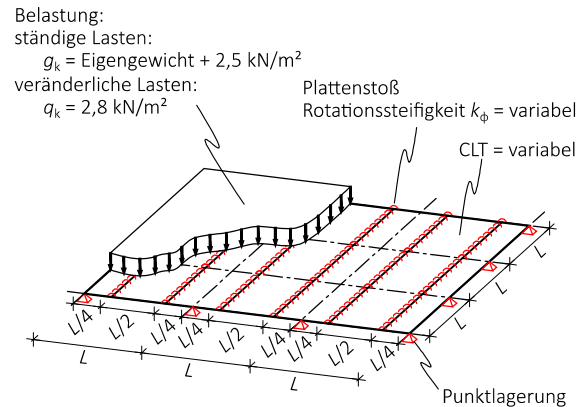


Abb. 11: Parameterstudie – Einfluss der Rotationssteifigkeit k_{ϕ}

In den Diagrammen der Abb. 12 und Abb. 13 sind zwei Ergebnisse der Parameterstudie dargestellt. Neben dem Einfluss der Rotationssteifigkeit auf die erste Eigenfrequenz der Rohdecke (Abb. 12) wird auch der Einfluss auf die maximalen Durchbiegungen w_{inst} für die charakteristische Kombination der Lasten nach [16] abgebildet (Abb. 13). In beiden Auswertungen kann gezeigt werden, dass der Einfluss der Rotationssteifigkeit ab einer Größe von ca. 5000 kNm/(rad·m) deutlich abnimmt. Ab dieser Steifigkeit überwiegt der Einfluss des CLT-Aufbaus (schraffierter Bereich). Für eine mögliche Lösung der Verbindung bedeutet dies, dass bereits eine Verbindung mit einer Rotationssteifigkeit von ca. 5000 kNm/(rad·m) für den Einsatz in punktgestützten Flachdecken ausreichend ist und keine vollständig biegesteife Verbindung erforderlich ist.

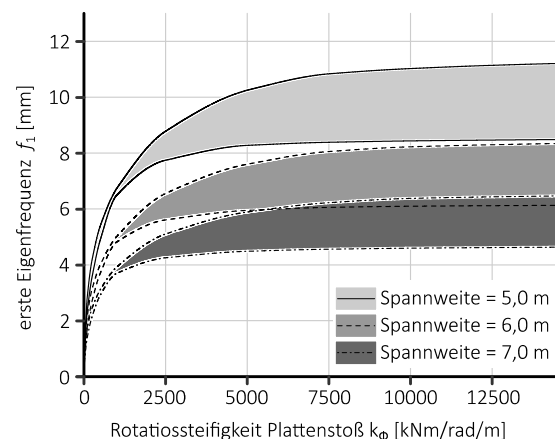


Abb. 12: Einfluss der Rotationssteifigkeit k_{ϕ} auf die erste Eigenfrequenz der Rohdecke f_1

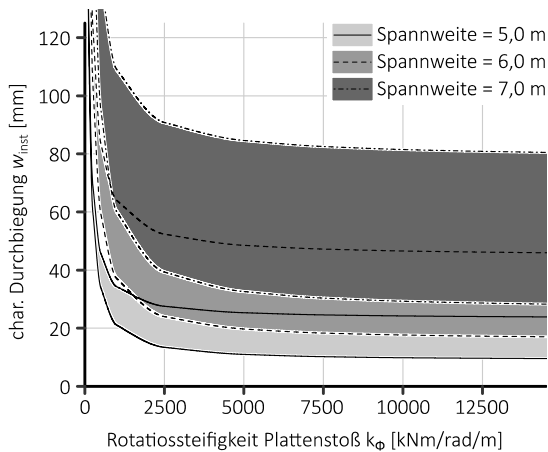


Abb. 13: Einfluss der Rotationssteifigkeit k_{ϕ} auf die maximale charakteristische Durchbiegung der Decke w_{inst}

3.2 Bekannte Lösungen

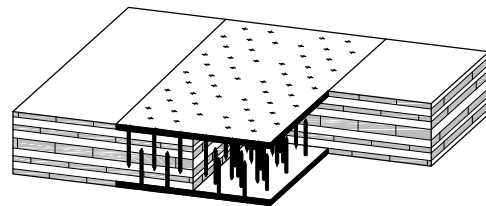
In der Literatur sind bereits verschiedene Ansätze zur Herstellung dieser Verbindung beschrieben. Häufig werden dabei Lösungen mit Laschen aus Furnierschichtholz an der Ober- und Unterseite des Stoßes angeführt. Diese Laschen werden entweder mit geneigt angeordneten Schrauben [17] oder durch Schraubenpressverklebung [18] miteinander verbunden. Eine alternative Lösung, die auf reinem Verkleben basiert, wurde in [19] präsentiert. Hierbei wird ein spezielles Zweikomponenten-Polyurethan-Gießharz in die Fuge zwischen zwei benachbarte CLT-Schmalflächen eingefüllt. Eine weitere Möglichkeit die beiden Platten mit einer Verklebung zu verbinden, stellt die Methode der eingeklebten Stahlbleche dar, wie sie von [20] vorgestellt wurde. Diese Methode wurde von [9] aufgegriffen, wobei statt Lochblechen sandgestrahlte Bleche verwendet wurden.

Neben reinen Klebeverbindungen wurde in [21] eine Methode mit Polymerbeton in einer Schwalbenschwanzverbindung präsentiert. Die Möglichkeit einer Schäftung der beiden Elemente und einer anschließenden Verstärkung mit Vollgewindeschrauben, um auch Biegemomente übertragen zu können, wurde von [22] untersucht. In [14] wurde zudem die Möglichkeit einer zentrischen Vorspannung untersucht, um den gesamten Stoß zu überdrücken. Eine Lösung für den Plattenstoß bei zweiachsig tragenden Holz-Beton-Verbunddecken wurde in [23] vorgeschlagen. Dabei werden Bewehrungsseisen in die CLT-Schmalflächen eingeklebt und im Anschluss

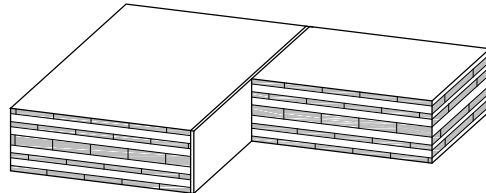
die Fuge mit Beton vergossen. Diese Variante wurde von [22] aufgegriffen und auf eine Verbindung zweier CLT-Elemente, ohne zusätzliche Betonschicht an der Plattenoberseite, reduziert.

