

## CLT\_WALL\_mod+joint

Gebäudemodellierung unter Berücksichtigung steifigkeitsreduzierender Wandöffnungen und lös- und rückbaubarer Fügetechnik

<b>Programm / Ausschreibung</b>	IWI 24/26, IWI 24/26, Basisprogramm Ausschreibung 2024	<b>Status</b>	abgeschlossen
<b>Projektstart</b>	01.10.2023	<b>Projektende</b>	31.12.2024
<b>Zeitraum</b>	2023 - 2024	<b>Projektlaufzeit</b>	15 Monate
<b>Keywords</b>			

### Projektbeschreibung

Gebäude/Tragwerke müssen in der Lage sein die auftretenden Beanspruchungen sicher und zuverlässig abzutragen. Die real räumlich wirkende (3D-) Tragstruktur wird dabei oftmals in einfacher berechenbare, ebene (2D-) Bauteile zerlegt und auf deren Basis berechnet. Im Zuge dieser Transformation sind Annahmen zu treffen, die zu konservativen Dimensionierungsergebnissen führen; z. B. werden Wandabschnitte "über Eck" vernachlässigt. Als Folge der konservativen Rechenansätzen, fallen auch die von den Verbindungen/Verbindungsmitteln zu übertragenden Kräfte (Schnittgrößen) tendentiell höher aus. Die Schnittgrößen sowie Verformungen schubbeanspruchter Brettsperrholz (BSP)-Wände werden weiters durch Öffnungen (z. B. Türen und Fenster) signifikant beeinflusst. Dabei treten in den Ecken der Öffnungen lokale Zonen ("singuläre" Punkte) auf, für die dzt. keine transparenten und rationalen Berechnungsmethoden bekannt sind. Auf Grund der geschilderten Themenstellungen ist in der Berechnung der Beanspruchung und der Dimensionierung schubbeanspruchter BSP-Wände stets das Eingreifen einer fachkundigen Person erforderlich. Dies steht aber der Erfordernis einer effizienten Planung zur Aufrechterhaltung der zukünftigen Wettbewerbsfähigkeit wie sie die zunehmende Digitalisierung im Baubereich bzw. die Anwendung moderner Planungsmethoden wie "Building Information Modelling (BIM)" eigentlich ermöglichen würden, entgegen. Dieses Forschungsprojekt soll für die Implementierung der genannten Bereiche die erforderliche Basis liefern. Zusätzlich soll in diesem Projekt der Frage nachgegangen werden, in welchen Fällen und unter Einhaltung welcher geometrischen und sonstigen Randbedingungen nachweisfreie Öffnungen in der Holz-Massivbauweise umgesetzt werden können. Weiters sollen Variantenstudien und Detailentwicklungen für alternative Bauweisen (z. B. "Balloon-Frame" ähnliche Tragsysteme mit über mehrere Geschosse laufende Wände und eingehängte Decken) erarbeitet und deren praktische Umsetzbarkeit untersucht werden.

Wie erwähnt ist die Auslegung der Verbindungsmittel bzw. der Verbindungen in der Wand-Decken-Fuge von der Tragwerksmodellierung und den sich daraus ergebenden Kräften (Schnittgrößen) beeinflusst, wobei diese in Wechselwirkung mit den mechanischen Kenngrößen der Fügetechnik interagieren. Die Verbindungstechnik im Holzbau ist im Gegensatz zu anderen Technikbereichen, wie z. B. dem Maschinenbau, nicht systematisch strukturiert. Für eine zielgerichtete Entwicklung hin zum Branchenziele, ausgedrückt in der Gleichung "Bausystem (und Komponenten) = (standardisiertes) Bauprodukt +

(standardisierte) Verbindung", scheint die Vorgabe und Definition von Prinzipien und Grundsätzen daher zwingend erforderlich zu sein. Die Aktivitäten im Projekt "CLT\_WALL\_mod+joint" werden dazu beitragen die dynamische, mit massgebenden Beiträgen aus Österreich stattgefundene, Entwicklung der Holz-Massivbauweise weiter aufrecht zu erhalten und damit zum weiteren Erfolg dieses umweltfreundlichen und nachhaltigen Holzbauproduktes beizutragen. Neben einer möglich scheinenden Effizienzsteigerung und Optimierung der Verbindungen (z. B. durch Multi-Funktionalität bspw. "Tragen" und "Dichten"), bedingt durch eine verbesserte Modellbildung im ersten Projektteil, tritt durch die aktuellen Entwicklungen das Thema der Nachhaltigkeit verstärkt in den Vordergrund: Auf Grund der dzt. verwendeten Verbindungstechnik im Holzbau sind die Bauteile nicht ohne Beschädigung, oft auch nicht ohne Zerstörung wiederverwendbar. Es bedarf daher der systematischen Entwicklung lös- und rückbaubaren Fügetechniken für den Holzbau. Diesem Aspekt soll im Projekt durch Entwurf, Berechnung und Prüfung von Prototypen, mit dem Ziel einer Impulsetzung für die Branche, Rechnung getragen werden.

