

Effiziente Konstruktionen für Wohnungen und öffentliche Bauten

Arthur Schankula
SCHANKULA Architekten
DE-München



Effiziente Konstruktionen für Wohnungen und öffentliche Bauten

1. Holz-Stahl-Hybrid-Bausystem für den Schul- und Verwaltungsbau

1.1. Konzept

Beim Bauen im Bestand ist es häufig ein Problem, dass durch die Baustelle eine erhebliche Beeinträchtigung der Nutzer auftritt oder gar eine Nutzung des Gebäudekomplexes während der Bauzeit nicht möglich ist. Bei Verwaltungsbauten ist die Minimierung der Lärmbelastung ein wichtiges Thema, bei Schulen geht es sogar soweit, dass Lärm in Prüfungszeiten absolut vermieden werden muss und gegebenenfalls Baumaßnahmen in dieser Zeit eingestellt werden. Zudem stellt schwerer Baustellenverkehr insbesondere für Schüler ein Gefährdungspotential dar. Ein wichtiger Aspekt des entwickelten Bausystems ist daher, dass eine sehr schnelle Errichtung des Gebäudes ermöglicht wird, so dass großes Baugerät schon nach kurzer Zeit nicht mehr nötig ist und somit Lärm und Gefährdungspotential minimiert werden. So ist die Errichtung eines Rohbaus in nur zwei Wochen und damit innerhalb der Ferienzeit möglich.

In vielen Fällen, vor allem im innerstädtischen Bereich, bieten sich zudem auf dem Schul- bzw. Firmengelände nur wenige Flächen, auf denen noch die Errichtung von zusätzlichen Bauten möglich ist und fast immer geht dies dann auf Kosten des Schulhofes bzw. Parkplätzen oder anderen eigentlich ebenfalls benötigten Freiflächen. Durch eine Aufständerrung auf wenigen Stützen kann die platzsparende Errichtung von Erweiterungsbauten ermöglicht werden. Die Fläche unter dem Gebäude kann dann als überdachter Bereich des Pausenhofs, als Parkplatz oder Lagerplatz und dergleichen genutzt werden.

Die Vermeidung von möglichst vielen nicht wieder verwendbaren Baukomponenten sowie die Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen sind wichtige ökologische Aspekte des Bausystems. Holz ist daher prinzipiell als wesentlicher Baustoff ideal, stößt aber auch seine Grenzen: Für die meisten Schulnutzungen sind große, stützenfreien Räume nötig, die Deckenspannweiten von bis zu ca. 10m erfordern, was mit konventionellen Holzdecken problematisch ist. Weitere Anforderungen an Schulgebäude betreffen vor allem die Fassaden: guter Wärmeschutz, ausreichend große Fenster für eine gute Belichtung, Maßnahmen zum Schutz vor Überhitzung und Blendung, große Lüftungsöffnungen.

Um die zahlreichen Anforderungen erfüllen zu können, beschränkt sich das Bausystem nicht dogmatisch auf die Verwendung von Holzbauteilen, sondern wird dort, wo Holz in wirtschaftlicher Weise nicht mehr verwendet werden kann, durch Bauteile aus Stahl oder anderen Materialien ergänzt, die für die jeweilige Einbausituation besser geeignet sind.

Ein weiterer Aspekt mit ökologischer, aber auch wirtschaftlicher Bedeutung ist die Nachhaltigkeit von Gebäuden: Der Bedarf an Räumlichkeiten für Schulen / Firmen kann sich im Laufe der Jahre verändern. Ebenso wie sich der Bedarf erhöht, kann er auch in einigen Jahren wieder so weit sinken, dass die neuen Räumlichkeiten nicht mehr benötigt werden. Lohnt sich der weitere Betrieb eines Gebäudes nicht mehr, führt der Abbruch bei konventioneller Bauweise zu einem sehr großen Wertverlust, produziert viel Bauschutt und widerspricht jeglicher wirtschaftlicher und ökologischer Nachhaltigkeit.

Durch die Verwendung des Bausystems soll daher ein Rückbau des Gebäudes ermöglicht werden, bei dem ein großer Teil der Komponenten wieder verwendet werden kann und so die Errichtung von Gebäuden an anderen Orten, ggf. auch mit anderem Verwendungszweck, ermöglicht wird.

