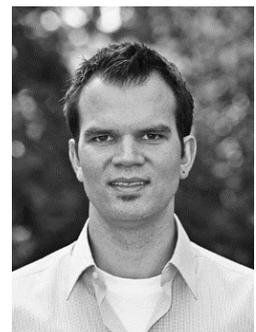


Erhöhte Vorfertigung durch Verkleben von Holz und Beton?

Increased prefabrication through gluing timber and concrete?

Gagner en préfabrication par le collage du bois et du béton ?

Alexander Leib
Makiol Wiederkehr AG
Ingenieure Holzbau Brandschutz
CH-Beinwil am See



Erhöhte Vorfertigung durch Verkleben von Holz und Beton?

1. Einleitung

Das Thema Vorfertigung ist heute im Holzbau ein wichtiger Punkt, der bei der Planung und der Ausführung der Projekte eine entscheidende Rolle spielt.

Für eine umsetzbare Vorfertigung ist es wichtig, im Planungsprozess die Machbarkeit und praxisrelevanten Aspekte einzubringen und vorausschauend zu planen.

Aufgrund technologischer Fortschritte mit CAD-Planung und CNC-Bearbeitung mit Abbundanlagen können im Holzbau «Werkzeuge» genutzt und in Zukunft noch weiter optimiert werden.

Um diese Vorfertigung zu erhöhen, bedarf es intelligenter Bauteile, dies sind Bauteile, welche optimiert für das jeweilige Projekt geplant und produziert werden. Der Holzbau ist hierbei, durch Forschung und Entwicklung und innovativem Denken und Handeln auf einem fortschrittlichen Weg. Beispiele hierfür sind die ständig neu entwickelten Verbindungsmittel und effizienten Materialkombinationen.

Ein Beispiel für Letzteres war und ist der Holz-Beton-Verbund (HBV), welcher aufgrund seiner interessanten Materialkombination optimale Eigenschaften mit sich bringt.

Heute gibt es unterschiedliche Möglichkeiten zur Ausführung von Holz-Beton-Verbunddecken. Zum einen das Einbringen des Betons auf der Baustelle (Ortbeton) und zum anderen die Variante des Betonierens im Werk (Vorfertigung).

Diese zwei unterschiedlichen Systeme bringen Herausforderungen, mit denen sich der Holz-Beton-Verbund auseinandersetzen muss.

Liefert nicht der heute vermehrt eingesetzte Ortbeton eine Konfliktsituation, der schwer verträglich mit dem nachhaltigen, trockenen und präzisen Holzbau vereinbar ist?

Diese Diskussion lässt sich auf unterschiedlichen Ebenen führen und dabei spielen Faktoren wie Wirtschaftlichkeit, Produktivität, Logistik und Montage eine entscheidende Rolle. Diese Bereiche sind aber je nach Partei unterschiedlich gewichtet und somit ist es bis zum jetzigen Zeitpunkt eine grosse Herausforderung, eine gesamtheitliche optimale Lösung für das einzelne Bauprojekt und erst recht die gesamte Baubranche zu finden.

Ein wichtiges Thema mit dem sich die Bauwirtschaft und vor allem der Holzbau auseinandersetzen müssen, ist die Vorfertigung. Dieser Faktor wird entscheidend sein, ob es sich um ein wirtschaftliches und zukunftsfähiges Deckensystem handelt.

2. Die Idee

Der zentrale Punkt ist, Betonplatten auf Holzelemente zu kleben.

