

# Holz-Beton-Verbund Deckensysteme Optimierung für kosteneffiziente Holz-Hybrid-Bauten

Haßmann André  
Berlinovo Grundstücksentwicklungs GmbH (BGG)  
Berlin, Deutschland



Carsten Hein  
Arup Deutschland GmbH  
Berlin, Deutschland





# Holz-Beton-Verbund Deckensysteme Optimierung für kosteneffiziente Holz-Hybrid-Bauten



Abbildung 1: HBV Deckenelemente

## 1. Einleitung

Arup ist ein weltweit tätiges, unabhängiges Planungs- und Beratungsbüro und die kreative Kraft hinter vielen der weltweit bedeutendsten Projekte der gebauten Umwelt. Internationale Bekanntheit erlangte das Unternehmen mit Beiträgen an Landmarks wie dem Opernhaus in Sydney oder dem Centre Pompidou in Paris.

Mit 14.000 Planern, Ingenieuren und Beratern in 87 Büros in 34 Ländern bietet Arup innovative und nachhaltige Lösungen für unterschiedlichste Branchen und Märkte. In Deutschland liefert Arup mit 270 Experten an den Standorten Berlin, Frankfurt und Düsseldorf maßgeschneiderte Lösungen zu allen Anforderungen - von der Fachplanung einer Spezialdisziplin bis zu komplexen, interdisziplinären Projekten. [www.arup.com](http://www.arup.com)

Die Berlinovo Immobilien Gesellschaft mbH (berlinovo) ist ein großer Immobiliendienstleister des Landes Berlin und verwaltet ein Portfolio mit 294 Objekten, managt 23.470 Mieteinheiten mit einer Gesamtmietfläche von 2,75 Mio. m<sup>2</sup> und einer Jahressollmiete von 170,5 Mio. €. Die 100% Tochter der Berlinovo ist die Berlinovo Grundstücksentwicklungs GmbH welche sich ausschließlich mit dem Neubaugeschäft der Berlinovo beschäftigt.

Gegenstand der BGG ist die Durchführung von Immobilienprojekten nichtgewerblicher Art im Allgemeininteresse (wie bspw. die Entwicklung, Planung, Errichtung, Vermietung und der Betrieb von Studentenunterkünften oder Errichtungen des sozialen Wohnungsbaus) sowie aller damit im Zusammenhang stehender Geschäfte. Sie ist Auftraggeberin und Vertragspartnerin.

Heutzutage wohnt mehr als die Hälfte der Weltbevölkerung in urbanen Räumen.

Durch das ungebrochene Wachstum der Städte, den gesellschaftlichen begründeten Veränderungen der Wohnstrukturen steht die Bauindustrie vor neuen Herausforderungen.

Folgend den aktuellen Prognosen werden in Berlin bis 2025 ca. 137.000 neue Wohnungen benötigt. Dies entspricht einer Baumasse von ca. 20.000 € Wohnungen pro Jahr.

Hinzu kommen infrastrukturelle bauliche Ergänzungen wie KITA, Schulen, Pflimmobilien, Wohnplätze für Studierende etc.



Abbildung 2: Die Nachverdichtung von Städten ist kein neuzeitliches Problem.

Quelle: <http://seedcamp.com/the-power-of-great-storytelling/>

Die durchschnittlichen Wohnungsgrößen in Deutschland sind verglichen mit den internationalen Standards noch sehr großzügig bemessen. In der Weiterentwicklung von intelligenten Grundrissen und der Nachverdichtung liegt in Berlin und anderen Großstädten ein deutliches Entwicklungspotential.

Trotz der stetig steigenden Grundstückspreise, der baurechtlichen Vorgaben, den energetischen Belangen und nicht zuletzt den städtebaulichen Aspekten soll der Wohnraum für alle bezahlbar bleiben.

Mögliche Lösungen um dies zu realisieren liegen im Mikrowohnen, im Modulbau, in der Schaffung von industriellen baulichen Ansätzen, in der Verwendung neuer und alter Baustoffe und in der Überdenkung der bisherigen konventionellen baulichen Varianten.