1.2. Bausystem

Im Wesentlichen besteht das System aus zwei Elementen, aus denen sich die Gebäude zusammensetzen:

- Holzkastenelemente, die als Decken, Dach oder Decken über Luftraum verwendet werden können
- Stahlstützen

Beide werden im Werk hergestellt, gelangen fertig auf die Baustelle und werden dort zum Gebäude zusammengesetzt. Durch den hohen Grad an Vorfertigung wird neben der Verkürzung der Montagezeit auch die Ausführungsqualität verbessert: Die Produktion kann im Werk unter idealen Arbeitsbedingungen durchgeführt werden, so dass Fertigungstoleranzen minimiert werden. Zudem sind die Bauteile bei der Montage nur für sehr kurze Zeit eventuellen Witterungseinflüssen ausgesetzt.

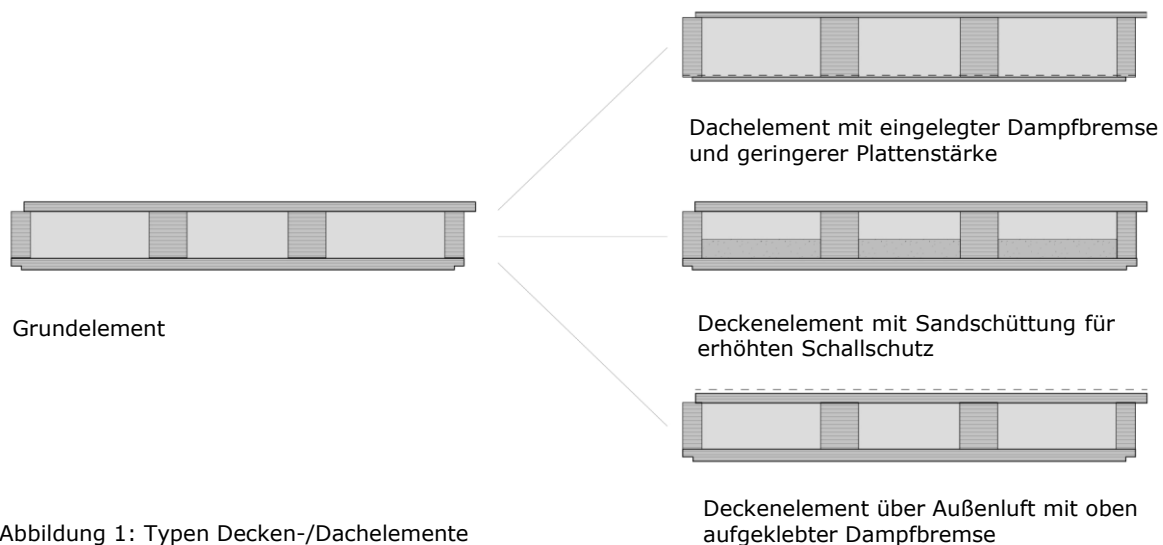


Abbildung 1: Typen Decken-/Dachelemente

Das Grundmodul der Kastenelemente ist 2,4 m breit und bis zu 12 m lang, die Stärke beträgt 400 mm. Es besteht aus Brettschichtholzbalken die an den Enden in ein Stahl-U-Profil eingelegt werden, sowie oben und unten einer aufgeleimten, entsprechend der Auflast dimensionierten Furnierschichtholzplatte, so dass statisch ein Plattenträger entsteht. Der Zwischenraum zwischen den Balken wird hohlraumfrei mit Mineralwolle ausgefüllt. Dies ermöglicht einerseits einen guten Luftschall-Schutz und andererseits durch den sehr guten u-Wert von $0,15\text{W/m}^2\text{K}$ die Anwendung derselben Elemente für Böden über aufgeständerten Bereichen und normale Geschosdecken.

Für Dächer wird das Element insofern modifiziert als dass durch die geringere Auflast auch geringere Balkenquerschnitte und dünnere Furnierschichtholz-Platten verwendet werden. Zudem wird über der unteren Beplankung eine Dampfbremse eingelegt. Die Verklebung der Dampfsperre der Nachelemente findet in der Montagefuge statt, die abschließend mit einem Deckbrett abgedeckt wird.