Wesentliche Zielsetzungen des Projektes sind:

(I) zur Modellbildung

- a. Schaffung einer Basis für eine automatisierte (3D-) Berechnung von Geschoßbauten aus BSP (= Basis für BIM)
- b. Entwicklung eines nachvollziehbaren, rationalen Berechnungs- und Nachweisverfahrens für BSP-Wände mit Öffnungen
- c. Definiton und Ausarbeitung von geometrischen und sonstigen Randbedingungen für nachweisfreie Öffnungen (z. B. Größe und Lage von Öffnungen; ähnlich den Regelungen im Ziegel-Massivbau)
- d. Variantenstudien und Detailentwicklungen für alternative Bauweisen

(II) zur Verbindungstechnik

- e. Systematisierung der Fügetechnik im Holzbau und systematische Entwicklung effizienter, einfach anzuwendender, lös- und rückbaubarer respektive demontierbarer Verbindungssysteme für BSP-Wände (inkl. Abbund und Roboterfertigung)
- f. Entwicklung und Prüfung von Prototypen für ausgewählte lös- und rückbaubarer Verbindungssysteme

## **Endberichtkurzfassung**

Allgemeines

Gebäude/Tragwerke müssen in der Lage sein die auftretenden Beanspruchungen sicher und zuverlässig abzutragen. Die real räumlich wirkende (3D-) Tragstruktur wird dabei oftmals in einfacher zu berechnende, ebene (2D-) Bauteile zerlegt und auf deren Basis analysiert. Im Zuge dieser Transformation sind Annahmen zu treffen, die oftmals zu konservativen Berechnungsergebnissen führen. Als Folge der konservativen Ansätze fallen auch die, von den Verbindungen bzw. von den Verbindungsmitteln – insbesondere in der Wand-Decken-Fuge – zu übertragenden Kräfte (Schnittgrößen) tendenziell zu hoch aus. Weiters werden die Schnittgrößen sowie Verformungen schubbeanspruchter Brettsperrholz (BSP-) Wände durch Steifigkeitsreduzierende Öffnungen (z. B. Türen und Fenster) unter Umständen signifikant beeinflusst. In den Ecken der Öffnungen treten lokale Zonen ("singuläre" Punkte) auf, für die dzt. keine transparent nachvollziehbaren Berechnungsmethoden bekannt sind. Die Komplexität wird weiters dadurch erhöht, dass die Schnittgrößen zusätzlich von den mechanischen Kenngrößen – insbesondere der Steifigkeit – der Verbindungstechnik abhängen und die genannten Faktoren interagieren.

Die Verbindungstechnik im Holzbau ist im Gegensatz zu anderen Technikbereichen, wie z. B. dem Maschinenbau, nicht durchgehend systematisch strukturiert. Für eine zielgerichtete weitere Entwicklung, ausgedrückt durch die Gleichung

"Bausystem (und Komponenten) = (standardisiertes) Bauprodukt + (standardisierte) Verbindung", scheint die Vorgabe und Definition von Prinzipien und Grundsätzen jedoch zwingend erforderlich zu sein. Neben einer Effizienzsteigerung (z. B. durch Multi-Funktionalität bspw. "Tragen" und "Dichten") und Optimierung der Verbindungen durch eine verbesserte Modellbildung, tritt zunehmend auch eine weitere Anforderung in den Vordergrund: Auf Grund der dzt. verwendeten Verbindungstechnik im Holzbau sind die Bauteile nicht ohne Beschädigung, oft auch nicht ohne Zerstörung aus dem Bestand entfernbare. Um zu einer nachhaltigen Entwicklung beizutragen, bedarf es daher der systematischen Entwicklung einer lös- und rückbaubaren Verbindungstechnik für die Massivholzbauweise mit BSP.