Eine Übersicht der verschiedenen Varianten findet sich in **Abb. 14**. Ein direkter Vergleich der unterschiedlichen Varianten gestaltet sich schwierig, da in den verschiedenen Literaturquellen auch unterschiedliche Materialien und Versuchsaufbauten verwendet wurden. Daher wurden in [22] verschiedene Lösungen aus einem Versuchsprogramm gemeinsam untersucht und von Stieb et al. verglichen [14]. Dabei konnte gezeigt werden, dass neben den Lösungen mit Verklebungen sowohl die Lösung mit dem Holz-Beton-Verbundstoß als auch eine Lösung mit einem Systemverbinder mit mikroverzahnten Stahlplatten eine ausreichende Rotationssteifigkeit aufweisen.

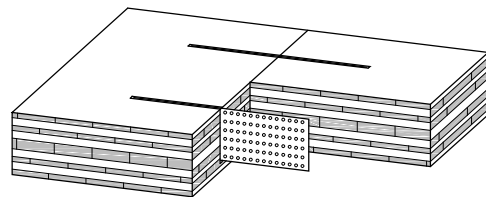
Furnierschichtholz mit Schraubenpressverklebung



Fugenverguss mit Zweikomponenten-Polyurethan-Gießharz



Eingeklebte Stahl-Lochbleche



Eingeklebte Bewehrungsseisen und Betonverguss

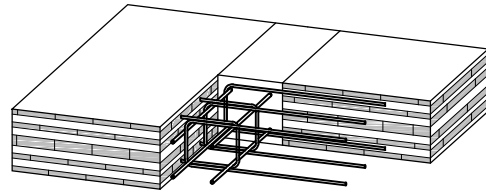


Abb. 14: Bekannte Lösungen zum biegesteifen Plattenstoß aus der Literatur unter dem Einsatz von Klebstoffen

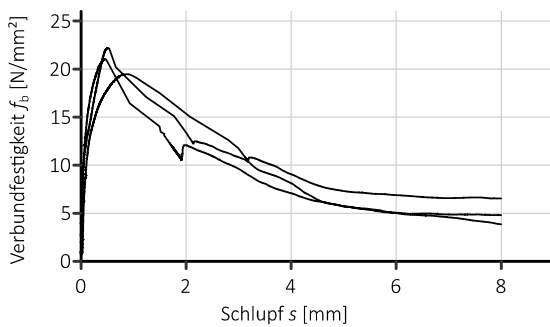


Abb. 17: Verbund-Schlupf Diagramme für Vollgewindeschrauben, $d = 13 \text{ mm}$

Basierend auf diesen Versuchen konnte die charakteristische Verbundfestigkeit der Vollgewindeschrauben gemäß [27] mit Durchmessern 9, 11 und 13 mm für die Betongüte C25/30 auf $12,5 \text{ N/mm}^2$ bestimmt werden. Für die Gewindestangen mit Holzgewinde (RTR) gemäß [27] wurden experimentell $9,0 \text{ N/mm}^2$ ermittelt.

Mittels dieser Versuche konnten Verbindungen für 4-Punkt-Biegeversuche konstruiert werden, um das Tragverhalten der Verbindung zufolge einer Biegebeanspruchung zu untersuchen. Dabei wurde die Verbindung zwischen zwei CLT-Elementen hergestellt, wobei nur Verbindungsmittel in der Zugzone des Versuchs angeordnet wurden. In diesem Beitrag werden zwei Serien aus Stieb et al. [28] präsentiert, wo auch noch weitere Versuche sowie eine detaillierte Darstellung der verwendeten Materialien zu finden sind. Auf den in **Abb. 18** gezeigten Prüfkörper mit einer Spannweite von $5,04 \text{ m}$ wird die Belastung F jeweils in den Drittelpunkten aufgebracht. Neben den globalen Durchbiegungen in Feldmitte, die mittels induktiver Wegaufnehmer aufgezeichnet wurden, kam auch ein zweidimensionales optisches Messsystem zum Einsatz, um den Bereich des Stoßes genauer zu erfassen. Diese Messergebnisse können unter anderem dazu verwendet werden, die analytischen Ansätze zur Ermittlung der Tragfähigkeit zu validieren [28].

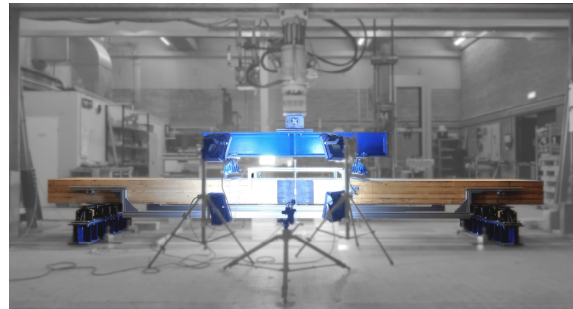
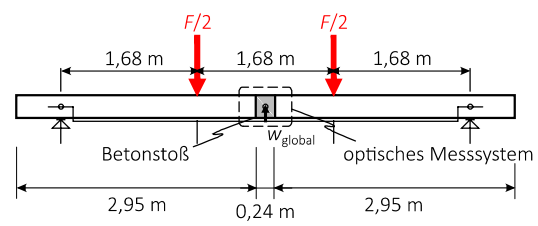


Abb. 18: 4-Punkt-Biegeversuche – Versuchsskizze

In den **Abb. 19** und **Abb. 20** sind die untersuchten Verbindungen dargestellt. Als Material wurde 9-lagiges CLT, mit einer Stärke von 280 mm mit dem Aufbau: $20|40|20|40|40|20|40|20$ und einer Breite von 800 mm verwendet. Die äußeren Lamellen sind der Festigkeitsklasse T14 (C24) zuzuordnen. Wobei die Serie 1 (**Abb. 19**) mit Decklamellen in Richtung der Spannrichtung des Plattenstreifens, und die Serie 2 (**Abb. 20**) mit Decklamellen quer dazu geprüft wurde. Für den Beton wurde die Güte C25/30-XC1 mit einem Größtkorn von 16 mm verwendet. In beiden Serien kamen Vollgewindeschrauben mit einem Durchmesser von 13 mm und einer Länge von 1000 mm als Verbindungsmittel zum Einsatz. Der Abstand der Verbindungsmittel wurde in Serie 1 mit 100 mm und in Serie 2 mit 200 mm gewählt.