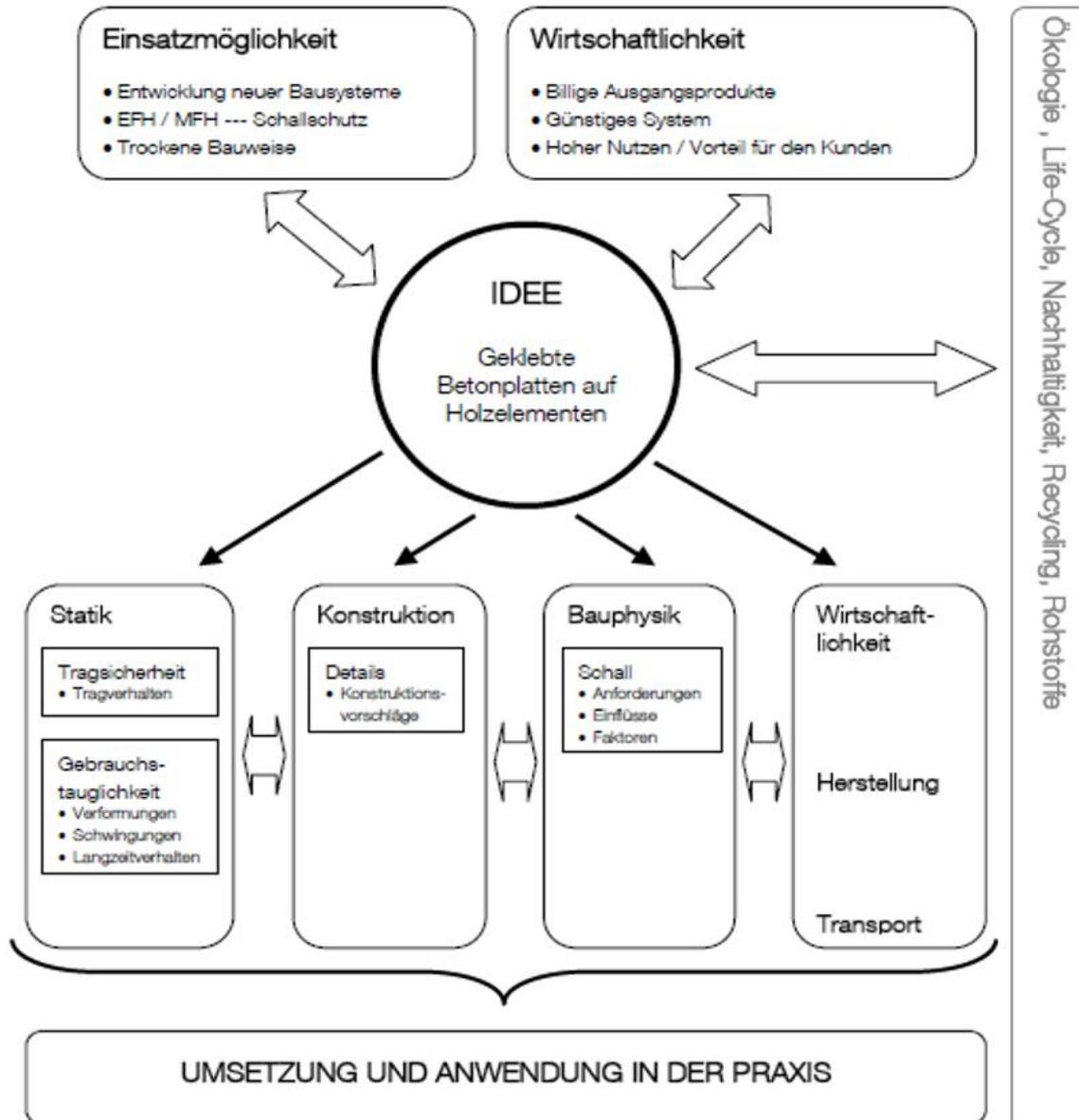


Abbildung 1: Produktentwicklung

Die Idee eines neuen Deckensystems wird in unterschiedliche Bereiche aufgeteilt, das dient einer besseren Übersicht und einer genaueren Untersuchung des jeweiligen Teilgebietes. Es ist jedoch ersichtlich, dass diese Teilbereiche untereinander gewisse Zusammenhänge besitzen. Diese sollten nicht vernachlässigt werden, denn die komplette Betrachtung führt zu einer optimalen Entwicklung und letztlich auch zu einer erfolgreichen Umsetzung und Anwendung in der Praxis.

3. Holz-Beton-Verbund – Allgemein

Die Holz-Beton-Verbundkonstruktion ist eine Verbundbauweise, welche die positiven Eigenschaften von zwei unterschiedlichen Materialien verknüpft. Die Verbindung zeigt eine sinnvolle Kombination, welche das jeweilige Material an der Stelle im Verbund anordnet, wo es die erforderlichen Ansprüche erfüllt.

Die Holz-Beton-Verbundkonstruktion basiert auf einer Zusammenarbeit des Baumeisters mit dem ausführenden Holzbau-Unternehmen. Bei der Herstellung von HBV-Decken sind oft die Größe der Holzbauer und die logistische Machbarkeit entscheidend. Denn die

Abwicklung und Realisierung von Grossprojekten und der Umgang mit der Schnittstelle von zwei unterschiedlichen Materialien erfordert entsprechendes Knowhow und gewisse Erfahrungen, die sich in einer guten und detaillierten Planung mit sinnvollen und optimalen Konstruktionen widerspiegeln sollte.