Eine Variation der Füllung der Elemente ermöglicht einen besseren Trittschallschutz, der zwischen Klassenräumen benötigt wird: Die Stärke der Mineralwolle wird um 80mm reduziert und zusätzlich wird Sand in die Elemente eingefüllt. Gegebenenfalls können auch Leitungen (z.B. Abwasser) in die Elemente integriert werden.

Für die Fassaden war aufgrund der zahlreichen unterschiedlichen Anforderungen und auch des unterschiedlichen Budgets eine maximale Flexibilität gewünscht. Die Lastabtragung wurde daher in Form von Stahlstützen vorgesehen, die mit einem minimalen Querschnitt auskommen und jegliche Form der Fassadenausbildung ermöglichen. Ein entscheidender Punkt für eine schnelle Montage des Gebäudes ist die Verbindung von Stützen und Decken: Die jeweils benachbarten Deckenelemente mit dem eingebauten U-Profil kommen direkt auf der Stütze zu liegen und werden über eine an der Stütze vorgesehene Schraubblase fixiert. Dies erfolgt direkt über eine Gewindebohrung im U-Profil und lässt damit keine Möglichkeit zum Einjustieren. Da das gesamte Gebäude

jedoch auf diese Weise nur von der sehr geringen Toleranz der Stahlteile abhängig ist, ist ein Justieren auch nicht nötig und kann auf diese Weise bei jedem Knotenpunkt viel Zeit bei der Montage gespart werden.

Gleichzeitig wird der statisch nötige Längsverband in der Randzone des Gebäudes auf diese Weise hergestellt. Die Verbindung Stahl auf Stahl ermöglicht zudem problemlos die Kraftübertragung aus den darüberliegenden Geschossen und birgt dabei nicht die Gefahr der Setzung des Gebäudes, wie es bei ähnlichen Verbindungen aus Holz der Fall ist.



Abbildung 2: Anschlusspunkt Decken / Stützen

Ein weiterer Vorteil ergibt sich hinsichtlich des Blitzschutzes: Anstatt eine Leitung wie bei Holzgebäuden ansonsten nicht anders möglich außen zu applizieren, ist hier schon die Konstruktion an sich blitztechnisch verbunden.

Einzig die Stützenfüße im EG werden nach dem Aufbau des Gebäudes exakt ausgerichtet und abschließend auf der Bodenplatte befestigt.

Ein wichtiger Aspekt dieser Verbindungsdetails ist es, dass auch eine Demontage der Konstruktion ermöglicht wird, indem ausschließlich reversible Schraubverbindungen verwendet werden. So können die tragenden Bauteile nach dem Rückbau wieder verwendet werden und ermöglichen eine Flexibilität, die bei konventioneller Bauweise nicht möglich ist.

Das System ist für eine Feuerwiderstandsdauer von bis zu 90 Minuten für die Gebäudekonstruktion anwendbar. Die Deckenelemente erreichen diese durch eine Dimensionierung der Deckplatten auf Abbrand, die Stützen werden je nach verwendetem Fassadensystem mit Brandschutzplatten bekleidet oder mit Brandschutzanstrich versehen.

Ergänzt wird das System durch konventionelle Holztafelwände als Trennwände und ggf. Außenwände bzw. Massivholzwände als zusätzliche tragende Wände, die ebenfalls vorgefertigt auf die Baustelle gelangen und im Zuge der Montage mit eingebaut werden. Neben den Stahlstützen im Fassadenbereich können auf diese Weise falls nötig Zwischenauflager geschaffen werden, die dann eine größere Gebäudetiefe als 12m ermöglichen. Zudem wird die Aussteifung des Gebäudes über die Wände bewerkstelligt.