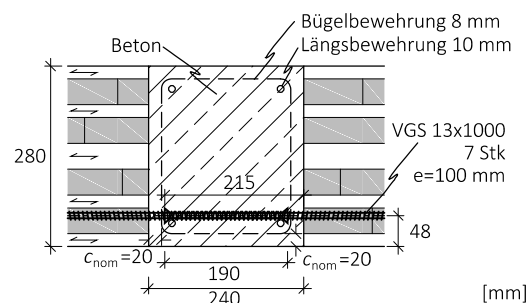


Abb. 19: 4-Punkt-Biegeversuche – Serie 1

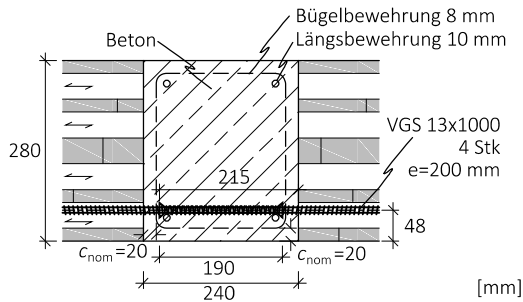


Abb. 20: 4-Punkt-Biegeversuche – Serie 2

In **Abb. 18** sind die Last-Verformungskurven der beiden Serien dargestellt. Die dargestellte Verformung bezieht sich auf die vertikale Verschiebung des Hydraulikzylinders. Die Ergebnisse sind auch in **Tab. 2** zusammengefasst. Dabei konnte mit der Serie 1 und einem Verbindungsmittelabstand von 100 mm eine mittlere Momenten-Tragfähigkeit von 126,8 kNm/m ($\text{COV} = 5\%$) erreicht werden. Bezogen auf die charakteristischen Tragfähigkeiten konnten somit ca. 70 % der ungestoßenen Platte erreicht werden. Mit der Serie 2 und einem größeren Verbindungsmittelabstand von 200 mm wurden etwas geringere Tragfähigkeiten erreicht ($m_{\text{max,mean}} = 71,1$ kNm/m, $\text{COV} = 1\%$). Aufgrund der Lagenorientierung der CLT-Elemente ergab sich hier ein geringerer Hebelarm zwischen der Verbindungsmittelreihe und der obersten Längslage. Dennoch konnten etwa 30 % der charakteristischen Tragfähigkeit der ungestoßenen Platte erreicht werden.

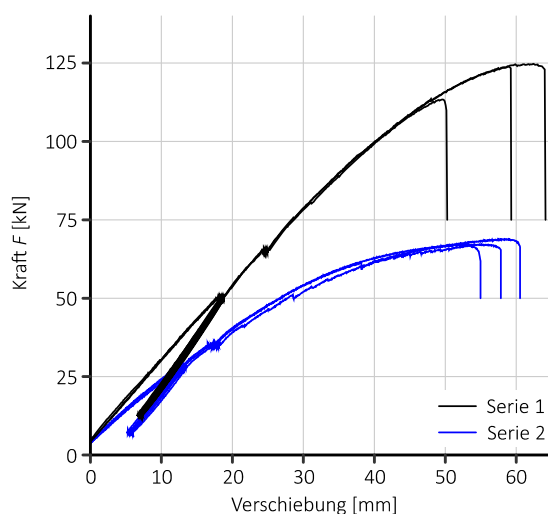


Abb. 21: Kraft-Verformungsdiagramme der Biegeversuche

Tab. 2: 4-Punkt-Biegeversuche am Plattenstoß - Tragfähigkeit

Serie	ID	F_{max} kN	M_{max} kNm	Statistische Auswertung:
1	#1	113,6	95,4	COV: 5 % M_{mean} : 101,4 kNm/m $M_{\text{Rk}}^{1)}$: 86,0 kNm/m
	#2	123,9	104,1	
	#3	124,7	104,8	
2	#1	67,2	56,5	COV: 1 % M_{mean} : 56,9 kNm $M_{\text{Rk}}^{1)}$: 48,6 kNm
	#2	67,2	56,4	
	#3	68,8	57,8	

¹⁾ nach [10]

Bei allen Versuchen kam es zu einem Stahlzugversagen der Schrauben im Übergangsbereich zwischen dem Beton und der CLT-Schmalfläche. Bei zwei Versuchskörpern der Serie 1 kam es auch bereits zu Abplatzungen des Betons im Bereich des Übergreifungsstoßes. Ein Kraftabfall wurde jedoch erst beim Stahlzugversagen der Schrauben beobachtet. Bei den Versuchskörpern der Serie 2 konnte keine Beschädigung des Betons und des CLT festgestellt werden. Eine detaillierte Darstellung der aufgetretenen Versagensmechanismen ist in [28] zu finden.



Abb. 22: Versagensmechanismen der Biegeversuche – Abplatzungen im Bereich des Übergreifungsstoßes und Stahlzugversagen der Vollgewindestchrauben

Wie bereits aus der Parameterstudie ersichtlich, ist neben der Tragfähigkeit der Verbindung auch die Rotationssteifigkeit von besonderem Interesse. Diese Steifigkeit wird benötigt, um das Tragverhalten der Decke für die Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit möglichst genau abbilden zu können. Aus den 4-Punkt-Biegeversuchen kann diese Steifigkeit durch den Vergleich der Durchbiegungen der gestoßenen Platten mit Referenzversuchen an den ungestoßenen Platten ermittelt werden [29]. Die Ergebnisse sind in **Tab. 3** zusammengefasst. Vor dem Belasten der Probekörper bis zum Versagen wurde ein Be- und Entlastungszyklus im Bereich zwischen

10 % und 40 % der geschätzten Höchstlast aufgebracht. Anhand dieses Belastungszyklus können sowohl die Erstbelastungssteifigkeit $k_{\phi,1}$ als auch die Wiederbelastungssteifigkeit $k_{\phi,2}$ ermittelt werden, wobei diese beiden Steifigkeiten deutlich voneinander abweichen. Es wird davon ausgegangen, dass durch die Anordnung der Schrauben nur im Zugbereich der Verbindung beim Einbau der Probekörper in die Prüfmaschine bereits eine leichte Vorschädigung der Verbindung aufgetreten ist. Versuche mit zusätzlichen Verbindungsmitteln im Druckbereich der Verbindung erreichten höhere Biegesteifigkeiten [29]. Des Weiteren zeigten numerische Vergleichsrechnung, dass die Wiederbelastungssteifigkeit $k_{\phi,2}$ die gemessene Eigenfrequenz deutlich genauer widerspiegelt. Trotzdem zeigt der Vergleich mit den in **Abb. 12** und **Abb. 13** dargestellten Ergebnissen der Parameterstudie, dass eine Erhöhung der bereits aus den Erstbelastungspfaden erreichten Rotationssteifigkeiten $k_{\phi,1}$ nur einen geringen Einfluss auf die Durchbiegung und die Eigenfrequenz des Deckenfelds hat.