#### Projektergebnisse „Modellbildung“

Beginnend mit den allgemeinen Grundlagen der Modellbildung für mehrgeschossige Holz-Hochbauten aus BSP wurde eine einfache baustatische Modellbildung für die „manuelle“ Berechnung von Hand ausgearbeitet. Obwohl die Berechnung heute im Allgemeinen mittels Softwareprogrammen, in Zukunft möglicherweise mit in BIM-Systemen eingebetteten, automatisiert ablaufenden Programmen durchgeführt wird, sind solche Modelle für die Abschätzung der Gültigkeit von Berechnungsergebnissen und zu Kontrollzwecken erforderlich. In weiterer Folge wurden ausgewählte Tragwerke mit verschiedenen Modellbildungen und in unterschiedlichen Detailierungsgraden mit Hilfe gängiger und auch von kleineren Ingenieurbüros leistbarer Softwarepakete berechnet. Dabei zeigte sich, dass die verwendeten Programme einerseits entweder wichtige Parameter wie die orthotrope Scheibentragwirkung, realitätsnahe Steifigkeitsmatrizen der Verbindungstechnik, den steifigkeitsvermindernden Einfluss von Wandöffnungen u. a. m. nicht oder nur unzureichend berücksichtigen und andererseits die Bedienung der Programme aufwändig und wenig intuitiv ist. Ein weiterer essentieller Punkt betrifft die Überprüfung der Eingabe und Ergebnisse, die kaum zuverlässig kontrolliert werden kann, jedenfalls unübersichtlich ist. Aus den Ergebnissen wurde der Schluss gezogen, dass im weiteren Projektverlauf Software-Tools zur Verfügung programmiert werden sollen, die dem Anforderungsprofil entsprechen, zumindest aber einen Impuls zu Verbesserungen setzen sollen. Schließlich wurde, alternativ zur vorherrschenden geschoßweisen Errichtung, die „balloon-type“-Bauweise für BSP-Hochbauten mit durchlaufenden Wänden und eingehängten Decken untersucht, deren Einsatz aber nur für Sonderbauwerke empfohlen werden kann.

#### Projektergebnisse „Nachweisverfahren für Öffnungen in BSP-Wänden“

Die Ausführungsvariante für BSP-Wände, bei der aus dem wandgroßen BSP-„Mother-Panel“ die Fenster- und Türöffnungen mittels Sägeschnitt herausgetrennt werden weist baustatische Vorteile auf, weil über das Parapet und die Stürze eine relativ hohe Steifigkeit erhalten bleibt und somit ein Großteil der Wandsteifigkeit für die Lastabtragung genutzt werden kann; insbesondere können damit kurze Wandscheiben mit hohen, durch die Verbindungstechnik abzutragenden Kräften vermieden werden. Damit zusammenhängend ergibt sich jedoch die Erfordernis einer zuverlässigen Nachweisführung der Spannungen im Bereich der Öffnungen – insbesondere in den Eckbereichen. Dies stellt eine besondere mechanische Herausforderung dar, weil bei der üblichen, elastischen Berechnung in einer „scharfen“ Wandecke durch die Einwirkungen theoretisch unendlich hohe Spannungen auftreten.

Dazu wurden zunächst Strategien zum Umgang mit diesen „singulären“ Punkten erarbeitet, wobei versucht wurde Analogien zu anderen Bauweisen zu nutzen. Es zeigte sich, dass eine „Umgehung“ der rechnerisch unendlich hohen (elastischen) Spannungen durch eine Ausrundung der Ecken, die in der Praxis auf Grund der Fräsmöglichkeit (übliche Durchmesser des

Fingerfräzers 40 mm) ohnehin real auftreten, in den FEM-Berechnungen mit unterschiedlicher Diskretisierungsstufen zu konvergierenden, endlichen Spannungswerten führt. Mit dem „Gitterstabmodell“ und dem entwickelten Konzept der „gemittelten Spannungen“ kann, basierend auf numerischen Berechnungen, zumindest ein näherungsweiser Spannungsnachweis geführt werden kann. Aus der Kalibrierung auf Basis der wenigen veröffentlichten Prüfergebnisse kann eine, für die Ingenieurpraxis, ausreichende Genauigkeit abgeleitet werden. Diese Aussage beruht auf der Durchführung einer umfassenden Parameterstudie unterschiedlicher Verfahren mit numerischen Methoden (FEM). Für eine normative Berücksichtigung sind jedoch weitere Erkenntnisse zur Spannungsinteraktion der BSP-Aufbauten bei kombinierter Schub und Querzugbeanspruchung sowie zusätzlich Prüfdaten zur Kalibrierung des numerischen Modells erforderlich.