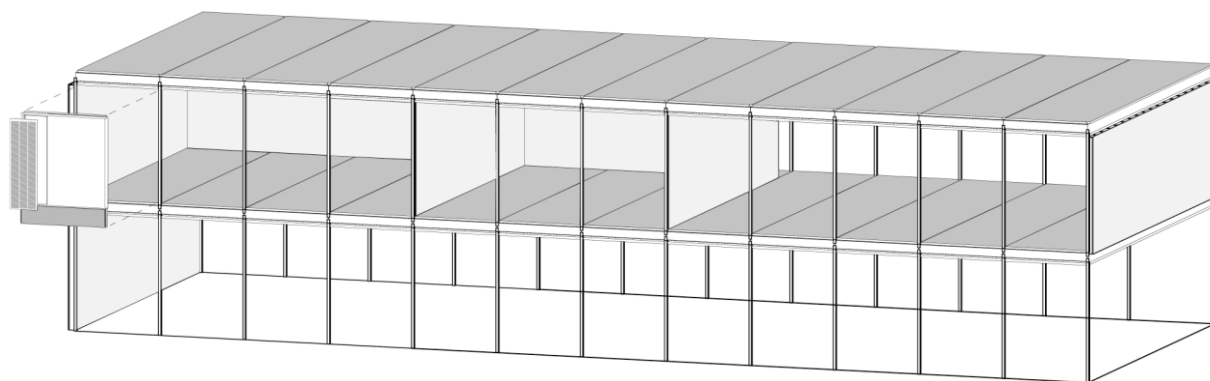


Abbildung 3: Gebäudeschema mit Decken-/Dachelementen, Stützen und Wänden

1.3. Realisierung

Nach der theoretischen Entwicklung des Systems folgte die Realisierung in bisher vier Bauprojekten in München mit insgesamt 4.370 m² Geschossfläche. Im Zuge dessen wurden auch auf die jeweilige Bauaufgabe abgestimmte Lösungen entwickelt, um auch bei übrigen Bauteilen einen möglichst hohen Vorfertigungsgrad und somit eine kurze Bauzeit zu ermöglichen. Des Weiteren war die Verwendung von Holz als Baustoff in möglichst großem Umfang ein Ziel. Gleichzeitig sollte gezeigt werden, dass Holz als wesentlicher Baustoff nicht automatisch zu einem traditionellen Erscheinungsbild des Gebäudes führt, wie es eine verbreitete Meinung ist, sondern dass auf diese Weise durchaus moderne Gebäude realisiert werden können.

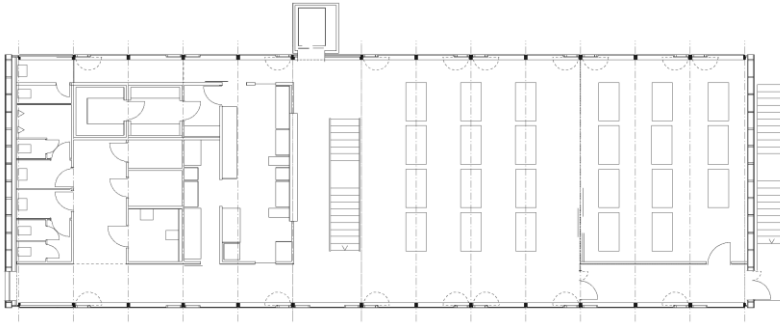


Abbildung 4: Grundriss Mensagebäude Michaeli Gymnasium



Abbildung 5: Fotos Mensagebäude Michaeli Gymnasium

Zunächst wurde eine teilweise aufgeständerte, zweigeschossige Schulmensa (500 m² Geschossfläche) realisiert:

Die Tragkonstruktion besteht aus den bereits beschriebenen Grund-Elementen, im Bereich der Aufständerung wurden sie ergänzt durch einen Stahlträger mit Kammerbeton, auf den die Elemente aufgelegt wurden und der auf diese Weise eine geringere Anzahl von Stützen ermöglichte.

Die Montage des Rohbaus erfolgte schließlich innerhalb von 3 Arbeitstagen. Die Fassaden wurden als Elemente aus Holzrahmen mit eingesetzter Brüstung, Verglasung und Lüftungsflügel ausgeführt, die ebenfalls komplett vorgefertigt auf die Baustelle geliefert und in kurzer Zeit montiert wurden. So war nach weiteren drei Wochen das Gebäude geschlossen und nur noch Ausbauarbeiten zu erledigen, die mit geringer Beeinträchtigung des Schulbetriebs einhergingen.

Im Innenraum blieb die Holzoberfläche der tragenden Deckenelemente sichtbar. Nur partiell wurden Deckensegel aus geschlitzten Holzwerkstoffplatten angebracht, die die nötige Raumakustik gewährleisten und unter denen auch die Führung sämtlicher Elektroleitungen erfolgt.

Fast zeitgleich wurde in identischer Bauweise ein weiteres Gebäude errichtet (820 m² Geschossfläche), dieses allerdings dreigeschossig. Hier benötigte die Montage des Rohbaus 6 Arbeitstage.