Tab. 3: 4-Punkt-Biegeversuche am Plattenstoß - Steifigkeit

Series	ID	$k_{\phi,1}$	$k_{\phi,2}$
		kNm/(rad·m)	kNm/(rad·m)
1	#1	6130	12680
	#2	6470	12820
	#3	6890	13820
Mittelwert:		6490	13110
2	#1	3650	9030
	#2	3700	8530
	#3	3460	8340
Mittelwert:		3580	8440

Versuche zur Schubbeanspruchbarkeit

Neben der Biegebeanspruchung muss der Plattenstoß auch Schubbeanspruchungen sowohl in, als auch aus der Plattenebene aufnehmen können. Für die Schubbeanspruchung aus der Plattenebene wurden sogenannte asymmetrische 4-Punkt-Biegeversuche durchgeführt. Das entsprechende Versuchsssetup ist in **Abb. 23** dargestellt. Der wesentliche Vorteil dieses Versuchsaufbaus besteht darin, dass im Verbin-

dungsbereich die Momenten Beanspruchung minimal gehalten wird. Um die gewünschte Verteilung der Kräfte (75 % in Feldmitte und 25 % am Kragarmende) zu erhalten, wird der Zylinder exzentrisch im Viertelpunkt an der Lasteinleitungstraverse positioniert. Dadurch ergibt sich für den Stoß selbst eine Querkraft in der Höhe von 50 % der aufgetragenen Zylinderkraft F . Die Schwerachse der Verbindung wird im Nulldurchgang der Biegemomentenlinie platziert. Zusätzlich zu den Verformungen an den Lasteinleitungspunkten wurden in diesen Versuchen auch die Bereiche des Stoßes mit einem zweidimensionalen optischen Messsystem für weitere Auswertungen aufgezeichnet.

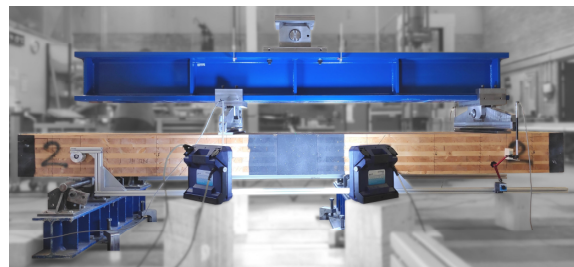
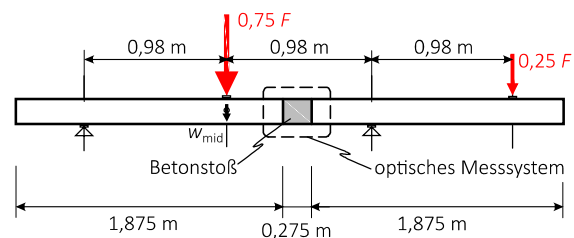


Abb. 23: Asymmetrische 4-Punkt-Biegeversuche - Versuchsssetup

In diesem Beitrag werden 3 Serien mit jeweils 3 Versuche vorgestellt (siehe **Abb. 24** bis **Abb. 26**). Die verwendeten Materialien unterscheiden sich nicht von den in Abschnitt 3.3 erläuterten Biegeversuchen. Allerdings wurden in diesem Versuchsprogramm anstatt von Vollgewindeschrauben Gewindestangen mit einem Holzgewinde (Durchmesser 16 mm, Länge 550 mm) gemäß [27] verwendet. Der Verbindungsmittelabstand wurde bei allen Serien mit 200 mm festgelegt. Die Breite des Betonkörpers beträgt 275 mm. Zwischen den Serien 1 und 2 wurde lediglich die Orientierung der Lagen geändert. In Serie 3 wurden zusätzlich zu den Gewindestangen drei unter 45° geneigt angeordnete Vollgewindeschrauben ($d = 9$ mm, Länge 320 mm) in der Schwerachse des

CLT-Elements angeordnet, um die Verbindung zu verstärken.

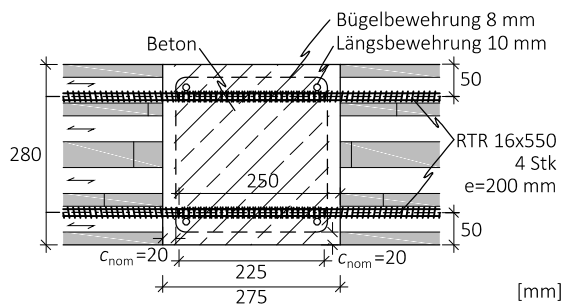


Abb. 24: Schubversuche – Serie 1

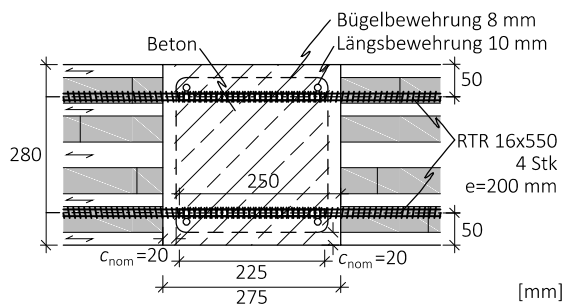


Abb. 25: Schubversuche – Serie 2

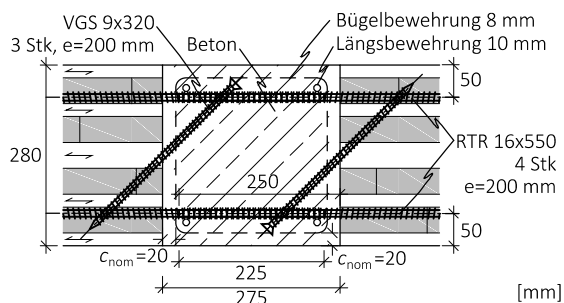


Abb. 26: Schubversuche – Serie 3

In **Abb. 27** werden die Last-Verformungskurven der drei Serien zusammengefasst, wobei die Durchbiegung unter der mittleren Lasteinleitung als Verformung w aufgetragen wird. Die Ergebnisse werden in **Tab. 4** zusammengefasst. Da es bei den meisten Versuchen zu keinem abrupten Lastabfall kam, wird die Maximalkraft F_{\max} entweder nach einem Kraftabfall von mehr als 20 %, oder einer Verformung w von 10 mm angenommen. Die Serien 1 ($F_{\max, \text{mean}} = 165,0 \text{ kN/m}$, $\text{COV} = 5 \%$) und 2 ($F_{\max, \text{mean}} = 168,2 \text{ kN/m}$, $\text{COV} = 4 \%$) erreichen ähnli-