Abbildung 2: Herstellung von HBV-Decken

Der Aufbau von Holz-Beton-Verbundkonstruktionen besteht in der Regel aus drei Elementen:

- Stahlbeton- oder Betonplatte im Biegedruckbereich
- Holzträger oder -platte im Biegezugbereich
- Verbindungsmittel zur Übertragung der Schubkräfte zwischen dem Beton und dem Holz

Generell weisen Holz-Beton-Verbundkonstruktionen nachfolgende Vorteile auf:

- Erhöhte Biegesteifigkeit
- Höhere Dämpfungen der Schwingungen
- Bessere Schallschutzeigenschaften für den Luft- und Trittschall
- Optimale Brandschutzeigenschaften

Grossen Einfluss auf das Tragverhalten der Holz-Beton-Verbundkonstruktion hat das Verbindungsmittel, bzw. das Verbundsystem zwischen den beiden Schichten. Dieses bestimmt die Verbundwirkung und beeinflusst somit die Effizienz des Verbundträgers. Stetige Fortschritte haben zur Folge, dass bis zum jetzigen Zeitpunkt eine Vielzahl von Verbundsystemen und Verbindungsmitteln am Markt erhältlich sind. Diese Möglichkeiten lassen dem Planer ausreichenden Spielraum um die optimale Lösung für die einzelnen Fälle zu finden.

Eine Entscheidung, welches System zum Einsatz kommt ist zum einen auf die statisch erforderlichen Werte und die Bemessungen zurückzuführen. Zum anderen spielen Faktoren wie die Herstellung im Werk oder auf der Baustelle und die damit verbundene Logistik und Montage eine entscheidende Rolle.

Eine Einstufung der unterschiedlichen Verbindungssysteme kann aus statischer Sicht in zwei verschiedene Teilbereiche erfolgen:

1. Formschlüssiger Verbund

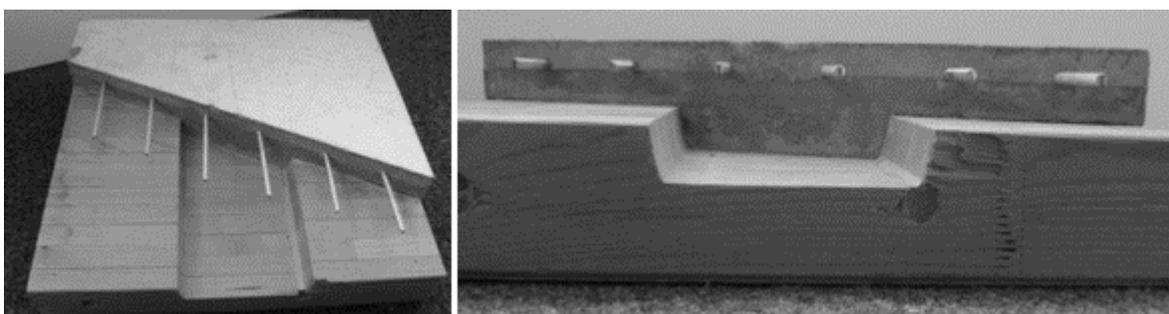


Abbildung 3: Holz-Beton-Verbund mittels Kernen

2. Verbundsysteme ohne Formverschluss



Abbildung 4: Holz-Beton-Verbund mit mechanischen Verbindungsmittel, links – SFS intec VB, rechts – eingeklebtes Lochblech

Diese Typologie lässt sich aufgrund des unterschiedlichen Logistik- und Produktionsablauf in wiederum zwei Bereiche aufgliedern:

a. Ortbeton – Betonieren auf der Baustelle

Der Einsatz von Ortbeton ist eine Möglichkeit, wie der Beton auf der Baustelle aufgebracht werden kann. Dabei werden vorrangig die Holzelemente durch den Holzbauer montiert und danach durch den Baumeister der Beton eingegossen.



Abbildung 5: Einbringen von Ortbeton

Vorteile

- Geringes Gewicht beim Transport und der Montage
- Einbringen der Leitungen für Haustechnik auf der Baustelle

Nachteile

- Bauzeitverzögerungen durch Aushärten der Betonschicht und Spriessungen
- Einbringen von Feuchtigkeit und Verschmutzungen auf der Baustelle

b. Vorfertigung – Herstellung von fertigen Elementen im Werk

Bei der Vorfertigung werden die Holz-Beton-Verbundkonstruktionen bereits im Werk produziert. Die fertigen HBV-Elemente werden auf die Baustelle transportiert, montiert und am Anschlussknoten nachträglich vergossen.