Abbildung 6: Mensagegebäude Ludwigsgymnasium



Abbildung 7: Vorgefertigte Deckenelemente

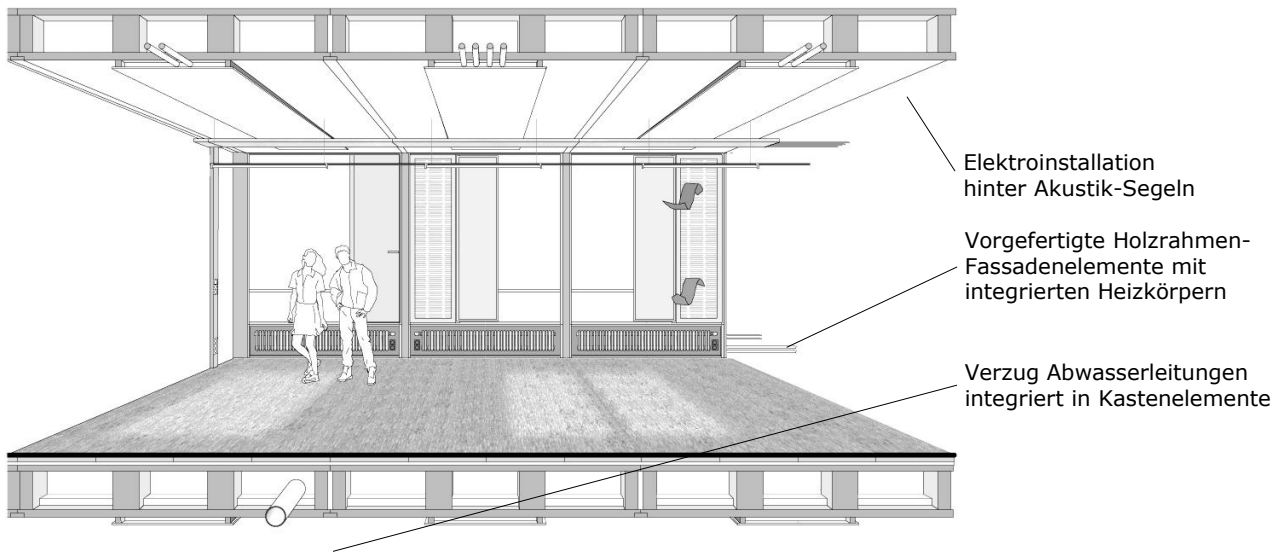


Abbildung 8: Schema Integration der Technik und Verwendung vorgefertigter Elemente

Bei einer weiteren Schulmensa (700 m² Geschossfläche) wurde eine andere Gebäudegeometrie gewählt: Da das Gebäude in diesem Fall als Lärmabschirmung an einer stark befahrenen Straße errichtet wurde, entfiel hier die Aufständigung. Stattdessen wurde das Obergeschoss nur in halber Gebäudetiefe ausgeführt und es entstand eine Dachterrasse.



Abbildung 9: Mensagegebäude Ludwig Thoma Realschule

Die Flexibilität des Bausystems, ist hier gut zu erkennen:

Die Dachelemente wurden wie die beschriebenen Grundelemente, jedoch einfach mit entsprechend geringerer Spannweite ausgeführt, die Elementhöhe wurde dementsprechend ebenfalls geringer dimensioniert um nicht mehr Material als nötig zu verbauen. Die östliche Stützenreihe wurde mittels Fußplatten direkt auf die Deckenelemente aufgestellt.



Abbildung 10: Baustelle Erweiterung Michaeli Gymnasium

Ein weiteres Projekt, eine Erweiterung eines Schulgebäudes um 20 Klassenräume (2.350 m² Geschossfläche) wird derzeit gerade fertig gestellt. Es wird wieder in nahezu mit den ersten Gebäuden identischer Bauweise ausgeführt, ergänzt um tragende Flurwände aus Brettspertholz und Elemente mit geringerer Spannweite für einen Sanitärbereich und die darunterliegende Pausenhalle.