che Maximallasten. Hier kann lediglich ein Unterschied im Verhalten nach den ersten Kraftabfällen, ab Verformungen von ca. 5 mm festgestellt werden. Wobei anzunehmen ist, dass sich die Querlagen als Decklamellen der Serie 2 hier positiv auswirken. Ein deutlicher Unterschied in Bezug auf Steifigkeit und Tragfähigkeit ist bei Serie 3 zu erkennen. Durch die drei geneigt angeordneten Vollgewindeschrauben je Seite konnte die Tragfähigkeit um ca. 80 % gesteigert werden.

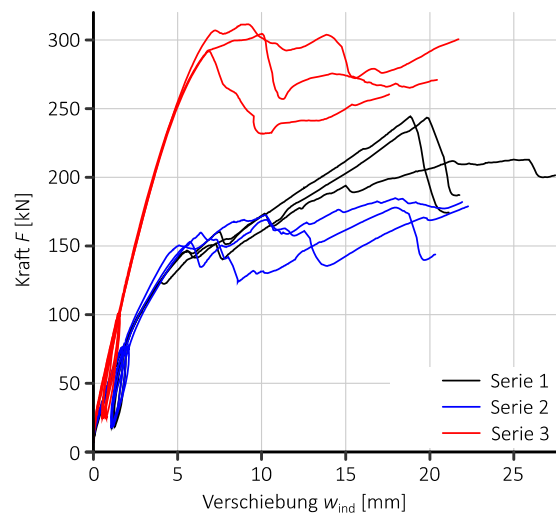


Abb. 27: Kraft-Verformungsdiagramme der Schubversuche

Tab. 4: Schubversuche am Plattenstoß - Tragfähigkeit

Serie	ID	F_{\max} kN	V_{\max} kN	Statistische Auswertung:
1	#1	168,3	84,2	COV: 5 % F_{mean} : 165,0 kN $F_{\text{Rk}}^{1)}$: 139,7 kN
	#2	155,3	77,7	
	#3	171,4	85,7	
2	#1	171,5	85,8	COV: 4 % F_{mean} : 168,2 kN $F_{\text{Rk}}^{1)}$: 143,7 kN
	#2	161,1	80,6	
	#3	172,1	86,1	
3	#1	311,6	155,8	COV: 3 % F_{mean} : 302,7 kN $F_{\text{Rk}}^{1)}$: 258,5 kN
	#2	292,0	146,0	
	#3	304,4	152,2	

¹⁾ nach [10]

Die Versagensmechanismen in den Serien 1 und 2 verliefen ähnlich. Ab einer Verformung von etwa 5 mm kam es im Bereich der Lasteinleitung zu einem Querkzugversagen. Dieses Versagen trat auf Höhe der Verbindungsmittel in Richtung des beanspruchten

Randes auf. Es wurde keine Beschädigung des Betons auf Höhe dieser Verbindungsmittel am Ende des Versuchs festgestellt. Im Anschluss an dieses Querzugversagen traten auch Abplatzungen des Betons an den Verbindungsmittelreihen, die an den unbeanspruchten Rändern des CLT-Elements liegen auf (siehe **Abb. 28**). In Serie 3 war das Ausziehversagen der geneigten Schrauben entscheidend für den Lastabfall was letztendlich zu ähnlichen Versagensbildern wie in den Serien 1 und 2 führte.

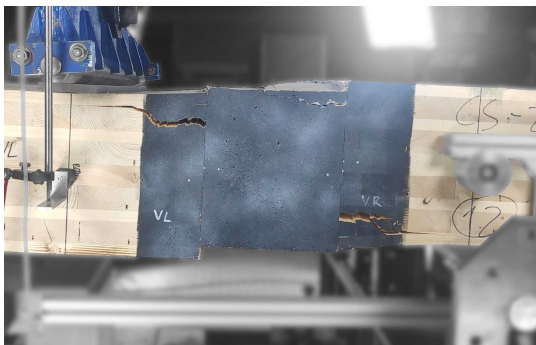


Abb. 28: Versagensmechanismen der Schubversuche – Querzugversagen im CLT und Abplatzungen des Betons auf Höhe der Verbindungsmittel zum beanspruchten Rand

Bemessungsansatz

Um die Verbindung unter einer Biegebeanspruchung bemessen zu können, ist es erforderlich, die Zugkraft in den Verbindungsmitteln zu bestimmen. Dies kann über einen Ansatz nach der Elastizitätstheorie erfolgen bei dem das Biegemoment in ein Kräftepaar aufgeteilt wird. Die Validierung dieses Ansatzes sowie die entsprechenden Formeln finden sich in [28]. Als konservativen Ansatz und um möglichen Schwindverformungen in den Querlagen Rechnung zu tragen, sollte nur den Längslagen eine Druckfestigkeit zur Aufnahme der Druckkomponente des Kräftepaars zugewiesen werden. Sobald die Zugkraft in den Verbindungsmitteln bestimmt ist, können alle erforderlichen Nachweise für die Beigebeanspruchung geführt werden. Die Bemessung des Übergreifungsstoßes oder die Verankerung der Verbindungsmittel im Beton, sollte gemäß den Vorgaben von [24] mit den in Abschnitt 3.3 erwähnten Verbundfestigkeiten erfolgen. Für die Nachweise der Verbindungsmittel im CLT, Ausziehversagen und Stahlzugversagen, können die Regelungen von [12] oder der entsprechenden ETA der Verbindungsmittel herangezogen werden.

