

Exzellenzcluster IntCDC – Integratives computerbasiertes Planen und Bauen für die Holzbau-Architektur

Jan Knippers
Universität Stuttgart
Stuttgart, Deutschland



Exzellenzcluster IntCDC – Integratives computerbasiertes Planen und Bauen für die Holzbau-Architektur

1. Übergeordnete Ziele von IntCDC

Der Exzellenzcluster IntCDC ist ein von der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördertes Projekt der Grundlagenforschung, an dem sich 120 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler an der Universität Stuttgart und dem Max Planck Institut für Intelligente Systeme in Stuttgart mit den drängendsten Fragen der Zukunft des Bauens beschäftigen.

Die Herausforderung an das Bauen besteht darin, die Bauintensität für eine weiterhin wachsende Weltbevölkerung drastisch zu erhöhen, dabei aber gleichzeitig weniger Schadstoffe zu emittieren, weniger endliche Ressourcen zu verbrauchen und darüber hinaus noch eine qualitätsvolle und lebenswerte gebaute Umwelt zu schaffen. In einem sich wechselseitig beeinflussenden Prozess müssen hierfür sowohl die Produktivität der Bauprozesse als auch die Energie- und Ressourceneffizienz der Bausysteme verbessert werden. Nur mit einer konsequenten Digitalisierung und Integration von Planungsmethoden und Fertigungsprozessen lassen sich diese gegenläufigen Ziele in Einklang miteinander bringen.

Die Wissenschaftler*innen in IntCDC wollen das volle Potential digitaler Technologien nutzen, um das Planen und Bauen in einem integrativen und interdisziplinären Ansatz neu zu denken und damit die methodischen Grundlagen für eine umfassende Modernisierung des Bauschaffens zu legen. Eine zentrale Zielsetzung ist die Entwicklung einer übergeordneten Methodologie des «Co-Design» von Methoden, Prozessen und Systemen, basierend auf interdisziplinärer Forschung zwischen den Bereichen Architektur, Bauingenieurwesen, Ingenieurgeodäsie, Produktions- und Systemtechnik, Informatik und Robotik sowie Geistes- und Sozialwissenschaften. So sollen Lösungswege für die ökologischen, ökonomischen und sozialen Herausforderungen aufgezeigt und die Voraussetzungen für eine qualitätsvolle, lebenswerte und nachhaltige gebaute Umwelt sowie für eine digitale Baukultur geschaffen werden.

2. Die Rolle des Holzbaus auf dem Weg zum Klimaneutralen Bauen

Es wird nicht ein Bausystem geben, das an allen Orten der Welt für alle Herausforderungen an das zukünftige Bauen geeignete Lösungen anbieten kann. Im Gegensatz zu den allermeisten Forschungsinitiativen verfolgt der Exzellenzcluster IntCDC daher ganz bewusst verschiedene Technologiestränge parallel. Zum einen die Entwicklung von CO₂ reduzierten und leichten Betonbauweisen, zum zweiten den Holzbau als Ersatz bei mehrgeschossigen Bauten und schließlich die Faserverbundbauweise für weit spannende Tragwerke und als Beispiel, dass die grundlegende und ergebnisoffene Erkundung der Möglichkeiten der Digitalisierung auch ganz neue und genuin digitale Bauweisen ermöglicht. Mit der systematischen, ganzheitlichen und interdisziplinären Erforschung des integrativen, computerbasierten Planens und Bauens will der Cluster methodische Grundlagen schaffen, die dann unabhängig von dem jeweils betrachteten Technologiestrang für eine grundlegende Modernisierung der Planungs- und Bauprozesse genutzt werden können.

Der Baustoff Holz spielt als Ersatz für den emissionsintensiven Baustoff Beton und als temporärer CO₂ Speicher eine besondere Rolle auf dem Weg zum klimaneutralen Bauen, da der genauere Blick in die Verursacherströme zeigt, dass der größte Anteil an CO₂ Emissionen, die mit dem Bauen verbundenen sind, auf die Herstellung von Zement und anderen mineralischen Bindemitteln zurückzuführen ist [1]. Das Bauen mit Holz wird noch auf lange Zeit den Stahlbeton nicht ersetzen können, da Holz eine beschränkte und nicht überall verfügbare Ressource ist und da der Holzbau für einige Aufgaben wenig geeignet

scheint, z.B. für Infrastrukturbauten. Inzwischen belegen sehr viele Studien die ökologischen Vorteile des Holzbaus bei Geschossbauten, Wohnhäusern und ähnlichem, so dass in diesen Fällen dem Holzbau der Vorzug gegeben werden sollte [2].