2. Holz-Beton-Hybrid-Bausystem für den Wohnungsbau

2.1. Entwicklung des Bausystems



Abbildung 11: Entwicklung des Bausystems vom reinen Holzbau zum Holz-Beton-Hybridbau

Im Jahr 2010 wurde auf dem Parkgelände Bad Aibling ein viergeschossiges Holzhaus als Pilotprojekt des Bausystems für Geschosswohnungsbauten in Holz errichtet. Nach der Weiterentwicklung des Bausystems folgte im April 2011 ein achtgeschossiges Gebäude, das höchste Holzhaus Deutschlands.

Dabei wurde demonstriert, dass Holz auch bei hohen Gebäuden als Grundbaustoff einsetzbar ist, obwohl die Baunormen derzeit eine Beschränkung auf fünf Geschosse vorgeben. Die gesamte Tragkonstruktion des Gebäudes – also tragende Wände und Decken – sowie die Fassadenbekleidung bestehen aus Holz.

Damit dies genehmigungsfähig war, wurde aus Gründen des Brandschutzes ein sicheres Treppenhaus aus Beton gefordert, das über einen Laubengang im Freien erreicht wird.

Es musste daher eine Lösung gefunden werden, um die Holzelemente mit Betonelementen zu kombinieren und dabei die Vorteile des Bausystems zu erhalten. Ein wesentlicher Aspekt dabei war es, dass eine sehr kurze Bauzeit durch einen hohen Vorfertigungsgrad nicht nur durch die Holzelemente garantiert werden sollte, sondern auch durch die Betonelemente. Die Montage des achtgeschossigen Holzbaus mit fertiger Fassade und eingebauten Fenstern benötigte drei Wochen. Durch die Verwendung von Beton-Fertigteilen für das Treppenhaus mit Laubengang konnte die Bauzeit für diesen Gebäudeteil ebenfalls auf drei Wochen reduziert werden. Im Vergleich zum Ortbeton ergab sich zudem der Vorteil, dass die Fertigteile eine wesentlich höhere Präzision aufweisen und somit erst den sauberen Anschluss der ohne Aufmaß gefertigten Holzelemente möglich machten.

Um eventuelle Probleme durch unterschiedliche Setzungen der Holz- und Betonelemente auszuschließen, wurden im Vorfeld Setzungsversuche mit Wandelementen und insbesondere den Anschlussdetails Wand-Decke durchgeführt. Die prognostizierten Setzungen

konnten dann beim Bau berücksichtigt werden. Zusätzlich wurde eine Überwachung der Setzungen initiiert, die auch Erkenntnisse über einen längeren Zeitraum liefern soll.

2.2. Weiterentwicklung zum Holz-Beton-Hybrid-Bausystem

Die Holzbauweise bietet zwar gegenüber konventionellen Bauweisen zahlreiche Vorteile, hinsichtlich der Baukosten reicht sie derzeit allerdings noch nicht ganz an sie heran.

Um nun die Vorteile der Holzbauweise zu kombinieren mit Baukosten, die auch die Einhaltung der Förderkriterien des sozialen Wohnungsbaus ermöglichen, wurde das System zu einem Holz-Beton-Hybrid-System erweitert.

Im Gegensatz zum achtgeschossigen Holzgebäude, bei dem der Baustoff Beton nur als Hilfsmittel zur Erreichung der Brandschutz-Vorgaben verwendet wurde, sollten nun gezielt Beton-Bauteile in das System integriert werden, um den Kostenvorteil dieses Baustoffs zu nutzen. Im Vorfeld wurden zahlreiche Varianten der Kombination von Holz- mit Betonelementen hinsichtlich der Kosten und der Erfüllung der statischen Anforderungen untersucht.

Außenwände sollten vornehmlich in Holz verbleiben, um die guten Dämmeigenschaften des Baustoffs sowie die gute Eignung zur Vorfertigung der Bauteile inklusive Fassadenbekleidung und Fenster zu nutzen. Als Betonelemente kamen vor allem Decken und tragende Innenwände in Frage. Wichtig dabei war es vor allem, trotz der Betonteile eine kurze Bauzeit zu ermöglichen. Die Errichtung eines Betonskeletts und anschließende Ausfachung mit Fassadenelementen wurde aus diesem Grund ausgeschlossen und stattdessen die geschossweise gemeinsame Montage von Beton- und Holzbauteilen angestrebt. Da jegliche Ortbeton-Elemente ebenfalls keinen schnellen Baufortschritt zugelassen hätten, wurden vor allem Konstruktionen mit Beton-Fertigteilen in Betracht gezogen. Hinzu kommt, dass durch deutlich geringere Bautoleranzen bei Beton-Fertigteilen die Anschlüsse der Holzbauteile erleichtert werden.