Mit der Zielsetzung der BGG in Berlin 2.800 Studentenapartments zu bauen, welche die städtebaulichen Belange, die vorhandenen Markkapazitäten, die Nachhaltigkeit und qualitativ anspruchsvolles Wohnen realisieren soll, macht die Entwicklung und Optimierung einer verbesserten Bauweise unumgänglich.

Aus diesem Grunde wurde das Programm TOP (Technisch optimierter Prototyp) initiiert. Auf diese Weise sollten unter den o.g. und weiteren Prämissen exakt für die Bedarfe der Berlinovo und damit für Berlin eine Bauweise kreiert werden welche auf verschiedenen Grundstücken in Berlin zum Einsatz kommen kann ohne intensive Prozesse der Bedarfsermittlung oder der Vorplanung wiederholend zu absolvieren.

Im Rahmen eines kollaborativen Workshopverfahrens mit Architekten, Tragwerksplanern, Bauphysikern, Brandschützern und Fachleuten der Gebäudetechnik wurde eine vielfältige Bauweise, der technisch optimierte Prototyp (TOP), entwickelt.

Um u.a. die Genehmigungsfähigkeit zu gewährleisten, wurden umfangreiche Vorgespräche mit den genehmigenden Behörden und Prüfsachverständigen geführt. Schließlich stellte die Ausführung der tragenden Elemente aus sichtbaren brennbaren Materialien ein absolutes Novum dar.

Der gesamte Projektverlauf war geprägt durch eine interdisziplinäre, kooperative Zusammenarbeit mit allen Projektbeteiligten. Wesentliche Entscheidungen zu Design, Konstruktion und Abläufen wurden auf Basis von BIM-basierten Bausitzungen kooperativ getroffen.

Entstanden sind moderne, innovative und bezahlbare Mikroapartments für Studierende, die sich schnell und kostensparend in Drittverwendungsoptionen umbauen lassen, um eine nachhaltige Nutzung des Gebäudes zu gewährleisten.

## 2. Die Entwicklung des TOP

Im Rahmen des TOP wurden sämtliche Belange von Bauweisen bis zur Erschließung über den Ausbau und dem energetischen Konzept von Gebäuden mit dem Zweck des studentischen Wohnens untersucht und bewertet.

Für die Entwicklung des **T**echnisch **O**ptimierten **P**rototypen wurde u.a. ein modulares System gewählt, weil damit bereits die ersten Anforderungen nach schneller Fertigung bzw. reduzierter Bauzeit und kosteneffiziente Vorfertigung möglich wurden. Danach konnten die einzelnen Komponenten des Moduls individuell betrachtet und optimiert werden. Der folgende Beitrag beschäftigt sich mit den Deckenelementen und wie diese entsprechend der Kundenkriterien entwickelt wurden.

Als Steuerungswerkzeug und Benchmark diente eine Matrix, in der zum einen die Planer-Bewertungen der einzelnen Komponenten erfasst wurden, zum anderen diese Bewertungen durch den Kunden gewichtet werden konnten, um damit die maßgebenden Kriterien entsprechend bewerten zu können.