Der Holzbau hat in den letzten Jahren durch einige viel publizierte Bauwerke gezeigt, dass es auch für große und hohe Geschossbauten geeignet ist. Gleichzeitig zeigt sich aber auch, dass der Baustoff Holz noch nicht die gleichen konstruktiven Gestaltungsspielräume ermöglicht, wie Stahl oder Beton. Holzbauten sind meist auf regelmäßige Stützenraster, vorwiegend einachsig spannende Deckensysteme und eher mäßige Spannweiten beschränkt [3].

3. Die Holzbauforschung in IntCDC



Abbildung 1: BUGA Holzpavillon, Bundesgartenschau Heilbronn, 2019 Quelle: ICD/ITKE Universität Stuttgart

Grundlegende Vorarbeit für die Holzbauforschung im IntCDC war der BUGA Holzpavillon. Sein Ziel war zu zeigen, wie robotische Fertigungsprozesse der regionalen und nachwachsenden Ressource Holz sowie der mittelständisch geprägten Holzbauindustrie neue Möglichkeiten eröffnen. Lastangepasste und damit materialeffiziente Schalenträgerwerke sind in der heutigen Baupraxis auf Grund des hohen Aufwandes für die Herstellung so gut wie ausgestorben. Für den BUGA Holzpavillon wurde als Alternative zu traditionellen Schalensystemen ein System entwickelt, bei dem eine doppelt gekrümmte Geometrie aus ebenen Kassetten zusammengesetzt wird [4], [5]. Dies erfordert, dass jede der 376 Kassetten des BUGA Holzpavillons unterschiedliche geometrische Abmessungen hat.

Jede dieser Kassetten besteht aus zwei Platten und sechs Randbalken mit jeweils unterschiedlicher Geometrie, was nur mit einer computergestützten Fertigung sinnvoll herstellbar ist.

Die Bauform des Pavillons ermöglicht es, den geometrischen Gestaltungsspielraum sowie die konstruktive Leistungsfähigkeit einer neuen Bauweise zu erproben und zu demonstrieren, ohne gleich alle funktionalen Anforderungen hinsichtlich Akustik, Brandbeständigkeit, Dauerhaftigkeit etc. erfüllen zu müssen, die üblicherweise mit Gebäuden verbunden sind. Ziel von IntCDC ist aber die Übertragung der für den BUGA Holzpavillon entwickelten Ideen zu Planung und Fertigung auf den allgemeinen Geschossbau.



Abbildung 2: Robotische Fertigung für Kassetten BUGA Holzpavillon. Quelle: ICD/ITKE Universität Stuttgart

Bei üblichen Baukonstruktionen verursachen die Decken sowohl bei der Herstellung aber auch aus Perspektive des Lebenszyklus den höchsten Anteil an CO₂ Emissionen [6]. Erst mit einem gewissen Abstand folgen Außenwände und Gründung. Daher wird im Exzellenzcluster IntCDC ein Holzdeckensystem entwickelt, das übliche Stahlbetonflachdecken ersetzen kann, in dem es ähnliche konstruktive Möglichkeiten eröffnet, d.h. Auskragungen und unregelmäßige Stützenstellungen bei Spannweiten bis zu 12 m und einer Bauhöhe von etwas mehr als d/L 30, sowie eine flache Deckenuntersicht [7]. Außerdem sollen Stahleinbauteile zur Durchleitung der Stützenlasten vermieden und durch eingeklebte lokale Verstärkungen aus Laubholz ersetzt werden. Auf diese Weise sollen nicht nur Aufwand und Risiken bei Einbindung von Subunternehmern für die Stahlbauteile verringert bzw. die Wertschöpfung im Holzbaubetrieb gehalten werden, sondern auch Verwertungsmöglichkeiten für den steigenden Bestand an Laubholz geschaffen und der ökologische Fußabdruck verbessert werden.