Basierend auf dem Bemessungsansatz erweist sich das Stahlzugversagen der Schrauben als maßgebend für die in diesem Beitrag vorgestellten Serien. Unter Verwendung der in [27] vorgegebenen Gleichungen zur Bemessung der Verbindungsmittel in CLT ergibt sich eine charakteristische Biegetragfähigkeit von $M_{Rk,S1} = 74,1$ kNm für die Prüfkörper der Serie 1 und $M_{Rk,S2} = 39,5$ kNm für die Serie 2. Die Tragfähigkeiten aus dem Bemessungsansatz liegen somit auf der sicheren Seite im Vergleich zu den experimentell ermittelten Werten. Umgerechnet auf einen Meterstreifen ergeben sich bei gleichem Verbindungsmittelabstand und gleichen Randbedingungen charakteristische Biegetragfähigkeiten von 99,6 kNm/m (Serie 1) und 49,2 kNm/m (Serie 2).

Für die Bemessung der Verbindung unter einer Querkraftbeanspruchung kann die auftretende Belastung gleichmäßig auf die einzelnen Verbindungsmittelreihen aufgeteilt werden. Der Widerstand des einzelnen Verbindungsmittels kann grundsätzlich nach der Johansen-Theorie für dicke Stahlbleche gemäß [12] bestimmt werden. Reibversuche an Prüfkörpern mit Holz und Beton haben gezeigt, dass das Aufbringen einer Folie, wie sie in den Versuchen verwendet wurde, die Reibung zwischen den Bauteilen stark einschränkt (Reibbeiwerte $< 0,1$) [30]. Daher sollte der Seileffekt, auf der sicheren Seite liegend, nicht berücksichtigt werden. Wenn, wie in den hier gezeigten Serien lediglich die Mindestbetondeckung eingehalten wird, kann es dazu kommen, dass die erforderlichen Mindestabstände zum beanspruchten Rand ($a_{4,t,erf}$) gemäß [27] unterschritten werden. Um dieser Unterschreitung Rechnung zu tragen sollte die Tragfähigkeit $F_{v,Rk}$ dieser Verbindungsmittel nach Gleichung (2) entsprechend dem tatsächlichen Abstand $a_{4,t}$ abgemindert werden.

$$F_{v,Rk,eff} = F_{v,Rk} \cdot \min \left\{ \begin{array}{l} 1,0 \\ \frac{a_{4,t}}{a_{4,t,erf}} \end{array} \right. \quad (2)$$

Neben dieser Reduktion wurde auch das auftretende Biegemoment in der Fuge zwischen CLT und Beton bei den Schubversuchen berücksichtigt. Die Interaktion aufgrund einer gleichzeitigen Beanspruchung der Verbindungsmittel auf Ausziehen und Abscheren wird über einen quadratischen Ansatz berücksichtigt.

Die Tragfähigkeiten der einzelnen Verbindungsmittelreihen werden dabei addiert. Daraus ergibt sich als charakteristische Belastung der Schubversuche aus dem Bemessungsansatz eine Maximallast von $F_{Rk,S1} = 106,4 \text{ kN}$ für die Serie 1 und $F_{Rk,S2} = 105,4 \text{ kN}$ für die Serie 2. Ohne Berücksichtigung von Biegemomenten in der Fuge kann nach dem Bemessungsansatz die Verbindung mit einem Verbindungsmittelabstand von 200 mm eine Querkraft von $v_{xz} = 70 \text{ kN}$ je Laufmeter Plattenstoß übertragen werden. Sollte diese Tragfähigkeit nicht ausreichen, so kann die Verbindung mit geneigt angeordneten Schrauben verstärkt werden. Berücksichtigt man die vertikale Komponente des Auszieh Widerstands der Schrauben, kann die Tragfähigkeit am Meterstreifen um 43,9 kN/m auf 113,9 kN/m gesteigert werden. Für den Versuchskörper ergibt sich daher nach dem gezeigten Bemessungsansatz eine charakteristische Maximallast von $F_{Rk,S3} = 158,3 \text{ kN}$. Ein Vergleich mit den in **Tab. 4** erreichten Maximallasten zeigt, dass der Bemessungsansatz auch bei Schubbeanspruchungen zu konservativen Ergebnissen führt. Die Laststeigerung durch die Verstärkung mit Vollgewindeschrauben kann mit den derzeitigen Bemessungsansätzen nur auf der sehr sicheren Seite abgedeckt werden.

Der hier beschriebene Bemessungsansatz wird zusammen mit Ansätzen für die Berücksichtigung weiterer Plattenschnittgrößen und der Verbundfestigkeit der Verbindungsmittel im Beton auch in der ETA [31] sowie in [30] dargestellt.

4 Praxisbeispiel

Die beiden Lösungen, die in diesem Beitrag präsentiert werden – der Systemverbinder für die punktuelle Lasteinleitung und der Plattenstoß mit der Holz-Beton-Verbund Verbindung - wurden bereits in mehreren Projekten erfolgreich eingesetzt. Eines dieser Projekte befindet sich in Kirchheim unter Teck in der Nähe von Stuttgart (D). Bei diesem Projekt der Stadtwerke Kirchheim unter Teck wurden sowohl der Systemverbinder (*SPIDER-Connector*) als auch der Beton-Plattenstoß umgesetzt. Mit der Planung war BANKWITZ beraten planen bauen GmbH aus D-73230 Kirchheim unter Teck beauftragt, die statischen Berechnungen hat die Tragwerksplaner GmbH Furche

Geiger Zimmermann aus D-73240 Wendlingen am Neckar übernommen. Die Universität Innsbruck war hier unterstützend tätig. Es handelt sich um einen dreigeschoßigen Anbau an ein bestehendes Gebäude mit einer Bruttogrundfläche von 880 m². Im Erdgeschoß befinden sich Empfangs- und Besprechungsräume, während sich in den beiden oberen Stockwerken Büroräumlichkeiten eines Kommunalbetriebs befinden. Die Aussteifung des Gebäudes erfolgt über einen Treppenhauskern aus Beton. Der restliche Anbau erfolgte in Skelettbauweise und nicht-tragenden Holzrahmenbauwänden als Außenwände.