Teilmatrix		Bewertungskriterien										Gesamtwertung		Beschreibung				
Wichtung	Anteil	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Wichtung	Anteil	1	2	Text	Text	
3,00%	0,00%	0	0	2	2	2	0	0	0	0	0	0,00	0,00	2	2	Einbauelemente in Wandbauteile...	Einbauelemente in Wandbauteile...	Einbauelemente in Wandbauteile...
3,00%	0,00%	0	0	2	2	2	0	0	0	0	0	0,00	0,00	2	2	Einbauelemente in Wandbauteile...	Einbauelemente in Wandbauteile...	Einbauelemente in Wandbauteile...
3,00%	0,00%	-1	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	-0,17	-0,17	-2	-2	Einbauelemente in Wandbauteile...	Einbauelemente in Wandbauteile...	Einbauelemente in Wandbauteile...
3,00%	0,00%	-1	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	-0,20	-0,20	-2	-2	Einbauelemente in Wandbauteile...	Einbauelemente in Wandbauteile...	Einbauelemente in Wandbauteile...
18,00%	18,00%	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0,29	0,29	2	2	Einbauelemente in Wandbauteile...	Einbauelemente in Wandbauteile...	Einbauelemente in Wandbauteile...
18,00%	18,00%	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0,20	0,20	1	1	Einbauelemente in Wandbauteile...	Einbauelemente in Wandbauteile...	Einbauelemente in Wandbauteile...
18,00%	18,00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	-2	-2	Einbauelemente in Wandbauteile...	Einbauelemente in Wandbauteile...	Einbauelemente in Wandbauteile...
18,00%	18,00%	-1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0,19	0,19	0	0	Einbauelemente in Wandbauteile...	Einbauelemente in Wandbauteile...	Einbauelemente in Wandbauteile...
18,00%	18,00%	-1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0,19	0,19	-1	-1	Einbauelemente in Wandbauteile...	Einbauelemente in Wandbauteile...	Einbauelemente in Wandbauteile...

Abbildung 3: Teilmatrix Wände/Decken

Hierfür wurden von Planerseite die einzelnen Aspekte eines Bauelementes mit «Noten» zwischen -2 und +2 bewertet. 0 als Mittelwert stellt dann eine durchschnittliche Performance dar. Die einzelnen Noten wurden entsprechend der Bauherren Wertung gewichtet, diese Wichtung wurde auf 100% kalibriert.

In der Tabelle dargestellt sind die einzelnen Elemente der Deckenkonstruktion im Holzhybridbau – dies ist nur ein Ausschnitt aus der Gesamtmatrix – und durch eine bedingte Formatierung nach dem Ampelsystem gefärbt.

Holzhybrid		Wirtschaftlichkeit		Bauzeit			Nachhaltigkeit			Summen				
		Investitionskosten	Betriebskosten	Vorfertigung	Rohtbau	Ausbau	Ökologisch	Ökonomisch	Sozial	Nachnutzung	Städtebau	Schweibeligegrad	Erneuerung	
Priorisierung		100,0%		100,0%			50,0%				10,0%		10,0%	
Wichtung - Anteil an 100%		30,0%	70,0%	33,0%	30%	33,0%	15%	5%	5%	3%	3%	3%	33%	
Priorisierung Unterkategorie														
Wichtung Unterkategorie - Anteil an 100%		9%	21%	10%	10%	10%	15%	5%	5%	3%	3%	3%	100%	
<b>Rohtbau</b>	18,00% Stahlbeton Vollfertigteil, d=16cm (Fertigteile inkl. Ausbauelementen)	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0,29	2

Abbildung 4: Einzelelement – Stb.-Fertigteile der HBV Decke

Hier ist eine einzelne Zeile der Matrix dargestellt und zwar die zu den Stahlbetondeckenplatten im Hybridbau. In der ersten Spalte ist eine weitere Gewichtung zu sehen und zwar nach Anteil an den KG300 Kosten.

Über diese Matrix wurden die einzelnen Bauelemente für den TOP bestimmt.

An einem typischen Raummodul lässt sich die Konstruktion veranschaulichen. Bei Raumgrößen von ca. 3,5m x 7,0m spannt die Fertigteildecke über die kurze Spannweite auf die Wände, die hier als Holzrahmenkonstruktionen dargestellt sind – die Ausfachung und Gipskartonbeplankung ist zur besseren Lesbarkeit hier bei der vorderen Wand ausgeblendet.

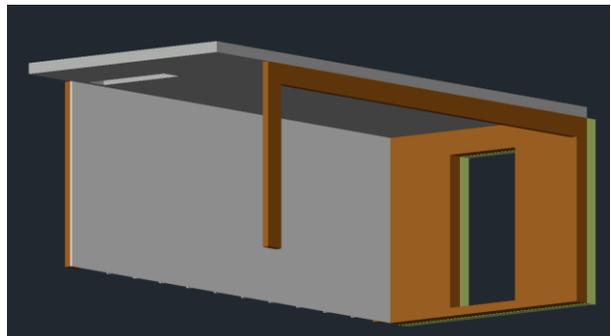


Abbildung 5: Deckenelement und Holzrahmen

Die Holzunterzüge bilden dann mit der Deckenplatte das Holzbetonverbundsystem.