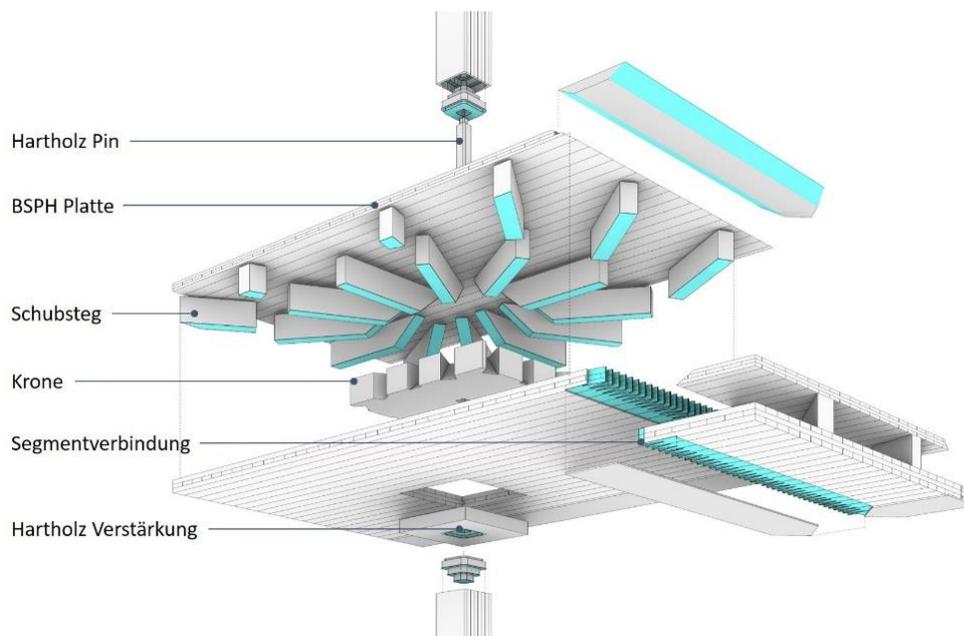


Abbildung 3: Zweilagiges Deckensystem für große Spannweiten und unregelmäßige Stützenstellung
Quelle: IntCDC Universität Stuttgart

Das Deckensystem übernimmt dabei Ansätze aus dem BUGA Holzpavillon: ähnlich wie die Hohlkassetten des BUGA Holzpavillons ist es zweilagig aufgebaut um den Verbrauch von Holz zu reduzieren. Die beiden Decklagen bestehen in diesem Fall aus Brettsperrholzplatten, die durch 1,2 m lange Stege aus Brettschichtholz schubsteif gekoppelt sind. Die Stege folgen diskontinuierlich den Schubspannungen in der Platte. Die Decke lagert punktförmig auf Stützen aus Brettschichtholz auf. Um den Stützenkopf herum ist der Hohlraum mit einer Verstärkungsplatte ausgefüllt, die als Schubverstärkung das Durchstanzen verhindert, ähnlich wie Dübelleisten bei Stahlbetonflachdecken. Die Durchleitung der Stützenkräfte erfolgt über Einlagen aus Furnierschichtholz aus Baubuche, so dass auf die üblichen Einbauteile aus Stahl verzichtet werden kann. Auch die Fertigung knüpft an Ansätze von dem BUGA Holzpavillon an: zwei korrespondierende Roboter werden auf einer transportablen Containerplattform montiert. Einer platziert die Bauteile, d.h. vor allem die Stege, der zweite bearbeitet sie, d.h. bringt den Leim auf und fräst die Aussparungen. Auf diese Weise werden im Werk Deckenplatten zu transportfähigen Einheiten von etwa 12m x 2,80 m vorgefertigt und dann auf der Baustelle miteinander verleimt. Die Fugen zwischen den Segmenten werden auf der Baustelle verklebt.



Abbildung 4: Geplante Fertigung der zweilagigen Holzdecken in der Halle des IntCDC, Waiblingen.
Quelle: IntCDC Universität Stuttgart

Um den Verbrauch an Klebstoff und damit auch die Montagezeiten zu reduzieren ist die Ausbildung der Klebefuge zwischen den vorgefertigten Deckensegmenten unterschiedlich, bzw. an Größe sowie Art der Beanspruchung angepasst, d.h. überwiegend Biegung oder zusätzlich auch große Schubkräfte. Dies erhöht die geometrische Komplexität der Bauweise weiterhin, so dass diese insgesamt nur mit einer konsistenten digitalen Integration von Planung und Fertigung denkbar ist.

Eine besondere Herausforderung für den mehrgeschossigen Holzbau stellen die Anforderungen aus dem Schallschutz und dem sommerlichen Wärmeschutz dar. Gängige Konzepte reagieren hierauf mit Masse, was im Hinblick auf eine ressourceneffiziente Leichtbaukonstruktion kontraproduktiv ist. Während die thermische Speichermasse aus den tragenden Konstruktion in den Ausbau verlegt werden kann, ist für den Schallübertrag die Masse der tragenden Decke maßgebend. Im Rahmen der IntCDC Forschung werden Ansätze untersucht, bei denen die Schubstege wie Federn so ausgelegt sind, dass sie die beiden Deckenlagen zwar statisch verbinden, aber akustisch den Trittschallübertrag dämpfen.