Vorteile

- Trockene Bauweise
- Kosteneinsparungen durch raschere Nutzung des Gebäudes durch die Bauherrschaft
- Keine Spriessungen, somit kein Bauunterbruch

Nachteile

- Aufwendigere Planung - Leitungsführung
- Hohes Transportgewicht
- Produktionsstätte mit entsprechender Möglichkeit-Kran und Lager



Abbildung 6: Holz-Beton-Verbund, vorgefertigt

Die Vorfertigung ist eine Möglichkeit, um Holz-Beton-Verbundkonstruktionen zu produzieren. Dieses System, der im Werk produzierten Elemente, ist ein wichtiger Schritt mit einem zukunftsweisenden Grundgedanken.

Grössere und kleinere Firmen erkennen dies als Möglichkeit, um in die Produktion und die Bearbeitung von Holzelementen einzusteigen und dies mit einer Investition für ein Bearbeitungszentrum zu realisieren.

4. Vorfertigung

Bereits heute zeigt der Arbeitsalltag von Planungsbüros und grösseren Produktionsunternehmen, dass technologische Anwendungen nicht mehr wegzudenken sind.

- Konstruktion und Planung mit CAD
- Produktionsplanung + Steuerung inklusive Materialwirtschaft PPS
- Prozessablauf inklusive einer Betriebsdatenerfassung (BDE) mit CAM

Für den Holzbau ist die Vorfertigung aus zwei unterschiedlichen Positionen zu betrachten. So stehen auf der einen Seite die traditionsbewussten Holzbauer mit ihrem besonderen Gespür für die Anwendung und den Umgang mit dem Werkstoff Holz. Auf der anderen Seite jedoch sind die vermehrt auftretenden Unternehmen mit stark ausgeprägter industrieller Produktion von Holzelementen zu nennen.

Die Vorfertigung hat also mit dem Einzug von Abbundanlagen, Multifunktionsbrücken und anderen technischen Bearbeitungsmaschinen in fast allen Bereichen des Holzbaus Einzug gehalten. Jedoch darf unter Einhaltung der unterschiedlichen Positionen der Unternehmen keine allgemeine Übertragung der Vorfertigung auf die Holzbranche erfolgen. Zumindest sollte eine gründliche Auseinandersetzung mit der jeweiligen Situation erfolgen. Die Unterscheidung in der Vorfertigungstiefe steht dabei an vorderster Stelle.

Die grösseren Holzbauunternehmen mit einer technologischen Ausrüstung nehmen bereits jetzt die Vorfertigung als grosse Chance wahr und versuchen noch weitere Schritte zu gehen.

- Integration aller Wand- und Deckenschichten im Werk.
- Einbau von Fenstern und Türen im Werk, sowie eine fertige Oberflächenbehandlung der einzelnen Elemente.

- Führungen der Installationsleitungen.
- Anbringen von Montagehilfen für raschere Montage.
- Systembauten - Modulbauweise

Die Vorfertigung muss für eine praktische und sinnvolle Umsetzung als oberstes Ziel die «qualitätsdefinierte und kostenoptimierte Planung und Ausführung» haben und in allen Bereichen einen gewissen Qualitätsstandard erfüllen.

Die Vor- und Nachteile der Vorfertigung bezogen auf den Holzbau:

Vorteile

- 1) Qualitätsverbesserung
 - Klimatisierte (witterungsunabhängig), standardisierte (geringe Streubreite der Qualität, z.B. Oberfläche, Verklebung) und qualitätsorientierte Produktion (Masshaltigkeit und Präzision)
- 2) Verkürzung der Bauzeit
 - Parallele Produktion zur Montage auf dem Bau
 - Einfachere Baustelleneinrichtung (Spriessen beim HBV, Kranauslastung)
 - Zwischenlagerung und Lieferung auf Abruf möglich
 - Trockener und sofort belastbarer Rohbau

Nachteile

- 1) Vorfertigung verlangt firmenübergreifende Zusammenarbeit
 - Mehr Schnittstellen führen zu Herausforderungen in der Kommunikation mit zusätzlichem Zeit- und Kostenaufwand
- 2) Leistungsfähigere Transportmöglichkeiten
 - Kran und LKW (höhere Kosten)
- 3) Weitere zusätzliche Aufwendungen
 - Berechnung der Tragwerke für den Lastfall: Transport
 - Toleranzprobleme bei der Masseinhaltung: Baustelle und Baumasse

Um eine sinnvolle Vorfertigung zu realisieren sind neben der Fertigung/Produktion weitere Massnahmen in den Bereichen der Logistik in der Produktionshalle, Transport auf die Baustelle und die Montage auf der Baustelle vorzunehmen. Generell soll festgehalten werden, dass die «Industrialisierung im Bauwesen zu einer Rationalisierung der Bauprozesse bei gleichzeitiger Sicherstellung einer individuellen, variablen Gestaltung der einzelnen Bauwerke führen soll» (Girmscheid, 2007).