Bei der Planung der HBV Decken spielen neben Statik vor allem Akustik und Brandschutz eine wichtige Rolle sowie dann die Detaillierung der Verbindungen. Im Folgenden sind die Entwurfsparameter im Einzelnen dargestellt. Die Reihenfolge zeigt die Maßgabe für die Planung.

- Akustische Anforderungen legen die Plattenstärke fest. Holz ist ein hervorragender Werkstoff, verfügt aber nicht über ausreichend Masse, um den gegebenenfalls erhöhten Schallschutz (vor allem Trittschall) zu erfüllen. Beim TOP wurde eine 12cm Stahlbetonplatte gewählt.
- Brandschutz ist ein wichtiges Kriterium bei der Planung. Durch eine durchgehende Beton-Deckenscheibe wird eine Brandabschottung zum nächsten Geschoss geschaffen, die Betonscheibe liegt auf den Stützen/Wänden auf und stellt so auch für die Vertikalbauteile ein Brandschott dar.

- Für die Statik, also die Standsicherheit, wird dann der Holzbetonverbund eingesetzt, die Holzunterzüge versteifen die Deckenplatte und erlauben dreifache Spannweiten. Dabei bleibt das Gewicht ca. 50% hinter einer Massivbetondecke zurück.

In Abbildung 6 sind diese Entwurfparameter schematisch dargestellt. Von oben nach unten:

- Massivbetondecke zum Vergleich
- «Vorgabe» Akustik ~12 cm
- «Vorgabe» Brandschutz F90 – 10 cm
- Statisch erforderlich – 6 cm – 8 cm

Beim TOP wurden zur Kostenoptimierung eine 12 cm Beton-decke auf Stahlbetonunterzügen gewählt.

Die Verbindungen der Decke sollen einfach und wiederverwendbar sein. Beim TOP vorgesehen und bei vergleichbaren Projekten (zum Beispiel dem H7 in Münster) realisiert wurden Vollgewindeschrauben mit dem Würth FT Verbinder, der als «Schalungshilfe» eingesetzt wird und ein nachträgliches Verschrauben der Deckenplatten mit den Unterzügen ermöglicht.

Ein Vorteil dieser Verschraubung ist auch die Wiederverwendbarkeit der Deckenelemente: Betonplatte und Unterzug können unabhängig voneinander eingesetzt werden. Die Verbindung zu den Vertikalbauteilen erfolgt über Druck, die konstruktive Lagesicherung ist ebenfalls geschraubt.

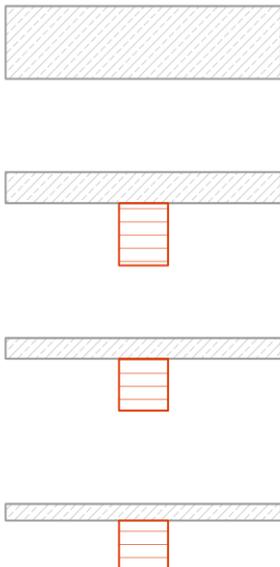


Abbildung 6: Unterschiedliche Deckenaufbauten

### 3. TOP 1.0 Storkower Straße, Berlin

Als Ergebnis des TOP und dem folgenden Ausschreibungsprozess, welcher im wesentlichen nach der benötigten Bauzeit und der Wirtschaftlichkeit bewertet wurde, konnte der Generalunternehmer, die Firma Brüninghoff aus Heiden beauftragt werden.

Elemente des TOP wurden im Verhandlungsprozess weiter optimiert, um so die Erfahrungen des GUs in der Errichtung von Hybridbauwerken einfließen zu lassen.