4. Die Holzbaudemonstratoren in IntCDC

Die Forschung im IntCDC unterscheidet sich von vielen anderen Forschungsprojekten auch darin, dass sie in großformatigen Demonstratoren, wie zum Beispiel dem BUGA Holzpavillon, erprobt wird. Viele Fragen stellen sich erst bei der baulichen Umsetzung im Maßstab 1:1, z.B. die Ausführung von Anschluss- und Randdetails oder die Integration und Ausführung von Dicht- und Dämmebenen oder von äußeren Bekleidungen. Ein besonderer Aspekt, der in Forschungsprojekten häufig kaum adressiert wird, ist die Frage der bauaufsichtlichen Genehmigung. Forschung ist nur dann Forschung, wenn sie sich außerhalb des Stands der Technik befindet, bzw. das Ziel hat, diesen zu erweitern. Das bedeutet für den Transfer in die Praxis, dass dieser über Zustimmung im Einzelfall bauaufsichtlich abgedeckt werden muss. Wenn der Aufwand hierfür aber zu groß wird, ist dieser Transfer nicht realistisch. Die Genehmigungsfähigkeit muss also von Beginn an mitgedacht werden, und auch Gutachter und Genehmigungsbehörden entsprechend eingebunden werden.

Zentrales Projekt des Exzellenzclusters ist das Large Scale Construction Laboratory, das LCRL Gebäude, das auf dem Universitätscampus in Vaihingen 2026 mit Außenabmessungen von rund 100m x 30m realisiert werden soll. Es ist gleichzeitig Heimat für die Forschenden des IntCDC aber gleichzeitig auch Demonstrator für die verschiedenen Forschungsthemen. Diese werden in das Gebäude integriert, z.B. der Gradientenbeton für die Bodenplatte und die Untergeschosse, die Holzbaudecken im Bürobereich und ein Faserträger im Dach, sowie Bio Composite als innen liegende Bekleidungen. Dabei sollen nicht nur die Bausysteme sondern auch die Fertigungs- und Montageprozesse erprobt werden. So sollen zum Beispiel die Kassetten für das Dachtragwerk nicht nur robotisch vorgefertigt, sondern in Teilbereichen auch auf der Baustelle robotisch montiert werden.



Bild 5: Large Scale Robotic Construction Laboratory des IntCDC auf dem Campus Vaihingen der Universität Stuttgart, Fertigstellung 2026. Quelle: IntCDC Universität Stuttgart

Bei den Holzdecken sind neben den Aspekten der digitalen Planung und Fertigung vor allem die Klebefugen eine besondere Herausforderung. Hierbei kommen neben den robotischen Verkleben der Stege mit den Platten in der Vorfertigung auch Verklebungen auf der Baustelle zum Verbinden der Deckensegmente zum Einsatz.

5. Mitwirkende an der Holzbauforschung

Die hier dargestellten Holzbauforschungen sind nur durch die intensive interdisziplinäre Zusammenarbeit einer Vielzahl an Mitwirkenden aus unterschiedlichen Disziplinen möglich. Diese kommen aus folgenden Instituten und Einrichtungen der Universität Stuttgart:

ICD – Institut für Computerbasiertes Entwerfen und Baufertigung
 ITKE – Institut für Tragkonstruktionen und Konstruktives Entwerfen
 MPA – Materialprüfungsanstalt, Abteilung Holzkonstruktionen
 IABP – Institut für Akustik und Bauphysik
 ISW – Institut für Steuerungstechnik der Fertigungseinrichtungen
 VISUS – Visualisierungsinstitut der Universität Stuttgart
 SOWI – Institut für Sozialwissenschaften

- [1] BBSR online-Publikation Nr 17/2020. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR), 2020
- [2] Umwelt Bundesamt, Texte 192/2020. Potenziale von Bauen mit Holz - Erweiterung der Datengrundlage zur Verfügbarkeit von Holz als Baustoff zum Einsatz im Holzbau sowie vergleichende Ökobilanzierung von Häusern in Massiv und Holzbauweise
- [3] Svatoš-Ražnjević, H., Orozco, L., Menges, A.: 2022, Advanced Timber Construction Industry: A Review of 350 Multi-Storey Timber Projects from 2000–2021. Buildings, vol. 12, no. 4. (DOI: 10.3390/buildings12040404)
- [4] Bechert, S., Sonntag, D., Aldinger, L., Knippers, J.: 2021, Integrative structural design and engineering methods for segmented timber shells - BUGA Wood Pavilion. Structures 34 (2021) 4814–4833
- [5] Wagner, H.J., Alvarez, M., Kyjaneck, O., Bhiri, Z., Buck, M., Menges, A., Flexible and transportable robotic timber construction platform – TIM. Automation in Construction 120 (2020) 103400
- [6] DGNB (Hrsg.), Benchmarks für die Treibhausgasemissionen der Gebäudekonstruktion. 2021
- [7] Krtschil, A., Orozco, L., Bechert, S., Wagner, H.J., Amtsberg, F., Chen, T.Y., Shah, A., Menges, A., Knippers, J. Structural development of a novel punctually supported timber building system for multi-storey construction. Journal of Building Engineering 58 (2022) 104972