Abb. 29: Außenansicht Bauvorhaben

Die Deckenfelder aus CLT mit einer Größe von ca. 24,5 x 7,3 m und einer Stärke von 240 mm wurden an acht Punkten aufgelagert, was ein Stützenraster von 7,0 x 4,8 m ergibt. Für die Stützen wurden Brett-schichtholzstützen (GL28h, 300 x 300 mm) verwendet. Die punktuelle Lasteinleitung wurde durch den Einsatz von *SPIDER-Connector* Systemverbindern verstärkt. Um die Spannweite von 4,8 m zwischen den beiden Stützenreihen zu überbrücken, wurden die CLT Elemente mit der vorgestellten Holz-Beton-Verbund Verbindung biegesteif verbunden. In diesem Projekt wurden daher für jedes Deckenfeld 49 m Plattenstoß realisiert. Um die herstellungsbedingte Maximallänge der CLT-Elemente nicht zu überschreiten, mussten diese auch in dieser Richtung gestoßen werden. Diese Plattenstöße wurden versetzt angeordnet und gelenkig, mittels Vollgewindeschrauben unter einem Winkel von 45°, miteinander verbunden (siehe **Abb. 30**).

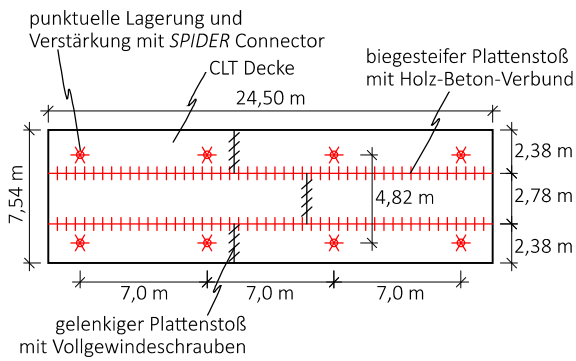


Abb. 30: Deckenplan, Skizze

Für die Herstellung der 275 mm breiten Betongasse wurden bereits werkseitig die Gewindestangen mit Holzgewinde eingebracht. Anschließend wurden die Platten auf der Baustelle mit einem Kran versetzt und der Bewehrungskorb auf einer Seite angebracht. Die zweiten Platte wurde dann seitlich eingefädelt und in Position gebracht (Abb. 31). Während der Aushärtezeiten des Betons musste die Decke unterstellt werden (Abb. 32).



Abb. 31: Vorfertigung und Montage des Plattenstoßes



Abb. 32: Versetzen der Deckenelemente mit SPIDER-Connector und Holz-Beton-Verbindung (Plattenstoß)

Im Rahmen der Fertigung wurden die untersten Lamellen der CLT-Elemente als verlorene Schalung für die Betongasse verwendet. Auf diese Weise konnte eine vollständige Holzuntersicht der punktgestützten Flachdecke realisiert werden (Abb. 33).



Abb. 33: Ansicht punktgestützte Flachdecke (Rohbau)

5 Zusammenfassung und Ausblick

Für beide Detailpunkte die sich bei der Konstruktion einer punktgestützten Flachdecke in Holz ergeben, der punktuellen Lasteinleitung als auch der biegesteifen Verbindung konnten in diesem Beitrag Lösungen präsentiert werden. Mit diesen Lösungen ist es nun möglich, punktgestützte Flachdecken aus Brettsperholz zu realisieren, die auch im Betonbau üblich sind.

Für die punktuelle Lasteinleitung wurde ein Systemverbinder vorgestellt, der neben der Querdruck- und Rollschubverstärkung auch eine Lastdurchleitung und höhere Biegemomenten Beanspruchung ermöglicht. Zur Ausbildung des Plattenstoßes wurde eine Lösung mit einem Holz-Beton-Verbund System präsentiert, die das Ausbilden einer zweiachsig gespannten Decke ermöglicht. Die Tragfähigkeit beider Lösungen wurde durch experimentelle Untersuchungen bestätigt und ihre praktische Umsetzbarkeit anhand eines Projekts demonstriert.

Obwohl beide Lösungen bereits umfassend untersucht wurden, gibt es noch weitere Aspekte, die derzeit genauer betrachtet werden. Auf Seiten des Systemverbinders wird derzeit sein biaxiales Tragverhalten und die Momenten-Rotationskapazi-

tät für die Erdbebenbemessung untersucht [32]. Bezüglich des Plattenstoßes laufen weitere Untersuchungen, die sich insbesondere mit dem Langzeitverhalten und der zweiachsigen Wirkung der Verbindung befassen [30]. Es sei jedoch angemerkt, dass durch den hier vorgestellten Plattenstoß eine unlösbare Verbindung zwischen den Elementen hergestellt wird, die durch den Einsatz von Beton auch zusätzliche Feuchtigkeit in die Konstruktion einträgt und durch die Aushärtezeiten auch entsprechende Bauzeiten mit sich bringt. Aus diesen Gründen wird derzeit auch an einem Systemverbinder auf Basis von mikroverzahnten Stahlplatten geforscht. Mit diesem kann eine trockene, biegesteife Verbindung zweier CLT-Platten mit kurzen Installationszeiten und ohne weitere Aushärtezeiten realisiert werden [33].