Abbildung 7: Neubau studentisches Wohnen Storkower Str. 205a

Errichtet wurde ein 6-geschossiges Holzhybridgebäude mit einer 20 cm starken vertikal tragende Konstruktion aus innen sichtbarem Brettschichtholz. Die Wände in den Apartments, wie in den Fluren, erhielten keine Kapslung der Holzoberflächen. Das Brandschutzkonzept basiert auf dem Modell des Abbrandes. Das Gebäude unterliegt der Gebäudeklasse 5. Aufwändige Holzfenster, als «Botschafter» des Materials Holz befinden sich in der Fassade, die Außenbereich der Fenster sind mit Lärchenholz verkleidet.



Abbildung 8: Neubau studentisches Wohnen Storkower Str. 205a (Ebene 3)

Ergänzend zur der modularen Roh-Bauweise wurden die Bäder als Fertigbäder inkl. vorgefertigten Registerlösungen mit einer sehr hohen Fertigungsqualität und deutlichen Vorteilen im Ausführungsprozess errichtet.

Die Möglichkeit der einfachen baulichen Umwandlung des Gebäudes für eine eventuelle Drittverwendung wurde ebenso im statischen wie im gebäudetechnischen Sinne berücksichtigt und umgesetzt.

Konsequent kam die BIM-Methodik bereits in den kalkulativen Ansätzen der Firma Brüninghoff zur Anwendung. Die Methodik wurde während des Bauprozesses und nachfolgend im Betrieb erfolgreich genutzt und soll in weiteren Projekten zur Anwendung kommen.

Die Realisierung dieses Objekts erfolgte noch mit standardisierten Fertigteildecken mit angeformten Unterzügen aus Stahlbeton in Sichtbetonqualität. In Anbetracht dessen, dass die Deckenelemente im Endzustand weit mehr Funktionen haben als die bloße Raumtrennung und eine wesentliche Stellschraube der Errichtung des Gebäudes sind, war sehr früh klar, dass in der Erhöhung des Vorfertigungsgrades und der Verbesserung des Tragwerkkonzeptes weitere bauzeitliche und wirtschaftliche Optimierungen stattfinden können und müssen.



Abbildung 9: Neubau studentisches Wohnen Storkower Str. 205a (Draufsicht vom Nachbargebäude)



Abbildung 10: Neubau studentisches Wohnen Storkower Str. 205a (Innenansicht)

## 4. TOP 2.0 Weiterentwicklung/Forschung

Es sollen weitere Bauten für das studentische Wohnen entstehen, konsequenterweise soll der TOP weiterentwickelt werden. Aktuell liegt der Fokus auf den Deckenelementen, weil sie beim fertigen Gebäude den größten Anteil am Rohbau haben.

Berlinovo, Fa. Brüninghoff, TU Berlin und Arup werden ab November 2018 ein Forschungsprojekt starten um die Optimierung der Decken voranzutreiben.

Forschungsziele sind:

- Vereinfachung der Verbindungen
- Optimierung im Zusammenspiel zwischen Statik und Akustik
- Integration von Technik in die Elemente (als eingebaute Module im Deckenelement oder einbetoniert im Deckenfertigteil).
- Durchgängiger digitaler Prozess, von der Lagerung fertiger Bauelemente zur digitalen Lagerhaltung
- Aus den o.a. Punkten ergibt sich zwangsläufig eine höhere Kosteneffizienz.

Aus dem technisch optimierten Prototypen hat sich ergeben, dass an nachfolgenden Details Optimierungspotential besteht.

Bei der Akustik: Für den erhöhten Schallschutz wurde eine schwere Schüttung eingebracht, um die Deckenmasse zu erhöhen. Darauf wurde dann noch ein Estrich installiert. Es soll im Weiteren untersucht werden, wie mit weniger Bauelementen die erhöhte Schallschutzanforderung erfüllt werden kann. Eine Möglichkeit wäre eine 15 cm Stahlbetonplatte. Wenn in diese Betonplatte Heiz- und Kühlfunktion integriert werden, kann der Bodenaufbau dann minimal als Teppichboden/Laminat oder Linoleum erfolgen.