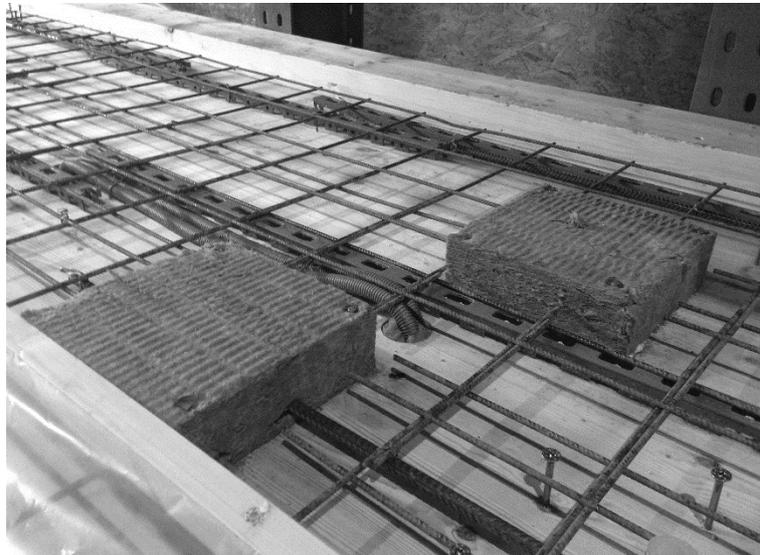




Abbildung 7: Holz-Beton-Verbund, vorgefertigt

5. Aufgeklebte Betonplatten auf Holzelementen

5.1. Grundgedanken

Der Grundgedanke des Systems stammt von der Firma Baltenschwiler AG, die erkannt hat, dass in Zukunft standardisierte und vorgefertigte Deckensysteme im Holzbau eingesetzt werden. Dabei sollen die Vorteile des Holzbaus als Leichtbauweise und die des Stahlbetons als Massivbau zusammengeführt werden.

Die Garten- oder Betonplatten, die als Beschwerung zur Schalldämmung auf die Deckensysteme gelegt werden, sollen nun auch eine statische Funktion erhalten. Damit entsteht die Möglichkeit einer trockenen Holz-Beton-Verbundbauweise.

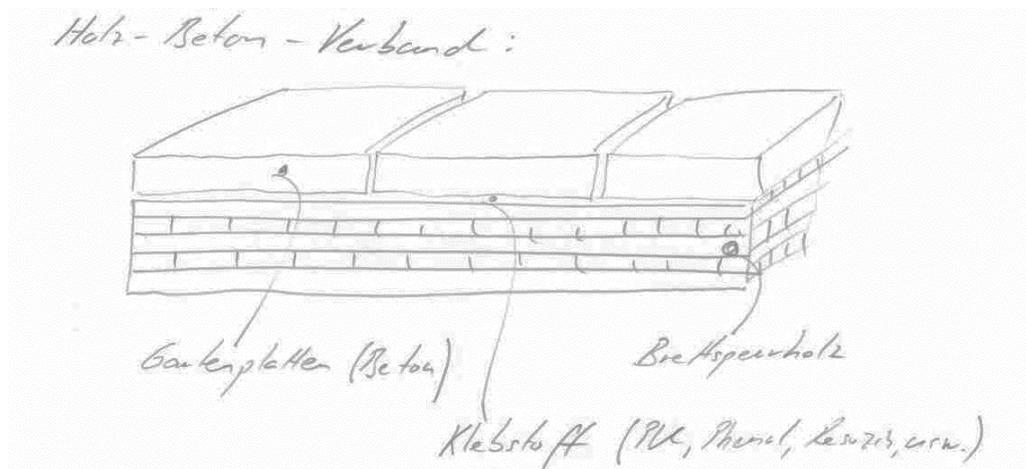


Abbildung 8: Handskizze – erster Gedanke der Fa. Baltenschwiler AG

Das Ganze beruht nicht auf neuen Erfindungen von Materialien, sondern durch den Verbund von bereits Existierendem und Verwendetem. Dies bringt ohne eine genaue wirtschaftliche Betrachtung zu machen, interessante ökonomische Vorteile mit sich.

Verklebungen von Holz mit Beton gibt es bereits, doch steckt diese Variante noch in einer Entwicklungsphase.

Die Klebeverbindungen zählen zu einer zukunftsorientierten Verbindungsart mit ständig an den Verbraucher angepassten Möglichkeiten des Klebstoffes und dadurch entstehen neue Verbundwerkstoffe mit dem Ziel interessante und sinnvolle Halb- und Fertigprodukte zu kreieren.