Letztlich erfolgte die Entscheidung für folgende Bauteile:

- Tragende Innenwände: Beton-Hohlwände
- Decken: Spannbetondielen
- tragende und nicht tragende Außenwände: vorgefertigte Holz-Ständerwände mit fertiger Fassade und fertig eingebauten Fenstern

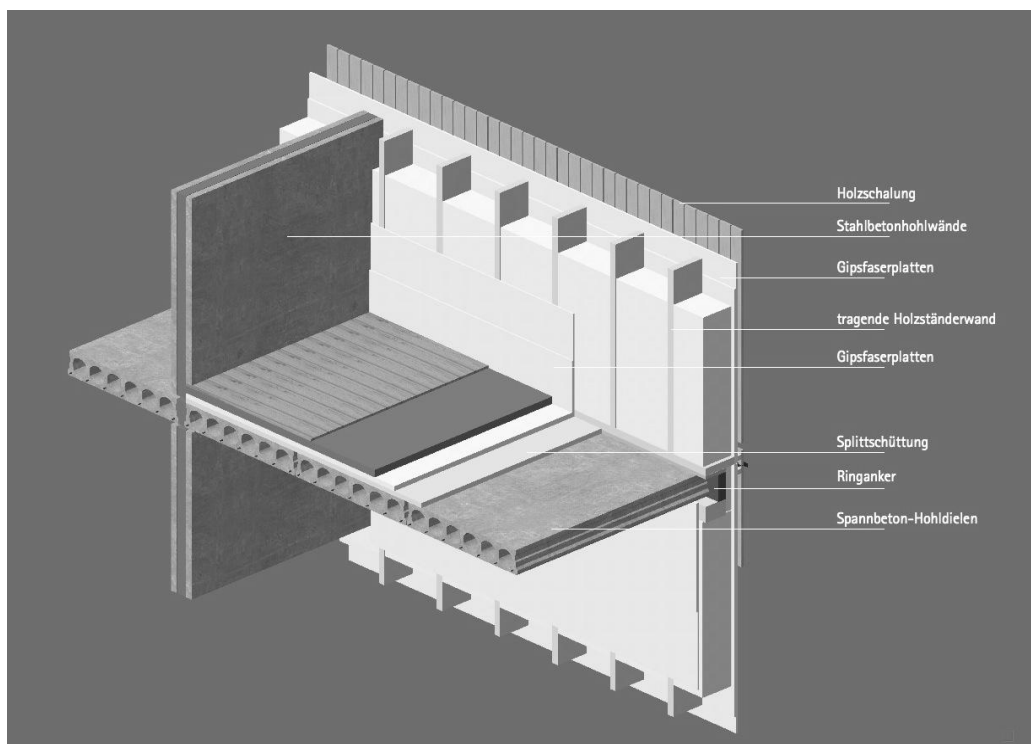


Abbildung 12: Bauteile des Holz-Beton-Hybrid-Bausystems

Aufgrund des geringen Gewichts der Decken konnten die tragenden Außenwände über alle fünf Geschosse als Holzständerwänden realisiert werden. Dies führt einerseits zu einem Kostenvorteil gegenüber Massivholz-Wänden, andererseits aufgrund der geringeren Wandstärken (bei gleicher Dämmstärke) zu einer Erhöhung der Wohnfläche.

Da auch die Beton-Hohlwände, die als tragende Innenwände verwendet werden, ein deutlich geringeres Gewicht als Voll-Fertigteile aufweisen, erfordert die Montage der Betonelemente keine anderen Hebezeuge als die Holzwände und kann relativ problemlos durch dieselbe Firma ausgeführt werden. Die gemeinsame Montage bietet zudem den Vorteil, dass die Lage aller Bauteile aufeinander einjustiert werden kann und nicht die Holzteile nachträglich in einen Betonbau mit höheren Montagetoleranzen eingepasst werden müssen.