#### Projektergebnisse „Entwicklung und Prüfung einer lös- und rückbaubaren Verbindungstechnik für BSP-Bauteile“

Die massiven Wände aus Brettsperrholz sind für einen mehrmaligen Einsatz im Kreislaufzyklus prädestiniert. Die dzt. verwendete Verbindungstechnik (z. B. Stahlblechwinkel mit Rillennägeln oder Holzschrauben) ist jedoch i. Allg. nicht oder nur mit unwirtschaftlichem Aufwand lösbar, sodass die Bauteile und Verbindungen im Zuge einer Demontage beschädigt, in manchen Fällen zerstört werden. Auch wenn die aktuell eingesetzte Verbindungstechnik viele Anforderungen brauchbar erfüllt, kann diese in mancher Hinsicht optimiert werden.

In der bisherigen Bearbeitung wurde Wert auf eine systematische Vorgangsweise zum Aufbau einer BSP-spezifischen Verbindungstechnik gelegt, womit die Erfolgsaussichten für die Entwicklung deutlich erhöht werden können und zusätzlich die Ausbildung im Bereich der Verbindungstechnik verbessert werden kann. Zunächst wurden dazu Grundlagen der Verbindungstechnik zusammengestellt, wobei besonderer Wert auf die Übertragung von Wissen und systematische Entwurfsmethodik aus anderen Technikbereichen – besonders dem Maschinenbau – gelegt wurde.

In weiterer Folge wurde ein System von Kontaktfugen von 2D-BSP-Bauteilen vorgeschlagen. Auf Basis allgemeiner Gestaltungsgrundregeln und -prinzipien („Eindeutigkeit“ | „Einfachheit“ | „Sicherheit“ | ergänzend: „Robustheit“ | „Herstellung im stationären Produktionswerk und Montage“ | „Nachhaltigkeit“ | „Kosten-Nutzen-Verhältnis“) wurden zunächst gezielt „Prinziplösungen“ für lösbare Verbindungen identifiziert bzw. entwickelt. Die Lösungen bilden bewusst unterschiedliche Prinzipien ab, mit denen nachfolgend durch Adaptierung, Optimierung und Anpassung, (bei vorübergehendem Verzicht der Berücksichtigung zunächst untergeordneter Eigenschaften (z. B. bauphysikalische Anforderungen)), eine möglichst breite Basis von „Grundbausteinen“ generiert wurden. Durch Assemblierung der „Grundbausteine“ zu Verbindungssystemen ist eine gezielte Erreichung von Eigenschaftsprofilen umsetzbar. Für ausgewählte Varianten wurde sog. „Demonstrationsobjekte“ im Maßstab 1:1 hergestellt, die durch Adaptierung, Optimierung und Anpassung zu weiteren Varianten führten. Anschließend wurden ausgewählte Varianten zur Abklärung des Tragverhaltens und einer Abschätzung der erreichbaren Kenngrößen in Kleinserien prüftechnisch untersucht.

Im Unterschied zur üblichen Verbindungstechnik für BSP-Bauteile wurde dazu zunächst ein "separater" bzw. "spezialisierter" Ansatz verfolgt, bei dem die Lastabtragung über die Wand-Decken-Wand Kontaktfugen über, auf Abscheren und getrennt auf Zug beanspruchte (Teil-) Verbindungen erfolgt. Eine einfache Möglichkeit der Übertragung von Abscherkräften in und normal zur Wandebene kann durch (Buchen-) holz-, Kunstharzpressholz- oder Glasfaserdübel umgesetzt werden. Für die Zugkraftstein-/ausleitung bietet sich einerseits die indirekte Variante mit querliegenden metallischen Verbinderbauteilen (ähnlich jenen im Möbelbau) oder direkt, mit einem Zugsystem mit VG-Holzbauschrauben und Stahlblech bzw.

Stahlhohlprofil und deckenübergreifende Kopplung über Gewindestangen an.

Die beschriebene Entwicklung für lösbare Verbindungen wird im weiteren Projektverlauf für Anschlüsse an den Untergrund bzw. das Fundament und die sonstigen typischen Kontaktfugen für BSP-Bauteile weiter geführt.

## **Projektpartner**

- Holz.Bau Forschungs GmbH