5.2. Produktentwicklung

Der vorliegende Verbundquerschnitt zeigt eine Variante, wie man mit bereits bestehenden Materialien zu neuen Möglichkeiten gelangen kann.

Für eine Umsetzung oder Erarbeitung einer neuen Idee oder eines Innovationsschrittes sind nicht nur technische und wirtschaftliche Ziele zu verfolgen. Es sollten zudem auch langfristige Betrachtungen vorgenommen werden.

Eine Produktentwicklung stellt heute weitaus grössere Herausforderungen, denn das Bauen der Gegenwart ist ein Bauen für die Zukunft.

Somit sollten sich heute Architekten und Planer genauso wie Unternehmen um eine langfristige Bauweise kümmern. Themen wie Energieverbrauch, Konstruktionsarten, Materialeinsatz müssen für eine Materialkombination oder ein neues Produkt gemeinsam betrachtet werden.

Die am Bau beteiligten Parteien, wie Architekten, Planer unterschiedlicher Fachrichtungen und die Bauherrschaft haben unterschiedliche Erwartungen und Ansprüche und dieser Komplexität sind neue technische Entwicklungen und konzeptionelle Gedanken zur Verfügung zu stellen. Nachfolgende Abbildung gibt einen Überblick über die unterschiedlichen Anforderungen an Deckensysteme.

Diese sind je nach Position unterschiedlich gewichtet und gefordert.

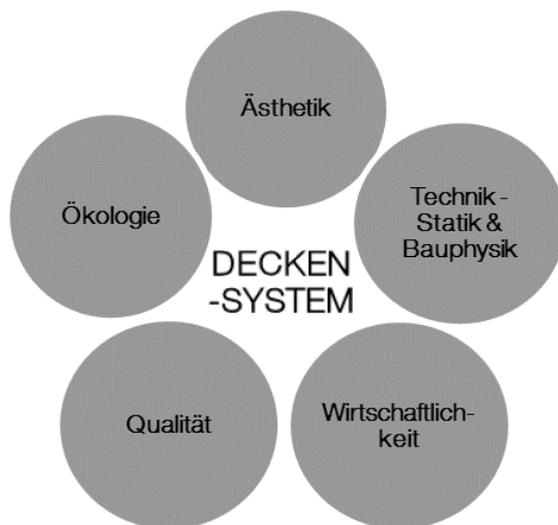


Abbildung 9: Anforderungen an Deckensysteme

5.3. Beschrieb und Wirkungsweise

Verbundquerschnitte bestehen aus unterschiedlichen Materialien und einem Verbindungsmittel.

Bei dem vorliegenden System steht die Kombination von handelsüblichen und kostengünstigen Materialien mit den bereits genannten Aspekten an vorderster Stelle. Dies gilt als Grundsatz für diese neue Materialkombination.

Durch diese Verbindung und das Aufkleben der Betonplatten soll zum einen die Biegesteifigkeit der Decke erhöht werden und zum anderen, durch das Einbringen von Masse in Form von den Betonplatten, die Schallschutzeigenschaften wesentlich verbessert werden.

Der Holzbau mit seiner Leichtbauweise gilt bei vielen Architekten und Bauherren als schallempfindliche und schwingungsanfällige Bauweise. Diese Klischees beruhen auf Erfahrungen aus alten Bauernhäusern und den ersten Mehrfamilienhäusern, die das Thema Schallschutz zum Teil ganz vernachlässigt oder in dem Umfang, wie wir es heute kennen, nicht berücksichtigt haben.

Diese zum Teil vorherrschende Abneigung gegenüber einer ökologischen und nachhaltigen Bauweise hat eine herausfordernde Überzeugungsarbeit zur Folge.

Dazu sind neuste Erkenntnisse in die Planung einzubauen und weitere Innovationsschritte notwendig. Die Verklebung von kleinformatigen, vorgefertigten Betonplatten auf Holzelementen kann einen interessanten Beitrag für die trockene Holz-Beton-Verbundbauweise sein.