Bei der Statik wird dann die Anordnung der Brettschichtholzunterzüge zu prüfen sein, um die Querschnitte zu optimieren. Und daraus ergibt sich die weitere Optimierung der Verbindungsmittel für den Verbund zwischen Betonplatte und Unterzügen.

Die Deckenscheiben tragen zur Aussteifung des Gebäudes bei, weil sie die Lasten an die Aussteifungskerne bzw. Wandscheiben leiten. Beim TOP wurde ein aufwändiges Zugbandsystem aus Stahlprofilen in der Schüttung installiert, um dies zu gewährleisten. Als Fügechnik wird eine Verbindung angestrebt wie sie ein großer dänischer Spielwarenhersteller in seinen Produkten verwendet.

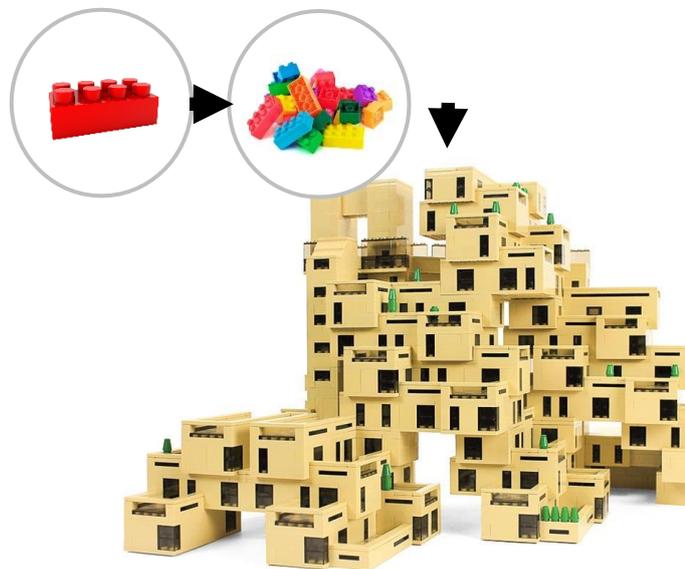


Abbildung 11: LEGO®

Das Brandschutzkonzept für diese Art von Gebäude beruht auf einer Planung als F90 B Konstruktion. Holz darf verwendet werden, muss aber auf Abbrand bemessen werden. Dies ist bei den Bauwerken der Gebäudeklasse 5 einfach ohne nennenswerten Mehreinsatz von Material möglich. Dieses Brandschutzkonzept funktioniert also ohne Kapselung der Holzbauteile, bedeutet aber auch, dass keine Abhangdecken möglich sind. Dies führt nach dem «Weniger ist Mehr» Prinzip zu kosteneffizienteren Bauwerken.

Wenn das Heiz- Kühlsystem in die Deckenelemente integriert werden kann, können entsprechend Abhangdecke und Heiz-Estrich entfallen.

Im Hause Arup schreibt eine Studentin der TU Berlin gerade an ihrer Masterarbeit zu einer alternativen Koppelung der HBV Elemente.

CIRCULAR BUILDINGS ist der logische nächste Schritt. Wenn digital geplant und gefertigt wird, sind die eingesetzten Bauelemente in einer Datenbank erfasst, diese dann während des Projektlebens weiter zu pflegen, ist ein geringer Aufwand im Vergleich zu den möglichen Einsparungen. Wenn das Gebäude einmal rückgebaut werden muss (was bei der einfachen Fügechnik wenig aufwändig ist), können die Bauelemente an anderer Stelle wiederverwendet werden, statt recycelt werden zu müssen.

Wenn dann in einigen Jahren wieder ein ähnliches Gebäude entstehen soll, gibt es «Bestandslisten» im Internet, wo geprüft werden kann, ob passende Teile vorhanden sind.

Und daraus ergibt sich, dass diese Datenbank auch virtuelle Elemente enthalten kann, die nach den gespeicherten Daten «on demand» gefertigt werden können.

Weitere Projektbeteiligte:

Ausführung: Brüninghoff GmbH & Co. KG, Industriestraße 14, 46359 Heiden