Die erste Realisierung dieses Konzeptes erfolgte mit einem fünfgeschossigen Wohngebäude in Bad Aibling. Der Bau ist konzipiert als Gebäudetypus, der als Kopfbau an bestehende Gebäude angesetzt werden kann. Aufgrund der kurzen Montagezeit eignet er sich ideal für die Nachverdichtung in bestehenden Wohngebieten, da die Beeinträchtigung von Anwohnern auf ein Minimum reduziert wird.

Er beinhaltet 15 Wohnungen, die organisiert als Dreispänner über eine zwischen Bestand und Neubau angeordnete, außenliegende Betontreppe erschlossen werden.

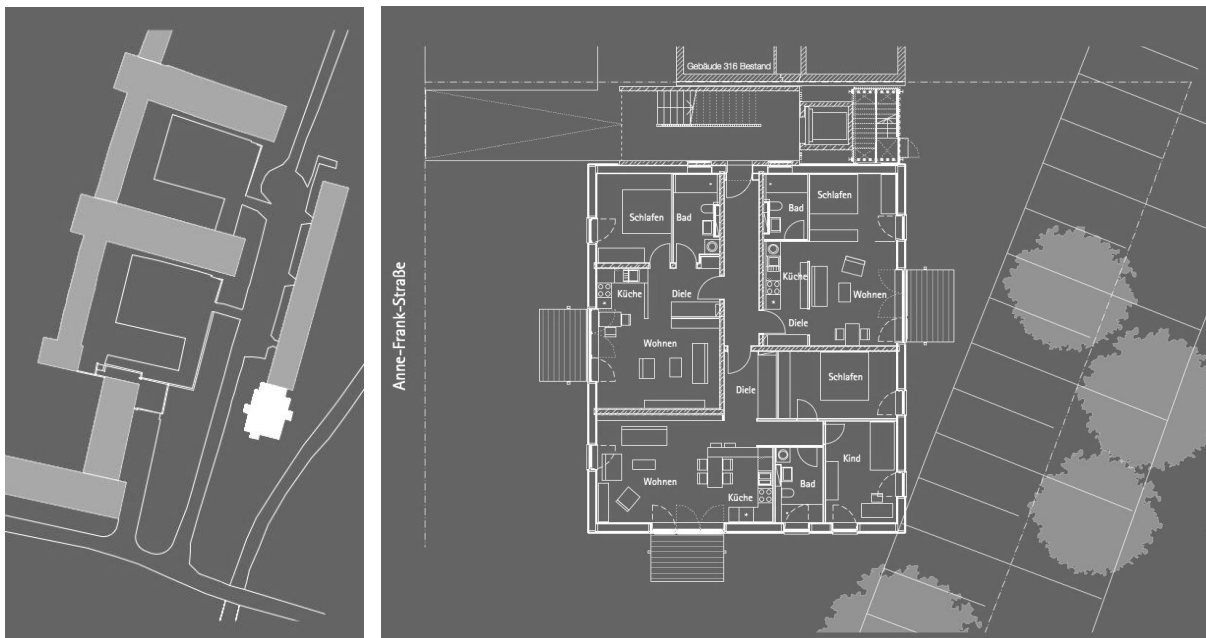


Abbildung 13: Lageplan und Grundriss EG

Alle tragenden Bauteile wurden im beschriebenen System ausgeführt. Auf diese Weise konnte eine Montagezeit von einem Geschoss pro Woche realisiert werden: Nach der Montage der Holz- und Betonwände erfolgte der Verguss der Betonwände, anschließend das Auflegen der Decken und abschließend der Verguss der Deckenfugen und das Betonieren des Ringankers.

Durch sehr gute u-Werte von Außenwänden und Dach sowie Einbau von kontrollierter Wohnraumlüftung konnte ein sehr geringer Heizwärmebedarf von nur 15KWh/m²a und damit die Einstufung als „Passivhaus“ realisiert werden. Durch eine zusätzliche PV-Anlage am Dach wird sogar der durch die Deutsche Energieagentur geförderte „Energieplus-Standard“ erreicht.

Auch hinsichtlich der Reduktion der Baukosten war das Projekt erfolgreich: Die Kosten pro qm Wohnfläche des achtgeschossigen Holzhauses wurden deutlich unterschritten und bewegen sich nahe der Fördergrenze von 1.500€/m².



Abbildung 14: Fotos Montage



Abbildung 15: Fotos Montage