6 Literaturverzeichnis

- [1] Bogensperger, T. & Silly, G. (2014): Zweiachsige Lastabtragung von Brettsperrholzplatten. Bau-technik 91(10)
- [2] Mestek, P. (2012): Punktgestützte Brettsperrholz-konstruktionen - Schubverstärkungen mit Vollgewindeschrauben, in: Görlacher, R. (Hrsg.): Karlsruher Tage: Holzbau – Forschung für die Praxis, KIT Scientific Publishing, ISBN 978-3-86644-913-8
- [3] Bejtka, I. (2005): Verstärkung von Bauteilen aus Holz mit Vollgewindeschrauben. Dissertation Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
- [4] Dietsch, P.; Rodemeier, S. & Blaß, H.J. (2019): Transmission of perpendicular to grain forces using self-tapping screws, in: Proceedings of the 6th meeting of INTER, Paper 57-7-11, Tacoma, USA
- [5] Maderebner, R.; Rathien, L.; Stieb, T. & Tomasi, R. (2024): Reinforcements for compression perpendicular to grain of CLT elements with fully threaded screws: experimental validation of the design model, in: Proceedings of the 11th meeting of INTER, Paper 57-7-11, Padova, Italy
- [6] Fast, P. (2016): Case Study: An 18-storey tall timber hybrid student residence at the University of British Columbia, Internationales Holzbau Forum, Garmisch-Partenkirchen, Deutschland.
- [7] Muster, M. (2020): Column-Slab Connection in Timber Flat Slabs. Dissertation, ETH Zürich
- [8] Maderebner, R. (2017): Verbindungsvorrichtung zum Auflagern eines Holzelements. International Patent WO 2017/093490; Invention disclosure 2011
- [9] Maurer, B. (2020): Lösungsansätze für punktgestützte Flachdecken aus Brettsperrholz. Dissertation, Universität Innsbruck
- [10] EN 14358: 2016-10. Holzbauwerke - Berechnung und Kontrolle charakteristischer Werte
- [11] Maurer, B. & Maderebner, R. (2020): Cross Laminated Timber under Concentrated Compression Loads – Methods of Reinforcement. Engineering Structures Vol. 245, 112534
- [12] ÖNORM EN 1995-1-1:2019-06. Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau (konsolidierte Fassung)
- [13] ETA-19/0700 (2020): SPIDER connector und PIL-LAR connector. ROTHOBLAAS SRL. Österreichisches Institut für Bautechnik. Wien, Österreich
- [14] Stieb, T.; Maurer, B., Bestler, M.; Dietsch, P. & Maderebner, R. (2023): Solutions for edge connections to build two-way spanning cross laminated timber slabs. In Proceedings of the World Conference on Timber Engineering (WCTE 2023), Oslo, Norway (pp. 1322-1329)
- [15] Arnold, M.; Maderebner, R.; Dietsch, P. & Winter, S. (2023): Diagonallagenholz (DLH) – Ressourceneffizienz durch diagonale Orientierung einzelner Lagen: Bestimmung der Steifigkeitsparameter und Verformungsanalysen. Bautechnik, 100(8), 444-462
- [16] ÖNORM EN 1990:2013-03. Eurocode - Grundlagen der Tragwerksplanung (konsolidierte Fassung) (konsolidierte Fassung)
- [17] Asselstine, J.; Lam, F. & Zhang, C. (2021): New edge connection technology for cross laminated timber (CLT) floor slabs promoting two-way action, Engineering Structures 233
- [18] Wallner-Novak, M.; Koppelhuber, J. & Pock, K. (2013): Brettsperrholz Bemessung: Grundlagen für Statik und Konstruktion nach Eurocode, proHolz Austria
- [19] Zöllig, S.; Frangi, A.; Franke, S. & Muster, M. (2016): Timber structures 3.0—new technology for multi-axial, slim, high performance timber structures. In Proc. 14th World Conference on Timber Engineering (WCTE 2016), Vienna, Austria

- [20] Bathon, L.; Bletz-Mühldorfer, O.; Diehl, F.; Schmidt, J.; Wagner, A. & Weil, M. (2014): Anwendungen von eingeklebten Lochblechen unter statischen sowie ermüdenden Einwirkungen. In 20. Internationales Holzbau-Forum IHF 2014, Garmisch, Germany
- [21] Maurer, B.; Maderebner, R.; Zingerle, P.; Färberböck, I. & Flach, M. (2018): Point-supported flat slabs with CLT panels. In Proc. 15th World Conference on Timber Engineering (WCTE 2018), Seoul, Korea
- [22] Bestler, M. (2021): Plattenstoßausführungen von Brettsperrholz: ein Beitrag für punktgestützte Flachdecken aus Brettsperrholz, Masterarbeit, Universität Innsbruck
- [23] Loebus, S.; Dietsch, P. & Winter, S. (2017): Transmission of perpendicular to grain forces using self-tapping screws, in: Proceedings of the 4th meeting of INTER, Paper 50-12-7, Kyoto, Japan
- [24] ÖNORM EN 1992-1-1:2015-02. Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau (konsolidierte Fassung)
- [25] Wildermuth, A. (2013): Untersuchungen zum Verbundverhalten von Bewehrungsstäben mittels vereinfachter Versuchskörper. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton DAfStb Heft 609
- [26] ÖNORM EN 10080:2005-09. Stahl für die Bewehrung von Beton - Schweißgeeigneter Betonstahl - Allgemeines
- [27] ETA-11/0030:2022-01-18. Rotho Blaas Self-tapping screws and threaded rod, ETA-Danmark A/S
- [28] Stieb, T.; Maderebner, R. & Dietsch, P. (2023): A Timber–Concrete–Composite Edge Connection for Two-Way Spanning Cross-Laminated Timber Slabs—Experimental Investigations and Analytical Approach. Buildings, 13(12), 3004
- [29] Stieb, T. (2024): Biegesteifer Plattenstoß zwischen Brettsperrholzelementen – eine Lösung mit Holz-Beton-Verbund, Doktorandenkolloquium Holzbau Forschung + Praxis, Stuttgart, Deutschland
- [30] Stieb, T.: Biegesteife Verbindungen von Brettsperrholzelementen (Arbeitstitel), Dissertation, Universität Innsbruck, Stand Juli 2024
- [31] ETA-22/0806:2023-05-26. Rotho Blaas Timber-Concrete Fusion System TC Fusion, ETA-Danmark A/S
- [32] Jahn, L. (2024): Biaxiale Beanspruchbarkeit einer Auflagerverstärkung für punktgestützte Flachdecken aus Brettsperrholz, Masterarbeit, Universität Innsbruck
- [33] Tabelander, R.: Lösungsansätze für eine trockene biegesteife Verbindung von Brettsperrholzelementen (Arbeitstitel), Dissertation, Universität Innsbruck, Stand Juli 2024

Danksagung

Die Autoren möchten sich bei den Projektpartnern der beiden Forschungsprojekte »SPIDER« und »STS – slab to slab« bedanken die diesen Themenkomplex behandelt haben, der *Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft (FFG)* und dem Industriepartner *ROTHOBLAAS SRL* aus Kurtatsch, Italien. Für das Durchführen der experimentellen Untersuchungen sei den Mitarbeitern der *Technischen Versuchs- und Forschungsanstalt (TVFA)* der Universität Innsbruck gedankt.

Autoren

Dipl.-Ing. Dr. techn. Roland Maderebner
Dipl.-Ing. Thomas Stieb

Universität Innsbruck
Institut für Konstruktion und
Materialwissenschaften –
Arbeitsbereich Holzbau
Technikerstraße 13
A-6020 Innsbruck

Dipl.-Ing. Dr. techn. Bernhard Maurer
Köppl Ingenieure
Steinböckstraße 1
D-83022 Rosenheim

Kontakt:
roland.maderebner@uibk.ac.at