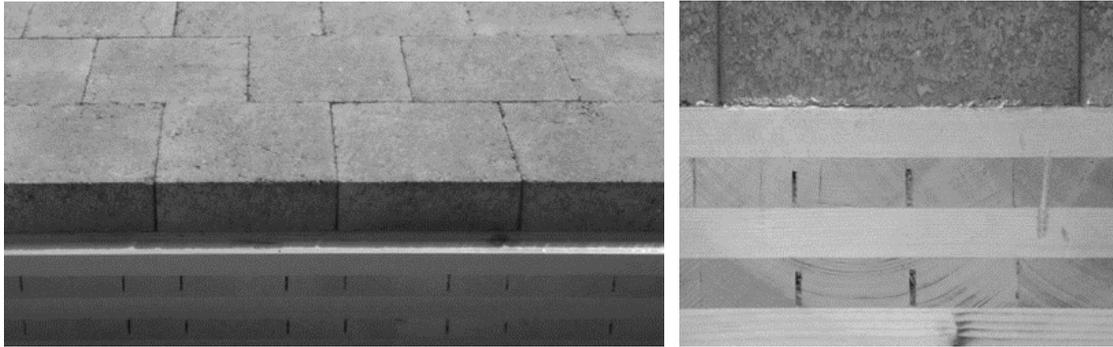


Abbildung 10: Aufgeklebte Betonplatten auf Brettsperrholz

5.4. Herstellung und Prüfung des neuartigen HBV

Generell soll durch das Aufkleben der Betonplatten die Steifigkeit der Holzelemente erhöht werden. Dieses Aufkleben der Betonfertigteile hat unterschiedliche Auswirkungen auf den Verbundträger. Für den Hersteller ist es von besonderem Interesse eine einfache Produktion und eine verbesserte statische Tragwirkung zu erreichen.

Deshalb werden für die Prüfversuche unterschiedliche Formate ausgesucht.

Der Herstellungsablauf für die Elemente sollte durchdacht sein und keine grossen Unterbrüche oder Störungen beinhalten. Dadurch kann die offene Zeit des Klebstoffes eingehalten und eine Qualität der Klebstoffverbindung gewährleistet werden.

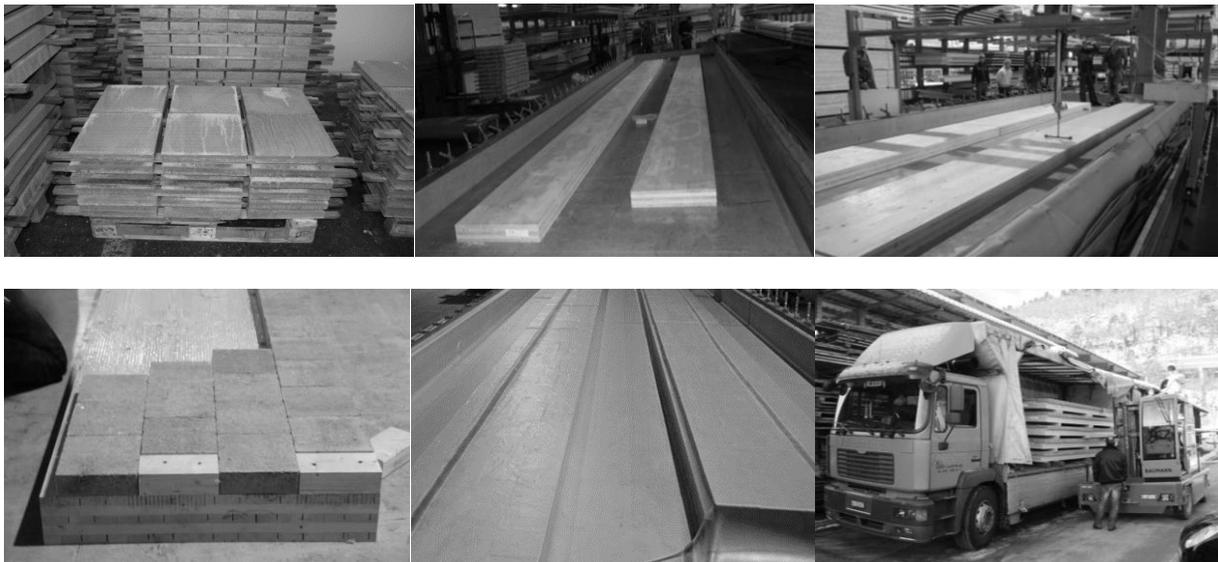


Abbildung 11: Aufgeklebte Betonplatten auf Brettsperrholz

Das Ziel dieser Prüfversuche ist es, das Verbundverhalten der aufgeklebten Betonplatten besser bestimmen zu können. Für den vorliegenden Fall werden jedoch nicht die E-Module gemessen sondern es geht um eine Ermittlung der lokalen und globalen Biegesteifigkeiten. Dies beruht auf der Grundlage, dass es sich bei den aufgeklebten Betonteilen um Einzelteile und keine durchgehende Schicht handelt und somit diese Schicht für sich betrachtet kein Elastizitätsmodul besitzt.

In diesem Zusammenhang ist die Rede von einem ideellen E-Modul. Bei diesen Prüfversuchen kann das Verhalten des Verbundes beobachtet werden und die Deformationen des Verbundkörpers bei entsprechender Last bestimmt werden. Für Aussagen zur Materialwahl werden die Prüfkörper bis zum Bruch belastet und das Bruchversagen analysiert.

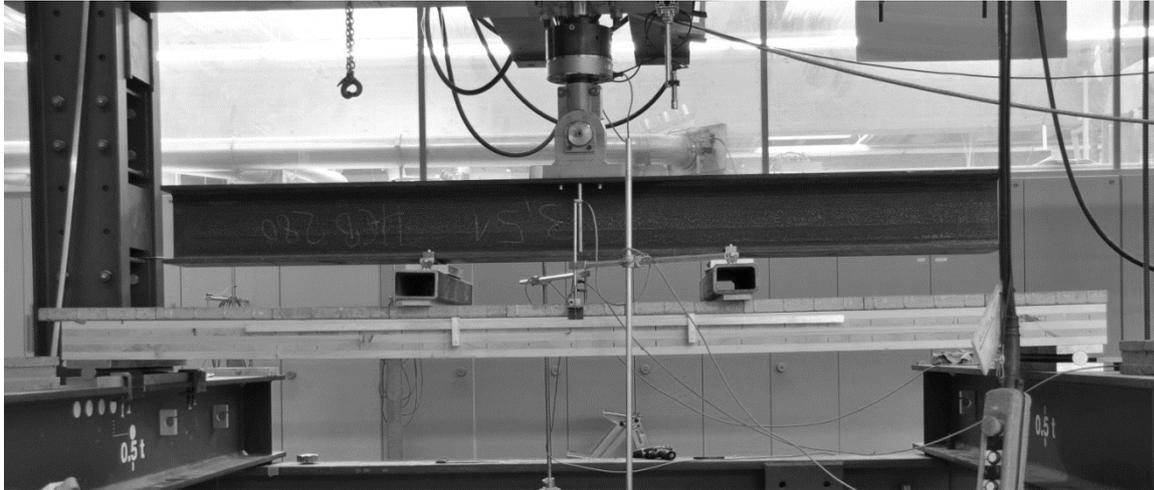


Abbildung 12: Prüfraumen und Prüfkörper im Labor der BFH AHB in Biel

5.5. Informationen über das neue System

Die Verbindung von zwei standardisierten, bereits auf dem Markt vorhandenen, Materialien mit einer Klebeverbindung ist der Grundgedanke des neuen Systems.

Mit dieser Innovation soll dem Holzbau eine Möglichkeit gegeben werden eine trockene Holz-Beton-Verbund-Variante zu realisieren.

Die grosse Herausforderung steht dabei in einer Vereinbarung von herstellungs- und produktionsbedingten Faktoren (Handling, Präzision der Materialien) mit einer statischen (Schwingungen, Deformationen) und bauphysikalischen (Schallschutz) Anwendung am Bau.

Eine Verklebung von den beiden Materialien, Holz und Beton, ist generell möglich und die Elemente können im Werk vorgefertigt werden. Diese Verbindung von zwei standardisierten, am Markt bereits erhältlichen Materialien, mit einem Einkomponenten-Polyurethan-Klebstoff zeigt eine Möglichkeit für einen trockenen Holz-Beton Verbund.

6. Fazit und Ausblick in die Zukunft

Der Holzbau wird vermehrt bei Grossprojekten eingesetzt, deshalb sollte die Holzbranche ständig nach Innovationen suchen und diese in die Praxis umsetzen. Dies kann den Holzbau noch attraktiver und überzeugender gestalten und somit die Entscheidung für die Verantwortlichen eines Bauprojektes sehr stark vereinfachen.

Der Holz-Beton-Verbund wird vor allem bezüglich dem Schall- und Brandschutz und den mehrgeschossigen Bauten ein wichtiges Deckensystem bleiben. Dies sollte jedoch mit einer trockenen Verbundbauweise erreicht werden, da dadurch die Vorteile des Holzbaus beibehalten werden können. Diese hat den Vorteil von einer kürzeren Bauzeit und der Einhaltung eines Qualitätsstandards durch die Produktion im Werk.

Die Vorfertigung wird in Zukunft ein ausschlaggebender Faktor bei vielen Projekten sein.

Eine gesamtheitliche Betrachtungsweise bei den Produktentwicklungen und der Projektbearbeitung muss im Vordergrund stehen. Hierfür sollten Kooperationen von Unternehmen, Planenden und Forschungs- bzw. Ausbildungsinstitutionen für ein gemeinsames Arbeiten und Wirken genutzt werden.

Die Motivation für die Umsetzung von Innovationen und Ideen ist der Schlüssel für eine erfolgreiche Zukunft.